

한반도의 지반운동 (I): DEM 분석을 통한 지반운동의 공간적 분포 규명

박수진*

Tectonic Movement in the Korean Peninsula (I): The Spatial Distribution of Tectonic Movement Identified by Terrain Analyses

Soo Jin Park*

요약 : 한반도의 지형적 특성을 설명하기 위해서는 한반도가 경험해온 지반운동의 공간적 분포와 그 원인을 파악하는 작업이 선행되어야 한다. 지리학계에서는 지난 반세기 동안, 지반운동과 관련된 각종 지형요소들(경동성지형, 침식면, 평탄면, 하안단구, 해안단구 등)을 대상으로 활발한 연구가 진행되어 왔다. 하지만, 아직까지도 한반도의 지반운동의 특성에 대한 이해는 극히 제한되어 있다. 이 연구는 수치고도모델(Digital Elevation Model)의 분석을 통해 한반도에서 일어난 지반운동의 공간적인 분포특성을 규명하는 것이 목적이다. 먼저 지반운동과 지표식박작용간의 상관관계를 이론적으로 검토한 뒤, 과거 존재했을 것으로 추정되는 지형면을 추출하는 일련의 지형분석기법을 개발하였다. 개발된 기법은 유역분수계의 고도가 삭박이 이루어지기 전의 지형특성을 지시해주는 증거로 가정된 뒤, DEM으로부터 과거의 지형면(준지형면)들을 추출하는 것이었다. DEM으로부터 추출된 준지형면들은 뚜렷한 공간적 패턴을 보여줌과 동시에 일정한 방향성을 보여준다. 준지형면들을 서로 연결한 한 선을 이 연구에서는 준지형면축으로 규정하였다. 준지형면축은 다시 지반운동의 용기축을 지시해주는 용기준지형면축과, 용기와 더불어 진행되는 삭박작용에 의해 계단상의 준지형면이 관찰되는 침식준지형면축으로 구분하였다. 한반도에서는 모두 13개의 준지형면축이 나타나며, 이들의 방향성과 길이, 그리고 상대적인 용기량은 지역별로 큰 차이를 보였다. 준지형면의 분포와 준지형면축의 특성을 종합적으로 고려한 결과, 한반도를 구성하는 4개의 지반운동구를 확인할 수 있었다. 이 연구에서는 이들을 각각 북부지반운동구, 중부지반운동구, 남부지반운동구, 그리고 동해안지반운동구로 명명하였다. 북부지반운동구는 개마고원을 중심으로 지역적인 용기를 경험하였으며, 서쪽과 동쪽, 그리고 남쪽방향으로는 점진적인 용기량의 감소를 보인다. 중부지반운동구는 동해에 면한 태백산축이 원호형으로 급격한 용기를 보인 반면, 서해안쪽으로는 점진적인 용기량의 감소를 보여준다. 남부지반운동구는 이 지역을 수직으로 관통하는 덕유산-지리산을 중심으로 한 용기축을 중심으로 서측보다는 동측의 용기량이 높은 비대칭적 지반운동의 특성을 보여준다. 남동부해안지역과 길주-명천지구대를 중심으로는 비교적 최근까지도 활발한 지반운동을 보이는 동해안지반운동구가 나타나고 있다. 이 연구는 한반도가 경험해왔던 지반운동의 공간적 차이를 가시적으로 보여주고 있어, 한반도의 장기적인 지형발달과 지역적인 지형특색의 차이를 설명하는데 유용한 기초자료를 제공할 것으로 기대된다.

주요어 : 한반도, 지형발달사, 지반운동, 용기, 지표식박작용, 동적평형

Abstract : In order to explain geomorphological characteristics of the Korean Peninsula, it is necessary to understand the spatial distribution of tectonic movements and its causes. Even though geomorphological elements which might have been formed by tectonic movements(e.g. tilted overall landform, erosion surface, river terrace, marine terraces, etc.) have long been considered as main geomorphological research topics in Korea, the knowledge on the spatial distribution of tectonic movement is still limited. This research aims to identify the spatial distributions of tectonic

* 서울대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Seoul National University), catena@snu.ac.kr.

movement via sequential analyses of Digital Elevation Model(DEM). This paper first developed a set of terrain analysis techniques derived from theoretical interrelationships between tectonic uplifts and landsurface denudation processes. The terrain analyses used in this research assume that elevations along major drainage basin divides might preserve original landsurfaces(pseudo-landsurface) that were formed by tectonic movement with relatively little influence by denudation processes. Pseudo-landsurfaces derived from a DEM show clear spatial distribution patterns with distinct directional alignments. Lines connecting pseudo-landsurfaces in a certain direction are defined as pseudo-landsurface axes, which are again categorized into two groups: the first is uplift pseudo-landsurface axes that indicate the axis of landmass uplift; and the second is denudational pseudo-landsurface axes that cross step-shaped pseudo-landsurfaces formed via surface denudation. In total, 13 axes of pseudo-landsurface are identified in the Korean Peninsula, which show distinct direction, length, and relative uplift rate. Judging from the distribution of pseudo-landsurfaces and their axes, it is concluded that the Korean Peninsula can be divided into four tectonic regions, which are named as the Northern Tectonic Region, Center Tectonic Region, Southern Tectonic Region, and East Sea Tectonic Region, respectively. The Northern Tectonic Region had experienced a regional uplift centered at the Kaema plateau, and the rate of uplift gradually decreased toward southern, western and eastern directions. The Center Tectonic Region shows an arch-shaped uplift. Its uplift rate is the highest along the East Sea and the rate decreases towards the Yellow sea. The Southern Tectonic Region shows an asymmetric uplift centered a line connecting Dukyu and Jiri Mountains in the middle of the region. The eastern side of the Southern Tectonic Regions shows higher uplift rate than that of the western side. The East Sea Tectonic Region includes south-eastern coastal area of the peninsula and Gilju-Myeongchun Jigudae, which shows relatively recent tectonic movements in Korea. Since this research visualizes the spatial heterogeneity of long-term tectonic movement in the Korean peninsula, this would provide valuable basic information on long-term and regional differences of geomorphological evolutionary processes and regional geomorphological differences of the Korean Peninsula.

Key Words : Korean peninsular, geomorphological evolution, tectonic movement, uplift, landsurface denudation, dynamic equilibrium

1. 서론

한반도는 그 면적의 70% 이상이 산지로 이루어져 있다. 한반도가 가지고 있는 복잡한 산지체계는 전통적인 삶의 양식에 큰 영향을 미쳤을 뿐만 아니라, 현대에 와서는 지역개발과 토지이용에 중요한 장애요인으로 작용하고 있다. 산지가 이렇게 넓은 면적을 차지하게 된 직접적인 원인은 한반도가 경험해왔던 지반운동과 이와 동시에 나타나는 지표식박작용간의 복잡한 상호작용에 있다(김상호, 1980; 박수진 · 손일, 2005b). 한반도는 태평양판과 필리핀판이 유라시아판과 충돌하는 위치에 인접하고 있어, 판들의 상대적인 움직임과 그에 따른 응력의 차이로 인해 복잡한 지구조적 특성을 보인다(지현철, 2005). 이와 동시에 기후변화가 심한 중위도 지역에 위치하고 있어 지표식박작용 역시 지형발달과정에서 많은 변화를 겪어왔다.

지반운동과 지표식박작용의 상호작용 하에서 만들

어진 각종 지형요소들(e.g. 평탄면, 침식면, 하안단구, 해안단구 등)에 대한 고찰은 한국지리학에서 가장 중요하게 다루어져 온 연구대상들이다(오경섭, 1996; 손일, 2000). 한반도가 보여주는 동고서저의 비대칭적 기복특성은 그 축이 동해쪽에 치우쳐진 요곡용기에 기인한 것으로 알려지고 있다(立岩巖, 1976; 김상호, 1977). 이러한 요곡운동은 동북동-서남서 방향으로 이어지는 함경산맥을 따른 축과 북북서-남남동 방향의 낭림산맥 · 태백산맥을 따른 축을 중심으로 제3기 중신세 이후 진행된 것으로 믿어지고 있다(김상호, 1980; 국립지리원, 1982; 조화룡, 2003). 북서사면이 완만하고 동남사면이 급한 비대칭적 형태를 보이는 소백산맥 역시 요곡운동의 또 다른 축일 것으로 추정되고 있다(김상호, 1977; 송언근 · 조화룡, 1989). 이러한 요곡운동의 결과 과거 평탄화된 지형의 잔존물들이 현재의 고위평탄면 혹은 침식면들로 남아 있는 것으로 해석된다(박노식, 1967). 또한 산지의 봉우리들이 비슷한 고

도를 보이면서 나타나는 현상(봉고동일성, 峰高同一性)은 과거의 평탄화된 지형면이 융기를 거치면서 잔류하고 있는 지형적 특징으로 간주되고 있다(김상호, 1980). 지반운동과 동시에 진행되는 하천의 퇴적 및 침식작용은 하천주변에 다양한 형태의 단구들을 만들었다. 마찬가지로 해안에서는 지반운동과 해수면 변동의 상호작용속에서 많은 단구상 지형들이 만들어지게 되었다. 하안단구와 해안단구의 분포, 구성물질의 특성, 그리고 형성시기에 대한 추정은 한반도가 경험해왔던 지반운동의 규모와 공간적인 분포를 설명하는 중요한 증거로서 사용되고 있다(오건환·최성길, 2001; 장호·박희두, 2001).¹⁾

한반도의 지형특성과 지반운동에 의해 만들어진 각종 지형요소들에 대한 연구의 비중을 고려한다면, 지반운동에 대한 구조지형학적 해석은 한국지형을 이해하기 위해서 반드시 선행되어야 할 주제이다. 하지만, 그 중요성에도 불구하고 지반운동의 공간적인 분포특성과 그 원인에 대한 연구는 거의 없다. 한반도는 시생대에서 신생대에 이르기까지 오랜 지질시대에 걸쳐 형성된 다양한 암석으로 구성되어 있으며, 복잡한 구조운동의 역사를 가지고 있다(대한지질학회, 1999). 그 결과 과거의 지형발달의 흔적이 서로 중첩되어 있어 지형발달과정을 시계열적으로 추정하는 것이 매우 어렵다. 반면, 침식면과 평탄면, 하안단구, 해안단구 등의 지형요소들의 형태와 분포에 관한 연구결과는 국지적인 지질 및 기후요인의 차이로 인해 그 결과를 한반도 수준으로 확대·적용하는 것이 쉽지 않다. 이와 더불어 북한지역에 이루어진 연구내용은 한국지형학계에 거의 알려지지 않고 있어, 한반도의 지형발달사를 종합적으로 이해하는 데 중요한 걸림돌이 되고 있다.

이 연구는 수치고도모델(Digital Elevation Model, 이하 DEM)의 분석을 통해 한반도에서 이루어진 지반운동의 공간적인 분포특성을 규명하는 것이 목적이다. 먼저 지반운동과 지표사박작용간의 상관관계를 이론적으로 검토한 뒤, 과거 존재했을 것으로 추정되는 지형면을 추출하는 일련의 지형분석기법을 개발하였다. 개발된 기법은 유역분수계의 고도가 사박이 이루어지기 전 지형특성을 지시해주는 증거로 가정된 뒤, DEM의 분석을 통해 지형면(준지형면)을 추출하는 것이다.

추출된 지형면의 공간적인 분포를 통해 지반운동의 방향성과 공간적인 범위, 그리고 상대적인 지반운동량을 파악하고자 하였다. 그 결과 한반도는 지반운동의 측면에서 명확하게 구분되는 4개의 지역으로 구분할 수 있었다. 이 연구는 지형분석을 통해 지반운동의 공간적인 범위를 파악하는 것에 중점을 둔 반면, 다음 연구(박수진, 2007)는 지반운동을 지시해주는 증거가 되는 지진자료를 이용하여, 이 연구에서 제시한 지반운동의 공간적인 차이를 검증하고자 한다.

2. 지반운동의 공간적 분포 해석을 위한 지형분석기법

1) 이론적 배경

지형은 오랜 기간에 걸쳐 나타난 다양한 지형형성작용들의 결과이다. 지형형성에 미치는 요인들은 다양하지만, 연구범위의 시공간적 규모(scale)에 따라 그 상대적인 영향력은 크게 달라진다(Thorn, 1982; Martin and Church, 2004). 한반도 정도의 규모에서는 지반운동과 더불어, 기후의 영향을 강하게 받는 사박작용이 지형특성을 결정하는 중요요인이 된다(김상호, 1980; Molnar, 2003). 지반운동은 융기 혹은 침강 등의 과정을 거쳐 지형이 형성될 수 있는 틀을 마련해 준다. 반면 지표면에서 나타나는 물과 물질, 에너지의 흐름은 지표면을 지속적으로 변형시켜 지형기복을 만들게 된다.

그림 1은 지각의 융기 혹은 침식기준면의 하강에 의해 형성되는 지형면²⁾의 발달과정을 모식적으로 표현한 것이다. 처음 융기가 발생하게 되면 침식기준면으로부터 융기축의 방향으로 사박작용이 진행된다. 이때 사박이 활발하게 진행되는 지점에서는 단애면이 형성되고, 단애면의 양쪽으로는 계단상 지형이 발달하게 된다(단계 1). 사박된 면이 융기축에 도달하기 전에 또 다시 융기가 일어날 경우(단계 2, 단계 3), 융기축을 중심으로 그 주변에는 복수의 계단상 지형이 형성된다.

이러한 과정을 통해 형성된 계단상 지형의 전형적인 예가 하안단구 혹은 해안단구이다. 하지만 이 과정이 유역단위를 벗어나 한반도 정도의 공간규모에서 나타

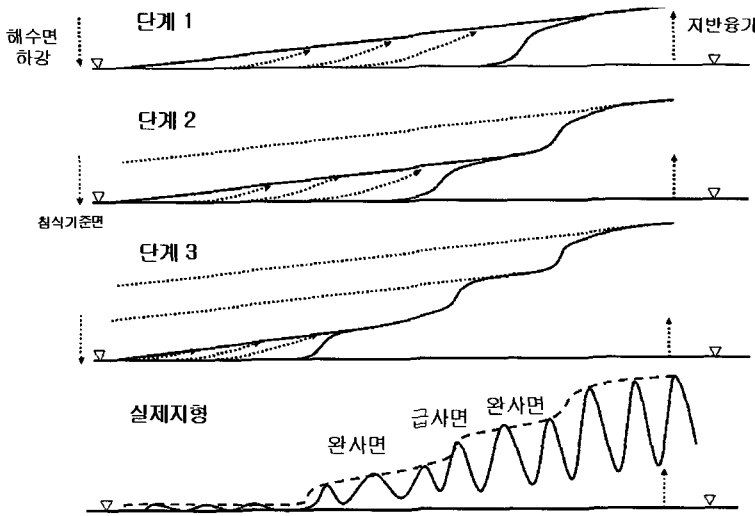


그림 1. 지표의 용기 혹은 침식기준면 하강에 의해 형성될 수 있는 계단상 지형의 형성과정에 대한 모식도

날 경우, 계단상 지형의 존재를 파악하기는 쉽지 않다. 왜냐하면 국지적으로 나타나는 하천의 발달과 그에 따른 삭박작용은 과거 존재했을 것으로 추정되는 지형면들을 개척하여 복잡한 요철지형을 만들기 때문이다(그림 1의 '실제지형'). 이와 더불어 이 그림에서 가정하고 있는 것과 같은 모식적인 '간헐적 용기'도 불명확한 전제조건이다(김상호, 1980; 권혁재, 2005). 한반도의 지형발달과정에서 지반용기와 침식이 우세한 시기를 명확하게 구분하는 것은 어려우며, 궁극적으로는 두개의 요인이 동시에 작용하여 그림 1에서 전제하고 있는 계단상 지형의 유무를 불명확하게 만든다.

지반의 용기와 삭박작용간의 상호작용에 의한 지형 발달과정을 설명하는 이론은 크게 세 가지로 분류할 수 있다(Chorley *et al.*, 1984; Burbank and Anderson, 2001; 그림 2 참조). 그 첫 번째는 William Morris Davis에 의해 제시되었던 '지형유희설'이다. 이 이론에서는 급격한 용기로 인해 침식기준면의 차이가 발생하고, 그에 따라 삭박이 진행되어 유년기-장년기-노년기-준평원 등의 지형기복 특성이 순차적으로 나타난다고 본다. 두 번째 시각은 독일의 지형학자인 Walter Penck에 의해 제시된 이론으로 용기현상이 서서히 증가(waxing)하여 절정에 이른 뒤, 다시 감소(waning)한다는 것이다. 지반운동량이 증가하는 waxing 단계에서는 지반의 용기량이 삭박작용을 넘어

서기 때문에 지표기복특성은 점차적으로 증가하게 된다. 반면, waning 단계에서는 지표삭박량의 증가로 지표기복량이 점차 감소하는 경향을 보이게 된다. 세 번째의 이론은 John Hack(1960)에 의해 제시되는 이론으로 지반의 용기와 지표의 삭박간의 동적인 평형(dynamic equilibrium)이 존재한다는 것이다. 지반의 용기가 급격히 이루어져 지각의 변형이 강해지게 되면 삭박작용 역시 증가하는 긍정적 환류작용(positive feedback)이 발생하여 용기량과 삭박량간에는 일정한 평형이 유지된다는 가설이다. 그 결과 기복특성은 용기 초기를 제외하고는 비교적 일정하게 유지되는 것으로 보았다(그림 2).

이 세 가지 이론의 타당성은 지형학계에서 오랜 기간 논쟁의 대상이 되어 왔다. 하지만 최근에는 세 이론이 결코 배타적이지 않으며, 대상 지역에서 나타나는 지반운동의 양태와 그에 대응하는 지형의 반응시간(response time or inertia)에 따라 적용가능성이 달라진다는 주장이 제기되고 있다(Kooi and Beaumont, 1996).

지반운동을 야기하는 구조운동의 형태와 지속시간은 다양하다. 또한 동일 지역에서도 시간적으로 차이를 보이는 것이 일반적이다. 먼저 단층과 같은 일시적이고 단속적인 지반운동의 경우에는, 지반의 용기가 발생한 이후 추가적인 지반운동이 나타나지 않는다면,

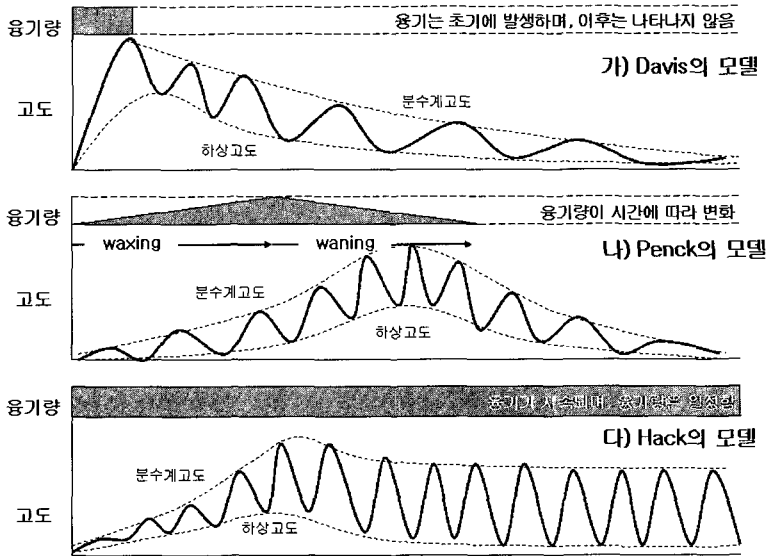


그림 2. 지반운동과 삭박작용의 상관관계에 대한 Davis와 Penck, 그리고 Hack의 이론(Burbank and Anderson, 2001의 그림 1.2를 수정)

Davis가 주장하는 바와 같이 시간에 따라 지형이 점차적으로 삭박될 가능성이 있다(그림 2). 반면, 지각균형적 융기(isostatic uplift)와 같은 지속적인 지반운동의 경우에는, 지반의 융기속도와 지표면의 삭박작용간에는 일정한 균형이 유지되어, Hack이 주장하는 동적균형에 의한 지형형성이 가능할 수도 있다. 마찬가지로 Penck가 주장하는 바와 같은 지반의 융기속도의 증가와 감소가 일정시간을 두고 나타날 수도 있다. 이 경우에는 최대 지형기복은 지반의 융기속도가 감소하는 시점에서 나타나게 된다(Burbank and Anderson, 2001, 4-7).

지반운동 혹은 지표삭박의 변화에 대응하는 지형요소들의 반응시간(response time)에 따라 상기한 이론들의 적용가능성은 달라진다. 특정 지형요소는 외부환경의 변화에 민감하게 반응하여 즉각적인 형태변화로 연결되는 반면, 다른 지형요소들은 그러한 변화에도 불구하고 고유의 형태적 특성을 장기간 유지하게 된다(김종욱, 1993). 유역단위에서 환경변화에 따른 지형변화과정을 유추해보면, 하천의 하구지역이 가장 빠른 반응시간을 보인다는 것을 쉽게 알 수 있다. 지반의 융기 혹은 하강은 하구에서 새로운 침식 혹은 퇴적환경을 조성하여, 단기간에 뚜렷한 지형변화를 가져온다.

그 다음으로 영향을 받게 되는 곳은 하도가 될 것이다. 환경변화에 의한 유량의 증가와 감소는 침식과 퇴적량을 변화시키고, 이것은 하도의 형태변화와 연결된다. 하천지형의 변화는 다시 하천을 둘러싸고 있는 사면의 형태를 변화시킨다. 침식으로 인해 하도가 낮아지는 경우에는 사면물질의 이동이 활발해져, 사면의 경사가 증가한다. 반면, 퇴적작용이 우월하면 사면의 경사가 감소하는 방향으로 사면의 발달이 이루어지게 된다(Carson and Kirkby, 1972).

이러한 지형변화과정에서 지반운동을 포함한 환경변화에 가장 늦게 반응하는 지형요소는 유역의 분수계이다. 유역분수계를 이루는 산지의 능선 혹은 산정부의 평탄면들에서 작용하는 지형형성작용은 대부분 침식작용에 국한된다. 즉 배후사면이 존재하지 않고 있기 때문에 물질의 유입에 의한 퇴적현상이 나타나지 않으며, 하천작용에 의한 지형의 변화도 무시할 수 있다(Conacher and Darlymple, 1977).

한반도가 경험해왔던 지반운동과 삭박작용의 상대적인 중요성을 시계열적으로 파악하는 것은 쉽지 않다. 특정한 지반운동에 의해 형성된 지형은 이전 혹은 이후에 일어난 지반운동과 중첩되어 복잡한 형태적 특성을 보일 수밖에 없다. 하지만, 과거의 지형발달과정

이 현재의 지형특성에 어떤 식으로라도 흔적을 남겼을 것이라는 사실은 쉽게 유추가 가능하다. 지표사박작용의 변화에 상대적으로 둔감한(혹은 반응이 늦은) 지형요인을 추출해 낼 수 있다면, 이러한 지형요인의 공간적인 분포를 통해 지반운동의 결과를 간접적으로나마 추정해 볼 수 있을 것이다.

유역분수계는 지형단위 중에서 시계열적 환경변화에 의해 나타날 수 있는 지표사박작용의 영향이 상대적으로 적게 나타나는 반면, 지반운동에 의해 형성된 원지형면의 특성이 남아있는 유일한 곳이 된다.³⁾ 따라서 유역분수계들을 공간적으로 이은 선을 서로 연결하면 과거 지형면의 존재와 전체적인 고도분포를 파악할 수 있을 것이라는 가정이 가능하다(그림 1의 '실제지형' 참조).

이 과정을 모식적으로 설명한 것이 그림 3이다. 지형의 반응시간만을 고려했을 때, 유역분수계중에서도 산의 정상부가 가장 안정되어 있을 것이다(그림 3의 가)와 그림 1의 '실제지형' 참조). 이러한 점에 착안하여 과거에도 절봉면도를 이용한 지형형성과정에 대한 추정은 빈번하게 이루어져 왔었다(立岩巖, 1976; 박노식, 1971; 송언근·조화룡, 1989). 하지만 절봉면도를 통해 과거의 지형면을 추정하는 작업에서는 몇 가지 한계가 있다. 먼저 한반도의 지형이 그림 1에 예시된 것과 같이 완전히 평탄화된 상태에서 다음의 지반운동이 나타나는 상황을 가정하기는 어렵다. 국지적으로 많은 기복들이 존재했을 것이며, 이러한 기복은 오랜 시간의 침식과 융기과정을 통해 더욱 불규칙한 분포형태로 진화할 것이기 때문이다. 또한 봉우리들의 개석을 역시 암석과 지형영력의 차이로 인해 공간적으로

큰 변이를 보였을 것이다. 따라서 절봉면도는 매우 복잡한 등고선으로 표현되어 지형발달의 경향성과 패턴을 파악하기 어려운 단점이 있다.

이 연구에서는 과거 존재했을 것으로 추정되는 지형면을 효과적으로 추출하기 위해서는 유역의 분수계를 잇는 해발고도들을 평균하여 연결하는 방법이 가장 적절하다고 판단하였다(그림 3 나). 유역분수계를 서로 연결하면 절봉면도가 가지게 되는 높은 공간적인 변이를 줄임과 동시에 유역내의 고도분포특성을 종합적으로 다룰 수 있는 장점을 가진다. 하지만 이러한 과정을 통해 추출되는 지형면은 과거 존재했던 실제 지형면에 비해 고도가 낮아지게 되는 결과를 가져온다(그림 3 나) 참조). 따라서 이 연구에서는 이렇게 추출된 지형면을 준지형면(準地形面)이라고 칭하였으며, 준지형면 사이의 급경사지를 준단애면(準斷崖面)이라고 명명한다.

2) 지형분석기법의 개발

이 연구에서는 그림 1에서 제시되어 있는 지반운동에 의한 계단상지형의 존재를 가정한 뒤, 지형분석기법을 통해 이러한 지형특성을 추출하는 기법을 개발하였다. 그림 4는 준지형면과 준단애면을 파악하기 위해 사용한 7단계의 지형분석방법을 종합적으로 정리한 것이다.

이 연구에 사용된 DEM은 미국 지질조사국(US Geological Survey)이 한반도 전체를 대상으로 구축한 해상도 30m의 DEM을 250m의 격자 크기로 변환한 것이다. 250m DEM을 사용한 이유는 더 자세한 DEM은 개인용 컴퓨터에서 처리하기에는 너무 많은 시간이 소요되었기 때문이다. DEM의 해상력(resolution) 선택은 다루고자 하는 연구목적에 따라 달라질 수밖에 없다(Moore *et al.*, 1993). 이 연구에서는 지역별 지형특성보다는 한반도 전체의 일반적 지형특성을 다루는 것이 목적이기 때문에, 250m보다 더 자세한 DEM은 국지적인 기복의 변량을 증가시켜 전체적인 패턴을 파악하기 어려울 것이라고 판단하였다(박수진·유근배, 2004).

먼저 선택된 DEM을 대상으로 한반도의 유역분수계를 추출하였다. 유역분지의 분포를 파악하기 위해서 사면유역지수(upslope contributing area)를 계산한

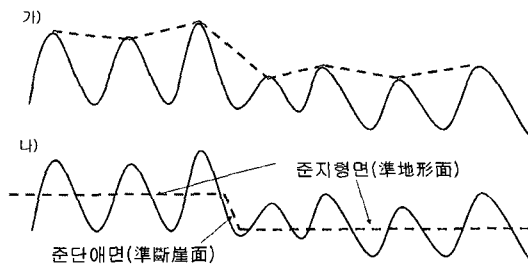


그림 3. 유역분수계의 해발고도의 평균을 통해 추출되는 준지형면과 준단애면의 모식도

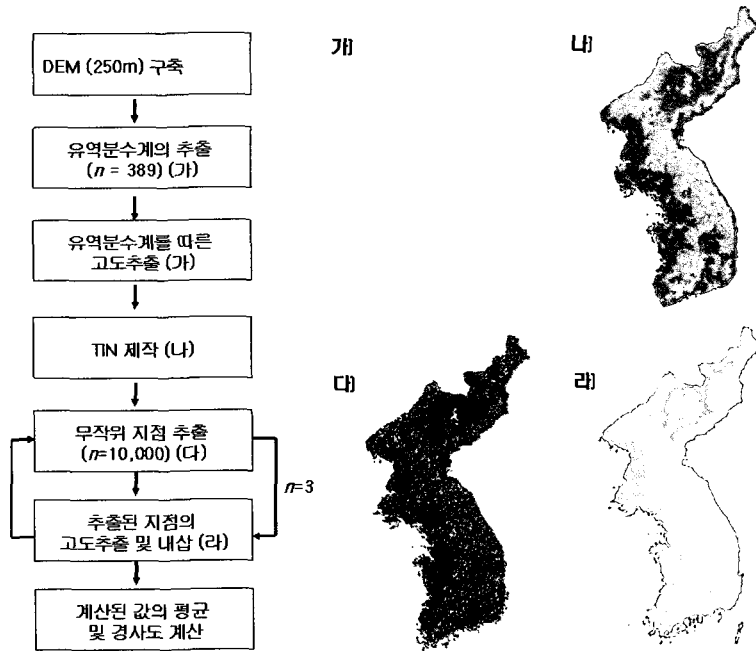


그림 4. 준지형면의 추출을 위한 연구순서 및 각 단계별 지형분석결과

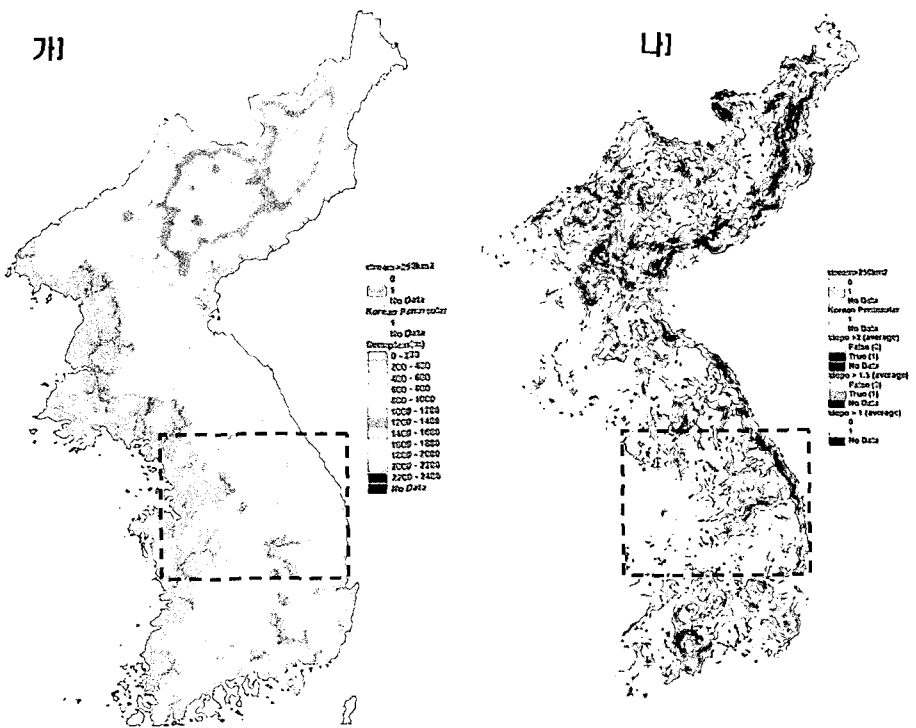


그림 5. 분수계 내삽도와 분수계 내삽면의 경사도 중에서 0.5° 이상인 지점

뒤, 계산된 사면유역지수 면적이 250km² 이상인 유역을 추출하였다. 추출된 유역 수는 모두 389개였으며 (그림 4 가 참조), 보다 자세한 추출과정은 박수진·손일(2005b)⁴⁾을 참조하기 바란다. 추출된 유역의 분수계(drainage divide)를 점사상으로 변환한 뒤, 각 점의 실제 고도값을 DEM으로부터 추출하였다. 임혀진 고도값을 TIN(Triangular Irregular Networks)기법을 통해 내삽(interpolation)하여 한반도 전체의 유역분수계 고도를 계산하였다(그림 4의 나 참조). TIN을 통해 만들어진 내삽도는 동일한 고도를 보이는 지역이 삼각형으로 나타나는 부자연스러운 고도분포를 보인다. 보다 자연스러운 지형면을 추출하기 위해, 10,000 지점을 무작위로 선정한 뒤, 각 지점의 고도를 추출하여 다시 한 번 내삽을 실시하였다. 여기서 사용된 내삽기법은 IDW(Inverse Distance Weighting)이었다(그림 4의 다). 고도추출의 대표성을 높이기 위해 그림 4의 다와 라) 과정을 3회에 걸쳐 반복한 뒤, 그 값을 평균하였다.

상기의 과정을 통해 얻어진 지도를 편의상 '분수계 내삽도'로 명명하였다(그림 5 가). 이 지도는 유역분수계가 지표산박작용의 영향을 비교적 적게 받았다고 가정할 경우, 과거 지반운동에 의해 형성된 지형면의 상대적인 고도를 보여주는 지도이다. '분수계내삽도'는 전체적으로 매우 완만한 경사를 보이고 있다. 경사도의 분포는 최소값이 0°, 최대값은 18.2°로 전체 평균은 0.5°에 불과했다. 준지형면과 준단애면의 분포를 파악하기 위해, 계산된 경사도에서 1°, 1.5°, 3° 이상의 지점들을 단계별로 추출하여 중첩한 것이 그림 5의 나이다. 이 그림에서 쉽게 관찰할 수 있는 사실은 경사가 급한 부분과 완만한 부분이 반복적으로 나타난다. 이것은 그림 3에서 전제하고 있는 준지형면과 준단애면의 존재를 잘 보여주는 것으로 보인다.

3) 준지형면의 분포

그림 6은 중남부지방(그림 5의 파선사각형 지역)을 예로 들어 '분수계내삽도'와 경사 0.5° 이상인 지점들을 중첩시켜 준지형면과 준단애면의 분포를 관찰한 것이다. 이 그림에서 서울 인근을 제외한 서부지역과 낙동강 상류지역에서는 고도 200m 이하의 준지형면이

넓게 분포하고 있다. 반면, 동부지역에서는 서에서 동으로 옮겨가면서 경사도가 낮은 부분과 높은(>1.5°) 부분이 교차되어 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 기존에 알려져 있는 차령산맥과 소백산맥을 따라 특히 잘 발달되어 있다. 안동 동쪽의 태백산지에서는 태백산 인근의 B지점에서 C1지점으로 준지형면과 준단애면이 계단상으로 고도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 여기서 준지형면은 대체로 타원형의 형태를 보이는 반면, 준단애면은 타원형을 감싸는 원호 혹은 원형의 특성을 보인다.

그림 6에 예시된 지역에서는 고도가 증가하면서 준지형면이 모두 6회에 걸쳐 나타나는 것을 알 수 있다. 예를 들어 청주주변의 A지점에서 태백산 인근의 B지점으로 연결되는 준지형면들을 관찰하면, 먼저 청주부근에서는 200m 이하에서는 ①면의 준지형면⁵⁾이 넓게 나타나고 있으며, 소백산맥 방향을 따라 ②에서 ⑥면까지가 직선상으로 발달하고 있다. 태백산 인근에 발달하고 있는 ⑥면의 준지형면 고도는 1,000~1,200m 내외로 1,567m의 태백산 정상부보다는 현저히 낮다. 낙동강 유역에서는 안동주변에서 시작하는 준지형면 ①면이 태백산 인근의 ⑥면으로 원호형을 그리면서 발달하고 있다. 이러한 특징은 A와 B를 연결한 선 이북의 남한강 유역에서도 관찰된다. 서해안을 따라 준지형면 ①면이 광범위하게 분포하며, 북한강과 남한강이 만나는 지점을 중심으로는 ②면이 넓게 나타난다. 그 동쪽으로 북한강과 남한강을 따라 ③, ④, ⑤면이 계단상으로 연결되어 태백산 부근의 ⑥면으로 이어진다.

4) 준지형면축의 설정과 분포

그림 6의 A-B, 혹은 C0-B-C1-C2 등과 같이 준지형면들을 연결한 선을 이 연구에서는 준지형면축으로 규정하였다. 준지형면축은 이론상으로는 다시 두 가지 유형으로 분류가 가능하다(그림 7 참조). 첫 번째는 용기가 발생하는 축을 따라 준지형면들이 선상으로 배열되어 있는 경우이다. 이러한 형태적 특성을 보이는 축은 용기준지형면축으로 규정할 수 있을 것이다. 두 번째 유형은 용기준지형면축과는 수직으로 연결되면서 준지형면들이 계단상으로 나타나는 것이다. 이러한 준

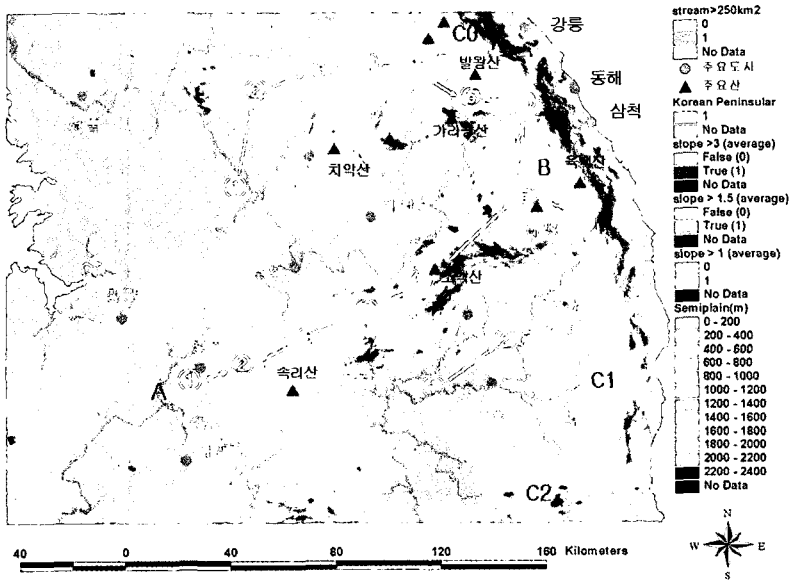


그림 6. 한반도 중남부지형에서 관찰되는 준지형면과 준단애면의 분포특성 (그림 5의 파선사각형 지역을 표시하였음). 준지형면은 원숫자로 표시하였으며, 화살표는 준지형면이 순차적으로 나타나는 순서 및 방향성을 표시한 것이다.

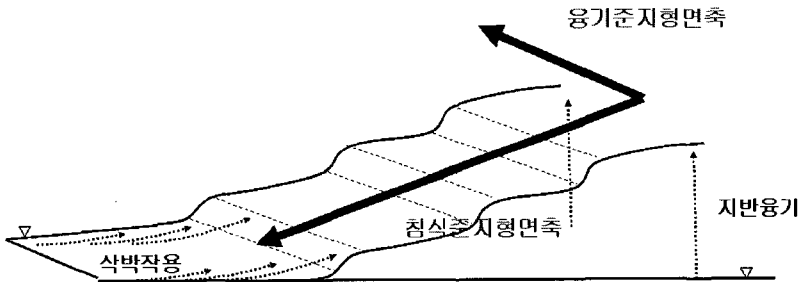


그림 7. 용기준지형면과 침식준지형면의 구분.

지형면의 계단상 분포는 용기축으로부터 용기량이 점진적으로 감소하면서 발달하는 것으로 볼 수 있다(그림 7). 이렇게 연결된 축은 용기와 더불어 진행되는 침식현상의 영향을 강하게 받기 때문에, 침식준지형면축으로 규정할 수 있을 것이다.

침식준지형면축의 대표적인 예가 그림 6에서 A지점에서 B지점을 연결한 선이다(실제 그려진 준지형면축은 그림 8을 참조). 이 경우에는 B지점이 최대의 용기현상을 보이는 가운데 A지점으로 가면서 용기량이 점차 감소하면서 계단상의 준지형면이 형성된 것이다. 반면 용기준지형면축의 대표적인 예는 그림 6의 B와 C0지점을 연결하는 선이다.⁶⁾ 발왕산 주변에서 나타나

는 ⑥면의 준지형면과 태백산주변의 ⑥면을 연결할 수 있으며, 그 사이에서는 부분적으로 ⑤면 때로는 ④면의 준지형면이 나타난다. 이 경우에는 이 축을 따라서 지반운동(용기)이 진행되었을 것으로 추정된다. 하지만 침식준지형면축과 용기준지형면축의 특성이 혼재되어 있는 경우도 있다. 예를 들면, 그림 6의 B지점에서 C1지점, 나아가서는 C2지점으로 이어지는 준지형면의 분포는 명확한 계단상을 보인다. B-C0를 연결한 지점이 최대의 용기량을 보이지만, 그 말단부에서는 용기량이 점차적으로 감소하면서 계단상의 준지형면으로 연결되는 것으로 볼 수 있다. 따라서 성인상으로는 침식준지형면축의 특성을 보이지만, 용기축의 방향성을 고려하

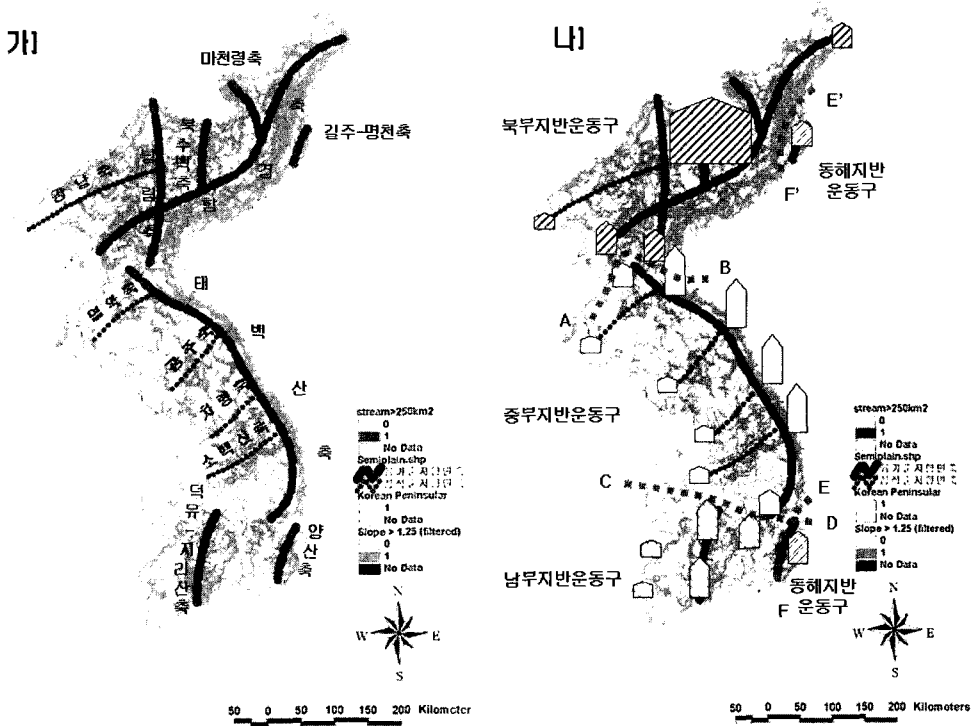


그림 8. 가) 한반도의 준지형면과 준지형면축의 공간적인 분포특성, 나) 한반도의 지반운동구와 상대적인 지반용기량의 비교

여 용기준지형면축이 연결된 것으로 표현하였다.

3. 준지형면과 준지형면축의 지역별 분포특성

준지형면의 배열을 분석한 결과, 한반도 전체에서 모두 13개의 준지형면축이 관찰되었다. 준지형면과 준지형면축, 그리고 준지형면축의 성인(용기 혹은 침식 준지형면축)을 표시한 것이 그림 8의 가이다.⁷⁾ 가장 많은 단계의 준지형면이 나타나는 축은 함경산맥을 따른 축으로 모두 8면이 관찰된다. 낭림산맥과 태백산맥을 따른 축에서는 각각 7면과 6면의 준지형면이 관찰되었다. 낭림산맥과 태백산맥을 시작점으로 하여 북동-남서방향으로 침식준지형면축들이 발달하고 있다. 남부 지방에서는 덕유산-지리산을 잇는 축을 따라서는 최대 5면의 준지형면축이 나타났다. 이외에도 양산단층

의 서쪽과 길주-명천지구대의 동측에는 4면 혹은 3면의 짧은 준지형면축이 독립적으로 분포하고 있다.

유형별 분류에서는 용기준지형면축에 해당하는 것은 모두 8개이며, 나머지 5개는 침식준지형면축으로 분류되었다.⁸⁾ 용기준지형면축은 함경(준지형면)축, 낭림(준지형면)축, 마천령(준지형면)축과 북수백(준지형면)축, 길주-명천(준지형면)축, 태백산(준지형면)축, 덕유산-지리산(준지형면)축, 양산(준지형면)축이다. 반면, 침식준지형면축은 낭림산맥에서 남서방향으로 뻗어 있는 강남(준지형면)축, 태백산(준지형면)축에서 남서방향으로 연결되는 멸악(준지형면)축과 광주(준지형면)축, 차령(준지형면)축, 소백산(준지형면)축 등이 다(그림 8 가).

준지형면축의 분포에서 명확하게 알 수 있는 사실은 한반도의 북부지방과 중부지방, 그리고 남부지방은 준지형면의 분포와 축의 방향성에서 큰 차이를 보인다는 점이다. 이것은 지역별로 각각 다른 지반운동을 경험했다는 사실을 암시한다. 한반도를 남부지방과, 중부지

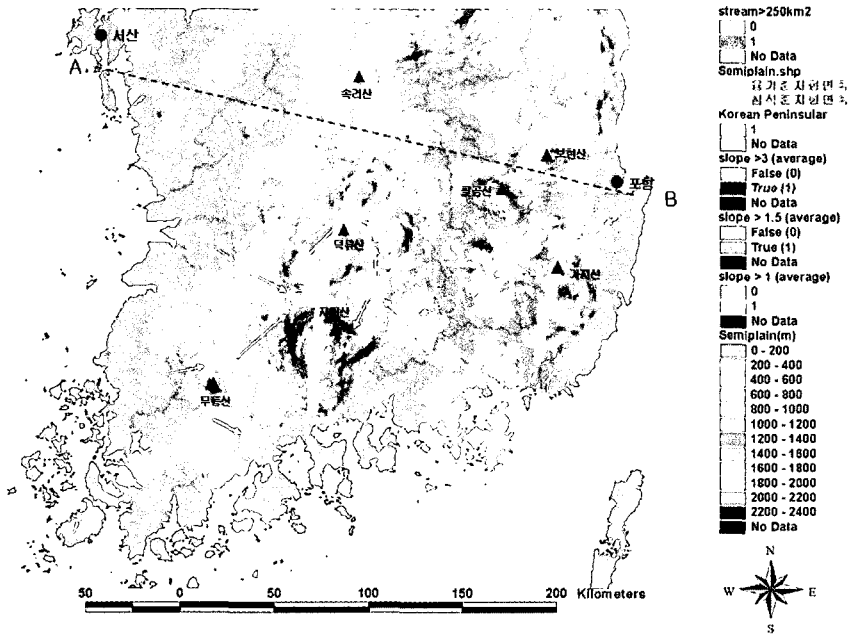


그림 9. 한반도 남부지방 준지형면의 공간적인 분포

방, 그리고 북부지방으로 나누어 각각의 지역에서 나타나는 준지형면의 공간적 분포를 살펴보면 아래와 같다.

1) 남부지방

그림 9는 남부지방에서 나타나는 준지형면과 준지형면축의 분포를 보여주는 것이다. 남부지방의 준지형면의 중요한 특징은 덕유산과 지리산을 잇는 지형면축과 포항에서 부산을 잇는 양산준지형면축이 북북동-남남서 방향으로 서로 평행하게 발달하고 있다는 사실이다. 덕유산-지리산을 잇는 준지형면축은 그림 6에서와는 달리 모두 5개의 준지형면만이 관찰된다. 가장 높은 고도를 보이는 ⑤면은 덕유산과 지리산을 중심으로 발달하고 있으며, 그 사이에는 ③과 ④면의 준지형면이 관찰되고 있다.²⁾

포항과 부산을 잇는 양산준지형면축의 경우에는 4면의 준지형면이 나타나고 있다. 이 지형면축은 북북서-남남동의 구조선을 따라 발달하고 있는 양산단층 서쪽의 산지 분포를 잘 보여주고 있다. 덕유산-지리산 축과 양산축의 사이에는 대구의 팔공산에서 경남 마산 방향으로 복잡한 준지형면과 준단애면이 나타난다. 그

지형면의 배열특성과 방향성이 상기의 두 준지형면축과 유사하여, 추가적인 지형면축으로 고려될 수도 있을 것이다. 하지만 발달상태가 상대적으로 불량하여 독립적인 준지형면축으로 명명하지는 않았다.

덕유산-지리산을 잇는 축을 중심으로 동쪽으로는 낙동강, 서쪽으로는 서해안쪽으로 모두 4면의 준지형면이 계단상으로 나타난다. 하지만, 동쪽방향으로 나타나는 준지형면들의 폭이 서쪽의 그것보다는 좁게 나타난다는 사실을 주목할 필요가 있다. 낙동강의 동안에서는 경상북도 청도군과 경상남도 창녕군을 지나는 산지를 중심으로 역시 4면의 준지형면이 나타난다. 이 면들은 낙동강을 사이에 두고 그 반대편에 발달하고 있는 ②, ③, ④면과 뚜렷한 대칭구조를 보여준다.

남부지방에서 나타나는 이러한 준지형면의 분포는 덕유산-지리산 축을 경계로 서쪽으로는 점진적인 용기량의 감소가, 그리고 동쪽지역으로는 넓은 지역에 걸쳐 유사한 용기량을 보이는 것으로 해석할 수 있을 것이다. 낙동강 양안의 대칭적인 준지형면의 분포는 지반의 용기와 더불어 나타난 낙동강의 식박작용의 결과로 형성된 계단상 지형으로 이해할 수 있을 것이다.

남부지방의 준지형면축의 분포에서 지적되어야 할

사실은 덕유산-지리산축과 소백산축, 그리고 태백산축과 양산축간의 연결성의 문제이다. 기존의 산맥표기에서는 전자는 소백산맥으로, 그리고 후자의 경우에는 태백산맥으로 표기되고 있다. 하지만, 준지형면의 분포에서는 경상북도 상주시와 충청북도 보은군 사이에서 준지형면의 뚜렷한 단절현상을 보인다.¹⁰⁾ 그림 6에 표현된 소백산축이 대체적으로 N80°E의 방향을 보이면서 속리산으로 연결되는 반면, 덕유산-지리산축은 N20°E의 방향을 보인다. 마찬가지로 남서방향을 보이며 남하하던 태백산축은 그림 6의 태백산 주변에서 발달하고 있는 ⑥면의 준지형면에서 동해안을 따라 점차적으로 낮아지면서 포항의 서쪽(영덕)에서는 내륙 쪽으로 약간 휘어 경상북도 청송군의 보현산(1,124m) 부근에서 끝나고 있다.

덕유산-지리산축을 소백산축에서 분리할 경우, 그리고 양산축을 태백산축과 분리할 경우, 남부지방에서 준지형면축의 방향성과 준지형면의 분포특성은 충남서산에서 경북 포항을 잇는 선(A-B)을 따라 그 북쪽과 남쪽에서 큰 차이가 보인다. 소백산맥으로 둘러싸여 있는 지역은 영남지괴라는 독립적인 지체구조구로 분류되어 동일한 지형 및 지질작용의 역사를 지닌 것으

로 추정되고 있다(대한지질학회, 1999). 하지만, 준지형면축의 분포에 의하면 지형발달을 야기시키는 지반운동은 남부지방에서 태안-포항선을 경계로 차이를 보이고 있어 추후 지체구조구와 지반운동간의 관계에 대해 추가적인 연구가 필요하다.

2) 중부지방

중부지방에서는 모두 6면의 준지형면이 나타나며(그림 10 참조), 준지형면의 방향성과 분포특성은 남부지방과는 많은 차이를 보인다. 중부지방의 준지형면 분포의 핵심적인 내용은 동해안을 따라 높은 고도의 준지형면들이 선상으로 배열되어 있고, 이러한 준지형면을 연결한 태백산(준지형면)축에서 모두 4개의 침식준지형면축이 북동-남서방향으로 뻗어 있다는 사실이다.

태백산축은 평안남도 양덕군에서 시작되어 동해안을 따라 경상북도 청송군의 보현산쪽으로 연결되면서, 그 전체적인 형태가 동해안을 따라 원호형을 보인다.¹¹⁾ 태백산축을 따라 가장 높은 ⑥면이 나타나는 곳은 태백산(1,567m), 오대산(1,539m), 금강산(1,638m), 그리고 북한 강원도의 추애산(1,530m)과 평안남도 양덕군

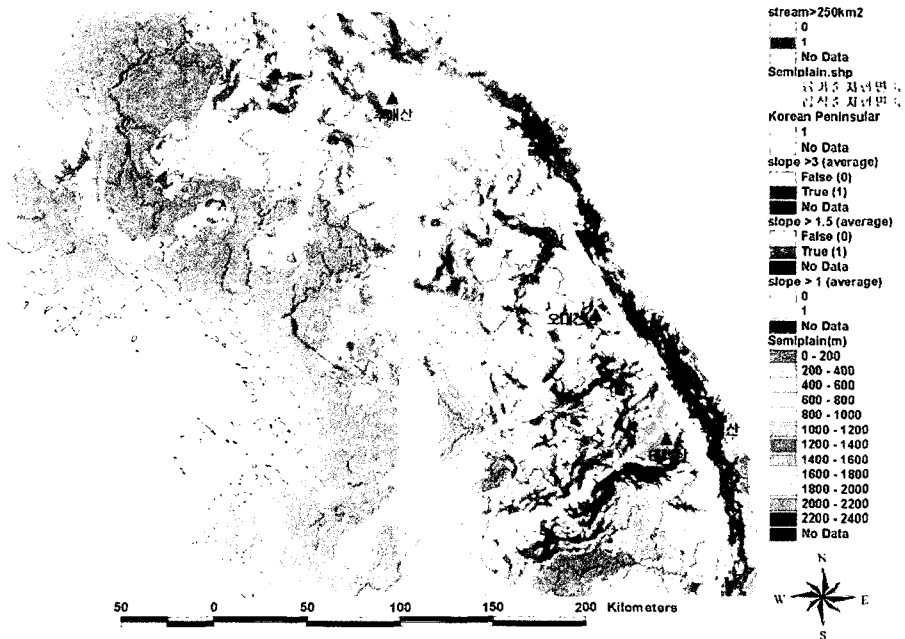


그림 10. 중부지방의 준지형면과 준지형면축의 공간적인 분포

의 남부지역 등 모두 5개 지점이다. ⑥면의 사이에는 ⑤면이 탁월하게 나타나고 있으며, 부분적으로는 ④면이 분포하고 있다. 강원도 추애산 남동쪽의 회양군 부근에서는 ④면이 넓게 분포하고 있다. 이 지점은 추가령구조곡이 지나는 지점으로 상대적으로 낮은 준지형면은 추가령구조곡의 존재를 반영하는 것으로 보인다.¹²⁾ 추가령구조곡은 약 20-60만년전 발달한 구조열곡으로 다량의 현무암이 분출한 곳이다(대한지질학회, 1999). 추가령구조곡 근처에서 넓은 ④면이 분포하고 있지만, 준지형면의 분포는 뚜렷한 연결성과 동일한 방향성을 보여주고 있다. 이것은 태백산축이 융기하는 과정에 추가령곡을 따라 현무암의 분출이 일어났다는 것을 의미하지만, 동해쪽의 융기현상은 그 이후에도 지속적으로 이루어졌다는 것으로 해석될 수 있을 것이다. 하지만, 이러한 결론을 내리기 이전에 보다 체계적인 연구가 필요하다.

중부지방에서는 태백산축을 경계로 동해안쪽으로는 급격한 준단애면이 발달한 반면, 서쪽으로는 다양한 형태의 준지형면들이 복잡하게 발달하고 있다. 이러한 준지형면들의 분포는 태백산축에서 북동-남서방향으로 연결되어 있는 4개의 침식준지형면축들에 의해 효과적으로 설명될 수 있다. 중부지방의 침식준지형면축은 멸악산맥, 광주산맥, 차령산맥, 소백산맥과 유사한 공간적인 분포를 보이고 있어, 각각을 멸악(준지형면)축, 광주(준지형면)축, 차령(준지형면)축, 소백(준지형면)축으로 명명하였다.¹³⁾ 이들 4개의 준지형면축을 따를 경우, 그림 7에 설명되어 있는 계단상의 준지형면들의 배열이 모식적으로 나타나는 것을 알 수 있다. 중부지방에서 보이는 경동성 지형과 그에 따른 침식현상에 관해서는 이미 수많은 문헌(박노식, 1967; 김상호, 1980; 권혁재, 2000; 박수진·손일, 2005a)에서 논의되었기 때문에, 이 연구에서는 추가적인 설명은 생략하고자 한다.

3) 북부지방

북부지방에서는 중부지방의 최고 6면에 비해 2면이 더 많은 8면의 준지형면이 관찰된다(그림 11). 북부지방에서 관찰되는 준지형면의 분포를 이해하기 위해서

는 개마고원지역을 다른 지역들과 분리해 기술할 필요가 있다. 준지형면도의 분포에서 개마고원의 존재는 서부와 남부, 그리고 동부지역으로 뚜렷한 준단애면을 보이는 것에서 쉽게 확인할 수 있다. 이러한 준단애면과 개마고원의 경계는 개마고원의 남측에서는 함경산맥을 따른 축(함경축)¹⁴⁾이 나타나며, 서측에는 낭림산맥을 따른 축(낭림축), 그리고 동측에는 두류산(2,309m)에서 북서쪽으로 남포태산(2,435m)을 통과하여 백두산(2,744m)으로 연결되는 마천령축¹⁵⁾이 된다. 이 세 개의 축을 따라 개마고원 쪽으로는 비교적 완만한 경사를 보이면서 많은 수의 준지형면이 나타나지만, 바깥쪽으로는 급경사의 준단애면이 나타난다.

개마고원내부에서의 준지형면들은 선적인 배열을 보이지 않고, 국지적으로 가장 높은 ⑦면 혹은 ⑧면의 준지형면을 중심으로 방사상으로 분포하고 있다. 가장 높은 ⑧면은 양강도 풍서군의 서부지역에서 나타나며, 해발고도는 2,100m를 상회하고 있다(그림 11의 A 지점). 이 지점은 북수백산(2,522m), 차일봉(2,506m), 백산(2,379m) 등의 높은 산들이 밀집되어 있는 곳으로 작은 원호형의 준지형면이 산재되어 있다. 마찬가지로 자강도의 용림군과 낭림군의 경계지점(그림 11의 B 지점), 함경남도 장진군(그림 11의 C 지점) 등에는 ⑦면의 준지형면이 관찰되며, 그 주변으로 방사상으로 펼쳐지는 준지형면들이 나타난다.

북부지방에서 개마고원 이외의 지역에서는 준지형면들이 계단상의 분포를 보이면서 연결되어 있다. 가장 뚜렷한 계단상의 준지형면의 분포는 압록강 이남 지역에 N40°W의 방향으로 나타난다. 이 준지형면축은 개마고원의 서단, 즉 낭림축에서 시작되어 비교적 넓은 폭을 가지면서 발달하고 있다.¹⁶⁾ 낭림산맥 동쪽의 개마고원이 융기되는 과정에서 융기량이 서쪽으로 가면서 줄어들었기 때문에 계단상의 침식준지형면축이 형성된 것으로 보인다. 마찬가지로 개마고원의 동단을 이루고 있는 마천령축의 동쪽에서도, 그 폭과 길이는 짧지만 유사한 형태의 계단상의 준지형면들이 선상으로 연결되어 있다. 이 계단상 준지형면 역시 개마고원에서 융기량이 점진적으로 감소하여 나타나는 것으로 보인다. 강남축의 남쪽에는 함경축이 고도가 낮아지면서 나타나는 계단상의 준지형면이 분포하고 있

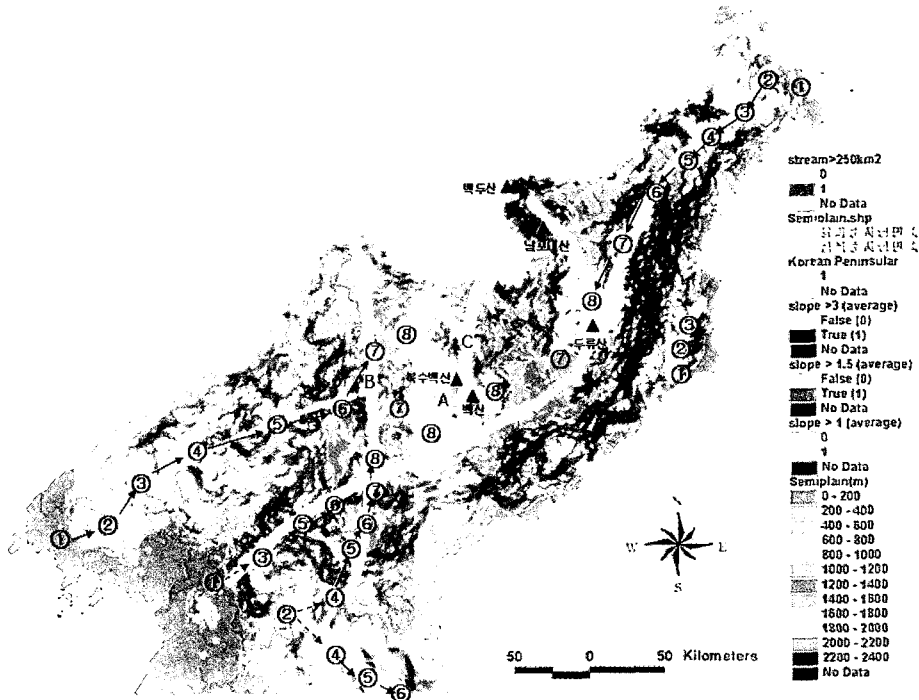


그림 11. 북부지방의 준지형면과 준지형면축의 공간적인 분포

다. 이 지역은 기존의 산맥도에서 묘향산맥으로 표기되는 지점이지만, 함경축과의 연결성이 탁월하기 때문에 함경축의 서쪽 연결부로 간주하는 것이 타당한 것으로 보인다. 마찬가지로 현상이 낭림축에서도 나타나고 있다. 낭림축이 함경축을 지나면서 준지형면들이 계단상으로 발달하고 있는 것이다. 낭림축을 따라 나타나는 준지형면과 단애면은 전체적으로 凹形의 원호형을 보이는 반면, 남쪽에서 연결되는 태백산축의 준지형면들은 凸形의 원호형으로 나타나고 있으며, 이 두 개의 준지형면축이 함경남도 신양군과 요덕군 부근에서 만나게 된다.

개마고원 안에 나타나는 방사상의 준지형면 분포와 개마고원에서 동쪽과 서쪽, 그리고 남쪽으로는 준지형면의 분포가 계단상을 보인다는 점은 한반도 북부지방의 지반운동특성을 설명하는데 중요한 단서를 제공해 준다.¹⁷⁾ 개마고원내의 방사상 준지형면의 분포는 궁극적으로 이 지역의 지반용기가 중부지방과는 달리 선적으로 이루어지지 않고, 지역적인 용기였을 가능성을 암시하고 있다. 즉 개마고원지역 전체가 용기하였고

그 주변지역에서는 용기량이 점차적으로 감소했다는 것이다. 이것은 중부지방이 동해쪽으로 기울어지는 경동성 용기의 형태를 보인다는 사실과는 뚜렷한 차이를 보인다.

북부지방에는 이외에도 두 개의 소규모 준지형면축을 관찰할 수 있다. 그 첫 번째는 낭림축의 서쪽에 거의 평행하게 나타나고 있는 지형면축으로 이 연구에서는 편의상 북수백(준지형면)축¹⁸⁾으로 칭하고자 한다. 북수백산과 차일봉, 백산이 만드는 고지가 두운봉(2,487m)을 통과해서 압록강으로 연결되는 준지형면축이다. 이 준지형면축은 한반도에서 가장 높은 ⑧면의 준지형면들을 관통하고 있으며, 개마고원내에서 서쪽의 회천육괴와 동쪽의 혜산-이원분지를 구분하는 선과 대체적으로 일치하고 있다(대한지질학회, 1999). 이 두 지체구조 사이에서 남북으로 뚜렷한 연속성을 보이는 호천강단층이 존재하고 있다. 명확한 지질학적 근거를 찾기는 어렵지만 개마고원의 용기과정에서 이러한 단층대가 형성된 것으로 유추해 볼 수 있다.¹⁹⁾

또 다른 소규모의 준지형면축은 길주와 명천을 잇는

선의 이남에서 관찰되는 3면의 소규모 준지형면축이다. 이 연구에서는 이 축을 길주-명천(준지형면)축으로 명명하였다.²⁰⁾ 이 지형면축의 형성은 형태적 특성에서 남부지방의 양산(준지형면축)과 유사한 발달과정을 거쳤을 것으로 추정하였다. 흔히 환동해알칼리화산 지구로 불리는 이 지체구조구는 제3기말에서 플라이스토세에 걸쳐 화산활동이 일어났던 곳으로 제3기 이후의 판구조운동과 관련되어 형성된 것으로 알려지고 있다(대한지질학회, 1999).

4. 토론 : 지반운동구의 설정과 용기량의 공간적 분포

이상의 논의에서 한반도에 존재하고 있는 준지형면의 분포는 북쪽에서 남쪽으로 가면서 점진적으로 낮아지는 특성을 보인다. 지체구조의 발달을 살펴보면 한반도 내 중생대 조산운동의 특성은 조산운동의 시기(송림운동-대보운동-불국사운동)와 이에 수반되는 화성활동의 시기(트라이아스기-쥬라기-백악기)가 지역적으로 북쪽에서 남쪽으로 향하면서 젊어지고 있다(박봉순, 1982). 조화룡(1982)은 이러한 지체구조의 발달을 한반도의 지형발달과정과 연결시키고자 하였다. 중생대 중기까지는 일본열도가 한반도로부터 분리되지 않아 한반도가 대륙연변부에 위치하고 있었기 때문에 압축력이 우세하여 주로 습곡운동(트라이아스기의 송림운동과 쥬라기 중기의 대보운동)이 나타났다. 반면, 중생대 중기 이후에는 일본열도가 분리되기 시작하면서 한반도가 일본열도의 후면에 위치하면서 압축력보다는 확장력이 우세한 구조운동을 경험하면서, 단층운동과 지괴운동을 야기한 불국사운동(중생대말-제3기 초)과 단층운동(제3기 중기)이 발생하였다. 특히 제3기 중기의 단층운동은 한반도의 현재 지형의 원형을 형성하는데 중요한 역할을 한 것으로 믿어지고 있다. 즉, 정단층과 그에 동반한 요곡 및 지괴의 경동운동을 통해 태백산맥과 개마고원을 중심으로 북서쪽으로 기울어진 지형의 원형이 만들어졌다고 보고 있다. 이러한 과정을 통해 한반도의 전체적인 지형특성이 결정되었

고, 이후의 지반운동은 산지가 삭박되면서 하중의 감소를 보상하기 위해 점진적으로 이루어지는 용기, 즉 지각균형적 용기(isostatic uplift)로 추정되고 있다(장호·박희두, 2001).

이상의 기술이 정확하다고 전제할 경우, 한반도의 지형은 신생대 3기의 지반운동에 의해 그 원형이 만들어졌으며, 이후 지속적인 삭박작용의 영향하에 놓여 있는 것으로 추정할 수 있다. 하지만, 이 연구에서 준지형면과 준지형면축의 특성을 살펴보면, 지역별로는 지반운동의 방향성과 공간적인 범위, 지반운동의 시기, 그리고 용기량의 측면에서 큰 차이가 나타난다는 것을 알 수 있었다.

한반도는 판구조론적 시각에서 보면 태평양판과 필리핀판이 유라시아판과 충돌하는 위치에 인접하고 있으며, 인도판이 유라시아판에 부딪치면서 발생하는 응력에 직접적인 영향을 받고 있다(전명순 외, 1993; 지현철, 2005). 이렇게 복잡한 판들의 상대적인 움직임과 그에 따른 응력의 시간적 차이에 의해 복잡한 지구조적 발달특성을 보인다. 영남분지를 대상으로 한 지구조 연구에 의하면, 한반도에 영향을 미친 응력의 방향은 신생대 제3기 이후에도 시간적으로 많은 변화를 경험한 것을 알 수 있다(최범영 외, 2003). 이러한 응력방향의 시간적, 공간적인 차이는 궁극적으로 한반도를 구성하는 지역간에 큰 차이를 가져왔을 것이라는 것을 쉽게 유추할 수 있는 사실이다.

한반도의 지반운동의 특성을 보다 명확하게 구별하기 위해서는 판구조론적 시각에서 한반도에 영향을 미친 응력의 분포, 그리고 그러한 응력의 시간적인 변화 등에 관한 자료가 필요하다. 하지만, 국내외의 연구성과들을 고려할 경우, 이러한 자료를 구하는 것은 현실적으로 불가능하며, 이 연구의 범위를 벗어나는 작업이다. 따라서 이 연구에서는 지반운동(용기)의 방향성과 특징을 중심으로 한반도가 경험한 지반운동은 지역적인 차이에 대한 해석에 주력하고자 한다.

전장에서 논의된 준지형면의 분포와 준지형면축의 방향성을 분석하면, 한반도는 크게 4개의 지반운동구로 구분될 수 있을 것으로 보인다. 각 지반운동구의 경계는 그림 8 나)의 A-B, C-D, E-F, E'-F' 선으로 표현된다. 이러한 경계선을 따라 한반도를 북부지반운동

구, 중부지반운동구, 남부지반운동구, 그리고 동해안 지반운동구로 구분할 수 있을 것이다(그림 8 나), 각 지반운동구의 개략적인 특성과 더불어 지질발달과정을 반영하는 지체구조와의 관련성, 그리고 각각의 지반운동구가 가지는 상대적인 용기량²¹⁾의 차이를 간략하게 기술하면 다음과 같다.

1) 북부지반운동구

북부와 중부지반운동구의 경계선은 황해도 황주군-평양특별시-평안남도 북창군-함경남도 요덕군-함경남도 금야군을 통과하여 동해로 연결된다(그림 8 나)의 A-B). 서해쪽의 말단부는 준지형면의 분포만으로는 명확하게 파악하기 어렵다. 지체구조²²⁾와의 비교에서 북부지방과 남부지방을 나누는 지반운동구 경계선 A-B는 평남분지와 낭림육괴의 경계선과 유사한 방향성을 보이지만, 서해안 쪽에서는 상당한 차이를 보이고 있다.

북부지방의 경우에는 남부 혹은 중부지방과는 확연히 다른 지반운동의 특성을 보인다. 가장 주목되는 점은 함경산맥, 낭림산맥, 마천령산맥으로 둘러싸인 개마고원지역을 중심으로 지역적인 지반운동의 특성을 보인다는 점이다. 이것은 남부지방의 덕유산-지리산축과 중부지방의 태백산축을 중심으로 하는 선적인 지반운동과는 큰 차이를 보이는 것이다. 지역적인 용기현상을 보이는 개마고원을 중심으로 3면으로는 점차적으로 용기량이 줄어들면서 계단상의 준지형면들이 발달하고 있다. 서쪽으로는 강남산맥과 마식령산맥을 따른 준지형면축이 존재하며, 동쪽으로는 함경산맥을 따라 준지형면들이 점차적으로 낮아지는 형태를 보이고 있다. 동쪽과 서쪽으로 뻗어 있는 준지형면축이 대체로 1면까지 낮아지는 반면, 남쪽 함경산맥의 서측 말단부(그림 8 나)의 D 지점, 낭림산맥 남측 말단부(그림 8 나)의 E 지점) 등은 급경사의 단애면을 보이고 있다는 점이 주목된다. 이러한 단애면은 함경산맥이 보여주는 대체적인 특징으로 지반운동구 경계선 A-B를 따라 그 남쪽과 북쪽간에는 상당한 용기량의 차이가 있었다는 점을 시사한다.

2) 중부지반운동구

중부지반운동구의 특징은 명확한 부채꼴의 지반운동특성을 보인다는 점이다. 먼저 동해안에 면해 있는 태백산축을 따라 뚜렷한 선적인 용기현상이 나타나고 있으며, 동쪽으로는 탁월한 준단애면이, 그리고 서쪽으로는 용기량이 점진적으로 감소하는 현상을 보인다. 태백산축을 시작으로 그 서쪽으로는 4개의 계단상 침식준지형면축이 잘 발달하고 있다. 태백산축의 북측과 남측 말단부는 제③면의 준지형면이 관찰되어 제⑥면이 탁월한 태백산축보다는 용기량이 상대적으로 적지만 침식준지형면축의 말단부로 표시된 ②면보다는 용기량이 상대적으로 높은 것으로 보인다.

여기서 한가지 주목되는 점은 기존의 산맥연구에서 용기의 축으로 고려되었던 태백산맥과 이 연구에서 파악된 준지형면축의 공간적인 범위가 큰 차이를 보인다는 점이다. 태백산맥의 공간적인 범위는 한국지형학에서 상당한 논란의 대상이 되어온 것이 사실이다(이민부, 2005). 일반적으로 추정되는 범위는 추가령구조곡에서 부산의 다대포로 이어지는 선이다(국립지리원, 1982). 하지만 이 연구에서 밝혀진 태백산의 용기범위가 평안남도 양덕군에서 시작되어 동해안을 면해 남하하면서 경상북도 영천에서 멈추는 것으로 분석되었다. 이러한 용기량의 분포와 산맥의 분포에 관해서는 추가적인 논의가 필요하다.

지체구조와의 비교에서 한반도의 중부지반운동구와 남부지반운동구를 나누는 C-D 선은 지체구조구의 분포와 큰 차이를 보인다. C-D 선은 충청남도의 태안군에서 시작되어 경기육괴와 소백산육괴의 지리산지역, 그리고 경상분지의 경계선을 거의 수직으로 가로지르면서 나타나고 있다. 경기육괴-옥천대-영남분지의 평행한 지체구조구의 배열은 중생대에 이미 그 기본적인 형태가 형성된 것으로 추정되고 있다(대한지질학회, 1998). 이러한 지체구조구가 그 이후의 지반운동과 더불어 어떻게 변형되면서 진화되어 왔는지에 대해서는 좀 더 체계적인 연구가 필요하다.

3) 남부지반운동구

남부지방의 경우에는 충남 태안과 경북 포항을 잇는 선을 따라 그 이남은 대체로 북북동-남남서의 방향성을 가지는 덕유산-지리산축이 지나고 있으며, 그 동쪽으로는 양산단층의 서쪽에 소규모의 지형면축이 유사한 방향을 가지면서 나타나고 있다. 덕유산-지리산을 잇는 지형면축을 중심으로 서쪽으로는 그 지형면축의 폭이 넓게 나타나면서 비교적 단조로운 계단상의 준지형면이 나타나는 반면, 동쪽으로는 낙동강으로 연결되는 지형면들이 비교적 급한 경사와 더불어 복잡한 산지 특성을 보인다. 이러한 준지형면의 분포는 덕유산-지리산 축을 경계로 서쪽으로는 점진적인 용기량의 감소가 탁월하게 나타나는 반면, 동쪽지역으로는 넓은 지역에 걸쳐 상대적으로 높은 용기량을 보인다고 볼 수 있을 것이다. 하지만, 이 지역을 수직으로 관통하고 있는 낙동강은 지반의 용기와 동시에 삭박작용을 일으켜, 복잡한 산지구조와 계단상 지형을 형성한 것으로 추정된다.

4) 동해안지반운동구

동해안에 면해 있는 양산축과 길주-명천축은 다른 축과는 달리 소규모로 독립되어 나타나고 있다. 이 축들을 따라서는 3면 혹은 4면의 준지형면들만 관찰되고 있으며, 준지형면들의 공간적인 연결성도 비교적 불명확한 것으로 나타났다. 이러한 특성은 주변지형의 지반운동이 상대적으로 후대에 이루어진 것으로 추정할 수 있으며, 상대적으로 불량한 준지형면의 분포는 비교적 빠른 용기 혹은 지속적인 교란을 의미하는 것으로 볼 수 있다.

그 공간적 범위가 정확하게 일치하는 것은 아니지만, 이 지반운동구는 지질학적으로는 환태평양알칼리 화산지구와 상당한 관련을 가지고 있는 것으로 추정된다. 환태평양알칼리화산지구는 한반도와 일본 열도사이의 동해 연변에 존재하는 플라이오세-플라이스토세의 화산활동으로 인한 알칼리 암석들이 분포하는 지역이다(대한지질학회, 1999). 이 지역은 현재 활성단층에 대한 논의와 더불어 활발한 지구조적 연구들이 진행되고 있는 지역이다(예, 최범영 외, 2003).

5. 요약 및 결론

이 연구는 수치고도모델(DEM)의 분석을 통해 한반도의 지반운동의 공간적인 분포특성을 파악하고자 하였다. 먼저 지반운동과 지표삭박작용간의 상관관계를 이론적으로 검토한 뒤, 과거 존재했을 것으로 추정되는 지형면의 공간적 분포를 파악할 수 있는 지형분석 기법을 개발하였다. 개발된 기법은 유역분수계의 고도가 삭박이 이루어지기 전의 지형특성을 지시해주는 증거로 가정된 뒤, DEM에서 지표삭박작용의 영향을 배제한 과거의 지형면(준지형면)을 복원하는 것이었다.

한반도에서는 추출된 준지형면들은 일정한 방향성과 뚜렷한 공간적인 패턴을 보여주고 있다. 방향성을 가지는 준지형면들을 서로 연결한 선을 이 연구에서는 지형면축으로 명명하였으며, 성인에 따라 다시 용기준 지형면축과 침식준지형면축으로 구분하였다. 한반도에서는 모두 13개의 준지형면축이 나타나며, 이들의 방향성과 길이, 그리고 상대적인 용기량은 지역별로 큰 차이를 보였다. 가장 많은 수의 준지형면이 나타나는 준지형면축은 함경산맥을 따른 축으로 8면의 준지형면이 관찰된다. 낭림산맥과 태백산맥을 따른 축에서는 각각 7면과 6면의 준지형면이 관찰되었다. 함경산맥과 낭림산맥, 그리고 태백산맥을 따라 나타나는 축에서는 다시 4-5면의 준지형면이 나타나는 준지형면축을 관찰할 수 있었다. 남부지방에서는 덕유산-지리산을 잇는 축을 따라서는 최대 5면의 준지형면이 나타났다. 이외에도 양산단층의 서쪽과 길주-명천지구대 이남의 산지를 연결하는 환태평양알칼리화산지구를 따라 4개 혹은 3개의 준지형면이 나타나는 2개의 독립된 축이 관찰되었다.

준지형면축과 준지형면의 공간적인 분포는 한반도의 지반운동 특성이 모두 4지역으로 나뉜다는 것을 보여준다. 이 연구에서는 이들을 각각 북부지반운동구, 중부지반운동구, 남부지반운동구, 그리고 동해안지반운동구로 명명하였다. 북부지반운동구는 개마고원을 중심으로 지역적인 용기를 경험하였으며, 서쪽과 동쪽, 그리고 남쪽으로는 점진적인 용기량의 감소현상을 보인다. 북부와 중부지반운동구의 경계선은 황해도 황주군-평양특별시-평안남도 북창군-함경남도 요덕

군-함경남도 금야군을 통과하여 동해로 연결된다. 중부지반운동구는 동해에 면한 태백산축을 따라서 급격한 용기가 발생하였으며, 북서-남동방향으로는 용기량이 점차적으로 감소하는 특성을 보인다. 남부지반운동구는 충남 서산과 경북 포항을 잇는 선 이남의 지역이다. 이 지역은 남부지방의 중앙을 관통하는 덕유산-지리산을 잇는 선을 따른 용기축을 중심으로 서측보다는 동측의 용기량이 높은 비대칭적 지반운동의 특성을 보여준다. 지질적으로 환태평양알칼리지구로 지칭되는 남동부해안지역과 길주-명천지구대를 중심으로 한 지역을 중심으로는 비교적 최근의 활발한 지반운동을 보이는 동해안지반운동구가 존재하고 있다.

한반도를 구성하고 있는 지반들의 움직임의 공간적인 차이는 한국지형의 해석에 있어 중요한 의미를 가질 것으로 기대된다. 장기적으로는 한반도의 지형형성 작용을 해석하고, 지형발달사를 복원하는 데 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 이러한 목적을 달성하기 위해서는 이 연구에서 전제된 용기와 지형과의 관계, 개발된 지형분석기법의 검증, 그리고 분석결과에 대해 보다 구체적인 지형학적 증거들을 수집하는 작업이 병행되어야 할 것이다.

註

- 1) 지면의 제약으로 이러한 연구들에 대한 상세한 기술은 생략한다. 하지만 장호·박희두(2001)은 한국에서 이루어진 하안단구 연구들을 상세하게 정리하고 있으며, 오건환·최성길(2001)은 해안단구에 대한 기존의 연구결과들을 정리하고 있어 독자들에게 중요한 정보를 제공해 줄 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 이 연구에서 사용되는 지형면은 경사가 낮은 평탄한 지형의 형태적인 특성을 지칭하는 것으로, 한국지형학에서 전통적으로 사용되어 왔던 침식면 혹은 평탄면과는 구별해서 사용하고자 한다.
- 3) 한국의 경우에는 산정상부에 존재하고 있는 고위평탄면의 존재와 유사한 고도의 봉우리들이 나열되어 있는 지형특성(봉고동일성)은 오랜 기간 지반운동의 존재를 유추할 수 있는 증거로 간주되어 왔다(권혁재, 2005).
- 4) 사면유역지수란 DEM상에서 특정 지점으로 유입되는 물의 양을 추정하는 지형변수로, 지형학·수문학·토양학 분야에서 물의 흐름을 추적하는 기법에서 광범위하게 사용되고 있다(Moore *et al.*, 1993). 이 연구에서는 플로튜빙법(flow tubing methods)을 사용하여 사면유역지수를 구하였다(Tarboton, 1997). 이 과정에 사용된 프로그램은 Conrad(1998)가 제작하여 배포한 DiGem이었으며, 사면유역지수의 계산 전에 DEM상에 존재하는 sink들을 제거하는 작업을 거쳤다(Hutchinson and Dowling, 1991).
- 5) 준지형면의 호칭은 주변지역에서 고도가 가장 낮은 곳을 제 ①면으로 명하였으며, 고도가 증가하면서 순차적으로 나타나는 준지형면을 각각 ②, ③, ④, ⑤면 등의 순서로 호칭하였다.
- 6) 이 그림에서는 설명의 편의상 짧은 구간만을 예를 들어 설명하였지만, 실제 이 용기준지형면축은 남북방향으로 훨씬 길게 나타난다(그림 8 가) 참조).
- 7) 준지형면축의 배경은 표현의 편의를 위해 분수계내삽도에서 추출된 경사도가 1.25° 이상이 되는 지점들을 단순화하여 표현하였다.
- 8) 이 연구에서 준지형면축의 명칭은 준지형면축의 공간적인 분포가 기존의 산맥분포와 유사한 경우에는 산맥의 명칭에 근거하여 호칭하였다. 하지만, 각각의 공간적 분포와 범위는 기존에 알려진 산맥과는 상당한 차이를 보인다는 점을 유념할 필요가 있다. 반면, 기존에 산맥으로 인식되지 않은 지역에서 나타나는 준지형면축은 필자가 호칭하였다. 그 대표적인 것이 양산준지형면축, 덕유-지리산준지형면축, 길주-명천준지형면축 등으로 잘 알려진 지역명 혹은 산지명을 참조하였다.
- 9) 남부지방의 준지형면의 분포에서 특이한 내용은 전라남도 영광군과 경상북도 포항시를 연결하는 선을 따라 지형면축이 상당히 왜곡되어 있다는 사실이다. 이 선을 경계로 덕유산 중심의 준지형면과 지리산 중심의 준지형면이 명확히 분리되고 있고, 서쪽으로 ②면의 폭이 확대되고 있다. 이러한 준지형면의 왜곡현상은 전라남도 함평군에서 대구시로 연결되는 대규모의 지구조선과 인접하고 있어, 남부지방의 지반운동의 해석에 중요한 시사점을 제공할 것으로 판단된다.
- 10) 통상적으로 소백산맥으로 불리던 산지의 단절현상에 대해 김상호(1977)은 소백산맥은 소백산(1,439m)에서 덕유산(1,058m)에 이르는 산지와 덕유산(1,508m) 중심의 산지 및 지리산(1,915m) 중심의 산지로 나누었다. 이들을 통칭하여 소백산지로 부를 것을 제안하기도 하였다.
- 11) 태백산축의 공간적인 범위를 기존의 태백산맥과 비교하면 두 가지 특이한 점을 발견할 수 있다. 첫째는 전술한 바와 같이 태백산축의 남단이 경북 청송 부근에서 끝난다는 점이다. 두 번째는 기존의 산맥표기에서는 태백산맥이 원산 부근의 추가령구조곡에서 단절되는 것으로 표기되어 왔던 것에 반해, 태백산축은 그보다 훨씬 북쪽으로 연결되어 있다는 점이다.

- 12) 상대적으로 낮은 준지형면은 추가령곡의 형성과 관련이 있을 것으로 추정된다. 이러한 준지형면축의 단절현상은 덕유산-지리산축에서도 발견되고 있다(각주 9 참조). 이러한 지형면축의 단절현상에 대해서는 향후 보다 체계적인 연구가 필요하다.
- 13) 주의를 요하는 것은 이러한 준지형면축의 공간적 범위가 산맥으로 표기되는 것보다 훨씬 짧다는 사실이다. 멸악축은 평안남도 양덕에서 시작되어 황해북도 은파군까지 연결된다. 광주축은 강원도 금강군에서 경기도 양주로, 차령축은 강원도 삼척-태백에서 충청북도 충주로, 그리고 소백산축은 태백산에서 시작되어 충청북도 보은까지 연결되고 있다.
- 14) 북한의 문헌에서는 함경산맥(산줄기)의 형성원인을 다음과 같이 설명하고 있다. '이 산줄기(함경산줄기와 부전령산줄기)의 형성과정은 개마고원의 형성과정과 밀접히 연관되어 있다. 개마고원은 고 제3기의 준평원이 경동지각운동의 결과 북쪽으로 기울어져 생긴 고원인데, 남쪽과 남동쪽으로 1,000-1,200m나 틀기되어 있다. 개마고원은 그와 린접하고 있는 조선동해의 바다분지대로 떨어질 때 반듯한 면이 대단렬선을 따라 절단되면서 떨어진 것이 아니라 절단부위에서 고원면이 대단렬대의 전구간에 걸쳐 좀 높아졌다가 떨어졌다. 이 때 고원면이 조선동해로 떨어지기에 앞서 높아진 정도는 500-800m이다(홍순익, 1989, 53).' 낭림산줄기의 형성원인을 설명할 때도 이와 유사한 과정이 논의되고 있다(김정락 외, 1999, 53).
- 15) 이 축은 기존에 알려져 있는 마천령산맥과는 약간은 다른 방향을 보이고 있지만, 편의상 마천령준지형면축이라고 명명하였다.
- 16) 강남준지형면축으로 명명된 이축의 폭은 매우 넓어 과거 강남산맥과 적유령산맥을 합친 것과 유사한 폭을 보여준다.
- 17) 이 연구에서 압록강과 두만강 이북지역의 DEM이 포함되지 않아, 북쪽으로는 어떠한 지형면의 분포가 나타날지에 대해서는 확인하기 어려웠다.
- 18) 라우텐자흐는 한반도의 산맥을 그리면서 이 지역에 나타나는 산맥을 북수백산맥으로 명명하였다(박수진·손일, 2005a).
- 19) 북한의 문헌에는 '북수백산줄기'의 형성을 다음과 같이 설명하고 있다. '북수백산줄기는 고기산줄기의 유물이다. 즉 현재의 개마고원이 틀기하지 않고 준평원으로 있을 때 이미 그 준평원면위에 자오선방향으로 련화산줄기와 북수백산불기가 배열되어 있었다. 시생대결정기반에서 제3기 삭박작용이 진행될 때 일부구역이 점차 틀기됨으로써 두 줄기의 산줄기가 나란히 이루어지게 되었다(홍순익, 1989, 53).'
- 20) 북한의 문헌(김정락 외, 1999)에는 유사한 지점에서 나타나는 산줄기를 '칠보산줄기'로 명명하고 있지만, 그 성인에 대해서는 설명하지 않고 있다.

- 21) 상대적인 용기량의 차이는 각 준지형면축이 가지고 있는 준지형면의 수를 준지형면축의 시작부분과 끝부분, 그리고 다른 준지형면축과 만나는 지점을 중심으로 표시한 것이다. 준지형면의 분포에서 ①면이 상당히 넓은 지역을 차지하고 있기 때문에, 용기량의 비교에서는 ②면까지만 표기하였다.
- 22) 지체구조구(tectonic province)란 지표를 구성하고 있는 압상과 암질, 형성과정의 공통성과 연속성을 근거로 하여 지질특성을 구분한 것으로, 한반도에는 6개의 대규모 지체구조구가 존재하며, 이들 지체구조구에는 2-4개의 작은 구조구가 구분된다(대한지질학회, 1999).

文獻

- 국립지리원, 1982, 한국지지: 총론편, 국립지리원.
- 권현재, 2000, "한국의 산맥," 대한지리학회지, 35(3), 389-400.
- 권현재, 2005, 지형학, 제4판, 법문사.
- 김상호, 1977, "한국의 산맥론," 자연보존, 19, 1-4.
- 김상호, 1980, "한반도의 지형형성과 지형발달서설," 지리학연구, 5, 1-15.
- 김정락·림권목·강진조·홍순익·오진권·홍육근·박칠성·최태성, 1999, 조선의 산줄기, 과학기술출판사, 평양.
- 김종욱, 1993, "지형학에서의 시간의 역할과 기능," 지리교육논집, 30, 1-15.
- 대한지질학회, 1999, 한국의 지질, 시그마프레스.
- 박노식, 1967, "한강 하류지형면의 분류와 지형발달에 관한 연구: 양수리에서 능곡까지," 경희대학교 논문집, 5, 118-168.
- 박봉순, 1982, "한반도 지체구조의 특성," 한국의 지질과 광물자원, 김옥준교수 정년퇴임 기념논문집, 155-170.
- 박수진, 2007, "한반도의 지반운동 (III): 지반운동구와 지질다발지역의 상관관계," 대한지리학회지(준비중).
- 박수진·손일, 2005a, "한국 산맥론(I): DEM을 이용한 산맥의 확인과 현행 산맥도의 문제점 및 대안의 모색," 대한지리학회지, 40(1), 126-152.
- 박수진·손일, 2005b, "한국 산맥론(II): 산줄기지도의 제안," 대한지리학회지, 40(3), 253-273.
- 박수진·유근배, 2004, "지형학적 공간구조의 해석을 위한 DEM의 최적적자선정에 관한 연구," 한국지형학

- 회지, 11(3), 1-29.
- 손일, 2000, “자연지리학,” 제29차 세계지리학회 조직위원회(편), 한국의 지리학과 지리학자, 한올아카데미, 107-168.
- 송언근·조화룡, 1989, “한국에 있어서 갑입곡류하천의 분포특성,” 제4기학회지, 3, 17-34.
- 오건환·최성길, 2001, “한국의 해안단구,” 박용안·공우석(편), 한국의 제4기환경, 서울대 출판부, 159-191.
- 오경섭, 1996, “한국지형학의 50년 회고와 전망,” 대한지리학회지, 31(2), 106-127.
- 이민부, 2005, “교과서에 수록된 산맥도의 비교평가,” 지역지리학회 2005년 동계학술대회 발표문.
- 장호·박희두, 2001, “한국의 하안단구,” 박용안·공우석(편), 한국의 제4기환경, 서울대 출판부, 193-236.
- 전명순·최위찬·박근필, 1993, 한반도와 그 주변의 Neo-Tectonic에 관한 연구, 과학기술처.
- 조화룡, 1982, “지형,” 한국지지-총론, 건설부 국립지리원, 160-165.
- 조화룡, 2003, “산경표 산맥체계로는 우리나라 지체구조를 설명할 수 없다,” 한국지형학회지, 10, 107-109.
- 지현철, 2005, “신속한 지진피해평가시스템 구축,” 국토, 285, 25-39.
- 최범영·전명순·전정수·류충렬·이병주·안기오, 2003, “지구조 계통 토론 및 종합,” 최범영 외(편), 한반도 지구조 진화연구-후기중생대·신생대 지구조 진화사(3), 한국지질자원연구소, 257-271.
- 홍순익, 1989, 조선자연지리, 김일성종합대학출판사, 평양.
- 立岩巖, 1976, 朝鮮-日本列島地帶脂質構造論考: 朝鮮脂質調査研究史 東京大學出版會, 東京(양승영(역), 1996, 韓半島地質學의 初期研究史-朝鮮日本列島地帶地質構造論考, 경북대학교 출판부).
- Burbank, D.W. and Anderson, R.S., 2001, *Tectonic Geomorphology*, Blackwell Science.
- Chorley, R. J., Schumm, S. A., and Sugden, D. E., 1984, *Geomorphology*, Methuen & Co. Ltd., London.
- Carson, M.A. and Kirkby, M.J., 1972, *Hillslope Forms and Processes*, Cambridge University Press.
- Conacher, A.J. and Darlymple, J.B., 1977, The nine unit landsurface model: An approach pedogeomorphic research, *Geoderma*, 18, 1-154.
- Conrad, O., 1998, *DiGem-Software for Digital Elevation Model*, Ph.D. Thesis(in German), University of Goettingen, Germany.
- Hack, J.T., 1960, Interpretation of erosional topography in humid temperate regions, *American Journal of Science*, 258A, 80-97.
- Hutchinson, M.F. and Dowling, T.I., 1991, A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia, *Hydrological Processes*, 5, 45-58.
- Kooi, H. and Beaumont, C., 1996, Large-scale geomorphology: classical concepts reconciled and integrated with contemporary ideas via a surface processes model, *Journal of Geophysical Research*, 101, 3361-3381.
- Martin, Y. and Church, M., 2004, Numerical modelling of landscape evolution: Geomorphological perspective, *Progress in Physical Geography*, 28(3), 317-339.
- Molnar, P., 2003, Nature, nurture, and landscape, *Nature*, 426, 612-615.
- Moore, I.D., Turner, A.K., Wilson, J.P., Jenson, S.K. and Band, L.E., 1993, GIS and land surface-subsurface modeling, in Goodchild, M.F., Parks, B.O., and Steyaert, L.T. (eds.), *Environmental Modeling with GIS*, Oxford University Press, New York, 196-230.
- Tarboton, D.G., 1997, A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models, *Water Resources Research*, 33, 309-319.
- Thorn, C.E.(ed.), 1982, *Space and Time in Geomorphology*, Allen & Unwin, London.
- 교신 : 박수진, 151-746, 서울특별시 관악구 신림동 산 56-1, 서울대학교 사회과학대학 지리학과(catena@snu.ac.kr, 전화: 02-880-9007)
- Correspondence: Park, Soo Jin, Department of Geography, College of Social Sciences, Seoul National University, San 56-1, Silim-dong, Gwanak-gu, Seoul, 151-746(e-mail: catena@snu.ac.kr, phone: 02-880-9007)
- 최초투고일 07. 05. 08.
최종접수일 07. 06. 06.