

## 광역 시계열 원격탐사자료 분석의 특성과 응용

성 정 창

Department of Geography, Northern Michigan University

### Characteristics and Application of Large-area Multi-temporal Remote Sensing Data

Jeong-Chang Seong

Assistant Professor

Department of Geography, Northern Michigan University

**Abstract :** Multi-temporal data have been used frequently for analyzing dynamic characteristics of ecological environment. Little research, however, shows the characteristics and problems of the analysis of continental- or global-scale, multi-temporal satellite data. This research investigated the characteristics of large-area, multi-temporal data analysis and the problems of phenological difference of ground vegetation and scarcity of training data for a long term period. This research suggested a latitudinal image segmentation method and an invariant pixel method. As an application, the image segmentation and invariant pixel methods were applied to a set of AVHRR data covering most part of Asia from 1982 to 1993. Fuzzy classification results showed the decrease of forests and the increase of croplands at densely populated areas, however an opposite trend was detected at sparsely populated or depopulated areas.

**Key Words :** Large-area multi-temporal data, invariant pixels, image segmentation, remote sensing, Asia

**요 약 :** 시계열 자료의 분석은 분광대에 기초한 분석과는 달리 생태계의 동적특성 연구에 자주 이용되어왔다. 그러나 시계열 자료의 처리가 갖는 문제점과 대륙이나 전세계를 대상으로한 광역자료가 갖는 문제점에 대하여 해결방안을 제시한 연구는 미미하다. 이 연구에서는 광역 시계열 자료 분석의 특징들을 살펴본 후, 지역간 식생성장패턴의 차이와 검정자료 확보의 어려움을 지적하였다. 이들 문제에 대한 해결방안으로 위도별 화상분할기법과 불변화소의 이용법을 제시하였다. 사례연구로 아시아지역의 일부를 대상으로 1982년에서 1993년까지의 AVHRR 자료를 이용하여 화상분류를 실시하였다. 불변화소들은 한 시점의 검정자료 정보를 다른 시점으로 확대 적용을 가능케하여, 다른 시점에 대해서도 충분한 양의 검정자료 정보를 확보할 수 있었으며, 위도별 화상분할을 통하여 지역간 식생성장패턴의 차이를 연구에 포함시킬 수 있었다. 퍼지화상분류를 통한 사례연구는 또한 인구밀집지역에서의 삼림의 감소와 경작지의 증가 추세를 보여주었으며, 인구 희소지역에서의 반대패턴을 보여주었다.

## 1. 서론

원격탐사자료의 분석은 전통적으로 분광대별 에너지 반사율의 차이에 기초한 다변량 통계기법을 이용하여 이루어져왔다. 그러나, 원격탐사장비의 발달과 다양화는 특정 지역에 관한 많은 시계열 자료의 획득을 가능케 하였으며, 원격탐사자료의 풍부함은 기존의 다중분광특성에 기초한 분석과는 다른 시계열 특성에 의한 자료의 분석을 가능케 하였다.

시계열 원격탐사자료는 특히 식생의 시계열적 변화를 잘 보여준다. 한 시점의 다중분광자료로부터는 추출하기 어려운 이러한 식생의 동적 특성들은 지표의 사물에 대한 다양하고 심도 깊은 분석을 가능케 해주며, 무엇보다도, 식생이나 곡물의 생육상태 연구에 귀중한 지표들이 되어왔다. 예를 들어, 대륙적 또는 세계적 규모의 식생을 중심으로한 지표피복 분류에 광역 시계열 원격탐사자료가 많이 이용되어 왔는데, Malingreau(1986)의 경우, NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 센서로부터 추출된 해상력 15km의 GVI(Global Vegetation Index) 자료를 이용하여 아시아대륙생태계의 동적특성과 곡물생산 주기등을 연구하였다. 한편, Deforny 등은 1990년부터 1991년까지의 1km 해상력 AVHRR 자료를 이용하여 동남아 지역의 식물 생육특성을 연구하였다(Deforny *et al.*, 1994). 시계열 자료는 특히 열대우림 지역의 삼림 황폐화 연구에 많이 이용되었는데, 그 한 사례로 1990년부터 1992년까지의 1km AVHRR 자료를 이용하여 동남아지역의 삼림황폐화를 고찰한 Achard와 Estreguil(1994)의 연구들을 들 수 있다. 최근들어서 Cicone과 Olsenholler(1997)는 1992년부터 1993년까지의 AVHRR 자료에 대하여 주성분분석(Principal Components Analysis)을 실시하여 아시아 각 지역의 식생 특성을 종합적으로 분석하였다.

하지만, 많은 연구들에도 불구하고, 광역 시계열

화상자료 연구가 갖는 특성과 문제점을 직시한 논문은 아직 미미하다. 이 연구는 광역 시계열 원격탐사자료가 갖는 특성과 문제점을 고찰하고, 광역 시계열 자료가 갖는 문제점에 대한 해결 방안을 제시하고자 한다. 그에 덧붙여, 구체적인 사례연구로 아시아 지역을 대상으로 퍼지화상분류(Fuzzy Image Classification)를 통한 토지피복특성을 분석하고자 한다.

## 2. 광역 시계열 원격탐사자료 분석의 특성과 문제점

### 1) 광역 시계열 원격탐사자료의 특성

시계열 자료에 기초한 원격탐사자료의 분석은 여러 면에서 기존의 다중분광특성에 의한 분류와 다르다. 첫째, 일반적으로 많은 시계열 자료가 분석에 사용된다. 분석에 사용되는 자료의 양이 많을수록 시계열 특성을 파악하기 쉬운 장점이 있으나, 그와 비례하여 자료분석시간이 많이 소모되고 자료의 표준화가 어려워진다. 예를 들어, 시계열 분석에 주로 사용되는 AVHRR 센서의 경우 지구를 순회하는 주기가 매우 짧으므로, 한 지역에 대하여 하루에 최소 하나 이상의 화상자료를 얻을 수 있는데, 하루에 한 화상만을 이용한다고 가정하는 경우 일년을 대상으로 연구한다면 최소 365 화상이 되는데, 이는 심한 자료의 중복을 가져오며, 예외치의 발생빈도를 증가시키고, 자료의 분석에 많은 자원의 낭비를 가져온다. 또한 광역 시계열 자료를 사용하는 주된 이유는 넓은 지역에 대하여 구름이 없는 화상을 얻기 어렵기 때문인데, 특히 AVHRR 자료의 경우 2,400km의 주사폭을 가지고 있어 넓은 지역에 대한 화상을 찍을 수 있지만, 전 지역에서 구름이 없는 깨끗한 화상을 얻는다는 것은 실질적으로 불가능하다. 이에 대한 해결책으로 일정 시기의 화상들 가운데 대표적인 화상 하나를 선택하고 나머지를 분석에서 제외하는 방법이 있을 수 있으나 잘 사용되지 않고 있으며, 대

신에 일정 시기의 모든 화상들을 이용하여 그 기간을 가장 잘 반영해줄 수 있는 새로운 한 화상을 조합하여 만드는 방법이 주로 이용되어져 왔다. 특히, 2 주일 또는 10일 단위의 일별 화상을 중첩하여 구름을 제거한 화상을 제작하여 사용하고 있다. 이때, 새로 만들어진 화상에는 결과적으로 여러 시점의 자료들이 섞여있게 된다. 그 한 예로써, 최대치조합법(Maximum Value Compositing method)이 있다. AVHRR을 이용한 James와 Kalluri의 연구(James and Kalluri, 1994)에서는 식생지수의 일종인 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)의 최대값을 이용하여 열흘간의 자료가 하나로 조합되었다.

둘째, 다중분광대로 이루어진 특정 시점의 원격탐사 자료는 이를 대표하는 한 밴드로 대부분 축약된다. 다중분광대의 원격탐사자료(예, AVHRR 자료)를 시계열분석에 직접 이용하는 경우, 분석해야할 자료의 형태는 엄밀하게 행×열×분광밴드×시계열의 형태로 이루어진 4 차원 행렬이 된다. 그러나, 4 차원 행렬분석의 복잡함으로 인하여 다중분광밴드들을 한 밴드로 축약하여 일반화하는 것이 대부분이다. 다중분광밴드를 일반화하기 위해서는 휘도지수(Brightness Index), 녹색지수(Greenness Index) 또는 식생지수(Vegetation Index)와 같은 비율지수(Ratio Index)나 주성분(Principal Components)들이 사용된다. 가장 많이 사용되는 지수로서 식생지수의 일종인 NDVI를 들 수 있는데, 많은 연구 결과들이, NDVI와 지표 식생의 변화가 긴밀한 관계를 갖는다는 것을 말하여주고 있다(예, Box et al, 1989). AVHRR 화상의 경우 NDVI는 적외선밴드에서 적색밴드를 뺀 값을 양자를 더한 값으로 나누어 줌으로써 구하여지는데, 식생이 많은 곳에서는 높은 수치를 보이고 물이나 사막등지에서는 매우 낮은 수치를 보인다.

셋째, 시계열 원격탐사자료의 분석은 지표 물체의 시간적 변화, 특히 식생의 계절적 변화에 매우 민감하게 영향을 받는다. 식생은 사막과 황무지를 제외하고 대부분 원격탐사자료의 많은 부분을 차지한다. 식생의 변화는 시계열 분석에서 더욱 중

요해진다. 우선, 식생 그 자체가 주로 시계열 분석의 대상이 되는데, 이는 한 특정 시점의 다중분광 자료는 다양한 식생의 종류를 충분히 반영하지 못하지만, 시계열 자료는 다양한 식생의 계절적 변화를 잘 반영해주기 때문이다. 또한, 다중분광밴드의 축약을 위하여 많이 사용되는 녹색지수나 식생지수의 경우 지표식생의 변화에 매우 민감하므로 시계열 분석에서 식생의 변화는 더욱 중요한 고려 사항이 된다.

넷째, 시계열 분석을 위해서는 많은 시점의 자료들이 사용되는데, 이들의 표준화는 다중분광자료의 분석과는 달리 매우 중요한 문제다. 특정 시점의 원격탐사자료는 다른 시점의 원격탐사자료와 다른데, 이는 지표 물체의 변화에 의한 입사에너지의 차이뿐만아니라, 인공위성의 자세, 센서의 특성, 오존 밀도, 구름 및 상층 대기의 특성 그리고 지표 토양 수분의 특성 등이 매 원격탐사 시점마다 다르기 때문이다. 여러 시점의 입사에너지를 표준화하기 위하여 지상의 불변 물체를 이용하는 절대적 방법과 통계적 기법을 이용한 상대적 방법이 주로 사용되는데, 많은 경우 사막이나 물과 같은 불변물체를 이용한 절대적 방법을 주로 사용하여 표준화가 이루어진다.

다섯째, 시계열 원격탐사자료의 경우 비정상적인 화소가 누적되는 특성이 있다. 비정상적인 화소란 센서의 광학적 에러 및 대기의 영향 및 센서의 자세 및 태양 입사각의 계절적 변화 등을 보정한 후에도 명백히 잘못된 화소값을 보여주는 화소들을 의미하는데, AVHRR 자료의 경우 태양의 입사각이 매우 낮은 겨울철의 고위도 지방에서 많이 나타난다(Agbu and James, 1994). 각 시점의 다중분광 자료에서 비정상적인 화소들을 시계열 분석을 위하여 집적하는 경우, 전체 화소들 중 많은 화소들이 최소 하나 이상의 비정상적인 화소를 각 화소의 시계열 벡터안에 포함하게 된다. 이 연구의 사례에서 이용한 자료의 경우, 53% 정도의 화소가 최소 하나 이상의 비정상적인 화소를 시계열 벡터 안에 포함하는 것으로 나타났다. 비정상적인 화소의 처리를 위해서 다양한 내삽방법이 적용될

수 있으나, 아직 구체적인 연구는 미미하다.

## 2) 광역 시계열 원격탐사자료 분석의 문제점 및 대안

시계열 원격탐사자료의 분석은 많은 문제점들을 내포하고 있다. 이 절에서는 2.1 절에서 언급되지 않은 내용을 중심으로, 연구 대상지역이 매우 넓고 장시간의 시계열 자료를 분석해야하는 경우 나타나는 두 가지 문제점을 제시하고자 한다.

첫째, 같은 종류의 식생도 위도나 고도에 따른 생태지역의 변화에 따라 계절적 성장특성이 매우 다르다. 예를들어, 제주해안 지역 낙엽활엽수는 서울 근교의 낙엽활엽수보다 일찍 잎을 내며, 늦게 낙엽이 진다. 이러한 지역적 성장특성의 차이는 자료의 분석을 매우 어렵게 한다. 가령, 제주와 서울의 낙엽활엽수들을 대상으로 지표피복 분류연구를 할 경우, 두 지역에 대하여 또는 두 지역 사이의 많은 다른 지역들에 대하여 하나의 일반화된 계절적 성장패턴을 적용하기 힘들뿐만아니라, 설령 하나의 성장패턴을 정했다하여도 그것을 이용한 두 지역의 분석결과들이 늘 동일한 대답을 낼 수는 없을 것이다.

둘째, 광역 시계열 자료의 분석에서는 적정 규모의 검정자료(Training Data)를 공간적으로 그리고 시간적으로 확보하기가 매우 어렵다. 대륙적 규모의 연구 경우, 연구지역을 직접답사하여 적정량의 검정자료를 확보하기는 거의 불가능한 것이 현실이다. 비록 넓은 지역에 대한 검정자료를 확보한다고 하더라도, 대상연구기간이 한 두 해가 아니라 여러 해인 경우 각 해에 해당하는 검정자료를 모두 확보하기는 더 더욱 힘들다.

이 연구에서는 식생의 지역적 생육특성 차이를 극복하는 방법으로 위도에 따른 화상분할기법을 제시하며, 시계열 자료의 분석시 충분한 검정자료의 확보를 위하여 불변화소 이용법을 제안한다. 화상분할기법은 다중분광자료에서 분류의 정확도를 높이기 위하여 주로 사용되어 왔다(예, Dammert, et al., 1999). 화상분할기법을 광역 시계열 자료에 적용하는 경우 식생의 지역적 생육특성 차이는 역으로 화상의 지역적 분할에 의하여 최소화가 될

수 있다. 예를들어, 어떤 낙엽활엽수 식물이 북위 20도부터 북위 50도 지역에 걸쳐 분포한다고 가정하면, 그 식물의 위도별 생육특성을 고려하여 연구지역을 여러 위도대로 나눔으로써, 한 위도대 내에서의 변화를 최소화하면서 동시에 위도대별 변화를 최대화 할 수 있다. 이때, 각 위도대는 대상 식생의 아류로 분류될 수 있으며, 이에따라 실제는 한 종류의 식생이지만 지역별 여러 식생종류로 나뉘어지게 된다. 만약 10개의 식생종류가 연구지역에 존재하고, 연구지역이 5개의 세부지역으로 화상분할되었다면, 실제로 연구에 이용되는 식생의 종류는 지역별 차이에 기인하여 50 종류가 된다. 이 50 종류의 식생은 그 자체로 분석에 사용될 수도 있으며, 다시 본래의 10 종류로 통합되어 분석될 수도 있다. 이때, 어떤 방식으로 화상을 분할하여야 지역내의 변화를 최소화하는 동시에 지역간의 변화를 최대화하는가가 문제의 초점이 된다. 이에대한 가장 이상적인 방법은 연구지역의 고도와 위도와 강수량과 기온을 종합적으로 고려한 생태지역에 기초하여 분할하는 것일 것이다. 그러나 이 경우는 실제 화상분할의 문제가 다른 연구목적보다 더 중요시되어 많은 양의 연구자원을 소모할 위험이 있으며, 실제 분석이 매우 복잡해질 수 있다. 이 연구에서는 위도를 중심으로 화상을 분할하는 방법을 제시한다. 위도에 기초한 화상분할은 단순하지만, 개념이 명확하고 쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 식물의 생육특성을 결정짓는 요소로 위도가 중요한 역할을 함을 고려할 때, 위도에 기초한 화상분할은 더욱 의미를 갖는다.

한편, 불변화소란 지표피복특성이 쉽게 변하지 않는 지상의 사물에 대응하는 화상의 화소들을 일컫는다. 불변화소들은 시계열 자료의 절대적 방법에 의한 표준화에 주로 이용되어져 왔다. 절대적 방법에 의한 시계열 자료의 표준화란, 두 시점의 화상들에서 추출한 지상의 불변사물에 대응하는 화소값들이 차이를 보일 때, 그 차이를 계통적 편차(Systematic Error)로 간주하여, 일률적으로 그 차이값을 모든 화소들로부터 보정해주는 방식을

의미한다. 한편, 절대적 방법에 의한 표준화에 이용하는 불변 화소들은 불변 사물들의 일부만이 이용될 뿐이며, 실제 불변화소들은 그보다 훨씬 많이 존재할 수 있다. 많은 지표상의 사물들이 쉽게 변하지 않음을 고려할 때, 이 가정은 더욱 근거를 갖는다. 일단 두 시점의 자료들이 표준화되면, 표준화된 두 자료간의 차이를 계산함으로써 특정 화소가 변했는지를 알 수 있다. 만약, 두 자료간에 차이가 미미하다면, 그 자료를 불변화소로 지정하여 차후의 분석에 이용할 수 있을 수 있다.

연구로 제시하고자 한다. 남아시아(인도, 실론, 방글라데시, 부탄, 네팔, 미얀마)와 동남아시아(태국, 캄보디아, 베트남, 라오스)와 동북아시아(몽골, 중국, 대만, 남한, 북한, 일본)가 사례연구지역으로 선정되었다(Fig. 1 참고). 왜냐하면, 그들 지역에 대한 연구가 다른 지역(예를들어 유럽, 미주, 아프리카)에 대한 연구보다 상대적으로 적으며, 급속한 도시화 및 산업화로 인한 토지피복의 변화가 매우 역동적인 지역이고, 열대우림의 황폐화와 같은 환경문제가 심각한 지역이기 때문이다.

### 3. 사례연구

#### 1) 연구지역

이 연구에서는 AVHRR 및 Landsat 및 기타 자료들을 이용하여 아시아지역을 대상으로 화상분할기법과 불변화소를 이용한 화상분류기법을 사

화상을 분류하기 위해서는 대상지역에 대한 자연 및 인문환경에 대한 지식이 지표피복물을 이해하는데 많은 도움을 주기 때문에 연구지역의 자연 및 인문환경을 개략적으로 살펴보겠다(Bradshaw, 1997). 세계 인구의 24 퍼센트가 살고있는 남아시아는 전세계 육지 면적의 단지 4.3 퍼센트밖에 안되며, 사하라 이남의 아프리카 다음으로 가장 가난한 지역이다. 남아시아 지역은 몬순과 히말라야 산맥과 데칸고원과 큰 강들 주변의 축적지가 특징

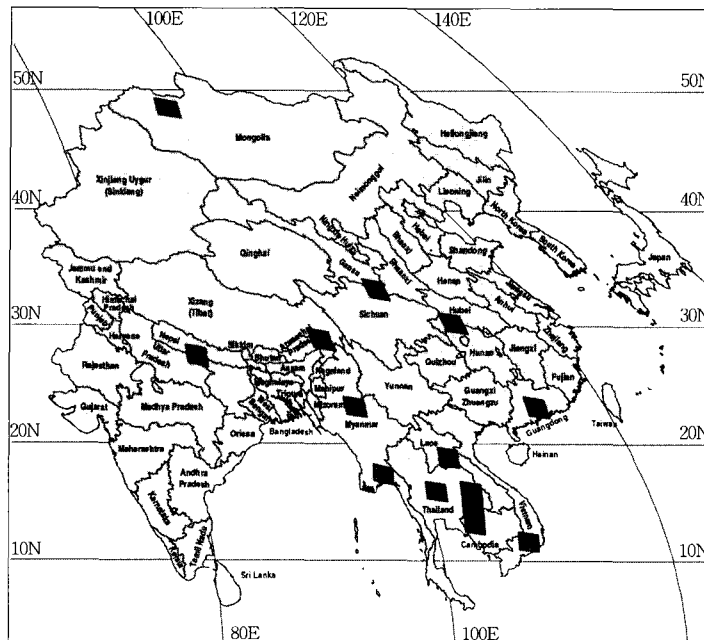


Fig. 1. Study area. Interrupted Goode Homolosine projection. Parallelograms indicate the locations of Landsat Thematic Mapper and Multispectral Scanner images with serial numbers in them.

적이다. 특히 Indus와 Ganges와 Brahmaputra 강들 주변은 이 지역의 중요한 생활터전으로 많은 인구가 밀집되어있다. 남아시아의 몬순은 여름철에 많은 강우를 몰고오며, 겨울에는 거의 비가 내리지 않아 건기와 우기가 잘 구분된다. 비슷한 몬순 패턴이 동남아시아와 동북아시아에도 나타나는데, 이러한 몬순은 이들 지역에 벼농사를 잘 발달 시켜왔다. 동남아시아는 아열대 몬순, 급속한 도시화 그리고 삼림의 황폐화가 특징적이다. 이 지역의 몬순은 5월에서 7월 사이에 집중적인 강우를 몰고 오는데, 이 때가 지표식물들에게는 중요한 성장 기간이다. 아직도 동남아 대부분의 지역이 도시화 되지 못했으나, Bangkok과 Chiangmai와 Phnom Penh과 Ho Chi Minh City와 Hanoi와 Vientiane과 같은 도시들은 급속한 도시화를 보이는 대도시들이다. 한편 태국, 라오스 그리고 캄보디아는 경지면적 확장과 목재 수출을 위한 벌목으로 심각한 환경문제를 가지고 있는 나라들이다. 동북아시아 역시 몬순과 도시화가 매우 특징적이다. 중국 북서부의 경우, 타클라마칸과 고비 사막 그리고 평균 해발 4000 미터 이상의 티벳고원이 매우 특징적인 자연 경관을 형성하고 있다. 이 지역의 도시화와 산업화는 방콕과 도쿄와 서울과 상하이와 베이징과 타이페이같은 대규모 도시들의 성장을 가져왔으며, 도시의 성장으로 인한 주변지역의 자연경관 파괴는 이 지역의 심각한 환경문제다.

다양한 식생 종류가 연구지역 내에 분포한다. 상록 열대 혹은 아열대 우림이 남아시아와 동남아시아의 많은 부분을 덮고 있으며, 심지어 상록 아열대 우림은 일본과 남한의 남쪽에까지 펼쳐있다. 남아시아의 일부지역과 동남아 내륙지방에서는 건기와 우기가 뚜렷한 사바나 경관이 분포하고 있다. 대부분의 다른 지역은 온대 혼합림이나 사막이나 초지와 같은 건조지대가 주류를 이루고 있다. 타클라마칸과 고비사막이 연구지역의 중앙부에 자리잡고 있는데, 그 주위로 몽골을 중심으로 초지가 잘 발달해있다. 동아시아의 많은 지역은 온대 낙엽활엽수림으로 덮여있다. 고산식생이 높은 산지지역을 중심으로 나타나는데, 인도의 서쪽 산

지는 편서풍의 영향으로 인한 상록 활엽수림이 잘 발달되어 있다. 툰드라성 식생이 히말라야 및 주변 지역에 나타난다. 동남아 지역은 한편, "Rice Bowl"이라고도 일컬어지는 쌀의 주산지다. 쌀의 생산은 중국의 황하 이남까지 활발한데, 황하 이북지방에서는 감자나 옥수수가 주로 재배되고 있다.

## 2) 자료처리

광역 시계열 분석은 많은 양의 자료처리를 요구한다. Fig. 2는 자료의 처리과정을 보여준다. 이 연구에서는 1982년부터 1993년까지의 NOAA/ NASA 8 km Pathfinder AVHRR Land(PAL) 자료(Agbu and James, 1994)가 시계열 분석에 사용되었다. PAL 자료는 12개의 밴드로 구성되어있는데, 그 가운데 식생의 변화를 잘 반영해주는 NDVI 밴드가 시계열 분석에 사용되었다. 원래의 PAL 자료는 매 10 일씩 시간적으로 샘플링되어있는데, 이 연구에서는 자료의 신뢰성과 정확성을 높이고자 최대치 조합법을 이용하여(James and Kalluri, 1994) 각 달 별로 자료를 다시 샘플링하였다. 앞서 2.1 절에서 언급한 바와 같이, 시계열 자료는 많은 비정상적인 화소를 갖게되는데, 대략 53% 정도가 시계열 벡터 내에 한 개 이상의 비정상적인 화소를 갖는 것으로 나타났다. 특히 태양의 입사각이 매우 낮은 겨울철에 고위도 지방을 중심으로 많은 비정상적인 화소가 나타났다. 비정상적인 화소를 제거하기 위하여 시간 벡터를 이용한 선형 내삽법이 이용되었다. PAL 자료에 덧붙여 14개의 Landsat화상(Fig. 1 참고)과 1km Global Land Cover Characterization (GLCC) 자료(EDC DAAC, 연도미상)와 UNEP Global Resources Information Databases (GRID) 자료(UNEP GRID, 연도미상)가 연구에 사용되었다.

화상의 분할을 위하여 북위 4.65도에서 북위 56.47도에 이르는 연구지역을 각각 대략 8.6도의 위도대의 6개 지역으로 세분하였다. 분할되는 연구지역이 많을수록 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 자료의 처리에 많은 시간과 자료가 낭비된다는 단점이 있다. 한편 분할되는 연구지역의 수가 너무 적으면, 지역간의 차이를

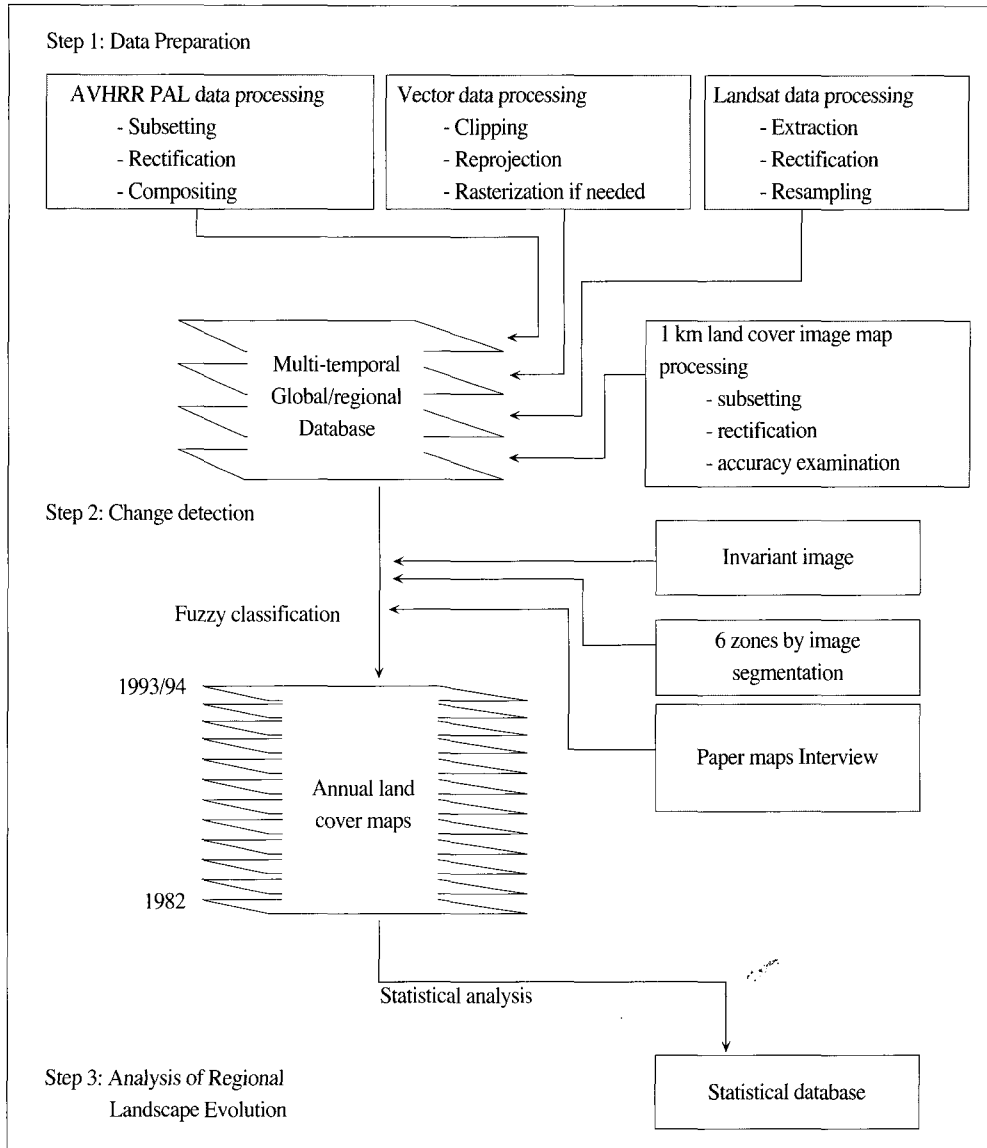


Fig. 2. Methodological framework for multi-temporal continental application of land cover dynamics.

잘 나타내주지 못함으로 화상 분할은 의미를 잃게 된다. 이 연구에서 사용한 대략 8.6도 구간은 한 달이라는 시간 샘플링 단위를 고려할 때, 지역간의 차이를 최대화하며 지역내의 변화를 최소화하는 적절한 크기로 사료되었다. 구체적으로, 가장 저위도대에 있는 지역 1은 북위 4.65도에서 북위 13.07도에 이르는데, 열대 우림지역의 생태계를 잘 반영해 준다. 지역 2는 북위 21.07도에까지 이르는

지역으로, 북위 30.26도에 이르는 지역 3과 함께 중국 동남부의 아열대 및 히말라야 고산생태계를 대략적으로 반영해 준다. 북위 38.61도까지의 지역 4는 남한의 대부분 지역이 속한 지역으로 전형적인 온대에서 사막에 이르는 생태계를 반영해준다. 북위 47.37도와 북위 56.47도에 이르는 지역 5와 지역 6은 황하 이북으로 벼농사 한계선 이북의 지역을 잘 반영해준다.

한편, 불변화소는 첫 삼년간 자료(1982-1984)와 후 삼년간 자료(1991-1993)를 비교하여 구해졌다. PAL 자료의 경우, 겨울철에 많은 비정상적인 화소가 집중되므로, 겨울철을 제외한 6, 7, 8월의 자료만을 사용하여 각각 삼년간의 평균을 구한 후, 각 평균간의 차이를 구하였다. 만약 두 자료간의 차이가 (1.6% 이내인 경우 불변화소로 간주되었다. (1.6%는 자료처리 및 기타 에러를 고려하여 결정되었다. 이 연구에서는 52% 정도가 연구기간 동안 변하지 않은 것으로 나타났다. 불변화소의 공간적 패턴을 관찰한 결과, 사막지역과 고위도 지역에서는 NDVI가 거의 변화하지 않았음을 볼 수 있었다. 하지만, 동남아시아의 일부 지역과 중국의 일부, 그리고 인도 서부와 북부에서 많은 변화가 있었음이 나타났다.

화상의 분할과 불변화소의 이용은 방대한 지역에 대한 시계열 자료를 이용하여 화상분류와같은 연구를 가능케한다. 이 연구에서는 매년 단위로 시계열 자료를 분류함으로써, 연단위의 지표피복 변화 추이를 관찰하였다. 시계열 자료의 분류를 위하여 불변화소와 Landsat 자료와 GRID 자료와 GLCC 자료가 사용되었다. 이들 자료들은 시간적으로 뿐만아니라 공간적으로 한정된다는 단점이 있었으나, 불변화소와 화상분할을 이용하여 그런 단점을 극복함으로써 충분한 화상분류 보조자료를 확보할 수 있었다. 퍼지 분류를 위하여 우선 15개의 지표피복항목이 설정되었다. 15개의 항목은 다시 화상분할 지역에 따라 각각 6개로 세분류됨으로써, 결과적으로 총 90개의 토지피복항목이 연구에 사용되었다. 이들 90개 항목들은 분석의 마지막 단계에서 다시 15개로 통합되었다. 시계열 벡터 Signature의 개발은 불변화소를 참조하여 이루어졌는데, Landsat 자료와 GLCC 자료에서 우선 토지피복에 대한 정보를 얻은 후, 불변화소를 참조하여 그 정보를 다른 연도의 자료에도 적용시키는 방법이 이용되었다. 이같이 함으로써, 특정 연도에 사용된 지표피복 정보가 다른 해에도 이용되었다. 퍼지 Signature의 개발은 Wang(1990)의 알고리즘을 이용하여 프로그램되었다. 지표피복항목

을 추출하기 위하여, 최대우도법분류(Maximum Likelihood Classification) 방법이 이용되었다. 이 연구를 위한 프로그램은 C<sup>++</sup>와 ERDAS Imagine을 이용하여 개발되었다.

### 3) 적용결과 및 토론

Table 1은 각 연도별 퍼지분류의 정확성을 보여준다. 각 연도별 정확도의 평균치는 대략 68% 정도로 나타났다. 화소의 크기가 1km 이상으로 매우 큰 경우 화상의 분류 정확도는 대략 60%에서 80% 사이임을 고려할 때 (Defries *et al.*, 1995), 이 연구의 결과는 양호한 것으로 판단된다. 한편, 1987년의 자료가 매우 낮은 정확도를 보였다. 인공위성 센서의 문제점이나 PAL 자료처리의 문제점 등이 이에 대한 원인으로 추정되나 정확한 이유는 파악되지 않았다. 각 항목별 분류 정확도는 4.9%에서 90.2%에 이르는 것으로 나타났다. Table 2는 1992년 자료에 대한 분류 정확도를 보여준다. Table 2는 원래의 15개 자료 항목이 10개로 축약된 후의 분류 정확도를 보여준다. Omission Error란 특정항목의 검증자료 가운데 다른 항목으로 분류되는 자료의 비율을 의미하는데, Barren과 Forest와 Cropland와 Savanna 지역이 매우 낮은 Omission Error를 보여준 반면, Water와 Wetland와 Rangeland는 매우 높은 Omission Error를 보여주었다. 즉, 예를들어, 지

Table 1. Annual Fuzzy classification accuracy

연도	분류정확도 (%)
1982	68.43
1983	69.99
1984	68.45
1985	68.90
1986	64.45
1987	54.62
1988	68.66
1989	70.22
1990	70.49
1991	69.63
1992	72.38
1993	71.44
평균	68.14



Table 2. Fuzzy classification accuracy in each group

항목	Omission Error (%)	Commission Error (%)
Barren	11.26	25.25
Forest	13.10	39.30
Cropland	21.29	9.81
Grassland	31.53	10.68
Ice/Snow	37.67	75.13
Rangeland	58.56	44.46
Savanna	15.27	48.66
Tundra	31.61	60.60
Water	57.11	59.16
Wetland	58.97	95.14

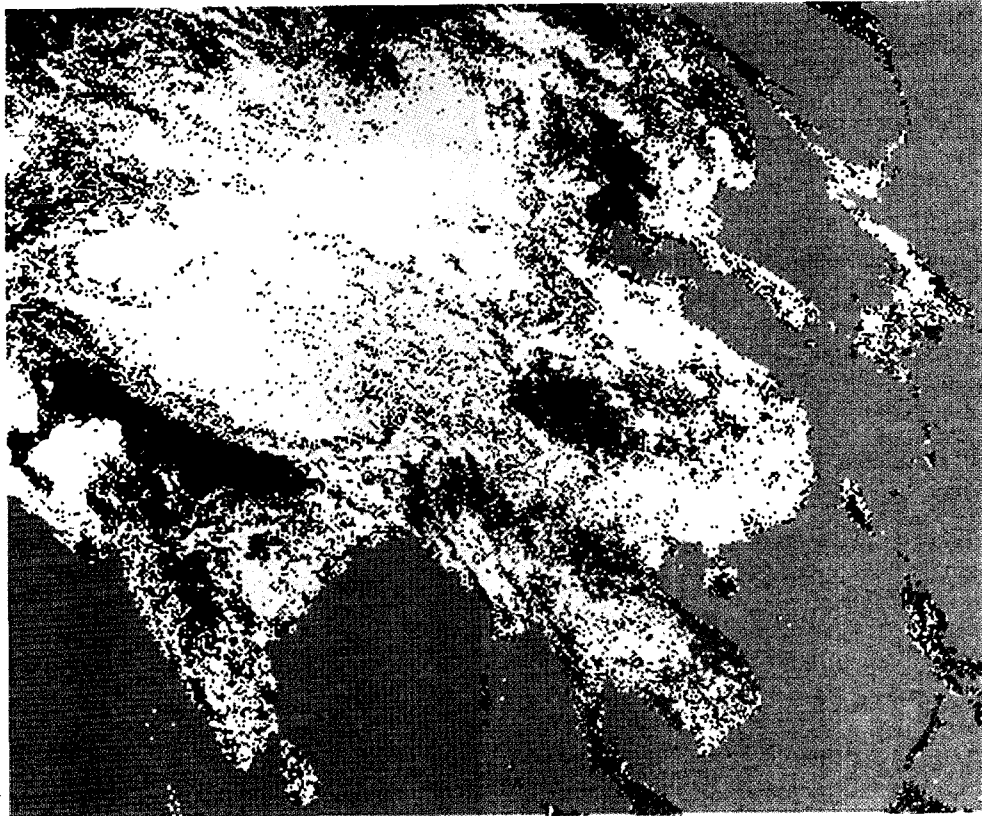
상의 Barren은 많은 부분이 Barren으로 분류되었으나, 지상의 Wetland는 대부분이 다른 항목으로 분류되었음을 알 수 있다. 한편, Commission Error는 특정 항목으로 분류된 자료 가운데 그 항목이 아닌 자료의 비율을 의미하는데, Barren과 Cropland와 Grassland가 30% 이내의 오차를 보인 반면, 다른 항목들은 30% 이상의 큰 오차를 보여주었다. 즉, 예를들어, Cropland로 분류된 자료들 가운데 실제로 Cropland가 아닌 화소의 수는 10% 이내였음을 보여준다. 분석 결과의 한 예로, 1992년 자료에 기초한 지표피복의 공간적 패턴(Fig. 3)은 매우 흥미로운 사실들을 보여주었는데, 우선 Urban 및 Built-up 항목이 몽골과 인도의 북부 건조지대에 매우 많이 나타났다. 이는 대부분의 도시지역이 식생이 매우 적어 사막과 같은 건조지역과 유사한 시계열적 변화 패턴을 보임을 의미한다. 중국과 남한 등지에서는 Wet Cropland 지역이 과대평가된 반면, Dry Cropland 지역은 반대로 과소평가되었다. Water 항목의 오류는 몽고와 중국 서부와 베트남 동부에서 많이 나타났다. 하지만, Barren과 Evergreen Broadleaf Forest와 Grassland 항목은 상대적으로 미미한 오류를 보여주었다.

광역 시계열 자료의 분석은 검사자료의 한계로 인하여 매우 어려우나 위의 적용 사례와 같이 불변화소 이용법은 특히 다년간의 자료에 대하여 연도별 분석을 가능케해 주었다. 예를 들어, 본 연구의 연도별 화상분류결과는 토지피복 변화율을 각 지역별로 살펴볼 수 있게 하였는데, 삼림의 경우,

인구가 밀집한 지역 주변에서는 감소추세가 나타났으나, 인구가 감소하거나 희박한 지역에서는 오히려 증가하는 추세를 보여주었다. 그러나 반대로, 경작지는 인구 밀집지역 주변에서 증가하는 추세를 보였으며, 인구희소지역에서는 기타 항목으로 전환되는 현상이 관찰되었다. 불변화소와 화상분할 기법을 적용하지 않고는 이러한 토지피복 전이(Conversion)의 추세를 다년간에 걸쳐 분석하기란 매우 어려울 것이다.

한편, 화상분할 없이 식물의 성장특성을 화상분류시 고려하기 위해서는 지역에 따라 다르게 나타나는 식물성장 시간벡터를 각각의 독립적인 분류항목으로 다루어야만 한다. 그러나, 그러한 방법은 분류항목의 수를 정하기가 거의 불가능할 뿐만 아니라, 설정 그 수를 정했다하더라도 각각의 항목에 대하여 충분한 검사자료를 확보하기는 더더욱 어렵다. 한편, 위도별 화상분할 기법은 식물의 성장특성이 기온과 밀접한 관계가 있는 위도를 따라 구현된다는 점에서 의의를 갖는다. 또한, 위도에 따른 화상분할은 수직적인 고도의 변화에 따른 식물성장특성의 변화를 포함할 수 있다는 점에서 더욱 가치를 지닌다. 왜냐하면, 일반적으로 식생의 위도별 변화와 고도별 변화는 거의 유사한 패턴을 보이기 때문이다(Archibold, 1995). 더욱이, 위도별 화상분할은 개념이 명쾌하다는 점과 구현이 용이하다는 장점이 있다.

하지만 이들 기법들의 약점으로는 불변화소를 정하는 방법에 따라 연구결과가 달라질 수 있음을 들 수 있다. 본 연구에서는 초기 및 후기 3년간씩의 자료를 이용하였는데, 년이나 달의 수를 변화함에 따라 불변화소들의 위치와 수가 달라질 수 있다. 또한, 어느 정도의 위도대로 화상분할 단위 지역을 설정해야하는가에 대한 구체적인 기준을 설정하기가 어렵다. 화상분할 단위지역이 너무 넓거나 좁으면 화상분할의 효과가 줄어들게 되는데 지표식물의 다양성과 토양수분의 차이 등은 화상분할 단위지역 설정을 더욱 어렵게 한다. 이러한 점들은 앞으로 더욱 연구를 통하여 보완되어야 할 것으로 사료된다.



### Land Cover

Asia

Classified using the fuzzy classification algorithm.  
 Interrupted Goode Homolosine projection.  
 Source: NOAA/NASA Pathfinder AVHRR Land Data Set, 1992.

### Legend

	Ocean
	Barren
	Deciduous broadleaf forest
	Deciduous needleleaf forest
	Dry cropland and pasture
	Evergreen broadleaf forest
	Evergreen needleleaf forest
	Grassland
	Ice and snow cover
	Rangeland
	Savanna
	Tundra
	Urdan
	Water
	Wet cropland
	Wetland

Fig. 3. An example of fuzzy classification using NOAA/NASA PAL Data, 1992.

### 4. 결론

이 연구에서는 광역 시계열 자료 분석의 특징

들을 살펴본 후, 두 가지 특징적인 문제점으로 지역간 식생성장패턴의 차이와 검정자료 및 보조 자료 확보의 어려움을 지적하였다. 식생성장패턴 차

이에 대한 해결 방안으로 위도별 화상분할기법을 제시하였으며, 적정 규모의 검정자료 확보방안으로 불변화소의 이용법을 제시하였다. 사례연구로 아시아 지역의 일부를 대상으로 12년간의 AVHRR 자료를 이용하여 화상분류를 실시하였다. 두 시점간의 변화가  $\pm 1.6\%$  이내인 경우 불변화소로 가정하고 불변화소 자료를 이용하여 한 시점의 검정자료 정보를 다른 시점으로 확대 적용함으로써 다른 시점에 대해서도 충분한 양의 검정자료 정보를 확보할 수 있었다. 또한 위도를 8.6도 구간으로 나눔으로써, 지역간 식생성장패턴의 차이를 연구에 포함시킬 수 있었다. 퍼지화상분류를 통한 사례연구로부터 남아시아로부터 동북아에 이르는 지역의 연구기간 동안의 지표피복변화 추이를 관찰할 수 있었다. 그 결과 인구밀집지역을 중심으로 삼림의 감소와 경작지의 증가 추세가 나타났으며, 인구 희소지역에서는 반대의 패턴을 관찰할 수 있었다.

### 참고문헌

- Achard, F., and Estreguil, C., 1995, Forest Classification of Southeast Asia Using NOAA AVHRR Data, *Remote Sensing of Environment* 54:198-208.
- Agbu, P. A., and James, M. E., 1994, *The NOAA/NASA Pathfinder AVHRR Land Data-Set User's Manual*, Goddard Distributed Active Archive Center, NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Archibold, O. W., 1995, *Ecology of World Vegetation*, Chapman & Hall, London.
- Box, E. O., Holben, B. N., and Kalb, V., 1989, Accuracy of the AVHRR Vegetation Index as A Predictor of Biomass, Primary Productivity and Net CO<sub>2</sub> Flux. *Vegetatio* 80:71-89.
- Bradshaw, M., 1997, A World Regional Geography. Brown & Benchmark, Chicago.
- Cicone, R. C., and Olsenholler, J. A., 1997, A Summary of Asian Vegetation Using Annual Vegetation Dynamic Indicators. *Geocarto International* 12(1):13-25.
- Dammert, P. B. G., Askne, J. I. H., and Kuhlmann, S., 1999, Unsupervised segmentation of multitemporal interferometric SAR images, *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 37(5):2259-2271.
- Defourny, P., Pradhan, U. C., Vinay, S., and Johnson, G. E., 1994, Overview of South-east Asia Land Cover Using A NOAA AVHRR One Kilometer Composite. *Geocarto International* 4:45-52.
- Defries, R. S., Hansen, M., and Townshend, J. R. G., 1995, Global Discrimination of Land Cover Types from Metrics Derived from AVHRR Pathfinder Data, *Remote Sensing of Environment*, 54:209-222.
- EDC DAAC (Earth Resources Observation System Data Center, Distributed Active Archive Center), no date, Global Land Cover Characterization (GLCC), URL: <http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/glcc/glcc.html>.
- James, M. E., and Kalluri, S. N. V., 1994, The Pathfinder Avhrr Land Data Set: an Improved Coarse Data Set for Terrestrial Monitoring. *International Journal of Remote Sensing* 15(17):3347-3363.
- Malingreau, J. P., 1986, Global Vegetation Dynamics: Satellite Observations over Asia, *International Journal of Remote Sensing* 7(9):1121-1146.
- UNEP GRID, no date, Global Resources Information Database, <http://www.grid.unep.ch/datasets/gnv-data.html>.
- Wang, F., 1990, Fuzzy Supervised Classification of Remote Sensing Images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(2): 194-201.