

위성영상과 GIS를 이용한 과수재배 분포도 작성 기법에 관한 연구

조명희¹ · 부기동² · 이정협³ · 이광재³

A Study on the Preparation Method of Fruit Cropping Distribution Map using Satellite Images and GIS

Myung-Hee Jo¹ · Ki-Dong Bu² · Jung-Hyoup Lee³ · Kwang-Jae Lee³

요 약

본 연구에서는 다시기 위성영상과 GIS(geographic information system)를 이용하여 과수재배 분포도 작성에 있어 다양한 분류기법을 적용하여 보다 효율적인 기법도출에 그 목적을 두고 있다. 이를 위해 다시기별 Landsat TM영상과 현지 조사자료 및 기존 과수재배 면적 통계자료를 활용하여 각 분류기법에 대한 시기별 및 과수별 분포 특성과 비교·분석함으로써 과수재배분포도 작성에 있어 효과적인 분류기법을 도출하였다. 다시기 Landsat TM 영상을 이용한 과수재배 분포도작성을 위해서는 초가을 영상으로 MLC(maximum likelihood classification)기법을 적용하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다. 또한 GIS를 통한 공간분석으로 행정별 과수재배의 면적을 효과적으로 추출함과 동시에 과수재배분포의 형태를 효율적으로 파악 할 수 있음을 규명하였다.

주요어: 위성영상, 지리정보시스템, 최대우도분류, 최단거리분류,

ABSTRACT

This study focused on extracting an efficient method in the fruit cropping distribution mapping with various classification methods using multi-temporal satellite images and Geographic Information Systems(GIS). For this study, multi-temporal Landsat TM images, in observation data and existing fruit cropping area statistics were used to compare and analyze the properties of fruit cropping and seasonal distribution per classification method. As a result, this study concludes that Maximum Likelihood Method with earlier autumn satellite image was most efficient for the fruit cropping mapping using Landsat TM image. In addition, it was clarified that cropping area per administrative boundary was prepared and distribution pattern was identified efficiently using GIS spatial analysis.

KEYWORDS: Satellite Image, Geographic Information System, Maximum Likelihood Classification, Minimum Distance Classification

2000년 12월 18일 접수 Received on December 18, 2000

¹ 경일대학교 측지공학과(mhjo@bear.kyungil.ac.kr) Dept. of Geodetic Engineering, Kyungil University

² 경일대학교 컴퓨터공학과(kdbu@bear.kyungil.ac.kr) Dept. of Computer Engineering, Kyungil University

³ 경일대학교 대학원 측지공학과 (geo0611@hanmail.net, leek-j@hanmail.net)
Dept. of Geodetic Engineering, Kyungil University

서 론

인공위성에서 얻어진 자료는 광역성, 신속성, 동시성 및 경제성이라는 막대한 장점을 갖고 있으므로 원격탐사에 대한 필요성과 관심이 전문가들 뿐 만 아니라 일반인들 사이에서도 최근 크게 높아지고 있다. 아울러 그의 활용분야는 지구상에 존재하는 모든 것이라고 해도 과언이 아닐 정도로 다양해진 시점에서 원격탐사 응용분야에서 가장 기본이 되는 토지피복/토지이용 분류는 그 효용성에도 불구하고 일시적이고 거시적인 분석만으로 인하여 공간 데이터베이스를 구축하지 못함으로 GIS(geographic information system)와의 결합과 이를 이용한 미시적이고도 시계열적인 의사결정에 있어 한계점을 나타내고 있다. 따라서 오래 전부터 토지피복/토지이용 분석 결과를 시계열적으로 데이터베이스화하여 의사결정에 이용하려는 시도가 많이 있었다. 국내의 경우 현재까지 토지피복도 작성(조명희, 1989), 변화탐지 및 효율적인 분류알고리즘 개발(박원규와 이흥규, 1997), 분류 결과를 이용한 GIS 데이터베이스 구축에 관한 기법(양인태 등, 1999) 등의 많은 연구가 있으며 외국의 사례를 보면 토지피복도 자체에 대한 연구뿐 만 아니라 분류정확도 향상(Franklin과 Wilson, 1992) 및 원격탐사에 있어 GIS의 효율적인 활용방안에 관한 연구(Wang, 1991) 등이 수행되고 있다.

현재 우리나라는 작물별 재배면적의 조사와 생산량 예측에 많은 시간과 비용이 소요되고 있다. 그 결과 매년 농립수산 통계자료를 생산하고 있어서 연구와 업무 및 국가정책 결정에 많은 도움을 주고 있지만 결과의 활용은 통계자료에 불과하다. 즉, 작물의 공간적인 분포를 보여줄 수 있는 재배면적 지도와 성장분포도 등의 작성을 위해 실측하는 것은 매우 곤란하고 항공사진을 이용하는 경우에는 많은 양의 사진과 숙련된 사진판독자의 수 작업을

필요로 하므로 신속성·경제성 및 실용성이 결여된다. 따라서 위성자료를 이용하여 작물을 구분하고 작물 재배면적 지도를 작성하는 방법이 가장 효율적인 것으로 주목받게 되었다. 그러나 특정지역의 과수재배분포도 작성 시에는 대단위의 토지피복과는 달리 소단위의 토지피복 분류를 수행해야함으로 그 적용기법에 따라 매우 다른 결과를 가져올 수 있다. 따라서 토지피복 중에서도 그 변화가 가장 다양한 과수작물에 대한 분류를 다시기의 위성영상을 활용하여 다양한 분류기법을 적용함으로써 보다 효율적인 분류결과를 산출하여 공간적 분포특성을 파악하는 것이 무엇보다 중요한 부분으로 사료된다.

따라서 본 연구는 영천시 지역에 대해 다시기의 Landsat TM 영상자료와 GIS의 공간분석 기능을 이용하여 과수 재배분포도 작성에 있어서 감독분류 및 무감독분류 중에서 다양한 영상분류 기법을 적용함으로써 과수작물에 대한 기법별, 계절별 재배면적을 추정하고 화상분류에 의해 추출된 작물재배지역과 기존의 수치화된 통계자료를 연계 분석함으로써 재배면적의 공간적 분포특성을 규명하고자한다. 또한 그 결과를 토대로 과수재배면적 차이를 비교·분석하여 가장 효율적인 분류기법을 규명하고 분류결과를 상호 비교함으로써 위성영상을 이용한 과수재배 분포탐지의 가능성과 그 한계성을 밝히고자 한다.

연구방법 및 범위

1. 연구대상 지역

본 연구의 대상지역인 영천시는 총면적이 919.50km²으로서 동서간 40.75km와 남북간 38.64 km로 경상북도 면적의 4.8%를 차지하고 있으며 토지피복은 임야 69%, 경지 18%, 기타 13%로 구성되어 있다.

연구대상 지역으로 선정한 곳은 그림 1에 서와 같이 경북 영천시의 1개 읍(금호읍)과 3

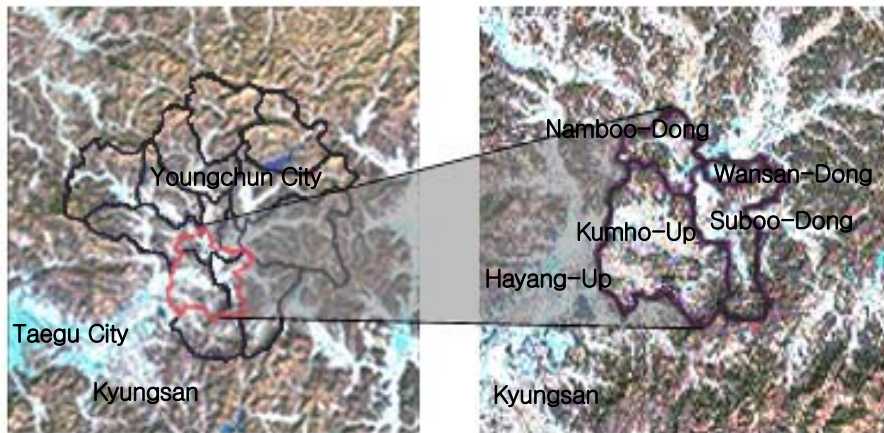


FIGURE 1. Location of the study area

개 동(서부동, 완산동, 남부동)이며 총 면적은 119.8km²이다.

이 지역을 연구대상 지역으로 선정한 이유는 다양한 과수 작물의 피복형태를 가지고 있을 뿐만 아니라 본 연구에서 중점적으로 분류하고자 하는 과수(사과, 포도, 복숭아, 배) 재배 지역이 적절하게 분포하고 있어 높은 정확도의 토지피복분류 결과가 예상되며 토지피복분류 실시 후 각 분류항목에 대한 동일성과 현지조사를 통하여 쉽게 검증할 수 있기 때문이다.

2. 연구자료

1) Landsat TM 영상

본 연구에서는 1996년 9월 3일, 1997년 6월 18일, 1998년 11월 12일, 1999년 4월 5일에 촬영된 다시기별 Landsat TM영상을 사용하였다.

2) 지형도

주 자료인 Landsat TM data 이외에 보조 자료를 사용하였는데 기하보정(geometric correction)시의 GCP(ground control point)추출과 각 Layer별 GIS 주제도 작성 및 현지조사를 위해 국립지리원에서 1997년 발행한 경주, 군위, 기계, 대구, 영천, 화북지역의 1:50,000 지형도 6도엽과 현지조사시 보다 정확

한 모식자료를 얻기 위하여 1996년 발행한 당리, 대울, 동촌, 신령, 아화, 양항, 영천, 용산, 자인, 하양지역의 1:25,000 지형도 10도엽을 사용하였다.

3) 영천시 통계연보

영천시 과수재배 통계연보를 영상분류의 결과와 상호 비교·분석하기 위하여 본 연구에서는 1996년, 1997년, 1998년, 1999년의 영천시 과수재배면적 통계자료를 이용하였다. 전체적으로 연구대상 지역의 과수별 재배면적 변화를 살펴보면 사과재배면적은 점차 감소하고 포도와 배의 재배면적은 다소 증가하였다는 것을 알 수 있었다. 복숭아의 면적은 거의 변화가 없었다.

4) 현지관측자료

1:25,000 지형도를 이용하여 직접 현장에서 현지 관측자료를 수집하여 과수별 모식지역(Training Area)을 선정하였다. 또한 영상처리 후의 검증을 위하여 계절별로 수 차례의 현지조사를 실시하여 현지 관측자료를 수집하였는데 이들 자료를 종합하여 분류결과를 검증하였다.

3. 연구방법

다시기 Landsat TM(band 5/3/2) 영상을 1:50,000 지형도에서 GCP를 추출하여 Unix ERDAS Imagine 8.3으로 기하보정을 실시한 후 본 연구대상 지역의 영상만을 절취하였다. 현지 조사자료를 통하여 각 클래스별 최적의 모식지역을 선정하여 감독분류(supervised classification)기법 중 일반적으로 가장 많이 활용되고 있는 maximum likelihood classification (MLC), mahalanobis distance classification

(MHC), minimum distance classification (MDC)과 무감독분류(unsupervised classification) 기법 중 iterative self organizing data analysis technique(ISODATA) 기법의 4가지 분류기법을 적용하여 사과, 포도, 복숭아, 배, 삼림, 도시, 물, 논외의 8개의 class로 분류하였다.

또한 1:25,000 지형도와 Arc/Info GIS tool을 이용하여 연구대상지역의 각 layer별 주제도를 작성하여 D/B화하였다. 또한 Arc/View GIS tool에서 행정 단위별 vector자료와 각 기법별로

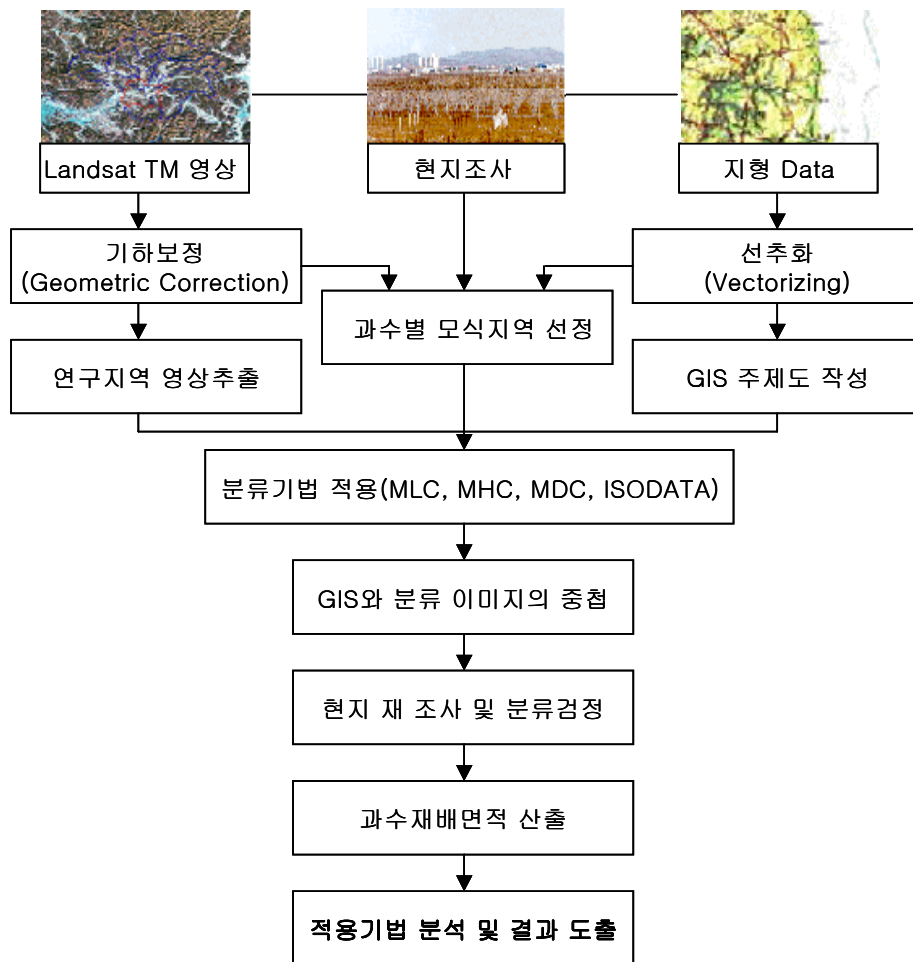


FIGURE 2. The study flow of estimation of fruit cropping distribution map using Landsat TM and GIS data

분류된 위성영상을 서로 중첩시켜 각 과수클래스별 면적을 행정 단위별로 추출 할 수 있었는데 본 연구에서는 중점적으로 과수별 면적을 우선적으로 추출하였다.

1) 행정경계도

연구지역에 포함되는 행정구역은 시, 읍, 면으로 구분하였는데 중점 연구 대상지역인 1개의 읍, 3개의 동을 세분화하여 1:25,000지형도를 이용하여 DB를 구축하였다.

2) 도로망도

도로망은 1:25,000지형도의 포장, 비포장도로 구분 없이 수치화시켰다.

3) 수계망도

수계망도는 1:25,000지형도에서 관개수로를 제외한 모든 수계를 선추화(vectorizing)하여 주제도를 작성하였다.

4) 등고선도

등고선도는 1:25,000지형도에서 50m 간격의 계곡선만을 tracing하여 scanner에 입력, 벡터라이징 과정을 거쳐 수치화하고 속성정보를

입력하여 주제도를 작성하였다.

위성영상에 의한 과수재배 분류 기법

1. 영상분류기법의 이론적 고찰

본 연구에서 이용된 maximum likelihood classification(MLC, 그림 3)은 기존의 통계적 기법으로 각 모식자료가 정규분포를 한다는 가정 하에서 자료의 평균 벡터와 공분산 행렬(covariance matrix)을 계산한 후 확률 밀도 함수를 이용하여 각 화소를 확률이 가장 높은 계급으로 분류하는 방법이다. 하지만 이 분류법은 모식지역이 정규분포를 이룰 경우 가장 정확히 분류해 내지만 정규분포가 아닌 경우 오류가 발생하며 다른 분류법보다 처리시간이 길어진다.

mahalanobis distance classification(MHC)는 공분산 행렬을 쓰는 점 외에는 minimum distance classification(MDC)과 비슷하다. 그러나 공분산 행렬의 큰 값에 대해 과다 분류되는 경향이 있다. minimum distance classification(MDC)는 픽셀의 분광 값으로부터 가장 가까운

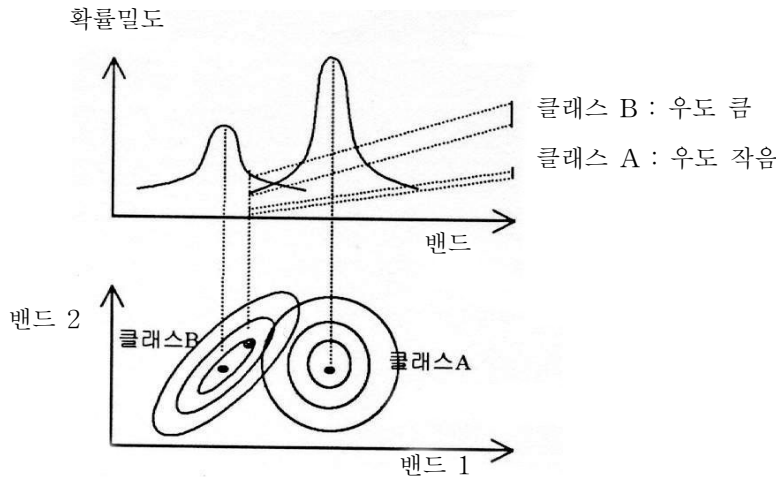


FIGURE 3. Maximum likelihood classification(MLC)

분광거리에 위치한 클래스로 분류되는 기법으로 앞서 언급한 다른 기법보다 분류수행 시간이 비교적 짧다. 그러나 모식지역의 클래스들이 분광공간(spectral space) 상에서 서로 가까이 분포하고 분산(variance)이 큰 경우 전혀 다른 클래스로 분류되는 등 클래스 내부에 존재하는 변동성을 고려하지 못하는 문제점 등이 있다.

한편 무감독 분류 시 많이 사용되고 있는 기법 중 하나인 ISODATA(iterative self organizing data analysis technique) classification은 초기 클래스(그림 4)의 중심을 결정하여 각 픽셀의 분광거리를 계산한다. 이때 MDC의 분류기준을 적용하여 새로운 클래스(그림 5)의 중심을 결정한 후 최대 반복횟수를 만족하거나 일정 퍼센트 이상의 픽셀클래스가 변동되지 않으면 계산을 종료하는 기법으로 분류 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다(권봉겸, 1999).

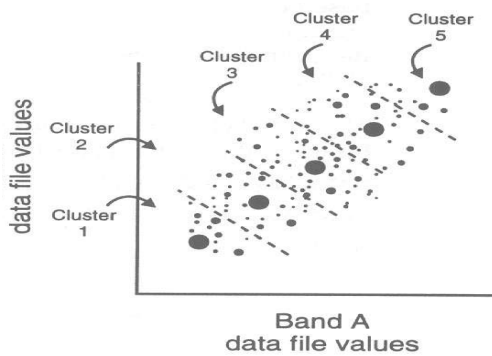


FIGURE 4. ISODATA first pass

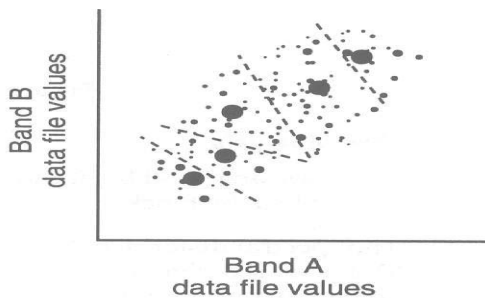


FIGURE 5. ISODATA second pass

2. 과수재배 분포도작성을 위한 분류기법의 적용

현대 사회의 급격한 시공간적 변화탐지를 위한 하나의 방법으로 원격탐사가 널리 이용되고 있다. 그러나 시기별, 계절별, 연구대상별로 그 목적에 알맞은 분류기법을 도출하여 사용하는 것이 무엇보다 중요하다.

과수재배 분포도작성을 위한 사전 준비작업으로 현지조사를 통한 모식지역의 선정 작업이 수행되는데 본 연구에서는 현지조사를 통해 각 과수별 재배위치 및 면적을 정확히 측정하기 위해 많은 시간을 활용하였다. 이는 분류기법의 적용에 앞서 보다 정밀한 모식지역의 선정으로 각 분류기법별 적용할 때 동일한 조건부여 및 양질의 과수 재배분포도를 작성하기 위함이다. 각 분류기법별로 과수재배의 분포를 탐지할 때 서로 다른 모식지역을 선정·적용한다면 분류 결과에 관해 기법별 분류특성을 정확히 파악하지 못함과 동시에 객관적인 분석이 이루어질 수 없게 된다. 이 경우 각 기법별 분류결과를 상호 비교·분석할 수 없을 뿐 만 아니라 과수재배 분포도작성에 있어 가장 효과적인 분류기법을 도출할 수 없게된다. 따라서 본 연구에서는 감독분류 시 현지조사를 통해 선정된 모식지역을 각 분류기법별로 동일하게 적용하여 그 분류결과를 상호 비교·분석함으로써 기법별 분류결과 특성을 추출하였다.

또한 무감독분류의 한 방법인 ISODATA 분류법으로 분석할 때 개인의 주관을 최소화함과 동시에 가장 효과적인 분류수행을 위하여 수행 전 조건으로 25개의 클래스를 입력하여 최대 반복횟수를 20회로 지정하였으며 분류 전과 후를 비교하여 속한 클래스가 변하지 않은 픽셀이 전체의 95%가 되면 작업을 마치도록 설정하였다. 그리고 1차 분석 결과에서 생성된 25개의 분광클래스를 현지조사시에 선정한 모식지역과 비교·확인하여 8개의 클래스로 재분류하여 과수 재배분포도를 완성하였다. 결과적으로 두 번에 걸친 분류작업으로 과수재배 분포도를 작성하였다.

1) Maximum Likelihood Classification

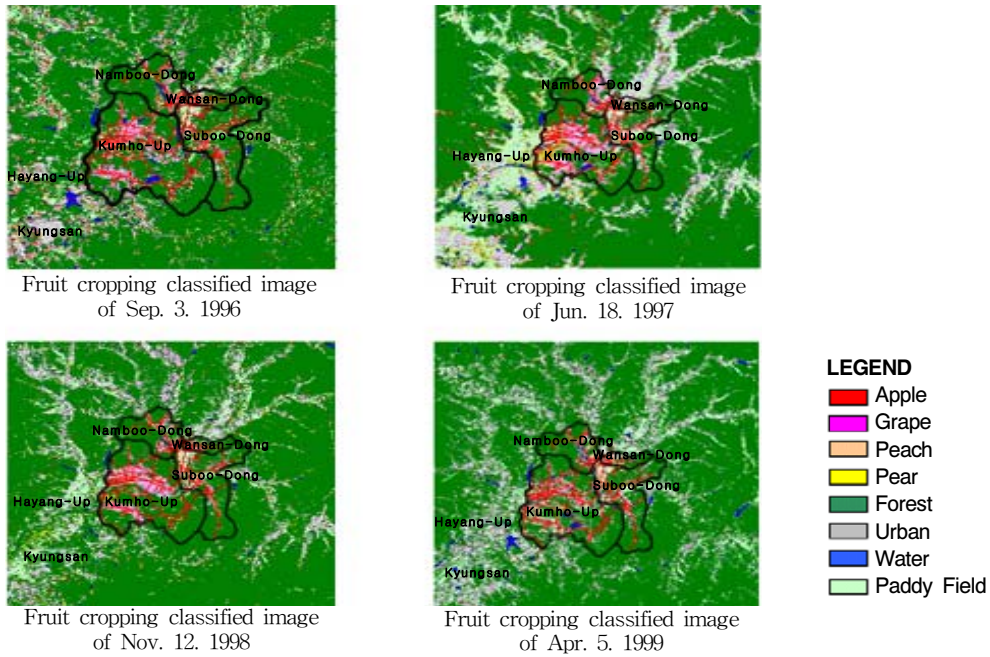


FIGURE 6. Classified fruit cropping area using MLC with Landsat TM image

2) Mahalanobis Distance Classification

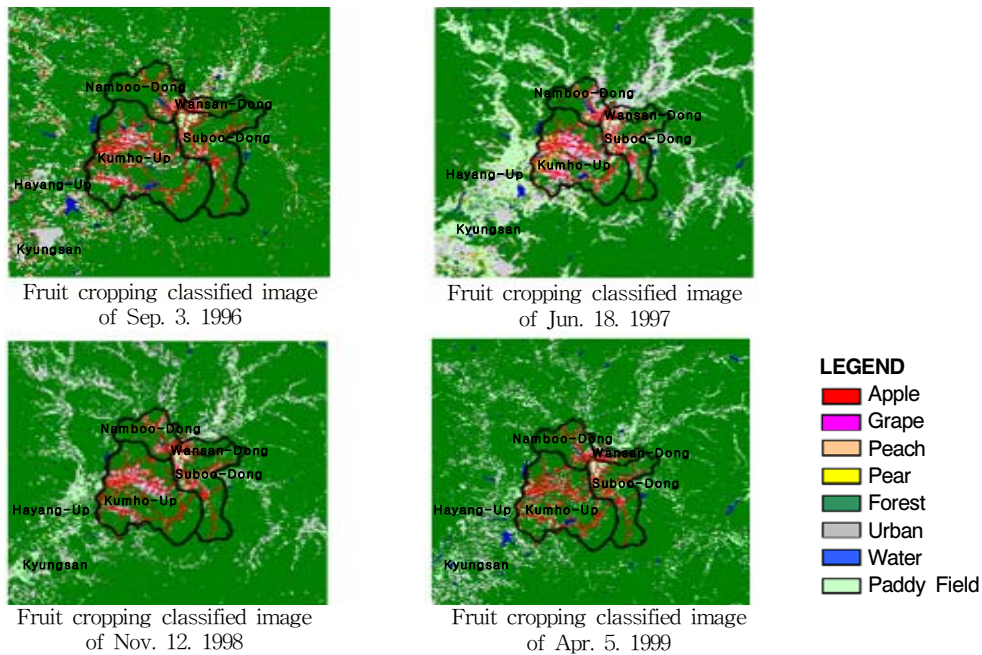


FIGURE 7. Classified fruit cropping area using MHC with Landsat TM image

3) Minimum Distance Classification

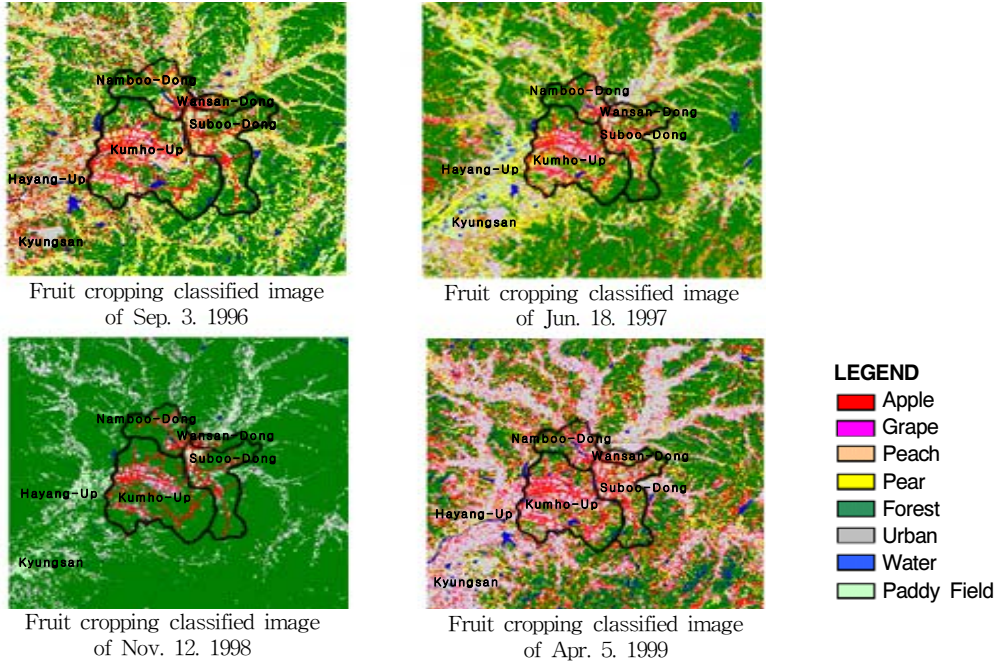


FIGURE 8. Classified fruit cropping area using MDC with Landsat TM image

4) ISODATA method

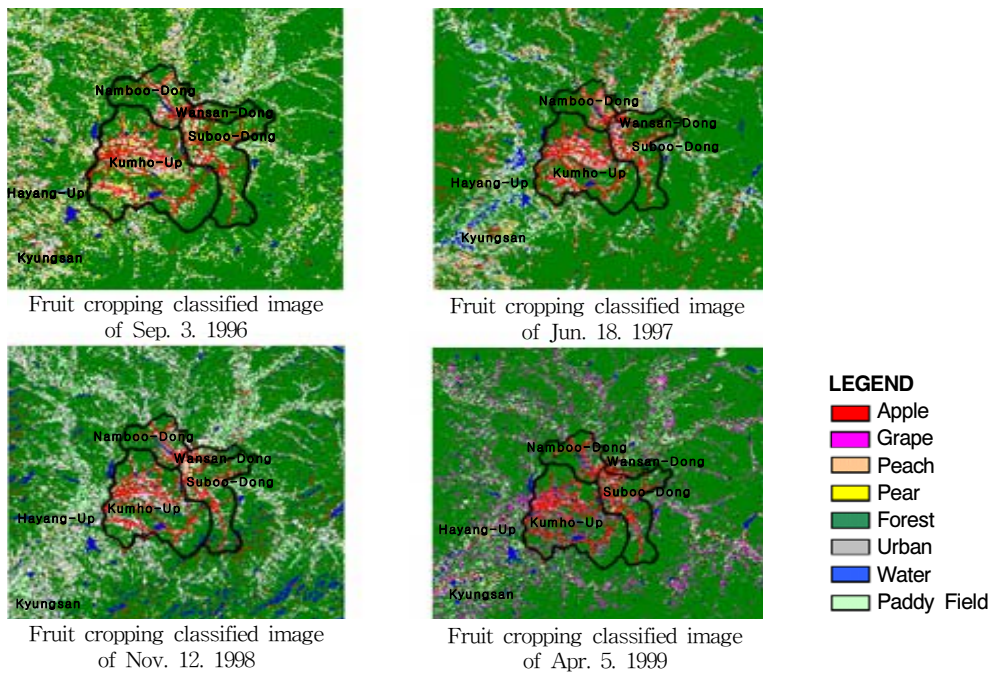


FIGURE 9. Classified fruit cropping area using ISODATA with Landsat TM image

결과 및 고찰

특정지역에 대하여 다시기의 위성영상으로 다양한 분류기법을 적용해봄으로서 과수재배 분포도 작성에 있어서 가장 효율적인 기법을 도출하였다. 계절과 기법간의 분류특성과 과수 분포와 기법간의 분류특성을 살펴보면 다음과 같다.

1. 계절과 기법별 분류특성

본 연구에서 이용된 봄 영상인 1999년 4월 5일 영상은 분류항목간의 영상소 값 분포가 상당히 불명확하여 다양한 기법을 적용함에도 불구하고 분류에 어려움이 있었다. 이는 분류 항목 내부에 이질성이 존재함을 의미하며 식종과 면적, 조밀도 등이 서로 다르기 때문으로 사료된다.

1997년 6월 18일 초여름 영상은 MHC 분류 기법으로 분류하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다. MLC, ISODATA 및 MDC 기법

을 적용할 때 과대분류 현상을 보이고 있으며 특히 MDC 분류기법을 적용할 때에 그 현상은 더욱 명확히 나타나고 있다.

본 연구에서 사용된 1996년 9월 3일 초가을 영상은 MLC 기법으로 분류할 때 가장 정확하게 과수의 분광 특성을 추출하여 분류를 실시할 수 있었다. 이는 계절적 요인으로 4개 과수 클래스를 이 시기에 가장 잘 대표하고 있지만 MHC, ISODATA로 분류 시에 다소 면적의 차이를 보이고 있다. 또한 MDC 경우 그림 12. 에서 나타난 바와 같이 과대분류 현상을 나타내고 있다.

겨울 영상인 1998년 11월 12일 영상에서는 전반적으로 적절한 분류기법 도출이 어려웠다. 이는 겨울이라는 계절적 특성으로 인하여 정확한 모식지역의 클래스별 분광 특성 값을 추출하여 분류에 적용하기 어려웠기 때문으로 판단된다. 한편 다른 계절의 영상과는 달리 겨울 영상을 이용하여 MDC 분류기법을 적용할 때에 과소분류 현상을 나타내고 있다.

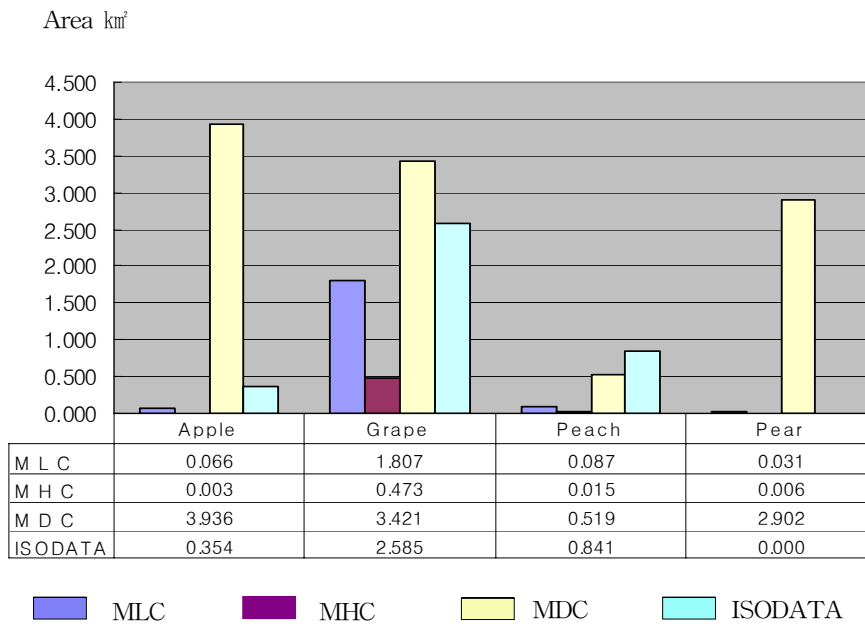


FIGURE 10. Classified fruit cropping area using various classification method (Apr. 5. 1999)

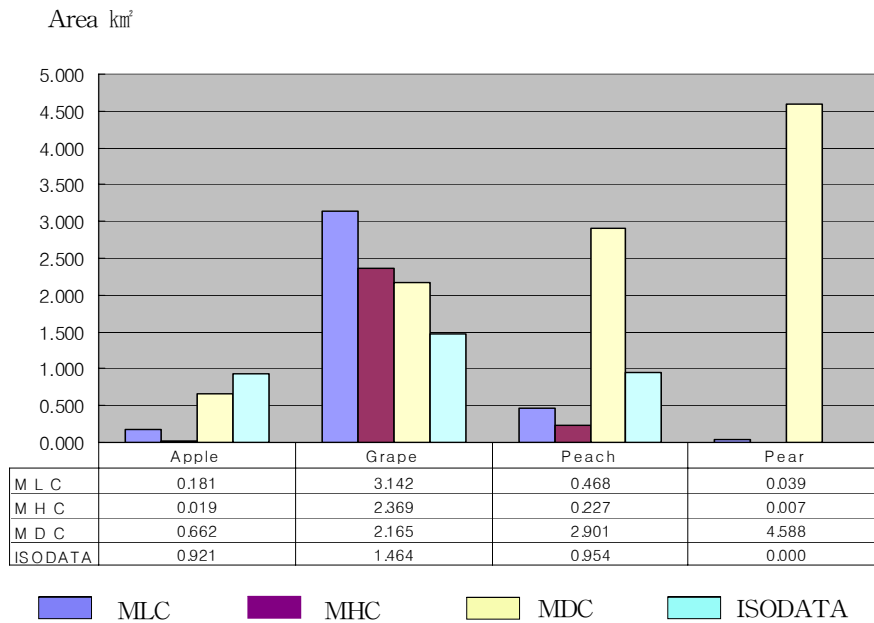


FIGURE 11. Classified fruit cropping area using various classification method (Jun. 18. 1997)

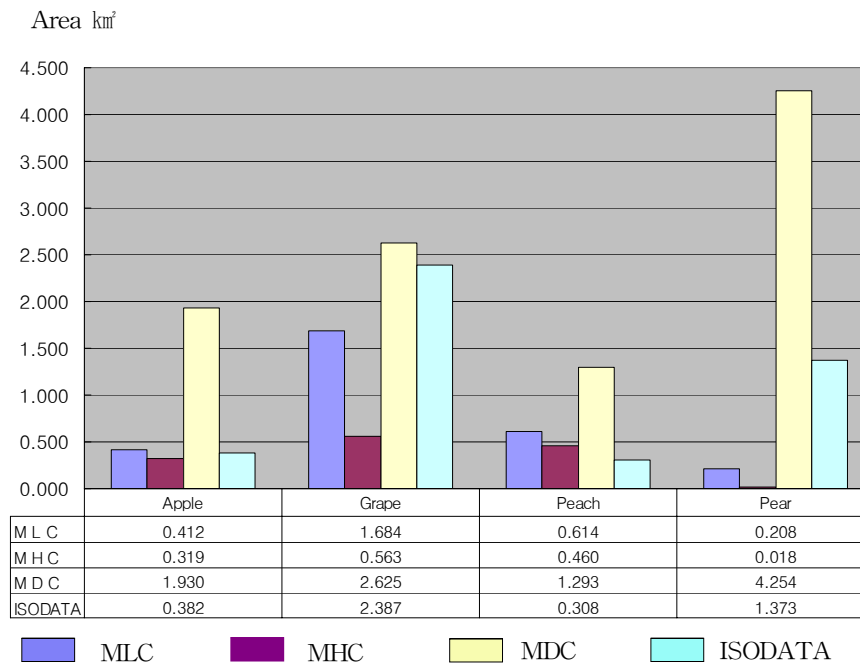


FIGURE 12. Classified fruit cropping area using various classification method (Sep. 3. 1996)

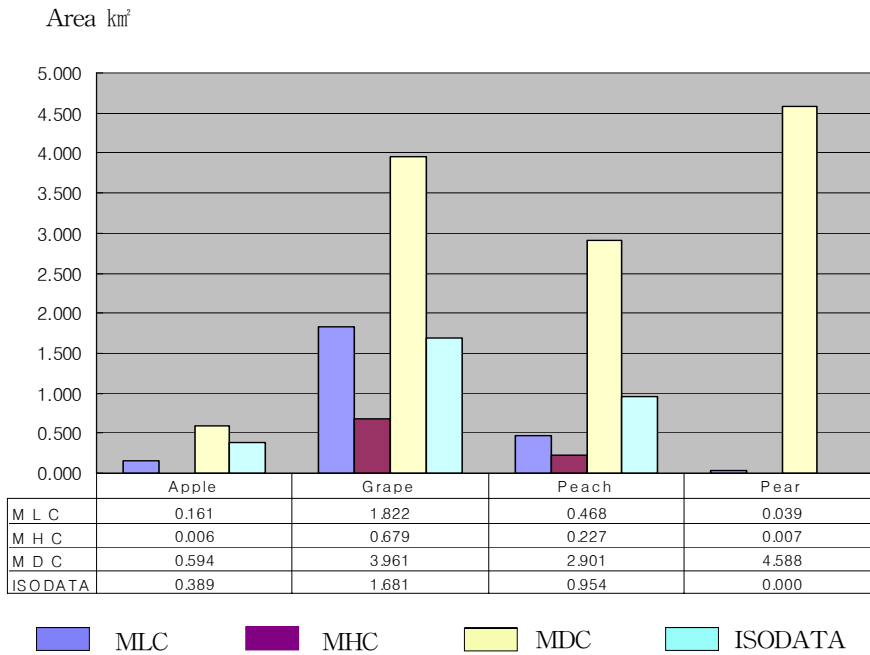


FIGURE 13. Classified fruit cropping area using various classification method (Nov. 12, 1998)

2. 과수분포와 분류기법별 상관관계

과수재배 분류에는 전체적으로 MLC 기법이 가장 효과적인 것으로 나타났다. 하지만 행정단위별로 면적을 추출한 후 이를 기존의 통계자료와 비교할 때에 다소 면적의 차이를 보이고 있다.

감독분류 기법 중 MLC 기법을 적용할 때에 전반적으로 사과와 배를 효과적으로 분류할 수 있었다. 그러나 이들 과수는 재배 면적 및 분포가 넓지 않고 클래스 내부 이질성의 존재로 MLC 기법으로 분포 확률을 계산할 때에 인접클래스에 포함되는 경우가 있으며 그 반대의 경우도 발생할 수 있어 다소 오차를 포함하고 있다. 한편 MHC 기법으로 분류할 때에 1997년 6월 18일 영상에서 복숭아와 포도를 효과적으로 분류할 수 있었다. 반면에 MDC 기법은 인접 클래스의 거리를 계산할 때에 과대 및 과소 추정을 하는 경향이 있는데 본 연구에서는 겨울 영상을 제외한 다른

계절영상에서 과대 분류현상을 보이고 있어 과수재배 분포도 작성에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 한편 무감독분류 기법 중 ISODATA 분류기법은 비교적 정확도가 낮으나 다른 기법에 비해 1998년 11월 12일, 1999년 4월 5일 영상에서 복숭아를 가장 효과적으로 분류하였다.

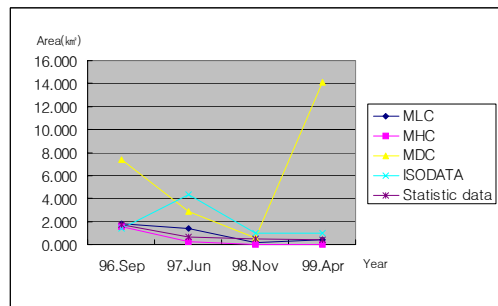


FIGURE 14. Annual variation of apple cropping area

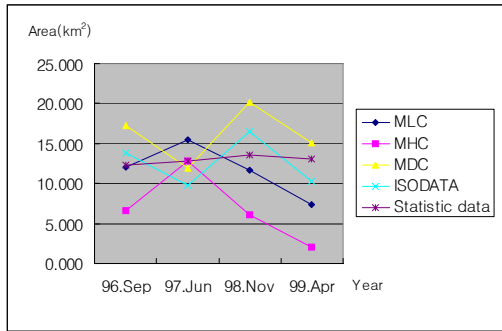


FIGURE 15. Annual variation of grape cropping area

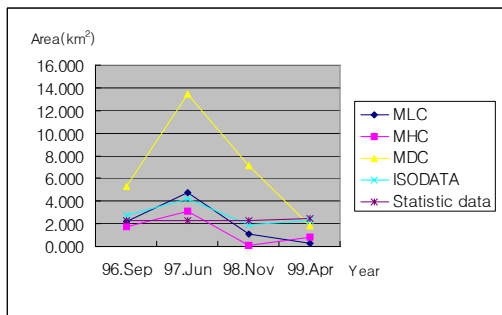


FIGURE 16. Annual variation of peach cropping area

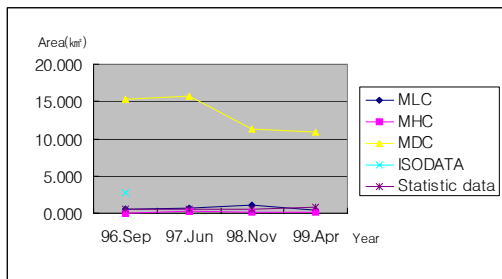


FIGURE 17. Annual variation of pear cropping area

결론

본 연구에서는 다시기의 위성영상으로서 다양한 분류기법을 적용하여 과수재배분포도 작성을 위한 효율적인 기법을 도출하고 그 분

포특성을 체계적으로 분석함과 동시에 GIS의 결합으로 공간분석이 가능해짐에 따라 과수재배지역의 토지이용 변화상태를 종합적으로 파악할 수 있었다. 한편 다양한 영상분류기법의 특성을 비교·확인함으로써 과수재배분포도를 작성 할 때에 그 기법별 효율성 및 그 적용한계를 규명할 수 있었으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 과수작물의 공간적인 분포특성을 파악하기 위해서는 다시기의 Landsat TM 영상이 광범위한 분광과장 대역을 지니고 있어 효과적이었으며 과수재배 분포도 작성을 위해서는 초가을 영상으로 MLC (maximum likelihood classification) 기법을 적용하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다.
2. 과수재배 분포도 작성에 있어서 여름 영상은 MHC 분류기법으로 분류하는 것이 효과적이며 가을 영상에서는 MLC 분류기법으로 분류할 때에 가장 정확하게 과수재배 분포현황을 파악 할 수 있었다. 그러나 계절적 요인으로 봄과 겨울 영상에서 4개 과수 클래스를 분류할 때에는 적절한 분류기법 도출이 어려웠다. 이는 계절적 특성으로 과수별 분광 특성 값을 추출하여 분류에 적용하기 어려웠기 때문으로 판단된다.
3. 과수분포와 분류기법별 특성에서 MLC 기법을 과수재배분포도 작성에 적용할 때에 전반적으로 사과와 배를 효과적으로 분류할 수 있었으며 MHC 분류기법으로 분류할 때에 1997년 여름 영상에서 복숭아와 포도를 효율적으로 분류할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 MDC 분류기법은 전반적으로 과대분류 현상을 보이고 있어 과수재배 분포도 작성에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 한편 무감독 분류기법 중 ISODATA 분류기법은 1998년 겨울, 1999년 봄 영상에서 복숭아

를 가장 효과적으로 분류하였다.

4. 다시기 위성영상을 통한 체계적인 토지피복/이용정보를 지리정보시스템의 지표 공간 정보와 통합하여 이용함으로써 단위 면적 당 과수재배면적을 산출할 수 있어 행정업무에 보다 신속하고 정확한 정보를 제공 할 수 있음이 판명되었다.

향후 보다 다양한 계절별 다시기 위성영상과 GIS를 활용하여 과수재배 분포도작성을 위한 적합한 기법도출에 관한 연구가 계속되어 진다면 보다 종합적이고 체계적인 과수재배의 분포 특성을 파악할 수 있을 것으로 사료된다.



참고문헌

김영섭, 서애숙, 조명희. 1998. 원격탐사개론. 동화기술. 215-220쪽.

김육남. 1993. 계절별 LANDSAT 영상에 의한 토지피복분류에 관한 연구. 강원대학교 박사학위논문.

권봉겸. 1999. GIS와 위성영상을 이용한 수질 오염인자의 공간변화 분석. 경일대학교 석사학위논문

박원규, 이흥규. 1997. 훈련 데이터로부터 자동 생성된 퍼지 멤버함수와 규칙을 이용한 위성 영상 분류. 대한원격탐사학회지 13(3): 231-249.

안철호. 1991. 인공위성(LANDSAT) data에 의한 서울시에 있어서의 도시지역의 변화의 검출. 한국측지학회지 9(1):97-111.

양인태, 최영재, 김홍규, 박재원. 1999. 원격탐사 영상의 퍼지 분류결과를 이용한 GIS 데이터베이스 구축 기법. 대한토목학회논문집 (IV). VIII-4.

양인태, 김홍규, 신계중. 1999. 다시기 원격탐사 영상의 퍼지감독분류 결과를 이용한 토지피복 변화탐지 기법의 개발. 대한토목학회논문집 19호. III-4.

영천시. 통계연보. 1996, 1997, 1998, 1999. 영천시.

이정협. 2000. 위성영상과 GIS를 이용한 과수재배 분포도 작성 기법에 관한 연구. 경일대학교 석사학위논문.

조명희. 1989. Landsat TM영상에 의한 토지피복분류 -낙동강 하구지역을 사례로-. 경북대학교 박사학위논문.

조명희. 1995. 원격탐사자료와 GIS를 이용한 라오스 남칸 유역분지의 토지이용평가 및 미작 적지 분석. 대한원격탐사학회지 11(1): 1-17.

조명희, 이정협, 이광재, 백승렬, 김민, 정태준. 2000. 다시기 위성영상과 GIS를 이용한 과수재배분포도 작성기법. 한국지리정보학회 춘계 학술논문 발표집. 89-96쪽.

하동균. 1997. Landsat TM자료를 이용한 울산시 토지이용변화와 녹지의 환경 기여도. 성균관대학교 대학원 석사학위 논문.

Ahmed, A. and R. Shibasaki. 2000. Climate Change and Agricultural Food Production of Bangladesh : An Impact Assessment using GIS-Based Biophysical Crop Simulation Model. The 21st Asian Conference on Remote Sensing. pp.19-22.

Chien-Pin Lee, S. S. Young and Hao Chen. 2000. Land-Cover Change China Using Time Series Analysis 1992-1999. The 21st Asian Conference on Remote Sensing. pp.671-677.

Dwivedi, R. S., A. B. Kumar and K. N. Tewari. 1997. The Utility of multi-sensor data for mapping eroded lands. International Journal of Remote Sensing 18(11):2303-2318.

ESRI. ERDAS Imagine Field Guide.

Franklin, S. E. and B. A. Wilson. 1992. A three-stage classifier for remote sensing of mountain environment. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing 58(4): 449-454.

Gaston, G. G., P. M. Brandly, T. S.

- Vinson and T. P. Kolchugina. 1997. Forest ecosystem modeling in the Russian Far East using vegetation and land-cover regions identified by classification of GVI. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 63(1):51-58.
- Jensen, J. R. 2000. *Introductory Digital Image Processing*(2nd ed.). Prentice Hall.
- Jusoff, K. and G. D. Souza. 1997. Use of satellite remote sensing in Malaysian forestry and its potential. *International Journal of Remote Sensing*. 18(1):57-70.
- Lo, H.C., F.L. Scarpace and T.M. Lillesand. 1986. Use of multitemporal spectral profiles in agricultural land-cover classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 52(4):535-544.
- Mesev, V. 1998. The use of census data in urban image classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 64(5): 431-438.
- Ortiz, M. J., A. R. Formaggio and J. C. N. Epiphonio. 1997. Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS and historical database. *International Journal of Remote Sensing*. 18(1):95-105.
- Pain, C.F. 1985. Mapping of landforms from Landsat imagery : An example from eastern New South Wales. *Australia Remote Sensing of Environment* 17(1):55-65.
- Voogelmann, J.E., T. Sohl and S.M. Howard. 1998. Regional characterization of land cover using multiple sources of data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 64(1):45-57.
- Wang, F. 1991. Integrating GIS's and remote sensing image analysis systems by unifying knowledge representation schemes. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* 29(4):656-665. 