

## Landsat TM 영상을 이용한 논지역 내 비닐하우스 면적 추정

### Detection Techniques for Greenhouse Area on Paddy Fields Using Landsat TM Images

정 인 균\*, 박 근 애\*, 장 철 희\*, 김 성 준\*\*  
Jung, In-Kyun, Park, Geun-Ae, Jang, Cheol-Hee, Kim, Seong-Joon

#### Abstract

A plenty of wastes by greenhouse cultivation affect soil and water pollution much more than those by rice cultivation in paddy field. The greenhouse on paddy field has been increased dramatically, however their physical information such as the location and areas occupied has not been estimated systematically. This kind of information will play an important role to identify the change of agricultural water use pattern, and to estimate water pollution to the stream. This paper describes the detection method to obtain the physical information of greenhouse on paddy field by using Landsat TM remotely-sensed imagery. Four scenes (1988, 1992, 1996, 2000) were used to detect the greenhouse areas and to trace the temporal variations in the part of Gyeongan-Cheon watershed. Two methods (on screen digitizing and unsupervised classification) were introduced and compared the results. The greenhouses were not detected in 1988 however, they were clearly detected in 1992, 1996 and 2000 and have increased as time passes. But for more accurate extraction of greenhouse area, it is necessary to obtain ground truth data for supervised classification such as boundary surveying and to use smaller pixel imagery data.

#### I. 서론

최근 들어, 논 재배지역 내의 비닐하우스가 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 비닐하우스의 증가는 관개형태의 변화뿐만 아니라 배수형태의 변화, 그리고 화학비료 및 농약의 과다사용으로 인한 오염물질의 배출로 유역내의 하천 수질에 영향을 미치게 된다. 특히 비닐하우스 재배로 인한 폐기물은 수거가 어려워 소규모 재배지에서는 현지매립 또는 소각

에 의존하고 있고, 폐기물 매립으로 인한 토양 오염과 소각에 의한 다이옥신 등의 환경호르몬 배출에 의해 환경오염까지 그 영향이 확대될 수 있다. 따라서 비닐하우스 재배지역 및 그 면적의 파악은 유역 내의 관개형태변화와 환경오염을 예측하는 데 있어 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다.

위성영상을 이용한 원격탐사는 직접적인 현장 조사 없이 간접적으로 지상의 물체에 대한 반사특성을 이용하여 식별하고 그 상태를 조사

\* 건국대학교 대학원 (nemoik@orgio.net)

\*\* 건국대학교 지역건설환경공학과 (kimsj@konkuk.ac.kr)

키워드 : Landsat TM, Digitizing, 무감독 분류, 비닐하우스, 경안천

한다. 원격탐사는 지표의 물체에서 반사되는 광 에너지를 특정 파장별로 구분하여 관측한 후 기록한 자료를 분석하는 모든 기법을 말하며, 인공위성이나 항공기의 탑재센서 또는 스펙트로라디오미터 등이 자료관측용 매체로 사용되고 있으며, 관측된 자료는 보정을 통하여 컴퓨터를 이용하여 분석하게 된다(정원교 등, 1999). 이러한 원격탐사를 이용하여 일정한 지역의 시계열적 영상을 획득하여 개발에 따른 토지피복분석 등에 적용이 가능하다.

김상욱(1995)은 1987년과 1992년의 Landsat TM (Thematic Mapper) 위성영상을 지리정보시스템과 원격탐사기법을 이용하여 경안천 유역의 토지이용 및 식생의 활력도 변화를 살피고, 토양유실량예측공식 (USLE)을 이용하여 유역내 토양유실량의 증감을 분석하였다. 이기철 등 (1999)은 낙동강 하구의 습지를 대상으로 습지생태계의 종합적인 정보 추출을 위해 1997년 5월의 Landsat TM 영상자료를 감도분류 및 무감도 분류하여 1998년 3월부터 9월까지의 현지 식생조사 자료와 비교, 분석해 습지분류도를 제작하였다. 임상규 (2000)는 Landsat TM 자료를 이용한 토지이용피복도를 작성하고, 원격탐사자료를 이용한 토지피복 분류시 필요한 농업적 토지피복 분류시안을 설정하였으며, 우리나라에 가장 알맞은 농경지 변동탐지 방법을 연구하였다.

최근 들어 비점오염원 관리에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 대부분 통계자료를 이용하여 분석이 이루어지고 있다. 그러나 비닐하우스 재배는 신고제로 이루어지고 있고 급속히 증가하고 있으나, 비점오염원인 비닐하우스 재배지역에 대한 통계자료가 없는 실정이다. 따라서 논 재배지역 내 비닐하우스의 재배면적 변화와 같은 통계자료가 없는 경우에는 과거 인공위성영상을 활용하여 그 추이를 파악하는 것이 유용할 것으로 판단되며, 향후 유역내 비닐하우스 재배면적과 환경오염과의 관계를 연구하기 위한 기초자료로 활용하기 위해서는 위

성영상을 이용한 비닐하우스 재배지역의 경년 변화 분석에 대한 기법개발과 그 결과에 따른 통계자료 구축이 필요하다고 판단하여 본 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 논지역내 비닐하우스 재배가 집중적으로 이루어지고 있는 경안천 유역을 대상으로 10여 년간의 Landsat TM 영상자료를 이용하여 논지역 내에 존재하는 비닐하우스의 재배면적과 그 경년변화를 추정하고자 하였다. 원격탐사자료는 1988년부터 2000년 사이 11월부터 3월까지의 4년 간격의 Landsat 5호 TM 영상을 이용하였으며, 디지털이징 기법 및 무감도 분류 기법을 이용하여 비닐하우스 재배면적의 변화를 분석하고자 한다.

## II. 대상지역

경안천 유역(Fig. 1)의 면적은 558.23km<sup>2</sup>에 달하며 행정구역상 경기도 광주군과 용인시에 걸쳐 있다. 이 지역은 1990년 7월 제정된 환경정책기본법 제 22조에서 환경부장관이 환경오염의 우려가 있는 지역을 특별대책지역으로 지정 고시하고 환경보전을 위한 특별종합대책을 수립하여 관할 시 도지사에게 이를 시행하게 할 수 있음을 규정함에 따라, 환경부 장관이 1990년 7월 팔당상류지역에 수질보전특별대책 지역 제 I권역과 제 II권역을 지정 고시하고 특별종합대책을 마련하여 오염원에 대한 각종 규제를 시행하고 있는 지역이다(이정임, 1998). 그러나 주민지원이 매우 미비하고 해당 시 군의 열악한 재정으로 인하여 수질보전기초시설의 설치가 지연되고 있는 상황이며 환경기초시설 설치에 대한 국·도비 보조율이 타 지역과 동일하여 수질보전대책에 어려움이 많다. 이러한 상황에서 대규모 비닐하우스 재배가 이루어지고 있는 실정으로 이것이 환경에 미치는 영향에 대한 연구 및 그 대안의 필요성이 요구되는 지역이다.

### Ⅲ. 자료 및 방법

#### 1. 영상자료

분석을 위한 영상은 Landsat 5호 TM 센서에 의하여 관측된 Path 116/Row34의 영상자료이다. Landsat TM 자료는 전자파의 파장별 분류범위에서 가시광선~근적외 및 열적외선 영역에 이르는 7개의 분광밴드를 갖춘 센서로서 1~5, 7번 밴드의 공간 해상력은 30m×30m이며 열적외선 밴드인 6번 밴드는 공간 해상력이 120m×120m이다. TM 자료는 분광분해력 7개의 파장대를 갖고 있는 특징이 있어, 각 센서의 반응에 따라 비닐하우스 경작지를 분석하는데 보다 효과적이다.

본 연구에서는 비닐하우스 재배가 확인되는 11월부터 3월까지의 TM 영상 중 경년변화 분석에 필요한 영상을 선정하기 위하여 위성영상 분석 소프트웨어인 ERDAS Imagine 8.4를 사용하였다. 각 영상자료의 전처리 후 경안천 유역의 벡터자료를 중첩시켜 유역을 나타내고, 비닐하우스의 식별이 가능한 적설이 없는 시기의 영상을 검색하였다. 이들 자료 중 경년변화

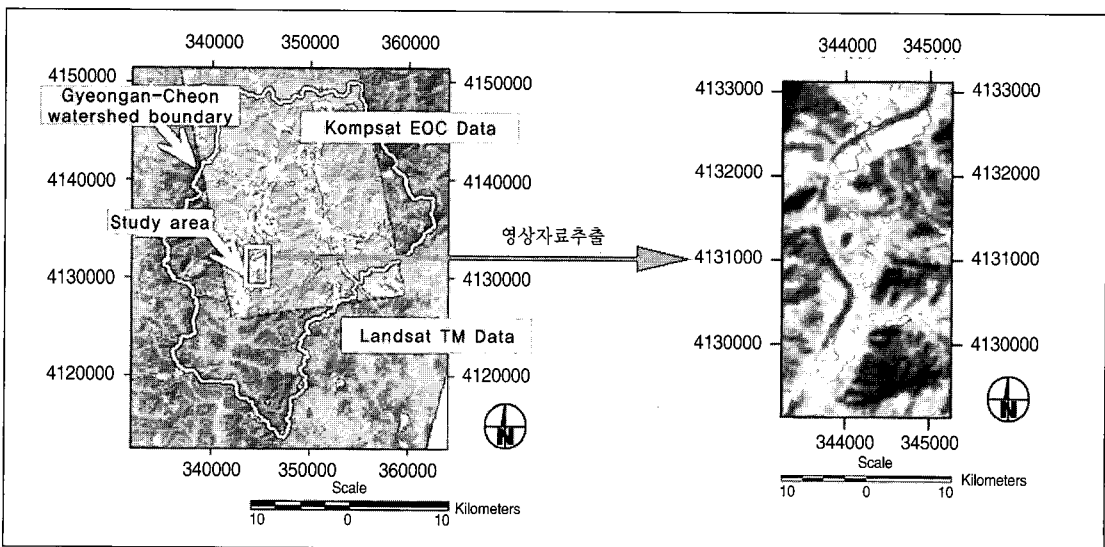
분석이 가능한 4년 간격의 비슷한 시기의 영상을 선정하였다.

선정된 영상은 1988년, 1992년, 1996년, 2000년에 획득된 영상으로서, 해상도가 6.6m×6.6m로 육안으로도 논지역을 파악할 수 있는 2000년 6월 4일 획득한 KOMPSAT EOC 영상을 <Fig. 1>과 같이 중첩 디스플레이 하여 논지역을 파악하고 Landsat 5호 TM 영상의 비닐하우스 재배지역을 추정하였다. 그 결과 Landsat TM 영상에서도 비닐하우스 재배지로 확인 가능한 지역인 경안천 유역내 용인시 모현면 매산리, 갈담리, 초부리 지역을 선정하였다.

#### 2. 영상의 전처리

##### 가. 밴드의 선정

Landsat TM 영상은 7개의 밴드조합으로 구성되며 각 밴드별로 분광파장대가 다르다. 따라서 비닐하우스지역의 특성은 각 밴드별로 다르게 나타나게 되는데 비닐하우스의 분석을 위해서는 최적사용 밴드의 선정이 필요하다. 각 밴드별 분광특성을 파악하기 위해 <Fig. 2>



<Fig. 1> Overlay of Landsat TM and Kompsat EOC for searching high density greenhouse areas

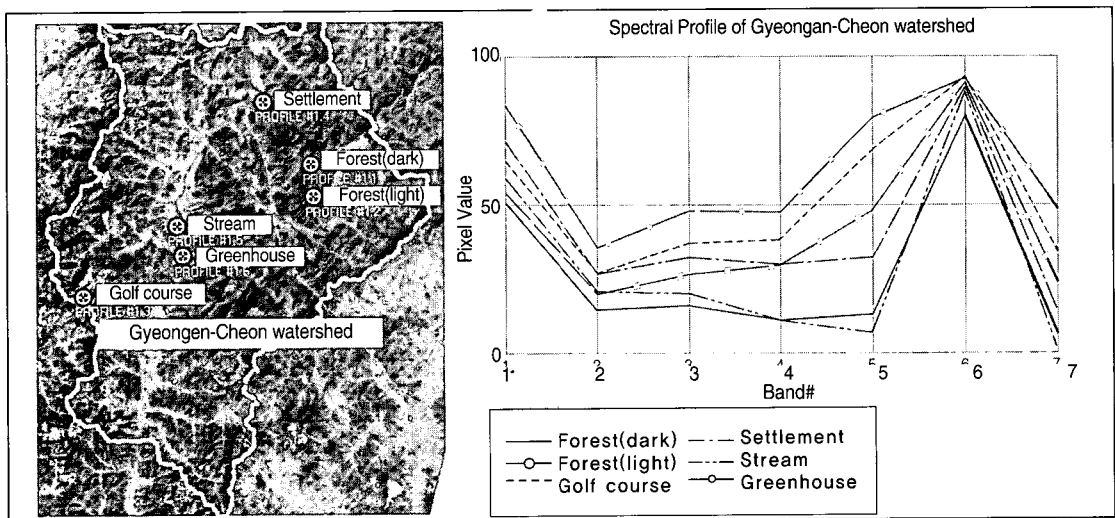
와 같이 2000년 1월 16일 영상에서 경안천 유역내 산(암), 산(명), 골프장, 도시, 하천, 비닐하우스의 6개 지역을 입력하여 각 밴드별 분광 특성을 파악하였다.

그 결과는 <Fig. 2>와 같으며 우선 각 분류항 목별 DN(Digital Number)값의 차이가 큰 밴드 1, 밴드 3, 밴드 4, 밴드 5를 선정하였다. 자세한 영상의 특성을 파악하기 위하여 선정된 4개의 밴드를 <Fig. 3>과 같이 431 밴드, 531

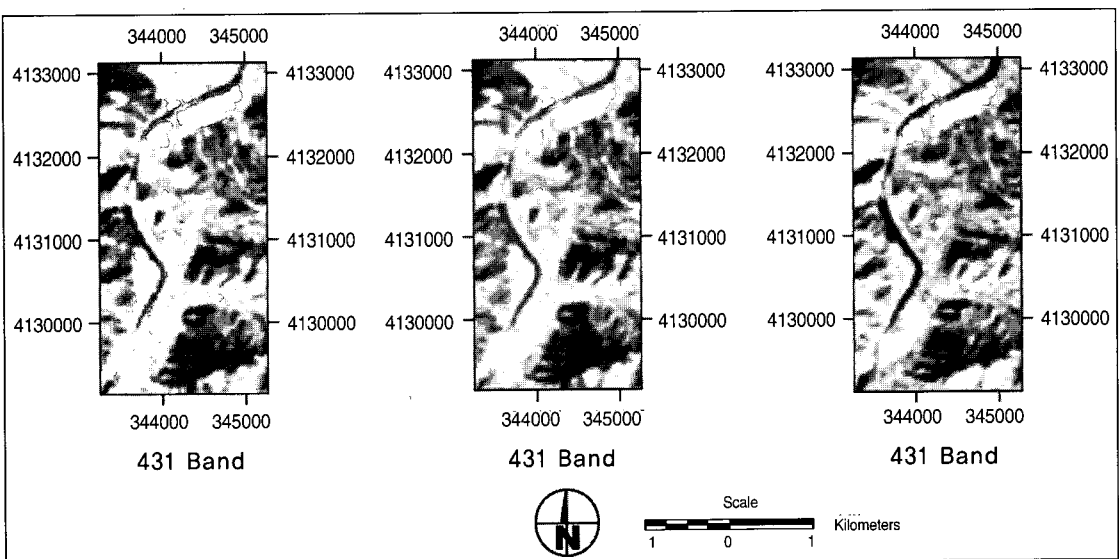
밴드, 541 밴드로 각각 합성영상을 작성하여 비교한 결과 비닐하우스의 특성이 각각의 영상에서 공통적으로 잘 나타나는 431 밴드 합성영상을 선정하여 비닐하우스의 분석에 사용하였다.

나. 전처리

본 연구에 사용된 Landsat 5호 TM영상은 ERDAS Imagine 8.4를 사용하여 Image to Image 방법으로 기하보정을 실시하였다.



<Fig. 2> Spectral profile of each bands in Gyeongan-cheon watershed



<Fig. 3> Band composition and comparison

이미 오랜 시간이 경과된 영상의 기하보정은 당시의 참고자료를 구하기가 힘들고 지리적으로 상당한 변화가 있으므로 Spheroid Bessel, Datum Tokyo (Korea), Projection UTM-52N으로 투영하여 기하보정이 되어있는 2000년 1월 16일 영상에서 교량, 댐, 항만, 방조제와 같이 잘 변하지 않는 곳에 지상기준점(GCP; Ground Control Point)을 선정하여 기준점으로 정하고 다른 영상자료의 동일 지점에 지상기준점을 지정함으로써 두 영상의 동일 지점에 같은 좌표체계를 갖도록 기하보정 처리하였다. 이때 좌표변환은 다항식 방정식을 사용하였으며, 재배열은 근접된 2×2 격자의 화소 값들을 거리가중 평균하는 공일차내삽법을 사용하였다.

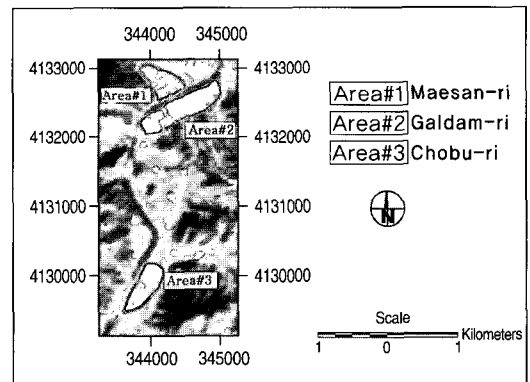
2000년 1월 16일 TM 영상을 참조하여 각 영상에 3개의 지상기준점 및 1개의 검사점(Ground Check Point)을 입력하여 기하보정을 실시한 결과 GCP Matching은 95% 이상으로 나타났으며, RMS Error는 1.0을 초과해서는 안된다는 조건을 만족하였다(ERDAS Field Guide Fifth Edition, 1999).

### 3. 분석방법

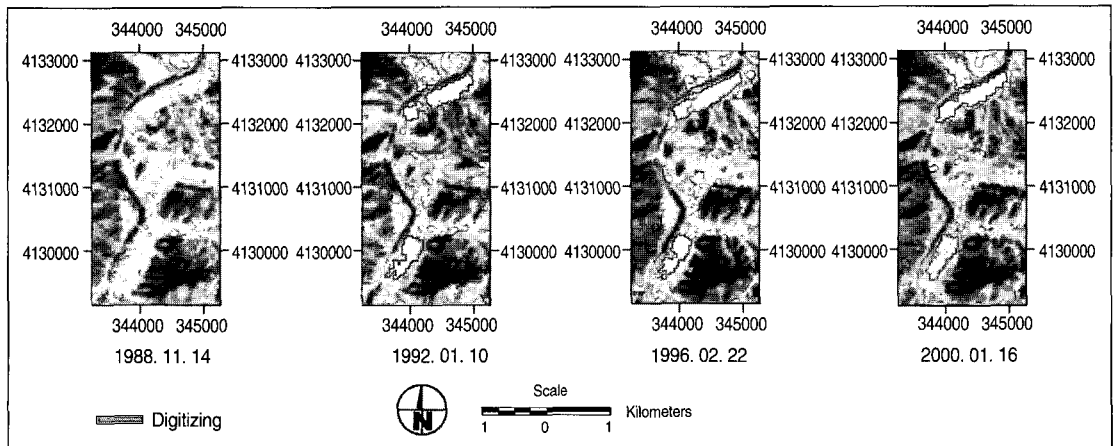
영상의 분류과정과 분광특성조사를 통해 선

정된 영상자료는 ERDAS Imagine 8.4에서 디지털타이징 기법을 이용하여 비닐하우스 재배 지역을 추출하고, IDRISI 32에서 비닐하우스 재배지역의 면적을 추정하였다. Landsat TM 영상은 30m×30m을 1 화소로 나타내기 때문에 최고 수백 미터에 달하는 비닐하우스가 군집으로 모여 있을 경우 육안으로 확인이 가능하다. 밴드의 분광특성분석을 통해 구성된 431 밴드에서는 비닐하우스가 산지, 하천 등의 주변지역 보다 밝게 구분되어 나타나기 때문에 경안천 유역 내 대규모 비닐하우스 재배 지역을 확인할 수 있었다.

비닐하우스 재배 지역의 추출을 위해 디지털타이징을 하는데 있어, 3차접입내삽법에 의한 디스플레이는 화소점 주변 4×4 격자의 화소값



〈Fig. 4〉 Area definition in target area



〈Fig. 5〉 Digitizing of target area

들을 거리가중 평균하는 방법을 취하고 있어 비교적 부드러운 화질로 나타난다. 그러나 영상의 번짐 현상이 일어나 비닐하우스의 경계 구분이 어려웠고, 비닐하우스와 논 지역의 경계를 유연하게 디지털화 하면 실제 지정된 영역보다 많은 수의 화소들이 추출되었다. 따라서 보다 정확한 분석을 위해 경계지역의 구분이 선명하지 않으나 화소단위로 디스플레이 되는 최근린내삽법을 선택하였고, 비닐하우스 재배지로 추정되는 부분을 각 화소의 모서리를 따라 디지털화 하는 방법을 취하였다.

비닐하우스 재배면적의 추정을 위해 본 연구에 사용된 1988년, 1992년, 1996년, 2000년의 영상 중 대상지역의 대규모 비닐하우스 재배가 나타나는 1992년, 1996년, 2000년의 영상에 대하여 <Fig. 4>와 같이 비닐하우스 밀집 지역을 3개로 구분하고 <Fig. 5>와 같이 디지털화 하였다.

디지털화 된 영역은 ERDAS Imagine 8.4의 영상절취모듈을 사용하여 추출하였다. 추출된 영상은 IDRISI 32에서 면적을 산출할 수 있도록 Arc/Info 8.0을 사용하여 자료의 포맷을 변환하였으며 면적의 산출 과정은 <Fig. 6>과 같다.

#### IV. 결과 및 고찰

##### 1. 비닐하우스 경년변화 분석 결과

1988년 영상의 경우 비닐하우스 재배가 이

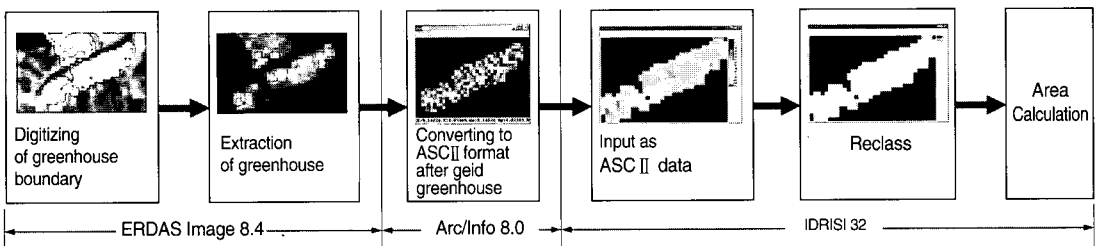
<Table 1> Area calculation by digitizing method

(Unit :m<sup>2</sup>)

Date \ Area	1992. 01. 10	1996. 02. 22	2000. 01. 16
1	270,000	288,000	322,200
2	205,200	237,600	218,700
3	180,000	167,400	224,100
Total	655,200	693,000	765,000

루어지는 11월 중순임에도 비닐하우스 재배가 이루어지지 않은 것으로 추정되며, 80년대 동일지역의 비닐하우스 재배 여부를 파악하기 위하여 1984년 11월 27일의 Landsat 4호 MSS 영상을 확인한 결과에서도 비닐하우스 재배가 이루어지지 않았음을 알 수 있었다. 비닐하우스 재배가 확인되는 1992년, 1996년, 2000년의 Landsat 5호 TM영상을 디지털화 하여 면적을 분석한 결과 비닐하우스 경작 면적은 1992년 655,200m<sup>2</sup>에서 1996년 693,000m<sup>2</sup>로 37,800m<sup>2</sup>가 증가하였으며, 1996년 693,000m<sup>2</sup>에서 2000년 765,000m<sup>2</sup>로 72,000m<sup>2</sup>가 증가한 것으로 나타났다.

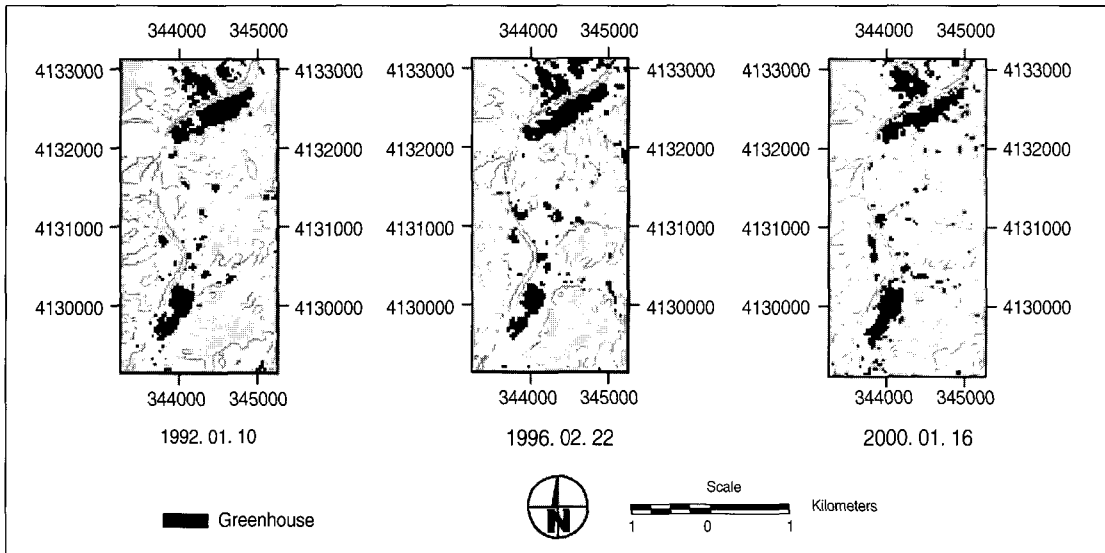
이 결과는 비닐하우스 재배면적에 대한 통계자료가 없어 그 정확도를 검증 할 수 없으나 대상지역의 비닐하우스 재배는 90년대 초부터 시작된 것으로 추측되며, <Table 1>과 같이 재배면적은 96년 이후 급속히 증가하는 경향을 나타내었다.



<Fig. 6> Process for area calculation



〈Fig. 7〉 Flowchart of Unsupervised classification



〈Fig. 8〉 Result of unsupervised classification

2. 무감독 분류를 이용한 분석결과와의 비교

디지털이징을 이용한 면적산정의 정확도를 비교하기 위하여 비닐하우스 재배가 확인되는 1992년, 1996년, 2000년의 영상에 대하여 무감독 분류(Unsupervised Classification)를 실시하였다. 무감독 분류는 영상에 나타나 있는 지역에 대한 사전정보 없이 수학적인 도구를 사용하여 분류하는 방법으로서(이진덕 등, 1999), 본 연구에 사용된 ERDAS Imagine 8.4는 다음 〈Fig. 7〉의 순서에 의해 무감독 분류를 실시한다.

ERDAS Imagine 8.4는 Landsat TM영상의 무감독 분류를 수행하기 위하여 7개 밴드와 ISODATA Clustering 알고리즘을 사용한다. ISODATA Clustering 은 최단거리 분류법을 사용하는데 사용자가 클래스의 개수를 지정하면 처음에 자동으로 계산되는 평균값이나

Signature Set에서 정의된 평균을 이용해 각 픽셀이 어느 클래스에 포함되는지를 결정하고 픽셀의 정렬 작업의 전과 후를 비교하여 아무 변화가 없는 픽셀이 전체의 몇 퍼센트 이상이면 작업을 중단한다. 이와 같이 분류된 클래스의 정확성 평가를 위해서 무감독 분류된 영상과 분류 전 영상을 중첩하여 무감독 분류 영상의 각 클래스에 대한 투명도 조정을 통해 각 클래스가 속한 영역을 찾아내는 방법을 사용한다.

6~15 개의 임의항목을 정하여 무감독 분류

〈Table 2〉 Greenhouse areas by unsupervised classification method

Date Item	1992. 01. 10	1996. 02. 22	2000. 01. 16
Pixel numbers	665	719	825
Area (m <sup>2</sup> )	598,500	647,100	742,500

를 반복 수행한 후 분류 전 영상과 중첩 비교하여 실시한 무감독 분류결과 나타난 비닐하우스 재배지역은 <Fig. 8>과 같으며 <Table 2>에 정리하였다. 비닐하우스의 면적은 대상지역 영상에서 비닐하우스로 분류된 항목의 화소 수에 화소 당 면적(900m<sup>2</sup>/pixel)을 곱하여 계산하였다.

디지털타이핑을 이용한 면적 분석 결과와 무감독 분류에 의해 분석된 결과의 비교는 <Table 3>과 같으며, 상대오차는 식(1)에 의하여 계산하였다.

$$\text{상대오차} = \frac{\text{디지털타이핑 면적} - \text{무감독 분류 면적}}{\text{디지털타이핑 면적}} \quad (1)$$

무감독 분류와 디지털타이핑 결과를 비교한 결과 평균 6.1%의 상대오차를 나타내었으며, 두 방법 모두 비닐하우스 면적이 증가하고 있음이 나타났다.

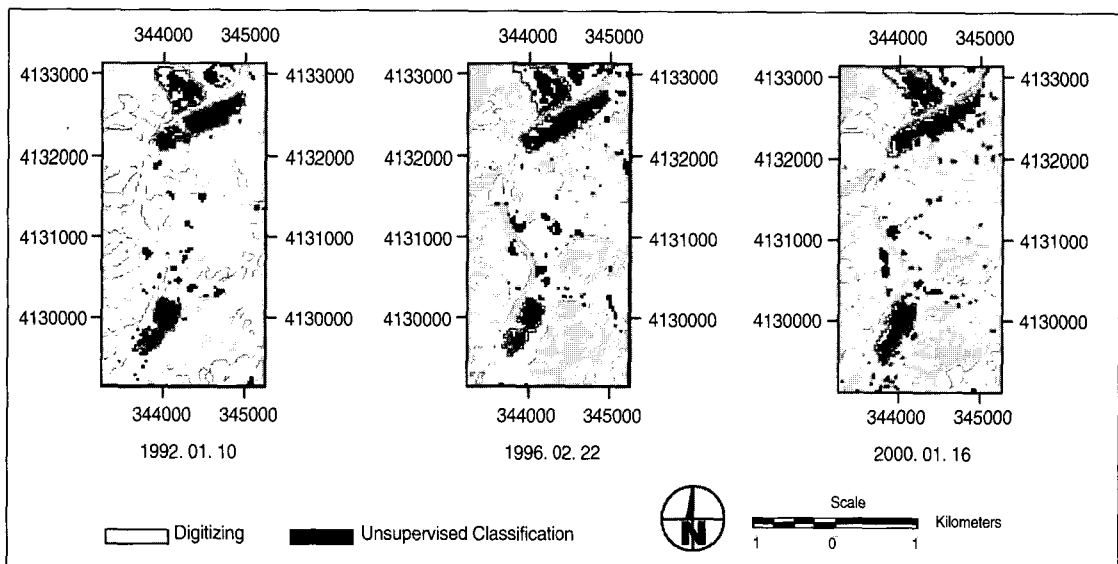
그러나 <Fig. 9>와 같이 무감독 분류된 영상과 디지털타이핑 경계를 중첩하여 비교하면 디지털타이핑 영역 외부의 많은 화소들이 비닐하우스

<Table 3> Comparison between digitizing and unsupervised classification method (Unit : m<sup>2</sup>)

Item \ Date	1992. 01. 10	1996. 02. 22	2000. 01. 16
Digitizing	655,200	693,000	765,000
Unsupervised classification	598,500	647,100	742,500
Relative error(%)	8.7	6.6	2.9

로 나타났으며, 디지털타이핑 영역 내부의 많은 화소들이 비닐하우스로 분류되지 못하였음을 나타냈다.

전자의 경우 해상도가 30m×30m인 Landsat TM 영상에서 육안으로 확인 가능한 비닐하우스 밀집지역을 디지털타이핑 함으로써 무감독분류시 비닐하우스 밀집지역과 DN(Digital Number)값이 비슷한 화소가 비닐하우스로 분류된 것으로 생각되며, 후자의 경우 무감독 분류가 감독분류와는 달리 훈련지역(Training Site)을 지정하지 않고 자동으로 분류하므로 각 분광특성에 대한 해석에서 감독분류보다 정도가 낮기 때문인 것으로 생각된다. 보다 높은 정도를 갖는 면적을 산출하기 위해서



<Fig. 9> Comparison between digitizing and unsupervised classification method



는 감독분류를 시행하는 것이 바람직하나 같은 영상 내에서도 비닐하우스가 나타나는 특성이 다르기 때문에 비닐하우스의 반사특성에 대한 연구가 먼저 이루어져야 할 것으로 생각된다.

디지털이징을 이용한 방법에서도 해상도 30m×30m의 이미지를 육안으로 디지털이징 하기 때문에 디지털이징을 수행함에 있어 소프트웨어 사용자의 해석 차이에 따라 면적이 달라질 수 있는 단점이 있기 때문에 통계자료가 없는 상태에서는 그 결과가 정확하다고 할 수 없다. 비닐하우스 면적 추정 시 사용된 디지털이징 방법에서 면적산출의 오차를 줄이기 위해서는 첫째, 같은 지역에 대한 디지털이징을 반복적으로 수행하여 산술 평균값을 취하거나 둘째, 같은 시기의 고해상도 영상을 이용하여 이미지 해상도를 향상시켜 디지털이징을 수행하는 방법과 셋째, 동일지역의 1:5000 수치지도의 중첩을 통하여 비닐하우스 재배가 가능한 지역을 참고하여 디지털이징을 수행해야 할 것이다.

향후 비닐하우스의 경년변화 분석을 수행하는 과정에서 보다 정확한 결과를 산출하기 위해서는 연구대상지역의 환경, 영상자료의 상태, 비닐하우스의 분광특성 등을 고려하여 특정한 지역에 따라 적용할 수 있는 적절한 변화탐지기법의 연구가 과제로 남아 있다.

## V. 결론

본 연구에서는 서울 근교의 경안천 유역내 비닐하우스 밀집 지역중 용인시 모현면 매산리, 갈담리, 초부리 지역의 4년 간격의 Landsat TM 영상을 이용하여 디지털이징과 무감독 분류 방법으로 비닐하우스 재배 지역에 대한 경년변화를 추정하였으며, 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, Landsat TM 영상을 디지털이징 하여 면적을 분석한 결과 비닐하우스 경작 면적은 1992년 655,200m<sup>2</sup>에서 1996년 693,000m<sup>2</sup>

로 37,800m<sup>2</sup>가 증가하였으며, 1996년 693,000m<sup>2</sup>에서 2000년 765,000m<sup>2</sup>로 72,000m<sup>2</sup>가 증가한 것으로 나타났다. 그리고 1984년 Landsat 4호 MSS와 1988년 Landsat 5호 TM 영상에서 대상지역내 대규모 비닐하우스 재배지역이 검색되지 않는 것으로 보아 1990년대 들어 대규모 비닐하우스 재배가 시작되었으며, 1996년 이후부터 그 면적이 급속히 증가하고 있음을 알 수 있었다.

둘째, 디지털이징과 무감독 분류에 의한 면적 추정결과는 대상지역과 관련한 해당 시기의 비닐하우스 재배면적에 대한 통계자료가 없는 관계로 검증할 수 없었다. 그리고 디지털이징 결과를 무감독 분류 결과와 비교하고자 하였으나 디지털이징 된 영역 외부의 많은 화소들이 비닐하우스로 분류되었으며 디지털이징 된 영역 내부에서도 많은 화소들이 비닐하우스로 분류되지 못해 만족한 결과를 나타내지 못하였다. 이런 결과는 해상도가 30m×30m인 Landsat TM 영상에서 비닐하우스를 디지털이징 함에 있어 육안으로 판독 가능한 비닐하우스 밀집지역만을 디지털이징 하였으나 무감독 분류시 비닐하우스와 DN값이 비슷한 화소가 비닐하우스로 분류되었기 때문으로 사료된다.

셋째, 원격탐사 자료의 디지털이징 방법을 이용한 비닐하우스 면적추정의 정확도를 높이기 위해서는 수치지도를 위성영상과 중첩하여 비닐하우스 재배지역으로 추측되는 지역을 참고하면서 디지털이징을 실시하거나, 동일시기의 고해상도 영상과 TM 영상의 중첩을 통해 해상도를 높여 영상판독을 용이하게 해야 된다. 그리고 무감독 분류에 의한 분석보다는 감독분류를 통한 비닐하우스 재배지역 분석의 정확도를 높여야 한다. 이를 위해서는 분류의 정확도를 높이는 비닐하우스의 특성과 비닐하우스 내 재배작물 종류에 따른 반사특성의 변화에 대한 연구가 병행되어야 한다.

## 참고문헌

1. 김상욱, 1995. 토지이용 변화에 따른 경안천 유역 토양유실에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사논문.
2. 김용일, 1991. 인공위성 원격탐사 데이터의 분석 정확도 향상에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문.
3. 이기철, 윤해순, 김승환, 남춘희, 옥진아, 1999. GIS와 원격탐사를 이용한 낙동강 하구 습지 데이터베이스 구축에 관한 연구, 한국지리정보학회지 2권 3호, pp.1~15.
4. 이정임, 1998. 팔당상수원 보호를 위한 규제와 지역주민대책, 팔당상수원 오염문제 해결을 위한 정책토론회.
5. 이진덕, 연상호, 유재엽, 김성길, 1999. Landsat TM과 JERS-1 OPS 영상을 이용한 도시지역의 토지이용 변화 검출, 한국지리정보학회지 2권 1호, pp.73~83.
6. 임상규, 2000. Landsat TM 자료를 이용한 농경지의 변화분석에 관한 연구, 경희대학교 대학원 박사학위논문.
7. 정원교, 임상규, 김무성, 1999. Landsat TM 자료를 이용하여 경기도 연천지역의 홍수 후 농경지 변화 추정, 한국국제농업개발학회지 11권 2호, pp.155~160.
8. ERDAS Inc., 1999. ERDAS Field Guide Fifth Edition, Atlanta, Georgia.