

지형분석과 수리구배지수를 이용한 신기 지체구조 운동의 인식

최원학

한전 전력연구원 환경구조연구소 부지평가그룹
대전광역시 유성구 문지동 103-16

1. 서론

경주에서 울산에 이르는 북북서 방향으로 뚜렷한 선형구조가 나타나고 있으며, 이를 따라 울산단층이 발달하고 있다. 하지만 선형구조의 중심부인 중앙 저지대에서 단층파쇄대나 단층점토대와 같은 직접적인 단층의 증거는 나타나지 않고 있다. 최근에 울산단층 동측에서 여러 개의 제4기 단층 노두가 보고되었으며 이에 대한 운동시기와 변위에 대한 연구가 진행되고 있으며 논문이 다수 발표되었다(Okada, 1998; 장태우, 2001; 최원학, 2003). 또한 일부 말방단층노두나 갈곡리 등에서는 트렌치를 실시하여 최근의 지체구조 변위율도 계산한 바 있다(최위찬 외, 2000). 개별적인 제4기 단층 노두에 대한 기재와 연대측정 기록 및 제4기 단층이 울산단층의 동부에서만 나타나고 있는가에 대한 연구와 신기 지체구조적 측면에서 제4기 단층 운동이 종합적으로 해석된바 있다(최원학 외, 2005; Inoue and Choi, 2006). 이 연구에서는 울산단층을 중심으로 DEM(Digital Elevation Model) 자료를 이용하여 양측의 지형과 수계형태를 분석하고, 이를 최근 지체구조운동과의 연관성을 고찰하였다. 지형분석은 구체적으로 지형경사와 사면방위 분포를 분석하였고, 수계 분석은 수계망을 이용하여 수계 구배지수(stream gradient index)를 구하여 최근 지형변화를 반영하고 있는가를 검토하였다.

2. 수치지형 자료와 연구지역 특성

일반적으로 수치에 의하여 지형의 기복을 나타낸 자료를 수치 고도 모델(DEM: Digital Elevation Model)이라고 한다. 수치 고도 모델은 지표면에 일정 간격으로 분포된 지점의 높이 값을 수치로 기록한 것으로 주로 지형의 분석에 이용되며, 각종 모델링이나 각종 자료의 생성에 기초 자료로 이용된다. 수치 고도 모델의 생성 방법은 원시 자료의 종류에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 항공 사진을 이용한 방식과 수치지도(Digital map)를 이용한 방식이다. 항공사진을 이용한 방식은 지형의 형태를 비교적 왜곡없이 잘 나타내주는 반면 상대적으로 제작이 복잡하다. 수치지도를 이용한 방식은 등고선의 조밀도에 큰 영향을 받고 건물 등의 모델링이 불가능하다는 단점을 가지고 있기는 하나, 제작의 편리성으로 인해 가장 선호하는 형태이다. 이 방식은 기본적으로 등고선을 이용하여 부정형 삼각망(TIN : Triangular Irregular Network)을 형성한 뒤, 이 자료에 표고점이나 해안선 등을 추가하여 일정 격자망으로 재구성하는 방식을 취하고 있다.

이 연구에서는 수치지도를 이용한 방식을 이용하여 수치고도모델을 제작하였으며, 수치지형도는 국립지리원에서 발행한 축척 1 : 5,000 및 1 : 25,000 지형자료를 이용하였다. 수치고도모델 제작과 분석에는 Mapinfo Professional 6.5 version과 Vertical Mapper 2.0 version을 사용하였다.

지형 및 수계 분석의 대상으로 삼은 지역은 경주-울산간 제4기 단층들이 분포하는 지점과 울산단층을 중심으로 양측을 포함하는 지역으로 동서로 15km, 남북으로 40km에 달한다(Fig. 1). 이 지역에 분포하는 암석은 백악기 경상누층군에 속하는 하양층군, 유천층군과 이들을 관입하는 불국사 관입암류 및 그 위에 분출된 제3기 화산암과 부정합적으로 분포하는 소규모 제3기 분지, 마지막으로 제4기 선상지 퇴적층과 하상충적층으로 구성되어 있다. 울산단층 동측에 발달하는 제4기 단층은 대부분 불국사 화강암과 유천층군의 안산암을 기반암으로 하여 이를 부정합으로 피복하고 있는 선상지 퇴적층이나 하상퇴적층인 제4기층을 절단하는 양상으로 나타나고 있다(Fig. 4).

울산단층을 중심으로 동측에서는 서쪽으로 흐르는 많은 계곡이 나타나고 있으며 이들 각각의 계곡 입구에는 선상지가 고유의 모양을 보이며 발달하고 있는데, 선상

지의 크기나 분포는 계곡의 깊이와 유역 면적과 관계가 있다(Fig. 1). 특히, 선상지의 선단(apex)의 분포는 산록사면의 중간부분에 위치하고 있고 선미(distal part)의 고도가 현 하상의 고도보다 높은 것으로 보아 울산 단층의 동측지역이 융기하였을 가능성을 시사한다. 하지만 울산단층의 서측에는 뚜렷한 양상을 보이는 선상지 발달이 미약하고 지형 경사도 동측에 비하여 완만한 편이다.

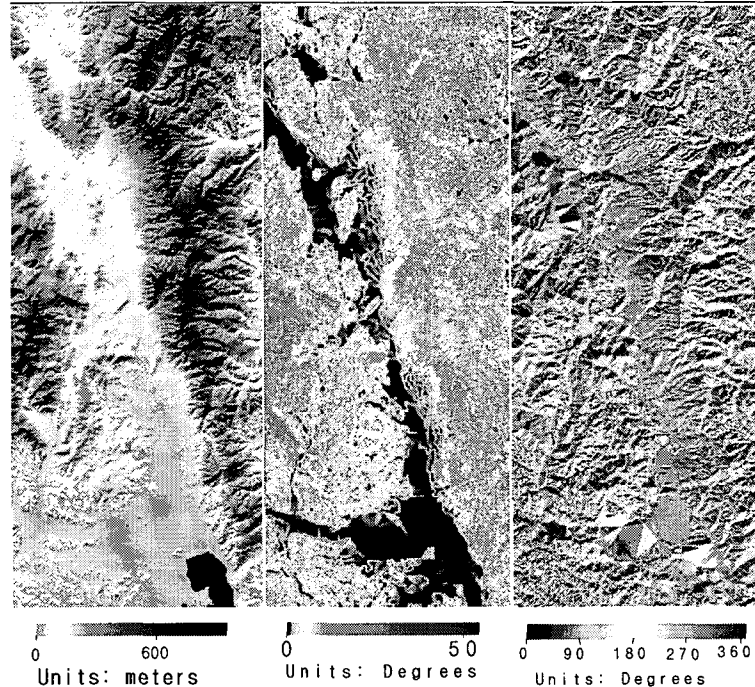


Fig. 1 Shaded relief map(a), slope distribution map(b), slope direction map(c)

3. 지형 및 수계망 분석

단층계곡을 흐르는 주 하천인 동천은 계곡부의 서측으로 위치하고 있다. 동천의 서쪽 지대는 상대적으로 낮은 산지들이 하천과 인접하고 있으며 수지상 수계를 형성하고 있다. 반면에 하천의 동측은 완만한 경사의 선상지가 넓게 분포하고 있으며 이들 선상지의 선단부에서 사면의 경사가 급격히 증가하는 양상을 보이고 있다. 또한 울산단층의 동쪽지괴에 해당하는 이들 산능의 종단면을 살펴보면, 서측 산사면은 앞서 언급한 바와 같이 상대적으로 짧은 고각의 사면을 이루면서 사면의 하부에는 완경사의 선상지들이 발달하고 있다. 그리고 수계의 형태는 이와 같은 사면의 영향으로 인해 고각부에서는 짧은 평행수계를 형성하여 완만한 선상지 부분을 지나 주하천인 동천에 수직내지 아수직으로 합류하는 양상을 보인다. 이에 반해 동측산사면은 상대적으로 긴 사면을 형성하고 있고 수계를 형성하는 계곡부들은 길고 깊은 양상을 보인다 수계의 형태 또한 시작은 전반적으로 평행수계로 시작하기는 하나 하부로 오면서 수지상 수계로 바뀌는 양상을 보이고 있다(Fig. 2, 3).

4. 수계구배지수(SL: stream-gradient index)

수계구배 지수는 $SL = (\Delta H / \Delta L)L$ 로 정의되는데, 여기서 ΔH 는 유역의 고도차를 나타내며, ΔL 은 유역의 길이를 나타낸다. 그리고 L 은 분수령으로부터의 유역의 중심까지 하상을 따라 켜 전체길이를 나타낸다(Hack, 1973). 이 수계구배 지수는 최근의 지형변화에 따른 수계양상을 지시하는 지수로서 신기지체구조 활동이 활발한 지역에서 이 지수를 이용하여 단층활동도를 구분하거나, 암상이 다른 지역에서의 침식정도를 표현하는데 이용된다(Keller, 1986)

우선 1:25,000 수치지형도상의 수계망에 대해서 저차수의 지류들은 줄여서 동천에 직접 유입되는 몇 개의 지류하천들로 정리하였다. 각각의 지류에 대해서 단면도를 작성하고 2-3개의 유역으로 구분하여 각 유역에 대한 수계구배지수를 구하였다

(Fig. 2). 지형 및 수계 분석대상지역의 구배지수는 11~187의 분포범위를 보이고 있는데(Fg. 3), 전반적으로 동천의 동쪽에 위치한 지류가 서쪽에 위치한 지류보다 상대적으로 높은 값의 분포범위를 보이고 있으며 불국사 관입암류가 나타나는 지역에서 상대적으로 높게 나타난다(Fig.4).

수계구배 지수값은 암석의 풍화에 대한 저항도가 크거나 수직의 신기지체구조 활동이 활발한 지역에서 높게 나타난다. 따라서 낮은 풍화도의 암석에서 비이상적으로 높게 나타나는 수계구배지수(SL)는 신기지체구조 활동으로 인한 역단층이나 정단층같이 수직적인 지형변화가 나타난다고 볼 수 있다. 주향이동 단층은 일반적으로 좁은 계곡으로 나타나는데, 이들은 암석의 파쇄로 인해 쉽게 풍화되는 양상을 보이며 낮은 수계구배지표를 나타낸다. 주향이동 단층은 두 지괴사이에 상대적인 이동이 용기의 양상이 아니기 때문에 낮은 수계구배지수를 보인다. 단층이 쉽게 풍화되는 퇴적암지대에 발달할 때, 또한 낮은 수계구배지수를 나타낸다(Keller, 1986).

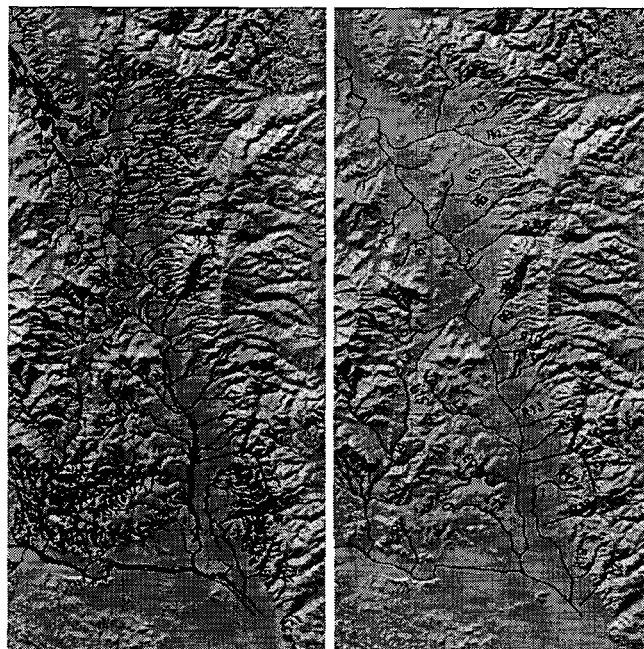


Fig. 2 Original drainage pattern on 1 : 25,000 map (left). Simplified drainage pattern for calculation of stream gradient index (right)

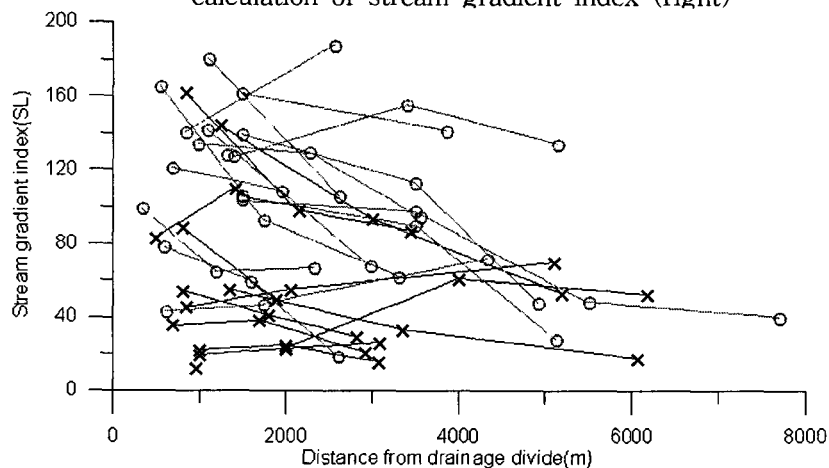


Fig. 3 Stream gradient index for both side of Dong-river.
O : east side of river, X : west side of river.

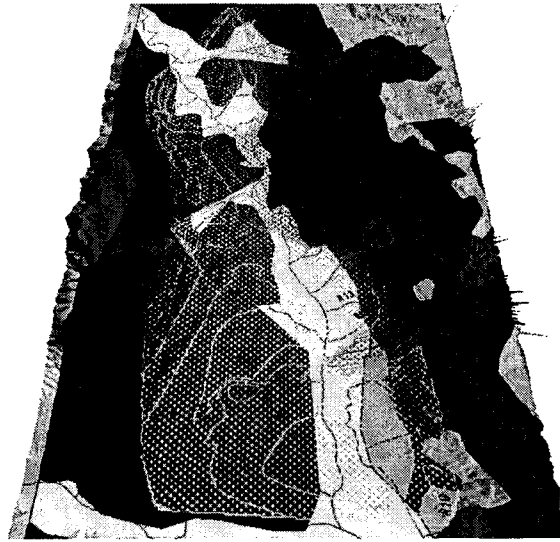


Fig. 4 Contour of stream gradient and geological map both side of the Dong-river

5. 결 론

경주에서 울산에 이르는 북북서 방향으로 뚜렷한 선형구조로 나타나는 울산단층을 중심으로 양쪽의 지형과 수계양상을 DEM 자료를 이용하여 분석하였다. 제4기 단층 노두가 여러 개 보고 된 울산단층 동측지역에는 서쪽으로 흐른 하천의 계곡 입구에 많은 선상지가 발달하고 있으며 지형의 경사가 급하다. 이에 비하여 울산단층 서측은 지형이 완만하며 선상지 발달이 미약하다. 울산단층 양쪽의 수계에 대하여 수계구배지수를 구하였는바, 동쪽의 수계구배지수가 서쪽에 비하여 상당히 높게 나타나고 있다. 동일한 암석이 분포하는 지역에서 이러한 수계구배지수의 차이는 최근의 지형적 변화를 시사하며, 제4기 단층이 나타나고 있는 울산단층의 동측에서 신기지체구조 운동에 의한 수직적인 지형변화가 있었음을 알 수 있다. 이 연구결과는 제4기 단층의 운동시기, 변위량, 변위속도 등과 함께 이 지역에서의 신기지체구조 운동사를 정립하는데 역할을 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Hack, J., T., 1973, Stream-profile analysis and stream-gradient index, U.S. Geol. Surv. J. Res. L., pp. 421-429.
- Inoue, D. and Choi, Weon Hack, 2006, The activity of the Ulsan Fault System based on marine terrace age study at the southeastern part of Korean Peninsula, Central Research Institute of Electric Power Industry, CRIEPI report N05012, 83p.
- Keller, E. A., 1986, Investigation of active tectonics: Use of surficial earth processes, Active tectonics, pp. 136-147.
- Okada, A. et al., 1998, Active Fault Topography and Fault Outcrops in the Central Part of the Ulsan Fault System, Southeast Korea, Journal of Geography, 107(5), pp. 644-658(in Japanese with English Abstract)
- 장태우, 2001, 울산단층 동쪽지괴의 제4기 조구조 운동, 지질학회지, Vol. 37, pp. 431-444.
- 최원학, 2003, 경주-울산간 신기 지체구조 운동의 연구, 박사학위논문, 서울대학교, pp. 205.
- 최원학, 이종림, 장천중, 연관희, 강금석, 박동희, 2005, 단층 변위속도 평가 및 분절화 국제공동연구 (최종보고서), 산업자원부, 227 p.
- 최위찬 외, 2000, 신기지각변형연구, 한국자원연구소, 과학기술부, pp. 277.