

## 인도네시아 반둥 남부 지역에서의 지형/위성영상 분석결과와 지질과의 상관성 연구

김인준\* · 이사로  
한국지질자원연구원

### Relationship between terrain/satellite image and geology of the southern part of the Bandung, Indonesia

In-Joon Kim\* and Saro Lee

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, 305-350, Korea

The purpose of this study is the analyses of the relationship between geology and terrain/satellite image in the southern part of the Bandung, Indonesia to provide basic information for geological survey. For this, topography, geology and satellite image were constructed to spatial database. Digital elevation, slope, aspect, curvature, hill shade of topography were calculated from the topographic database and lithology was imported from the geological database. Lineament, lineament density, and NDVI were extracted from the Landsat TM satellite image. The results showed the close relationship between geology and terrain and satellite image. Each sedimentary rocks seldom correspond with geology and analyses of topography but as a whole for sedimentary rocks coincide with them. Tuff and volcanic breccia in the volcanic rocks correspond with the result of terrain analyses. Talus deposit is well matched with the analyses of topography/satellite image.

**Key words :** Indonesia, terrain and satellite image analysis, GIS, remote sensing, spatial database.

본 연구에서는 인도네시아 반둥 남부지역에 대하여 지질조사 시 기초 자료를 제공하기 위해 지형 및 위성영상 분석 결과와 지질과의 상관성 분석을 실시하였다. 이를 위해 지형, 지질 및 위성영상에 대한 공간 DB를 구축하였고, 지형 자료로부터 지형, 고도분포도, 경사도, 경사방향도, 곡률도 및 음영기복도를, 위성영상으로부터 선구조, 선구조 밀도 및 식생지수를 추출하여 공간 DB를 구축하였다. 이렇게 구축된 공간 DB와 지질과의 상관성 분석 결과 본 연구지역에서는 지질 분포가 지형과 밀접한 관계가 있었다. 퇴적암층들은 지형분석과 지질과의 관계를 볼 때 각 층에 대하여서는 일치하지 않으나 전체적으로 놓고 볼 때는 매우 잘 일치함을 볼 수 있다. 화산암층에서는 응회암층과 화산각력암층이 지형분석결과와 잘 일치됨을 볼 수 있다. 테일러스층은 지형 및 위성영상 분석과 매우 잘 일치함을 나타내고 있다.

**주요어 :** 인도네시아, 지형 및 위성영상분석, GIS, 원격탐사, 공간DB

### 1. 서 언

연구지역은 인도네시아 자바섬에 위치한다(Fig. 1). 연구지역은 대부분 신생대의 암석으로 구성된다. 이 지역의 지질은 마이오세의 응회암질 사암, 이암, 석회암 등의 퇴적암으로 구성된 층, 응회암으로 주로 구성된 층과 주로 화산각력암으로 이루어진 층 그리고 이들을

관입한 안산암과 제4기에 해당된다고 보는 테일러스층으로 대별될 수 있다. 이 지역이 포함된 1:100,000 Sindangbarang and Bandarwaru 지질도에서는 퇴적암이 우세하게 발달하는 층을 Bentang Formation, 응회암질 암석이 우세하게 발달하는 층을 Koleberes Formation으로 명명하고 있으며(Koesmono *et al.*, 1996), 이번 조사에서 분류된 층서와 비교하여 보면 사

\*Corresponding author: ijkim@kigam.re.kr

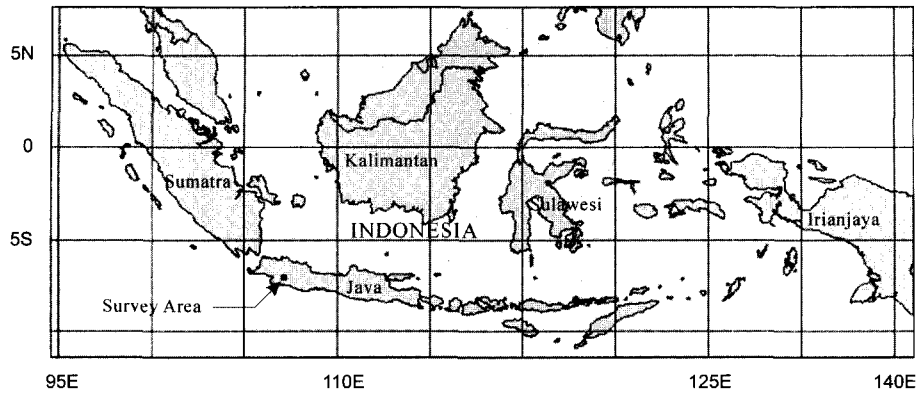


Fig. 1. Location map of study area.

암층, 이암층, 석회암층은 Bentang 층과 대비되며, 응회암층과 화산각력암층은 Koleberes 층과 대비된다고 볼 수 있다. 이들 지층의 지질연대는 지층에서 발견되는 연체동물 화석(조개류, 고동류), 산호류 등에 의한 것이다. 또한 이들 층서는 대체로 해발고도와도 관계가 있어 Bentang 층은 대체로 해발고도가 낮은 지역에, Koleberes 층은 해발고도가 높은 지역에 분포하는 특성을 보인다(Kaltili, 1989). 지반고가 약 200 m부터 1440 m까지로 고도차가 심한 지역으로 절벽이 많이 발달한 험준한 지형이며, 수계는 주 방향이 동서 방향이며, 지류들은 남북방향이다.

금번 연구에서는 GIS 및 원격탐사 기법을 이용하여 연구지역에 대해 지형 및 위성영상 분석을 실시하였고, 이를 위해 먼저 연구지역에 대해 지형자료를 수집, 공간 DB로 구축하였고, Landsat TM 영상을 처리하였다. 1:25,000 수치 지형도를 이용하여 지형 분석을 실시하여 지형, 고도분포도, 경사도, 경사방향도, 곡률도 및 음영기복도를 구하였다. 위성영상을 이용하여 선구조, 선구조밀도 및 식생지수를 추출하여 공간 DB를 구축하였다.

이렇게 구축된 공간 DB를 이용하여 지질조사 시 필요한 기초지질도를 작성하였고 이를 현장 지표지질조사를 통해 검증을 하였다. 이러한 결과는 연구지역에 대한 기초 자료로서 적용 및 활용하고자 하며 또한 우리나라의 기업이 인도네시아의 사회간접시설(도로건설, 산업시설건축 등)에 참여할 경우 이에 필수적인 기초지질 정보를 제공할 수 있다.

## 2. 지형 분석

이번 연구의 목적은 광역적으로 인도네시아의 Suka

sari, Pagelaran, Tanggeung 및 Ankola 주변지역을 포함한 수계, 단층, 파쇄대, 습곡축 등과 식생, 토지피복 분류, 온도 분석을 통하여 지형, 지질, 지리적인 특성을 파악하여 지질조사 시 기초 자료로 사용하기 위해서이다. 이를 위해 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 지형 분석을 하였다. 지형분석에서는 작성된 원지형도인 1:25,000 수치지도를 이용하여 DEM(Digital Elevation Model)을 작성하고 지형의 등고, 경사, 경사방향, 지형곡률, 단면도 등을 분석하였다(Fig. 2).

DEM은 1:25,000 수치지형도를 지형 데이터베이스로 변환한 후 이를 이용하여 작성하였다. 지형 데이터베이스는 선 및 점 속성을 가지는 ARC/INFO 커버리지로 되어있다. 이러한 지형도 데이터베이스 중 등고선 및 수준점, 삼각점 등 고도를 표시하는 항목만을 추출후 이를 보간하여 DEM 즉 고도 분포도 및 음영기복도를 작성하였다. DEM의 해상도는 1:25,000 수치지형도의 축척을 고려하여 10 m×10 m로 설정하였다. 연구지역에서의 고도는 주로 150~600 m 사이에 분포한다. 그리고 이 DEM을 이용하여 지형경사도를 작성하였고, 해상도는 DEM과 같은 10 m×10 m로 설정하였다. 이 지역에서의 경사는 10-15도에서 62%로 가장 많이 분포하고, 0-10도, 15-20도, 20-25도가 각각 2%, 17%, 10% 분포한다. 또한 이 DEM을 이용하여 지형 경사방향도를 작성하였고, 해상도는 DEM과 같은 10 m×10 m로 설정하였다. 이 지역에서의 평지 및 W가 각각 215%로 가장 많이 분포하며, S, SW 및 N 방향도가 각각 14%로 많이 분포한다. 마지막으로 지형곡률도를 작성하였고, 해상도는 DEM과 같은 10 m×10 m로 설정하였다. 이 지역에서의 지형곡률 분포는 지형곡률이 오목한 것 즉, 음의 값을 가지는 지역과 볼록한 것 즉, 양의 값을 가지는 지역이 비슷하게 분포한다.

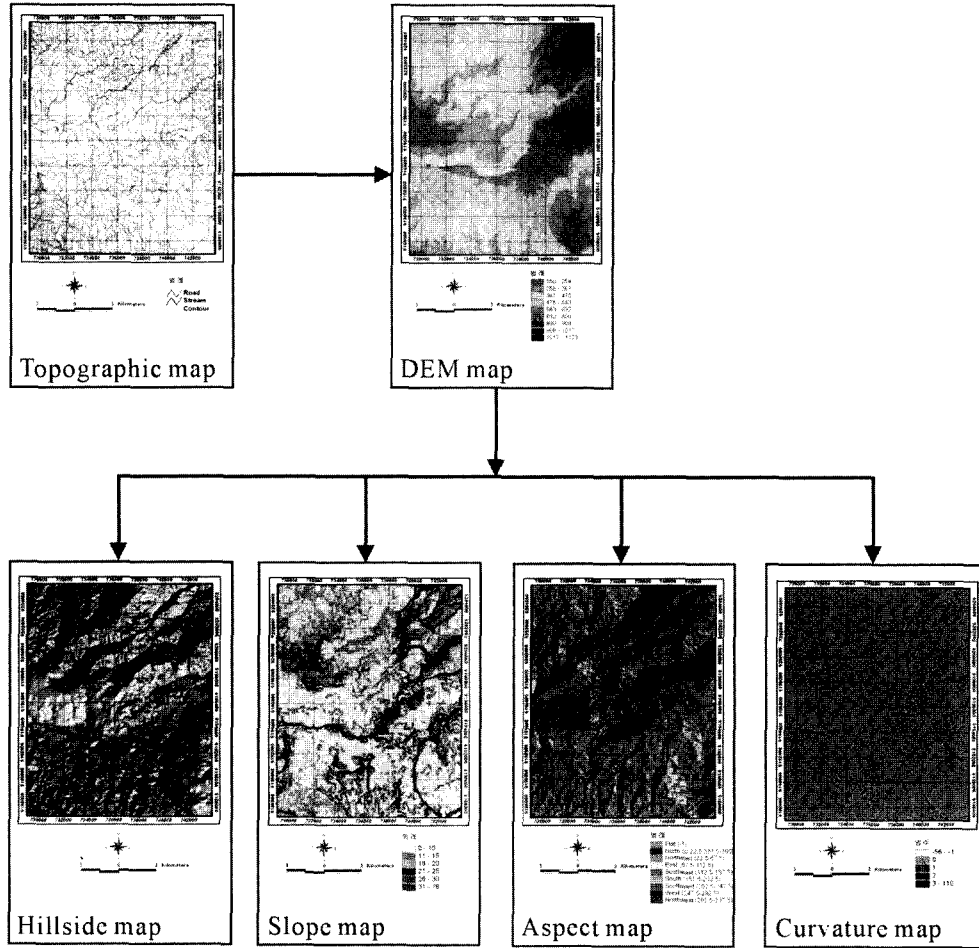


Fig. 2. Flow and results of terrain analysis.

### 3. 위성영상 분석

이번 연구에서는 위성영상 분석을 하였는데, 인공위성자료의 기하학적 보정을 실시하고, 판독 및 분석에 적합하도록하기 위해서는 전처리, 영상강조 및 특징추출 등의 자료처리를 실시하였다. 또한, 색합성 분석, 선구조 파악 및 선구조 밀도 분석, 식생분포 분석을 실시하였다. 분석에서 사용된 자료는 현재 위성영상은 Landsat TM(지상해상도 30 m) 위성자료를 사용하였다. 색합성 분석은 Landsat TM 자료의 밴드 1, 밴드 2 및 밴드 3 자료에 각각 청색, 녹색 및 적색을 할당하면 자연색과 동일한 true 칼라 합성과 그 외의 조합에 의해 생성되는 false 칼라 합성 방법으로 구분하여 표기하여 도시하였다(Fig. 3). 선구조란 지표면 지형으로 나타나는 선형의 구조를 말하며, 주로 항공사진, 위

성영상 및 음영기복도 등 지형을 잘 나타낼 수 있는 자료를 가지고 추출한다. 선구조 파악은 선구조는 직선 혹은 완곡의 지형요소로서, 인접한 표면 및 천부 지형요소와 구분이 분명한 단층, 파쇄대, 습곡축 등의 지질구조선 혹은 암석경계를 따라 나타나며, 이러한 요소는 원격탐사 자료에서 지형의 기복 변화 및 화소의 명암차에 의해 구분이 가능하다. 이 연구에서는 Landsat TM 자료로부터 육안으로 선구조를 추출하였다. 선구조 방향 및 밀도 분석에서는 추출된 선구조를 이용하여 선구조 방향을 분석하고, 밀도도를 작성 및 GIS DB로 구축하였다. 식생분포 분석은 Landsat TM 영상을 이용하여 식생지수인 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 값(Jensen, 1978)을 구하여 지표면의 식생 분포나 식생 밀집도를 추정하였다.

선구조 분석은 선구조 중에서도 주로 지질학적으로

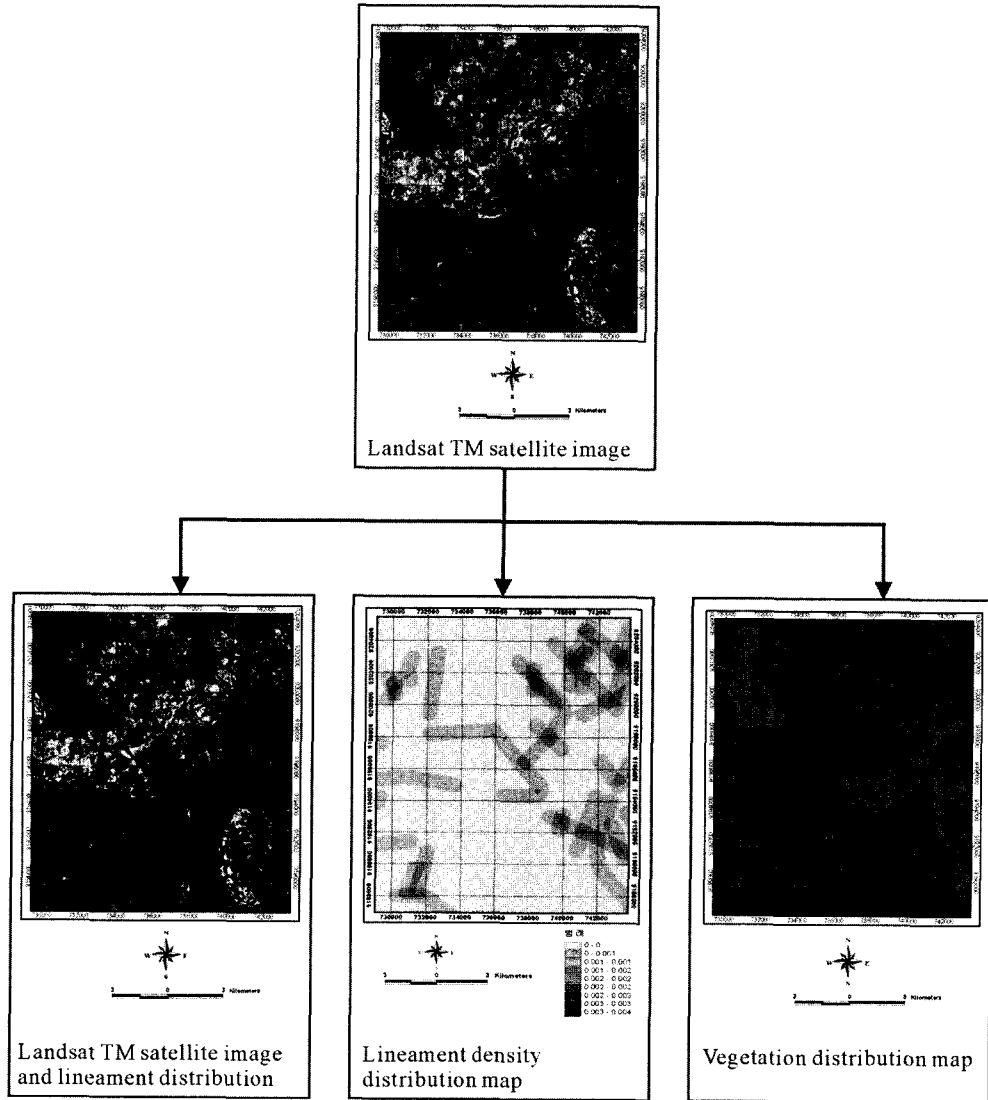


Fig. 3. Flow and results of satellite image analysis.

관련된 선구조를 분석하는 것을 이른다. 선구조는 여러 학자들에 의해 지질학적, 공학적인 용도로 이용한다. 이들은 선구조의 방향성을 이용하여 구조해석 및 암상과의 연관성 산출 등을 분석한다. 이번 연구에서는 해상도 30m의 Landsat TM 위성영상을 선구조 추출을 위해 사용되었다. 선구조는 주로 위성영상 육안 분석 및 지질도 및 지형도 분석을 통해 추출되었다. 선구조 밀도 분석은 단위 면적 당 선구조의 길이 즉, 밀도 및 선구조의 교차점 수를 계산하여 연구지역의 선구조 밀도도를 구하였다. 이러한 선구조 밀도 분석은 선구조의 지역적인 분포를 파악하고 요약하는데 매우 유용하다.

선구조 방향은 Fig. 4와 같다. 연구지역에서의 선구조 방향 분포는 빈도 및 길이 면에서 주로 N40°W-N60°W 방향이 가장 우세하며, 다음으로 N20°E-N40°E도 및 N60°E-N80°E도 방향이 우세하였다.

식생분포 분석은 Landsat TM영상을 이용하여 다음 식을 이용하여 NDVI 값을 구하여 지표면의 식생 분포나 식생 밀집도를 추정하였다. 식생지수는 클로로필 흡수에 민감한 밴드를 단순한 수학적식을 이용하여 식생의 밀도 등의 분포를 탐지하는데 사용된다. 따라서 NDVI 값이 높을수록 식생이 많이 분포하며 밀도도 높다는 것을 의미한다. Landsat TM의 경우, TM 밴드 3과 밴드

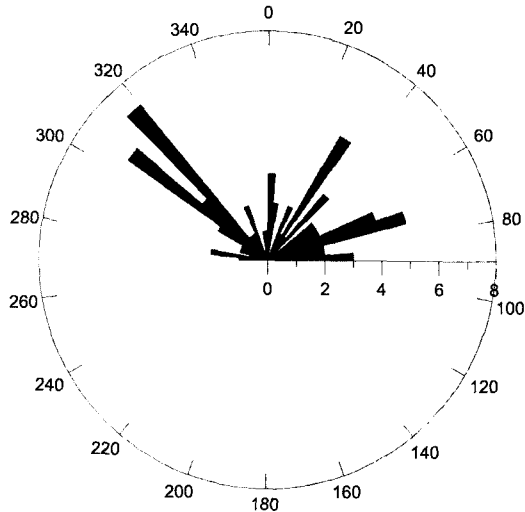


Fig. 4. Rose diagram for lineament from study area.

4의 합과 차의 비로 계산되는 NDVI식은 TM 영상의 밴드 3은 클로로필 흡수영역에 있어 식생지역과 비식생 지역을 구분하는데 용이하며, 밴드 4는 물의 반사율은 낮고, 식생에 의한 반사율은 매우 높아지는 파장영역으로서 식생과 수역 간에 대비도가 커지게 되므로, 이를 이용하여 수역을 분리하거나 토지와 수역의 구분, 토지와 식생의 구분 등에 유용하게 사용된다.

#### 4. 지형 및 위성영상 분석결과와 지질특성과의 관계

조사 지역에 대한 지형 및 위성영상을 분석한 결과와 지표지질조사를 실시한 결과에 대하여 보면 양자 사이에는 다음과 같은 관계가 나타남을 알 수 있으며, 그 결과는 Fig 5와 같다.

이 지역의 지질은 마이오세의 응회암질 사암, 이암, 석회암 등의 퇴적암으로 구성된 층, 응회암으로 주로 구성된 층과 주로 화산각력암으로 이루어진 층 그리고 이들을 관입한 안산암과 제 4기에 해당된다고 보는 테일러스층으로 대별될 수 있다. 먼저 사암층은 층리가 잘 발달되며 고화상태가 그다지 양호하지 않는 응회암질 사암, 결정질 응회암, 부석질 응회암, 이암, 석회암, 이암, 역암 등으로 구성되나, 대체로 사암과 이암 등의 퇴적암이 우세하게 발달한다. 조사지역 내에서는 Ankola 남부 지역과 Tanggeung 지역 주변과 Pagarlaran 북서쪽에 대상으로 길게 분포한다. 이 사암층은 1:100,000 Sindangbarang and Bandarwaru 지질도에

서 언급된 Bentang 층과 대비된다. 이 층의 주요 구성암석은 역암, 사암, 이암이며 곳에 따라 고화가 덜 된 부분도 나타난다. 이들 암층들 사이에 래필리 응회암, 응회암질 각력암, 화석을 함유한 이암들이 곳곳에 협재되어 분포한다. 이암층은 Tanggeung시 서쪽의 조사지역 연변부에 소규모로 분포하며, 주로 이암류(claystone, mudstone), 응회암질 이암이 주 구성암석으로 때때로 회색 내지 흑색의 부석질 응회암, 래필리 각력암, 안산암질 각력암이 협재되어 있기도 한다. 이 층내에는 연체동물 화석(주로 조개류)과 식물편들이 여러 지점에서 관찰되기도 하며 층후는 약 80m 정도로 추정된다. 석회암층은 Geuneung Subang 근처와 Tanggeung시 서편에 소규모 분포한다. 연체동물(조개류), 조류(algae), 산호등의 화석들이 다량 산출되며 이들에 의해 형성된 생물학적 석회암으로 천해성 환경이었을 것으로 추정된다. 이들 퇴적암층들은 지형분석과 지질과의 관계를 볼 때 각 층에 대하여서는 일치하지 않으나 전체적으로 놓고 볼 때는 Fig. 5의 ③과 ⑥에서 보듯이 매우 잘 일치함을 볼 수 있다.

응회암층은 조사지역의 북쪽과 동쪽 그리고 Ankola 시를 중심으로 동서로 길게 분포한다. 이 층은 주로 덜 고화되었으며 층리가 잘 발달한 응회암 또는 결정질 응회암으로 구성되며 부석질 각력암이나 각력암, 사암이 때때로 협재되기도 한다. 조사지역 북서단의 Neglasari 마을 근처에서는 응회암질 합력 사암이 관찰되는데 기질부는 변질되어 대체로 벤토나이트화되어 있다. 화산각력암층은 안산암질 각력암, 응회암질 각력암, 래필리 응회암 등 주로 각력암과 래필리질 응회암으로 구성되며 간혹 사암이나 이암류가 협재되기도 한다. 조사지역 내에서 이 층은 Geuneung Subang 서편부에 폭 약 1 km 이내로 북동과 남남동 방향으로 길게 대상 분포하며, 조사지역 북동부의 Pasirangin 지역 근처에, 또한 Tanggeung 동쪽에 약 2.5 km의 폭으로 남서-북동 방향으로 대상분포하며, Ankola 근처에서는 동서 방향으로 길게 대상 분포한다. 조사지역 내에서 안산암은 소규모의 관입형태를 보이며 모든 지층에 분포된다. 비교적 큰 노출지는 Geuneung Subang의 인접지역과 Ankola 남쪽 지역이다. 이 안산암은 사방회석과 단사회석, 사장석을 주구성광물인 휘석 안산암으로 암회색을 띠며 괴상의 형태를 보인다. Geuneung Subang 근처에 노출된 안산암은 간혹 금속광물도 관찰되며 부분적으로 반정을 함유하기도 한다. 안산암의 산출 상태는 크게 3가지로 분류될 수 있다. 첫째는 풍화된 토양층 내에 양파구조를 보이는 타원형

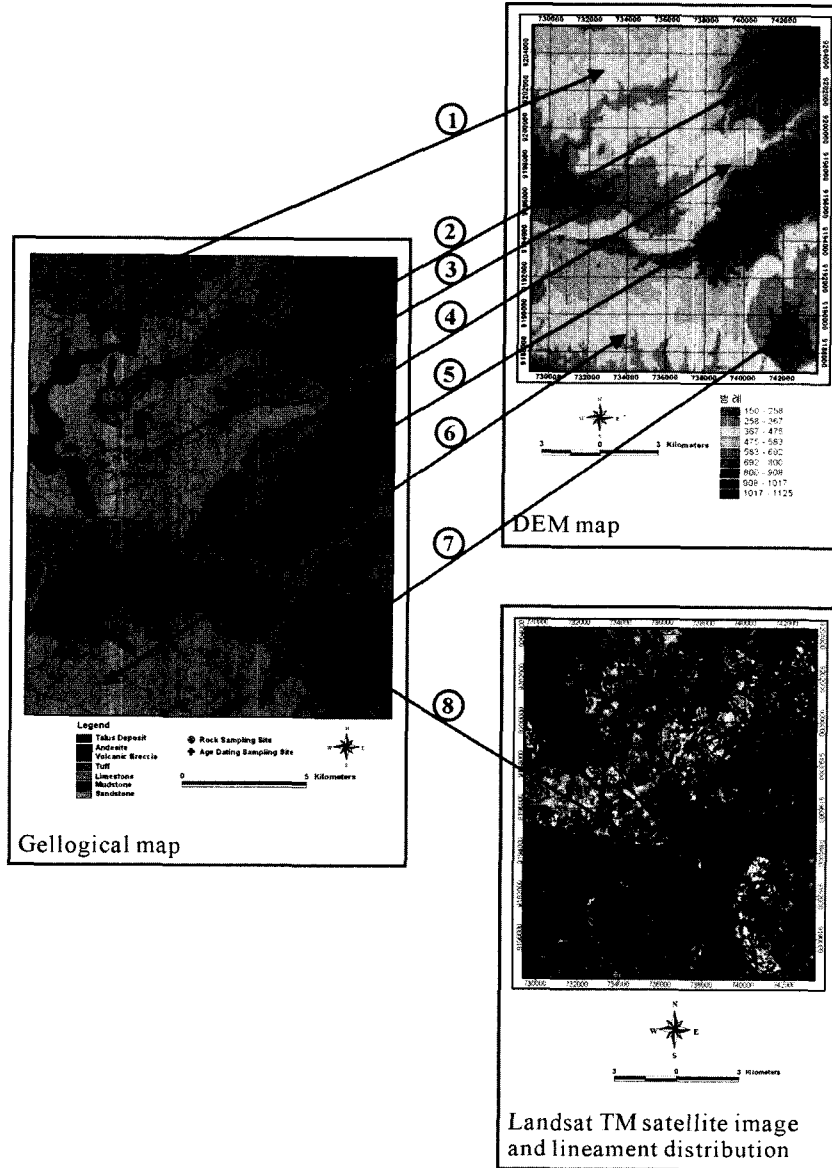


Fig. 5. Relationship between geological map and terrain and satellite image.

의 boulder 형태로 산출되는 산상, 둘째는 뚜렷한 쉬팅구조를 보이는 산상, 셋째는 쉬팅이나 엇리구조가 전연 보이지 않는 괴상의 형태로 노출되는 산상이다. 이들 화산암층들은 지형분석과 지질과의 관계를 볼 때 각 층에 대하여서는 일치하지 않으나, 전체적으로 놓고 볼 때는 Fig. 5의 ①, ②, ④와 ⑤에서 보듯이 매우 잘 일치함을 볼 수 있다. 또한 이들 화산암층은 안산암을 제외하고는 세분되어 일치함을 알 수 있다. 즉 응회암층 (Fig. 5의 ①과 ④)과 화산각력암층(Fig. 5의

②와 ⑤)은 지형분석결과와 잘 일치됨을 볼 수 있다.

테일러스층은 조사지역의 남동부에 타원상의 형태를 보이며 나타나는데 주변의 응회암층의 붕괴나 사태에 의해 형성되었다. 이 층의 경계선은 절벽을 따라 나타나며 이는 지형적으로도 쉽게 판별된다. 이 층의 분포 지역은 대부분 논으로 구성되어 암반 노출의 확인 어려우나 대체로 각력암, 래필리응회암, 안산암, 각력질 응회암으로 구성되어 있다. 이 층은 Fig. 5의 ⑦과 ⑧에서 보듯이 지형 및 위성영상 분석과 매우 잘 일치함

을 나타내고 있다.

따라서, Fig. 5에서 보듯이 지형 및 위성 분석결과는 아주 세부적인 지질분류와는 일치하지 않으나 화산암 계열과 퇴적암계열을 놓고 보면 대체적으로 일치하고 있으며, 위성영상분석결과와 지질과의 관계를 살펴보면 테일러스층은 위성영상으로 판독이 가능함을 알 수 있다. 이러한 결과는 이지역의 지질이 지형과 밀접한 관계를 가짐을 알 수 있으며, 이는 화산이 폭발해서 화산암이 흘러내렸음을 유추할 수 있고 이에 대해서는 지표 지질조사에서 확인되었다.

이와 같이 본 지역의 지질과 지형분석 및 위성영상 분석 결과와 밀접한 관련성이 있음을 알 수 있었다.

## 5. 결 언

인도네시아 반둥 남부지역에 대한 종합적인 정보를 수집하여 지질조사 시 기초 자료를 제공하기 위해 GIS 및 원격탐사 기법을 이용하여 연구지역에 대해 지형 및 위성영상 분석을 실시하였다. 이를 위해 먼저 사업지역에 지형자료를 수집 공간 DB를 구축하였고, Landsat TM 영상을 처리하였다. 지형자료로부터 지형, 고도분포도, 경사도, 경사방향도, 곡률도 및 음영기복도를, 지질자료로부터 지질을, 위성영상으로부터 선구조, 선구조 밀도 및 식생지수를 추출하여 공간 DB를 구축하였다. 이렇게 구축된 분석결과는 지형분석인 DEM과 위성영상 분석결과가 대체로 지질과 일치함을 볼 수 있다.

퇴적암층들은 지형분석과 지질과의 관계를 볼 때 각 층에 대하여서는 일치하지 않으나 전체적으로 놓고 볼 때는 Fig. 5의 ③과 ⑥에서 보듯이 매우 잘 일치함을 볼 수 있다. 화산암층에서는 응회암층 (Fig. 5의 ①과 ④)과 화산각력암층 (Fig. 5의 ②와 ⑤)이 지형분석결과와 잘 일치됨을 볼 수 있다. 테일러스층은 Fig. 5의 ⑦과 ⑧에서 보듯이 지형 및 위성영상 분석과 매우 잘

일치함을 나타내고 있다.

이러한 본 연구 결과를 고려할 때 화산암이 분포하는 지역에 대해서는 현지 지표 지질조사를 하기 이전에 수치지형도와 인공위성 영상을 먼저 분석하여 조사지역에 대한 예비적인 지질기초를 파악하여 현지 조사를 실시한다면 보다 정확한 지질조사를 수행하는데 크게 도움이 된다고 사료된다. 따라서 이러한 결과는 앞으로 연구지역에 대한 기초 자료로서 적용 및 활용될 수 있으며, 다른 화산암 지역을 조사함에 있어서도 지형 및 위성영상 판독을 먼저 실시하고 조사를 한다면 지표지질조사 시 시간을 줄이며 보다 정확한 지질도를 작성 할 수 있을 것이다.

## 사 사

이번 연구는 당 연구원이 인도네시아 반둥 남부지역에 대하여 2002년 산업자원부 출연 연구과제인 “인도네시아 반둥 남부지역의 지질조사” 사업의 지원을 받아 수행한 연구 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- Jensen, J.R. (1978) Digital Land Cover Mapping Using Layered Classification Logic and Physical Composition Attributes. *American Cartographer*, v. 5, p. 121-132.
- Katili (1989) Indonesia geology. *Journal of the Indonesian Association of Geologists*, Jakarta, 635p.
- Koesmono, M., Kusnama and Suwarna, N. (1996) Geological map of the Sindangbarang and Bandarwaru quadrangles. Jawa (1:100,000).
- Lee, S. and Min, K. (2001) Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, v. 40, p. 1095-1113.

2003년 2월 26일 원고접수, 2003년 4월 12일 게재승인.