

LANDSAT 7 ETM+와 ASTER 영상정보를 이용한 선형분광혼합분석 기법의 지질주제도 작성 응용

김승태* · 이기원**

대한광업진흥공사, 한성대학교 대학원 공간정보분석학과*

한성대학교 정보시스템공학과**

Application of Linear Spectral Mixture Analysis to Geological Thematic Mapping using LANDSAT 7 ETM+ and ASTER Satellite Imageries

Seung Tae Kim* and Kiwon Lee**

Korea Resources Corporation, Graduate School, Hansung University*

Dept. of Information Systems Engineering, Hansung University**

Abstract : The purpose of this study is the investigation of applicability of LSMA(Linear Spectral Mixture Analysis) on the geological uses with different radiometric and spatial types of sensor images such as Terra ASTER and LANDSAT 7 ETM+. As for the actual application case, geologic mapping for mineral exploration using ASTER and ETM+ at the Mongolian plateau region was carried out. After the pre-processing such as the geometric corrections and calibration of radiance, 7 endmembers, as spectral classes for geologic rock types, related to spectral signature deviation for the given application was determined by the pre-surveyed geological mapping information and the correlation matrix analysis, and total 20 images of ASTER and ETM+ were used to LSMA processing. As the results, fraction maps showing individual mineral types in the study area are presented. It concluded that this approach based on LSMA using ETM+ and ASTER is regarded as one of the effective schemes for geologic remote sensing.

Key Words : ASTER, LANDSAT 7 ETM+, Linear Spectral Mixture Analysis (LSMA), Geological Mapping.

요약 : 본 연구는 Terra ASTER 영상과 LANDSAT 7 ETM+ 분광 영상정보와 같은 상이한 방사 및 공간 해상도를 갖는 위성 센서의 영상을 지질학적으로 활용하기 위한 선형분광혼합분석 (LSMA: Linear Spectral Mixture Analysis) 기법의 적용성을 목적으로 한다. 실제 적용사례로서 몽골 지역을 대상으로 ASTER 영상과 LANDSAT 7 ETM+ 분광 영상정보를 이용하여 지질학적 주제도 작성과정을 수행하였다. 두 영상 정보에 대하여 기하 보정 및 방사 휘도 조정 등의 전처리 작업을 수행한 후 사전 지질조사 정보와 두 영상정보의 밴드 별 상관도를 분석하여 7개의 지질단위의 분광

클래스를 선택하였고 20개 밴드의 위성 영상자료를 LSMA 기법에 적용하였다. 처리 결과로 주제도 작성의 대상으로 한 7개의 지질단위에 대한 각각의 주제도를 얻게 되었다. 결론적으로 LSMA 기법은 지질 주제도 작성을 위한 효과적인 접근 방법 중의 하나로 판단된다.

1. 서론

위성영상정보의 처리 및 분석과 관련된 원격탐사분야의 주요 활용 분야인 지질학적 응용 및 자원탐사 분야는 광학영상 및 레이더 영상 등을 적용하여 습곡이나 단층 등을 포함하는 광역적인 지표 선 구조 추출과 같은 지질 구조도 작성, 암상의 차이를 판독하는 지질도 작성, 광상성인 판독을 위한 변질광물 규산염광물, 점토질광물, 탄산질광물, 산화철 등의 변질 광물 및 광화대 주제도 작성 등이 주로 연구되고 있다 (Bedell, 2004).

암석은 다양한 광물의 조합체로서, 조암광물에 따라 특정 파장대에서 전자기파 반응에 따른 미세한 흡수 특성 차이를 보이므로 이러한 현상을 이용하여 암석 판별이 가능하며 식생의 영향이 충분히 제거된다면 위성 영상 정보의 분광 특성도 지표의 지질학적 특성을 나타내는 중요한 지시자가 된다. 특히 근적외선 파장대 (SWIR: Shortwave Infrared)에서의 광물 분광특성 차이는 암석이나 광물에 따라 비교적 많은 차이를 보이게 된다. 그러나 식생의 영향과 함께 위성 영상의 분광해상도 및 공간해상도는 지질학적 응용이나 위성 영상을 이용한 지질주제도 작성에서 제약 요소가 된다.

본 연구의 내용은 식생의 영향이 거의 없는 몽골 지역을 대상으로 하여 지질학적으로 많은 의미를 가지고 있는 근적외선 파장대 (SWIR)의 6개 분광 영상을 포함하여 총 14개의 분광 영상 자료를 제공하는 Terra ASTER 영상과 LANDSAT 7 ETM+ 분광 영상을 선형분광혼합분석 (LSMA: Linear Spectral Mixture Analysis) 기법을 이용하여 분석한 뒤 광역 지질도에 나타나지 않은 광물자원의 부존 잠재성을 파악하기 위한 지질 주제도 작성에 적용하고자 한다. 이러한 접근 방법은 LSMA 기법이 상이한 공간 해상도 및 분광 해상도를 갖는 다중 센서 영상정보의 처리 및 분석에

효과적으로 적용될 수 있는 가에 대한 문제와 지질학적 응용에 대한 다중 센서 위성 영상정보의 적용성을 살펴 보고자 하는 의도로 수행되었다.

LSMA의 개념은 공간적으로 위성영상의 단위 화소는 화소보다 작은 면적을 차지하는 물, 콘크리트, 단일 식생, 암석 등과 같은 한 개 또는 여러 개체의 혼합체로 표현된다는 전제하에, 분광학적으로 단위 화소의 반사도 값은 단위 화소를 구성하는 객체들의 분광 반사도 값이 혼합된 결과라는 내용에 기반한다 (Adams *et al.*, 1986).

이러한 LSMA 기법은 다중 분광 영상정보와 초 다분광 영상정보 등에서 활용할 수 있는 분석 기법으로 처리하고자 하는 위성 센서의 공간 해상도를 고려하여 해상도의 범위 내에 존재하는 대상 객체를 선정하고 선택된 객체에 대한 분광정보를 이용하게 된다. 다음 단계에서는 객체들을 대상 분류 단위인 분광 클래스로 정의하고 이러한 분광 클래스들이 혼합된 화소들을 선형 또는 비선형 방정식에 따라 역산하여 하나의 단위 화소에 포함된 객체의 비율을 산정하고 이를 객체별로 분류할 수 있도록 하는 기법이다. 처리 결과는 대상 객체별로 분포 양상을 구분하는 분할 주제도 (Fraction maps)와 같은 방식으로 표현이 가능하다.

LSMA 기법의 분석과정에서는 영상의 정규화, 기하 보정, 분광 반사도 보정 등과 같은 전 처리 과정을 수행한 뒤, 영상내의 분광 정보와 적용 분야에 따라 실제 대상 지역에 분포하는 대상 객체 또는 분류기본단위를 어떻게 결정하는 하는 문제가 중요한 주제가 되는 데 Dennison and Roberts(2003)은 토지 피복도 작성에서 분류기본단위 설정에 대한 연구를 수행한 바 있다. 이러한 LSMA 기법을 도시 분야나 농업 및 산림 분야 등과 같은 원격 탐사의 응용 분야에 적용하는 사례는 Lu *et al.*(2002), 이 지민과 이 규성(2003), Small(2003), Kim and Park(2004), Wu(2004) 등의

연구가 있으며 지표 지질분야에 적용한 경우는 Feng *et al.*(2003)의 연구에서 주요 결과를 제시한 바 있다. 한편 LSMA 기법을 다중 센서 위성영상 정보에 적용한 사례 연구로는 LANDSAT 영상 정보와 MODIS 영상정보를 적용한 Vikhamar and Solberg (2003)의 연구 등이 발표된 바 있으며 최근에 LSMA 기법을 적용하는 여러 응용 연구가 발표되고 있다. 그러나 LANDSAT ETM+ 영상 정보와 ASTER 영상정보를 LSMA 기법으로 처리한 결과는 많지 않은 실정이며 특히 지질학적 응용 목적으로 이 두 가지 영상정보를 처리한 연구는 거의 발표된 바가 없다. 한편 Buheasier *et al.*(2003)등은 이러한 다중 센서 영상정보의 특성을 실험적으로 비교한 바 있다.

본 연구의 대상 지역은 몽골 서남부 지역으로 기후는 사막의 건조기후로서 대기의 습도가 낮아 대기에 대한 영상의 잡음이 적은 지역이다. 본 연구에 이용될 두 가지 센서 영상 자료는 2002년 9월 동일 일자, 동일 지역을 촬영한 영상을 이용하였으며 LSMA 기법에 적용하기 위한 기본적인 전 처리 과정을 수행한 뒤 분석 결과는 기본분류 단위로 선정된 지질암석단위별의 지질 주제도를 제시하고자 하였다.

2. 본 론

1) 선형분광혼합분석기법(LSMA: Linear Spectral Mixture analysis) 개요

LSMA기법은 최초로 암석과 토양의 종류를 구분하기 위한 지질학적 분석기법으로 제안된 영상 처리 기법으로 (Adams *et al.*, 1986), 기존의 통계학적 기반의 영상 분류법과 달리 클래스의 참조 분광특성 (Reference Spectrum)이라는 물리학적 특성을 이용하여 대상 객체를 분류해 내는 역산 처리방식으로 초 다중분광 (Hyperspectral) 영상자료의 분석 도구로 제시된 바 있다.

LSMA 기법의 장점은 백 개 이상의 초다중 분

광영상의 처리 및 분석 도구인 동시에 중-저 공간 해상도를 갖는 LANDSAT MSS 영상 분석에도 유용하게 이용될 수 있으며 (Neteler, 1999), 처리 대상이 되는 위성 영상으로부터 직접 DN값을 읽고 이를 방사 보정한 뒤에 LSMA를 적용함으로써 대기 보정 등의 중간 처리과정을 배제한 뒤에 유용한 결과를 생성하므로 광범위한 분야에 적용시킬 수 있다 (Schweik *et al.*, 1999).

LSMA기법에서는 영상의 공간적 기본 단위인 화소의 값은 단일개체 또는 다양한 개체의 혼합된 분광 반사도 값을 반영한다. 반면에 기존 통계학 기반의 분류방법은 단일 화소는 단일 클래스로만 결정하기 때문에 여러 물질이 혼합된 화소의 다양한 정보를 제시할 수 없는 단점이 있다. LSMA기법은 이미지의 분광 특성 값 (반사도)은 제한된 수의 지표 구성물질의 혼합체에 의한 값이라는 가정에서 지표 정보가 혼합된 화소 (Mixed pixels) 즉, 혼합된 분광신호를 실험실, 야외측정 또는 영상자체에서 측정된 순수한 참조분광 신호와의 비교 역산을 통하여 단위 화소에 1개 이상의 정보를 얻을 수 있음을 의미하는 참조분광 클래스의 포함 정도를 각 클래스 별 정보량을 표현하는 비율에 따른 분할 주제도 형태로 제공한다.

조사 지역의 지질분포가 사암, 화강암, 섬록암이 일정한 비율로 지표에 분포한다고 가정한 경우, Fig. 1은 분광대별 반사도의 특성을 예시한 것이다. 선형적 LSMA 기법을 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다 (Adams *et al.*, 1986, Newland, 1999).

$$R_i = \sum_{e=1}^N R_{i,e} f_e + \epsilon_i \quad (1)$$

R_i 는 i 번째 분광밴드에서 주어진 스펙트럼의 반사도이며, N 은 참조분광클래스 (Endmember)의 수, $R_{i,e}$ 는 i 번째 분광밴드에서 참조 분류기본단위 e 의 반사도, f_e 는 화소에서 분류기본단위 e 의 분할 가중치, ϵ_i 는 N 개의 분류기본단위의 적합성에 대한 i 밴드에서의 오류 값이며, k 는 적용된 분광 영상의 채널(밴드) 수를 나타낸다. 이를 영상 자체의 분광 라이브러리에 적용하는 경우 수치 값 (Digital Count)은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

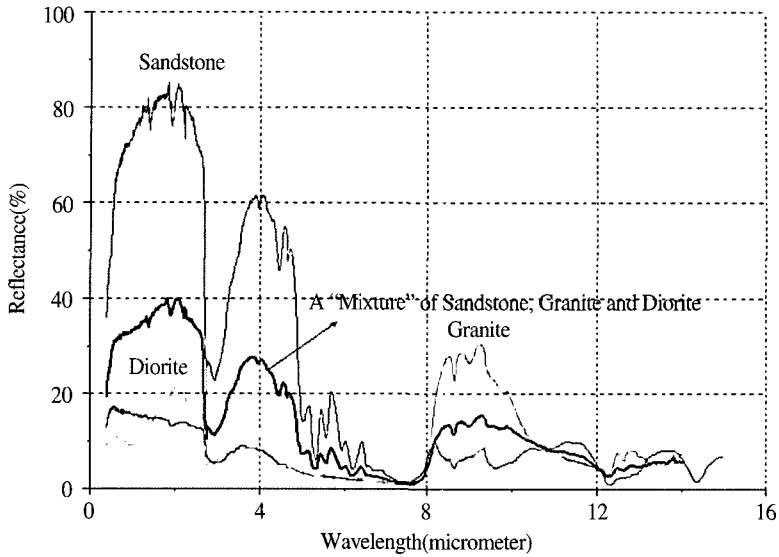


Fig. 1. Typical continuous spectral reflectance curves for Sandstones, Granite, and Diorite, and hypothetical linear spectral mixture curve with them.

$$DC_i = \sum_{e=1}^N DC_{i,e} f_e + \varepsilon_i \quad (2)$$

여기서, DC_i 는 i 번째 분광 밴드에서 주어진 화소의 DN값이며, $DC_{i,e}$ 는 참조 분광클래스 e 에 대한 i 번째 분광밴드에서의 수치 값이다. 이는 최소 자승법을 이용하여 오류를 최소화함으로 화소에서 분류기분단위 e 에 대한 f_e 의 N 값을 찾기 위해 단순화한 것이다. 식 (2)를 풀기 위해 적용되는 제한 조건이 3가지가 있다.

첫 번째는 무제한조건 (Unconstrained)으로, 잔류 오차를 최소화하기 위하여 필요한 어떠한 값도 최종 결과값으로 인정하는 경우이며, 두 번째는 부분 제한조건 (Partially constrained) 로서 모든 화소의 분류기분단위의 합이 1이 되도록 하는 것이다(식 3).

$$\sum_{e=1}^N f_e = 1 \quad (3)$$

위의 무제한조건 및 부분제한조건은 최종 결과값에 대한 음과 양의 값을 허용하는 조건이다. 마지막 세 번째는 완전 제한조건(Fully constrained)으로 최종 결과값을 0에서 1까지의 범위로 한정하며 단일 화소에 대한 분할 가중계수의 결과 값의

합은 1이다(식 4).

$$\sum_{e=1}^N f_e = 1, (0 \leq f_e \leq 1) \quad (4)$$

한편 LSMA 기법에서 분류기분단위인 참조 분광클래스를 결정하는 방법은 다음과 같은 세 가지 방법이 있다.

첫 번째는 야외 및 실내실험을 통해 획득된 분광 라이브러리를 이용하는 방법이며 두 번째는 기존의 LSMA 연구를 통해 획득된 자료를 활용하는 방법. 세 번째 방법은 분석하려는 영상 정보 자체에서 분광 클래스를 찾아내는 방법이 있다. 영상정보 자체에서 순수한 객체분광을 획득하기 위한 방법은 주 성분분석(Principal Component Analysis)을 이용하여 확률론적으로 독립적인 자료 벡터를 가진 새로운 주성분분석 자료의 집합을 생성하여 PCA의 데이터 공간 상의 모서리에 위치하는 참조 분광클래스를 선택하는 방법이 많이 이용되고 있다. 한편, LSMA기법에 적용되는 분류기분단위의 최대 수는 적용하는 다중 분광영상의 [밴드의 수-1]로 하거나 또는 분광 특성이 충분히 파악된 임의의 영상 밴드의 수로 설정할 수 있으나 물리적으로 여러 가지의 지표 물질이

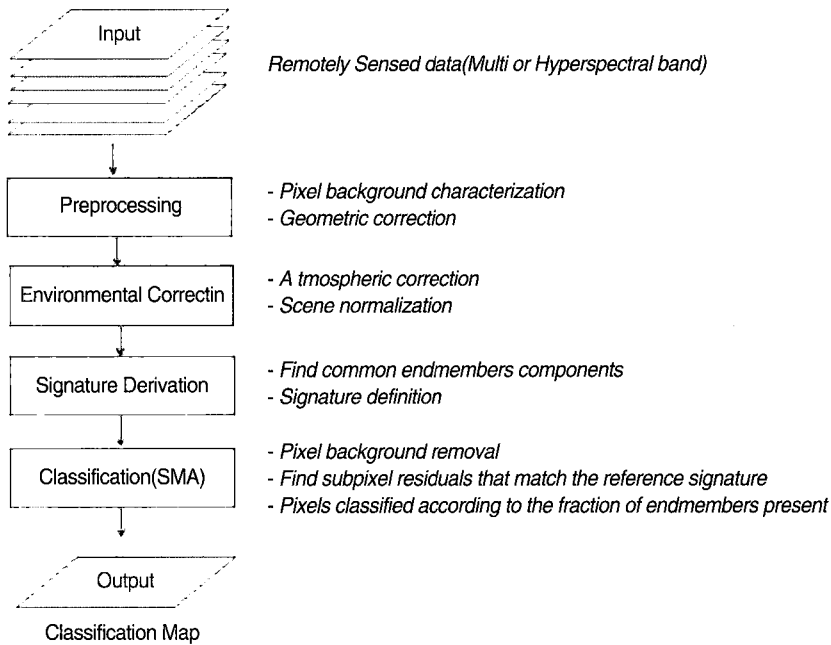


Fig. 2. General scheme for spectral mixture analysis classification(Huguenin *et al.*, 1997).

단일 화소 내에 포함될 수 있으므로 대상지역을 구성하는 순수한 최종 클래스를 모두 확인하고 분광 특성을 분석하고 이를 적용하는 것은 실제적으로 유용하지는 못하다 (Adams *et al.*, 1986; Schweik *et al.*, 1999; ENVI, 2001). LSMA 기법을 적용하려는 응용 분야의 주요 대상 객체에 따라 주요한 객체만을 선택하여 최소한의 분류기본단위를 선택하는 것이 오류를 줄일 수 있는 비교적 일반적인 방법이다 (Newland, 1999). 따라서 LSMA 기법의 적용시 분류기본단위는 영상정보의 분광 특성 분석을 통하여 분광학적으로 구별이 용이한 대상 객체 클래스로 결정하며 이러한 클래스 객체들은 선형적으로 각각 독립변수로 간주되어야 한다.

LSMA 기법의 처리과정은 Fig. 2와 같이 기하보정, 대기 보정 및 영상 정규화 과정을 포함한 전처리 과정, 조사지역에 대한 분광 특성 분석을 통한 분광 클래스 결정, LSMA 알고리즘 적용 과정과 최종 결과에 대한 검증의 과정 등으로 이루어진다 (Huguenin *et al.*, 1997). 전처리 과정에서는

다중 분광위성영상에 대한 분광분석을 위한 사전 준비 단계로서, 실험실 등에서 획득된 분광 라이브러리의 분광 반사도 값과 비교하기 위하여 영상 화소의 DN 값을 지표의 반사도 값으로 변환하는 과정이 필요하다. 이러한 작업이 용이하지 못한 경우에는 영상 자체에서 추출한 분광 클래스를 직접 이용하는 방법도 가능하다.

조사 대상지역에 대한 분광특성분석을 통한 참조 분광클래스의 선정은 조사 목적과 의도, 사용되는 영상자료의 품질 등에 따라 수행된다. LSMA 기법이 효과적으로 적용되기 위한 참조 분광클래스의 선정 방법은 전술한 바와 같이 세 가지 방법이 있다. 첫째, 미국 지질조사소 (USGS), 존스홉킨스대학 분광연구소 (JHL) 등에서 실험실 또는 야외 분광 분석을 통해 공개된 암석 및 광물 분광 라이브러리를 이용하는 방법이 있다. 이와 같이 분광 라이브러리와 비교하여 LSMA 기법을 적용하기 위해서는 위성영상의 DN 값을 대기모형을 이용한 대기 보정 등을 수행하여 반사도 (Reflectance) 영상을 생성하는 과정이 필요하다.

둘째, 기 분광혼합분석을 위해 적용되었던 참조 분광클래스를 준용하여 방법이다. 셋째, 영상 자체에서 참조 분광클래스를 선택하여 이용하는 방법이 있다.

LSMA 기법 처리과정은 제한 조건의 선택 및 각 분광 클래스에 대한 최종 추출 결과 클래스의 오류 검증 과정 등을 클래스의 선정과 제한조건 설정의 적합성을 검토하고 이를 다시 반영하여 LSMA 기법을 반복 수행한 뒤 적용 목적에 맞는 결과영상을 생성하게 된다.

2) 연구지역

연구지역의 지형은 전반적으로 알타이 산맥의 산악지형과 고비사막의 일부 사막평원을 이루고 있으며, 최고 고도 해발 3,839m, 평균 1,000~2,600m 정도로 고원지대로 지형 구배는 완만한 경사를 이루고 있다. 지형 특성에 따른 지 구조의 주방향성은 북서서 (N60W) 방향으로 발달하는 산맥과 이를 교차하는 북동방향 (N30E 또는 N70E)의 구조 방향으로 건천이 발달하고 있다(Fig. 3). 기후는 강

한 대륙성 사막 건조기후로서 기온은 평균 14°C(7월)~18°C(1월)이며 최대 19°C(7월), 최소 24°C(1월)로 사막기후의 특성을 보이며, 강우량은 0mm(1월)~48mm(7월)로서 매우 건조하고 식생의 발달이 미약한 일부 초지가 있는 지표상태를 나타낸다. 대기상태는 건조한 상황으로 위성영상의 대기의 산란에 의한 잡음이 적다.

본 연구 대상 지역의 지질학적 특성은 크게 Nuur Belt와 Khovd Belt의 2개의 구조구로 구분되며, 지질과 변성상이 매우 다르게 나타난다. 지질은 후기 원생대로부터 신생대까지의 제지층들로 구성되며 이들 지층들을 중~후기 캄브리아기, 후기 데본기, 전기 석탄기의 화성활동에 의한 화강암류가 광범위하게 관입하고 있으며, 부분적으로 페름기의 암맥류가 관입 발달하고 있다. 또한, 전기 캄브리아기의 안산암질 변성화산암류 및 페름기 산성 화산암류가 넓은 면적에 분포하고 있다(Fig. 4, Table 1). 한편 연구지역 일대의 광상은 몽골남부 동-금 광화대의 서측 연장부로서 고생대 중후기 캄브리아기 관입암체의 화강암류 내 발달

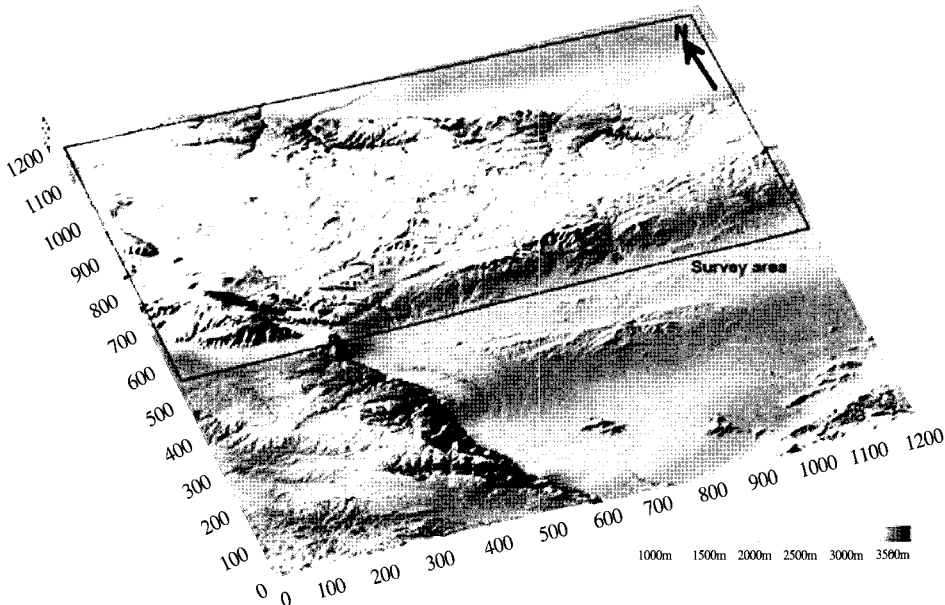


Fig. 3. Shaded relief topographic map of the study area covering the satellite images.

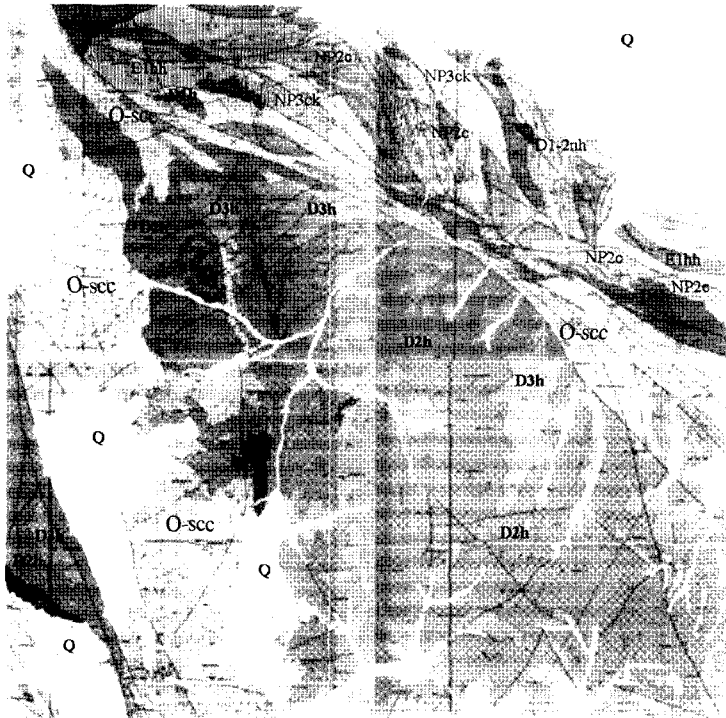


Fig. 4. Scanned geological map covering the study area.

된 열수기원의 맥상 또는 망상의 석영맥형 동-금광상 형태, 중기 Neoproterozoic 시기의 안산암 및 편상안산암의 파쇄대를 따라 배태되거나 파쇄면에 충전된 석영세맥내에 배태된 층준규제형의 열수기원 동광상, 고생대 오르도- 실루리아기의 편암류 및 후기 데본기 관입암체의 화강암류내 발달된 열수기원의 맥상, 망상형 내지 열극 충전형 금동광상 및 층적 사금광상이 발달한 것으로 나타난다.

3) 위성영상

ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) 영상 센서는 1999년 12월 미국 NASA의 EOS(Earth Operating system)의 일환으로 일본 경제산업성 METI (Ministry of Economy, Trading and Industry), ERSDAC (Earth Remote Sensing Data Analysis Center)와 공동 프로젝트로 Terra위성에 탑재되었

Table 1. Simplified geological pattern in the study area.

Age	Symbol	Lithology
Quaternary	Q	Alluvium
Devonian	D1-2nh	Sedimentary rocks
	PhaseIII-D3h	Leucogranite, biotite granite
	PhaseII-D2h	Plagiogranite, bt-hb plagiogranite, granodiorite
	PhaseI-D1h	Gabbro-diorite, diorite
Ordovician	O-Scc	Sil. Bt-amph. schist
Cambrian	E1hh	tuffaceous sandstone and siltstone
Neoproterozoic	NP3ck	Limestone, dolomite, marble
	NP2c	Andesite porphyry, andesite tuff (schistose metavolcanics)

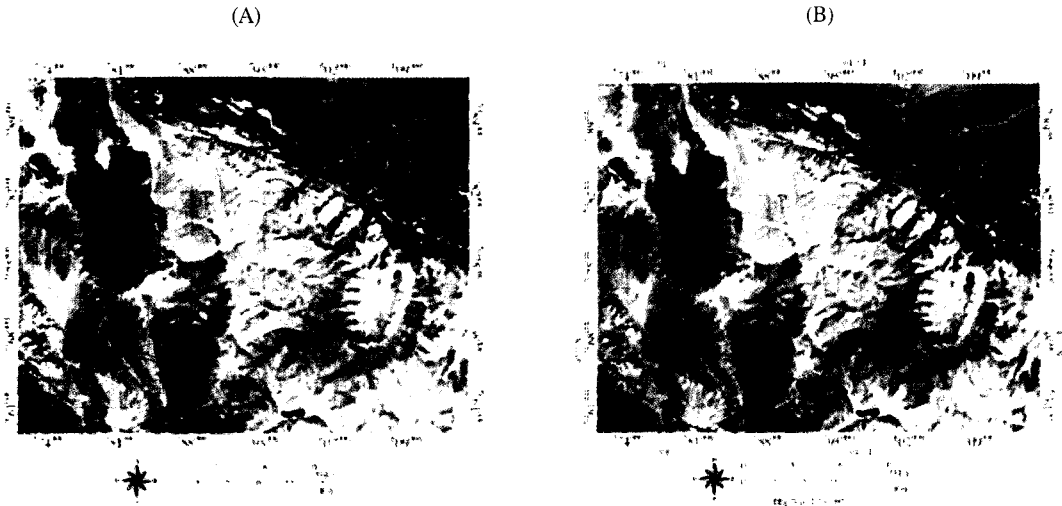


Fig. 5. (A) LANDSAT 7 ETM+ Image, (B) ASTER Image covering the study region (Sept. 11, 2002).

다. Terra위성은 태양동기 주기를 가지고 있으며 적도통과시간은 국제표준시간 오전 10:30으로, LANDSAT 7호 ETM+(Enhanced thematic mapper)위성과 동일궤도를 갖고 약 30분 뒤에 지상촬영을 한다. 이에 ASTER 영상정보는 LANDSAT 7 ETM+ 영상과 분광학적 특성이 매우 유사하다. 일반적으로 동일지역 및 동일일시의 영상을 비교하면 LANDSAT ETM+의 DN 값이 높은 값을 보인다.

ASTER 영상 정보는 가시광선 파장대에서 열적외선 파장대까지 총 14개 밴드 영상자료를 획득하며 영상의 크기는 60×60km이다. 세부적으로 ASTER는 VNIR, SWIR, TIR 3개의 Subsystem을 가지고 있다. 가시광선-근적외선파장대용 VNIR 시스템은 3개 밴드, 공간해상도 15m의 정밀도를 가지고 있다. SWIR(Short wave infrared) 시스템은 6개 밴드, 공간해상도 30m의 정밀도를 가지며, LANDSAT 7 ETM+영상은 동 파장대에 1개 밴드(Band 7)만을 배정하고 있다. 2 μ m대의 SWIR은 지질학을 위한 파장역이라고 할 만큼 지질학적으로 유용한 지표의 특성을 포함하는 정보를 제공하고 있다. 광물자원탐사에서 ASTER 영상정보의 공간 및 분광해상도에 따른 활용도는 광상에서 정확한 광물 파악까지는 무리가 있더라도 광상에서

중요한 변질광물 그룹 즉, 점토질 광물 (Clays), 황화광물(Sulfates), 탄산염광물 (Carbonates)의 분포에 대한 주제도 작성에 유용하며, 가시광선-근적외선 파장대 자료를 통해 정확한 위치정보 및 철산화물의 주제도 작성도 가능한 것으로 알려져 있다. TIR (Thermal Infrared) 시스템은 8~12 μ m대의 5개 밴드, 공간 해상도 90m를 나타내는 시스템으로서, LANDSAT 7 ETM+ 센서에서는 Band 6만으로 설계되어 있어 분광학적으로 응용성이 높다. 응용 분야는 지질분야에서의 변질광물의 지시자로 이용될 뿐 아니라 지표 및 수질의 표면온도를 측정할 수 있어 해수 온도 변화의 측정 등을 통해 해수 온난화, 발전소 등의 온수 배출 영향 등에도 적용할 수 있다.

연구 지역에 대한 영상으로 Fig. 5(A)와 5(B)에서는 각각 LANDSAT 7 ETM+ 컬러 합성 영상 (RGB=B1, B2, B3)과 ASTER 컬러 합성 영상 (RGB=B1, B2, B3N)을 나타내고 있다.

4) LSMA 처리

본 연구는 (1) 통계 분석에 따른 LANDSAT 7 ETM+ 및 ASTER 영상 자료의 정규화 변환, (2) 기하 보정 및 연구지역에 대한 부분 영상 생성, (3) 참조 분광클래스의 선정, (4) LSMA 적용 (5)

Table 2. Statistics by radiance correction of the applied satellite images : ETM+ and ASTER.

LANDSAT7 ETM+(02/9/11)						TERRA ASTER(02/9/11)					
Band	Range(μm)	Min	Max	Mean	Stdev	Band	Range(μm)	Min	Max	Mean	Stdev
1	0.45~0.52	25.63	182.24	64.67	8.12						
2	0.52~0.60	13.24	186.85	65.29	11.50	1	0.52 ~ 0.60	20.26	183.99	65.96	10.07
3	0.63~0.69	4.26	173.52	63.71	13.33	2	0.63 ~ 0.69	14.15	171.21	64.60	11.85
4	0.76~0.90	0	124.71	53.50	12.04	3N	0.78 ~ 0.86	12.07	121.54	54.32	10.15
5	1.55~1.75	0	31.050	15.03	3.43	4	1.60 ~ 1.70	3.70	29.13	16.72	3.00
7	2.08~2.35	0	8.44	4.56	1.05	5	2.145~ 2.185	1.88	7.86	5.49	0.83
						6	2.185~ 2.225	1.44	7.88	5.15	0.85
						7	2.235~ 2.285	1.37	6.81	4.50	0.79
						8	2.295~ 2.365	0.83	5.21	3.22	0.62
						9	2.360~ 2.430	0.86	3.98	2.61	0.46
						10	8.125~ 8.475	5.93	11.82	8.81	0.63
6	10.4~12.5	101	171	138.80	7.92	11	8.475~ 8.825	6.18	12.05	9.09	0.64
						12	8.925~ 9.275	6.47	11.99	9.20	0.62
						13	10.25 ~10.95	6.96	12.35	9.78	0.58
						14	10.95 ~11.65	6.90	11.66	9.45	0.52

결과 검증 및 분할 주제 영상의 표현의 과정으로 수행되었다.

본 연구에 사용된 두 가지 위성 영상자료는 2002년 9월에 촬영된 영상으로 원시 자료의 기본 통계치는 Table 2와 같다. ASTER L1B의 영상자료는 3개의 부분 시스템으로 구분되는 VNIR, SWIR, TIR 파장역이 각각 공간해상도 15m, 30m 와 90m로, 방사 해상도의 경우에는 8bit, 8bit, 12bit 로 각기 다른 자료형식을 가지고 있다.

LANDSAT 7 ETM+과 ASTER 영상자료에서 각 센서 영상의 밴드별 파장역과 공간 해상도의 차이에 따르며 ETM+ Band 2와 ASTER B1, ETM+ Band 3과 ASTER B2와 같이 동일 분광 파장역에 해당하지만 LANDSAT 7 ETM+의 DN 값이 ASTER영상의 DN 값과 비교하여 높은 값을 보인다. ASTER와 LANDSAT 7 ETM+간의 DN 값의 상관 계수분석의 결과는 동일 파장역에 해당하는 영상 자료의 경우 0.9 이상의 매우 높은 상관도를 보이고 있음을 확인하였으며 이를 근거로 방사 휘도보정 다중 분광영상을 제작하여 LSMA 분석에 이용하였다.

ASTER 영상자료의 14개 밴드는 LSMA 기법을 적용하기 위하여 동일 자료형식으로 처리되어

야 하므로 모든 밴드가 공간해상도 15m, 방사해상도 12bit를 갖도록 샘플링 변환작업을 실시하였다. 단, 스테레오 영상제작에 이용되는 VNIR Band 3의 Backward 영상은 촬영 각도에 의한 영상 값의 오차가 발생하므로 본 분석에서 제외하였다.

위성영상의 DN 값에 대한 방사 휘도 (Radiance) 변환은 샘플링 변환 과정 이후 분광분석을 위하여 수행되었다. ASTER 영상자료의 DN 값은 아래의 식 (5)와 같이 방사 휘도로 변환할 수 있다. 이때 단위 변환 계수는 Abrams *et al.*, (2000)에 의하여 제시된 값을 적용하였다.

$$Radiance = (DN\ value - 1) \times Unit\ conversion\ coefficient \quad (5)$$

또한 ASTER 영상자료의 기하 보정과정에서는 영상 헤더에 제시된 참조점 좌표를 GCP로 선택하여 최근린 내삽법을 이용하여 변환하였다. 14 밴드의 기하 보정과 방사 보정된 ASTER영상을 이용하여 부영상을 작성하였다.

한편 LANDSAT 7 ETM+ 영상 자료는 ASTER 영상자료과 동일하게 기하 보정 및 방사 휘도보정을 실시하였다. LANDSAT 7 ETM+ 영상 자료의 DN값의 방사휘도 변환은 미국 지질조사소 (USGS)에서 제공하고 있는 센서의 Gains과

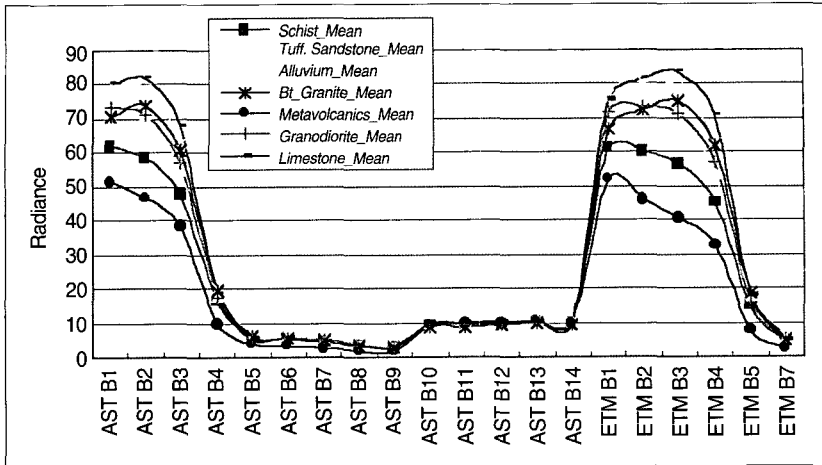


Fig. 6. Mean value of digital numbers of 7 reference classes in this study.

Table 3. Statistics result of spectral mixture analysis of 7 classes with 20 bands.

Endmembers	Min	Max	Mean	Stdev
Schist	-15.06	-1.67	-5.17	0.79
Granodiorite	0.96	9.11	2.89	0.46
Bt. Granite	-2.52	0.93	-0.13	0.24
Metavolcanics	0.60	5.99	1.58	0.24
Tuff.Sandstone	-2.90	-0.00	-0.89	0.23
Alluvium	0.18	6.09	1.84	0.26
Limestone	-0.65	0.45	-0.00	0.07

Offsets값을 이용하여 적용하였다(Table 3).

LSMA 기법 적용 시에 중요한 단계인 분광 클래스의 선정은 앞에서 설명한 세 가지 방법 중에서 영상 정보 자체에서 참조 분광클래스를 선택하는 방법을 적용하였으며 이 경우에는 대기 보정 등의 중간 과정이 필요하지 않아 처리 과정으로는 부분적인 장점이 있다. 분광 클래스의 선정은 현장 지질조사를 통해 획득된 지질단위 정보를 고려하였다. 이에 따라 적용영상은 방사휘도(Radiance) 보정을 실시한 LANDSAT 7 ETM+(6밴드: 6번 TIR밴드 제외)과 ASTER영상(14밴드)을 통합하여 20개 밴드의 새로운 다중 분광영상으로서 반사도 변환 등의 정규화 과정이 필요 없이 LSMA처리에 적용하였다.

분광클래스는 Table 1에서와 같이 본 연구지역에서 확인된 암상을 단순화한 지질 범례에서 제시

되는 지질단위 중 분광학적 유사성을 확인하여 상관성이 적은 지질단위를 선택하였으며 지질도의 위치정보를 통해 각 클래스 별 분광정보를 추출하였다.

분광 클래스는 (1) 충적층(Alluvium), (2) 쇄설성 퇴적암(Sedimentary rocks), (3) 섬록암류(Diorite) (4) 화강암(Granite) (5) 안산암질 응회암 및 반암류 (Metavolcanics) (6) 석회암(Limestone) 류 (7) 편암 (Schist)류로 결정하였다. 참조 클래스의 통계 값은 Table 4와 Fig. 6에 제시하였다. 한편 클래스의 정보는 Fig. 7과 같이 지질도에서 추출한 지질단위 경계선을 중첩하였다.

5) 분석 결과

방사휘도값으로 보정된 20밴드의 통합영상은 상기 클래스 선정 작업에서 선택된 7 개의 지질단위 클래스를 이용하여 선형 분광혼합분석을 실시하였으며 제한조건은 부분제한조건을 선택하여 처리하였고 그 처리 결과는 Fig. 8에 제시하였다. 적색 화살표 및 점선은 참조된 지질단위와 일치되는 지역과 상관도가 높은 지역을 표시한 것이다.

LANDSAT 7 ETM+와 ASTER 영상정보를 포함하는 전체 20 밴드 영상의 분석 결과는 지질도 및 참조 클래스를 비교 확인하였으며, 각 단위 별 결과는 지질도와 비교해 볼 때 선정된 클래스

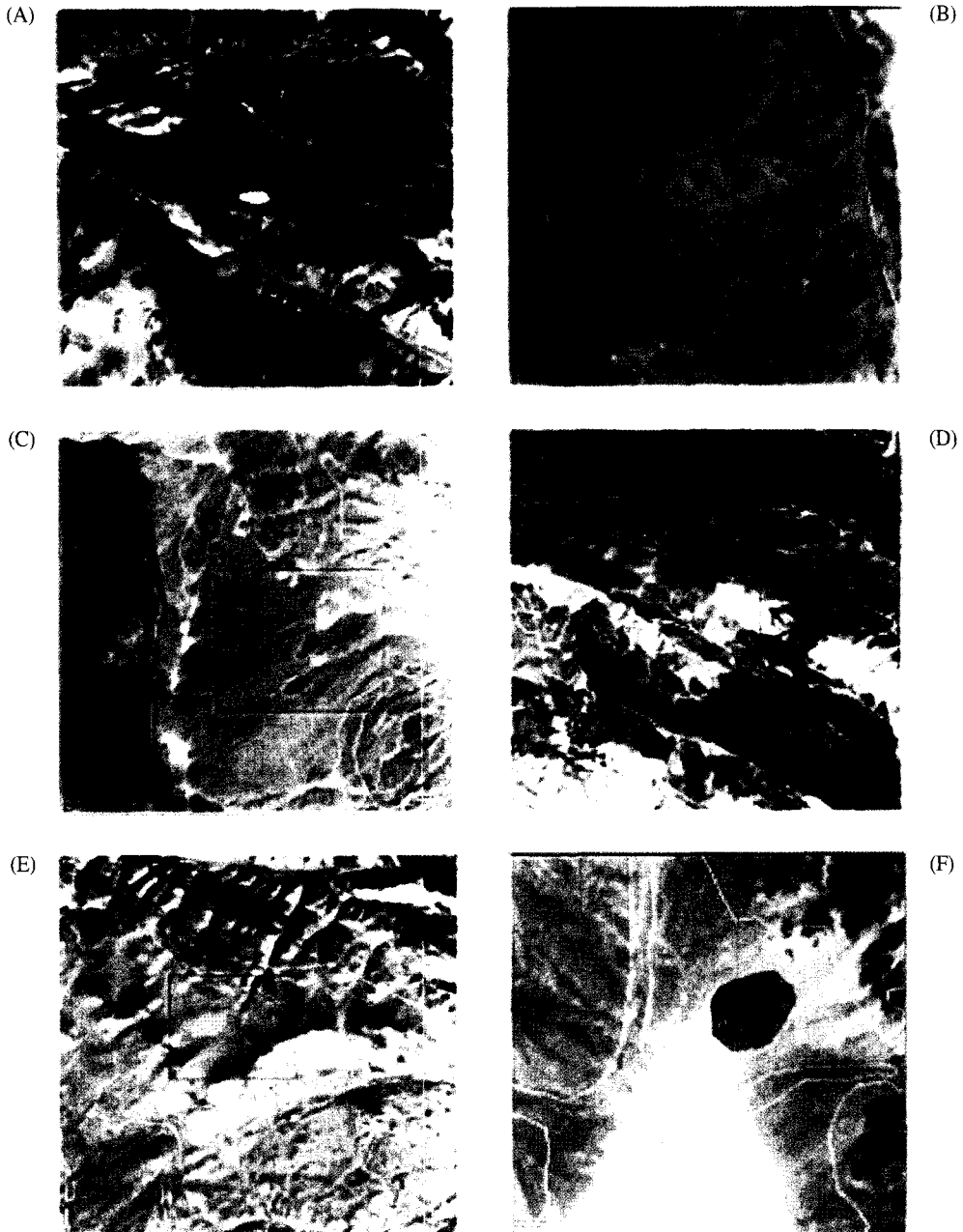


Fig. 7. Sampling site for reference classes in the satellite images in this study: (A) Metavolcanic, (B) Schist, (C) Granodiorite, (D) Limestone, (E) Biotite Granite, and (F) Alluvium.

의 분류는 매우 양호하다. 충적층 주제도(Fig. 8(A))는 우측 상단의 사막지역과 좌측 상부지역에서 높은 값을 보이면서 계곡부에서 발달되는 건천들의 지표 분포상황이 정확히 지시하고 있다. Biotite granite (Fig.8(B))는 적색 화살표지역과 중

양지역에 및 좌측지역에서 매우 높은 value를 보이며 일부 Grano-diorite Fraction map에서의 high value영역과 중복되는 지역이 많이 나타나고 있는데 이는 Granodiorite 관입 후기에 산발적으로 Biotite granite의 관입이 있는 지역임이 확인되었

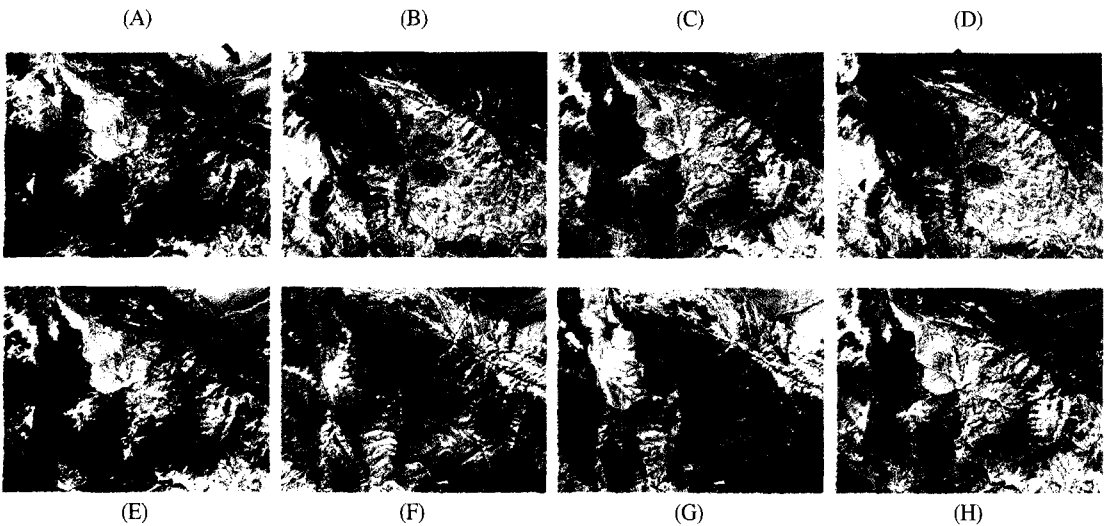


Fig. 8. Fraction mapping as results of spectral mixture analysis using 20 bands of LANDSAT ETM+ and TERRA ASTER radiance calibration data: (A) Alluvium (B) Biotite Granite, (C) Granodiorite, (D) Limestone, (E) Metavolcanics, (F) Schist, (G) Tuff, and (H) RMSE image.

다. Granodiorte fraction map (Fig. 8(C))에서 확인되는 경계들은 편암류와의 지질경계에서 뚜렷하게 구분된다. 전반적으로 중앙부 지역에 넓게 분포되고 있는 양상이다. 일부지역에서 충적층 지역에서도 높은 값을 보이며 RMS Error가 높게 나타난다. 석회석은 본 연구지역에서 북측 일부 지역에서 밴드상으로 확인되나 Fraction map에서는 서측부와 중앙부에서도 높은 값을 보이는 것으로 나타났다. Metavolcanics (Fig. 8(E))는 북측 뚜렷한 밴드상의 영역이 확인되며 지질도와도 일치되고 있으며 편암(Fig. 8(F))의 경우 서측 지역의 분포 특성이 정확히 지질도와 일치하였으나 북동부 지역에서는 부정확한 결과를 보였다. Tuff의 경우 북동부 지역의 밴드상 분포특성은 일치하고 있으나, 편암류가 발달하는 서측부 지역에서도 높은 값을 보이는 오류를 보였다.

3. 결론

ASTER 및 ETM+영상자료를 이용한 분광혼합 분석기법을 적용결과로 지질분야 응용의 장점과

단점 및 향후 개선 방향을 확인할 수 있었다. 본 연구의 방향은 위성영상을 물리적 분광 분석의 개념에서 단일위성의 단일센서 영상 분석이 아닌 두 개의 센서에서 획득된 영상자료를 중합하여 다중 밴드의 새로운 영상을 만들고 이를 이용하여 분광학적 분석을 실시하여 단일 화소에 대한 다양한 정보를 취득하는 데 있었다. 기존 ASTER영상과 ETM+영상의 적용은 각각의 분석 결과를 상호 비교하는 수준이었으나, 분광 혼합분석기법은 다중 영상정보를 포함한 혼합 화소 개념을 이용하여 단일 화소에 대한 다양한 정보 취득에 적용할 수 있음을 확인하였다. 또한, 영상자체에서 분광클래스를 획득하는 방법을 적용할 경우 LSMA는 별도의 복잡한 대기보정 과정 등이 없이 효과적으로 분류 주제도를 작성할 수 있었다. 그러나, 자원탐사분야에서의 기본 단위인 암석의 식별을 위한 분광혼합분석기법을 적용함에 있어 광물 및 암석 분광 라이브러리는 광물의 정확한 정보를 획득하기 위해 필요하며 이 암석분광 라이브러리의 반사도 값과 영상을 비교 적용하기 위해서는 ASTER 및 ETM+영상에 대한 지표 반사도 (Reflectance) 영상 제작이 필수적인 과정이다. 지표반사도 영상작

성의 전 처리과정은 대기보정 및 지형보정 등이며 위성영상 획득당시의 조사지역 대기 모델 및 지형 고도자료를 획득, 처리해야 하는 복잡한 과정을 수행하여야 적용할 수 있다.

본 연구에서 적용한 LSMA 수식은 선형 일차 방정식으로 역산과정이 상대적으로 단순하여 처리시간을 단축할 수 있었으나, LSMA는 단일 화소에 대해 모든 분광클래스에 값을 배정하여 실제로 단일 화소에 존재하지 않는 클래스의 비율도 제시하여 실제 결과와는 다른 오차를 발생하게 된다. 이를 개선하기 위해 분광클래스를 선택적으로 적용하는 계층형 분광혼합분석기법 등을 적용해야 볼 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

LSMA 적용과정 중 가장 중요한 과정은 참조 분광클래스의 선정 과정인데 현장 실험 분광 라이브리리를 이용한 분광 클래스의 선정 과정에는 연구지역의 대기모델을 이용한 대기보정 및 지형보정이 실시된 정확한 반사도 영상이 필요하나 이를 위한 기본 자료가 부재하여 본 연구에서 분광 클래스 선정은 조사지역 지질도 및 추가적인 영상의 주성분 분석 (Principle Component Analysis) 결과를 이용하여 조사 지역 내에 존재하는 지질단위를 구분하고 분광학적으로 상관도가 낮은 클래스를 선택하여 적용하는 과정을 반복적으로 수행하였다. 또한, 선형 분광혼합분석기법의 경우, 클래스의 수를 비교적 최소화하는 경우 좋은 결과를 획득할 수 있으며, 처리 결과 검증의 과정은 통계적 분석을 통해 제한조건의 적합성 판단, 기 조사 결과자료와의 비교 및 현지 야외조사에 의해 평가해야 한다. 따라서 객관적인 참조 분광 클래스 선정 작업은 분광 혼합분석 기법에서 가장 중요한 과정으로서 향후 이를 위한 다양한 접근법을 적용해 보고 그 가능성에 대한 평가와 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 사용된 ASTER 과 ETM+ 통합 분광 영상을 통한 분광혼합분석기법 적용은 이종 센서의 다중분광영상에도 적용할 수 있으며 산림 자원관리, 농업 관련 분야 등 식생정보 등 다양한 분야에 활용할 수 있는 방법이라 판단된다.

사 사

본 연구는 2004년도 한성대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

- 이지민, 이규성, 2003. 분광혼합분석 기법에 의한 산림피복 정보의 특성 분석, 대한원격탐사학회지, 19: 411-420.
- Abrams, M. and S. Hook, 2000. *ASTER user handbook, version 2*, JPL, 135p.
- Adams, J. B., M. O. Smith, and P. E. Johnston, 1986. Spectral Mixture Modeling: A New Analysis of Rock and Soil Types at the Viking Lander I Site, *Journal of Geophysical Research*, 91: 8098-8112.
- Bedell, R., 2004. Remote Sensing in Mineral Exploration, *SEG Newsletter*, No.58.
- Buheaosier, K., M. Tsuchiya, and S. J. Kaneko, 2003. Comparison of Image Data Acquired with AVHRR, MODIS, ETM+ and ASTER over HOKKAIDO, JAPAN, *Adv. Space Res.*, 32: 2211-2216.
- Dennison, P. E., and D. A. Roberts, 2003. Endmember selection for multiple endmember spectral mixture analysis using endmember average RMSE, *Remote Sensing of Environment*, 87: 123-135.
- ENVI, 2001, *ENVI Tutorials: Multispectral Processing using ENVI's Hyperspectral Tools*, pp.449-481.
- Feng, J., B. Rivald, and A. S. Azofeifa, 2003. The topographic normalization of hyperspectral data: implication for the selection of spectral end members and lithologic mapping, *Remote Sensing of Environment*, 85: 221-231.
- Huguenin, R. L, M. A. Karaska, D. V. Blaricom, and J. R. Jensen, 1997. Subpixel classification of

- Bald Cypress and Tupelo Gum Trees in Thematic Mapper Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63: 717-725.
- Kim, S-W and C-H Park, 2004. Linear Spectral Mixture Analysis of Landsat Imagery for Wetland Land-Cover Classification in Paldang Reservoir and Vicinity, *Korean Journal of Remote Sensing*, 20: 197-205.
- Lu, D., M. Batistella, and E. Moran, 2002. Linear Spectral Mixture Analysis of TM Data for Land-use and Land-cover Classification in Rondonia, Brazilian Amazon, *Symp. On Geospatial Theory, Processing and Applications*, Ottawa.
- Neteler, M., 1999. Spectral Mixture Analysis and Atmosphere/Terrain Correction of LANDSAT Images for Erosion Modelling using GRASS, *Presentation at ITC, IRST, Trento*, 20p.
- Newland, D., 1999. *Evaluation of Stepwise Spectral Unmixing with HYDICE Data*, Available at: <http://www.cis.rit.edu/research/thesis/bs/1999/newland/thesis.html>
- Schweik, C. M. and G. M. Green, 1999. The Use of Spectral Mixture Analysis to Study Human Incentives, Actions, and Environmental Outcomes, *Social Science Computer Review*, 17: 40-63.
- Small, C., 2003. High spatial resolution spectral mixture analysis of urban reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 88: 170-186.
- Vikhamar, D. and R. Solberg, 2003. Snow-cover mapping in forests by constrained linear spectral unmixing of MODIS data, *Remote Sensing of Environment*, 88: 309-323.
- Wu, C., 2004. Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery, *Remote Sensing of Environment*, 93: 480-492.