

오대천 수향 계곡의 산지 하천성 퇴적층 특성에 대한 연구

김종연* · 이상현** · 김종욱***

A Study on Mountain Stream Type Deposit at Suhang Valley in Odaecheon

Jong Yeon Kim* · Sang Heon Yi** · Jong Wook Kim***

요약 : 강원도 평창군 하진부면 수향리의 사면 말단부에 위치하는 현 하상 비고 40~50m에 속하는 퇴적 지형을 구성하는 퇴적 물질의 특성을 파악하였다. 연구 지역은 퇴적암 분포 지역으로 상류의 화강암 분포지역과 달리 하천이 곡을 깊게 개석하면서 하안에 여러 단계의 퇴적층을 형성하고 있다. 이 퇴적층들은 각각의 위치에 따라 물질의 기원이 상이한 것으로 나타났다. 하천 인근 지역의 경우에는 화강암이 포함된 하성 기원의 원력의 퇴적층이, 본 연구 대상지에서는 사암 등 지역의 암석 중심의 아각력 퇴적층이 나타난다. 또한 퇴적층의 두께는 10m 내외로 전반적인 기복의 형상이 퇴적층의 형상보다는 퇴적이전에 형성된 기반암면의 형상에 영향을 받는 것으로 보인다. 이 퇴적층의 배후 산지에는 우곡을 중심으로 하는 침식 및 퇴적 지형이 나타나고 있으며, 입자의 입도와 형상 특성에 대한 분석 결과 상당히 유사한 것으로 나타났다. 퇴적층의 고도와 인근 지류의 유입 특성, 퇴적 물질의 입도, 형상 등을 종합적으로 볼 때 이 퇴적층은 지류 유입의 산상지성 퇴적이나, 본류의 퇴적층으로 보기 어려우며 배후 사면으로부터 발생한 유수가 우곡 등을 통하여 사면의 하부로 이동되면서 만들어진 일시적인 산지 하천성 퇴적물로 보여진다. 이를 통하여 하천과 산지 간의 다양한 퇴적물 연계가 존재함이 나타났으며, 이후 산지의 하안 퇴적층 연구에 있어서 이에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

주요어 : 하안단구, 산지하천, 퇴적물 형상, 퇴적물 연계

Abstract : The sediment particles found from depositional landforms at Suhangri, Hajinbu, Gangwon province were analyzed in this study. The samples were collected from the depositional forms located near of Odaecheon. Odaecheon is deeply dissecting the paleozoic sedimentary rocks (mainly sandstone) and formed fluvial terraces along its course. The sediment particles of depositional landforms showed different origin and transport route. The lower terraces near of current channel are formed with well rounded granite gravels while higher depositional forms at the foot of the slope are formed with sub angular - sub rounded sandstone gravels with clay matrix. In addition, the thickness of the landforms found less than 10m. So it should be pointed that overall feature of the landform is not decided by the depositional processes of stream but the surface feature formed by erosional processes. It is also found from the slope of the mountain that the gullies on the slope are the main erosional and depositional agents. The sediment particles formed by mechanical weathering or deposited by other processes are transported through the gully. The particles found from the bottom of the gully showed similar roundness and lithology with depositional forms at footslope. It means that sediment particles at the area transported from upslope by the gully rather than upstream by the fluvial processes. So, it should be mentioned that the

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

**한국지질자원연구원 책임연구원(Senior Researcher, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources, shyi@kigam.re.kr)

***서울대학교 사범대학 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Seoul National University, kimjwk@snu.ac.kr)

depositional forms at this area have different sediment link with slope or upstream reaches, though relative height from the channel is similar.

Key Words : Fluvial terrace, Mountain stream, Shape of sediment, Sediment link

I. 서론

오대천은 강원도 평창군 진부면의 편마암 산지인 두로봉(1422m)에서 발원하여 남북 방향으로 신장된 형태를 지니는 유역 분지를 통과하여 남쪽으로 흐르는 유역 면적 451.5km², 전체 유로 연장 57.8km에 달하는 하천이다. 오대천의 하상은 주로 자갈이 우세하며 일부 세립질의 모래가 나타나는 자갈 하상 하천의 특성을 지니는 것으로 볼 수 있다(강원도, 1996). 특히 중류부에서는 기반암의 영향으로 모래 하상이 나타나며, 하류부에서 자갈 하상 하천의 특징이 강하게 나타난다. 하류에서는 곳곳에 기반암이 노출되는 기반암 하상 하천의 특성을 지니기도 한다. 이러한 특성은 지질적으로 균일하고 지각운동의 영향을 받지 않는 일반적인 하천의 특징과는 다르며 지질과 지각운동의 영향에 의한 것이다. 하천의 최상류부는 단층으로 인한 단층애의 형성과 그와 관련된 퇴적층의 형성에 대한 연구가 이루어졌으며(이광률, 2009), 중류부는 화강암의 심층 풍화와 풍화 산물 탈거 과정으로 형성된 지형의 연구가 이루어졌다. 하류의 퇴적암 지역에서는 하천의 하각 및 침식과 관련된 지형이 다수 발견되었다. 유역분지내의 이러한 다양한 지형 경관의 출현은 많은 연구자들의 연구 대상이 되어 왔다(장재훈, 2002).

특히 오대천의 중 하류부에 대해서는 하천 지형학적인 연구가 진행되었으며 특히 급경사를 이루는 사면과 하천이 접하는 부분에 형성된 하안 단구에 대한 연구가 이루어졌다. 퇴적암 구간에서 널리 나타나는 하안 단구에 대한 연구는 인근 지역의 하천에 대한 연구와 더불어 많은 성과를 이루어왔다. 그런데 기존 연구들은 하나의 수계에서 분류를 따라 나타나는 다수의 하천 퇴적층을 하상과의 높이 차이에 따라 하나의 집단으로 분류하고 이들이 모두 동일한 시기에 분류 하천의 하성 작용에 의하여 형성된 것으로 판단해왔다. 그러나 각각의 퇴적 지형을 구성하는 개별 퇴적층의 특성에 대한 연구를 통하여 하천에 퇴적물 공급 특성을 명확히 규명된 경우는 많지 않았다. 퇴적층의 특성에 대한 연구가 요구되는 이유는 하천 퇴적층이 형성된 위치에 따라 퇴적물 공급의 출처가 상이하고 서로 다른 사면-하천 간의 퇴적물 연계가 존재하기 때문이다. 특히 지류에서 다량의 퇴적 물질이 유입하거나 공간적으로 제

한된 범위에 하천 양측의 사면으로부터 다량의 퇴적 물질이 하천으로 직접 유입되는 경우 국지적인 퇴적물의 집중이 나타날 수 있으며, 이는 신장된 형태의 유역분지를 지니는 하천에서의 퇴적물 운송에서의 다양한 특성을 드러낼 것이다.

본 연구에서는 오대천의 퇴적암 분포 지역에서 발견되는 하천 퇴적층 가운데 소위 T3 수준과 그 이상의 고도에 해당하는 퇴적층에 대해 퇴적 물질의 특징과 퇴적 구조를 분석하여 물질의 기원을 파악하고자 한다. 이를 통하여 유역 분지 내에서의 퇴적물 운반 및 공급 체계를 밝혀 하천 체계의 역동적 특성을 밝히고자 한다. 이를 위해 퇴적층을 구성하는 퇴적물 입자들의 암종, 형상적 특성, 배후산지에서 공급되는 퇴적물 특성을 파악하여 논의하고자 한다.

II. 연구 지역의 개관

오대천 전체의 유역 분지는 크게 화강암 및 변성암 분포 지역과 퇴적암 분포의 하류로 나누어 볼 수 있다. 현재의 하천 부리 일대를 말하는 중류부의 경우에는 화강암이 널리 분포하고 있다. 이 화강암은 중생대 쥐라기에 관입한 대보 화강암류로 알려져 있다. 이 화강암들은 관입 이후 심층풍화를 받아 두꺼운 풍화대를 형성하고 있다. 이 부분의 풍화층은 지역적인 편차는 있으나 대체로 5-20m에 달하는 것으로 알려져 있다. 진부 일대의 화강암 지역은 산록 완사면 형태의 구릉지형 산지를 형성하고 있다(장재훈, 2002).

이에 비하여 오대천 하류 지역은 과거에는 녹암층(綠岩層)으로 구분되던 고생대 평안계에 속하는 퇴적암이 나타나고 있다. 이 퇴적층은 유역분지 좌측의 발왕산(1458.1m), 박지산(1394m), 두루봉(1225.6m), 이 나타나고 있으며, 우측으로 잠두산(1243.2m), 백석산(1364.6m) 등이 나타나고 있다. 이 퇴적암들은 정선단전 지역 내의 평안 누층군에 속하는 지역으로 연구 지역에는 상원산층과 박지산층이 주로 나타난다. 특히 오대천의 유로를 따라서는 상원산층에 주로 나타나고 있다. 상원산층(上元山層)은 옥갑산층을 정합으로 덮고 있고, 박지산층에 의해 정합으로 피복되는. 두께 약 1500m의 퇴적암층이다. 구성 암석은 하부로부터 녹회색 세립사암, 회록질 석회질 실

트암과 석회질 사암의 호층, 녹색 잡사암으로 나타난다. 박지산층(搏芝山層)은 상원산층을 정합으로 덮고 있으며, 두께는 약 500m에 달하며, 하부에는 적색 세일을 협재하는 적색의 중립 또는 조립 사암과 상부의 적색 세일을 협재하는 적색 조립 사암과 역암으로 구성되어있다(대한지질학회, 2001).

오대천의 유로는 전반적으로 남북 방향으로 달리는 지질 구조선 특히 단층선을 따라 형성된 것으로 보여 진다. 그러나 연구 지역의 단층선 분포에 대한 지질학적인 조사는 아직 미진한 상태이다. 이러한 지질적인 차이의 영향으로 인하여 오대천은 상진부리와 하진부리 일대를 폭이 넓은 곡을 형성하며 통과한 후, 문필봉-뒷덕산으로 이어지는 부분을 통과하면서 좁은 계곡으로 진입한다(그림 1B). 이 계곡은 남북 방향으로 퇴적암 지역을 통과하며 오대천이 구조적 취약선을 따라 침식을 지속하여 형성한 것으로 알려져 있다.

오대천 유역의 화강암 부분은 신생대 3기의 풍화 및 풍화 산물의 제거 작용을 받아 광랑상의 소기복 지형이 형성된 뒤 경동성 요곡운동을 받았다는 것이 기존의 주도적인 견해이며, 요곡 운동을 받은 이후 지형 발달 과정에 대해서는 논쟁이 진행중이다(지광훈 등, 2009). 기존의 주장들은 융기 이후 여러 영력의 작용으로 상류 방향으로의 침식이 진행되면서 과거의 평탄면이 파괴되는 과정에 있다는 것인데 반하여 일부에서는 경동성 융기 이후 융기에 따른 침식력의 증가로 동적 평형을 이루며 변형되는 과정으로 보고 있다. 퇴적암 산지의 형성과 그 이전의 평탄화 작용에 대해서는 논의가 미진하며, 융기 이후에도 화강암 산지와 달리 하천 중심의 선상의 침식이 주를 이루고 산지에서는 매스무브먼트에 의한 사면의 직접적 물질 제거가 이루어지는 것으로 볼 수 있다.

퇴적암 산지 지역의 산정부에는 환경사의 면이 형성되어있으며 하천과 산지가 접하는 부분에는 다수의 환경사면이 존재하며 산지 부분에는 주로 기반암을 피복하는 얇은 사력층이나 사면의 파쇄로 인한물질이 나타나고 하천 인근에는 하천 퇴적물과 사면 물질이 혼재하는 양상이 나타나고 있다.

하천 변에 존재하는 퇴적 지형을 기존의 연구들은 현재의 하상과의 비고(比高)를 기반으로 9개의 단구면으로 구분하였다. 특히 퇴적암 지역에 해당하는 수항리와 마평리 일대에는 하안단구 1(하상 비고 10-21m), 2면(14-21m)으로 T5(45.6m), T6(61.2m), T8(81.0m)까지 다수의 하안단구가 나타나는 것으로 보고되어 있다(이광률, 2009).

이광률 등(2008)은 오대천의 하안 단구 가운데 하천에 인접한 3개면을 강조하였다. 하안단구 1면은 현 하상과의 해발 고도 10m 내외의 비고를 갖는 부분을, 2면은 하상과 약 15m 내외의 비고를 갖는 면을 제 3면은 비고가 20m 내외인 지점을 말한다. 특히 하천을 경계로 동측 부분은 서측 부분에 비하여 고도가 높으며 이를 단층 운동에 따른 변위량의 차이로 보았다. 특히 연구 지역 인근의 수항 마을 인근의 2면에 해당하는 현 하상 비고 8.6m 지점에서 채취한 퇴적층의 OSL연대는 42 ± 3 ka의 매몰 연대 값을, 화의교 인근의 1면에서는 14 ± 1 ka의 연대 값을 얻었다. 이들 단구들의 경우 현장 조사 결과 주로 화강암 물질로 되어 있어 오대천의 본류 구간의 상류에서 이동된 물질들이 주를 이루는 것으로 볼 수 있다. 즉 이 퇴적 지형들 가운데 최하위 단구면은 최후 빙기에 퇴적된 후 하천의 하방침식으로 유기된 것으로 볼 수 있다. 그러나 이 퇴적층의 특성 등에 대해서는 논의가 진행되지 않았다.

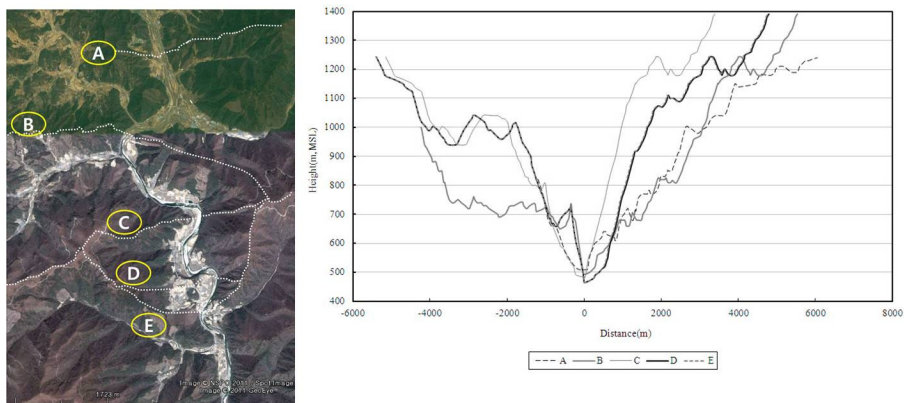


그림 1. 수항 계곡의 곡 횡단면도

* 단면 D가 본 연구 대상지의 단면임.

III. 수향리의 퇴적층의 특성

연구가 이뤄진 수향리 지역이란 기존의 연구가 이뤄진 수향마을의 건너편 수향교회 뒤편의 구릉이다. 이 지역의 하상 고도는 지도상으로는 465m 내외로 GPS상으로는 470m 내외로 나타나며 1996년 실측 결과로는 467m를 나타내고 있다(강원도, 1996). 즉 이 퇴적층의 최상부는 해발고도 510m 이상으로 현하상과 비교는 40-50m 내외에 해당한다. 따라서 이전 연구에 의하면 5단(T5)에 해당하는 것으로 볼 수 있다. 조사가 이뤄진 부분의 말단부는 해발고도 490-480m 내외 지점으로 현하상과의 고도차가 20m 내외의 부분으로 2-3단의 단구에 해당한다.

이 퇴적 지형의 하류에서 박지산 자연 휴양림이 위치하는 아차골의 하천과 오대천이 합류하고 있다. 산지로부터 유입하고 있는 아차골천은 해발고도 1090m 정도의 산정 부근에서 발원하는 길이 5.12km에 달하는 하천으로 본류의 평균 경사가 10.98°에 달하고 있어 일반적인 하천으로 보기에 어렵다는 면이 있다. 일반적으로 유수에 의한 침식 작용이 우세한 하천의 경우 하천 종단 곡선의 경사는 보다 완만하게 나타

난다. 그러나 전반적인 하천 종단 곡선의 기하학적 형태는 지수 함수의 형상을 지니고 있어($y=1134.5e^{-0.0002x}$, $R^2=0.9869$) 전반적으로 하천에 의한 영향을 지니는 것으로 볼 수 있다. 한편 퇴적물 공급의 측면으로 본다면 전반적인 본류 하도의 저하로 인하여 형성된 사면에서 하천으로의 직접적인 물질의 공급을 진행하는 지류의 상황을 이해하는 것이 필요하다. 이 하천의 유역 분지의 하도 인근 지역에는 다수의 애추 사면이 형성되어 있으며, 이 애추 사면으로부터 공급된 물질들이 하천을 통하여 오대천 본류 구간으로 유입된다.

경사가 급한 하천은 하천으로서 유량에 따라 퇴적물을 운반할 뿐만 아니라 다량의 퇴적 물질이 공급되는 상황에서는 토석류의 이동 통로로서의 성격을 지니기도 한다. 이러한 급경사의 지천(支川)이 본류와 합류하는 지점에서 하도 경사의 감소로 인하여 하천의 유속은 감소하며, 또한 본류의 유량 등의 영향으로 역류 현상이 발생하기도 한다(Wohl, 2000). 그 결과 지천과 본류의 합류 지점에는 다량의 퇴적 물질이 집적되는 지형이 형성되는 것이 일반적이다. 이러한 지천으로부터의 퇴적 물질 공급은 본류 하도에도 영향을 주게 된다. 퇴적 물질의 유입으로 인하여 하천의 수심이 얕아지고, 하폭이 제



그림 2. 연구 대상 지역의 전반적 지형과 노두



그림 3. 수향리 저위 단구 퇴적물(A)과 지역의 기반암(B)인 퇴적암

한되는 경우 하천의 유속이 증가하는 경향이 나타나게 된다. 특히 최심 하상선은 퇴적 물질 공급되는 지류 유입부의 반대 쪽으로 이동하는 경향성을 보여 주게 된다. 하천의 유수가 주로 지류 유입 부분의 반대 방향에 집중된 결과, 지류로부터 유입된 퇴적 물질의 퇴적층의 최외곽 부분은 지속적인 침식을 받게 된다. 장기적으로 침식이 진행됨에 따라 본류의 하상은 빠르게 저하되고 지류의 하상도 빠르게 저하된다. 그 결과 지류로부터 유입된 물질로 구성된 퇴적층은 추가적인 퇴적 물질의 공급을 받지 않게 되고 기존의 지류 유입 하천 퇴적층은 빠르게 단구화 된다(Knighton, 1998). 지류 또는 본류 하도에서 대규모의 홍수 등이 발생하는 경우 지류 유입 단구층의 상부에는 퇴적층의 부분적인 공급이 부분적으로 이루어지게 된다. 현재 오대천 본류가 통과하는 인근이 현재의 합류부 단구면

의 현장 조사에 의하면 해발고도 465m 내외인 하상으로부터 약 5m 내외의 고도 차이를 지니며 인공 제방으로 분리된 단구의 표면에는 아차골 쪽으로부터 이동되어 온 사암 계열의 아 각력과 오대천의 상류로부터 이동되어 온 화강암이 혼재한다 (그림 4A). 이 퇴적층은 이광률(2008)에 의하여 보고된 퇴적 층에서 약 200m 하류부에 해당하는 것으로 해당 퇴적층의 상부 자갈층에 해당하는 것으로 볼 수 있다. 이 층에 나타나는 화강암은 완전히 풍화된 모습을 보여 준다. 인근 지역에는 화 강암이 분포하지 않으며 해당 화강암은 상류로부터 이동되어 온 것으로 볼 수 있다. 현재의 오대천 하상에서도 일부 화강암 이 나타난다. 한편 사암류의 경우에는 오대천의 현 하상에 비 하여 육안으로 구분될 정도로 원마도가 현저히 떨어진다. 이 를 통하여 볼 때 해발고도 470m 내외에 존재하는 하천 퇴적층

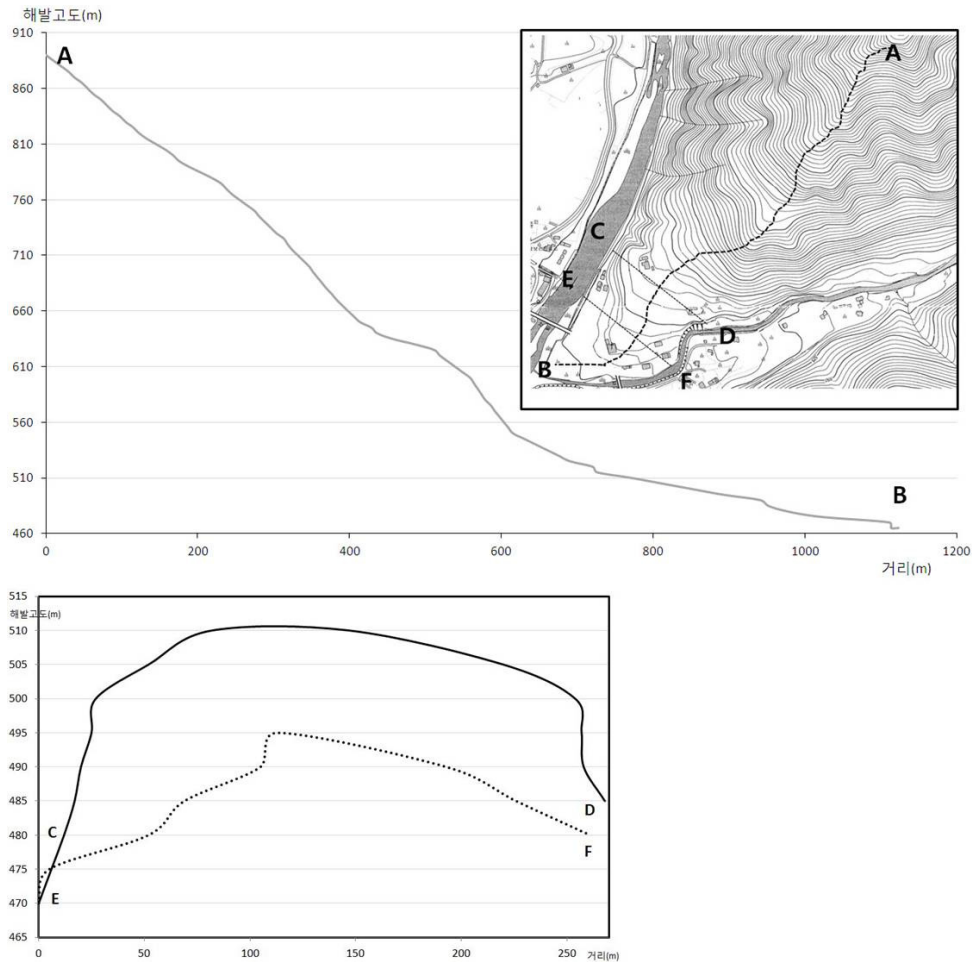


그림 4. 연구 지역의 사면 횡단 및 종단면도

은 분류인 오대천의 퇴적물과 지류인 아차골의 하천으로부터 유입된 퇴적물이 서로 섞이면서 형성된 것으로 볼 수 있다.

수항리 지역의 퇴적 지형의 단면(\overline{AB} , 그림 4)에는 두 개의 경사 변환점이 존재한다. 현재의 하상으로부터 160m 내외의 고도차를 지나는 630m 내외 부분에 폭 100m 내외의 완경사부가 존재한다. 그리고 하상과의 고도차가 약 80m 정도인 부분인 해발 고도 550m 내의 부분부터 하부 방향으로 완경사부가 존재한다. 이 완경사부는 경사 변환점으로서의 역할을 수행한다. 해발 고도 650m 이상의 부분은 $y=319.02e^{0.0009x}$ ($R^2=0.99$)의 곡선이 가장 적절한 것으로 나타나는데 비하여 650-510m의 구간에서는 $y=377.33e^{0.0007x}$ ($R^2=1$)가 가장 적절한 것으로 나타나고 있다. 전반적인 경향성으로 본다면 사면의 하부로 가면서 경사의 변화가 급격해지는 특성을 지닌다. 510m를 경계로 하여 700m 정도까지는 21.8° 정도의 경사를 지니는데 비하여, 고도가 낮은 구간에서는 하천 하상까지의 평균 경사는 5.7°의 경사를 지니고 있다. 물론 구간 내에도 계단상의 경사 변환점이 존재한다. 이 완경사의 면은 상부 사면에 비하여 퇴적층의 두께가 두껍다는 특징이 나타나며 주변 부분과는 급경사의 경계를 지닌 평탄한 면을 형성하고 있다(\overline{CD} 단면, 그림 4). 특히 사면에 가까운 부분의 경우 횡단면 역시 3-5°의 경사를 지니는 평탄한 면을 보여 주고 있다. 이러한 전반적인 사면의 형태는 오대천의 하곡 가운데 지천이 유입되는 부분을 중심으로 나타나고 있다. 배후 사면이라고 할 수 있는 부분의 경사는 30° 이상에 달하며 주로 기반암인 퇴적암의 침식과 이후의 사면의 물질 이동을 통하여 형성한 것으로 볼 수 있다(그림 4C). 하천의 인근 지역은 일정한 고도를 지나는 완경사면을 형성하고 있으며, 여기에는 분류 또는 지류 하천에 의한 퇴적 물질의 이동과 퇴적이 큰 영향을 미친 것으로 볼 수 있다(그림 4A). 이는 앞서 제시된 수항 계곡의 전반적인 곡의 횡단면에서 보여지는 바와 같이 곡의 좌우 사면은 급한 경사를 지니고 있다. 따라서 이 사면을 따라 흐르는 하천 역시 급경사의 하도를 이루며 흐르는 경향이 강하다고 볼 수 있다.

본 연구의 대상이 된 퇴적층은 오대천으로 부터 수평 직선 거리로 50m 이상 떨어져 있고 현재 하상에 비하여 25m 이상 높은 지점인 해발고도 490-500m에 해당하는 곳에 나타나고 있다. 퇴적층의 두께는 최소 5m 이상으로 나타나고 있다(\overline{EF} , 그림 4). 이 퇴적층의 동북측 오대천 상류 방향으로는 팬션이 건설되어 운영되고 있으며, 단구면의 상부에 있는 민가로 이어지는 도로가 개설되어 있다. 이 도로를 따라서 퇴적층의 절개부가 형성되어 퇴적층의 성격에 대한 고찰이 가능하였다

(그림 2B).

퇴적층의 가장 아래 부분은 기반암인 퇴적암이 약간의 풍화를 받은 암반 상태로 노출되어 있다. 기반암면 상부의 해발 고도는 확인이 가능한 퇴적층의 가장 위쪽 부분에서는 490m 면에 달한다. 이 기반암면의 전반적인 경사는 퇴적층의 경사와 유사하게 하천 쪽으로 다가가면서 고도가 낮아지는 경향성을 보여 준다(그림 3B). 이러한 경향성이 현 하상 부분까지 전반적으로 나타난다고 본다면, 이 퇴적층의 전반적인 형상은 퇴적층의 퇴적 뿐만 아니라 퇴적 이전에 존재하던 기반암의 기복에 의해서 상당 부분 지배받는 것으로 볼 수 있다. 이러한 해석이 적용 가능하기 위해서는 추가적인 조사가 진행 되어야 할 것으로 보이나, 현재까지 조사가 이루어진 부분의 경우 하상과의 비교에 비하여 퇴적층의 두께가 차지하는 비중이 작은 것은 분명한 것으로 볼 수 있다.

기반암으로 이루어진 면의 바로 위에는 원마도가 극히 낮은 각력이 중심이 된 퇴적층이 약 30cm 두께로 피복하고 있다(I층). 이 퇴적층의 입자 방향은 일정하지는 않으나, 전반적으로 장축의 방향은 기반암의 경사와 같은 방향으로 배치되어 있다. 또한 매트릭스 물질은 주로 점토질로 되어있으며 경사도가 5-10°이다. 이러한 퇴적층은 현재 사면에서 발견되는 퇴적층과도 다른 성격을 지니고 있다(그림 5).

각력층의 위 쪽에는 두께가 약 30cm에 달하는 원력층이 형성되어 있다(II층). 이 층의 퇴적물들은 입자의 단축이 사면과 평행하게 놓인 상태이며, 조립 입자 사이에는 세사 이하의 크기를 지나는 실트와 점토 입자들이 충전하고 있다. 이 충전 물질은 상당한 수준으로 고결되어 있고 색은 주로 적색 계열로 어느 정도 산화가 진행된 것으로 보인다. 퇴적물의 입자 형상과 배치 상태로 보아서는 중력에 의한 이동의 가능성은 크지 않은 것으로 보인다.

II층을 구성하는 원력의 산술적인 평균은 21.64mm로, 표준편차는 11.07로 나타나고 있으나, Folk와 Ward의 기법(박용안, 1982)으로 계산한 평균 입경은 -4.28 ϕ 이며, 분급은 0.6948, 왜도는 -0.1743, 첨도는 1.2519로 나타났다.

통상적으로 평균 입경은 운반에 관여하는 유수의 에너지를 반영하는 것으로 간주되기도 한다. 그러나 퇴적되어지는 물질의 입자 크기는 다른 한편으로는 공급되어지는 퇴적 물질의 입자와 관련이 있으며, 또한 퇴적이 발생한 이후 발생 하는 입자의 이동 등에 의하여 추가적인 입도의 변형이 발생하게 된다. 따라서 주어진 환경 하에서 하천의 에너지를 파악하기 위해서는 퇴적되어진 입자의 최대 크기가 중요한 역할을 수행한다. II층의 최대 중경은 70mm인 것으로 조사되었다. 분급

의 정도에 대한 기준은 상황에 따라 다르게 나타나나 일반적으로 받아 들여 지는 것은 Folk와 Ward의 방식이며 그 기준은 0.35는 매우 분급이 잘된 것(very well sorted)으로, 0.35-0.49는 분급이 잘된 것(well sorted)으로, 0.50-0.99는 적절히 분급이 발생한 것(moderately sorted)으로 판단하는 것이다(조성권 등, 1995). 이 기준에 의하면 이 층의 조립 퇴적물들은 분급이 적절히 이루어진 것으로 볼 수 있다. 왜도의 측면에서 보면 세립 입자의 비중이 약간 높은 것으로 판단할 수 있다. 다만, 입자 가운데 통상적인 분포 곡선에서 벗어나는 조립 입자들이 분포하는 특징이 함께 나타난다. 이 입자들의 성격은 앞서 산지 하천 퇴적층에 대한 논의에서 추가적인 퇴

적을 유발하는 앵커(anchor)의 기능을 하는 퇴적물로서의 성격도 있다고 보여 진다. 또한 침도에 의하면 평균 크기와 비슷한 입자들이 집중되어 있다.

이 층을 구성하는 퇴적물들은 일부 깨어진 입자를 제외하고는 모두 어느 정도 풍화가 진행된 사암이다. 퇴적물의 표면은 작은 흠들이 파여진 형태이며, 작은 입자들이 풍화에 의해서 제거되어 표면에 작은 요철이 생긴 것으로 판단된다.

II층의 물질들은 조립 입자인 자갈의 비중이 높은 퇴적 물질들이 운반 퇴적된 것으로 볼 수 있으나, 일반적으로 지속적으로 유수가 흐르는 하천에서 발견되는 것과는 성격이 다른 것으로 볼 수 있다. 특히 입자 사이에 고결화된 점토층의 존재



그림 5. 수항리 각력층(I층) A: 표면 상태, B: 표면 물질 제거 후 기반암 접촉부



그림 6. 연구 대상 퇴적층의 전반적인 모습(A)과 3층(C), 4층 퇴적층(B)

는 하천의 영향 보다는 사면에서의 물질 이동의 영향의 가능성을 제시하는 면이 강하다. 그러나 퇴적 물질의 원마도 등으로 볼 때, 사면 물질의 중력의 영향으로 인한 이동의 가능성은 크지 않아 보인다. 이는 입자의 형상에 대한 논의에서 다뤄질 것이다. 이러한 자갈 중심의 퇴적층이 나타나는 데는 세립의 자갈 입자들이 풍화 과정을 통하여 사라지고 조립질의 물질만 남았을 가능성이 있다. 그러나 자갈입자의 표면에 나타나는 풍화 상태 등을 감안할 경우 그럴 가능성은 크지 않은 것으로 보인다. 즉, 퇴적의 발생 이후 세립 자갈 입자들은 상당 부분 다시 이동되어 제거되고 조립 자갈 입자 중심의 현재 퇴적층이 만들어 진 것으로 보인다. 그러나 자갈 입자의 사이를 충전하는 세립의 실트 및 점토 물질의 기원은 명확하지 않다.

원력이 중심이 된 II층의 상부에는 입자의 크기, 퇴적상 등에서 차이가 완전히 나타나는 두께 50-60cm에 달하는 다른 퇴적층이 존재한다(III층). 이 층의 입자들 역시 주된 퇴적 물질은 자갈이며 매트릭스 물질로 점토 또는 실트가 존재하며 역시 약간의 고결화 작용이 나타나고 있다.

II층에서 III층으로 변화되면서는 입자의 크기에서 변화가 나타난다. 이 층의 입자 크기의 산술적인 평균은 40mm로, 표준편차는 40.71로 나타나고 있으나, 퇴적학적 그래픽 기법에 의하면 평균 입경은 -5.00ϕ 이며, 분급은 0.7440, 왜도는 -0.1886 , 첨도는 1.2238로 나타났다. 즉, 이 층은 하부 층인 II층에 비하여 입자의 크기가 증가하는 경향을 보여 주고 있으며, 분급은 하부 층에 비하여 약간 나빠진 것으로 나타나고 있다. 분포 그래프 상으로 보면 입자가 분포가 평균 주변에 상당히 집중되는 것으로 나타나는데 반하여 이상 값(outlier)으로 볼 수 있는 거력 입자가 나타나 영향을 주었다. 물론 전반적인 입도의 조성에서 조립 입자의 비중이 하부 층에 비하여 조금 더 높은 것으로 나타나고 있다. 이 입자의 크기를 통계적으로 검증한 결과, 95% 수준에서 두 집단 간의 중측 값의

평균에서 차이가 존재하는 이질적인 집단임이 확인되었다.

II층에서 III층으로의 입경의 증가 경향성, 중 상향 조립화 경향성은 일반적으로 안정적인 퇴적이 발생하는 하천에서는 하천 에너지의 전반적인 증가 또는 퇴적 물질 공급의 감소로 해석될 수 있다. 특정한 부분에 퇴적이 발생한 후 추가적인 퇴적 물질의 공급 차단은 하상에 있어서 추가적인 선별적 물질 제거를 수반하여 결과적으로 하상 구성 물질의 조립화를 촉발한다(Hoey and Ferguson, 1994) 물론 이 퇴적층에서도 이 물질들을 운반한 유수의 에너지가 증가한 것으로 판단할 수는 있다. 이에 따르면 이 퇴적 물질을 운반한 사건은 아주 강도가 큰 홍수였던 것으로 판단된다. 그런데 주목할 만한 것은 이 층의 최대 입자는 평균의 10배 크기에 달하는 중경이 400mm의 큰 자갈로 일반적인 하천 환경에서 운반되기에는 상당히 어렵다는 것이다. 이 거력 입자는 사면 방향과 단축 방향이 평행하게 놓여있어 다른 퇴적물과 같은 방향을 취하고 있으며, 입자 주변부에 다른 물질과의 충돌로 인하여 형성된 마모 흔이 명확히 나타나는 특성도 지니고 있다. 즉, 기본적으로 유수의 영향을 받아 이동된 것은 분명하다. 그러나 이러한 크기의 조립 입자의 운반은 단순히 유수 역력 뿐만 아니라 경사면의 중력에 의한 영향도 같이 고려되어야 할 것으로 보인다. 한편 이러한 퇴적물의 성격은 주로 산지 하천에서 나타나는 퇴적물 운반에서 일반적으로 나타나는 것으로 생각되며, 이러한 입자들이 집적되는 경우 산지 하천의 특성인 단상의 하도(step-pool)와 같은 지형의 형성이 나타날 것으로 생각된다. 그러나 이 입자 이외의 다른 거력 입자는 관찰되지 않는다.

III층은 최상부에 입경이 큰 퇴적층이 입자 하나의 크기를 지나는 두께를 지니며 나타나면서 종료되고 그 위로 성격이 약간 다른 IV층이 나타난다. 입자 하나의 두께 수준으로 형성되어있는 III층 최상부의 조립 퇴적물층은 자갈 하상 하천에서 널리 관찰되는 하상 갑주층(armoured layer)에 대비 되는 것

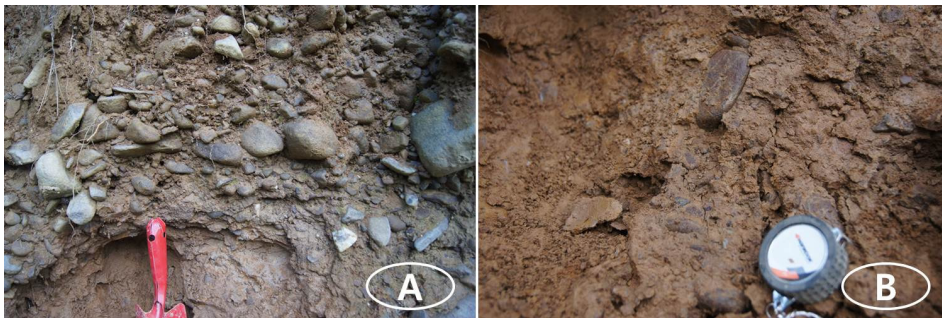


그림 7. III층의 전반적인 모습과 충전 물질

으로 볼 수 있다. 갑주층의 형성 과정으로 이 퇴적물들을 해석한다면, 하천의 하상에 다양한 크기의 퇴적 물질들이 혼재하는 상태로 퇴적된 뒤, 이후 퇴적물 공급은 제한되고 유수가 주로 흐르는 환경에서 세립 입자들이 제거 되고 조립 입자들이 잔류한 것으로 볼 수 있다(Knighton, 1998). III층을 구성하는 입자들은 모두 이 지역의 암석인 사암 계열로 분류 되었다. 일부 작은 크기의 석영 중심 입자들이 나타났으나, 그 비율은 매우 낮았다.

IV층의 원력의 중경 평균은 31.39mm로, 표준 편차는 13.88로 나타나고 있다. 하부의 퇴적층인 III층에 비하여 입경이 전반적으로 감소한다. 퇴적학적 방법으로 계산한 평균 입경은 -4.83ϕ 이며, 분급은 0.6038, 왜도는 -0.1705 , 첨도는 0.7783로 나타났다. 즉 전반적인 분급은 하부 층에 비하여 나쁜 것으로 나타나고 있다. 또한 왜도와 첨도의 분포에 있어서도 평균값보다 큰 입자가 집중 분포하는 유형을 보여 주고 있다. 또한 하부에서 상부로 가면서 이러한 분급이 나빠지는 패턴을 보여주고 있다. 입자의 크기를 앞서 논의한 III층과 비교해 본 결과는 95% 수준에서 통계적으로 유의한 차이가 존재하기는 하나 II층과 III층의 차이에 비하면 작은 것으로 나타나고 있다. 이러한 조립 입자에의 집중 경향선은 앞서 논의한 바와 같이 퇴적 이후 선별적인 물질의 제거 과정이 있었던 증거로 생각해 볼 수 있다. 물론 동일한 시기에 운반을 가정할 경우 두 입자 집단의 서로 다른 운반 양식을 상정할수도 있다

(Plumley, 1943).

IV층의 입경은 바로 아래 층인 III층에 비하여 II층과는 더 큰 차이가 존재하는 것으로 나타나고 있다. 이를 통하여 볼 때 각 층의 퇴적 물질의 성격은 상당히 다른 것으로 볼 수 있으며, 퇴적이 발생하는 환경이 상당히 달랐던 것으로 볼 수 있다.

앞서 설명된 원력 중심의 퇴적층의 상부에는 식생이 정착된 경사면이 형성되어 있으며, 이 퇴적층은 식생에 의해서 교란되어있다(V층). 그러나 뿌리가 깊게 자라지 않는 식생들의 특성을 본다면 교란된 층위의 깊이는 깊지 않은 것으로 보이며, 퇴적층이 추가적인 침식을 통해 제거되는 것을 방지하는 역할을 수행하는 것으로 보인다. 물론 뿌리의 작용 등을 통하여 점토분이 집적하는 현상 역시 나타나는 것을 예상할 수 있다.

특히 주목할 수 있는 것은 뿌리에 의한 침식의 저지로서 사면의 퇴적 물질이 식생의 뿌리에 의하여 고착되어 추가적인 침식으로 인한 물질의 제거가 발생하지 않는 것이다. 이러한 작용을 통하여 침식에 의한 물질 제거가 최소화된 퇴적층의 모습을 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 소나무의 뿌리 부분에 고착된 퇴적 물질을 분석하고자 시도 하였으나 그 시료의 수가 적어 그 유의성을 보장받기는 어려웠다. 해당 소나무는 30년 생 이상으로 판단되었으며 밑둥에서 포행의 증거 등은 나타나지 않았다. 이 퇴적 물질의 경우 입자의 중경은 23.13 mm 수준이며, 이는 이전에 조사된 퇴적층 단면의 상부에 비하여 감소하는 것으로 나타난다. 다른 중요한 특징은 하부에



그림 8. 최상부 단구면(A, B)과 5층(C, D)

비하여 점토의 함량이 증가하는 것으로 보이며 상당한 수준으로 치밀한 토양 구조를 보여 준다. 이로 인하여 입자들의 채워는 망치를 이용해 고결된 토양을 해체하는 방식으로 이루어졌다. 이때 해체된 토양은 하부의 점토들과는 달리 적색의 변색층 등이 관찰되지 않았다.

조립질 퇴적물들의 경우 원력과 아원력이 주를 이루고 있으며 큰 입자들의 경우 파쇄된 흔적을 포함한 경우가 많았고 모서리 부분은 마식에 의해서 둥글게 변모된 것으로 나타났다. 또한 퇴적물은 표면이 풍화에 의한 암석 구성 물질 제거로 거친 모습을 지니고 있는 경우가 많았다. 또한 암석은 대부분 인근 산지를 구성하고 있는 퇴적암 특히 사암이 중심을 이루는 것으로 나타났다. 즉, 이 퇴적물 역시 하부의 퇴적물들과 같이 오대천 분류가 아닌 인근의 산지로부터 공급된 것으로 볼 수 있으며 하천 퇴적층의 성격이 일반적으로 알려진 상시 유수가 흐르는 하천이 아닌 다른 기제에 의하여 운반 퇴적된 것으로 판단할 수 있다.

퇴적층의 최상부(VI층)는 완만한 경사를 이루고 있으며, 현재는 농경지로 이용되고 있어 오랜 기간에 걸친 교란이 의심된다. 그러나 이 지역에 거주하는 주민의 증언에 의하면 이 단구면은 극히 근래에 농경지로 이용되었으며 과거 화전 개간 등이 이뤄지지 않았다고 한다. 또한 구릉 부분은 소나무를 재배하여 목재를 판매하는 식의 이용이 이뤄졌다고 한다.

현재의 이 지형면의 최상부에는 교란된 농경층이 30cm 내외의 두께로 존재한다. 이 농경층의 하부에는 점토를 중심의 퇴적층이 형성되어 있다. 이 점토층은 매우 치밀한 판상 구조를 지니고 있으며, 하천의 범람원에서 발견되는 범람된 유수의 정제에 의한 수직 생장 퇴적층과 유사한 성격을 지니는 것으로 볼 수 있다. 이 퇴적층은 이 점토 퇴적층의 하부를 중심으로 자갈이 혼재하여 나타난다. 이곳에 퇴적된 자갈들은 원력에 가깝고 다수의 역들이 층을 이루면서 나타나고 있다. 그러나 역의 배치 방향은 하천에서 나타나는 것과는 상이한 경우도 있으며 특히 입자의 크기가 큰 역들의 경우 중축이 땅속으로 박혀있는 형상을 지니고 있어, 해당 역층의 형성 당시의 역력을 판단하기에는 어려움이 있다.

이러한 층의 위로 점토를 다량 포함한 퇴적층이 사면으로부터 이류의 형태로 유입되거나, 범람에 의한 홍수성 퇴적층이 형성되면서 기존의 역 중심 퇴적층을 피복한 것으로 볼 수 있다. 특히 역층 위에 세립질의 수직 퇴적층이 형성된 선상지성 퇴적에 대한 최성길·신희철(1995)의 연구를 감안한다면, 선상지 상부의 범람성 퇴적으로 볼 수 있다. 그러나 이 퇴적층은 이 퇴적 지형의 상부 전체에 걸쳐서 나타나며, 인근의 하천

과는 거리가 있다. 따라서 아차골로부터 유입하는 하천이 이 고도면에 위치할 때 형성된 선상지 일부의 범람성 퇴적으로 보기에는 곤란하다.

한편 이 퇴적층의 퇴적상으로 볼 때 자갈과 점토층이 동시에 운반되어 퇴적되었을 가능성은 높지 않은 것으로 보인다. 이 퇴적층을 형성하는 점토의 기원은 명확하지 않으나, 현재 오대천의 하상이나 다른 하천의 인근에 점토층이 형성되어 있지 않기 때문에, 이 점토층의 구성 물질들이 오대천 본류에서 퇴적된 범람원성 퇴적층으로 보기에는 무리가 있다. 다른 가능성은 앞서 지적인 사면으로부터 발생한 이류(泥流) 또는 토석류의 퇴적에 의한 퇴적층의 형성 가능성이다. 이 퇴적면의 상부 사면에서 하천으로 발전할 규모는 아니지만 산지로부터의 유출이 있다는 점을 감안한다면 사면으로 부터의 물질 이동 가능성이 있다. 그러나 해당 점토층 층후가 하부로 가면서 두꺼운 것으로 나타나고 있다는 점 등은 심층적인 연구가 필요한 것으로 보인다. 다른 가능성은 해당 점토층이 지류 하천의 유입 과정에서 하천의 분류 구간이 차단되면서 일시적으로 형성된 호소에서 형성된 퇴적층일 가능성이다. 물론 하도의 차단에 의한 일시적인 호수의 형성은 주로 화산지형에서 보고되고 있으나, 다량의 퇴적물이 지류로부터 유입되는 경우 규모가 크지 않은 산지 하천의 하도 차단과 호수의 형성은 가능성은 상존한다고 볼 수 있다.

현재 까지 논의된 세 퇴적층은 서로 다른 입경을 지니고 있는 것으로 나타나고 있으며 이는 기술 통계상의 수치에서도 이들은 확인된다. 이를 정량적으로 분석해본 결과 역시 세 부분의 퇴적층은 동일한 집단으로 보기 어렵다는 결과를 얻었다 (F: 13.782, Sig. 0.000).

IV. 입자의 형상에 대한 고찰

퇴적물의 입자 형상은 하천 또는 다른 역력에 의해서 이동되는 과정에서 변형된다(Pettijohn and Lundahl, 1943). 퇴적 물질이 하천 또는 다른 영역에 의해서 단거리 이동되는 경우, 즉 입자간의 또는 입자와 하상과의 상호 작용이 제한적으로 일어나는 경우에는 원래의 암석으로부터 분리되어 나올 때의 형상을 유지하거나 모서리 부분의 부분적인 마모가 발생하여 원마도가 전반적으로 낮은 각력의 형상을 지닌다. 그러나 장기간 이동되거나 다른 조건에 의하여 다른 물질들과의 충돌 등에 활발히 발생할 경우 퇴적물의 모서리 부분 마식은 활발하게 일어나게 된다(Shaw and Kellerhals, 1982). 따라서 하

류 방향으로 가면서 입자의 원마도는 증가하는 경향성을 보여 준다. 이에 따라 입자의 형태에 대한 분석은 입자의 암중에 대한 분석과 더불어 하천 지형학에서 고 수류의 연구, 퇴적물 공급지의 연구에서 널리 활용되어 왔다(Plumley, 1943; Miao, 2008).

원마도의 분별에 일반적으로 쓰이는 원력, 아각력, 원력 등의 구분은 입자의 형상을 따라 외접원과 내접원을 그려 그 비율을 토대로 결정하거나 현장에서 기준표를 바탕으로 하여 판단하는 것이다. 그러나 실제 적용에 연구자 주관의 개입 가능성 등의 문제가 있어 입자 전체의 형상적 지표를 계량화하여 사용하는 것이 일반적이다(Wentworth, 1922).

구형도(CSI)의 경우 모든 면의 반지름이 동일한 경우 1의 값을 지니며 수치가 작을수록 구의 형태로부터 거리가 멀어진다. 구형도가 낮은 입자는 전반적으로 각력에 가까운 것으로 볼 수 있으며, 구형도가 높은 입자는 원력에 가깝다고 볼 수 있다. 예를 들어 사면체인 삼각뿔의 경우 구형도가 0.67 정도로 알려져 있다. 즉, 입자의 형태로 본다면 이 부분의 퇴적물 들은 구와는 거리가 먼 모서리가 많은 형상을 지니고 있는 것으로 볼 수 있다. 편평률(Flatness)은 정육면체의 경우 1의 값을 지니며 높이에 비하여 면의 비율이 큰 경우 그 값이 증가하는

특성을 지닌다. 즉, 값이 클수록 편평한 형상을 지니게 된다.

입자의 형태를 종합적으로 판단하는 방식 가운데 하나는 Sneed와 Fork가 제안한 Tri-Plot방식이다. 장축과 단축의 비($c:a$), 중축과 장축의 비($b:a$), 장축과 중축의 차이를 장축과 단축의 차이로 나눈 값($\frac{a-b}{a-c}$)을 기준으로 하여 입자의 형태를 블록형 또는 구형, 판형, 막대형으로 구분한 것이다. 이 퇴적층을 구성하고 있는 입자들의 크기 자료를 Tri-Plot으로 작성한 결과(그림 9)에 의하면 막대형과 판형의 입자가 포함되어 있지만, 주로 블록형이나 구형에 가까운 입자들이 주로 분포하는 것으로 볼 수 있다.

최하부의 I 층은 각력/아각력으로 구성되어 있고, 조립 입자 사이의 매트릭스 물질은 점토 중심이다. 입자들은 사면 방향과 장축 방향이 일치하게 배치되어있으며, 유수나 다른 기체에 의한 운반의 가능성은 크지 않은 것으로 보인다. 다만 입자의 시료수가 부족하여 통계적인 분석은 실시하지 않았다.

II층을 구성하고 있는 원력층에 나타나는 나타내는 입자의 구형도는 평균 0.6503으로 편평률은 2.0880으로 각각 나타났다. 이 퇴적층의 구형도 분포는 평균값인 0.65를 중심으로 구형도가 그보다 낮은 입자가 다수 분포하고 구형도가 높은 입자들이 최빈값을 보이는 변형된 쌍봉 구도를 지니고 있다. 즉,

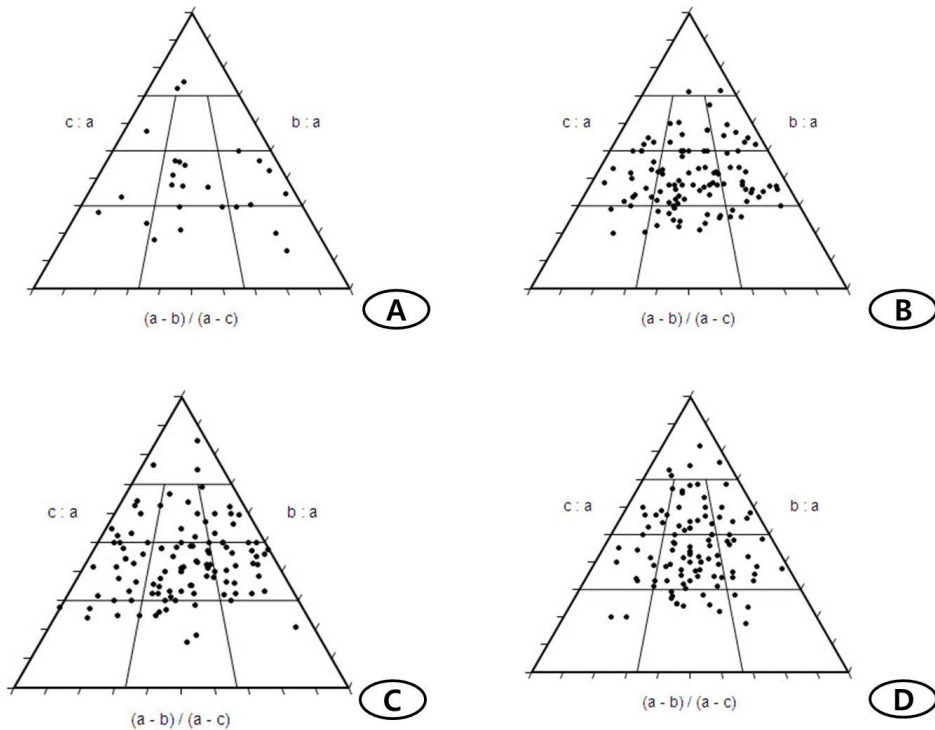


그림 9. 입자 형상들의 Tri plot

* A: V층, B: IV층, C: III층, D: II층.

구형도가 높은 입자와 낮은 입자가 혼재하는 것으로 나타나고 있다. 구형도가 낮은 입자는 전반적으로 각력에 가까운 것으로 볼 수 있으며, 구형도가 높은 입자는 원력에 가깝다고 볼 수 있다는 점에 고려한다면 원마도가 서로 다른 입자들이 혼재하는 것으로 판단할 수 있다. 일반적으로 제기할 수 있는 퇴적의 모형은 조립질의 각력 입자와 세립질의 원력 입자의 혼합이다. 그러나 입자의 크기와 구형도 사이에는 통계적으로 유의한 상관 관계가 존재하지 않는 것으로 볼 수 있다. 즉, 조립 입자와 세립 입자의 입자 크기에 따라서 원마도의 차이는 구형도의 차이는 보이지 않는 것으로 볼 수 있다. 한편 입자의 편평도 분포는 구형도의 분포와는 다른 특성을 나타낸다. 대부분의 입자들은 평균값보다 작은 부분에 집중하여 나타나고 있으며 일부 극단적인 값을 지닌 입자들이 전반적인 평균값에 영향을 주고 있다. 물론 편평도와 원형도 사이에는 강력한 음의 상관이 존재한다. 편평도가 낮을수록 원형도는 높아지는 경향성이 나타나는 것으로 볼 수 있다. 다만, 편평도가 증가하는 경우는 해안 단구와 같은 퇴적층으로 파악되기도 한다. 다만 앞서 지적인 바와 같이 원마도가 높지 않는 퇴적층으로서의 성격을 강하게 가깝다고 볼 수 있다(그림 9D).

III층 입자의 구형도는 평균 0.6422로 편평률은 2.1336으로 각각 나타났다. 이를 II층과 비교해 본다면 구형도는 떨어지고 편평도는 더 커지는 것으로 이해된다. 그러나 구형도의 변화의 정도는 95% 수준에서 통계적으로 의미는 없는 것으로 나타나고 있다. 구형도의 분포의 측면에서는 상당한 차이가 있다. II층에서의 조립 입자 구형도 분포가 쌍봉형 구조에 근사하는 형태를 지니는데 비하여 III층에서의 구형도는 중앙값을 중심으로 분포가 나타나는 정규 분포에 유사한 특성을 보여 준다. 즉, 다른 층에 비하여 구형도에 있어서 입자 집단들 간의 차이가 작다.

이러한 경향성은 Tri-Plot에서의 분포에서도 나타나고 있다. 입자 가운데 원형에 가까운 입자가 감소하고 있으며 판형이나 막대형의 입자 비율이 증가하고 있다(그림 9C). III층의 원마도와 입자의 크기와의 상관은 미약한 음의 상관($r = -0.204$, $p = -0.299$)이 있는 것으로 나타나고 있다.

IV층의 입자의 형상을 나타내는 입자의 구형도는 평균 0.6146으로 편평률은 2.2597로 각각 나타났다. 입자의 구형도는 정규 분포와 유사한 분포를 보여주고 있으나 구형도가 평균인 0.61보다 높은 입자의 분포가 높은 것으로 나타나고 있다. 주목할 만한 것은 구형도가 0.5 수준인 입자들 역시 쌍봉형의 형태로 분포하고 있다는 것이다. 이는 서로 다른 운반 능력의 작용 가능성을 시사하는 부분이 있다. 나무 뿌리의 하부

에서 나온 퇴적물들인 V층 퇴적물의 원형도는 0.5931 수준으로 나타나 하부의 다른 퇴적층들에 비하여 감소하는 것으로 나타나고 있다. 편평도는 2.5189로 증가하는 경향성을 보여준다.

앞서 논의한 바와 같이 역이 다수 발견되는 상부층인 V층을 제외한 II, III, IV 세 자갈 퇴적층의 평균 입경은 통계적으로 서로 다른 집단인데 비하여 구형도의 경우에는 세 집단의 유사성이 있는 것으로 보인다($F: 2.713$, Sig. 0.068). 즉, 입자의 크기들은 상당히 다르지만 구형도와 편평도($F: 1.825$, Sig. 0.163)와 같은 입자의 형상은 상당히 유사한 퇴적층이 존재하는 것으로 볼 수 있다.

V. 토론

오대천의 퇴적암 통과 지역에는 화강암 통과 지역에 비하여 폭이 좁고 깊이가 깊은 하곡이 형성되어 있으며 하천의 양안에는 다수의 하천 퇴적층이 다양한 고도를 따라 형성되어 있다. 이전의 연구에 의하면 오대천의 양안으로는 현 하상으로 부터 각각 10m, 15m, 30m까지 3단의 단구가 보고되어 있으며, 그 보다 고도가 높은 지역들에 보다 시기가 오래된 것으로 알려진 단구가 분포한다. 이 단구들 가운데 하상 비고 10m이 내의 저위 단구들은 $14 \pm 1ka - 42 \pm 3ka$ 의 시기에 형성된 것으로 알려져 있다.

연구 지역의 하상 고도는 467-470m 내외이며 하상과 7-10m의 고도 차이를 지니는 단구면이 하천을 따라 분포하고 있다. 이 단구면은 하천을 따라 고도가 저하되는 특성을 지니고 있으며, 사면으로 접근하면서 높이 7-10m의 단구애가 나타난다. 이 단구의 상부에는 완만한 경사를 지니고 있는 말단부의 고도가 490m에 달하는 완경사면이 나타난다(그림 2). 이 완경사면은 산지와 연결된 급경사면과 해발고도 510m부근에서 만나며 이 고도는 오대천의 하안단구에서 소위 5단에 속하는 고위면에 해당하는 것이다.

이전의 연구들은 특정 하천의 주변에 나타나는 퇴적 지형들을 하상 비고를 기준으로 상대적 편년을 진행해왔다. 물론 특정한 시기의 하상의 고도는 인근 지역 퇴적층 형성의 기준면 역할을 하고 인근의 퇴적은 이 침식 기준면을 기준으로 발생하게 된다. 따라서 전반적인 퇴적 발생의 시기는 유사할 것으로 판단된다. 그러나 각 퇴적층이 형성되는 지점들의 지형적인 특성에 따라서 서로 다른 성격을 지니는 지형이 형성된다. 특히 좁은 계곡을 통과하면서 지류가 유입하는 하천의 경우 본류 구간을 따라 형성되는 퇴적 지형과 지류로부터 유입되는

퇴적 물질의 유입 과정에서의 형성되는 퇴적지형의 형성 가능성이 있다. 만일 하천의 상류부와 하류부의 구성 암석이 상이할 경우 이에 대한 분석은 어느 정도 가능하며 연구지역의 경우 퇴적층을 구성하는 자갈들의 암종으로 보아 분류 하도에 의한 퇴적층은 아닌 것으로 판단된다.

이 지형은 퇴적 지형은 구성 암석이 인근 산지의 암석인 사암이 중심인 것으로 보아 지천으로부터 유입된 퇴적물의 집적을 통하여 형성되었으며, 충적층의 두께는 두껍지 않은 것으로 보인다. 일반적으로 받아들여지는 한 가지 유형은 지류 유입으로 인한 선상지성 퇴적의 가능성이다. 통상적인 선상지 또는 충적 선상지는 산지 하천 또는 유동성 매스 무브먼트 운동으로 산지에서 평지로 다량의 퇴적 물질이 유입하면서 형성되는 퇴적 지형 또는 다량의 퇴적 물질을 운반하는 지류가 본류로 유입하면서 형성되는 퇴적 지형을 의미한다. 선상지의 지형 체계에서의 역할은 다량의 퇴적 물질을 저장하는 저장의 역할을 하며, 하천 체계로 공급하는 조립 퇴적 물질을 조절하고, 하천 체계간의 연계와 완충 작용에 상당한 기여를 하고 있으며, 유역 분지 지역의 지형 환경 변화에 대한 기록을 지닌다(Harvey, 2004). 이러한 지형은 특정 기후 환경에 그 분포가 한정되지 않으며 다양한 기후 환경에서 보고되고 있다. 습윤 기후 지역이나 빙하의 영향을 받은 지역의 경우 단순한 유수

의 퇴적 작용 뿐만 아니라 사면으로 부터의 토석류에 의한 물질을 공급까지 고려하는 것이 보다 일반적이다(Johnson, 1995). 이러한 선상지성 지형은 기본적으로 기복과 형상이 퇴적에 의하여 결정되는 것으로 보아야 하며 지형 길이에 비하여 상대적으로 얇은 퇴적물로 피복되어진 것으로 퇴적층의 두께가 길이의 0.5-1% 수준이거나 최대의 퇴적층의 두께가 25-30m 이하인 것들의 경우 선상지로 보지 않는 견해가 우세하다(Dohrenwend and Parsons, 2009). 해당 지역의 경우 현재 지류 하천에 비하여 퇴적층의 기반암의 출현 고도가 높은 것으로 판단되어 가까운 과거의 퇴적층으로 판단되지는 않으나, 명확히 정의할 수 있는 근거가 부족한 상태이다.

이 퇴적층 형성의 다른 가능성은 배후 산지로 부터의 퇴적 물질의 이동이다. 이 가능성을 가설로 수용하기에 타당한지를 파악하기위하여 배후 산지의 퇴적 물질에 대해서 조사하였다. 현재 이곳에는 배후 산지로부터 직접 유입되어 내려오는 소규모의 하천은 존재하지 않는다. 다만 오대천으로 직접 유입하는 우곡 형태의 곡지가 사면을 따라 형성되어 있다. 배후 사면의 말단을 구성하고 있는 해발고도 525-550m의 사면에는 사면 상부로 부터 공급된 암설의 집적이 나타나고 있다(그림 10A). 사면에서 암설이 집적되어 있는 부분의 옆쪽으로 우곡이 형성되어 있으며 우곡 인근의 구성 물질의 특성으로 보아 사면을



그림 10. 배후 산지의 퇴적 물질과 지형

피복하고 있는 암설 물질의 우곡으로의 유입은 제한적으로 일어나는 것으로 보인다. 사면에 형성된 우곡들은 토양과 역이 혼재하는 부분을 개석하고 있다. 우곡에는 토양과 사면 물질보다 크기가 작은 퇴적물, 그리고 과거 하천 퇴적물로 보이는 원력을 나타나고 있다. 우곡 내의 물질 이동, 우곡과 사면간의 물질 이동 등에 대해서는 추후 논의하고자 한다.

현장에서 현재 이동 중인 퇴적 물질과 그렇지 않은 퇴적 물질은 퇴적물의 위치와 층서 관계에 따라 구분되었으며, 퇴적물의 표면에 이끼 등이 정착하지 않는 경우와 토양 중에 매몰되지 않은 경우를 이동 중인 것으로 보았다. 이동 중인 퇴적 물질들은 주로 우곡의 곡저부와 좌우 측의 나무와 같은 장애물의 상류 쪽 부분을 중심으로 퇴적되어 있다(그림 10C). 현재 배후 산지에서의 물질 이동은 주로 깊이 1-2m 내외, 폭 2-3m의 규모를 지나는 우곡을 통하여 이루어지고 있으며(그림 10B), 일부 원력을 포함한 아각력 또는 각력이 중심이 되어 운반되고 있다(그림 10D).

우곡 내의 입자들을 분석한 결과 입자의 평균 중경은 86 mm($\phi 6.2$)로 하부의 퇴적층에 비하여 큰 것으로 나타났다. 우곡의 곡저부와 측면 퇴적부에서는 일부 분급이 나타나며, 이는 유수에 의한 운반의 특성을 반영하는 것으로 볼 수 있다. 일부에서는 거력 물질이 일종의 앵커 역할을 하면서 후면으로 작은 입자들이 퇴적되는 형상을 보여 주고 있으며, 하천의 하상에서 발견되는 외상구조와 유사한 퇴적상이 역시 관찰되었다. 그러나 분급은 0.57 수준으로 연구 대상인 퇴적층에 비하여 나쁘다고 볼 수 있다.

이곳에서의 퇴적의 모습은 그림 10C에 나타나는 것과 같이 퇴적이 시작하는 사면 하부의 하부 쪽 말단에는 경사가 급하고 상부 사면으로 경사가 완만한 퇴적 물질의 집적체의 전면 사면을 형성하는 것으로 보인다. 특히 나무처럼 부피가 큰 고정적인 장애물과 결합되는 경우 후방으로 퇴적 물질이 집적되는 형태를 보여준다. 이러한 형태의 퇴적 구조는 산지 하천의 하상인 경우 나타나는 단상 하도(step-pool sequence)에서 단(step)을 형성하는 것과 유사한 것으로 볼 수 있다(Chin, 1989). 이러한 퇴적층은 사면에서 하천이나 평지로 단속적으로 운반되는 퇴적 물질 이동에서 일시적인 보관의 역할을 수행하는 것으로 보인다(Grant *et al.*, 1990). 이 퇴적 물질은 홍수 시에 상당수가 다시 이동될 것으로 보인다. 즉, 충적 하상 하천에서의 포인트 바 와 같은 퇴적 지형에서 나타나 는 일시적인 퇴적 물질의 하도 내 보관 기능과 마찬가지로 사면의 하부로 이동되는 퇴적 물질의 저장 기능을 수행한다고 볼 수 있다. 한편 동계~춘계의 우수의 유출이 거의 발생

하지 않는 시기에는 주로 우곡 내부의 곡벽 붕괴와 퇴적 물질의 동결 용해에 따른 이동이 주로 일어난다고 보여 진다. 이때 물질의 이동은 경사가 급한 방향으로 이동되며 우곡을 따르는 사면의 하부 방향 뿐만 아니라 우곡 주변의 사면으로 퍼지는 경향도 나타나게 된다.

현재 우곡이 형성된 사면을 구성하고 있는 물질은 (그림 10B)에서 나타나는 바와 같이 세립 물질과 조립 물질의 혼합 양상이다. 조립 물질의 이동을 수반하지 않는 소규모의 유출의 발생할 경우 주로 세립 물질이 제거되어 사면의 하부로 이동되고 조립 물질만 잔류하면서 조립질 퇴적물의 집합체로 남는 것으로 추정할 수 있다. 앞서 논의된 퇴적층 최상부의 점토 중심의 퇴적층은 이때 제거된 물질들이 사면의 평탄부에 집적된 것으로 추정할 수도 있다. 배후 사면의 우곡과 주변의 퇴적층 내에 포함된 원력의 경우 표면의 풍화가 다른 각력 물질에 비하여 많이 진행된 상태로 나타나고 있다. 이 물질들이 집단적으로 모여 있는 곳은 확인되지 않았으나, 현재우곡이 발달한 부근에서는 중경 200m 이상의 조립의 화성암질 거력이 발견될 뿐 하천 퇴적층이 집단적으로 분포하는 것이 확인되지는 않았다. 따라서 상부의 특정 지점에서 운반된 것으로 추정된다. 우곡의 측면에 위치하는 사면 퇴적물은 식생의 정착과 이끼의 정착 상태로 보아, 현재 활발하게 이동되지 않고 있는 것으로 볼 수 있다(그림 10A). 그 기원지는 명확하게 파악되지 않았으나 하천의 하각 작용이 활발하게 진행되면서 형성된 하식단애의 해체 작용으로 인하여 형성된 것으로 판단된다. 앞서 지적인 바와 같이 물질의 크기와 장축의 배치 방향 등 퇴적상은 연구 대상인 퇴적층에서 나타나는 것과는 다른 모습을 보여 주고 있다.

한편 입자의 형상을 비교해 본다면 전반적으로 장축이 단축에 비하여 1/2 이상인 경우(C, CP, CB, CE)가 적고 특히 사면 퇴적물의 경우 Compact의 형상을 지닌 경우가 발견되지 않았다. 입자들은 Bladed의 형상인 경우가 가장 많았으며 Elongate를 합칠 경우 두 형상이 차지하는 비율이 40% 이상이었다. 즉 입자 크기의 차이에도 불구하고 형상적 측면에서는 유사하나, 다만, 사면부의 입자들이 보다 마식 등을 덜 받은 것으로 판단할 수 있다.

한편 입자 크기의 측면에서는 앞서 논한 바와 같이 사면에서 가장 크고 퇴적층 내에서는 변화가 있는 것으로 판단된다. 분급과 침도에서는 큰 차이는 존재하지 않는 것으로 볼 수 있으며 왜도는 중앙값에 집중하는 양상을 보이는 것으로 판단된다. 이에 비하여 조사된 퇴적층 단면상에 나타나는 각력의 퇴적층에는 원력이 거의 포함되지 않은 것으로 나타나고 있

며, 각력의 모서리 부분에서 일부 마식이 확인되었다. 따라서 각력의 대부분이 기반암인 사암의 기계적 파쇄에 의하여 형성된 뒤 멀리 않은 거리를 이동한 것으로 보인다. 또한 매트릭스 물질의 특징으로 보아 통상적인 하천의 영향을 받지 않은 것으로 보여지며, 주로 사면의 유수에 의한 물질 이동 과정에 의하여 이동 퇴적되어 이 퇴적층이 형성된 것으로 판단된다.

이러한 증거들로 보아 전반적인 퇴적 물질의 특징은 입자 크기를 제외하고는 사면과 하천 인근 퇴적층의 성격이 유사하다고 볼 수 있으며, 연구 대상이 된 하천 인근의 퇴적층의 형성 과정에 중요한 열쇠가 될 것으로 보인다. 즉, 사면에서의 유수에 의한 물질의 이동 과정이 연구 지역의 퇴적층의 성격 이해에 중요한 열쇠가 될 것으로 보인다.

VI. 결론

오대천의 퇴적암 계곡의 수항리에 존재하는 현 하상 비고 20-40m대의 하천 퇴적층은 주로 오대천 본류의 하천 작용에 의하여 형성된 것으로 인식되어 왔다. 그러나 수항리 인근에 존재하는 현 하상 대비 20-40m대의 퇴적층의 특성에 대한 조사 결과 하천 인근의 저위 퇴적층은 오대천의 하성 작용에 의한 것으로 볼 수 있었다. 그러나 지역의 소위 T3 이상의 고단 단구들의 퇴적층의 성격은 퇴적물의 배치 방향, 퇴적물의 암종 등에 기반하여 볼 때 오대천 본류의 직접적인 하성 작용에 의한 것으로 판단할 수 있는 증거들이 발견되지 않았다.

퇴적층의 특성과 인근 산지에 발달한 유수 이동 퇴적층의 성격을 토대로 볼 때 기존에 고위 단구 퇴적층으로 인식되던 퇴적층은 기본적으로 오대천 본류에서 운반되어 형성된 하안 단구라기보다는 인근의 산지에서 기원한 지류를 통하여 하천에 연한 사면으로부터 직접 공급되는 퇴적층으로 판단된다. 한편 이 퇴적층의 경우 기반암면에서 퇴적층의 상부까지의 층후가 10m 이내의 얇은 퇴적층으로 볼 수 있어 전반적인 기복의 형상이 퇴적 기원에 의한 것으로 보기 어려운 측면이 있다.

퇴적층의 최하부에 위치하는 기반암은 풍화의 진행 등이 미미한 상태이며, 기반암 위에 각력이 쌓여 있다. 이것으로 보아 기반암에 대한 침식이 진행된 뒤 사면으로부터 각력 퇴적물이 사면 프로세스를 통하여 의하여 공급되어 파복이 이뤄진 것으로 볼 수 있으며, 그 위에 보다 원마도가 높은 물질의 집적이 이뤄진 것으로 판단된다. 각력 퇴적층 상부에는 원력과 점토질 물질이 고화된 매트릭스가 혼재하는 층위가 최소 3개의 사이클을 보이며 퇴적되어 있으며, 입자의 상향 세립화 경

향성과 같은 일관성은 관찰되지 않는다. 따라서 이 퇴적층들은 각각의 개별적인 시기에 인근의 사면으로부터 운반되어 퇴적된 층으로 보이며, 입자의 형상에 의하면 약간의 원마도를 지니는 산지 하천 퇴적층 또는 사면에 형성된 일시적인 유수에 의한 퇴적층으로 볼 수 있다.

사사

본 연구는 2011년 한국지질자원연구원의 “극한재해 및 해수면 변동 예측을 위한 돌발 기후변화연구”의 위탁 연구 과제인 “조립 퇴적 물질을 이용한 고홍수 퇴적층 연대 추정 기법 개발”의 지원을 통해 이루어졌습니다.

참고문헌

- 강원도, 1996, 「오대천 하상 정비 기본계획」.
- 대한지질학회, 2001, 「한국의 지질」, 시그마프레스.
- 박용안, 1982, 「해양지질학 및 퇴적학 실험」, 집문당.
- 윤순옥·황상일·이광률, 2007, “강원도 영동·영서 하천의 하안단구 지형 발달-내린천, 연곡천, 골지천, 오십천을 사례로,” 대한지리학회지, 42(3), 388-404.
- 이광률, 2009, “오대천의 특성과 하안단구의 형성과정,” 대한지리학회지, 44(3), 224-239.
- 이광률·김대식·조영동, 2008, “강원도 평창군 진부 단층의 지형 및 활동성,” 대한지리학회지, 43(6), 775-790.
- 장재훈, 2002, 「한국의 화강암 침식 지형」, 성신여대 출판부.
- 조성권·이철우·손영관·황인걸, 1995, 「퇴적학」, 우성.
- 지광훈·장동호·박지훈·이성준, 2009, 「위성에서 본 한국의 산지지형」, 한국지질자원연구원.
- 최성길·신희철, 1995, “계룡산지 서쪽의 완사면상 선상지,” 한국지형학회지, 2(2), 101-114.
- Benn, D.I. and Ballantyne, C.K., 1993, The description and representation of particle shape, *Earth Surface Processes and Landforms*, 18, 665-672.
- Blair, T.C. and McPherson, J.G., 2009, Processes and forms of alluvial fans, in Parsons, A.J. and Abrahams, A.D. eds., *Geomorphology of Desert Environments* 2nd ed., Springer, 413-467.
- Chin, A., 1989, Step pools in stream channel, *Progress in Physical Geography*, 13, 391-407.

- Dohrenwend, J.C. and Parsons, A.J., 2009, Pediments in arid environments, in Parsons, A.J. and Abrahams, A.D. eds., *Geomorphology of Desert Environments* 2nd ed., Springer, 377-411.
- Fairbridge, R.W., 1968, Gradation, in Fairbridge, R.W. ed., *The Encyclopedia of Geomorphology*, Reinhold Book, 485-486.
- Graham, D.J. and Midgley, N.G., 2000, Graphical representation of particle shape using triangular diagrams: an Excel spread sheet method, *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 1473-1477.
- Grant, G.E., Swanson, E.F. and Wolman, M.G., 1990, Patterns and origins of stepped-bed morphology in high gradient streams, western cascades, Oregon, *Geological Society of America Bulletin*, 102, 340-352.
- Harvey, A., 2004, Alluvial fan, in Goudie, A. ed., *Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge, 15-19.
- Hoey, T.B. and Ferguson, R., 1994, Numerical simulation of downstream fining by selective transport in gravel bed river: Model development and illustration, *Water Resources Research*, 30(7), 2251-2260.
- Johnson, P.G., 1995, Debris transfer and sedimentary environments: Alpine glaciated Area, in Slaymaker, O., ed., *Steepland Geomorphology*, Wiley, 27-44.
- Knighton, D., 1998, *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*, Arnold.
- Miao, X., Lu, H., Li, Z. and G. Cao, 2008, Paleocurrent and fabric analyses of the imbricated fluvial gravel deposits in Huangshui valley, the northeastern Tibetan Plateau, China, *Geomorphology*, 99, 433-442.
- Pettijohn, F.J. and Lundahl, A.C., 1943, Shape and roundness of Lake Erie beach sands, *Journal of Sedimentary Petrology*, 13(2), 69-78.
- Plumley, W.J., 1943, Black hills terrace gravels: a study in sediment transport, *Journal of Geology*, 56, 526-577.
- Shaw, J. and Kellerhals, R., 1982, The composition of recent alluvial gravels in Alberta river beds, *Alberta Geological Survey Bulletin*, 41.
- Sneed, E.D. and Folk, R.L., 1958, Pebbles in the lower Colorado river, Texas, a study of particle morphogenesis, *Journal of Geology*, 66, 114-150.
- Twidale, C.R., 1968, Pediments, in Fairbridge, R.W. ed., *The Encyclopedia of Geomorphology*, Reinhold Book, 817-818.
- Wentworth, C.K., 1922, A method of measuring and plotting the shapes of pebbles, *United States Geological Survey Bulletin*, 730, 91-102.
- Wohl, E.E., 2000, *Mountain Rivers*, American Geophysical Union.
- 교신 : 김종연, 361-763, 충북 청주시 흥덕구 내수동로 52, 충북대학교 사범대학 지리교육과 (이메일: terraic@cbnu.ac.kr)
- 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: 2012년 6월 1일
심사완료일: 2012년 6월 12일
투고확정일: 2012년 6월 16일