

## Landsat TM 화상을 이용한 당진군 일원의 논면적 추정

홍석영<sup>1</sup> · 임상규<sup>1</sup> · 이규성<sup>2</sup> · 조인상<sup>1</sup> · 김길웅<sup>3</sup>

<sup>1</sup>농업과학기술원 토양관리과, <sup>2</sup>인하대학교, <sup>3</sup>경북대학교

(2000년 11월 6일 접수)

## Estimation of Rice-Planted Area using Landsat TM Imagery in Dangjin-gun area

Suk-Young Hong<sup>1</sup>, Sang-Kyu Rim<sup>1</sup>, Kyu-Sung Lee<sup>2</sup>, In-Sang Jo<sup>1</sup> and Kil-Ung Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAS)

<sup>2</sup>Inha University, <sup>3</sup>Kyungpook National University

(Manuscript received 16 November 2000)

### ABSTRACT

For estimating paddy field area with Landsat TM images, two dates, May 31, 1991 (transplanting stage) and August 19, 1991 (heading stage) were selected by the data analysis of digital numbers considering rice cropping calendar. Four different estimating methods (1) rule-based classification method, (2) supervised classification(maximum likelihood), (3) unsupervised classification (ISODATA, No. of class:15), (4) unsupervised classification (ISODATA, No. of class:20) were examined. Paddy field area was estimated to 7291.19 ha by non-classification method. In comparison with topographical map (1:25,000), accuracy for paddy field area was 92%. A new image stacked by 10 layers, Landsat TM band 3, 4, 5, RVI, and wetness in May 31, 1991 and August 19, 1991 was made to estimate paddy field area by both supervised and unsupervised classification method. Paddy field was classified to 9100.98 ha by supervised classification. Error matrix showed 97.2% overall accuracy for training samples. Accuracy compared with topographical map was 95%. Unsupervised classifications by ISODATA using principal axis. Paddy field area by two different classification number of criteria were 6663.60 ha and 5704.56 ha and accuracy compared with topographical map was 87% and 82%. Irrespective of the estimating methods, paddy fields were discriminated very well by using two-date Landsat TM images in May 31, 1991 (transplanting stage) and August 19, 1991 (heading stage). Among estimation methods, rule-based classification method was the easiest to analyze and fast to process.

**Key words :** Landsat TM imagery, estimation of rice-planted area, rule-based classification, supervised classification, unsupervised classification

### I. 서 론

위성자료를 이용한 작물진단, 품질평가, 재배관리, 수량추정 및 예측을 위해서는 먼저 경작지에서 재배되고 있는 대상작물의 포장을 정확하게 파악해야 한다. 또한, 주곡작물의 생산량을 정확히 파악하는 것은 식량수급 계획과 재배면적을 계획하는데 매우 중요하다. 우리나라의 논면적은 1,157,306 ha(98년 농림통계)로

전국 농경지의 60.6%를 차지한다. 논은 주곡인 쌀을 생산하는 가장 중요한 기능 이외에도 홍수조절, 지하수 함양, 대기냉각 및 정화기능, 경관보존, 토양유실 방지, 지하수 오염 경감 등 많은 공익적인 순기능을 갖고 있다(김 등, 1994).

현재 경지면적 통계는 농업생산의 기반인 토지자원의 확보와 이용, 작물생산계획 수립, 양곡수급계획 수립 등의 농업정책 수행에 필요한 기초자료를 제공하기

위하여 국립 농산물품질관리원에서 매년 조사하고 있다(www.naqs.go.kr). 즉, 전국의 모든 경지를 현지 확인 후 시·군별, 읍·면·동별로 인접 지면을 약 2ha 크기로 묶어 1,015천개의 단위를 만들어 이를 모집단으로 하여 이들 단위구별 특성이 유사한 것끼리 묶어 10개층으로 층화한 후, 층별 출율을 정하여 표본 단위구 약 37천개를 추출하여 현지 실측조사하고 있다.

원격탐사 기술은 넓은 지역을 모니터링할 수 있고 사람이 실측하여 조사하는 것에 비해 비교적 자주 자료를 획득할 수 있으므로, 저비용으로 농경지를 파악하고 식생의 공간분포를 추정하기 위한 방법으로 많은 장점이 있다. 논은 지구온난화와 관련하여 메탄과 이산화탄소와 같은 온실가스의 배출(source)과 저장(sink)의 양쪽으로 작용하므로 이들 온실가스의 공급과 소비를 계산하기 위하여 원격탐사 기술이 새롭게 이용되고 있다. 그러나, 현재 이용되고 있는 분류법들은 분류항목의 선정 및 훈련자료(training data)를 얻는 방법과 연구자에 따라 다소 상이한 결과를 나타낸다. 또한, 대상체의 경계부에 위치하는 화소 즉, 혼합화소(mixed pixel; mixel)를 분류하기 어렵다.

Tennakoon 등(1992)은 Landsat TM 밴드 1, 3, 4, 5를 이용한 최대우도법(maximum likelihood)으로 90%의 정확도로 논을 분류하였다. Rao와 Rao(1987)은 이앙기와 최대생장기 두계절 자료를 논을 구분하는데 이용하였다. Panigrahy and Panihar(1992)은 중간적외선대인 Landsat TM 밴드 5와 7이 논을 추정함에 있어서 분류정확도를 높인다고 평가하였다. Okamoto와 Fukuhara(1996)는 Landsat TM 자료의 각 혼합화소(mixel)에서 순수한 논 자료값에 대한 면적비를 이용하여 논을 추정하였다. 홍(1998)은 이앙기와 출수기, 두시기 Landsat TM 자료를 이용하여 논을 추정하여 논의 계절별 지표면 온도와 토양특성을 살펴보았다.

본 연구에서는 벼의 생육특성을 이용하여 벼가 재배되고 있는 논을 구분하고, 그 결과를 원격탐사 연구에서 일반적으로 사용되고 있는 분류기법과 비교하는 것을 목적으로 하고 있다.

## II. 재료 및 방법

동경 126° 45' 00"~126° 52' 30"(177424.0 m~188584.0 m), 북위 36° 45' 00"~36° 52' 30"에 위치한 아산만 일원으로 당진군 우강면, 합덕읍, 신평면,

순성면, 아산시 인주면, 선장면, 도고면 일부가 포함되는 1:25,000 지형도를 기준으로 합덕도엽(NJ52-13-04-3)에 해당하는 이 곳은 넓은 평야지역(예당평야)으로 주로 벼를 재배하고, 벼 재배기간 동안 여러시기의 인공위성 자료를 구할 수 있었으므로 연구지역으로 선정하였다. 전체면적은 약 15,534.7 ha이고, pixel 수와 line수는 각각 373과 464이다.

벼 재배면적 추정을 위해서 논이 다중시기 분광반사특성을 이용한 조건식에 의한 규칙기반분류(rule-based classification)를 이용하였고 그 결과를 원격탐사 연구에서 일반적으로 사용되고 있는 감독분류법(supervised classification) 및 무감독분류법(unsupervised classification)의 결과와 비교하였다.

### 2.1. 사용한 자료

논면적 추정을 위해 처음에 사용한 Landsat-5 TM 자료는 path 116, row 34로 연도는 다르지만 벼의 재배기간 중에 촬영된 것으로 모두 6시기이다(Table 1). Landsat 5호는 1984년 3월 1일 발사되었고, 고도 705 km, 반복주기가 16일, 공간해상능 30 m, 7개의 채널을 가진 미국의 위성이다.

### 2.2. 위성화상 전처리

먼저, northing과 easting으로부터 지상기준점의 지도좌표(횡메르카토르법)를 계산하였고(image to map registration), 다음에 화상(image)에서 지상기준점의 위치를 계산하였다(image to image registration). 지도좌표(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>, i=1,n)와 화상좌표(P<sub>i</sub>, L<sub>i</sub>, i=1,n)를 이용하여 affine 변환식(식 1)의 계수(a~f)를 계산하였다.

$$\begin{pmatrix} P \\ L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ d & e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c \\ f \end{pmatrix} \quad (1)$$

이 식에서 계수는 지상기준점의 지도좌표와 변환 후

Table 1. Satellite data used

Satellite/Sensor	Path-Row	Date
Landsat/TM	116-34	May 31, 1991
Landsat/TM	116-34	Jun. 2, 1992
Landsat/TM	116-34	Aug. 19, 1991
Landsat/TM	116-34	Sep. 1, 1996
Landsat/TM	116-34	Sep. 12, 1994
Landsat/TM	116-34	Sep. 27, 1988

의 지도좌표와의 오차자승합(RMS:root mean square)의 예러가 최소가 될 때까지 결정되는 최소자승법에 의해 구해지는데, 그 오차가 0.5 화소(15 m) 이내가 되도록 하여 최근린(nearest neighborhood)법으로 재 배열 하였다.

**2.3. GPS를 이용한 논외 면적 특성 추출 및 벡터 자료 생성**

당진군 합덕읍 및 우강면 일원의 논(29필지)의 면적 특성은 동일한 GPS위성을 사용하여 고정국과 이동국 두 지점의 지리좌표를 동시에 측정한 후, 고정국의 측정치와 실제의 지리좌표를 비교하여 오차치를 산출하고, 이를 사용하여 이동국의 측정치를 보정하는 translocation positioning 방식으로 상대측정하여 후처리 보정하였다. 좌표는 황메르카토르법으로 변환하였고 최종 결과 파일은 dxf로 생성하여 위성의 화상자료에 중첩하여 시기별 논외 분광반사특성을 조사하는데 이용하였다. 한편, GPS를 이용하여 수집된 논 특성에 해당되는 지역의 Landsat TM 자료값(data file value)의 평균값에 대하여 분산분석법(method in analysis of variance; ANOVA)을 이용하여 시기별(6시기) 분광반사특성을 구하였다.

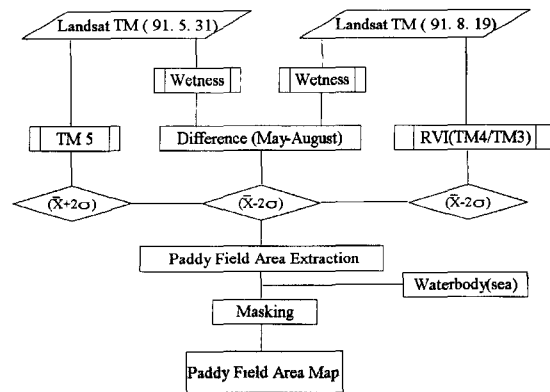
**2.4. 논외 면적 추정**

**2.4.1. 분광반사 특성을 이용한 규칙기반분류(rule-based classification)**

GPS를 이용하여 취득한 29필지의 논지역 면적 feature를 6시기의 Landsat TM 화상자료에 중첩하여 각각 자료값을 조사하였고, 또한 동일 지점의 RVI (ratio vegetation index)와 습윤도(wetness)를 구하였다.(Table 2). 논외 시기별 분광반사특성 차이를 조사하기 위해, 먼저 논외 지역의 Landsat TM 밴드 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 의 자료값, RVI, 습윤도로 이루어진

데이터셋을 만들고, 다음 SAS 통계패키지로 분산분석(ANOVA)하였다(김, 1994). 그 결과, 벼 재배면적 추정에 적합한 정보 종류와 시기를 결정하였다. 이양직 후인 5월(1991년)과 출수기인 8월(1991년) 두 시기에서 이양기에 담수상태로 수체(水體)의 특성을 나타내는 Landsat TM 밴드 5, 출수기에 무성한 작물군락의 특성을 나타내는 RVI, 또한 두 시기의 습윤도 차이를 구하여 각각의 평균값과 표준편차를 구한 뒤, 임계값을 정하기 위해 산점도로 나타내었다. 한편, 연구지역의 5월과 8월 두 시기간 변화를 살펴보기 위하여 tasseled cap transformation 하여 밝기값(brightness), 녹색도(greenness), 습윤도(wetness)를 구하여 두 화상을 비교하였다(ERDAS, 1997).

이양직후인 5월 31일 Landsat TM 밴드 5의 논지역 자료값의 (평균 +2×표준편차)를 임계값으로 이보다 작고, 출수기인 8월 19일의 RVI가 (평균 -2×표준편차) 보다는 크며, 두 시기간 습윤도의 차를 기준으로 (평균 -2×표준편차) 보다 큰 조건을 만족시키는 곳을 논외로 하였다. 다음에 바다지역 수체(水體)를 마스크하여 벼 재배면적 지도를 만들었다(Fig. 1).



**Fig. 1.** Flow chart for extracting paddy field area with the spectral characteristics of biseasonal Landsat TM data.

**Table 2.** Vegetation indices used in this study

Vegetation Index	Formula
Ratio Vegetation Index	RVI TM band 4/TM band 3
Tasseled Cap Transformation (Kauth and Thomas, 1976; ERDAS, 1997)	Brightness=0.3037TM1+ 0.2793TM2+ 0.4743TM3 + 0.5585TM4+ 0.5082TM5+ 0.1863TM7 Greenness=-0.2848TM1+ 0.2435TM2+ 0.5436TM3 + 0.7243TM4+ 0.0840TM5+ 0.1800TM7 Wetness=0.1509TM1+ 0.1973TM2=0.3279TM3 + 0.3406TM4+ 0.7112TM5+ 0.4572TM7

### 2.4.2. 감독 및 무감독 화상분류법

원격탐사 연구에서 일반적으로 사용되고 있는 화상 분류법에는 1991년 5월 31일(이앙기)과 8월 19일(출수기)의 Landsat TM 밴드(band) 3, 4, 5, RVI, 습윤도 자료를 각각 중첩하여 생성한 10개 레이어로 구성된 화상이 이용되었고, 이때 분류항목은 논, 임야, 물, 도시, 잡목 및 밭, 마을, 인공구조물 등으로 하였다.

감독분류는 미지의 화소를 분류할 때 분류항목별 분광반사 패턴의 분산과 공분산 모두를 정량적으로 평가하는 정확한 분류방법인 최대우도법을 이용하였고, 분류항목을 결정하기 위하여 자료값의 분포의 특성에 기초하여 비슷한 특성을 가진 몇개의 그룹으로 나누는 비교사 분류는 ISODATA법을 이용하여 분류항목을 각각 20개와 15개로 하여 클러스터링하였다. 이때, 분류축은 변이가 가장 큰 주성분축(principal axis)을 이용하였고, 표준편차는 2.0, 최대 반복수는 25회, 수렴을 위한 임계값(threshold)은 0.95로 하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 인공위성 화상 전처리; 기하보정 및 재배열

기하보정은 지상기준점(ground control point)을 이용하여 affine 변환 하였는데, 이때 우리나라에서 사용하고 있는 평면좌표 체계인 황메르카토르법의 중부원점을 사용하였다. 먼저, 1:50,000 지형도 상에서 최종 19개의 지상기준점을 선택한 후 1992년 6월 2일 촬영한 Landsat TM의 동일한 지점을 구하는 지도 대 화상 등록하여 RMS(root mean square) 에러가 1 화소 내에 들도록 하였다. 나머지 화상들은 이를 기준으로 화상 대 화상 등록하여 RMS 에러가 0.5 화소 내에 들도록 하였다. 1992년 6월 2일 자료의 RMS 에러는 0.692였고, 1991년 5월 31일 0.211, 1991년

8월 19일 0.231, 1996년 9월 1일 0.396, 1994년 9월 12일 0.239, 1988년 9월 27일 0.249였다. 이와 같이 기하보정된 화상을 논의 분광반사특성 분석, 면적추정을 위한 자료로 이용하였다.

### 3.2. 논 지역의 시기별 분광반사특성

논면적 추출에 적합한 밴드를 선정하기 위하여 Landsat TM 전 밴드의 평균 자료값(data file value)과 RVI 및 습윤도(wetness)로 나타난 논 지역의 시기별 분광반사 특성을 살펴보았다(Table 3). 가시광선대의 TM 밴드 1, 2, 3의 논지역 평균 자료값은 엽록소와 카로테노이드와 같은 식물색소에 의한 광흡수와 관련이 깊어 군락 형성이 최대인 8월 19일과 9월 1일에 가장 낮아졌다가 등숙기인 9월 중·하순에 다시 높아졌다. 중간 적외선대의 TM 밴드 5와 7은 수분에 민감한데, 담수상태로 수체(水體:open water body)의 영향이 컸던 5월 31일과 6월 2일의 자료값이 가장 낮게 나타났고, 군락이 최성기에서 성숙기로 접어들면서 식물체 수분함량이 줄어들어 점점 자료값이 높아졌다. 또한 근적외선대의 TM 밴드 4는 식물체가 생육에 잘 이용하지 않는 파장영역으로 군락이 무성한 8월 19일과 9월 1일의 자료값이 가장 높았다. 한편, RVI(ratio vegetation index ; TM4/TM3)는 출수·개화기인 8월 19일과 9월 1일에 가장 높았고 습윤도(wetness)는 벼의 생육 초기에서 성숙기로 갈수록 계속 낮아졌다. 이 결과를 토대로 우선 담수상태로 다른 지표면 대상체와 비교적 뚜렷이 구분되는 이앙기인 5월 31일과 군락 형성이 가장 두드러진 출수기 8월 19일, 두 시기를 선택했다. 또한 수분에 민감한 이앙기의 TM 5, 군락의 특징을 잘 반영하는 출수기의 RVI, 또 모든 밴드 특성이 포함된 이앙기와 출수기의 습윤도를 논면적 추정을 위한 정보로 이용하기로 하였다.

Table 3. Spectral characteristics on Landsat TM bands, RVI, and wetness at paddy fields in different dates

Date	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	RVI	Wetness
May 31	112.23 a1)	51.86 a	58.89 a	48.18 d	30.11 d	157.87 b	14.85 d	0.818 d	34.28 a
Jun. 2	103.98 b	48.40 b	55.20 b	48.17 d	30.53 d	165.15 a	14.75 d	0.872 d	30.89 b
Aug. 19	77.52 d	33.66 e	28.21 f	114.00 b	64.61 c	146.70 c	19.39 c	4.080 a	10.31 c
Sep. 1	69.86 f	31.59 f	32.07 e	128.41 a	70.35 b	129.05 d	18.31 c	4.064 a	12.20 c
Sep. 12	72.46 e	35.02 d	35.04 d	101.03 c	68.88 e	125.78 e	22.22 b	2.937 b	5.07 d
Sep. 27	80.47 c	43.73 c	45.71 c	102.61 c	75.95 f	25.63 f	26.50 a	2.269 c	4.83 d

<sup>1)</sup> Duncan's multiple range test, \*\*\*=p<0.001

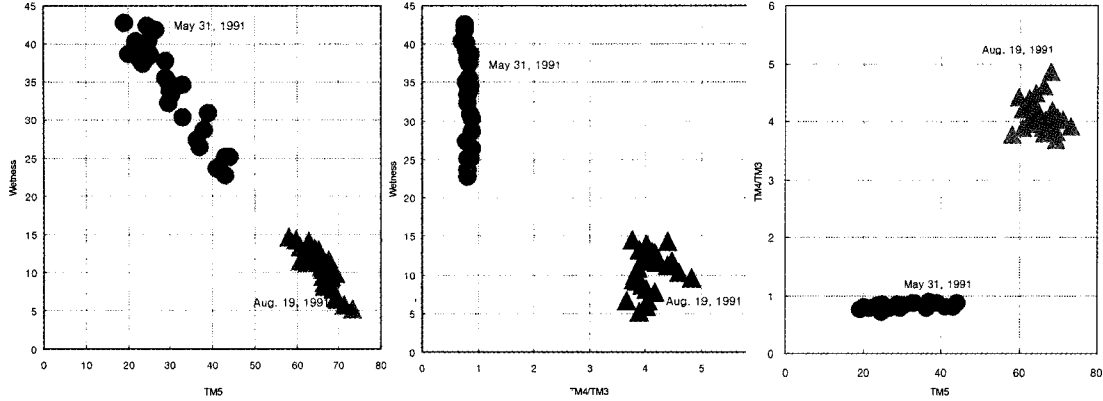


Fig. 2. Relations between data file values of wetness, TM 5, and RVI (TM4/TM3) in each paddy field taken as polygon features by GPS in May 31 and August 19, 1991.

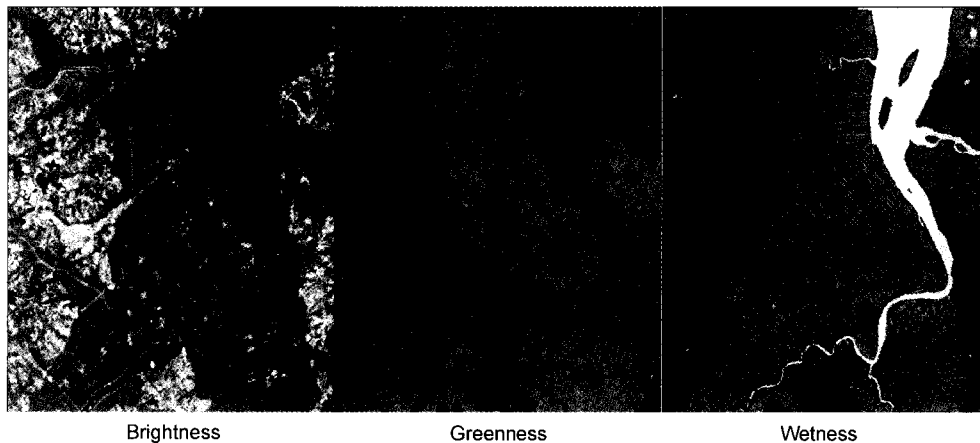


Fig. 3. Applications of tasseled cap algorithm for change detected area between May 31 and August 19, 1991, in terms of brightness, greenness, and wetness.

이와 같이 논 의 시기별 분광반사특성에 기초하여 논면적 추출에 적합한 시기와 밴드를 선정하는 과정에서 GPS를 이용하여 얻은 29개 필지의 논지역에 해당하는 5월 31일과 8월 19일의 TM 5, RVI, 습윤도들을 각각 산점도로 나타내었다(Fig. 2). 1991년 5월 31일의 습윤도는 22~43 범위로 평균 34.27이었고, TM 5는 19~44 범위로 평균 30.10이었으며 RVI는 1 이하였다. 8월 19일의 습윤도는 5~13 범위로 평균 10.62 였고, RVI는 3.7~4.8 범위로 평균 4.08이었다.

5월과 8월의 Landsat TM 화상의 특징을 살펴보기 위해 이들을 각각 밝기값(brightness), 녹색도(greenness), 습윤도(wetness)를 대상으로 변화 감지한 것인데(Fig. 3), 검게 나타난 부분은 변화가 없고 색을 가

지는 highlight 된 부분이 변화된 부분이다. 붉은 색을 띠는 부분이 5월 31일의 특성이 강한 부분이고 옥색(cyan)으로 보이는 부분이 8월 19일의 특성이 강한 부분이다. 임야 지역은 5월에 더 밝고, 논 지역은 8월이 더 밝게 나타났다. 녹색도는 8월이 월등히 강한테 임야 일부에서 5월의 특성이 더 높게 나타났다. 이는 5월에 새로이 돌아나는 활엽수들이 분포하는 지역으로 생각된다. 습윤도는 논물이 노출되는 5월이 작물 균락으로 피복된 8월에 비해 특성이 두드러진 것을 볼 수 있었다. 물, 도시, 주거지는 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 시험한 세가지 특성 중 습윤도가 두시간 논지역의 변화를 가장 분명하게 나타냈으므로 논면적 추정을 위한 입력레이어로 선택하였다.

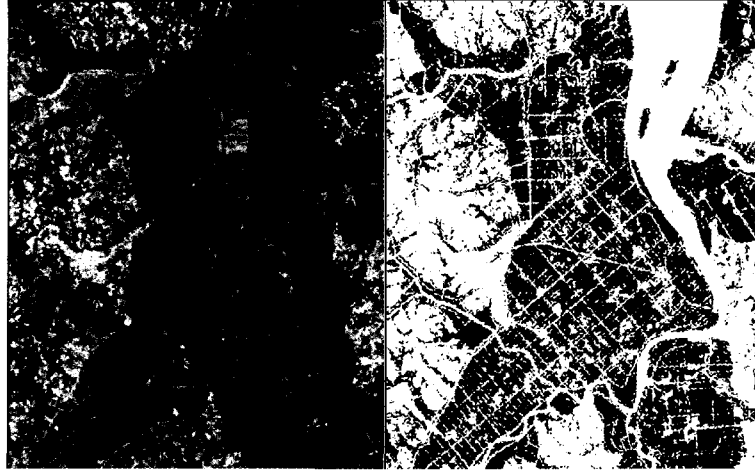


Fig. 4. Paddy field area extracted by biseasonal Landsat TM image.

### 3.3. 벼 재배면적 추정

#### 3.3.1. 규칙기반분류(rule-based classification)

앞의 결과와 같이 논 의 시기별 분광반사특성에 기초하여 이양기에 벼 재배지역이 수체(水體)로 나타나고 작물 군락의 최성기의 RVI가 높은 조건을 만족하는 특성(Fig. 1)에 따라 벼 재배지역을 정하고 Fig. 4와 같이 논면적을 추출하였다.

이는 1991년 5월 31일 Landsat TM 원 畫像과 분석결과로 얻어진 논면적 지도를 나타낸다. 한 시기의 Landsat TM 자료를 이용하여 수행했던 최대우도법에 의한 감독분류 결과와 비교해 볼 때(본 논문에서는 자료 제시하지 않음), 농로의 선구조가 훨씬 뚜렷했고 도로도 선명하게 드러났다. 농로 및 수로와 같이 폭이 수 미터 밖에 되지 않는 것은 실제 畫素 크기가 30 m×30 m인 경우에 구별하기 힘들다. 이들은 대체로 논과 특성이 섞인 혼합화소(mixel; mixed pixel)로 나타나 분류 정확도를 낮추어 한 시기의 자료를 최대우도법으로 분류한 경우, 대개 큰 도로만이 선구조로 나타났다. 반면, 두 시기의 논 의 분광반사특성에 기초한 조건식을 이용하면 논면적 추출에 이용했던 자료값들의 임계값을 달리하여 최적의 면적을 구할 수 있다는 장점이 있을 것으로 생각된다.

규칙기반분류에 의한 벼 재배면적 추출방법에 대한 정확도 검정을 위하여 디지털라이저(digitizer)를 이용하여 연구지역 도엽(1992년 제작)상에 논 지역을 점속성(點屬性)으로 골고루 100군데를 표시하여 추출된 벼 재배지역에 중첩하여 논으로 정확하게 추출되었는지를

Table 4. Paddy field area in study site and accuracy assessed by topomap

Extraction Methods	Paddy field area (ha)	Accuracy (%)
a) Rule-based classification	7291.19	92
b) Supervised classification	9100.98	95
c) Unsupervised classification 1 <sup>1)</sup>	6663.60	87
d) Unsupervised classification 2 <sup>2)</sup>	5704.56	82

<sup>1)</sup> No. of class = 15

<sup>2)</sup> No. of class = 20

확인하였다. 그 결과 92지점이 논으로, 8지점이 논이 아닌 것으로 나타나 92%의 정확도를 보였다(Table 4). 그러나, 검증결과 논이 아닌 지역으로 나타난 지점도 그 차이가 거의 1화소 이내인 경우가 많았고, 임야와 인접한 논지역도 거의 파악되는 것으로 나타났다.

이와 같은 규칙기반분류에 의한 논지역의 파악은 비교적 정확하고 재현성이 있으므로, 임계값에 대한 여러 분야에서의 다각적인 검토 후, 알고리즘화 및 자동화 작업에 대하여 제고할 필요가 있다고 생각한다.

#### 3.3.2. 감독분류법(supervised classification)

교사 및 비교사 분류에 의한 논면적 추출을 위해서는 논 의 분광반사특성에 의해 선택된 1991년 5월 31일과 8월 19일 두 시기의 Landsat TM 밴드 3, 4, 5, RVI 및 습윤도를 각각 유효밴드로 선정하여 중첩한 총 10개의 밴드를 가진 새로운 화상을 생성하여 분류에 이용하였다.

최대우도법에 의한 감독분류를 위한 논을 포함한 7

**Table 5.** Mean and standard deviation of training samples for supervised classification

Bands	Training samples	Paddy	Forest	Water	City	Bush+ upland	Village	Manmade
	Band* 1	Mean	59.13	38.71	55.73	74.43	44.98	63.82
	Std	7.1	1.7	4.2	11.7	8.8	4.6	20.9
Band 2	Mean	51.60	70.49	25.03	81.71	110.68	67.41	100.83
	Std	8.9	4.8	2.1	9.5	10.4	5.2	12.1
Band 3	Mean	22.60	61.25	10.05	116.60	91.96	92.85	153.98
	Std	6.0	4.1	1.2	18.3	15.0	13.3	34.7
Band 4	Mean	0.86	1.81	0.45	1.10	2.56	1.07	1.11
	Std	0.1	0.1	0.06	0.2	0.6	0.09	0.2
Band 5	Mean	42.12	4.07	43.60	0.03	2.72	0.26	0.02
	Std	5.2	2.7	2.5	0.3	3.3	1.2	0.1
Band 6	Mean	28.07	33.75	34.29	55.48	30.64	45.82	55.58
	Std	1.0	10.0	1.9	12.8	3.8	6.9	15.8
Band 7	Mean	119.23	73.12	27.75	84.88	95.88	92.00	90.35
	Std	4.2	10.14	1.16	13.4	10.3	8.5	7.89
Band 8	Mean	66.55	55.77	9.67	100.06	78.49	93.48	116.15
	Std	3.1	14.0	1.3	20.6	10.0	10.3	28.5
Band 9	Mean	4.25	2.21	0.81	1.59	3.10	2.26	1.75
	Std	0.2	0.2	0.04	0.5	0.5	0.7	0.7
Band 10	Mean	12.10	7.97	32.08	0.10	0.39	0.26	0.29
	Std	2.1	4.3	2.0	0.5	1.1	1.3	1.2

\*Band 1=Band 3 of May 31, 1991, Band 2=Band 4 of May 31, 1991,  
 Band 3=Band 5 of May 31, 1991, Band 4=RVI of May 31, 1991,  
 Band 5=Wetness of May 31, 1991, Band 6=Band 3 of August 19, 1991,  
 Band 7=Band 4 of August 19, 1991, Band 8=Band 5 of August 19, 1991,  
 Band 9=RVI of August 19, 1991, Band 10=Wetness of August 19, 1991.

개의 분류항목에 대한 밴드별 평균값과 표준편차를 Table 5에 나타내었다. 논은 1991년 5월 31일 Landsat TM 밴드 5(band 3)와 습윤도(band 5)에서 물을 제외한 다른 분류항목과 뚜렷이 구별되었고, 1991년 8월 19일 자료의 TM 밴드 4(band 7)와 RVI(band 9)에서 가장 높은 값을 나타내어 논 구분에 큰 역할을 하였을 것으로 생각된다. 임야는 전반적으로 논과 광반사특성과 비슷한 경향을 보이나 5월 31일의 RVI(band 4)값과 습윤도(band 5) 값에서 잘 구별된다. 물은 5월 31일의 경우는 논과 비슷한 특성을 가지나 8월 19일의 TM 밴드 4(band 8), RVI(band 9), 습윤도(band 10)에서는 뚜렷이 구분된다. 도심지와 촌락 및 인공구조물들의 분광반사특성은 절대값의 차이가 있을 뿐 같은 경향을 보인다. 임야지역과 구릉지의 발

과 관목지역도 마찬가지로 밴드간 절대값의 차이는 있되 경향은 거의 같았으나, 1991년 8월 19일의 습윤도(band 10) 값은 차이가 크게 나타났다.

이와 같이 선정된 분류항목을 토대로 최대우도법에 의한 분류를 수행한 바(Fig. 5) 그 결과에 대한 정확도 검정을 error matrix로 나타내었다(Table 6). 연구지역 면적이 비교적 넓지 않고 지형과 지목이 단순한 편으로 분류정확도가 높게 나타났다. 특히 분류정확도가 논, 임야, 물은 100%였고, 도심지가 91.8%, 구릉지의 밭 및 관목지역이 97.4%, 촌락이 85.2%, 인공구조물이 92.3%로 나타났다. 정확도가 비교적 낮게 나타난 촌락은 화소의 약 15% 정도가 도심지로 분류되었다. 전체의 분류정확도는 97.2%였다.

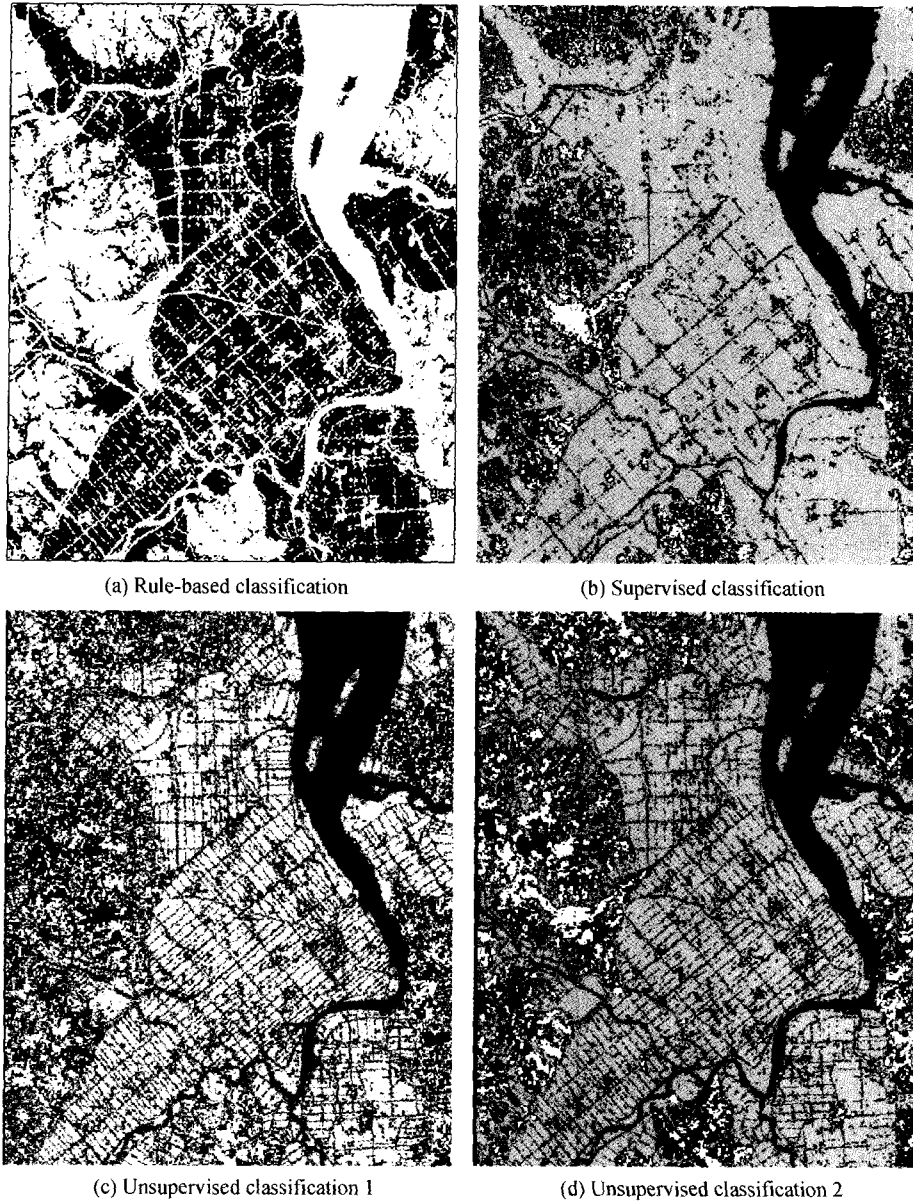


Fig. 5. Paddy field area extracted by four different methods.

### 3.3.3. 무감독분류법(unsupervisedclassification)

Clustering을 위한 분류축으로 변이가 가장 큰 주성분축(principal axis)으로 한 ISODATA법을 이용하여 분류항목수를 각각 20항목, 15항목으로 비교사 분류하였다(Fig. 5). 분류된 항목들 중 논을 많이 포함하는 항목을 선정하고 나머지 미지의 항목에 대해서도 적합하다고 생각되는 항목을 부여하였다. 분류항목수를 15개로 정한 경우 3 항목, 6663.60 ha를 논으로 선정하

였고, 20개로 정한 경우 6항목, 5704.56 ha를 논으로 선정하였다.

### 3.3.4. 벼 재배면적 추정치의 방법간 비교분석

규칙기반분류, 교사 및 비교사 분류법으로 추출된 벼 재배지역은 Fig. 5와 같고, 재배면적과 지형도상의 논지역을 이용한 정확도는 Table 4와 같다. 최대우도법에 의한 감독분류 결과 벼 재배지역이 9100.98 ha로 가장 넓게 추정되었고, 다음 규칙기반분류, 분류항



**Table 6.** Error matrix resulting from classifying training set pixels (Unit: Pixel)

	Paddy	Forest	Water	City	Bush+Upland	Village	Man-made
Paddy	92 (100)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Forest	0 (0)	69 (100)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Water	0 (0)	0 (0)	260 (100)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
City	0 (0)	0 (0)	0 (0)	111 (91.8)	3 (2.6)	4 (14.8)	3 (5.8)
Bush+Upland	0 (0)	0 (0)	0 (0)	4 (3.3)	114 (97.4)	0 (0)	1 (1.9)
Village	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0.8)	0 (0)	23 (85.2)	0 (0)
Man-made	0 (0)	0 (0)	0 (0)	5 (4.1)	0 (0)	0 (0)	48 (92.3)
Total	92 (100)	69 (100)	260 (100)	121 (100)	117 (100)	27 (100)	52 (100)

Overall accuracy = (92 + 69 + 260 + 111 + 114 + 23 + 48)/738 = 97.2%

**Table 7.** Paddy field area extracted by four different methods in Woogang-myeon

Methods for paddy area extraction	Paddy field area extracted (ha)	Difference from statistical data of Woogang-myeon (ha)
Rule-based classification	1967.31 (87.7 <sup>3)</sup> )	-275.38
Supervised classification	2522.97(112.5)	+280.28
Unsupervised classification 1 <sup>1)</sup>	1638.72( 73.1)	-603.97
Unsupervised classification 2 <sup>2)</sup>	1865.61( 83.2)	-377.08

<sup>1)</sup> No. of class = 15

<sup>2)</sup> No. of class = 20

<sup>3)</sup> Per cent to total study area

목 수가 15개인 ISODATA법, 분류항목수가 20개인 ISODATA법의 순으로 나타났다.

규칙기반분류에 의한 벼 재배면적의 검증에서와 같이 지형도상의 논지역을 기준으로 100지점을 확인한 결과, 논지역의 분류정확도 역시 재배면적 크기와 같은 순서로 나타났다. 즉, 벼 재배면적이 크게 추정될 수록 정확도도 높게 추정되는 경향이였다. 토지이용 지목분류가 도엽단위로 집계된 자료가 없으므로 좀더 객관적인 정확도 비교가 이루어 지지 않았다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 연구지역 중 우강면에 대해서, 1991년 당진군 통계연보 상의 토지이용 지목 상의 논면적을 기준으로 벼 재배면적을 구하고 통계연보와의 면적차이를 산출하였다(Table 7). 우강면의 벼 재배면적은 감독분류에 의해 2522.97 ha로 가장 크게 추정되었고, 다음이 규칙기반분류와 분류항목수를 20으로 한 무감독분류법으로 각각 1967.31 ha와 1865.61 ha로 추정되었다. 분류항목수를 15로 한 무감독분류에 의한 벼 재배면적이 1638.72 ha로 가장 작게 추정되었다. 추출된 우강면의 벼 재배지역은 Fig. 6과 같다. 이때, 통계연보 자료상의 우강면의 논

면적(2242.69 ha)에 가장 가깝게 추정된 결과는 규칙기반분류이였다.

본 연구에서는 흙으로 된 논둑은 포함하면서 콘크리트나 아스팔트로 만든 논외의 경계, 수로와 농로를 제외한 지역을 논으로 간주하였다. 논외의 다원적 기능을 정량화 하는 측면에서는 논둑을 제외한 순수한 논을 추정하는 것이 농업생태학 연구에 필요할 것으로 생각했기 때문이다. 하지만, 일반적으로 통계연보상에 나타난 논외의 면적은 농로, 수로 및 논둑의 면적을 포함하는 것으로 알려져 있으므로 감독분류에 의해서 추정된 논외의 면적이 크게 나타난 것은 논둑이 많이 추출된 결과로 생각된다.

벼 재배지역은 추정방법에 관계없이 이앙기와 출수기, 두 시기의 자료를 이용한 경우 정확하게 구분되었다. 벼 재배면적 추정방법 중 교사 및 비교사 분류법은 분류작업을 수행하는 사람(supervisor)에 따라 분류결과와 정확도가 달라질 수 있다. 위성의 자료값에 기반한 규칙기반분류(rule-based classification)은 매우 쉽고, 일단 임계값이 정해지면 넓은 지역에 대해서도 신속한 작업이 가능할 것으로 생각된다.

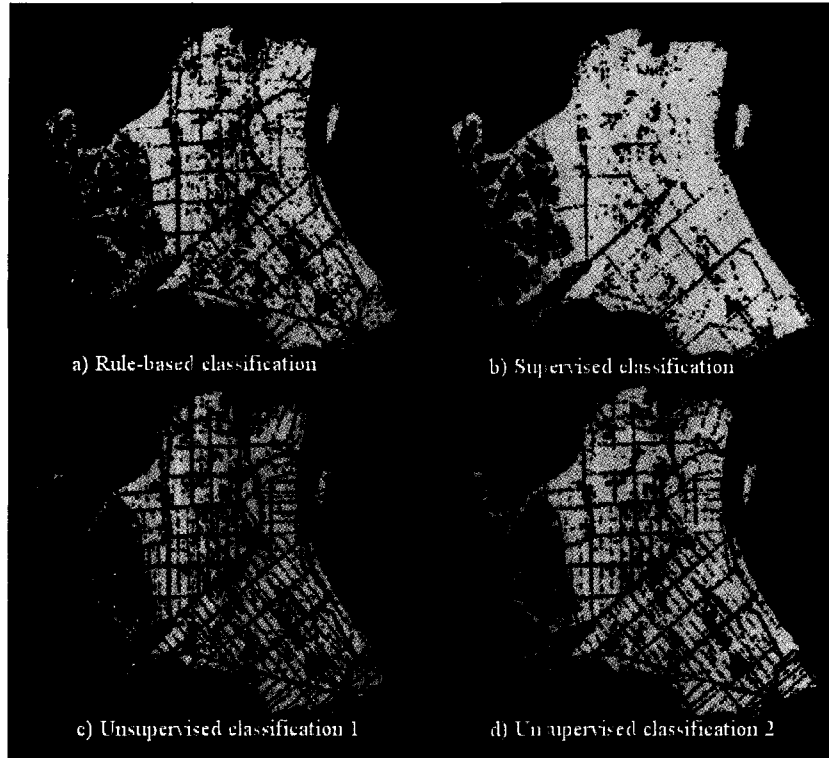


Fig. 6. Comparisons of estimating methods for paddy field area in Woogang-myeon, Dangjin-gun, Chungnam Province.

#### IV. 요약

논의 시기별 파장별 분광반사특성을 조사하기 위해, Landsat TM 밴드, RVI, 습윤도의 특성을 분산분석한 결과, 가시광선 영역의 TM 밴드 1, 2, 3의 논지역 평균 자료값은 식물색소에 의한 광흡수와 관련이 많아 군락형성이 최대인 8월 19일과 9월 1일에 가장 낮아졌다가 등숙기인 9월 중·하순에 다시 높아졌다. 중간 적외선 영역인 TM 밴드 5와 7은 수분에 민감하여, 담수상태로 수체의 영향이 컸던 5월 31일과 6월 2일의 자료값이 가장 낮았고, 군락의 최성기에서 성숙기로 접어들면서 식물체의 수분함량이 줄어들어 자료값이 점점 높아졌다. 한편, RVI는 출수·개화기인 8월 19일과 9월 1일에 가장 높았고, 습윤도는 벼의 생육초기에서 성숙기로 갈수록 계속 낮아졌다. 이앙기인 5월 31일, 출수기인 8월 19일 두시기 자료에서 수분에 민감한 TM 밴드 5, 식생의 특징이 드러나는 RVI, 또한 모든 밴드의 특성이 포함된 습윤도를 벼 재배면적 추정을 위한 정보로 이용하여, 이앙기에 담수상태이고

같은 지역이 출수기에 무성한 식생의 특징을 보이는 곳을 벼 재배지역으로 정하여 벼 재배면적 지도를 작성하였다. 벼 재배면적은 7291.19 ha로 추정되었고, 지형도를 이용한 100지점의 정확도 검증 결과 92%로 나타났다. 1991년 5월 31일과 8월 19일 두 시기의 Landsat TM 밴드 3, 4, 5, RVI 및 습윤도를 각각 유효밴드로 선정하여 중첩한 총 10개의 밴드를 가진 화상을 생성하여 기존의 분류법에 이용하였다. 최대우도법에 의한 감독분류 결과 벼 재배면적은 9100.98 ha였다. Error matrix에 의한 분류정확도는 97.2%로 나타났고, 지형도를 이용한 정확도는 95%로 나타났다. 분류항목수를 15개와 20개로 한 ISODATA법에 의한 비교사 분류결과 벼 재배면적이 각각 6663.60 ha와 5704.56 ha로 추정되었고, 지형도에 의한 분류정확도는 각각 87%와 82%로 나타났다. 통계연보를 기준자료로 하여 분류방법간 비교를 위하여 당진군 우강면에 대하여 벼 재배면적 비교를 한 바 감독분류에 의해 2522.97 ha로 가장 크게 추정되었고, 다음이 규칙기반분류와 분류항목수를 20으로 한 무감독분류법으로 각각

1967.31 ha와 1865.61 ha로 추정되었다. 분류항목수를 15로 한 무감독분류에 의한 벼 재배면적이 1638.72 ha로 가장 작게 추정되었다. 이때, 통계연보 자료상의 우강면의 논면적(2242.69 ha)에 가장 가깝게 추정된 결과는 규칙기반분류이었다. 벼 재배지역은 추정방법에 관계없이 이앙기와 출수기, 두 시기의 자료를 이용한 경우 다소 차이는 있으나 정확하게 구분되었다. 위성의 분광반사 특성을 이용한 규칙기반분류는 매우 쉽고, 재현성이 있으며, 넓은 지역에 대한 신속한 작업이 가능하다.

### 인용문헌

- 김기영, 1994: SAS 입문 및 기초통계 처리. 자유아카데미.
- 김동수, 엄기철, 윤성호, 윤순강, 황선웅, 1994: 논 왜 지켜야 하는가. 따님출판사.
- 홍석영, 1998: 원격탐사 자료를 이용한 생육정보 분석 및 재배면적 추정. 경북대학교 박사학위 논문.
- ERDAS, 1997: Field Guide 4th Edition, ERDAS Inc. p. 158~159.
- <http://www.naqs.go.kr> (국립 농산물품질관리원)
- Kauth, R. J. and G. S. Thomas. 1976: The tasseled cap-A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. Proceedings, Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. West Lafayette, IN: Laboratory for Applications of Remote Sensing, pp. 41~51.
- Okamoto, K. and M. Fukuhara. 1996: Estimation of paddy field area using the area ratio of categories in each mixel of Landsat TM. *Int. J. Remote Sensing*, **17(9)**, 1735~1749.
- Panigrahy, S. and J. S. Parihar. 1992: Role of middle infrared bands Landsat thematic mapper in determining the classification accuracy of rice. *Int. J. of Remote Sensing*, **13(15)**, 2943~2949.
- Rao, P. P. N. and V. R. Rao. 1987: Rice crop identification and area estimation using remotely sensed data from Indian cropping patterns. *Int. J. of Remote Sensing*, **8**, 639~650.
- Tennakoon, S. B., V. V. N. Murty, and A. Eiumnoh. 1992: Estimation of cropped area and grain yield of rice using remote sensing data. *Int. J. of Remote Sensing*, **13(3)**, 427~439.