

원격탐사자료와 수치표고모형을 이용한 지질학적 선구조 분석기술: 경상분지 의성지역을 중심으로

김원균, 원종선, 김상완
연세대학교 지구시스템학과

A Technique Assessing Geological Lineaments Using Remotely Sensed Data and DEM : Euseong Area, Kyungsang Basin

Won-Kyun, Kim Joong-Sun Won, and Sang-Wan Kim
Department of Earth System Sciences, Yonsei University

Abstract

In order to evaluate the sensor's look direction bias in the Landsat TM image and to estimate trends of primary geological lineaments, we have attempted to systematically compare lineaments in TM image, relief shadowed DEM's, and actual lineaments of geologic and topographic map through the Hough transform technique. Hough transform is known to be very effective to estimate the trend of geological lineaments, and help us to obtain the true trends of lineaments.

It is often necessary to compensate the preferential enhancements of terrain lineaments in a TM image occurred by to look direction bias, and that can be achieved by utilizing an auxiliary data. In this study, we have successfully adopted the relief shadowed DEM in which the illuminating azimuth angle is perpendicular to look direction of a TM image for assessing true trends of geological lineaments. The results also show that the sum of four relief shadowed DEM's directional components can possibly be used as an alternative.

In Euseong-gun area where Sindong Group and Hayang Group are mainly distributed, geological lineaments trending $N5^{\circ} \sim 10^{\circ} W$ are dominant, while those of $N55^{\circ} \sim 65^{\circ} W$ are major trends in Cheongsong-gun area where Hayang Group, Yucheon Group and Bulguksa Granite are distributed. Using relief shadowed DEM as an auxiliary data, we found the $N55^{\circ} \sim 65^{\circ} W$

lineaments which are not clearly observed in TM image over Euseong-gun area. Compared with the trend of Gumchon and Gaum strike-slip faults, these lineaments are considered to be an extension of the faults. Therefore these strike-slip faults possibly extend up to Sindong Group in the northwest parts in the study area.

keywords : look direction bias, Digital Elevation Model, relief shadowed DEM, Hough transform, Strike-slip Fault

요 약

본 연구에서는 Landsat TM 센서의 관측방향에 따른 선택적 증감효과와 이를 고려한 지질학적 선구조의 주방향성 분석방법을 고찰하고자 하였다. 이를 위하여 경상분지내 의성지역의 2개의 소지역에 대한 TM 영상, 수치표고모형으로부터 얻어진 음영기복도, 지질도 및 지형도에서 분석한 선구조도에 대해 Hough 변환을 적용하여 얻어진 결과들의 상관관계 및 선구조의 주방향성을 비교, 분석하였다. Hough 변환은 지질학적 선구조의 방향성을 객관적으로 분석하는데 효과적이며, 본 연구에서는 Hough 변환을 이용하여 실제적인 선구조의 방향성을 구할 수 있었다.

위성 영상에서 센서의 관측방향에 따른 선택적 증감효과를 보정하기 위해서는 센서의 관측방향에 평행한 선구조를 분석할 수 있는 보조자료가 필요하며, 본 연구에서는 태양의 조명방위각이 센서의 관측방향에 수직인 음영기복도를 보조 자료로 이용하여 선구조 분석을 실시하였다. 분석결과 방위각을 달리한 음영기복도의 각각의 방향성분을 모두 더한 자료도 선구조도와 상관관계가 높아 해석의 보조자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에 의하면 신동층군과 하양층군의 일부를 포함하는 의성군일대는 $N5^{\circ} \sim 10^{\circ} W$ 방향의 주방향성을, 하양층군, 유천층군 및 불국사화강암이 분포하는 청송군일대는 $N55^{\circ} \sim 65^{\circ} W$ 의 주방향성을 보인다. 해석시 수치표고모형을 보조자료로 사용하여, 의성군일대의 TM 영상에서는 나타나지 않은 $N55^{\circ} \sim 65^{\circ} W$ 방향의 선구조의 존재가 확인되었으며, 그 위치가 백악기의 특징적인 주향이동단층인 가음단층과 금천단층의 연장선상에 놓여 있어 두 단층은 북서부의 신동층군까지 연장될 가능성이 있는 것으로 사료된다.

I. 서 언

원격탐사자료를 이용한 지질학적 연구는 지질구조의 특성을 파악하기 위한 선구조 연구, 지질경계의 분석, 위성자료와 기타 지질학자료(지구물리, 지화학자료 등)의 종합적인 연구등 다양하며 특히 선구조 분석은 매우 효과적인 것으로 널리 알려져 있다.

선구조는 직선 혹은 완곡의 지형요소로서, 인접한 표면 및 천부 지형요소와 구분이 분명한 단층, 파쇄대, 차별침식에 의해 형성되는 파쇄대를 지칭한다(Sabins, 1978; Masuoka, *et. al.*, 1988). 이러한 요소는 원격탐사자료에서 지형의 기복 변화 및 화소의 명암차에 의해 구분이 가능하다(Sabins, 1978).

선구조의 특성은 일반지질 연구, 광물탐사 연구 또는 대단위 시설물의 부지선정, 자연재해 예측과 관련된 자료의 해석 및 분석단계에서 중요한 역할을 한다(Lee and Chi, 1995). 그러나 위성자료를 이용하여 추출된 선구조와 실제 지질조사를 통하여 조사된 선구조는 차이를 보이고 있으며(Siegal *et al.*, 1980), 이는 자료의 획득시 위성의 궤적과 센서의 관측방향에 따른 선택적 증감효과가 이러한 차이를 유발하는 주된 요인 중의 하나이다. 특히 이와같은 관측방향에 따른 선구조의 선택적 증감효과는 SAR 영상에서 두드러지며(Lowman *et al.*, 1987), TM 영상의 경우도 선구조의 방향성을 구하는데 종종 어려움이 따른다(Won *et al.*, 1996). 이러한 증감효과를 보정하기 위하여는 정사사진을 이용해 선구조 분석을 실시하거나, 수치표고모형을 이용해 증감효과를 최소화하는 방법이 효과적이다.

본 연구의 목적은 Landsat TM 영상자료로부터 선구조의 주방향성을 구하는 기술을 개선하는데 있다. 이를 위해 TM 영상에서 구한 선구조의 주방향을 수치표고모형으로부터 얻어진 음영기복도(Shadowed Relief Map)에서 구한 선구조 및 지질도와 지형도를 이용하여 분석한 선구조의 주방향과 비교하여 센서의 관측방향에 따른 선구조의 선택적 증감효과를 분석할 것이다. 또한 음영기복도를 해석시의 보조자료로 이용하여 이러한 선택적 증감효과를 제거함으로써 올바른 지질선구조의 주방향성 분석방법을 고찰하는 것이다. 한편 분석된 선구조를 기존의 결과와 비교함으로써 연구 대상지역에서의 지질선구조의 연장 가능성에 대해 고찰할 것이다.

선구조 분석 방법으로는 Hough 변환을 이용하였다. Hough 변환은 영상에서 직선의 절편과 경사도(기울기)를 이용하여 선구조의 방향성을 분석하는 방법으로 Hough(1962)에 의해 개발되었으며, Duda and Hart(1972)는 영상에서의 한 직선을 Hough 공간상의 한 점으로 대응시킴으로써 계산의 효율성을 증가시켰다.

연구지역은 경상남북도 전역에 걸쳐 분포하는 백악기 경상분지중 북쪽에 분포하는 의성지역으로, 지형도는 의성, 군위, 화북, 길안도폭(1:50,000)에, 지질도는 의성, 천지, 군위, 구산동, 신령, 대울(1:50,000)도폭에 해당한다. Kang(1984)은 Landsat MSS를 이용하여 경상분지의 선구조 분석을 실시한 바 있다.

II. 일반지질

경상남북도 전역에 걸쳐 분포하고 있는 경상퇴적분지는 백악기 초기의 육성기원 쇄설성 퇴적물과 화산암으로 이루어진 육성퇴적누층군과, 후기의 산성 내지 염기성 화산암류의 분출과 이어진 불국사화강암의 관입에 의해 형성되었다. 백악기는 여러 번의 격렬한 지괴의 상승과 이

에 따른 육상 퇴적작용이 일어난 시기였으며, 경상분지 형성기간동안에도 빈번한 지역적 지괴 운동과 왕성한 화산활동이 수반되었다(Lee, 1987). 경상누층군은 하부로부터 신동층군, 하양층군, 유천층군으로 구성되어 있다.

신동층군(Shindong Group)은 경상분지의 서부 연변부에 위치하고 있으며, 북북동 방향의 곡분을 형성하고 있다.

하양층군(Hayang Group)은 분지의 전체적인 동쪽 확장과 더불어 퇴적된 층군으로서, 간헐적인 화산활동 및 퇴적동시성 지괴운동을 포함하고 있으며 서북서-동남동 방향의 단층들에 의해 특징지워진다. 하양층군은 주로 쇄설성 퇴적암으로 구성되어 있으며, 염기성 내지 중성 화산암이 협재되어 있다. 또한 하양층군은 성장단층인 안동단층과 팔공산단층을 경계로 영양, 의성, 밀양소분지로 나누어지며 각 소분지별 퇴적양상은 큰 차이를 보이고 있다.

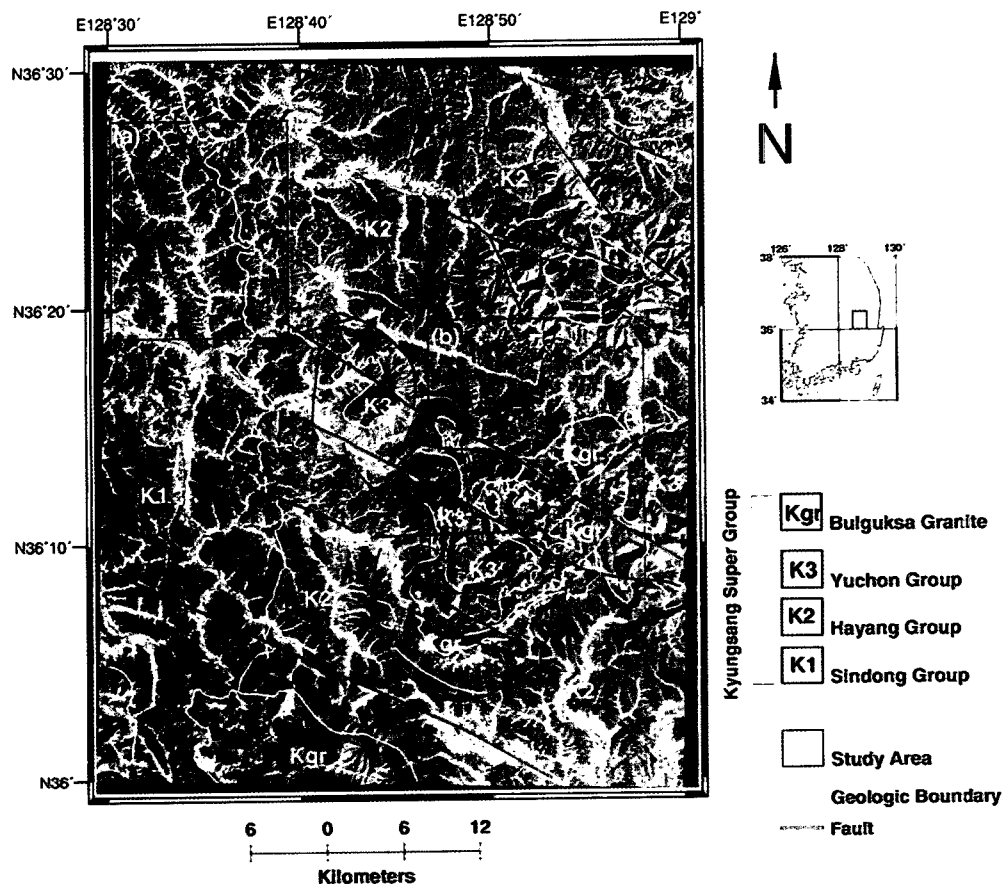


Fig. 1. Geological Map on top of the Landsat band 7 image over the Euseong Area.

유천층군(Yucheon Group)은 퇴적 당시의 왕성한 화산활동에 의한 화산암과 이에 협재된 퇴적암으로 구성되어 있다.

Fig. 1은 본 연구지역에 대한 지질도로서, 최하위층군인 신동층군이 서측부를 따라 분포하고 있으며, 그 위를 하양층군이 정합관계로 피복하고 있다. 유천층군은 하양층군을 부정합으로 피복하고 있으며, 본 연구지역의 중앙부 및 동남부의 단층군을 따라 분포한다. 지질학적 선구조로는 북서-남동 방향의 주향이동단층인 금천, 가음, 신령단층과 칼데라구조에 의한 환형의 정단층군 및 선형의 정단층들이 존재한다. 특히 주향이동단층들은 분지의 확장과 더불어 나타나는 특징적인 구조로서, 연구지역의 전범위에 걸쳐 북동-남서방향으로 나타난다. 선구조 분석은 신동층군과 하양층군이 분포하는 의성군일대(a: 13.9×17.0km)와 하양층군, 유천층군 및 불국사화강암이 분포하고, 금천 및 가음 단층이 포함된 청송군일대(b: 16.9×21.3km)를 선정하여 실시하였다.

III. 연구방법

1. Landsat TM 및 수치표고모형

본 연구에서는 1995년 11월 4일 얻어진 Landsat TM(114/35) 자료가 사용되었다. 영상의 중심은 동경 129°18'10", 위도 36°02'58"로, 연구지역으로부터 시계방향으로 약 45°의 남동 방향에 위치하고 있으며, 태양의 고도 및 방위각은 각각 31°, 144°NE이다. 위성의 진행방향은 N10°E이며, 따라서 관측 방향은 서북서-동남동(N80°W) 방향이 된다. 이에 따라 영상은 위의 방향에 수직방향 선구조의 선택적 증강효과가 예상된다. 선구조 추출은 7번 밴드를 이용하였다.

수치표고모형은 1:50,000 지형도(의성, 길안, 군위, 화북도폭)를 이용하여 위경도 3초 간격으로 생성하였으며, 태양의 조명 방위각을 변화시키면서 작성한 음영기복도를 이용하여 선구조를 추출하였다. 음영기복도의 제작은 Horn(1981)이 개발한 방법을 이용하였다. Fig. 2는 제작된 음영기복도의 한 예로서, 조명 방위각이 북동방향(N45°E)이며 고도각은 30°인 경우이다. 또한 Fig. 2의 선구조는 지질도 및 지형도를 이용하여 육안분석된 선구조이다.

선구조 분석은 센서의 선택적 증감효과 및 선구조의 연장 가능성을 분석하기 위하여, 센서의 관측방향과 평행한 방향의 지질학적 선구조가 발달된 지역과, 그 선구조의 연장선상에 위치하며 기존에 알려진 특별한 지질학적 선구조가 존재하지 않는 지역을 선정하여 실시하였다.

2. Hough Transform

Hough 변환은 영상에서 직선의 절편과 경사도(기울기)를 이용하여 선구조의 방향성을 분석하는 방법으로 Hough(1962)에 의해 최초로 개발되었다. Duda and Hart(1972)는 계산의 효율성

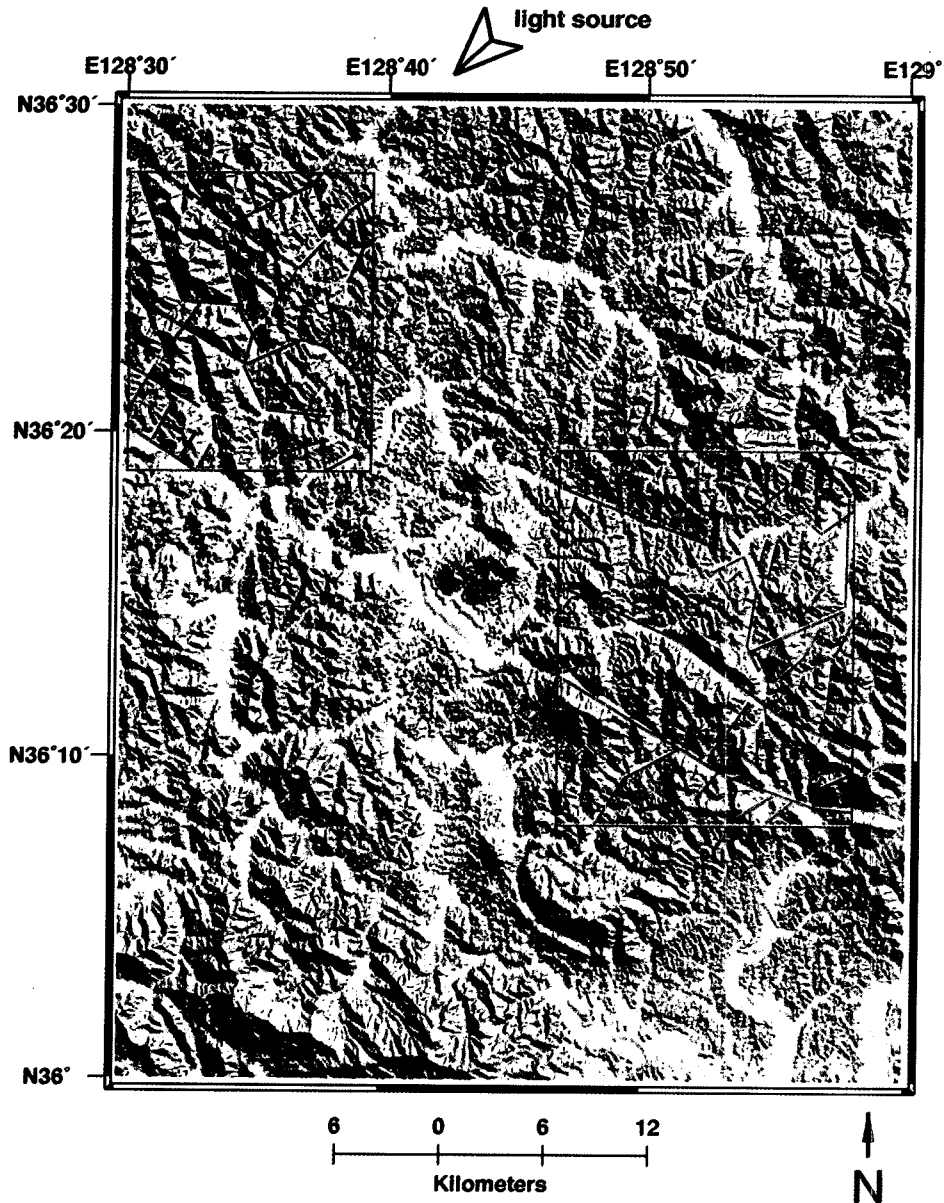


Fig. 2. Lineaments of the study area by visual analysis on top of the relief shadowed DEM image with the azimuth angle 45°.

을 높이기 위하여 Fig. 3과 같이 영상에서의 각 화소의 위치 (x, y)를 Hough 공간상의 (ρ , θ)로 변환하는 방법을 제안하였고 현재 널리 사용되고 있다. Fig. 3(a)의 한 직선은 (b)와 같이

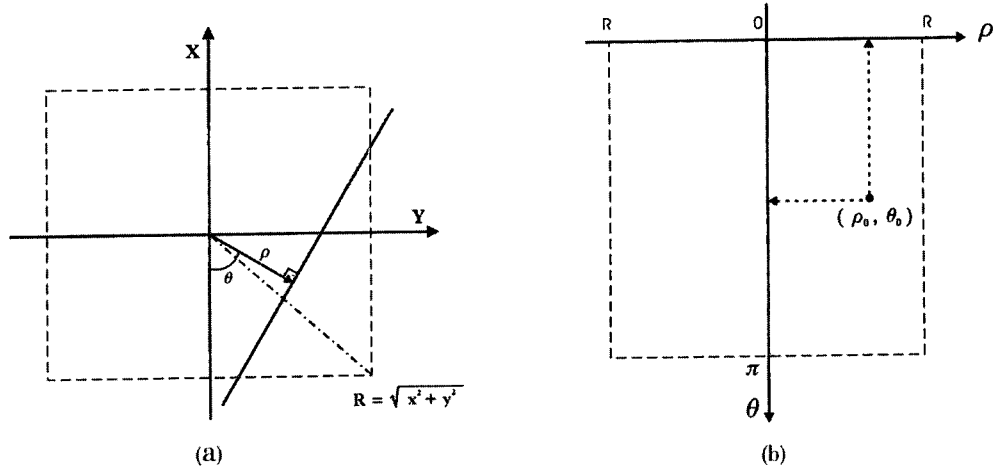


Fig. 3. Coordinates used for the image space and the parameter plane in the Hough space.

Hough 공간상의 한 점으로 대응되고, 이때의 θ 값은 직선의 방향을, ρ 는 영상의 중심으로부터 직선까지의 거리를 지시하며, θ 와 ρ 의 범위는 $0 \leq \theta < \pi$, $-R \leq \rho \leq R$ 이다. 또한 Hough 변환은 영상의 직선이 잡음에 의해서 구별이 뚜렷하지 못하더라도 Hough 공간상의 한점에 집중된 DN값을 비교함으로써 쉽게 구별이 가능한 장점이 있다.

본 연구에서는, 영상에서의 한 직선을 Hough 공간상의 한 점에 대응시킴으로써, 영상에서의 직선상의 모든 DN(Digital Number)값들을 Hough 공간상의 (ρ, θ) 에 중첩시켜 더해진 값들을 비교하였다. Hough 공간에서 각 θ 에 대해 모두 더해진 값들은 방향은 같고, 거리가 다른 직선상의 DN들의 총 합이 된다. 따라서 Hough 공간에서 주위보다 강도가 큰 점의 θ 는 영상내의 뚜렷한 선구조의 방향을 지시한다. 종종 선구조는 높은 DN값 뿐만아니라 매우 낮은 DN값의 연속으로 나타나기도 하므로 영상에서 평균값을 구해 각 DN에서 평균값을 빼준후 Hough 변환을 실시하였다.

3. 선구조 주방향성 분석

설정된 2개의 소지역에 대해 수치표고모형의 태양의 고도를 30° , 조명 방위각은 북쪽을 중심으로 시계방향으로 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 로 변화시키면서 4개의 음영기복도를 작성하였다. 이와 같이 얻어진 4개의 음영기복도와 TM 7번 밴드 영상자료를 각각 Hough 공간상의 (ρ, θ) 로 변환하였다. Fig. 4 (a), (b)는, (a)지역의 TM 7번 밴드 영상과 조명 방위각이 45° 인 음영기복도에 대한 Hough 공간에서의 영상이다. 이들 각 자료들을 비교하기 위하여, 표준정규분포로 변환시켰으며, 95%의 신뢰도를 갖는 구간에 해당하는 부분을 제거한 후, 양(+)의 성분만을 취하였다.

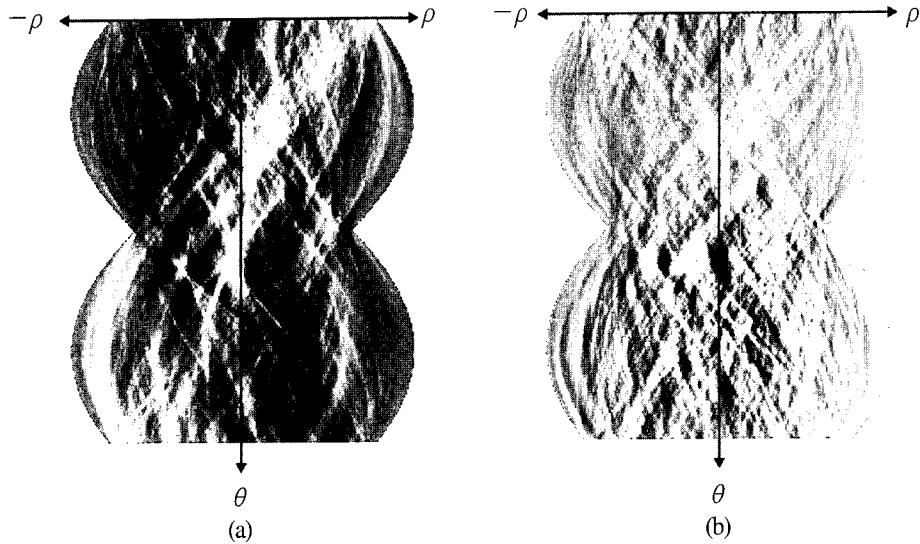


Fig. 4. Example of the Hough Transform ; (a) Landsat TM band 7 and (b) relief shadowed DEM image with the azimuth angle 45° .

본 연구는 지질학적 선구조의 가능성이 있을 것으로 예상되는 뚜렷한 선구조들의 주방향성 분석을 목적으로 하였기 때문에 더해진 DN값중 상위 5%의 값만을 이용하여 가장 뚜렷한 방향들만을 구하여 비교하였으며, 낮은 DN값으로 나타나는 선구조는 고려하지 않았다.

영상의 각 선구조는 Hough 공간에서 (ρ, θ) 에 집중된다. 즉, Fig. 3(b)의 어느 특정 θ 에 해당하는 모든 픽셀들의 DN의 합은 그 방향의 선구조에 해당하는 모든 DN의 총합이 되므로, 본 연구에서는 θ 에 대해 1° 단위로 합을 구하여 방향성을 분석하였으며, 로즈도표(rose diagram)는 5° 간격으로 표현하였다. Fig. 5는 (a)지역에 대하여, Fig. 6은 (b)지역에 대하여 육안분석된 선구조, TM 7번 밴드 영상, 조명 방위각이 0°, 45°, 90°, 135°인 음영기복도에서 구한 선구조 방향 및 4방향의 방위각의 방향별 성분을 모두 합한 후의 선구조 방향을 나타내는 로즈도표이다.

한편, 상관계수는 각 자료들간의 관계 즉 유사성을 나타내는 지수이다. Hough 변환을 실시한 자료는 방향에 대한 정보를 지니고 있으므로, 각 자료들간의 상관계수는 방향성을 비교할 수 있는 좋은 자료이다. 각 자료를 Hough 변환을 실시한 후, 표준정규분포로 변환하기 전의 각 자료간의 상관관계는 Table 1과 같으며, Table 2는 각 자료들을 95% 신뢰구간밖의 양의 성분만을 이용해 1° 간격으로 각 θ 에 해당하는 DN을 모두 더하여 구한 방향별 성분들의 총합에 대한 상관관계를 나타낸 것이다. Table 4는 특히 4개의 음영기복도에서 구한, 각 θ 에 대한 방향별 성분을 모두 더한 자료를 첨가하여 이 자료의 보조자료로의 사용가능성을 고찰하였다.

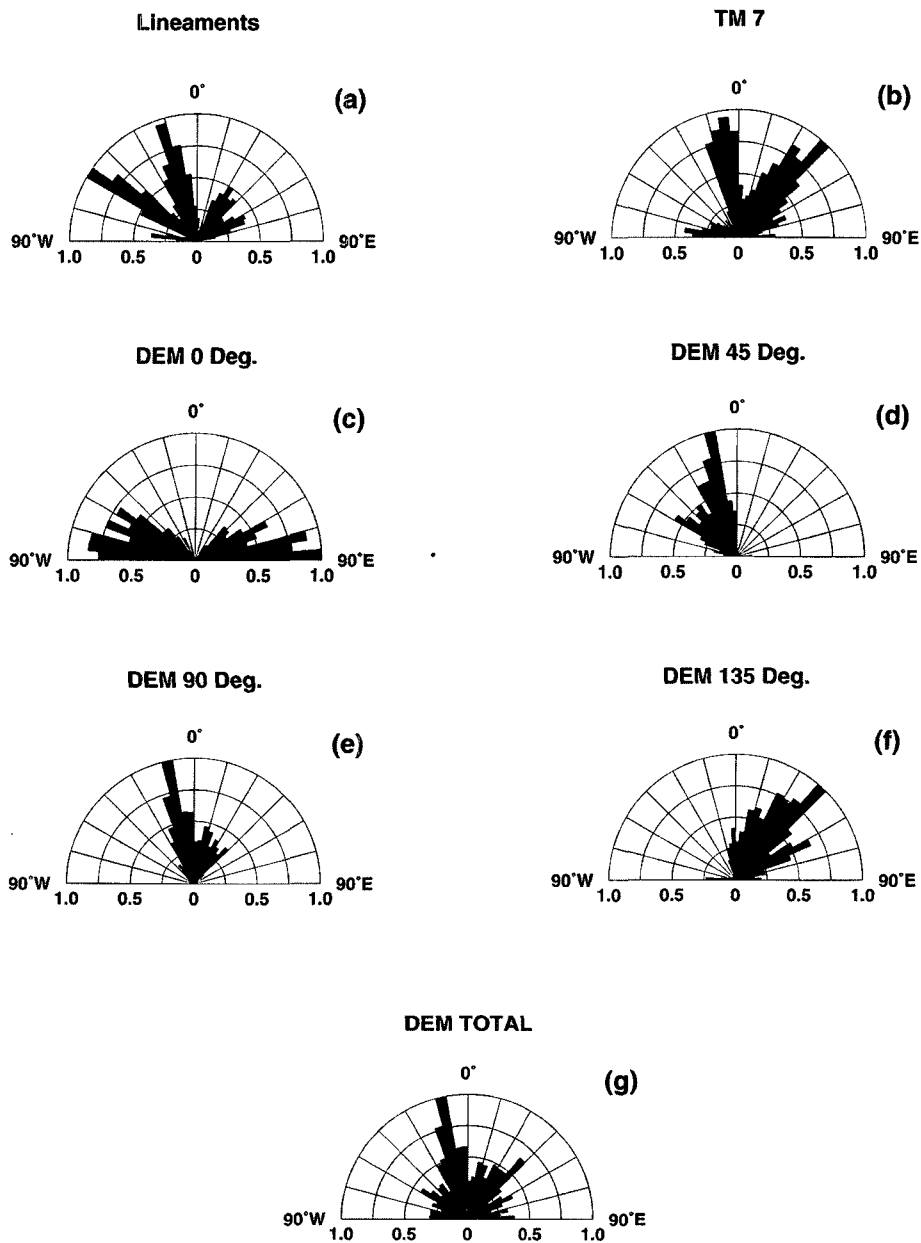


Fig. 5. Rose diagrams representing lineaments estimated through Hough Transform analysis of the study area (a); lineaments evaluated by (a) visual investigation, (b) Landsat TM band 7, (c) relief shadowed DEM with the azimuth angle of 0°, (d) 45°, (e) 90°, (f) 135°, and (g) summation of relief.

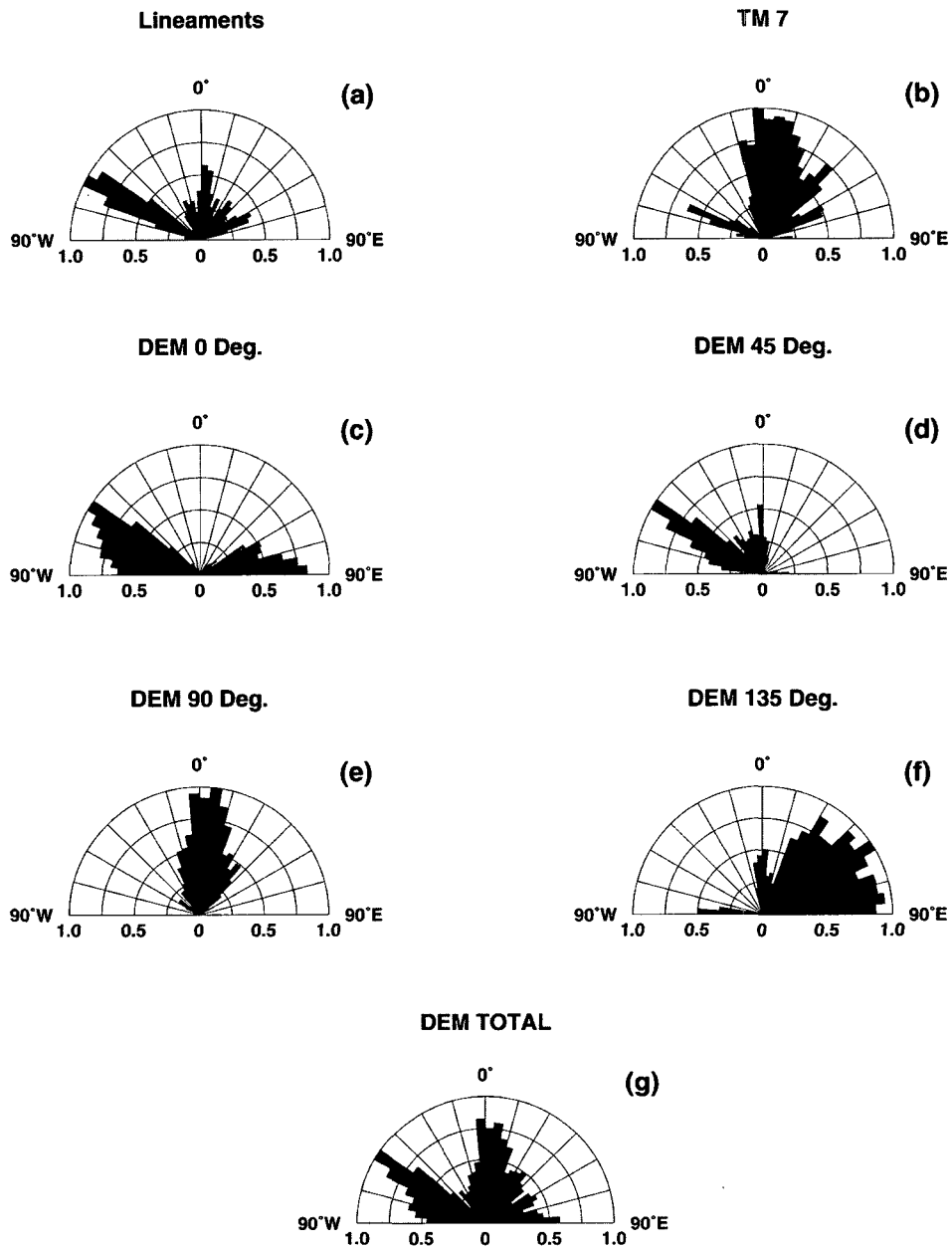


Fig. 6. Rose diagrams representing lineaments estimated through Hough Transform analysis of the study area (b); lineaments evaluated (a) by visual investigation, (b) Landsat TM band 7, (c) relief shadowed DEM with the azimuth angle of 0°, (d) 45°, (e) 90°, (f) 135°, and (g) summation of relief.

IV. 결과 및 해석

1. 로즈도표 분석

Fig. 1의 (a)지역에서의 수계망은 지형도에 의한 분석 결과 약 $N5^{\circ} \sim 20^{\circ}W$, NWW-SEE, NE-SW 방향으로 발달되어 있으며, 이를 육안분석하여 구한 선구조의 주방향은 Fig. 5의 (a)와 같다. Landsat TM 영상은 Fig. 5의 (b)에서 보이는 것과 같이 $N5^{\circ} \sim 20^{\circ}W$ 방향의 선구조는 육안분석한 선구조의 방향과 일치하나 NWW-SEE 방향의 성분은 전혀 나타나지 않고 있으며, 또한 NE-SW 방향의 선구조는 훨씬 강조되어 나타난다. 반면, NWW-SEE 방향의 성분은 Fig. 5(c), (d)와 같이 DEM 0° , 45° 의 음영기복도에서 보이고 있다.

(b)지역은 Fig. 1에서와 같이 수계망과 지질 단층선의 방향이 약 $N55^{\circ} \sim 65^{\circ}W$, N-S 방향으로 잘 발달되어 있다. $N55^{\circ} \sim 65^{\circ}W$ 방향은 Fig. 6(c), (d)에서와 같이 0° , 45° 의 음영기복도에서, TM, DEM 90° 에서는 Fig. 6(b), (e)와 같이 N-S방향이 가장 강조가 되고 있다.

한편, 수치표고모형의 조명방위각이 0° , 45° , 90° , 135° 의 각 성분들을 모두 합하여 선구조의 방향을 구하면 (a)지역은 Fig. 5(g)와 같이 $N15^{\circ} \sim 25^{\circ}W$, $N40^{\circ} \sim 45^{\circ}E$ 의 방향이, (b) 지역은 Fig. 6(g)와 같이 $N60^{\circ} \sim 70^{\circ}W$, N-S 방향이 강조되고 있음을 보이고 있다.

Landsat TM에서 구한 선구조 방향을 육안분석한 선구조 및 수치표고모형에서 구한 선구조의 방향과 비교하면 NE-SW 방향은 강조되어, $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}W$ 방향은 약화되어 나타남을 알 수 있다. 특히 (a)지역에서는 Fig. 5(b)에서와 같이 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}W$ 방향 성분은 거의 나타나지 않는다. 한편 Fig. 5(a), Fig. 6(a)에서 보이는 것과 같이 육안 분석한 선구조는 두 지역 모두에서 $N50^{\circ} \sim 60^{\circ}W$ 의 방향이 가장 강조가 되어 나타나고 있다. 이러한 방향의 차이는 센서의 관측방향에 따른 선택적 증감효과에 의한 것으로, Landsat TM 영상이 센서의 관측방향에 평행한 방향의 선구조를 약화시킴을 지시한다. 따라서 위성자료를 이용하여 선구조의 방향성 분석을 실시하는 경우, 센서의 관측방향에 따른 선택적 증감 효과를 보정할 수 있는 보조자료, 즉 관측방향에 평행한 성분을 강화시킬 수 있는 자료를 같이 사용하여 해석하여야 한다.

음영기복도는 태양의 조명 방위각을 변화시킴으로써 원하는 방향의 성분을 강화시킬 수 있으므로 선택적 증감 효과를 보정할 수 있는 좋은 보조자료로 사용될 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 2 및 Fig. 5(d)와 같이 태양의 조명 방위각이 45° 의 음영기복도가 위성의 관측 방향에 평행한 성분을 강화시킨다.

2. 상관계수 분석

Table 1은 Hough 변환을 실시한 후, 표준정규분포로 변환하기 전의 각 자료들간의 상관관계이다. 육안분석한 선구조는 두 지역 모두에서 TM 영상과 가장 높은 상관관계를 보여주고 있어 어느 한 방향의 수치표고모형 자료보다는 위성영상이 전체적으로는 선구조 주방향성 분석에 적

합한 자료입을 나타내고 있다. 또한 TM 영상과 조명방위각이 45°인 음영기복도와의 상관관계는 낮은 반면, 135°인 음영기복도와는 높게 나타나는 것 역시 센서의 관측방향에 따른 선택적 증감효과를 나타내는 것으로, Landsat TM 영상이 센서의 관측방향에 평행한 방향인 NWW-SEE의 선구조를 약화시키고, 수직방향인 NNE-SSW 방향은 강화시켰음을 지시한다.

Table 2는 상위 5%에 해당하는 성분만을 이용해 각 θ 에 해당하는 DN을 모두 더하여 구한 방향별 성분들에 대한 상관관계를 나타낸 것이다. 조명방위각이 45°인 음영기복도와 육안분석된 선구조와의 상관관계는 높아졌지만, TM 영상과는 더 낮아져 센서의 관측방향에 따른 선택적 증감효과를 더욱 더 강하게 지시하고 있다. 두 지역 모두에서 음영기복도의 4방향 성분을 모두 합친 자료는 육안분석된 선구조와 높은 상관관계를 보이고 있으며, (b)지역의 E-W방향의 단층 방향이 뚜렷이 보이고 있다. 따라서 음영기복도의 4방향 성분을 모두 합친 자료도 위성의 선택적 증감효과를 보정하기 위한 해석의 보조 자료로 사용할 수 있을 것으로 해석된다.

3. 선구조 해석

본 연구지역의 선구조의 주방향은 Fig. 5와 Fig. 6의 (b), (d), (g)에서 보이는바와 같이 (a)지

Table 1 Summary of correlation coefficients between lineaments obtained through visual investigation, Landsat TM band 7, and relief shadowed DEM's with the azimuth angle of 0°, 45°, 90°, 135°.

(a) 지역						
	lineaments	TM_7	DEM 0°	DEM 45°	DEM 90°	DEM 135°
lineaments	1.000					
TM_7	0.192	1.000				
DEM 0°	-0.032	-0.024	1.000			
DEM 45°	-0.110	0.097	0.662	1.000		
DEM 90°	-0.097	0.262	0.051	0.737	1.000	
DEM 135°	-0.020	0.419	-0.032	-0.097	0.680	1.000
(b) 지역						
	lineaments	TM_7	DEM 0°	DEM 45°	DEM 90°	DEM 135°
lineaments	1.000					
TM_7	0.200	1.000				
DEM 0°	0.055	-0.288	1.000			
DEM 45°	0.001	0.082	0.726	1.000		
DEM 90°	-0.019	0.467	0.091	0.714	1.000	
DEM 135°	0.002	0.629	-0.578	-0.011	0.654	1.000

역은 N10° ~20° W, N40° ~50° E이며, (b)지역은 N60° ~70° W, N-S이다.

(a)지역의 선구조 주방향은 본 연구에서는 N5° ~20° W를 나타내는 반면 육안분석한 선구조는 N55° ~65° W를 보이고 (b)지역에서는 공히 N55° ~65° W 방향을 나타내고 있다. 이는 Hough 변환이 선구조의 길이뿐만이 아닌 폭에 의한 효과를 반영하기 때문인 것으로 생각된다. 폭이 넓고 길이가 짧은 선구조와 좁고 긴 선구조를 비교하면 전자의 경우에 Hough 공간상의 (ρ , θ)에 높은 값이 나타나며, 본 연구에서도 수계망과 단층선이 일치하는 경우 그 방향에 대해서 높은 강도(intensity)를 보이고 있다. 보통의 경우 선구조는 폭에 관계없이 직선으로 모든 선구조를 표시하고 있어, 육안 분석한 선구조의 방향과 Hough 변환을 통한 방향에 대한 강도의 차이를 보이는 것으로 생각된다.

본 연구에서 사용한 Hough 변환은 영상의 직선상의 DN값들을 Hough 공간상의 한 점에 중첩시켜 더해진 DN값을 비교한 것이다. 따라서 이러한 Hough 공간상에서 어떤 θ 에 대한 ρ 의 값들을 비교하면 그 방향의 선구조의 위치를 알 수 있다.

Table 2. Summary of correlation coefficients after the summation of DN through each θ between lineaments by visual investigation, Landsat TM band 7, relief shadowed DEM' s with the azimuth angle of 0°, 45°, 90°, 135°, and summation of the components of the relief shadowed DEM' s.

(a) 지역							
	lineaments	TM_7	DEM 0°	DEM 45°	DEM 90°	DEM 135°	DEM Total
lineaments	1.000						
TM_7	0.221	1.000					
DEM 0°	-0.169	-0.385	1.000				
DEM 45°	0.641	-0.025	-0.169	1.000			
DEM 90°	0.362	0.604	-0.712	0.519	1.000		
DEM 135°	-0.119	0.648	-0.298	-0.534	0.281	1.000	
DEM Total	0.500	0.608	-0.318	0.592	0.857	0.310	1.000
(b) 지역							
	lineaments	TM_7	DEM 0°	DEM 45°	DEM 90°	DEM 135°	DEM Total
lineaments	1.000						
TM_7	0.338	1.000					
DEM 0°	0.225	-0.450	1.000				
DEM 45°	0.569	-0.158	0.462	1.000			
DEM 90°	0.191	0.766	-0.694	-0.025	1.000		
DEM 135°	-0.042	0.621	-0.328	-0.634	0.424	1.000	
DEM Total	0.625	0.394	0.401	0.627	0.353	0.150	1.000

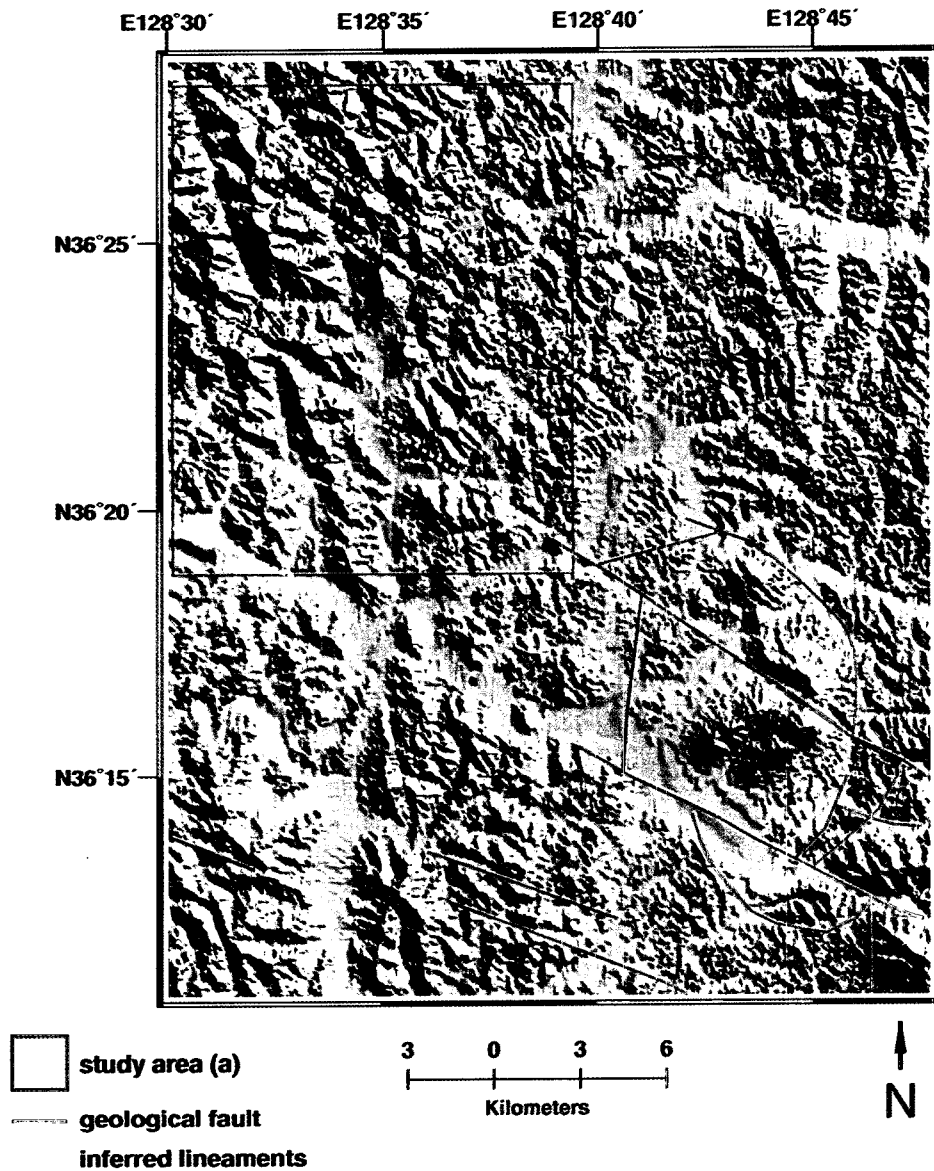


Fig. 7. Inferred lineaments of the study area; please note the extension of NW-SE directional lineaments in study area (a).

(b)지역의 주방향인 N60°~70°W방향의 선구조 위치는 백악기 하양층군의 퇴적시기의 특징적인 주향이동단층인 가음단층과 금천단층의 위치와 잘 일치된다. 또한 (a)지역은 NWW-SEE

방향에 대해 음영기복도의 4방향 성분을 모두 합친 자료와 조명 방위각이 0°, 45° 인 음영기복도에서 주위보다 강도가 높게 나타나 선구조의 존재를 지시한다.

Fig. 7은 본 연구결과로부터 (a)지역에서 NWW-SEE 방향의 선구조 위치를 추정하여 작성한 추정선구조도(inferred lineament map)이다. Fig. 7에서 보면 가음 및 금천단층의 연장선상에 선구조가 존재하고 있으며, 이는 두 단층이 신동층군까지 연장할 가능성이 있음을 지시한다.

한편, 황재하(1994)는 단열망 연구를 통하여, 경상분지가 백악기 이후 다양한 방향으로 7회 이상의 신장, 압축변형을 받았음을 지적하였다. 이러한 지구조 운동의 방향과 본 연구 결과와의 직접적인 비교는 어렵지만 각 층군별로 세분화시켜 선구조 분석을 실시할 경우, 그 연관성을 고찰 및 경상분지의 구조사를 밝힐 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론 및 토의

첫째, Landsat TM 영상은 센서의 관측방향에 따른 선택적 증감효과에 의하여 관측방향과 평행한 방향의 선구조는 약화되고, 수직인 방향은 강화되어 나타난다. 수치표고모형의 센서의 관측방향에 수직인 방향에 광원을 주어 작성된 지형의 음영기복도는 이러한 증감효과의 보정에 매우 효과적이다.

음영기복도는 태양의 조명 방위각에 수직인 방향의 성분을 강화시키기 때문에, 센서의 관측방향에 수직인 방향의 음영기복도를 이용하면 위성의 선택적 증감효과를 보정할 수 있다. 그러나 센서의 관측방향에 수직인 방향의 음영기복도만을 이용하기보다는 여러 방향의 음영기복도를 이용하여 그 합으로부터 구한 선구조 방향도 함께 고려하는 것이 효과적일 것으로 생각되나, 이에 대해서는 더 많은 적용성 연구가 필요한 것으로 사료된다.

둘째, Hough 변환은 지질학적 선구조의 방향성 분석에 매우 효과적이다. Hough 변환은 영상이 잡음에 의해서 구별이 뚜렷하지 못하더라도, 선구조는 Hough 공간상의 한점에 집중되어 DN 값이 증강되므로 쉽게 구별이 가능하다. 그러나 선구조의 정확한 위치-선구조의 시작점과 끝점은 파악할 수 없으며, 다만 어느 각도의 선구조에 대해서 대략적인 위치만을 알 수 있다. 따라서 선구조도 작성에는 제한적인 보조자료로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

또한, 광범위한 지역에 대한 기존의 지질학적 선구조 연구는 항공, 위성자료 및 기타자료를 이용하여 육안 분석을 통해 주로 이루어졌고, 꼭대 관계없이 직선으로 선구조를 표시하였기 때문에 연구자에 따라 차이를 보여왔다. 이에 반해 본 연구는 연구자의 경험 등에 관계없이 선구조의 주방향성을 찾을 수 있으므로 향후의 선구조 연구에 활용도가 높을 것으로 사료된다. 또한 본 연구의 선구조가 모두 지질학적 선구조를 의미하는 것은 아니며, 따라서 가능한 기타 지질자료의 이용과 지질구조 연구가 수반되어야 한다.

셋째, 본 연구지역의 (a)지역은 N5°~20° W, (b)지역은 N55°~65° W 방향의 선구조가 가장 우세하다. 또한 백악기 경상분지 확장기의 특징적인 주향이동단층인 가음단층과 금천단층은 신

동층군까지도 연장될 가능성이 있다. 그러나 단층은 변위(displacement)가 존재해야 하므로, 이에 대해서는 더 많은 지질학적 조사를 필요로 한다.

사 사

본 연구는 저자중 원중선에게 지원된 1996년도 연세대학교 연구비로 수행되었음.

참고문헌

- 황재하, 1994, 백악기초 이후 한반도 남동부에 작용한 고응력 복원, 한국지질학회지, 30(1) : 27-34.
- Duda, R. O. and Hart, P. E., 1972, Use of the Hough Transform To Detect Lines and Curves in Pictures, Communications ACM, 15(1) : 11-15.
- Horn, B. K. D., 1981, Hill Shading and the Reflectance Map, Proc. of the IEEE, 69(1) : 14-47.
- Kang, Pil Chong, 1984, A Study on Remote Sensing Application for the Tectonic-framework of the Korea Peninsula, Ph. D., Korea.
- Lee, Dae-Sung(editor), 1987, Geology of Korea, Geological Soc. Korea.
- Lee, Kiwon and Chi, Kwang-Hoon, 1995, Spatial Integration of Multiple Data Sets regarding Geological Lineaments using Fuzzy Set Operation, Jour. Korean Soc. Remote Sensing, 11(3) : 49-60.
- Lowman, P. D., Jr., J. Harris, P. M. Masuoka, V. H. Singhroy, and V. R. Slaney, 1987, Shuttle Imaging Radar (SIR-B) Investigations of the Canadian Shield: Initial Report, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 25(1) : 55-65.
- Masuoka, P. M., J. Harris, P. D. Lowman, Jr., and H. W. Blodget, 1987, Digital Processing of Orbital Rader Data to Enhance Geological Structure : Examples from the Canadian Shield, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54(5) : 621-632.
- Sabins, Floyd F., Jr., 1978, Remote Sensing-Principles and Interpretation, W. H. Freeman and Company, USA.
- Siegal, B. S., Alan R. Gillespie(editor), 1980, Remote Sensing in Geology, John Wiley & Sons Inc., USA
- Won, Joong-Sun, Won Kyun Kim, Sang Wan Kim, 1996, Geological Lineaments Assessment Using Remotely Sensed data and DEM data, Proc. of 1996 International symposium on Remote Sensing of KSRS and EMSEA, Cheju, Oct. 24- 25, 1996., 99-106.