

다분광 TM 영상 변환기법과 감독분류 정확도 비교연구 - 두만강 하류 지역을 중심으로-

Accuracy of Image Transformation Methods and Supervised Classifications on Multi-Spectral TM: A Comparative Study on Lower Tumen River Area

이기석* · 남영**
Lee, Ki-Suk · Nan, Ying

要 旨

본 연구에서는 두만강 하류지역 다분광 TM영상의 변환기법과 그에 대한 감독분류방법을 비교 분석하였다. 총체적 분류 정확도는 최대우도법이 높으며 식생은 MNF와 TC 변환 영상에서 비교적 좋은 분류 결과를 얻을 수 있다. MNF, TC, NDVI 등 영상들로 구성된 7차원 영상은 3차원 영상보다 좋은 결과를 나타내며 그 중에서도 최대우도법의 분류 결과가 제일 좋았다. 다분광 영상은 두만강 지역 경제 개발 계획과 산업 입지 선정에 중요한 기초자료로 활용될 수 있다.

ABSTRACT

This study conducts to analyze comparative accuracy when both Image Transformation Methods and Supervised Classifications on multi-spectral TM using a case of Lower Tumen River Area. In terms of overall classification accuracy, maximum likelihood method turns out higher than other one, but in a case of vegetation only, MNF and TC image transformation methods produce a better quality of the result. Especially, seven dimensional images including MNF, TC, and NDVI create better image than three dimensional one. Among these transformation methods, maximum likelihood method results out the best one. Multi-spectral image could be useful as an important basic material for site selection of industrial allocation as well as Tumen River Area Economic Development Plan.

1. 서 론

컴퓨터 기술의 비약적인 발전과 고해상도 센서의 개발에 힘입어 원격탐사 응용분야는 날로 확대되고 있다. 토지피복/토지이용(*land cover/land use - LC/LU*)에 이용될 수 있는 위성 영상의 공간해상도는 TM(*Thematic Mapper*, 30 m), SPOT(15 m) 등의 두자리 수로부터 IRS-1C(5 m), KVR-1000(2 m) 등의 한자리 수로 세밀화되고 분광해상도도 몇 개에서 몇 백 개로 세분화되었다. 원격탐사와 관련된 GIS(*Geographic Information System*) 분야는 성숙된 기술과 간편하고 실용적인 프로그램으로 과학연구 뿐만 아니라 사회 많은 분야에서 필수적인 도

구로 되었으며 상업화 단계로 들어섰다. 반면 위성 영상은 많은 영역에서 이용될 수 있지만 지면의 복잡한 환경, 영상 처리 방법과 기술의 부진, 복잡하고 전문화된 프로그램 등 원인으로 인하여 지금도 여전히 실험적인 연구 단계에 그치고 있다.

위성 영상에서 지리정보를 추출하는 과정은 크게 영상 전처리(*image preprocessing*), 영상 향상 및 변환(*Image Enhancement and Image Transformation*), 영상 분류(*Image Classification*) 등 과정으로 나눌 수 있다. 영상 전처리는 자료 획득 과정에서 발생한 기하학적 오차와 방사적 오차를 제거하는 과정이다.¹⁾ 영상 향상 및 변환은 사람의 육안에 의한 시각적인 분석이나 컴퓨터를 사용한 분석을 쉽게 하기 위한 화소 변화 과정이다. 이 과정은 단일 영상에 대한 대비강조(*contrast manipulation*)와 공간적 특징 조작(*spatial feature manipulation*) 및

*서울대학교 지리교육과 교수

**중국 연변대학 지리계 교수

다중 영상에 대한 변환(multi-image manipulation) 등의 내용으로 나눌 수 있다. 그러나 이 과정은 분석자의 목적에 따라 주관적으로 평가되기 때문에 어떠한 방법이 이상적이라거나 가장 좋은 방법이라고 말할 수는 없다. 영상 분류 작업의 개발적인 목표는 영상 안에 존재하는 모든 픽셀을 몇 개의 토지피복 항목이나 주제별로 자동 항목화 하는 것이다. 일반적으로 디중분광자료가 분류를 위해 사용되며, 모든 픽셀의 데이터 내부에 존재하는 분광패턴은 항목화 과정의 수치적인 근거로 사용된다.²⁾ 영상 분류는 크게 감독분류(supervised classification)와 무감독분류(unsupervised classification)로 나눌 수 있다. 감독분류는 유형에 대한 정보가 미리 정해져 있는 상태에서 컴퓨터에 의해 자동으로 현상을 분류하는 것이고 무감독분류는 영상에 대한 통계적 특성만으로 영상 화소를 자동 분류하는 방법으로서 연구 지역에 대한 사전 정보가 없는 경우에 유리하다.

LC/LU 분야에서 제일 많이 사용되고 있는 다분광 위성 영상은 TM 영상이다. TM는 7개 밴드와 30 m 공간 해상도(band 6은 120 m)로서 Landsat-4호부터 제공되어 현재 Landsat-7호까지 이미 17년간 지속적으로 전 지구를 촬영하여 왔으므로 제일 안정되고 체계적인 위성 영상이다. 그러나 위성 영상을 통하여 수집된 데이터들은 지표면상의 실제 토지이용과는 차이가 있으므로³⁾ 통계자료를 위성 영상 분류 결과에 적응하도록 수정할 필요가 있다.

위성 영상의 제일 중요한 응용 목적은 바로 지리 사물의 식별과 구분이다. 그 내용들을 정확히 식별, 추출, 통계하여 GIS에 입력시키는 과정의 자동화 정도는 이 목적을 실현하는 관건이다. 다분광 위성 영상에서 영상의 변환 기법은 분류결과에 큰 영향을 주며 또한 지역에 따라 상이한 분류 방법은 분류 결과의 정확성과 실용성에 큰 영향을 준다.

본 연구에서는 두만강 하류지역을 중심으로 이 지역의 TM영상을 상이한 기법으로 변환시킨 후 몇 가지 감독분류방법으로 분류하여 그 결과를 비교하고자 한다. 이 지역은 3국 인접지역으로써 상세한 토지이용 조사와 실시하기 어렵고 주기적인 정보 갱신 작업도 매우 어려운 지역이다. UNDP에 의해 주도된 이 지역의 국제 협력 개발 과정은 몇 년 전부터 추진되어 왔으나 본 지역의 LC/LU에 대한 자료는 매우 부족하다. 연변토지국에서 주도한 토지이용 조사는 1990년에 실시되었는데 공식 발표

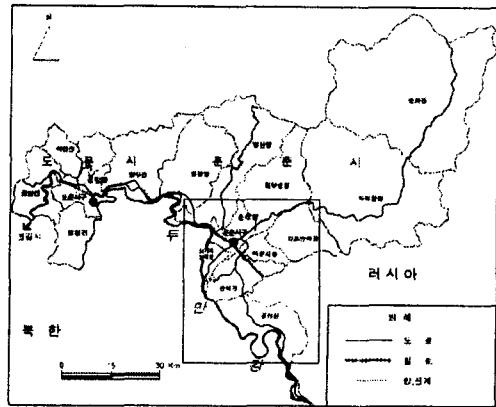


그림 1. 연구지역

한 결과는 1:10만 토지이용도로써 구체적인 경제개발구 선정 및 지역 개발에 사용하기에는 축적이 너무 작은 편이다. 삼림과 초지에 대해서는 임업국에서 제작한 대축적 임상도가 있지만 지도가 표준화 되지 않았고 분류 체계도 상이하여 사용이 매우 불편하다. 또한 이러한 지도들은 80년대 말, 90년대 초반에 제작되었으므로 그 후의 엄청난 변화는 반영되지 못하였다. 필자는 본 연구를 통하여 두만강유역의 TM영상 특성을 파악하고 각 유형에 알맞은 변환, 분류 방법을 추구함으로써 이 지역LC/LU의 최신 상황을 파악하여 지역 개발에 필요한 기초 자료를 제공하고 더 나아가서 이 지역과 인접한 북한 지역의 LC/LU 상황을 연구하는 중요한 참고 자료를 제공하고자 한다.

연구에 사용되는 자료는 1996년 9월 26일 Landsat 5 TM(115/30) 영상과 이 지역의 1:5만 지형도, 1:10만 토양도, 1:10만 토지이용도, 1:5만 임상도 및 관련 통계 자료이다. 영상처리 시스템은 ERDAS Imagine 8.2과 ENVI 3.0을 사용하였다. 그림 1은 연구 지역이다.

2. 분류 전 영상 변환 과정

2.1 영상 보정 및 재배열

TM영상은 기계와 기상 원인으로 인하여 기하학적 왜곡(geometric distortion)이 발생하여 방향, 길이, 면적 및 형태가 지도와 일치하지 않으므로 기하학적 보정(geometric correction)이 필요하다. 본 연구에서는 전 지역에 잘 분포되고 영상에서 정확히 식별할 수 있는 GCP(Ground Control Point)를 선정하여 그들의 영상좌

표와 지도좌표를 확정한 다음, Polynomial warping 기법으로 영상 좌표를 지도 좌표 체계로 변환하였다. 이러한 지도 좌표는 일정한 투영 방법이 필요하다. 중국에서 1:100만 이상 지형도에는 Gauss-Kruger 투영법이 사용되므로 변환 후의 영상은 Gauss-Kruger(Zone 22) 투영 좌표와 일치하며 공간 해상력은 30 m이다.

기하학적 보정을 한 후 원 영상 매트릭스를 이용하여 출력 영상 매트릭스를 채울 픽셀 값을 결정하는데 이 과정을 재배열(resampling)이라 한다. 재배열기법은 주로 Nearest-Neighbor Resampling, Bilinear Interpolation, Cubic Convolution 등 방법이 사용되고 있는데, Nearest-Neighbor Resampling은 계산 과정이 단순하고 원 영상의 DN 값을 바꾸지 않는 반면 공간 위치는 약 1/2 픽셀 차감될 수 있으며 출력 영상의 흐트러진 형상을 야기 할 수 있다. Bilinear Interpolation은 보다 부드러운 영상을 출력할 수 있지만 원 영상의 Gray Level 값을 바꾸기 때문에 자료의 연속적인 분광 패턴 인식 분석 과정에서 문제를 일으킬 수 있다. Cubic Convolution은 위에서 언급한 두 가지 방법의 단점을 최소화 할 수 있으므로 본 연구에서는 이 방법을 택하였다. 1:5만 지형도에서



그림 2. 연구지역 TM5+TM4+TM2 영상

총 14개 GCP를 골고루 선정하여 좌표변환 결과 총 RMS Error는 0.81로서 1화소(30 m) 내에 들어 오게 되었다. 그림 2는 보정과 재배열 후의 연구지역 영상이다 (TM5 + TM4 + TM2).

2.2 영상 변환

다분광 영상에서 영상 변환 기법은 분류결과에 큰 영향을 준다. 데이터 축소와 변환 기법에 관하여 많은 학자들이 연구하여 왔었는데 그 중 비교적 성숙된 기법은 비연산(Band Ratioing), 주성분분석(Principal Component Analysis-PCA), TC(Tasseled Cap), NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 등 변환 기법이다. 이 방법들은 여러 가지 선형적 신술과 통계적 변환을 하여 복잡한 다분광 데이터를 단순화하고 중복되거나 불필요한 내용을 제거함으로써 연구 대상을 강조한다.

비연산은 2개 밴드에 대한 변환 과정으로써 한 밴드의 DN(Digital Number Value)값을 다른 밴드의 DN값으로 나누는 것이다. 비연산을 통하여 두 밴드에 나오는 불필요한 자료를 억제시키며 지형물의 그림자영향을 어느 정도 보정시킨다. 또한 대상과 밴드 값 간의 회귀분석을 통하여 식물량을 측정할 수 있다.

많은 실험 결과 괴복 판독에 효율적인 비율은 ① 비선형 비율: $(4 \times 5)/3$, $(3 \times 4)/2$ 등; ② 상관성이 낮은 비율: $4/3$, $5/4$, $7/2$ 등. $5/4$ 비율 영상에서는 물이 가장 어둡고 나지와 도로는 밝은 색조로 나타나기 때문에 하도·범람원·나지·도로·논 등이 쉽게 구분된다.

주성분분석(PCA)은 위성 영상 분석의 중요한 기법으로써 원래의 영상을 변화하여 해석이 보다 용이한 새로운 영상을 만들어 낸다.⁴⁾ 또한 PCA는 영상이 가지고 있

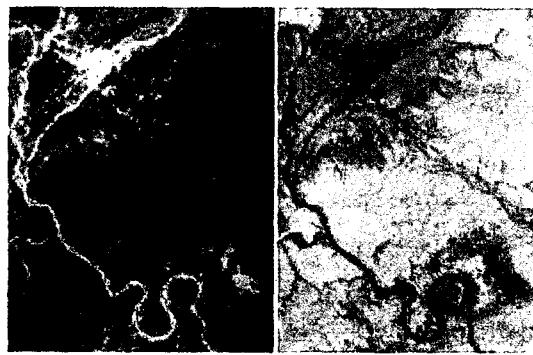


그림 3. PCA 및 TC변환 영상

는 많은 밴드 수를 원 영상과 거의 유사한 2-3개의 주성분 영상으로 변환하여 정보를 압축함으로써 매우 경제적이고 효율적이다. PCA의 변형 형태인 MNF(Minimum Noise Fraction) 기법은 다차원 영상에서 소음(noise)을 제거하고 정보를 압축하는 기법으로⁵⁾ 최초에 Green⁶⁾ 등 학자들에 의해 확립되었다. Lee 등⁷⁾은 MNF 기법으로 호주 지역의 64개 다분광 영상의 소음 제거 및 데이터 압축을 실시하였는데 좋은 결과를 얻었다.

TM영상 자료는 모두 7개 밴드로 나누었지만 각 자료에는 유사한 정보가 많다. 주성분 변환은 이러한 다중 분광 자료의 중첩을 제거하여 자료를 축소할 수 있다. 연구 지역의 6개 밴드(band 6제외)를 주성분 변환한 결과 1,2,3차 주성분(PC1, PC2, PC3)은 분산 값의 99% 이상을 차지하였다. PC1(R), PC2(G), PC3(B)를 가볍 혼합하여 표현한 그림에서 물, 나지, 논, 밭, 초지, 임지, 도로, 거주지 등을 쉽게 구분할 수 있었다(그림 3a).

TC와 NDVI는 모두 식생 감시를 위해 개발된 선형 변환 기법이다. Kauth와 Tomas⁸⁾는 Gram-Schmidt sequential orthogonalization technique에 기초하여 MSS 의 4개 밴드를 새로운 사차원의 평면-즉 토양명도지수(soil brightness index-SBI), 녹색식생지수(green vegetation index-GVI), 황색식생지수(yellow stuff index-YVI) 및 여타지수(non-such index-NSI)로 변환하였는데 대부분(95-98%) 정보는 처음의 두 지수에 포함되었다. Crist와 Cicone⁹⁾은 TC개념을 TM 자료에 확장 적용하여 6개 밴드를 3차원 평면에 산포 시켰다.

농작물과 기타 생물 요소를 더욱 잘 구분하기 위하여 본 연구에서는 Tasseled Cap 변환 기법을 사용하였다(식 1).

$$\begin{aligned} \text{Brightness} &= 0.33183\text{tm1} + 0.33121\text{tm2} + 0.55177\text{tm3} \\ &\quad + 0.2514\text{tm4} + 0.48087\text{tm5} + 0.25252\text{tm7} \\ \text{Greenness} &= -0.24717\text{tm1} - 0.16263\text{tm2} - 0.40639\text{tm3} \\ &\quad + 0.85468\text{tm4} + 0.05493\text{tm5} + -0.11749\text{tm7} \\ \text{Third} &= 0.13929\text{tm1} + 0.22490\text{tm2} + 0.40359\text{tm3} \\ &\quad + 0.25178\text{tm4} - 0.70133\text{tm5} - 0.45732\text{tm7} \end{aligned} \quad (1)$$

TM의 6개 밴드를 TC변환하여 얻은 3개의 새로운 밴드는 자연 속성과 연관된다. 첫번째 밴드는 밝기(Brightness)로서 모든 밴드의 가중 합계이고 토양 반사도에 대한 주 편차의 방향을 결정한다. 두 번째로는 녹

색도(Greenness)로서 균적외선과 가시광선 밴드 사이의 대조를 나타낸다. 녹색도는 영상에 담겨있는 녹색 작물의 양과 매우 밀접한 관계가 있다. 습도라 불리는 세 번째 밴드는 토지의 피복과 토양 수분과 관련된다. 이 3개의 밴드를 기본 삼색(RGB)으로 가볍 혼합한 결과가(그림 3b)이다.

NDVI는 비연산에 기초한 최초의 식생지수이다.¹⁰⁾ TM 영상일 경우 밴드3과 밴드4로 새로운 영상을 산출하는데 생물량과 밀접한 관계가 있다. 생물량이 많을 수록 영상이 더욱 밝게 나타난다. 본 연구에서는 결과를 0~255로 스케일링 하도록 수정된 계산식을 사용하였다(식 2).

$$\text{NDVI} = [(TM4-TM3)/(TM4+TM3)+1] \times 128 \quad (2)$$

NDVI는 토양 배경의 변화에 비교적 민감하다. 식물피복 밀도가 15%이하일 경우 ND 값은 나지의 값보다 높고 식물피복 밀도가 25~80%일 경우 ND 값은 식물량과 선형관계를 이루지만 식물피복 밀도가 80% 이상일 경우 식물에 대한 민감도는 오히려 떨어진다. 그러므로 NDVI는 식물 생장의 초기 단계 혹은 저밀도 피복 지역에 적당하다.¹¹⁾ 본 연구에 사용되는 TM영상은 생물의 성장이 제일 활발히 진행되는 9월에 접수되었고 또한 이 지역은 피복 밀도가 많은 지역이므로 피복 분류에는 NDVI가 적당하지 않다. 그러나 본 연구는 도시, 나지 등 식물 밀도가 적은 지역도 포함됨으로 식물의 저밀도 지역 분류에 사용하였다.

3. 감독분류 기법 및 정확도 비교

감독분류를 수행하기 위하여 우선 연구 지역의 영상 특성에 적당한 분류체계를 세운 다음 각 유형마다 영상과 지면에서 모두 정확히 식별할 수 있는 훈련지역(Training Area)을 선택하여 그들의 통계적인 수치를 이용하여 일정한 연산방법으로 분류에 참여한 전체 밴드에 대해 분류를 실시한다. 분류 결과는 통계학적으로 분류 정확도를 평가할 수 있다.

3.1 분류체계 및 훈련지역 선정

정확한 LC/LU 분류를 위하여 우선적으로 분류 체계를 정확히 선정하여야 한다. 연구 지역의 특성에 근거하여 본 연구에서는 Level I과 level II(중국 표준) 수준을

결합하여 맑은 수면, 혼탁수면, 나지, 논, 초지, 밭, 거주지, 활엽수, 침엽수 등 9개 분류항목을 선정하였다. 훈련하는 금광 개발로 인하여 매우 혼탁하다. 분류 정확도를 높이기 위하여 수면은 맑은 수면과 혼탁수면으로 나누고 분류 결과도에서는 같은 색조로 표시하였다.

다음 위성 영상에서 매개 유형의 분류 근거로 되는 훈련지역을 선택해야 한다. 훈련지역은 현지답사와 토지

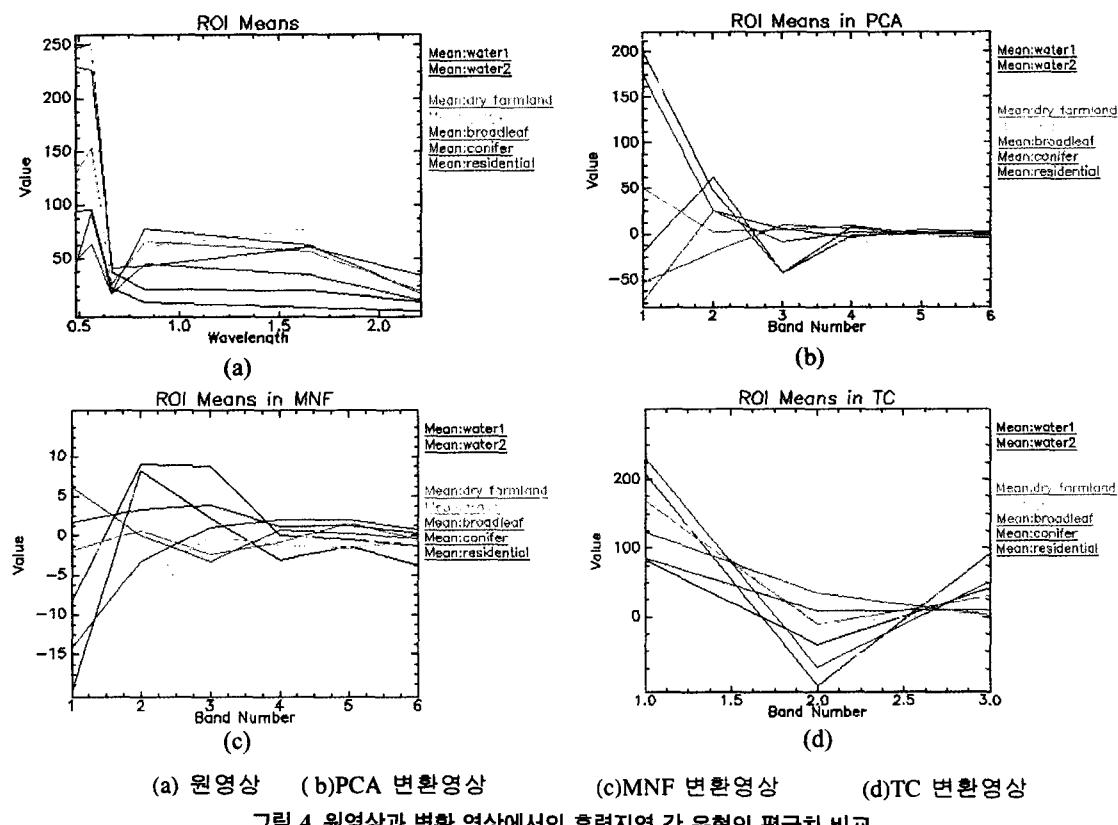
이용도를 근거로 영상에서 뚜렷하게 구분되는 지역을 선정하여 구성된 것이다. 이론적으로 분류에 이용되는 밴드가 n 개일 경우 분류에 필요한 최소 훈련지역 수 (point)는 $n + 1$ 이며 이보다 적을 경우 공분산행렬과 그의 역행렬 계산에서 오류가 발생한다. 실험결과 훈련지역 개수가 10~100 n 개 정도에서 정확한 분류결과를 얻을 수 있다.^{12,13)} 본 연구에서는 원 영상과 변환 후 얻은 영상들의 상이한 3색 조합 영상에서 매개 유형의 확정한 훈련지역을 선정하였다(표 1). 이 훈련지역은 모두 현지 답사를 하였거나 정확한 자료에 근거하여 확정한 것이다.

훈련지역 각 유형들이 영상에 반영되는 분광특성과 통계 특성을 통하여 훈련지역의 대표성과 구분 정확도를 추측할 수 있다. 그림 4는 상이한 영상에서 나타난 훈련지역의 평균치를 비교한 것이다.

원 영상에서 유형구분이 뚜렷한 밴드는 1, 2, 5, 4, 7의 순위로 나타나고 밴드3은 혼잡되어 있는 유형이 많다. 그 중 밴드1에서는 논과 밭, 침엽수와 활엽수가 혼잡

표 1. 분류체계 및 훈련지역

유형	훈련지역 수(point)
맑은수면	1322
혼탁 수면	280
나지	326
논	474
초지	361
밭	332
활엽수	452
침엽수	229
거주지	450



되어 있고 밴드 2에서는 밭과 초지, 밴드4에서는 나지와 밭, 거주지와 침엽수, 밴드5에서는 활엽수와 거주지, 밴드7에서는 나지와 침엽수, 활엽수와 밭 등을 구분하기 어렵다. 주성분 변환 영상(PCA)에서는 PC1, 2, 3이 분류에 사용될 수 있으며 나머지 3개 성분은 거의 혼잡된 상태로 나타났다. 그 중 PC1에서 각 유형들이 모두 잘 구분되어 있으며 PC2에서는 나지와 밭, 거주지와 침엽수, PC3에서는 거주지와 밭을 구분하기 어렵다. MNF 변환영상은 1, 2, 3성분에서 제일 잘 구분되었지만 나머지 성분은 거의 잡음으로 나타났다. TC 변환영상은 밭 기성분에서는 수면과 침엽수, 녹색도 성분에서는 초지와 밭, 3번째 성분에서는 나지와 밭, 초지와 침엽림 등 유형들을 구분하기 어렵다.

위에서 비교한 바와 같이 상이한 영상에서 잘 구분될 수 있는 유형도 있고 잘 구분되지 않는 유형도 있다. 그러므로 이러한 영상들을 결합하여 사용함으로써 보다 정확한 분류 결과를 얻을 수 있다.

본 연구지역은 퍼복유형이 다양할 뿐만 아니라 수면 면적도 많다. 위의 분석 결과를 토대로 원영상에서 3개 밴드를 선정하여 기본 삼색으로 가법 혼합하여 비교한 결과 $5(R) + 4(G) + 2(B)$ 영상에서 각 유형의 차이가 제일 뚜렷하였다. 밴드1은 물을 투과하기 때문에 수면지역이 뚜렷하지 못하여 분류 훈련지역을 선정할 때 사용하지 않았다. 변환 후의 영상과 비교하기 위하여 $5 + 4 + 2$ 합성 영상도 분류를 실시하였다.

3.2 감독 분류 및 결과 비교

본 연구에서 사용한 방법은 평행다면체법(Parallelepiped), 최소거리법(Minimum Distance), 최대우도법 (Maximum Likelihood), 분광각도법(Spectral Angle

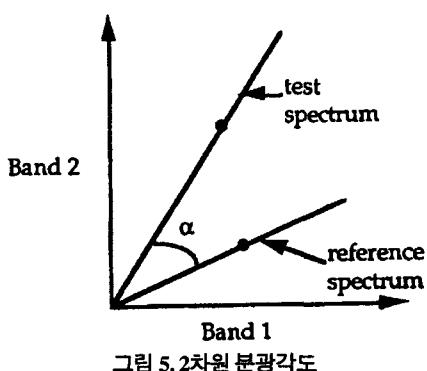


그림 5. 2차원 분광각도

Mapper) 등 4가지이다. 이 방법들은 현재 자주 사용되는 감독분류 방법이다.

평행다면체법은 밴드공간에서 n차원 평행다면체를 형성하여 각 유형을 분류하는 방법으로서 분류표준이 비교적 간단하고 계산 속도가 빠르다. 그러나 각 밴드의 평균치와 표준차를 근거로 구분한 평행다면체는 실제 유형의 분포 형태와 일치하지 않고 화소가 하나 이상의 유형영역에 속할 수 있으므로 분류 정확도가 떨어질 수 있다.

최소거리법은 훈련지역의 통계치를 근거로 각 화소로부터 각 유형 중심간의 거리를 측정한 후 최소거리 유형에 편입시킨다. 이 방법은 계산 속도가 빠르고 정확도가 평행다면체법보다 향상될 수 있다.¹⁴⁾

최대우도법은 정확도가 비교적 높은 감독분류법으로 가장 많이 사용되고 있다. 이 방법은 통계적 기법으로 훈련 자료가 정규분포 상태라는 가정 하에서 자료의 평균 벡터와 공분산 행렬을 계산한 후 확률밀도함수를 이용하여 각 화소를 확률이 가장 높은 유형으로 분류한다.¹⁵⁾ 이 방법은 위에서 언급한 방법보다 정확도가 더욱 높지만 분류과정이 복잡하고 계산시간이 길다. 그러나 근래 컴퓨터 기술의 발달로 인하여 최대우도법 실행시간을 큰 폭으로 단축시킬 수 있다.

분광각도법은 훈련지역에서 각 유형간의 분광 각도를 측정한 후 이에 근거하여 모든 밴드에서 각 화소의 분광 각도를 측정하여 분류하는 방법이다.¹⁶⁾ 그럼 5은 두개 밴드로 형성된 2차원 평면에서 기존 유형의 분광 각도와 측정 화소의 분광 각도를 나타내고 있다.

상술한 4가지 분류방법으로 원영상의 5,4,2밴드, PCA1,2,3, MNFL1,2,3 및 TC의 3개 영상에 대하여 각각 감독분류를 실시하였다. 분류결과는 실제 지면의 토지이용도, 대축척 항공사진 혹은 상세한 현지답사 결과에 의해 정확도(accuracy) 분석을 실시하여야 한다.

정확도를 평가하는 방법은 여러 가지 있는데 그 중 한 가지 방법은 전체 연구지역의 분류결과를 실제 대축적 토지이용도 및 현지 자료와 비교하는 것이다. 그러나 이러한 현지 정보의 수집과정은 상당한 비용과 시간이 요구되며 원격탐사 자료를 이용하는 우리의 연구목적과 완전히 위배되는 것이다.

또 다른 평가 방법은 무작위 퍽셀 추출방식(Random Sampling)이다. 즉 영상에서 무작위로 추출한 퍽셀의 분류결과와 실제 상황과 비교 검증하는 것이다. 그러나 넓

표 2. 삼이한 분류방법과 영상에 의한 분류정확도(%)

분류방법	분류영상	맑은 수면	혼탁 수면	나지	논	발	초지	활엽수	침엽수	거주지	총정확도
평행다면체법	5+4+2	88.50	70.36	62.27	57.17	40.36	36.84	86.50	84.72	91.11	73.43
	PCA	88.96	76.07	63.80	86.71	15.36	86.70	85.40	86.46	83.33	78.82
	MNF	90.32	76.79	63.19	90.08	81.63	82.55	87.83	85.15	87.78	85.14
	TC	91.07	82.14	41.41	80.80	85.24	88.37	84.51	85.59	91.11	83.82
최소거리법	5+4+2	95.69	85.36	79.76	86.71	90.96	88.36	76.33	98.69	58.22	85.87
	PCA	91.08	87.50	82.82	90.08	79.82	85.32	81.64	97.38	58.22	84.55
	MNF	96.97	87.50	70.25	92.62	97.59	91.14	92.26	99.56	74.00	90.54
	TC	94.48	85.36	75.46	86.92	95.48	90.31	84.29	100.0	62.67	87.10
최대우도법	5+4+2	96.82	88.93	88.96	93.04	97.89	90.58	96.46	99.56	65.56	91.60
	PCA	97.20	92.86	91.41	92.83	97.29	91.69	94.69	99.56	37.11	88.97
	MNF	96.07	89.29	78.53	93.04	98.19	91.97	96.90	99.13	85.33	92.85
	TC	96.75	90.71	85.58	92.62	98.80	92.24	97.35	99.56	76.44	92.85
분광각도법	5+4+2	85.55	40.71	70.55	92.83	91.87	90.58	78.76	41.05	79.33	79.37
	PCA	90.32	83.93	61.35	91.14	46.39	72.30	81.64	98.25	60.00	79.04
	MNF	98.26	89.29	86.50	90.93	58.43	90.58	94.47	94.76	73.11	88.88
	TC	87.29	35.36	75.77	89.87	94.58	90.86	90.49	58.95	78.67	82.02

은 지역에서 무작위로 추출된 지역에 일일이 접근하거나 자료를 수집한다는 것도 매우 힘든 일이고 본 연구지역은 일반인의 접근이 불가능한 지역이 많다.

훈련지역을 기준으로 분류결과를 평가할 수도 있다. 즉 우리가 지정한 훈련지역이 얼마나 잘 분류되었는지를 알려주는 것이다. 그러나 이러한 방법은 훈련지역의 분류 정확도만 평가할 뿐 전체 연구지역의 분류 정확도는 평가할 수 없다.

자료 부족과 현지 접근의 제한으로 본 연구에서는 훈련지역을 이용하여 분류 정확도와 혼잡도를 비교 분석하였다. 본 연구는 각 변환영상과 분류방법에 대한 비교연구이기에 이 방법으로 기대효과를 얻을 수 있다고 인정한다. 즉 정확도의 절대적 수치보다 그들 간의 비교에 의의가 있다.

분류결과 정확도를 표현하는 가장 보편적인 방법은 분류 에러 매트릭스(confusion Matrix)를 작성하는 것이다. 이 매트릭스는 분류된 결과와 실제 자료 사이의 일치성을 비교하여 놓은 것이다. 분류 정확도는 표 2와 같다.

총정확도를 볼 때 최대 총정확도는 최대우도법으로서 PCA, MNF 및 TC의 총정확도는 각각 88.97%, 92.85% 및 92.85%이다. 다음은 최소거리법, 분광각도법, 평행다면체법으로 나타났다.

3가지 변환 영상을 비교해 볼 때 MNF의 총정확도는

85% 이상으로 각 분류기법에서 모두 제일 높게 나타났다. 다음은 TC(82%이상)이고 PCA는 원영상(5 + 4 + 2)과 비슷한 결과로 상대적으로 낮게 나타났다.

각 유형으로 볼 때 평균 정확도는 맑은 수면이 92.83%로 제일 높고 다음은 침엽수 89.27%, 활엽수 88.09%, 논 87.96%, 초지 85.02%, 발 79.57%, 혼탁수면 78.88%, 나지 73.60%, 거주지 72.62%이다. 그 중 맑은 수면과 논은 특수한 분광특성과 일치한 화소 구조로 인하여 거의 모든 영상과 분류기법에서 높은 정확도를 나타냈다. 침엽수, 활엽수 및 초지 등 식물들은 9월의 TM영상에서 상이한 분광특성이 있으며 또한 PCA, MNF, TC 등 변화를 거쳐 비교적 큰 유형 차이를 나타냈으므로 모두 85% 이상의 정확도를 유지하였다. 발, 혼탁수면은 상이한 농작물과 물질이 혼잡 되었으므로 분광특성이 다양하여 정확도가 떨어진다. 거주지는 다양한 지물의 혼합체로서 정확도가 제일 낮고 나지의 분광특성은 거주지의 일부와 유사하여 역시 낮은 분류정확도로 나타난다. 각 유형의 최고 정확도는 맑은 수면(98.26%)은 MNF의 분광각도법, 혼탁수면(92.86%)은 PCA의 최대우도법, 나지(91.41%)는 PCA의 최대우도법, 논(93.04%)은 MNF와 5 + 4 + 2의 최대우도법, 발(98.8%), 초지(92.24%) 및 활엽수(97.35%)는 TC의 최대우도법, 침엽수(100%)는 TC의 최소거리법, 거주지(91.11%)는 TC와 5 + 4 + 2의

평면다면형법으로 각각 나타났다.

그러나 단일 유형을 분류할 때 위에서 언급한 최고 정확도 분류법과 영상을 반드시 사용한다는 뜻은 아니다. 개개의 유형을 분리하는 과정에서 두 가지 형태의 에러가 있을 수 있다. 하나는 화소가 속하지 않아야 되는 유형에 할당되는 에러 즉 commission에러이고 다른 하나는 화소가 적절한 유형에 할당되지 않는 에러 즉 omission에러이다. 위에서 언급한 정확도는 omission에러와 관련된다. 즉 omission에러가 10%이면 정확도는 90%이다. 보다 정확한 분류를 위하여 훈련지역을 재조정하여 두 가지 에러 모두 최소화하여야 한다.

Commission에러를 볼 때 맑은 수면의 일부는 침엽수로 분류되었고 혼탁수면의 일부는 거주지로, 나지의 일부는 거주지로, 논의 일부는 밭으로, 밭의 일부는 논과 초지로, 초지의 일부는 밭으로, 활엽수의 일부는 초지와 침엽수로, 침엽수의 일부는 활엽수로, 거주지의 일부는 나지로 각각 오분류 되었다. 그러므로 훈련지역 선정에서 이러한 유형간의 차이가 큰 지역을 유의하여야 한다.

위에서 실시한 분류는 모두 3차원, 즉 3개 밴드를 이용한 것이다. 상이한 변환영상은 개개의 유형에 대하여 상이한 정확도를 나타낸다. 보다 정확한 분류를 위하여 본 연구에서는 MNF 1~3, TC 1~3 및 NDVI 등 7개 밴드를 동시에 사용하여 다차원 영상 분류를 실시하였다.

7차원 영상 분류 결과 총정확도는 최대우도법이 93.92%로서 제일 높고 분광각도법, 최소거리법 및 평형다면체법은 각각 88.29%, 87.411% 및 82.44%이다. 최대우도법의 분류결과는 그림 6이다.

최대우도법에서는 거주지 외에 모든 유형들은 92% 이상의 높은 정확도를 나타냈다(표 3, 표 4 참조). 거주지의 omission에러는 26.44%로 높게 나타났으며 주로 수

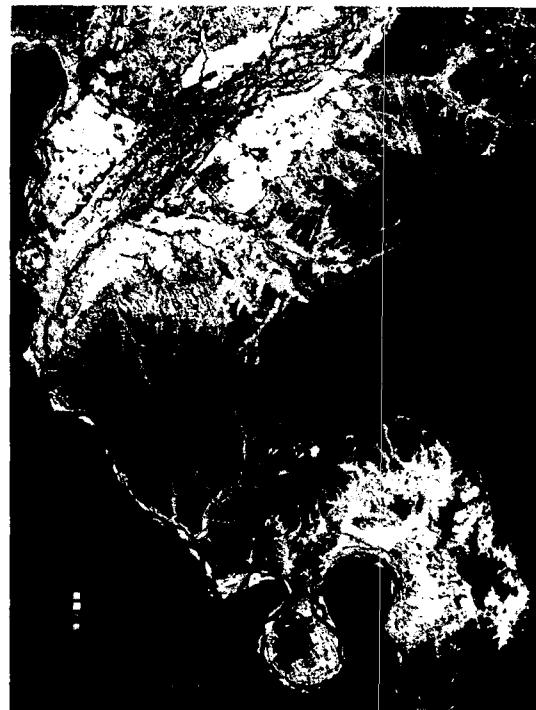


그림 6. 7차원 영상 분류결과도

표 3. 7차원 영상의 최대우도법 분류정확도(%)

유형	Commission	Omission	Accuracy
맑은 수면	0.00	1.51	98.49
혼탁 수면	2.14	7.50	92.50
나지	35.28	6.14	93.87
논	0.63	6.33	93.67
밭	18.37	3.01	96.99
초지	1.11	7.20	92.80
활엽수	0.22	2.21	97.79
침엽수	12.23	0.44	99.56
거주지	8.67	26.44	73.56

표 4. 7차원 영상의 최대우도법 분류 Confusion Matrix(%)

	맑은 수면	혼탁 수면	나지	논	밭	초지	활엽수	침엽수	거주지	합계
맑은 수면	30.809	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	30.809
혼탁 수면	0.000	6.129	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.142	6.271
나지	0.000	0.284	7.241	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.437	9.962
논	0.000	0.000	0.000	10.506	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	10.577
밭	0.000	0.000	0.000	0.710	7.619	0.615	0.000	0.000	0.118	9.063
초지	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	7.927	0.024	0.000	0.047	8.022
활엽수	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.459	0.024	0.000	10.483
침엽수	0.450	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.213	5.395	0.000	6.058
거주지	0.024	0.213	0.473	0.000	0.213	0.000	0.000	0.000	7.832	8.755
합계	31.283	6.626	7.714	11.216	7.856	8.542	10.696	5.419	10.648	100.00

면, 나지, 밭 등 유형을 포함하였다. Commission에러는 나지가 35.28%로 제일 높게 나타났는데 일부는 거주지로 오분류되었으며 밭은 18.37%로 일부는 초지와 거주지로, 침엽수는 12.23%로 일부는 활엽수로 각각 오분류되었다. 두 가지 에러가 모두 10% 이하인 유형은 맑은 수면, 활엽수, 논, 초지 및 혼탁 수면이다. 또한 분류 체계에 없는 도로는 나지 혹은 거주지로 분류되었다.

분류 결과도에서 침엽수의 분포가 지형형태의 영향을 많이 받은 것을 볼 수 있다. 물론 음영으로 인한 일부 오분류도 있지만 이 지역의 침엽수는 대부분 인공림으로서 주로 침엽수가 생존하기 쉬운 북쪽 사면에 식수되었다. 또한 자연 침엽수도 생존 환경이 유리한 음영이 많은 사면에 분포되어 있다.

위에서 얻은 분류 결과를 통하여 우리는 두만강 하류 지역의 경제개발 입지 조건을 분석할 수 있다. 그럼 6에서 우리는 실제 도시화 지역이 서북지역에 집중하고 있으며 강남 동쪽지역은 개발구 건설 이후 확대되고 있는 현상을 관찰할 수 있다. 훈춘강 양안에 벼농사지역이 집중적으로 발달하고 있으며, 이 주변지역은 대부분 밭으로 둘러 쌓여 있다. 현재로 보아 논으로 분류된 지역이 많은 촌락과 도로망의 발달로 세분화되는 현상을 나타내고 있다.

이 자료에서 나타난 가장 중요한 부분은 일반 토지이용분석에서 그려내기 힘든 초지지역을 찾아낸 사실에 있다. 밭 지역과 연계하여 산록지역에 분포하는 초지지역의 범위와 크기 그리고 기준 시가지와의 접근도 등을 앞으로 개발 가능지역을 선정하는데 일차적으로 고려되기 때문에 중요한 자료로 평가된다. 훈춘강 주변의 토지이용을 볼 때 강의 서북보다는 남동지역에 광범위하게 전개되고 있는 초지의 분포는 앞으로 개발입지선정에 유리한 조건으로 작용할 수 있다. 왜냐하면 이 초지는 실제 경지면적을 훼손하지 않고 개발할 수 있는 대안이 되기 때문이다. 이와 같은 현상은 故信지역에서도 관찰되는데 광범위하게 발달한 저지대의 초지개발이 앞으로 관심의 대상이 될 것으로 평가된다. 더군다나 자연적으로 발달한 1~9泡子의 수자원 관리와 함께 초지에 대한 경제성은 크게 기대될 것으로 보인다. 또한泡子의 분포로 보아 두만강의 유로 변경이나 범람에 의해 배후자연습지 형태로 발전한 것으로 보여 앞으로泡子 자체에 대한 관리보다 두만강 하류의 주기적인 범람에 대처해야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 두만강 하류지역 다분광 TM영상의 변환기법과 그에 대한 감독분류방법을 비교 분석하였다.

다분광 영상은 두만강지역과 같이 상세한 지역조사 자료가 미비하고 주기적인 정보 개선 작업도 어려운 지역의 특성을 파악하는데 매우 유용한 자료로 특정한 LC/LU 정보 추출을 위하여 원 영상을 PCA, MNF, TC 등 기법으로 변환하여 사용하는 것이 더욱 효율적이며 또한 유형에 따라 상이한 영상 변환 기법과 분류 방법을 사용할 수 있다.

총체적 분류 정확도는 최대우도법이 높으며 식생은 MNF와 TC 변환 영상에서 비교적 좋은 분류 결과를 얻을 수 있다.

MNF, TC, NDVI 등 영상들로 구성된 7차원 영상은 3차원 영상보다 좋은 결과를 나타내며 그 중에서도 최대우도법의 분류 결과가 제일 좋았다.

분류 결과에서 거주지를 구분하기 제일 어렵고 또한 나지와 혼돈하기 쉽다. 침엽수는 정확도가 비교적 높지만 산지의 음영으로 인하여 일부 활엽수도 포함되어 실제보다 면적이 확대되는 현상이 나타났다. 그러므로 이러한 유형에 대한 분류는 특정한 기법과 더욱 상세한 자료가 보충되어야 한다.

분류 정확도는 실제 지면의 토지이용도, 대축척 항공 사진 혹은 상세한 현지답사에 의해 분석을 실시해야 하지만 많은 연구에서 실제 분류 정확도는 높지 않다. 현지 자료의 부족과 답사 제한으로 인하여 본 연구에서는 훈련지역을 이용하여 분류 정확도와 혼잡도를 분석하였다. 그러므로 대부분 결과는 90%이상의 높은 정확도를 나타냈다. 본 연구는 각 변환영상과 분류방법에 대한 비교연구이기에 결과의 절대적 수치보다 그들 간의 비교에 의미 있다고 본다.

특히 명시할 것은 본 연구는 훈련지역이 영상분류의 매개 변수의 값을 제공하는 원자료이므로 매우 정확한 훈련지역을 설정하더라도 전체 연구지역의 분류 정확도는 높지 않을 것이다. 그러므로 연구 결과의 정확도는 실제 정확도로 인정할 수 없다. 아울러 이 방법으로 정확한 대축척 토지이용도를 추출하는 데는 한계가 있다.

다분광 영상은 두만강 지역 경제 개발 계획과 산업 입지 선정에 중요한 기초자료로 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 한·중 국제공동연구과제 (KOSEF1966-1208-001-2)의 연구비 지원에 의해 수행된 연구의 일부로서 한국과학재단에 감사 드립니다.

참고문헌

1. J. R. Jensen, "Introductory Digital Image Processing", second edition, Prentice Hall, 1996.
2. Thomas M. Lillesand, Ralph W. Kiefer, "Remote Sensing and Image Interpretation", Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1994, 585-586.
3. American Sociey of Photogrammetry, "Manual of Remote Sensing", Vol.1, 2nd, edition, ASP, Virginia, 1983, p. 1571.
4. A. Singh, A. Harrison, "Standardized Principal Components", International Journal of Remote Sensing, Vol. 6, 1985, 883-896.
- W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, "Numerical Recipes in Fortran: The Art of Scientific Computing", 2nd ed. London: Cambridge, 1992, p. 936.
- F. Wang, "A Knowledge-based Vision System for Detecting Land Changes at Urban Fringes", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 31(1), 1993, 136-145.
5. J. W. Boardman, F. A. Kruse, "Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains", Nevada: in Proceedings, ERIM Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, 1994, p. I-407-I-418.
6. A. A. Green, M. Berman, P. Switzer, M. D. Craig, "A Transformation for Ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal", IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 26, No. 1, 1988, 65-74.
7. J. B. Lee, S. Woodytt, M. Berman, "Enhancement of High Spectral Resolution Remote Sensing Data by a Noise-adjusted Principal Components Transform", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol 28(3), 1990, 295-304.
8. R. J. Kauth, G. S. Thomas, "The Tasseled Cap-A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Lands", Proceedings, Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data West Lafayette, IN: Laboratory for Applications of Remote Sensing, 1976, 41-51.
9. E. P. Crist and R. C. Cicone, "Application of the Tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 50, No.3, 1984, 343-352.
10. J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering, "Monitoring Vegetation System in the Great Plains with ERTS", Proceedings, 3rd ERTS Symposium, Vol. 1, 1973, 48-62.
11. R. D. Jackson, et al., "Discrimination of Growth and Water Stress in Wheat by Various Vegetation indices Through Clear and Turbid Atmospheres", 1983.
12. 안철호, "인공위성 데이터에 의한 서울시에 있어서의 도시지역의 변화의 추출", 한국측지학회지, 제2권, 제1호, 1984, 5-16.
13. 안철호 등, "도시 및 지역연구를 위한 인공위성 데이터의 분석 및 그 활용방안에 관한 연구", 한국측지학회지, 제3권, 제1호, 1985, 1-14.
14. M. Hixson, D. Scholz, N. Fuhs and T. Akiyama, "Evaluation of Several Schemes for Classification of Remotely Sensed Data", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 46, 1980, 1547-1553.
15. 이승호, "Landsat 화상 자료를 이용한 산림 삭피 변화에 관한 연구", 서울대 박사학위논문, 1992.
16. F. A. Kruse, A. B. Lefkoff, J. B. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon, and A. F. Goetz, "The Spectral Image Processing System(SIPS)-Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data", Remote Sensing of Environment, v. 44, 1993, 145-163.
17. 陳述彭, 趙英時, "遙感地學分析", 中國測繪出版社, 1990.
18. 鄭德方, "遙感圖像的計算機處理和模式識別", 中國電子出版社, 1987.
19. 豐茂森, "遙感圖像數字處理", 中國地質出版社, 1992.