

## 강원도 평창군 진부 단층의 지형 및 활동성

이광률\* · 조영동\*\* · 김대식\*\*\*

### A Study on the Geomorphology and Activity of Jinbu Fault in Pyeongchang-gun, Gangwon Province

Gwang-Ryul Lee\* · Young Dong Cho\*\* · Dae Sik Kim\*\*\*

**요약** : 본 연구는 강원도 평창군의 진부 단층선을 대상으로, 단층 및 하천 지형의 분포 특성과 단층 파쇄 점토의 광물 조성을 분석하여, 활단층의 존재 가능성을 살펴보았다. 진부 단층선을 따라 오대천의 상류와 연곡천 상류는 뚜렷한 단층선곡을 형성하고 있다. 진부 단층선의 남단인 간평리의 오대천 우안의 사면에서는 삼각말단면, 단층잔구, 단층와지, 선상지 등 단층 작용과 관계된 지형들이 선상으로 분포하고 있다. 단층와지에 위치한 5개의 노두(jbf1~5)에서는 단층 파쇄 점토대가 형성되어 있다. 특히, 화강암 풍화층에 발달한 단층 노두인 jbf1은 뚜렷한 단층면을 가지며, 일라이트와 로몬타이트를 함유한 단층점토가 확인되고 있다. jbf4-2-3-5를 잇는 진부 단층선은 매우 오래전부터 작용했던 광역적인 압축 응력에 의한 것일 가능성이 크고, jbf1 단층은 신생대 제4기 플라이스토세 후기 이전의 시기에 발생한 진부 단층선의 지류 단층일 것으로 판단된다. 진부 단층선 동·서측 지괴의 수직적 변위 속도는 0.024~0.027m/ka로 계산되었다.

**주요어** : 단층 지형, 단층 점토, 파쇄대, 활단층, 하안단구, 태백 산지

**Abstract** : This study shows possibility of active fault, throughout analyzing distributional features of tectonic and fluvial geomorphology and mineral composition of fault fracture clay, at Jinbu fault-line system in Pyeongchang-gun, Gangwon Province. Fault-line valley was formed remarkably in the upper reaches of Odae River and upper reaches of Yeongok River according along Jinbu fault-line. Landforms show rectilinear distribution at right shore slopes of Odae River in Ganpyeong-ri, southern zone of Jinbu fault-line system, related to the tectonic processes, such as triangular facet, kembut, kerncol and alluvial fan. Fault fracture clay zones were developed at 5 outcrops(jbf1~5), located in kerncol. Particularly, jbf1 fault outcrop, developed at granite saprolite, has obvious fault plane and fault clay composed of illite and laumontite. The Jinbu Fault-line along jbf4-2-3-5 may be formed by regional compressive stress, and jbf1 fault may be suggested a tributary fault of the Jinbu fault-line formed before the late Pleistocene. The vertical displacement of the east and west blocks of the Jinbu Fault-line is estimated in 0.024~0.027m/ka.

**Key Words** : tectonic geomorphology, fault clay, fracture zone, active fault, fluvial terrace, Taebaek Mountains

\* 경북대학교 사범대학 지리교육과 전임강사(Full-time Lecturer, Department of Geography Education, Teachers College, Kyungpook National University), georiver@knu.ac.kr

\*\* 신녕중학교 교사(Teacher, Shinnyeong Middle School)

\*\*\* 경북대학교 교육대학원 지리교육과 석사과정(Master Student, Department of Geography Education, Graduate School of Education, Kyungpook National University), d810930@nate.com

## 1. 서론

### 1) 연구 목적

단층(fault)은 지층이 잘리면서 양쪽의 지괴가 서로 어긋나는 현상을 가리킨다(권혁재, 2006). 단층 중에서 신생대 제4기인 현재에도 지진이 발생할 때마다 변위를 계속하고 있는 것을 활단층(active fault, 활성단층)이라고 한다(조화룡, 1997). 한편, 지진(earthquake)이란 암석이 탄성 한계 이상으로 응력을 받는 경우에, 암석이 끊어지고 깨지면서 암석 내에 축적되었던 에너지가 일시에 해제되어 발생하는 파동 현상이다(양승영, 2001; Burbank and Anderson, 2001). 따라서 구조적인 힘에 의해 암석이 파쇄되는 과정인 단층 작용은 지진 발생의 근원으로 인식되기 때문에, 단층 지역의 특

성을 이해하는 것이 지진 연구의 가장 첫 번째 단계라고 할 수 있다(Keller and Pinter, 1999).

지진은 인간에게 막대한 인명 및 재산 피해를 발생시키고 있다. 지진은 1차적으로 지표의 심각한 흔들림을 통해서, 그리고 2차적으로는 액상화(liquefaction), 산사태(landslide), 화재, 쓰나미(tsunami), 홍수 등을 발생시켜 자연 환경과 인간 생활에 영향을 미친다(Murck *et al.*, 1999; Keller and Pinter, 1999). 최근(2008년 5월 12일) 중국의 쓰촨성에서 발생한 리히터 규모 7.8의 대지진은 인명피해가 10만 명에 달하면서, 우리나라를 비롯한 전 세계인들에게 지진에 대한 관심과 공포심을 제공했다.

우리나라에서도 지진은 끊임없이 발생하고 있는데, 기상청 자료에 따르면, 1978년부터 2007년까지, 30년 동안 1년 평균 25.8회의 지진이 발생하였으며, 그 중에서 규모 3.0 이상의 지진은 연 평균 8.9회가 발생하였

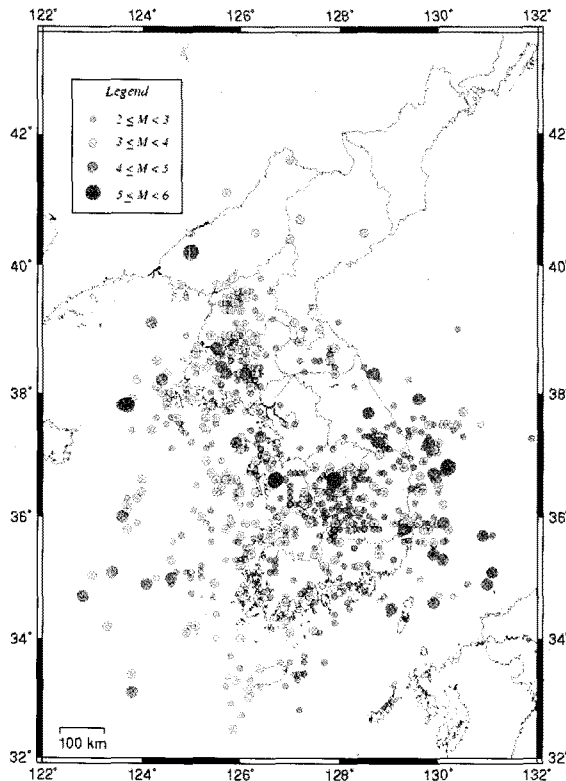


그림 1. 1978~2007년 동안 지진의 진앙 분포도(기상청 홈페이지)

다. 특히, 2007년 1월 20일에 평창군 진부면에서 발생한 리히터규모 4.8의 오대산 지진은 최근 우리나라에서 발생한 지진 중에 1996년 리히터규모 4.5의 영월 지진과 더불어, 역사적으로 한반도에서 지진 활동의 빈도가 높지 않은 지역에서 발생한 대표적인 중규모의 지진이었다(경제복 등, 2007).

지난 30년간 우리나라에서 발생한 지진의 진앙 분포도(그림 1)에서 확인되었듯이, 본 연구지역을 포함하는 경기·강원의 내륙 지역은 다른 지역에 비해 상대적으로 지진 발생의 빈도가 미약하게 나타난다. 우리나라에서 발생한 지진의 진앙 분포에 대해서, 전명순(1995)과 김성균·백상선(2000)은 황해도-충남-경북을 잇는 L자형 분포를 보인다고 주장하였으나, 경제복(1993)은 뚜렷한 밀집 현상이나 대상 분포가 나타나지 않는다고 주장하였다.

그동안 지진 발생과 관련된 활단층에 대한 연구는 거의 대부분이 우리나라의 남동부에 위치한 양산 및 울산 단층대를 대상으로 진행된 것들이며, 우리나라 남동부 이외의 지역에서 활단층을 지시하는 파쇄대가 발견되거나 이에 대한 연구가 진행된 바는 거의 없다.

본 연구는 2007년 오대산 지진의 진앙 지역에 발달한 강원도 평창군 진부면의 진부(또는 월정사) 단층선을 대상으로 하여, 이 일대에서 관찰되는 단층 지형과 하천 지형의 특성을 검토하고, 단층선이 지나는 것으로 분석된 지점에서 관찰된 단층 파쇄대 노두를 대상으로 단층면의 형태적 특성과 파쇄대에서 발견된 단층 점토(fault clay, fault gouge)의 광물 조성을 분석하였다. 이를 통해서, 그동안 단층 및 단층 지형에 대한 보고와 연구가 거의 없었던, 우리나라 중부지방의 태백산지에 위치한 진부 단층선의 단층 활동 가능성에 대해 검토하고자 한다.

## 2) 선행 연구

활단층과 관련한 연구는 그동안 구조 지질학 및 구조 지형학 분야의 주관심사였으며, 우리나라에서는 활단층으로 인정되는 한반도 남동부의 양산 및 울산 단층대 지역에 발달한 단층의 지질 및 지형적 특성에 대한 연구가 대부분이다.

우리나라에서 활단층에 대한 지질학 분야의 연구는, 미진 활동 기록을 토대로 양산 단층이 명백한 활단층으로 판단된다고 보고한 이기화·나성호(1983)로부터 시작되었다. 이후, 이기화 등(1987, 1988, 1989)은 경기육괴의 추가령 단층대, 옥천대, 영남육괴를 대상으로 단층의 존재와 지진 활동에 대해 연구하여, 이들 지역에서 활단층의 존재 가능성을 시사하였으나, 단층 노두를 대상으로 한 구체적인 증거는 제시하지 못하였다. 1990년대 후반에 들어서, 야외 노두에 대한 트랜지 조사(조사)가 본격적으로 실시되면서, 경제복(1997)을 시작으로 하여, 양산 및 울산 단층을 대상으로 한 단층 작용의 과정과 시기, 단층대 주변의 지형, 단층 파쇄대의 암석 및 광물 특성 등을 주제로 한 연구(김인수 등, 1997; 경제복 등, 1999; 이봉주 등, 1999; 장태우·추창오, 1999; 경제복·장태우, 2001; 장태우, 2001; 류충렬 등, 2002; 최병영 등, 2002; 이희권·양주석, 2005; 장태우 등, 2005; 박성민 등, 2007)가 현재까지 수십 편에 달하고 있다.

한편, 지형학 분야에서도 단층 작용에 따른 구조 지형의 특성과 선상지 및 하안단구 등 하천 지형의 변위를 주제로 한 연구(조화룡, 1997; 윤순옥·황상일, 1999; 이민부 등, 2001; 황상일·윤순옥, 2001)가 이루어지고 있다. 그러나 활단층을 주제로 하였거나 단층의 활동성에 대한 분석을 실시한 연구는 모두 양산 및 울산 단층대에 국한되어 있다.

본 연구 지역과 관계된 우리나라 중부 지방에서의 단층 작용에 대한 연구로, 김기영·허식(1999)은 강원도 홍천군의 중생대 백악기 풍암분지를 대상으로 백악기에 진행된 이 지역의 단층작용과 퇴적암의 형성 과정에 대해 설명하였다. 그리고 이운수 등(2001)은 추가령 단층곡을 대상으로 고지자기 연구를 실시하여, 추가령 단층선은 백악기 후기 이래로 큰 지구조 운동을 경험하지 않았다고 해석하였다. 또한 이희권·홍덕균(2007)은 충남 연기군의 단층애를 대상으로 ESR 및 OSL 연대측정을 실시하여, 이 지역의 단층들이 2~3 백만년 전에 활동하였으며, 그 이후에는 활동을 멈춘 것으로 추정된다고 하였다. 따라서 현재까지, 중부 지방에서 신생대 제4기 동안에도 활동하였거나 활동하고 있는 단층에 대해서는 밝혀진 바가 없다고 볼 수 있다.

그러나 앞서 언급했듯이, 중부 지방에서도 활단층의 존재 가능성을 암시하는 지진들이 발생하고 있으며, 그 대표적인 사례로 1978년 홍성 지진, 1996년 영월 지진, 2007년 오대산 지진을 들 수 있다. 홍성 지진에 대해서 이기화 등(1986)은 홍성읍을 통과하는 북북동 방향의 구조선에 의해 발생되었다고 밝히면서 추가령 단층대의 남부가 활성일 가능성을 제시하였다. 영월 지진에 대해 박창업 등(1998)은 진원은 스텝스트가 포함된 주향이동 단층으로서, 동북동-서남서 방향으로 압축응력이 작용한 것으로 보았다. 그리고 본 연구 지역인 오대산 지진에 대해서 경재복 등(2007)은 진원의 깊이 약 10km의 천발지진으로서 북북동-남남서 주향의 주향이동 및 역단층 운동이 우세했던 것으로 분석하고, 이 지역을 통과하는 월정사 단층선이 지진의 기인 단층의 역할을 한 것으로 추정하였다.

### 3) 연구 방법

진부 단층선 일대에서 관찰되는 단층 지형의 특성을 검토하기 위하여, 1970년에 촬영한 1:37,500 축척의 항공사진을 판독하고, 1:25,000 및 1:5,000 수치지형도를 토대로 ArcGIS 프로그램을 이용해 DEM(Digital Elevation Model) 음영기복도를 작성하여, 단층 작용과 관련된 지형과 범람원 및 하안단구 지형면을 분류하고 단층선을 추출하였다. 다음으로, 현지 야외조사를 실시하여 간평리 일대 단층 지형의 특성을 파악하고, 단층선에 위치한 5개 지점에서 단층 파쇄대 노두를 발견하여 그 특성을 관찰하였다. 그리고 고도계를 이용하여 연구 지역의 하상, 범람원, 하안단구 등 하천 지형면의 고도를 조사하고 비고차를 계산하고, 하천 종단면상에서 하상비고의 변화를 파악함으로써, 하천 지형면과 단층 작용과의 관계를 검토하였다.

5개 단층 파쇄대 노두의 단층 및 파쇄 점토와 풍화층의 광물 조성을 확인하기 위하여, 표본을 수집하여, 경북대학교 공동실험실습관에서 X선 회절 분석을 실시하였다. 분석된 회절 분석 패턴을 토대로 광물을 동정하고, 해당 광물이 표시된 X선 회절 분석 그래프를 작성하였다. 그리고 이러한 야외조사 및 광물 분석 결과를 종합하여 단층작용의 활동성 가능성에 대해 검토

하였다. 단층의 수직적 변위량을 파악하기 위해, 오대천의 하안단구 1면과 2면의 퇴적층을 대상으로, 한국 기초과학지원연구원에 의뢰하여 OSL(Optically Stimulated Luminescence) 연대 측정을 실시하여, 하안단구 1면과 2면의 절대 연대와 단층선 동·서측 간의 하상비고의 고도차를 토대로 변위량을 계산하였다.

## 2. 진부 단층선 일대의 지형

### 1) 진부 단층선 일대의 지형 및 지질 개관

본 연구의 대상인 진부 단층선은 강원도 평창군 진부면의 간평리와 동산리 일대에 발달한 북북동-남남서 주향의 단층선으로, 월정사 부근을 지나고 있어 월정사 단층선이라고도 불리지만, 이 단층선은 실제로 월정사가 위치한 지점을 통과하지 않으며, 단층선의 명칭에 사찰의 이름을 사용하기보다는 지역을 대표하는 행정구역명을 사용하는 것이 타당하다고 판단되어, 본 논문에서는 진부 단층선으로 명명하였다.

진부 단층선은 간평리와 동산리 일대에서 오대산에서 발원하여 북에서 남으로 흐르는 오대천의 하곡과 위치 및 방향이 일치하며, 북쪽으로는 태백 산지의 분수계를 넘어 강릉시 연곡면 연곡천의 하곡과 연결되어, 단층선곡의 지형이 매우 뚜렷하게 나타난다(그림 2). 그러나 단층선의 남쪽에 해당되는 상진부리부터는 지형도 상에서 단층선의 위치를 유추할 수 있는 지형의 선구조가 명확하게 나타나지 않으며, 지질도 상에도 단층선이 표시되어 있지 않다. 그림 2에서 표현한 단층선은 지질도에 표시된 단층선을 바탕으로 한 DEM 지도를 참고로 선구조가 뚜렷한 지점들을 연결한 것이며, 단층 추정선은 1970년에 촬영된 1:37,500 축척의 항공사진을 판독하여 추출해 낸 것으로, 지형의 선구조가 나타나는 지점들을 연결한 선이다.

진부 단층선이 지나는 평창군 진부면 일대의 지질 및 지형 특성을 개략적으로 살펴보면, 오대천의 최상류에 해당하는 북부 지역은 선캄브리아기 혼성편마암으로 이루어져 있고, 오대천의 상류에 해당되는 진부

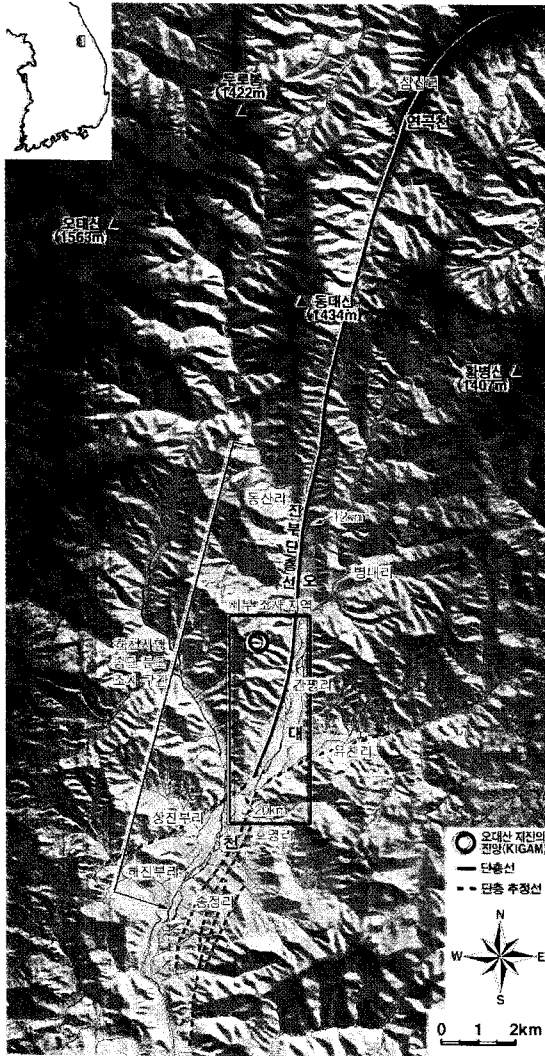


그림 2. 진부 일대의 지형

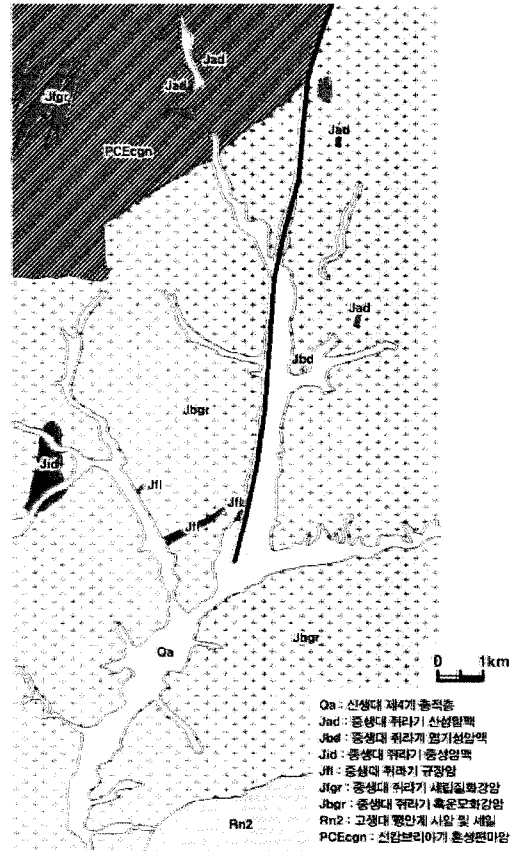


그림 3. 진부 일대의 지질

면의 중부 지역은 중생대 쥐라기 대보화강암이 넓게 분포하며, 오대천의 하류에 해당되는 진부면의 남부에는 고생대 평안계 퇴적암이 나타난다. 화강암 분포 지역에는 산성, 중성, 염기성 암맥들이 국지적으로 발달하고 있다. 화강암은 편마암에 비해 풍화·침식에 상대적으로 약하기 때문에, 화강암 지역은 편마암이 분포하는 지역에 비해 상대적으로 고도가 낮고 경사가 완만하며 기복이 작아, 저기복의 낮은 산지와 넓은 충적지가 발달되어 있다. 특히, 진부 단층선 및 단층 추정선을 따라서는 오대천이 흐르면서 측방침식과 퇴적

을 통해 상대적으로 넓은 하곡의 충적지를 형성하고 있다.

본 연구에서는 진부 단층선에서도 단층에 의한 지형적 선구조가 매우 뚜렷하며 조사 과정에서 단층 파쇄대가 발견된, 간평리 일대에 대해 단층선 부근의 지형 발달, 단층 파쇄대의 특성, 파쇄대 구성물질의 물리·화학적 특성에 대해 분석하였다. 특히, 이곳은 한국지질자원연구원(KIGAM)에서 2007년에 발생한 오대산 지진의 진앙지로 발표한 지역이기 때문에(그림 2), 단층의 활동성을 밝히는데 매우 중요한 지역이라고 판단

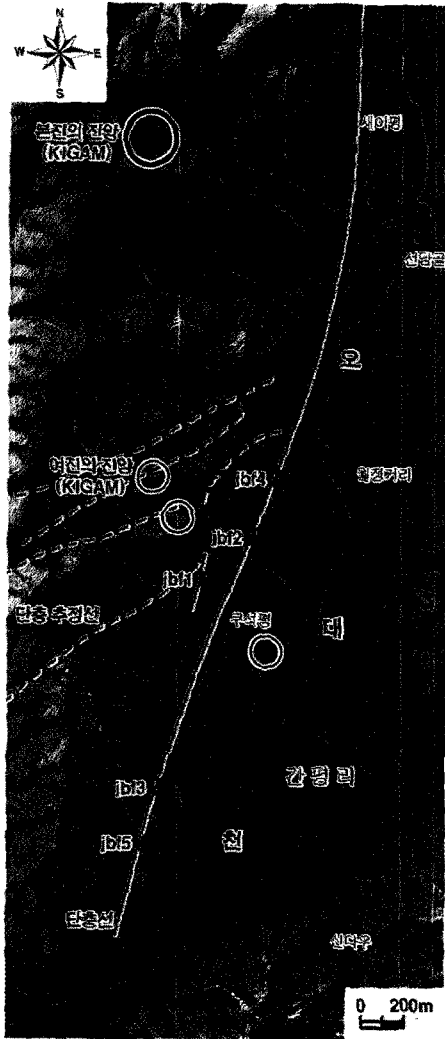


그림 4. 연구 지역의 지형과 단층 파쇄 노두

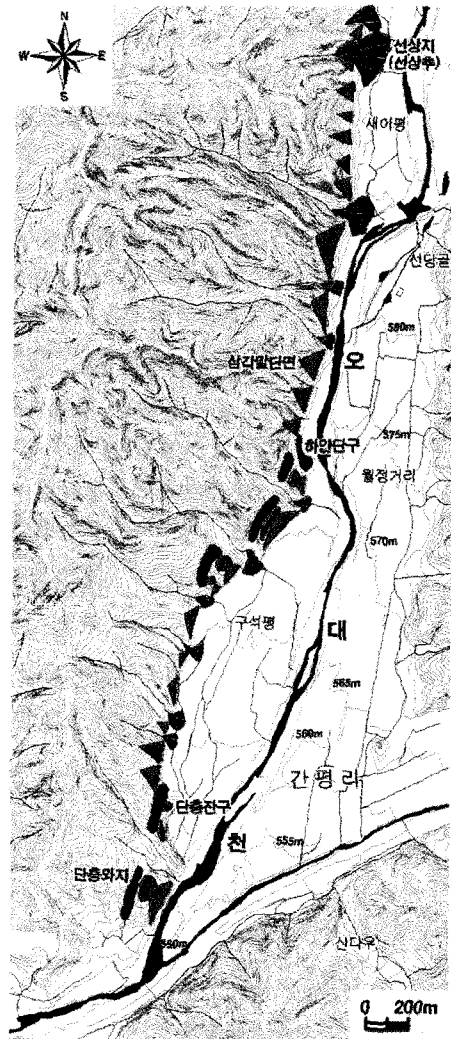


그림 5. 연구 지역의 단층 관련 지형 분류도



그림 6. 구석평 마을 일대의 단층 지형과 노두의 위치

되었다.

## 2) 간평리 일대의 단층 지형

단층이 발생한 지표면은 단층선을 따라 암석이 파쇄되었기 때문에, 다른 지역에 비해 침식작용이 쉽게 발생하며, 이러한 연약대를 따라 일반적으로 하천이 흐르면서 선형의 하곡이 발생된다(Keller and Pinter, 1999). 진부 단층선에서도 단층선을 따라 형성된 이러한 선형의 하곡이 잘 발달되어 있다. 진부면 일대의 오대천 상류 지역은 대체로 북북동-남남서 주향의 단층선을 따라 하곡이 형성되어 있으며, 특히, 간평리 일대는 단층선과 하곡이 정확히 일치하고 있다. 간평리 일대의 선형 하곡은 동대산 남동쪽의 소지류의 하곡과 연결되며, 태백산맥의 분수계를 넘어 영동지방으로 넘어가면, 진부 단층선의 연장선을 따라 강릉시 연곡면 연곡천의 하곡이 매우 뚜렷하게 형성되어 있다.

지질도에 표시된 진부 단층선 지역에서도 가장 남쪽에 위치한 평창군 진부면 간평리 일대에는 다양한 단층 지형이 관찰된다. 1:5,000 수치지형도를 토대로 작성한 이 지역의 DEM 지도를 확인해보면, 단층선이 지나는 것으로 추정되는 간평리의 오대천 우안의 사면에서는 단층작용과 관계가 깊은 삼각말단면(triangular facet), 단층잔구(kernbut), 단층와지(kerncol), 선상지(alluvial fan) 또는 선상추(alluvial cone) 등의 지형이 모식적으로 잘 발달되어 있다(그림 4, 5).

삼각말단면은 단층애를 가로지르는 지류 하곡이 형성되면서 단층애가 개식되는 과정에서 쉽게 발생하므로, 삼각말단면의 선적인 분포는 이를 따라 단층애가 존재할 가능성을 제시한다. 간평리에서는 곡류하는 오대천의 측방침식에 의해 형성된 하식으로 추정되는 두 세 지점의 삼각말단면을 제외하면, 대부분의 삼각말단면이 오대천 우안의 단층선 및 단층추정선을 따라 매우 연속적인 분포를 보이고 있어, 이곳의 삼각말단면은 단층 작용에 의해 형성된 단층애로부터 발달하였을 가능성이 높은 것으로 보인다.

단층선이 지나는 연약대의 차별침식으로 형성된 좁고 긴 와지를 단층와지(잔류구릉), 이러한 단층와지에 의해 산지의 능선과는 다소 분리된 형태로 나타나는

구릉을 단층잔구(잔류구릉)이라고 한다(이민부 등, 2001). 간평리 구석평 마을의 북쪽과 남쪽에 위치한 남동쪽으로 돌출된 능선에서 이러한 단층와지와 단층잔구가 매우 명확하게 나타나고 있으며, 단층와지는 단층선의 분포와 거의 일치하고 있다(그림 6).

단층애 아래는 선상지가 발달하기에 이상적인 곳으로(권혁재, 2006), 산지의 좁은 하곡을 흐른 하천이 단층애 또는 삼각말단면의 사이를 통과하여 전면에 펼쳐진 넓은 단층곡의 평탄지에 도달함으로써, 유속의 감소로 퇴적 작용이 활발해져 선상지를 형성할 수 있다. 간평리에서도 선상지 또는 이보다 규모가 작고 경사가 급한 선상추와 같은 지형들이 각 삼각말단면의 사이를 통과하여 하곡에 유입하는 지류 하천들의 곡구부를 중심으로 잘 발달되어 있다.

## 3. 진부 단층 파쇄대 노두 및 점토 분석

단층 관련 지형이 매우 뚜렷한 간평리의 구석평 마을에서 단층와지가 분포하는 지점을 중심으로 단층선이 지나는 곳을 따라, 단층 파쇄대로 추정되는 5개의 노두(jbf1~jbf5)를 발견하여 조사·분석하였다. 이들 5개 노두 지점과 그 일대에서는 사면운반작용이 활발하게 진행되어, 사면에 크고 작은 붕괴 와지들이 발달되어 있었고, 특히, jbf1, 2, 3 지점은 인위적인 요인이 전혀 개입되지 않은 자연 상태의 사면에 산사태가 발생하였던 곳으로, jbf1, jbf2는 사면 붕괴로 인해 기반암 풍화층과 녹설층이 그대로 노출된 와지를 이루고 있고(그림 7, 9), jbf3은 사면 붕괴지에 사방 공사를 실시하여 계단상의 사면을 조성하고 초본류의 식물을 식재한 곳이다(그림 11).

노두 jbf1은 북위 37° 40' 31", 동경 128° 35' 22"에 위치하며, 5개 지점 중 유일하게 단층과 단층 점토(fault gouge)가 명확하게 나타나는 곳이다(그림 7, 8). jbf1은 단층면의 주향이 30°로서, 북북동-남남서 방향이며, 단층면의 경사가 평균 74°로 대체로 높게 나타난다. 화강암 풍화층(saprolite) 내부에 존재하는 단층면은 청회색의 띠로 나타나며, 상부는 지표와 접하지 못



그림 7. 노두 jbf1의 단층면



그림 8. jbf1의 단층 점토

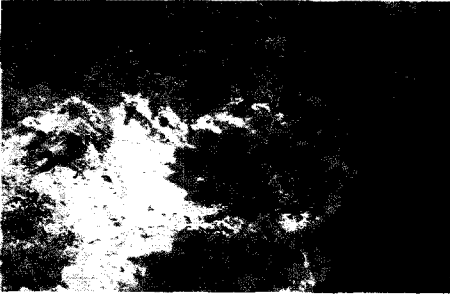


그림 9. 노두 jbf2의 전경



그림 10. 노두 jbf2의 파쇄 점토



그림 11. 노두 jbf3 부근의 단층와지

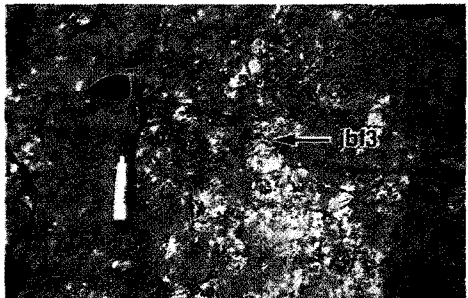


그림 12. 노두 jbf3의 파쇄 점토



그림 13. 노두 jbf4의 파쇄 점토



그림 14. 노두 jbf5의 전경



하고 지표면으로부터 깊이 2.7m에서 단층면이 나타나기 시작하여 하부로는 점점 두꺼워져서 최하부에서는 최대 약 12cm까지 나타난다. 이 청회색 단층면 내에는 각력질의 화강암 암편들과 암편의 표면에 수분 포화도가 높으며 매우 끈적거리는 청회색의 점토층이 존재한다.

단층면에 형성된 단층 점토와 단층면 좌우의 화강암 풍화층의 구성 광물을 비교해보기 위하여 X선 회절 분석을 실시하였다. 그 결과, jbf1-1.0, 2.0, 3.0의 세 지점 모두 동일한 유형의 광물 조성을 보였는데, 단층 점토에서는 석영(quartz), 일라이트(illite), 로몬타이트(laumontite)가 특징적으로 나타났으며, 화강암 풍화층에서는 일라이트와 로몬타이트는 나타나지 않으며, 석영(quartz), 사장석(plagioclase), K장석(K-feldspar), 카올리나이트(kaolinite), 스멕타이트(smectite)가 검출되었다(그림 15, 16, 17).

기존의 단층 파쇄대와 관련한 연구들에서 로몬타이트와 일라이트에 대한 분석은 상당수 확인되는데, 박성민 등(2007)에 의하면, 로몬타이트는 경상북도 경주시 외동읍 일실단층에서 나타나는 단층 점토의 특징적인 광물로서, 단층 활동 시 또는 후기에 변질작용에 의해 형성된 Ca 불석광물이라고 설명하였다. 장태우·추창오(1999)는 양산단층대의 단층점토는 일라이트층과 스멕타이트층이 규칙적으로 교호하는 특징을 보인다고 하였다. 김건영 등(2004)은 대전 유성 지역 화강암 내 심부 단열대에서 산출된 광물의 양은 방해석, 로몬타이트, 일라이트 순으로 나타난다고 하였다. 외국의 연구로, Scholz(2002)는 단층면의 마찰로 인한 낮은 열과 압력에 의해서 스멕타이트의 한 종류인 몬모릴로나이트는 일라이트로 쉽게 변화하는 경향이 있다고 하였다. Matsuda *et al.*(2004)은 일본의 고베 지진에 의한 Nojima 단층의 파쇄 단층면에서 열수 변질에 의한 카올리나이트, 스멕타이트, 로몬타이트 등이 발견되었다고 제시하였다. Miller(1999)는 미국 콜로라도 Sawatch Range 단층 형성사의 둘째 단계로서 로몬타이트로 충전된 단층에 대해 언급하였다. 이 외에도 압력에 의한 저변성 작용이나 열수 변질 등에 의해 로몬타이트가 형성된다는 연구 사례는 Aoyagi and Kazama(1980), Aguirre and Atherton(1987), Coombs(1993), Rahn *et*

*al.*(1994), Terabayashi and Maruyama(1998), White *et al.*(2004) 등 다수이다.

따라서 jbf1 노두에서는 주변 화강암 풍화층의 점토에서는 전혀 나타나지 않지만 단층 점토에서만 검출되는 일라이트와 로몬타이트를 주변의 풍화층과 대비되는 단층 점토의 특징적인 광물로 판단 할 수 있다.

노두 jbf2는 jbf1로부터 북동 방향으로 약 330m 떨어진 지점으로, 단층와지의 말단부에 위치하며, 상당히 최근에 자연적인 사면 붕괴가 발생하면서 노두가 드러난 곳이다(그림 9). 사면 붕괴 지점의 상부는 깊이가 최소 2m 이상, 폭은 약 3~4m인 점토층이 발견되며, 이곳의 점토도 수분 포화도가 높고 매우 끈적거리며, 밝은 청회색과 황갈색을 띠고 있다(그림 10). 점토층의 내부에는 단층각력으로 추정되는 1cm 내외의 세립 및 각력질의 화강암 암편들도 다수 포함되어 있다. jbf2의 파쇄 점토에 대한 X선 회절 분석 결과도 jbf1의 단층 점토와 마찬가지로 일라이트가 포함되어 있으며, 카올리나이트도 검출되었다(그림 18).

노두 jbf4는 jbf2로부터 북북동 방향으로 약 300m 떨어진 지점에서 단층와지의 중앙부에 위치하고 있다. 폭 2~4m의 지류 하천의 하도 측면부에 사면 붕괴로 인해 교목이 쓰러져 있는 지점에서 발견된 노두로, 3~4m 폭의 점토대에서는 세립의 화강암 암편들과 이들의 가장자리에 청회색 및 황갈색을 띠는 점토가 복잡하게 혼합되어 나타나고 있다(그림 13). jbf4 노두의 점토대 상부에는 인접한 지류 하천에 의해 운반·퇴적된 하성층이 약 1.5~2.0m 두께로 나타나고 있다.

노두 jbf3은 jbf1로부터 남남서 방향으로 약 950m 떨어진 지점으로, 이곳 단층와지의 북단에 위치한다. jbf3 지점에서도 최근 산사태가 발생하였으며, 현재는 사방 공사가 실시되어 있다(그림 11). jbf3 노두의 점토층의 정확한 규모는 알 수 없으나, jbf2와 유사한 물리적 특성을 보이며, 주로 황갈색으로 띠고 있다(그림 12). jbf3의 파쇄 점토를 대상으로 한 X선 회절 분석 결과도, jbf1 단층 점토와 마찬가지로 점토광물 중에서는 일라이트가 유일하게 나타났다(그림 18).

노두 jbf5는 jbf3에서 남남서 방향으로 약 280m 떨어진 지점으로, 구석평 마을 남쪽에 분포하는 두 단층와지의 중앙부에 위치한다. 능선의 가장자리를 따라

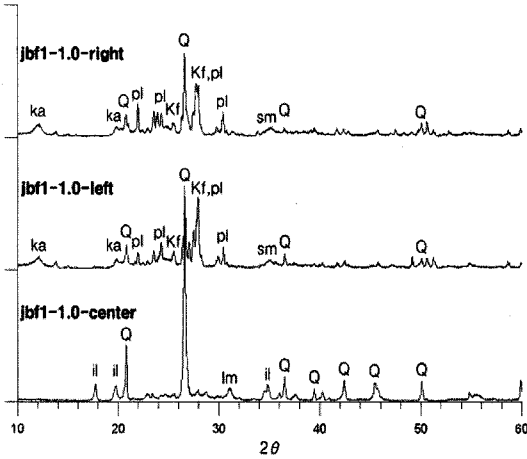


그림 15. jbf1-1.0의 단층 점토(center)와 화강암 풍화층(left, right)의 광물 조성(Q: 석영, pl: 사장석, Kf: K장석, ka: 카올리나이트, il: 일라이트, sm: 스멕타이트, lm: 로몬타이트)

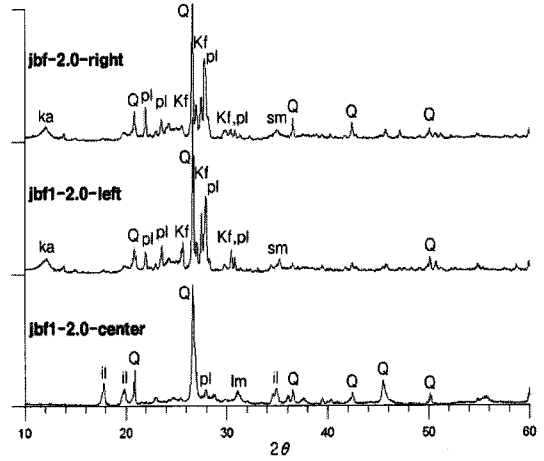


그림 16. jbf1-2.0의 단층 점토(center)와 화강암 풍화층(left, right)의 광물 조성(Q: 석영, pl: 사장석, Kf: K장석, ka: 카올리나이트, il: 일라이트, sm: 스멕타이트, lm: 로몬타이트)

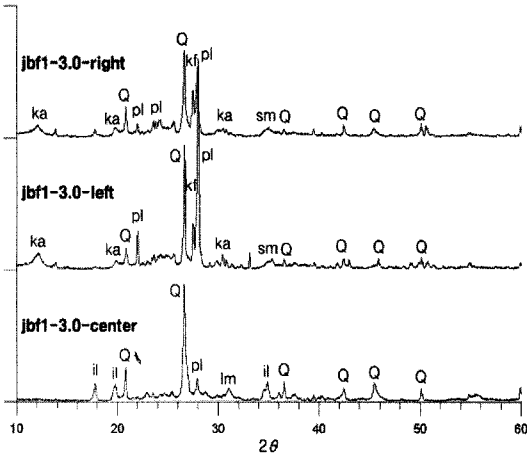


그림 17. jbf1-3.0의 단층 점토(center)와 화강암 풍화층(left, right)의 광물 조성(Q: 석영, pl: 사장석, Kf: K장석, ka: 카올리나이트, il: 일라이트, sm: 스멕타이트, lm: 로몬타이트)

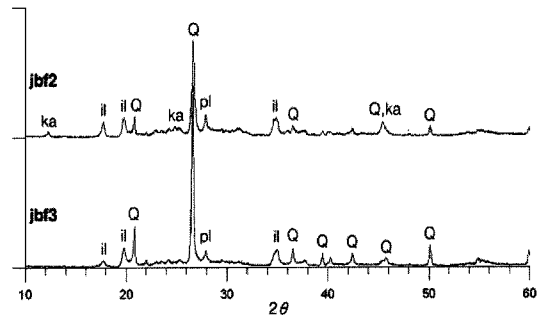


그림 18. jbf2와 jbf3 파쇄 점토의 광물 조성 (Q: 석영, pl: 사장석, ka: 카올리나이트, il: 일라이트)

소로를 만들면서 약 20m 이상 기반암이 노출된 곳이다(그림 14). 노두의 오른쪽, 즉 동쪽에 10m 정도의 폭을 이루는 암석은 주로 회색을 띠고 있는 규장암으로 판단되며, 해머를 사용해야 부수어질 정도로 강도가 높은 편이다. 규장암의 왼쪽(서쪽)에 위치한 황갈색의 암석은 화강암 풍화층으로서, 풍화가 상당히 진행된 편이다. 점토가 발견되는 곳은 바로 규장암과 화강암의 경계부로서, 3m 내외의 폭에서 세립의 단단한 암편

을 약간 포함한 청회색과 황갈색의 점토층이 나타난다.

한편, 1:50,000 오대산 도엽의 지질도 및 지질도폭 설명서(정창희 등, 1975)에 보면, 노두 jbf2와 jbf4를 잇는 지역에 유백색 및 회백색을 띠거나 풍화 표면에는 갈색을 띠는 중생대 규장암의 암맥이 분포하고 있다고 표현하고 있다. 따라서 앞서 설명한 jbf2~5의 점토대가 단층 작용과 관련된 것이 아닌 규장암의 풍화 산물

일 가능성도 생각해 볼 수 있으나, 그러한 가능성은 낮은 것으로 판단된다. 그 이유로, jbf2~5에 나타나는 점토의 성인 물질 또는 암석이 서로 다르다는 점을 들 수 있다. jbf2와 jbf3은 사면운반작용에 의해 이동되어 쌓인 녹설층을 기원으로 하여 점토가 형성된 것으로 보이지만, jbf4는 기반암인 화강암 풍화층을 기원으로 하여 점토가 형성되었으며, jbf5는 화강암과 규장암 모두를 기원으로 하고 있는 것으로 보인다. 따라서 선적으로 배열되어 나타나는 5개 노두의 점토가 모두 규장암의 풍화에 의해 형성되었다고 보기 어려우며, 추정 단층선과 일치되는 선적인 배열을 가지면서 단층와지로 분류된 지점에서만 발견된다는 점은, 풍화에 의한 것이라기 보다는 단층 작용에 의해 형성되었을 가능성이 높음을 시사한다.

또한, X선 회절 패턴을 이용하여 광물 조성을 분석한 결과에서, 단층이 명확하게 나타나는 jbf1의 단층 점토와 jbf2와 jbf3의 파쇄 점토를 비교할 때, 로몬타이트의 유무를 제외하면 X선 회절 패턴이 거의 유사하다는 점과, jbf1의 단층 점토에서만 확인되었던 일라이트가 jbf2와 jbf3의 파쇄 점토에도 나타난다는 사실은 jbf2, 3을 구성하는 점토의 형성 과정과 단층 작용 사이의 관련성을 지시한다고 볼 수 있다.

#### 4. 진부 단층의 활동성

간평리 일대에서 발견된 jbf1~5까지 5개 노두의 상태와 구성물질의 특성을 종합해보면, jbf1은 단층면과 단층 점토가 명확하게 나타나지만, jbf2~5는 단층면이 발견되지 않고, 3~4m 폭의 파쇄 점토대만 발견되고 있다. 또한 jbf1은 단층와지의 위치 및 방향과 정확히 일치하지 않지만, jbf2~5는 모두 단층와지에서 발견되었다. 따라서 jbf1 지점의 단층과 jbf4에서 jbf5를 잇는 단층(그림 4) 서로 다른 시기에 다른 방식으로 운동하였던 단층으로 추정된다.

jbf4-2-3-5를 잇는 단층은 광역적으로 나타나는 진부 단층선과 일치하며, 파쇄대를 따라서 단층와지가 잘 발달되어 있다는 점에서, 매우 오래전부터 이 지역

에 작용하였던 광역적인 압축 응력에 따른 단층 운동에 의한 것일 가능성이 높다. jbf1은 단층면과 단층 점토가 분명하고 파쇄대의 규모가 매우 작으며 단층와지의 발달이 불량하다는 점에서, 상대적으로 짧은 기간 동안 단층 작용을 받은 진부 단층선의 지류 단층일 것으로 판단된다. 그리고 단층면의 경사가 고각으로 나타난다는 점에서 주향이동성 단층 운동일 가능성이 높다.

한편, jbf1은 단층면의 내부에서는 상대적으로 경도가 높은 화강암 암편으로 이루어진 단층 각력이 산출되지만, 단층면 주변의 기반암은 모두 호미로 쉽게 부서어지는 풍화된 새프롤라이트의 상태로 나타나고 있다. 만약, 풍화 작용이 진전된 후에 단층 작용이 발생하였다면 단층면 내에 강도가 높은 단층 각력이 존재하기는 어려울 것이다. 따라서 단층 작용과 풍화 작용의 선후 관계에서, 단층 작용이 풍화 작용보다 더 이전에 발생하였을 가능성이 높다. 화강암에서 기계적·화학적 풍화를 통한 새프롤라이트화 과정은 신생대 후반의 빙기와 간빙기를 거치는 동안에 활발하게 진행되었으므로, 결국 jbf1 단층이 발생한 시기는 신생대 제4기 플라이스토세 후기 이전의 어느 시기인 것으로 추정할 수 있다.

조화룡(2001)은 활단층의 증거가 되는 지질 및 지형 특성으로서, 단층 노두에서 제4기 지층의 변위, 미고결 상태인 단층점토의 존재, 제4기 지형면의 형태적 변위, 단층선을 가로지르는 소하천들의 오프셋(offset), 단층선을 따른 단층 와지의 선적 배열 등을 꼽고 있다.

연구 지역 내에서 단층선이 제4기 층적 지형면을 가로지르고 있어, 활단층의 증거가 되는 제4기 지층의 변위에 대해 조사가 가능한 곳은 구석평 마을 북쪽에 폭 5~15m의 소규모 하안단구이다. 그러나 현재 이곳은 도로가 지나고 가옥이 들어서 있어, 원 지형의 상태를 파악하기 어려운 부분이 있다. 따라서 추후, 진부 단층선이 지나는 구석평 마을의 서측 범람원에 대해 트랜치 조사를 실시한다면, 보다 명확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

단층 점토의 존재는 단층 jbf1에서 뚜렷이 확인되고 있다. 앞서 설명한 바와 같이, 단층면의 표면에 청회색을 띠는 로몬타이트와 일라이트를 포함한 단층 점토가

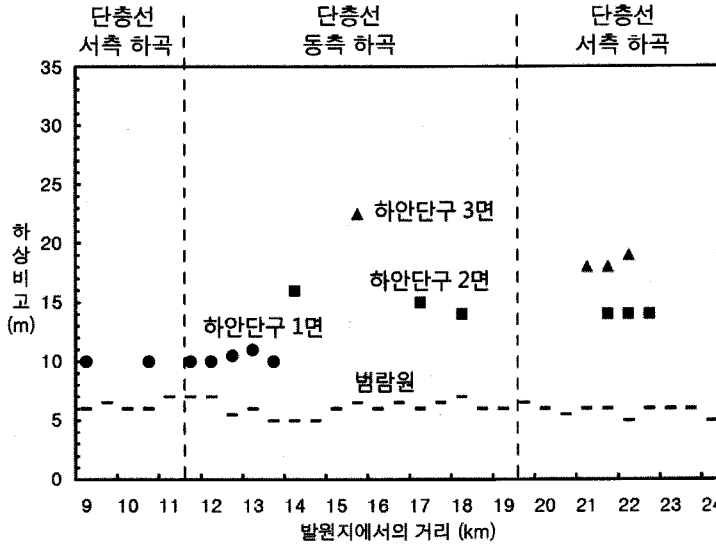


그림 19. 오대천의 동산리~하진부리 구간에서 하천지형의 하상비고 종단 분포도

산출되었다. 또한 진부 단층선이 지나는 나머지 jbf2~5 노두에서도 파쇄작용에 의한 것으로 추정되는 점토대가 발견되었다.

제4기 지형면의 형태적인 변위를 파악하기 위한 방법으로, 간평리 일대를 흐르는 오대천의 범람원과 하안단구를 조사하여 종단 분포도를 작성하였다. 하천 지형의 조사 범위는 오대천 발원지로부터 거리 9~24km 사이의 구간으로, 동산리, 간평리, 상진부리, 하진부리 일대가 포함된다(그림 2). 이 구간에서 오대천은 약 11.7km까지는 진부 단층선의 서쪽을 흐르다가, 약 11.7~19.7km 구간에서는 진부 단층선의 동쪽을 흐르며, 그 이후에는 단층선의 서쪽을 흐르고 있다. 따라서 하천 지형면의 종단 분포 상의 변위를 검토하기에 매우 유용한 구간이 될 수 있다.

진부 단층선을 기준으로 범람원과 하안단구의 하상비고의 변화를 조사한 결과(그림 19), 범람원은 전체적으로 5~7m 범위에서 분포하며, 단층선의 서측 하곡에 해당하는 9~11.7km, 19.7~24km에서는 평균 6.00m의 하상비고를, 단층선의 동측 하곡에서는 평균 6.03m의 하상비고를 나타내고 있다. 이러한 경향과 마찬가지로, 하안단구 1면의 하상비고는 단층선 서측에서 평균 10.00m, 단층선 동측에서는 평균 10.38m로 나타나

고, 하안단구 2면도 단층선 서측에서는 평균 14.0m, 동측에서는 약 15.0m로 나타나며, 하안단구 3면 역시 단층선 서측에서는 평균 18.3m, 동측에서는 22.5m로 나타나고 있다. 결국, 단층선의 동측에 위치한 하천 지형면이 서측에 비해 더 높게 나타난다는 점은 단층선을 경계로 동쪽의 지반이 상대적으로 상승하고 서쪽은 상대적으로 하강하였을 가능성을 제시하고 있다.

단층선 동·서측 지형면 사이의 평균 고도차는 범람원이 0.03m, 하안단구 1면이 0.38m, 하안단구 2면이 1.0m, 하안단구 3면이 4.2m로서, 오래된 지형면일수록 단층선의 동·서측 간의 고도차가 커지고 있어, 하안단구 3면 형성 이전의 시기부터 현재까지 단층선을 경계로 한 동쪽 지반의 상대적인 상승과 서쪽 지반의 상대적인 하강 운동이 꾸준히 있었음을 반영한다. 따라서 하천지형면 분포의 변위로 볼 때, 진부 단층선을 중심으로 동쪽 지반은 상승하며 서쪽 지반은 하강하는 형태의 구조 운동은 신생대 제4기 후반을 거쳐 최근까지 이어지고 있을 가능성이 높다.

다음으로, 단층선을 가로지르는 소하천들의 오프셋 현상에 대해 살펴보면, 그림 4와 5에서 나타나듯이, 단층선 서쪽의 산지를 흘러내려 오대천에 유입되는 소하천들의 단층선을 가로지르는 지점에서 미약하나마 하

도가 굴절 또는 곡류하는 경향을 보이고 있다. 그러나 이러한 소하천들은 넓은 평지를 자유롭게 곡류하는 하천들이 아니므로, 단층 작용에 의한 변위 이외에도 다른 여러 가지 요인들에 의해 하도의 굴절 또는 곡류가 이루어질 수 있다. 특히, 이들 소하천은 급경사의 좁은 하곡을 흐르다가 단층선을 가로지르는 지점이 되는 곡구부에서 완경사의 넓은 하곡에 도달함으로써 퇴적물을 쌓아 소규모의 선상지를 형성하고 있는데, 이러한 급격한 퇴적의 과정을 통해 단층과의 관련성이 적은 하도의 굴절 현상이 쉽게 나타날 수 있다. 그리고 이러한 사례는 실제로 연구 지역의 여러 소하천들에서 관찰되고 있다. 따라서 단층 작용에 의한 오프셋 현상은 본 연구지역에서는 적합하지 않은 활단층의 증거로 판단된다.

마지막으로, 단층선을 따른 와지의 선적 배열은 앞서 언급한 바와 같이 연구 지역에서는 매우 뚜렷하게 분포하며 선적인 연속성도 높기 때문에, 활단층의 증거로 제시될 수 있다.

위와 같은 논의를 종합할 때, 단층에 의해 변위된 제4기 퇴적층 노두가 확인되지 않았다는 한계점은 있으나, 미고결 상태의 단층점토가 존재하고, 단층선을 가로지르는 범람원과 하안단구면의 수직적 변위가 매우 뚜렷하게 나타나고 있으며, 단층선을 따라 단층 와지가 선적인 연속성을 가지며 배열되고 있다는 점에서, 신생대 제4기 동안 진부 단층이 활동하였을 가능성은 높다고 할 수 있다.

하안단구 1면과 2면의 절대 연대를 토대로 단층 동·서측 지괴의 수직적 변위량을 계산해 보면 다음과 같다. 하안단구 1면은 오대천 하류의 수항리 화의교 부근에서, 하안단구 2면은 수항리 수항마을 부근의 지형면에서 OSL 연대 측정을 실시한 결과,  $14 \pm 1\text{ka}$ 와  $42 \pm 3\text{ka}$ 의 절대 연대를 얻었다. 단층선 동·서측 하안단구 1면의 고도차가 평균  $0.38\text{m}$ 이므로, 하안단구 1면 형성 이후, 단층선 동·서측 지괴 간의 수직적 변위량은  $0.027\text{m/ka}$ 로 계산된다. 그리고 단층선 동·서측 하안단구 2면의 고도차는 평균  $1.0\text{m}$ 이므로, 하안단구 2면 형성 이후의 동·서측 지괴간의 수직적 변위량은  $0.024\text{m/ka}$ 로 계산된다. 따라서 하안단구 1, 2면의 절대연대를 토대로 계산한 진부 단층선 동·서측 지괴의

수직적 변위 속도는  $0.024 \sim 0.027\text{m/ka}$ 로 볼 수 있으며, 이는 윤순옥·황상일(1999)에 의한 울산 단층선에서 중위면 이상의 변위 속도인  $0.03 \sim 0.043\text{m/ka}$ 에 비하면 약 2/3에 해당되는 값으로, 울산 단층선 지역에 비하면, 진부 단층선 지역에서는 단층 작용에 의한 지괴의 수직적 변위가 상대적으로 느리게 발생하고 있음을 설명하고 있다.

## 5. 결론

강원도 평창군 진부면 간평리와 동산리 일대에 북북동-남남서 주향으로 발달한 진부 단층선에는 넓은 오대천의 하곡이 선적으로 잘 발달되어 있으며, 태백 산지를 넘어 강릉시 북부의 연곡천의 하곡으로 이어져, 진부 단층선에서는 단층선곡의 지형이 매우 뚜렷하게 나타난다. 특히, 진부 단층선의 가장 남쪽인 간평리의 오대천 우안의 사면에서는 단층작용과 관계가 깊은 삼각말단면, 단층간구, 단층와지, 선상지 등의 지형이 매우 모식적으로 발달되어 있다.

간평리 일대에서 단층선이 지날 것으로 예상되는 단층와지가 발달한 지점을 따라 단층 파쇄대로 추정되는 5개의 노두를 발견했다. 이중에서 화강암 풍화층에 발달한 단층인 jbf1은 청회색을 띠는 매우 뚜렷한 단층면이 존재하고, 일라이트와 로몬타이트를 함유한 단층점토가 확인되고 있다. 이 지역의 주 단층선인 진부 단층선과 일치하는 jbf2~jbf5까지의 노두에서는 3~4m 폭의 파쇄 점토대는 발견되지만, 뚜렷한 단층면은 확인되지 않는다.

연구 지역에서 단층에 의해 변위된 제4기 퇴적층 노두가 확인되지는 않았지만, 미고결 상태의 단층점토가 존재하고, 단층선을 가로지르는 범람원과 하안단구면의 수직적 변위가 매우 뚜렷하게 나타나고 있으며, 단층선을 따라 단층 와지가 선적인 연속성을 가지며 배열되고 있다는 점에서, 신생대 제4기 동안 진부 단층이 활동하였을 가능성은 높다고 할 수 있다.

jbf4-2-3-5를 잇는 진부 단층선은 이 지역에 매우 오래전부터 작용했던 광역적인 압축 응력에 따른 단층

운동에 의한 것일 가능성이 크고, jbf1은 신생대 제4기 플라이스토세 후기 이전의 시기에 발생한 진부 단층선의 지류 단층일 것으로 판단된다. 하안단구 1면과 2면의 절대 연대를 통해 계산한 진부 단층선 동·서측 지괴의 수직적 변위 속도는 0.024~0.027m/ka로서, 울산 단층선에 비하면 상대적으로 느리다.

본 논문은 그동안 단층 및 단층 지형에 대한 보고와 연구가 거의 없었던, 우리나라 중부지방의 태백산지 일대에서 제4기 동안의 단층 활동 가능성에 대한 분석을 시도하였다는데 의의를 갖는다. 그러나 단층에 의해 변위된 제4기 퇴적층을 발견하지 못했다는 점과 단층에 대한 절대 연대를 측정하여 단층의 형성 시기를 정확하게 산출하지 못했다는 점에서 아쉬움을 갖는다. 이러한 점에 대해서는 진부 단층선과 주변의 태백산지 지역에 대한 많은 연구자들의 후속 연구와 보완 조사를 통해 좋은 성과가 얻어지기를 기대한다.

謝辭

좋은 논문이 되도록 건설적인 의견을 제시해 주신 세분 심사자께 감사드리며, 여러 차례 야외조사를 보조해 준 경북대학교 지리교육과 학부생들, 그리고 연구에 힘을 실어 주는 정보를 제공해 주신 성영배 박사께도 감사드립니다.

文獻

경재복, 1993, "남한의 지진출현과 지형 및 선구조의 대비," 한국지구과학회지, 14(4), 482-491.

경재복, 1997, "트렌치 조사에 의한 울산 단층 중북부의 고지진학적 연구," 지질공학, 7(1), 81-90.

경재복 · 이기화 · 오카다 아즈마사, 1999, "양산단층대의 고지진학적 연구 - 변위지형 분석 및 트렌치 조사," 지구물리, 2(3), 155-168.

경재복 · 장태우, 2001, "양산단층대 북부 유계리일대의 신기 단층운동," 지질학회지, 37(4), 563-577.

경재복 · 허서운 · 도지영 · 조덕래, 2007, "2007년 1월 20

일 오대산 지진(ML=4.8)의 진도, 단층면해 및 단층과의 관계," 한국지구과학회지, 28(2), 202-213.

권혁재, 2006, 지형학, 법문사, 파주.

김진영 · 고용권 · 배대석 · 김천수, 2004, "방사성폐기물처분연구를 위한 유성지역 화강암내 심부 시추공 단열층전광물의 광물학적 특성," 한국광물학회지, 17(1), 99-114.

김기영 · 허 식, 1999, "고해상도 탄성파 자료를 이용한 풍암분지 북동부의 퇴적구조 및 퇴적환경 연구," 지구물리, 2(2), 91-99.

김성균 · 백장선, 2000, "한반도 지진발생의 무작위성에 대한 통계적 검증과 집중도 추정," 한국지구과학회지, 21(2), 159-167.

김인수 · 손 문 · 정현정 · 이준동 · 김정진 · 백인성, 1997, "경주-울산일원에 대한 지역지질 특성연구: 울산 단층주변 화강암류의 잔류자기와 대자율," 자원환경지질, 31(1), 31-43.

류충렬 · 이봉주 · 손 문 · 이용희 · 최성자 · 최위찬, 2002, "경주시 외동읍 개곡리의 제4기 단층," 지질학회지, 38(3), 309-323.

박성민 · 강 한 · 장윤득 · 임창복 · 김정진, 2007, "제4기 입실 단층 파쇄대에서 나타나는 단층점토의 산출상태에 따른 광물조성 연구: 고해상도분말회절 분석을 중심으로," 한국광물학회지, 20(2), 83-89.

박창업 · 신진수 · 지현철 · 강익범 · 류용규, 1998, "1996년 12월 13일 영월지진의 진원단층면 방향," 지구물리, 1(1), 23-30.

양승영, 2001, 지질학 사전, 교학연구사, 서울.

윤순옥 · 황상일, 1999, "한국 남동부 경주시 불국사단층선 북부의 활단층지형," 대한지리학회지, 34(3), 231-246.

이기화 · 권병두 · 박창업 · 장태우, 1988, "한반도의 지진활동: 4. 옥천대의 지진활동," 지질학회지, 24(4), 464-488.

이기화 · 권병두 · 장태우, 1987, "한반도의 지진활동: 3. 경기육괴의 지진활동," 지질학회지, 23(3), 257-276.

이기화 · 권병두 · 장태우, 1989, "한반도의 지진활동: 5. 영남육괴의 지진활동," 지질학회지, 25(4), 474-494.

이기화 · 나성호, 1983, "양산단층의 미진활동에 관한 연구," 지질학회지, 19(3), 127-135.

이기화 · 정봉일 · 김광호, 1986, "한반도의 지진활동(1): 홍성일대의 지진활동," 지질학회지, 22(2), 164-175.

- 이민부 · 이광률 · 윤순옥 · 한주엽, 2001, “추가령 열곡 대 광리 단층대의 구조 운동과 지형 발달,” *지질학회지*, 37(2), 257-268.
- 이봉주 · 류충렬 · 최위찬, 1999, “경주시 양남면 일대의 제 4기 단층,” *지질학회지*, 35(1), 1-14.
- 이윤수 · 민경덕 · 황재하, 2001, “고지자기학적 관점에서 본 추가령단층곡의 생성과 진화,” *자원환경지질*, 34(6), 555-571.
- 이희권 · 양주석, 2005, “일광단층의 ESR 연대측정,” *지질학회지*, 41(3), 369-384.
- 이희권 · 홍덕균, 2007, “충남 연기군의 한 트렌치 노두에서 ESR 및 OSL 수치연대측정을 이용한 단층의 활동시기 제한,” *지질학회지*, 43(3), 335-344.
- 장태우, 2001, “울산단층 동쪽지과의 제4기 지구조 운동,” *지질학회지*, 37(3), 431-444.
- 장태우 · 채연준 · 추창오, 2005, “울산단층 동부지역 제4기 단층 비지대내 변질광물의 형성,” *한국광물학회지*, 18(3), 205-214.
- 장태우 · 추창오, 1999, “양산단층대의 단층작용 과정과 단층비지의 K-Ar 연령,” *한국지구과학회지*, 20(1), 25-37.
- 전명순, 1995, “지진의 원인과 그 대책,” *계간 과학사상*, 가을호, 79-104.
- 정창희 · 원종관 · 차문성 · 강기우 · 이윤종, 1975, 1:50,000 지질도폭 설명서 - 오대산, 국립지질광물연구소.
- 조화룡, 1997, “양산단층 주변의 지형분석,” *대한지리학회지*, 32(1), 1-14.
- 조화룡, 2001, *활단층과 지형*, 박용안 · 공우석 외, 한국의 제4기 환경, 서울대학교 출판부.
- 최범영 · 류충렬 · 권석기 · 최위찬 · 황재하 · 이승렬 · 이병주, 2002, “포항-울산 지역의 단층 구조 분석: 활구조 운동에 대한 접근,” *지질학회지*, 38(1), 33-50.
- 황상일 · 윤순옥, 2001, “한국 남동부 경주 및 울산시 불국사단층선 지역의 선상지 분포와 지형발달,” *대한지리학회지*, 36(3), 217-232.
- Aguirre, L. and Atherton, M. P., 1987, Low-grade metamorphism and geotectonic setting of the Macuchi Formation, Western Cordillera of Ecuador, *Journal of Metamorphic Geology*, 5(4), 473-494.
- Aoyagi, K. and Kazama, T., 1980, Transformation changes of clay minerals, zeolites and silica minerals during diagenesis, *Sedimentology*, 27(2), 179-188.
- Burbank, D. W. and Anderson, R. S., 2001, *Tectonic Geomorphology*, Blackwell Science, Oxford.
- Coombs, D. S., 1993, Dehydration veins in diagenetic and very-low-grade metamorphic rocks: features of the crustal seismogenic zone and their significance to mineral facies, *Journal of Metamorphic Geology*, 11(3), 389-399.
- Keller, E. A. and Pinter, N., 1999, *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*, Prentice Hall, New Jersey.
- Matsuda, T., Omura, K., Ikeda, R., Arai, T., Kobayashi, K., Shimada, K., Tanaka, H., Tomita, T., and Hirano, S., 2004, Fracture-zone conditions on a recently active fault: insights from mineralogical and geochemical analyses of the Hirabayashi NIED drill core on the Nojima fault, southwest Japan, which ruptured in the 1995 Kobe earthquake, *Tectonophysics*, 378, 143-163.
- Miller, M. G., 1999, Active breaching of geometric segment boundary in the Sawatch Range normal fault, Colorado, USA, *Journal of Structural Geology*, 21, 769-776.
- Murck, B. W., Skinner, B. J., and Porter S. C., 1999, *Environmental Geology*, John Wiley & Sons, New York.
- Rahn, M., Mullis, J., Erdelbrock, K., and Frey, M., 1994, Very low-grade metamorphism of the Taveyanne greywacke, Glarus Alps, Switzerland, *Journal of Metamorphic Geology*, 12(5), 625-641.
- Scholz, C. H., 2002, *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Terabayashi, M. and Maruyama, S., 1998, Large pressure gap between the Coastal and Central Franciscan belts, northern and central California, *Tectonophysics*, 285, 87-101.
- White, C. L. I., Ruiz-Salvador, A., and Lewis, D. W., 2004, Pressure-induced hydration effects in the

이광률 · 조영동 · 김대식

zeolite laumontite, *Angewandte Chemie*, 116,  
475-478.

교신: 이광률, 702-701, 대구광역시 북구 산격동 경북대학교  
사범대학 지리교육과(이메일: georiver@knu.ac.kr, 전  
화: 053-950-5859)

Correspondence: Gwang-Ryul Lee, Department of

Geography Education, Teachers College, Kyungpook  
National University, Sankyuk-dong, Buk-gu, Deagu,  
702-701, Korea(e-mail: georiver@knu.ac.kr, phone:  
053-950-5859)

최초투고일 08. 06. 26

최종접수일 08. 12. 15