

Fuyo-1 OPS 자료를 이용한 낙동강 하류지역의 환경계측 시고

김 천

국민대학교 산림자원학과

A Pilot Study on Environmental Understanding and Estimation of the Nak-Dong River Basin Using Fuyo-1 OPS Data

Choen Kim

Department of Forest Resources, Kookmin University

Email : choenkim@kmu.kookmin.ac.kr

Abstract

The objectives of this investigation are :

1. To analyze spectral signature and the associated vegetation index for geometric illumination conditions influenced by low solar elevation and high slope orientations in mountainous forest.
2. To assess the accuracy of the spectral angle mapper classification for the a winter land cover in comparison with the maximum likelihood classification.
3. To produce the image of water quality and water properties that could be used to estimate the water pollution sources and the tide-included by turbid water in estuarine and coastal areas.

These objectives are to characterize environmental and ecological monitoring applications of the Nak-Dong River Basin by using Fuyo-1 OPS VNIR data acquired on December 26, 1992.

The Results of this paper are as follows :

1. The spectral digital numbers and vegetation indexes (NDVI and TVI) of mountainous forest are higher on the slope facing the sun than on the slope hidden the sun under low sun elevation condition.
2. The spectral angle mapper algorithm produces a more accurate land cover classification of areas

1996년 8월 30일 접수 ; 1996년 9월 28일 수리.

- with steep slope, various aspects and low solar elevation than the maximum likelihood classifier.
3. The maximum likelihood classification images can be used for identifying the location and movement of both freshwater and salt water, regardless of geometric illumination conditions.
 4. The color-coded density sliced image of selected water bodies by using the near-infrared band 3 can provide distribution of the water quality of the Lower Nak-Dong River.
 5. The color-coded normalized difference vegetation index image of the selected mountain forest is suitable to classify winter vegetation cover types, i.e., forest canopy densities for slope orientations.

요 약

본 연구는 낙동강 하류지역의 지속가능한 개발과 환경보전을 위하여 위성탑재 Fuyo-1 OPS VNIR 주사자료에 의한 겨울철 환경계측을 시범·고찰하였다. 따라서 그림자 효과가 강하게 발생하는 산림에 대해 방향성 분광반사특성과 식생지수를 중점분석하고 분광각대응분류를 통하여 겨울철 토지피복도를 산출하였다. 그리고 해·담수 분포도와 낙동강 하류의 수질오염도를 작성하기 위하여 가림기법, 최대우도추정분류기, 그리고 유색밀도편분기법을 응용하였다.

본 연구에서 획득된 결과를 요약하면 첫째로 양지사면의 분광반사치와 식생지수값 모두 음지사면보다 높다. 둘째로 위장반사현상이 일어나는 지역을 주제별 분류를 할 경우 분광각대응분류 산법이 유용하다. 셋째로 겨울철 낮은 태양고도에도 해·담수분포도를 산출하는데 최대우도추정분류산법이 적합하다. 넷째로 근적외선밴드를 사용하여 가림·유색밀도편분기법에 의해 산출된 수질오염도는 낙동강의 수질상태를 분석할 수 있다. 마지막으로 유색코드 정규식생지수화상은 사면방위에 따른 임관밀도를 파악하는데 이용된다.

1. 서 론

인구증가와 도시화·산업화에 의해 자연녹지의 감소와 인위적 자연개조가 가속화되고 있다. 이에 정비례하여 우리나라민들의 환경적 욕구가 증대되고 자연생태계보호에 대한 인식이 높아지는 시점에서, 원격탐사기법을 사용하여 환경계측에 대한 조사가 그 어느 때보다 절실하게 요구되는 터다.

국내에서 이미 Landsat MSS·TM 그리고 SPOT 주사자료를 사용하여 기상·해양·지질·국토관리·농림업 분야에서 토지이용·자원·환경조사에 대해 성공적으로 연구 보고한 바 있지만 복합생태계에 대한 응용연구로서는 본 연구가 시범인 것이다. 대규모 개발지인 낙동강 하

류지역은 하천·연안생태계를 포함하기 때문에 이곳의 자연생태계를 복원하는데 많은 세월이 요구될 뿐 아니라 이와 같은 복원에 대한 환경계측문헌은 찾아보기 힘들다. 그러므로 위성주사 자료를 통하여 개발전의 낙동강하류지역에 대한 정량화 생태조사는 무엇보다 근자연적 개발을 위해 필요하다. 본 논문에서는 환경계측을 위해 겨울철 식생지수 획득과 주제도 작성에 연구초점을 맞춘다. 왜냐하면 이시기에 낙동강 염분·오염상태가 최고조에 도달하기 때문이다. 그리고 겨울철 낮은 태양고도일때 그림자효과가 네 계절 중 가장 크게 발생하므로 다중분광 주사자료에 기록된 분광반사치는 피복체의 분광반사특성(spectral reflectance signature)에 외부요인(태양고도·방위, 주사각도 그리고 지형특성)의 영향이 포함된 위장반사현상을 나타낸다. 특히, 산림의 경우 식생지수 획득과 주제별 항목분류에 이방향성(bidirectional)효과를 고려하지 않을 수 없다. 따라서 본 연구는 첫째, 겨울철 피복체의 분광반사특성과 방향성을 분석한다. 둘째, 새로운 감독분류방법, 즉 분광각 대응(spectral angle matching)방법에 의한 주제별 분류계급(class)을 최대우도추정분류(maximum likelihood classification)의 결과와 비교 검토한다. 셋째, 산림식생지수도 산출외에 낙동강하구의 수조류 서식처에 대한 화상판독 기술을 응용하고 해·담수의 분포도와 하천의 수질오염도를 작성한다.

2. 연구대상지역과 주사자료

2.1. 연구대상지역

면적크기 801,7176 km²의 본 연구대상지역은 "산림 및 농생태계(agroecosystem) 그리고 하천 생태계 외에 조간대지역을 포함한 연안 생태계로 구성되어 있다. 낙동강 하구지역은 행정구역으로는 부산광역시 강서구에 속하지만 만조 시에 드러나는 사구 즉, 신호도, 대마등, 장자도, 갈매기등 그리고 백합등으로 형성된 조간대 지역과 갈대군집의 식생이 발달한 삼각주의 분류 및 서낙동강(죽림강)수역은 이미 천연기념물 제179호로 지정되어 겨울 철새 도래지로 보호받고 있는 실정이다. 또한 농지에서 이미 전용된 기존의 사상공단(장림포함)과 신호·녹산공단이 현재 개발되고 있고 가덕도도 신항만이 건설될 구상이 세워져 있어 인위적 영향에 의해 자연개조가 가속될 전망이다. 특히 지표면의 반사광을 광역적으로 주사한 Fuyo-1(JERS-1 개명) OPS(optical sensor) 자료로부터 획득된 낙동강 하구의 환경계측자료는 기존의 속성자료와 통합하여 야생조류의 서식처 변형을 파악가능케한다. 왜냐하면 낙동강 하구의 수변지 식생은 갈대군집, 부들-갈대군집, 줄-부들-갈대군집, 띠-갈대군집, 망초-띠군집, 억새-띠군집, 그리고 가시연-연군집 형태로 구성되어 있어 갈대식생의 천이분포가 수급류의 서식처에 중대한 환경변화로 작용하기 때문이다(박봉규, 1993). 그리고 낙동강 하구둑 남쪽에 위치한 간석지에 분포하는 세모 고랭이의 군

1) 우리나라에서는 일반적으로 산림과 삼림을 혼용해서 사용하지만 학문적으로 산림(山林)은 산지림(山地林)의 준말이고 평림(平林), 즉 평지림(平地林)과 합하여 삼림(森林, forest)으로 정의된다.

락면적 변화는 수급류의 서식밀도와 염도상태에 의한 것이기 때문이다(윤해순, 1993).

본 연구대상지역중 김해군의 산림현황은 1992년말 조사한 활엽자원보고서(임업연구원, 1994)에서 발췌 계산하였다. 김해군의 산림면적은 11,843ha에 해당하며 평균입목축적량은 42.3m³/ha이다. 이중 활엽수림의 면적은 3,452ha를 차지하고 평균입목축적량은 88.95m³/ha이다. 부산광역시 산림현황의 경우에는 1994년 12월에 현지 조사하였다. 왜냐하면 녹지자연도 지역 정밀조사(환경처, 1994)에 의하면 부산시 행정구역 내에는 녹지자연도<8>등급의 면적이 강서구 천가동(가덕도)의 365ha밖에 잡혀 있지 않기 때문이다. 따라서 현지 조사한 결과 사하구에 있는 물운대 유원지의 해송입분은 IV영급이며 그 재적량은 최소 70m³/ha(입목본수: 2,800 본/ha)에서 최대 160 m³/ha(입목본수: 1,500 본수/ha)로 나타난다. 그리고 그 외 부산시에 있는 산림지역의 입목축적량은 우리 나라의 평균입목축적량인 46m³/ha보다 낮은 수치를 갖고 있다.

본 연구대상지역의 목적(계급)별 면적들은 위색혼성화상 관독에 의한 표본조사와 감독분류를 통하여 산출하였다(표 3참조). 왜냐하면 현재 내무부 지적통계의 토지 중별 현황만으로 계측하고자 하는 녹지면적과 거주지(urban), 나지 및 수지등의 비녹지 면적을 정확히 파악할 수 없기 때문이다. 아울러 저습지를 포함한 하천지역과 해수와 담수가 합치는 기수지역에 대한 면적 파악은 분광반사특성을 이용한 원격탐사에 의해서만이 정확하고 용이하기 때문이다.

2.2. 사용된 주사자료

본 연구에 사용된 위성 Fuyo-1의 광학감지기(OPS)는 종방향(cross-track) 18.3m와 횡방향(along-track) 24.2m의 높은 공간분해 능력을 갖고 있을 뿐만 아니라 다중분광밴드(multispectral band)로 지상 피복체의 반사광 및 방사광을 동시에 수집한다. 이중 4개의 밴드, 즉 가시광선·근적외선(VNIR : Visible and Near-infrared)의 파장영역만 본 연구를 위해 이용했다(표1 참조). 특히 근적외선을 주사하는 4번 밴드는 3번 밴드와 함께 입체시의 화상을 만든다.

고도 568km와 궤도경사각 98.2°를 유지하며 관측폭 75km를 지표면과 연직·전방시각15.3°으로 주사하는 Fuyo-1 OPS는 종래 다른위성의 감지기보다 정확한 광검정(calibration)능력을 보유하고 있다. 왜냐하면 6bits의 수치화 분별성능을 가진 4096개의 광감응소자를 선상 CCD(charge coupled device)로 배열하고 있기 때문이다. 본 연구에 사용된 CCT(computer

Table 1. Specification of Fuyo-1 OPS VNIR subsystem(JAROS, 1993)

Band Number	Wavelength(μm)	Remarks(Spectral Location)
1	0.52-0.60	Green
2	0.63-0.69	Red
3	0.76-0.86	Near-infrared, Nadir-looking
4	0.76-0.86	Stereoscopic, Forward-looking

compatible tape)는 9track으로 주사자료를 입력하였고 UTM도법에 따른 측지보정된 BSQ(band sequential) level 2와 입체화상을 만들 수 있는 BSQ level 5의 등급배열(format)로 구성되어 있다. 본 연구대상지역을 포함하는 CCT의 궤도좌표들은 경로(path)번호 084와 열(row)번호 241과 242를 갖는다. 그리고 제공된 CCT의 주사일은 1992년 12월 26일이며 주사시간은 한국표준시 11시 22분 54초와 11시 23분 04초 사이이다. 주사 당시 구름의 존재는 0%이다. 따라서 연구대상지역에 도착한 입사광속 L_{λ} ($\theta_i = 61.1^\circ, \phi_i = 160.8^\circ$)는 상이한 반사율의 피복체로 나오는 반사광 중 반사천정각 $\theta_r = 0$ 과 $\theta_r = 15.3^\circ$ 을 가진 반사광만 각각 자료등급 2와 자료등급 5에 기록되었다. 특히 각기 다른 반사천정각의 반사광을 주사입력한 CCT는 야생조류서식처 파악을 위한 조건대지역의 지형분석에 이용된다(그림 10b참조).

3. 방향성 분광반사 특성과 분광각 대응분류

3.1. 방향성 분광반사특성

주사자료의 영상분류를 가능하게 하는 근본적인 이유는 지표면에 있는 피복체의 반사율(reflectance)이 다르기 때문이다. 이 반사율이 파장에 따라 다를 경우에 분광반사율(spectral reflectance)이라 하고 피복체의 반사성질에 의해 변할 경우 특성(signature)이라 정의한다. 그러나 같은 피복체의 반사성질을 가지고 있더라도 자연상태 하에서 측정할 경우 상이한 태양광선의 입사방향과 감지기로 향한 반사방향에 따라 피복체의 반사율이 변한다. 이러한 현상을 방향성 분광반사특성이라 부르며 일반적으로 그림1과 같이 3가지 유형으로 나눌 수 있다.

첫째, 전방향의 반사 또는 산란(forward scatter direction)성질을 가진 피복체이다. 평평한 금속성 물질과 수직적으로 분화되지 않고 수평적인 층을 이루는 식생, 즉 갈대 및 밀이 해당된다. 그러나 위성주사자료를 이용하여 갈대의 분광반사 방향성을 주사할 경우 반드시 상이한 반사고도각의 반사광을 주사한 자료에 의해서만 가능하다. 왜냐하면 반사고도각 $\theta_r = 0$ 을 가진 반사광만 주사된 Fuyo-1 OPS VNIR자료로 갈대의 분광반사 방향성을 분석한 결과 오히려 산란방향의 반사성질이 실제로 나타났기 때문이다(조성훈, 1995). 식생과 경사가 없고 토양면이 일정한 경우도 전방향의 반사성질을 갖는다.

둘째, 후방향의 반사성질을 가진 피복체는 지표상의 대부분 식생들이다. 무엇보다 원추형의 침엽수는 부채꼴형의 활엽수보다 후방향성질이 뚜렷하다. 그리고 경사가 없는 토양이라 할지라도 토양면이 거칠 경우 이에 속한다.

셋째, 산란방향과 또는 수직상 반사방향(nadir scatter direction)을 나타내는 피복체는 고운 모래와 인공적으로 표면에 $BaSO_4$ 물질을 입힌 람베르트판이다.

전술한 외에 방향성을 고려해야할 사항은 지형과 그림자이다. 후자에 있어서 태양의 고도와 방위각이 분광반사치의 변화요인으로 작용하지만 지형, 즉 표고 및 사면방위 그리고 경사도와

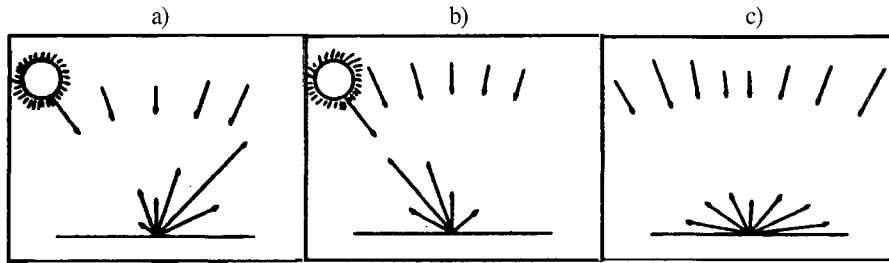


Figure1. This illustration shows the three different types of the reflecting directionality from a surface : a) forward scatter(reflecting) direction, b) backward scatter(reflecting) direction, c) nadir scatter perfectly diffuse reflecting direction (Hildebrandt, 1984).

함께 변화할 경우 분광반사 특성파악은 대단히 복잡하다. 이러한 이유 때문에 평탄한 지형은 산악지형보다 방향성영향을 덜 받기 때문에 위성주사자료는 방향성 보정없이도 농지이용분류를 비롯한 하천·해양의 조사에 잘 활용할 수 있다.

3.2. 분광각 대응분류

주사자료에 입력된 분광반사 반응은 DN(digital number)값으로 표시된다. 그것은 피복체의 반사율 아닌 단지 절대 밝기만 나타나기 때문에 그림자 영향에 의해 심한 위장반사현상이 일어나는 산림의 DN값에 대해서는 오분류를 할 수 있다. 본 연구에서는 겨울철 낮은 태양고도, 즉 $h_s=28.9^\circ$ 일 때 그림자효과가 심하게 나타나므로 이방향성효과가 강하게 표출되는 지표면, 즉 산림을 분류할 수 있는 산법(algorithm)이 요구될 수밖에 없다. 지금까지 위성주사자료를 이용하여 토지이용분류(land use classification)나 식생도를 작성하기 위해서는 분류작업이 필수적이다. 이러한 분류기법에는 크게 3가지로 구분된다. 다시말하면 무감독분류(unsupervised classification)와 감독분류(supervised classification) 그리고 결정규칙(decision rule)이 다단계 처리(procedure)로 이루어지는 fuzzy 분류를 비롯하여 화상분류과정에 보조자료(ancillary data)와 결합하는 분류로 나누어진다. 특히 최근에는 분류결과의 정확도를 높이기 위해 보조자료와 결합되는 분류기법들을 이용하고 있는 추세이며 그 기법들은 geographical stratification, classifier operations, post-classification sorting 그리고 앞선 방식들을 조합하는 layered classification logic과 rule-based expert system 방식들을 사용한다(Jensen, 1996). 그러나 다단계 처리과정을 가지는 분류기법들은 기존의 통계적 분류기법을 보다 정확히 분류할 수 있으나 처리 각 과정마다 많은 단계가 포함되어 있을 뿐만 아니라 비용·시간 면에서 소모적이다. 왜냐하면 그림자 효과에 의해 영향받는 지역을 주사한 원격탐사자료를 분류할 경우에 앞서 언급한 기법들은 분광반사치에 의해 분류의 정확도를 높이는 것이 아니기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 그림자 영향에 무

관하게 분광반사특성에 따라 분광반사치를 분류할 수 있는 분광각 대응분류산법을 이용하여 겨울철 토지이용분류를 시도하였다. 분광각 대응분류 산법은 n차원(밴드)의 측정공간에서 각 피복체(분류항목)들에 대한 분광반사에너지의 분포상태, 즉 화소(pixel)들의 공간위치를 벡터의 길이(length)가 아닌 방향(direction)으로 분리한다(그림 2참조).

따라서 어떤 피복체(또는 분류항목)에 대한 분광반사 반응, 즉 분광반사치 DN값을 이방향효과 또는 상이한 그림자 영향하에 조사하여 다차원(다밴드간)공간에서 벡터로 취급하여 두 벡터 사이각을 분광각(spectral angle)으로 설정하든지 아니면 검정(reference)분광반사치와 두 밴드(또는 다밴드)로부터 계산된 분광반사치를 이(다)차원 공간에서 벡터로 표시하여 분광각을 구한다.

그리고 분광각 대응분류산법은 확실한 분광반사치와 다밴드로 구한 분광반사치를 다차원공간에서 각각 벡터로 표시하여 한계분광각(이차원의 단위는 radians, 삼차원은 steradians)으로 유사성을 찾아 분류한다. 따라서 비교하려는 영상의 분광반사치가 표준 분광반사치와의 분광각이 한계분광각보다 클 때에는 다른 피복체, 즉 다른 분류항목(계급)으로 취급한다.

그림 2에서 보는 바와 같이 그림자 영향을 많이 받는 피복체는 밝기가 어두운 점(dark point) 가까이 있고 지형조건에 의해 분광반사치가 높을수록 두 벡터사이에 있으면서 어두운 점(원

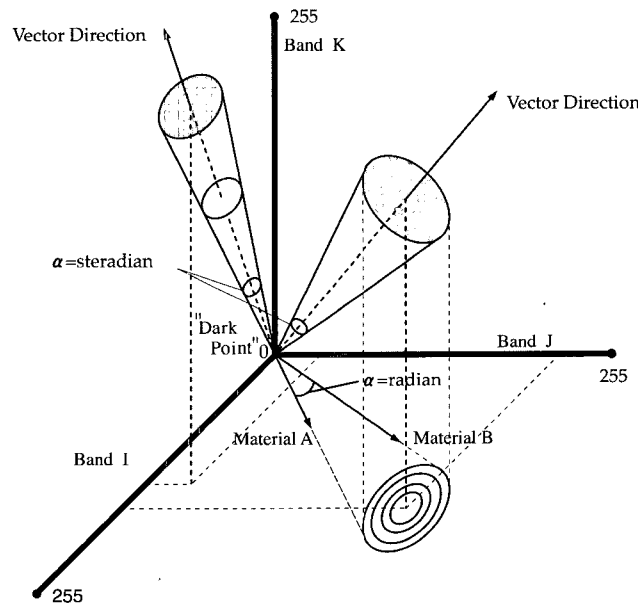


Figure 2. Diagram of two-and three-dimensional concept of the spectral angle mapper(SAM) classification. Darkly shaded pixels should fall near the origin, the dark point (Kim, 1996)

점)에서 멀어진다(Research System, 1995).

$$\alpha = \cos^{-1} \left\{ \frac{\vec{t} \cdot \vec{r}}{\|\vec{t}\| \cdot \|\vec{r}\|} \right\}$$

분광각 대응분류 산법을 수식으로 표시하면 다음과 같다(CSES and CIRES, 1992).

- 즉 α = 분광각 (spectral angle)
 r = 표준 분광반사치 (reference spectrum)
 t = 임의 또는 비교 분광반사치(unknown spectrum)

$$\alpha = \cos^{-1} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_j}{\left\{ \sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right\}^{1/2} \left\{ \sum_{i=1}^{nb} r_j^2 \right\}^{1/2}} \right\}$$

또 다르게 나타내면

이 식에서 nb는 주사자료의 밴드수와 같다(Yuhas and Goetz, 1993). 그림자 영향이 아닌 다른 이방향성효과에 의해 영향을 받은 분광반사치에 대한 분광각 대응분류의 산법적용은 문헌적으로 아직 조사된 바 없다.

4. 결과 및 고찰

Fuyo-1 OPS VNIR 자료에 준하여 환경계측을 산출하는 연구대상지역은 화소수 2,785,441개 (화상 084-241의 1,562,501개와 화상 084-242의 1,222,940개)를 차지하며 지표면적 802,708,387.4 km²에 해당한다. 본 연구의 실제면적에 계산된 화소의 크기는 횡방향 16.01m×종방향 18.0m로 정하였다(김천, 1995).

목적(계급)별 분류면적을 위해 계통추출(systematic sampling)로 322개의 표본을 만들었다. 표본하나의 크기는 화소 4(4pixels)개, 즉 32.04×36 m의 지표면적을 차지하고 표본점들의 간격은 좌우·상하 직각으로 화소 100단위씩 두었다. 화소수 2,785,441개를 모집단의 면적이라면 모집단의 단위개수 크기는 2,785,441÷4, 즉 696,360이다. 따라서 추출간격(sampling interval)은 N(모집단 단위개수)/n(표본 단위개수)이므로 2,162이다. 무엇보다 계통추출은 일정한 간격을 취하므로 모집단 전체에 골고루 표본이 추출되는 장점을 지녔기 때문에 내무부 지적통계나 GIS를 통한 목적별 면적의 합산방법보다 생태해명의 합목적성에 비추어 결과치의 신빙성이 결코 뒤떨어지지 않는다. 따라서 제 4.2절에서 중요하게 취급하는 분류결과와 정확도 비교에도 이것을 이용하였다. 그리고 제4.1절에서는 방향성 분광반사특성이 강하게 표출되는 산림지역의 경우 층화추출로

동서남북 네 방향의 층화표본(stratified sample)을 만들어 분광반사치와 식생지수를 분석하였다.

4.1. 목적별 분류지역의 분광반사 특성과 식생지수

방향성 효과가 가장 잘 나타나는 피복체는 산림이다. 우선 산림을 가지고 네 방향을 지평좌표계에서 동쪽방향의 방위각 방위 $45^\circ < \varphi_E < 135^\circ$, 남쪽방향의 방위각 방위 $135^\circ < \varphi_S < 225^\circ$, 서쪽방향의 방위각 범위 $225^\circ < \varphi_W < 315^\circ$ 그리고 북쪽방향의 방위각 범위 $315^\circ < \varphi_N < 45^\circ$ 로 나누었다. 따라서 연구대상지역내 서쪽사면을 가진 산림표본 46개, 남쪽사면의 산림표본 59개, 동쪽사면의 산림표본 15개 그리고 북쪽사면의 산림표본 17개가 추출되었다. 그림3은 네 사면 방위에 대한 산림의 분광반사치와 식생지수를 도식한 것이다. 근적외선밴드와적색밴드의 비에 의해 결정되는 식생지수 중에서 반사방향성과 환경계측의 조사를 위해 정규식생지수(NDVI : normalized difference vegetation index)와 변환식생지수(TVI : transformed vegetation index)를 선택하였다. 본 연구에서는 NDVI와 TVI는 아래의 계산식으로 산출하였다.

$$NDVI = \frac{DN(OPS3) - DN(OPS2)}{DN(OPS3) + DN(OPS2)}$$

$$TVI = \left[\frac{DN(OPS3) - DN(OPS2)}{DN(OPS3) + DN(OPS2)} + 0.5 \right]^{\frac{1}{2}}$$

DN : digital number, OPS 밴드번호에 기록된 반사치

후방향의 반사성질을 갖고 있는 산림에 대해 세 가지 특징을 찾을 수 있다.

첫째, 녹색 및 적색 그리고 근적외선 영역의 모든 산림 반사치들과 정규식생지수값은 규칙적으로 남쪽-동쪽-서쪽-북쪽사면의 순서에 따라 감소한다.

둘째, 변환식생지수값만은 남쪽과 동쪽 사면에 대해 비슷하고 서쪽과 북쪽사면에 관해서는 반대현상이 나타난다. 물론 방향성효과에 대한 영향을 받아 태양광 입사방향($\theta_i = 61.1^\circ$, $\varphi_i = 160.8^\circ$)으로 높은 반사현상을 찾을 수 있지만 정규식생지수와 비교해서 상대비의 차도 훨씬 적어진다.

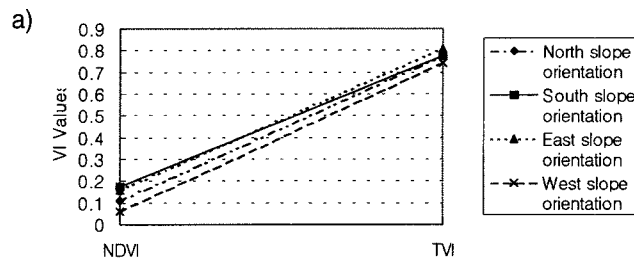
셋째, 근적외선대의 반사치는 항상 적색·녹색대의 반사치들보다 높다. 육지표면의 다른 피복체들과 비교해서 적색·녹색대의 반사치가 낮은 이유는 식생의 엽록소를 포함한 색소체가 입사광중 적색·녹색광을 흡수하기 때문이다.

방향성을 무시한 산림의 평균 분광반사치는 네 방향의 평균에 대한 가중평균으로 구했다.

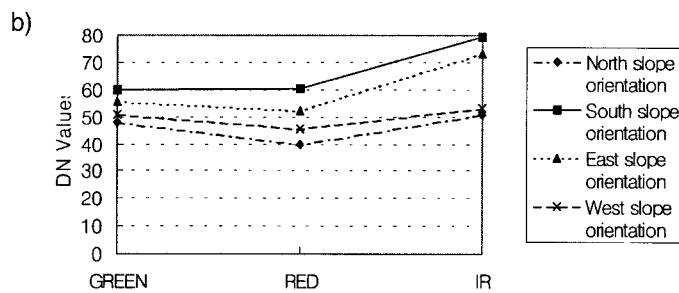
표2는 연구지역내 삼림면적 34,608.26 ha에서 반사되는 각 파장대별의 평균상대치(DN)를 표시한 것이다. 물론 DN값을 절대단위가 부여된 값 즉, 단위 $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ 의 분광 광도(spectral

Table 2. Weighted mean values of the spectral DN and VI for forest cover of the test area by using Fuyo-1 OPS VNIR data.

Digital Number			Vegetation Index	
Green	Red	Near-IR	NDVI	TVI
54.33	50.73	59.42	0.14	0.79



North slope orientation	0.107	0.776
South slope orientation	0.173	0.797
East slope orientation	0.156	0.808
West slope orientation	0.058	0.744



North slope orientation	47.9	39.7	50.9
South slope orientation	60	60.4	79.4
East slope orientation	55.7	52.4	73.5
West slope orientation	51	45.7	53.1

Figure 3. Spectral reflection and vegetation indexes for slope orientation of mountainous forest : a) NDVI and TVI, b) digital number(DN).

radiance)로 환산하려면 지상 검정측정이 요구된다. 본 연구에서는 동시측정을 할 수 없으므로 절대 반사율 산출은 생략하기로 한다. 그러나 이들 평균대표값과 그림3의 네 사면 방위에 대한 평균분광반사치와 식생지수값을 비교해 보면 양지사면의 분광반사치와 식생지수가 음지사면의 것보다 높음을 입증한다.

강과 바다를 제외한 비녹지의 분광반사특성을 분석해 보면 무엇보다 녹색대를 비롯한 적색대의 반사치가 근적외선대의 반사치보다 아주 높게 나타나는 경향이 있다. 따라서 자연히 이들 정규식생지수는 음수값을 갖고 이들 변환식생지수는 산림지역보다 상당히 낮은 값을 지니고 있다(그림4 참조).

또 그림 5에서 보는 바와 같이 나지(Rock & Sands)가 적색대에서 최고 반사치를 갖는 이론적 근거는 다음과 같다.

첫째, 암석과 모래로 구성된 나지는 입사광중 적색파장영역을 흡수하는 색소체가 전혀 없기 때문에 높은 반사율을 보이고 있다. 비닐하우스의 경우도 비슷한 경향이 있지만 경사향이 뚜렷한 채석장의 나지는 이방향반사능의 효과를 나타내고 있다.

둘째, 같은 피복체라도 수분함량에 따라 상이한 반사율이 나타나므로, 즉 수분함량이 많을수록 분광반사능은 떨어지는 특성이 있으므로 조건대에 있는 사구의 모래는 녹색대에서 근적외선대까지, 즉 전 주사파장영역에서 나지의 모래에 비해 낮은 값을 유지한다.

평야지대의 녹지표면, 즉 갈대군집지와 농작물 재배지의 겨울 분광반사능에서 재미있는 현상을 발견할 수 있다. 파를 비롯한 겨울재배작물은 갈대군집보다 색소체를 많이 함유하여 근적외선대의 높은 반사능과 적색대의 낮은 반사능을 가질 뿐더러 반사의 다층구조로 인해 하부의 반사층인 토양과 물이 식생의 분광특성에 영향을 준다는 것이다. 다시 말하면 물로 기인한 태양

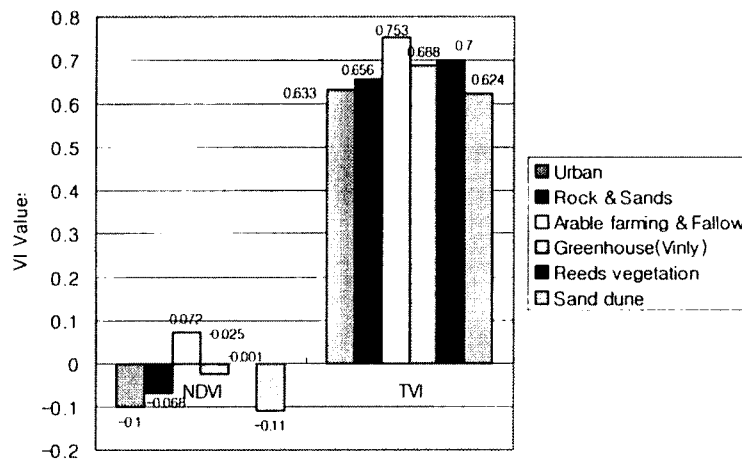
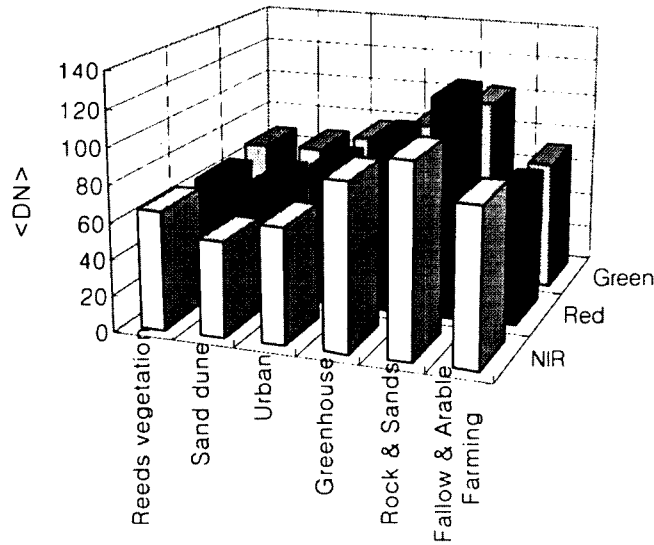


Figure 4. Averaged values of the NDVI and TVI for various non-green cover types in the test area by using Fuyo-1 OPS VNIR data.



	Reeds vegetation	Sand dune	Urban	Greenhouse	Rock & Sands	Fallow & Arable farming
NIR	65.11	52.50	63.63	90.98	104.76	85.94
Red	63.68	65.50	77.27	95.55	120.66	73.59
Green	67.11	67.80	77.09	87.27	103.02	71.00

Figure 5. Plot showing average values of spectral DN for various non-green cover types in the test area.

입사광의 흡수작용과 갈대잎의 색소체 소량존재로 인해 근적외선대의 반사능 감소와 녹색대 및 적색대의 반사능의 증가를 유발하였다.

낙동강 하구둑 완공 후, 하천 및 연안 생태계의 변화양상에 대한 광역적 환경수치의 획득시도가 본 연구의 목적중 하나이므로 우선 식생지수보다 원격탐사의 전통적인 수색(水色)분석방법, 즉 해·담수(海淡水)로 구성된 수체(水體)에 대한 분광반사특성을 가지고 접근하기로 한다. 그림6에 나타난 결과치는 해수면이 차지하는 면적 136,2918 km²와 담수면이 차지하는 면적 12,0257 km²를 토대로 한 원격측정 자료인 것이다.

위색 혼성화상의 육안판독에 의해 연안생태계와 하천생태계가 차지하는 연구대상지역내의 면적구성비율은 17%와 1.5%이다. 위성탐재 및 항공탐재감지기에 입력되는 주사자료는 표면에서 수심 30cm까지 해당하는 수체의 반사광이므로 물표면에 부유하는 물질이 주 구성물인 썩이다. 따라서 부유물질이 현탁정도에 따라 분광특성이 정해지므로 수체를 구성하는 부유물질은 유색용존유기물(yellow substance), 육지기원의 광물질, 유·무기물로 된 부스러기 그리고 광합성색소체를 가지는 플랑크톤으로 나눌 수 있다. 그림 6에서 보는 바와 같이 높은 녹색대의 반

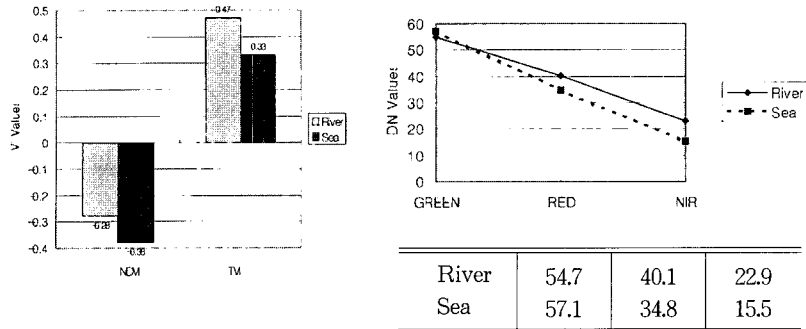


Figure 6. Difference between the Nak-Dong River and the Nak-Dong-Po coastal area, appeared by using the mean values of vegetation indexes and spectral digital numbers.

사능은 짙은 엽록소 현탁농도를 가진 해수에서 볼 수 있는 현상이지만 낙동강 하구둑에서 유출되는 부유물질의 체유상황도 한 몫 작용했다고 볼 수 있다. 또 하천의 적색대 반사능보다 낮은 이유는 생물입자를 제외한 부유물질의 함량비율이 적었기 때문이다. 왜냐하면 증류수의 경우 적색대에서 입사광의 흡수율이 $0.6\mu\text{m}$ 부터 급격히 상승하여 $0.7\mu\text{m}$ 에서 반사율이 60%까지 도달하기 때문에 부유물질이 많을수록 적색대의 반사능은 떨어지는 현상을 알 수 있다(Hoffer, 1978). 근적외선 파장영역에서 하천의 높은 반사능은 부유물질의 현탁정도가 심한 양상, 즉 겨울철로 인한 자연수량감소와 인위적 발생에 의한 오염물질 유입증가에 기인한다. 왜냐하면 Bartolucci et al. (1977)의 탁한 강물과 투명한 호수물의 분광특성 연구조사에서 탁한 강물의 분광반사능은 반사광의 전파장영역에서 투명한 호수물보다 높은 반사율을 나타냈고 특히 근적외선 영역에서 투수체의 반사율 차이가 가장 크게 발생하기 때문이다.

위성주사자료를 통해 수체의 부유물질중 생물입자에 의한 분광특성을 알기 위해서는 수체내 자가영양체와 종속영양체를 독립 분리하여 현장측정이 수반되어야 한다. 그리고 $0.2\mu\text{m}$ 에서 $100\mu\text{m}$ 크기범위의 생물입자에 대한 흡수현상과 역산란·형광에 관해서도 보충설명이 뒤따라야 한다(안유환, 1992).

그러나 본 연구에서는 총괄적인 하천·연안 오염관찰에 분광반사능 값만으로 충분하다고 볼 수 있다. 왜냐하면 하구둑에서 낙동강 상류 쪽으로 갈수록 분광반사능의 값이 상승함과 동시에 각 밴드의 차가 $\Delta\text{DN}_{\text{NIR}}=6$, $\Delta\text{DN}_{\text{R}}=8$ 그리고 $\Delta\text{DN}_{\text{G}}=6$ 으로 크게 발생하였고, 울속도의 동기수 지역에서는 근적외선대의 반사능값 $\text{DN}_{\text{NIR}}=20$, 적색대의 반사능값 $\text{DN}_{\text{R}}=38$, 그리고 녹색대의 반사능값 $\text{DN}_{\text{G}}=56$ 이었고 아울러 울속도의 서기수 지역에서는 $\text{DN}_{\text{NIR}}=21$, $\text{DN}_{\text{R}}=40$ 그리고 $\text{DN}_{\text{G}}=53$ 으로 나타나 수질오염타도가 다름을 파악할 수 있기 때문이다. 수질오염타도 조사보다는 생체량 추정에 이용되는 식생지수의 경우 하천·연안의 식생지수가 삼림의 식생지수보다 작은 가장 큰 요인은 근적외선 영역에서 수체에 의한 입사광의 흡수가 가장 크게 일어나기 때문이다.

4.2. 최대우도 추정분류와 분광각 대응 분류의 비교

정규·변환식생지수화상들은 가시광선영역의 분광반사특성을 나타내는 알베도계수를 무시하는, 즉 상이한 알베도계수와 분광반사율(spectral reflectance)곡선에서 비슷한 기울기를 가진 피복체를 구별하지 못하는 단점이 있다. 따라서 연구지역의 생태해명 정량화를 위해서는 무감독·감독분류기법을 이용하여 만든 주제별 분류화상이 필요하다.

주성분 분석(principal component analysis) 및 군집화(clustering)에 의한 무감독 분류기법은 본 연구에서는 사용하지 않고 분광각대응·최대우도 추정 분류기법을 선택하였다. 왜냐하면 이미 위색혼성화상(그림 7a)으로도 목적체를 구별할 수 있기 때문이다. 본 연구에 사용된 최대우도 추정분류기법은 감독분류로서 3차원의 밴드 합성자료에서 추출하고자 하는 분류계급의 화소를 사전정보의 통계적 특징을 통해 분리한다. 다시 설명하면 최대우도 추정분류기(maximum likelihood classifier)는 밴드1(녹색대)·밴드2(적색대)·밴드3(근적외선대)을 각각 청색·녹색·적색으로 하여 만든 위색혼성화상에서 육안으로 대표할 수 있는 분류계급들의 구역(training field : 훈련구역)을 설정하여 그들의 우도(likelihood)를 최대화시키는 값, 즉 최대의 공분산조건으로 하는 다변량의 판별함수(결합밀도함수)를 규정한 후, 이에 의해 밴드1·2·3으로 형성된 3차원 분광반사치 분포공간을 결정공간으로 나누어 추정 분류한다. 전술한 바와 같이 주사자료에 입력된 분광반사능은 DN값으로 표시된다. 그것은 피복체의 반사율을 기록한 것이 아니고 단지 밝기만 나타나기 때문에, 그림자영향에 의해 위장반사현상을 내포한 산림의 DN값에 대해서는 최대우도 추정분류방법도 오분류를 할 수 있다. 이러한 오분류를 배제하는 또는 그림자영향에 무관하게 사용할 수 있는 분광각대응분류기(spectral angle mapper classifier)에 의해 감독분류한 결과는 표3과 같다.

화상 084-241의 연구대상지역, 즉 표 3a에서 삼림을 비롯한 5개의 계급으로 분리하여 추출한 분류계급의 결과와 표본조사의 분류계급비율을 비교해 보면 다소 차이는 있지만 비슷한 분류양상을 나타낸다. 문제시되는 비닐하우스의 경우 분류감독과정에서 경작지에 포함시켜 같은 계급으로 집단화시켰으므로, 비록 표본조사에서 14.75%의 분류속성비율을 차지하지만 경작지 19.13%와 합하면 33.88%가 되어 분광각대응 분류의 속성비율 38.65%와는 4.78%차이가 난다. 위색혼성화상에서도 경작지와 비닐하우스의 육안판독이 불분명하여 본 연구의 겨울경작지·비닐하우스·갈대에 대한 표본조사수는 주사자료일부터 정확히 2년후 현지조사에 의한 것이다. 따라서 이들 두 비교, 즉 분광각대응분류와 표본조사분류의 결과치 비교에서 계급(항목)수의 차이가 있으므로 표본조사자료는 화상 084-242의 연구대상지역을 분류수행한 두 산법, 즉 분광각대응분류기와 최대우도추정분류기에 대한 분류정확도의 우열에서 상호비교를 허용한다. 그러나 산악지역에서 분류결과치가 현저하게 다르게 나타나는 삼림의 경우에는 반사특성의 상당 부분은 미분류, 즉 그림자로 인식되거나 주거지 및 상공지에 속해졌다고 볼 수 있다(표 3a 참조). 낮은 태양고도와 경사향 지형 덕택에 파생되는 그림자는 분광각대응분류의 산법을 사용할 경우 산림의 반사특성과는 다르게 미분류로 처리된다. 표3 b에서 보는 바와 같이 화상 084-242의 연

Table 3. Comparison of the SAM classification with systematic sampling supported in-situ analysis in percentage of the classified pixels. Results based on Fuyo-1 OPS scene of a) path 084 and row 241 worldwide reference system(WRS), b) path 084 and row 242 WRS.

a)

Class	Number of pixels	Cover %	Number of Re. Sample	Cover %
Unclassified	176985	11.33	-	-
Forest	525367	33.62	100	54.65
Urban	174028	11.14	8	4.37
Winter Agricultural	603942	38.65	35	19.13
Green(Vinyl) house	-	-	27	14.75
Barren	26201	1.68	5	2.73
Reeds Vegetation	-	-	3	1.64
River	55978	3.58	5	2.73
Total	1562501	100	183	100

b)

Class	Number of pixels	Cover %	Number of Re. Sample	Cover %
Unclassified	111039	9.08	-	-
Forest	378379	18.87	39	28.06
Urban	81991	6.70	10	7.19
Winter Agricultural	232493	19.01	16	11.51
Green(Vinyl) house	-	-	8	5.75
Barren	6046	0.49	-	-
Reeds Vegetation	54168	4.43	5	3.60
River	69881	5.71	5	3.60
Sand dune	-	-	1	0.72
Coastal sea	436588	35.70	55	39.57
Total	1222940	100	139	100

구대상지역에서도 분류된 삼림계급은 훨씬 적은 비율로 차지하고 있고, 위색혼성화상과 주제별 분류화상을 육안 대조해 보면 상기현상을 능히 파악할 수 있다. 그림7 b에서 흑색으로 나타난 부분이 그림자로 미분류된 삼림계급들이다. 특히 흑색부분은 녹색으로 보이는 산림지역과 접안되어 있어 위색혼성화상에서 판독해 보면 서쪽사면과 북쪽사면의 산림지대임을 알 수 있다. 따라서 종래의 최대우도추정분류로는 계급(주제)별 분류에 오류를 범할 수 있는 부분을 분광각 대응분류방법에 의해 미분류로 분리 처리하므로, 무엇보다 방향성이 고려된 계급분류를 할 수 있다는 사실은 본 연구의 귀중한 결과이다.

그림 7b의 윗화면은 화상 084-241에서 그리고 아래화면은 화상 084-242에서 연구대상지역만 모자이크하여 분광각대응분류산법에 의해 만들어진 분류화상이다. 이 주제별 분류화상에서 낙

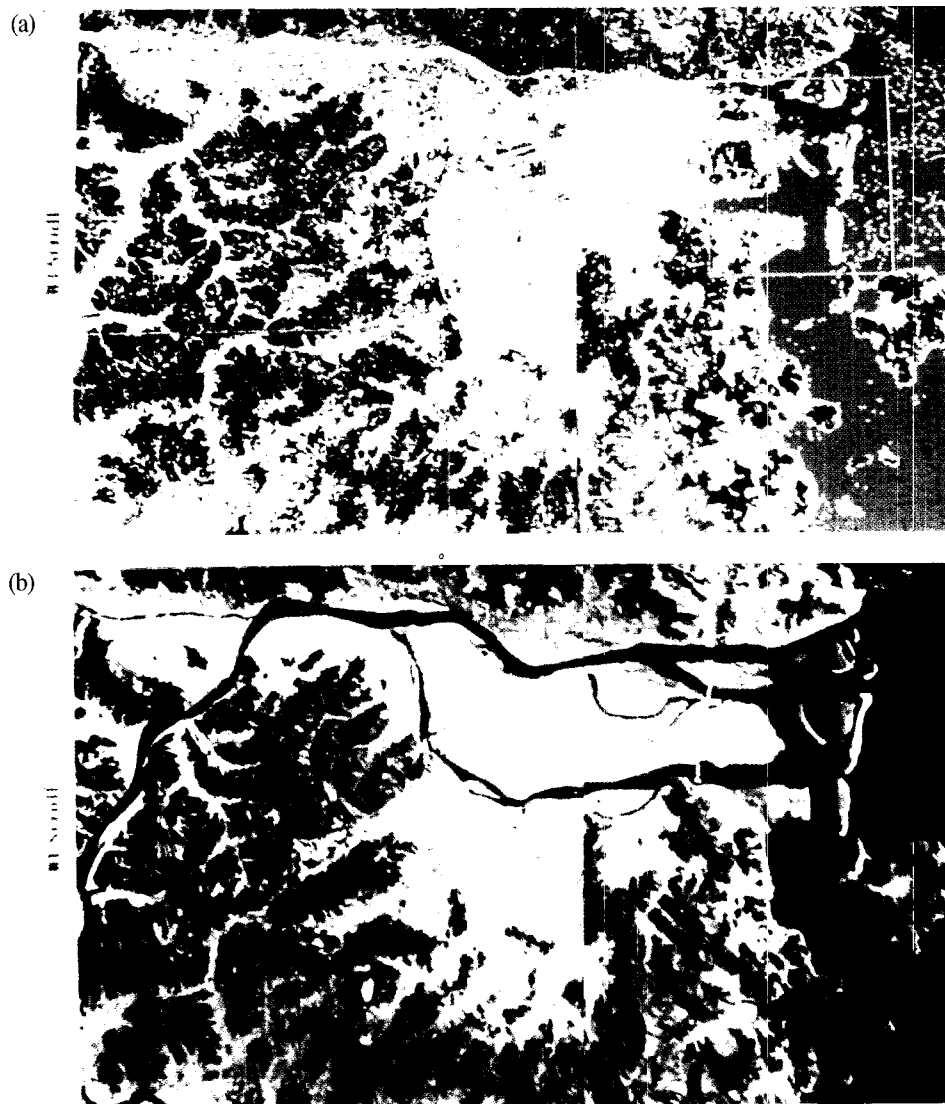


Figure 7. a) False color composite of Fuyo-1 OPS data(bands 3, 2, 1=RGB) for the Lower Nak-Dong River Basin test area. b) The result of performing a spectral angle mapper classification of the test area by using OPS bands 3, 2, and 1. The categories of this classification are Black=Unclassified forest (mainly north and west aspects), Yellow=Winter agricultural land cover, Green=Forest, Red=Urban, Orchid=Reeds Vegetation, White=River, and Blue=Costal sea.

동강의 동편에 적색으로 표출된 곳이 사상·장림공단 지역이고 명호도의 북쪽부분과 서낙동강의 북서편에 역시 적색으로 보이는 곳이 비행장 부근과 김해시이다. 신호도와 명호도의 남단 그리고 사주에 연자주(orchid)색으로 처리된 부분은 갈대식생지역이고 황색으로 분류된 지역은 농경지이며 청록색(cyan)색으로 처리된 부분은 나지이다. 무엇보다 하천(백색)과 연안(청색)은 하구둑을 경계로 하여 정확히 구분되어 있고 낙동강 담수의 유입·확산을 파악할 수 있다.

해·담수의 분포도에 관해서는 다음절에서 취급하기로 하고 본 절에서는 동일한 연구대상지역과 동일한 분류항목(훈련구역)의 조건하에 단일결정규칙으로 감독분류하는 두 산법의 장단점에 대하여 논의한다. 표4는 화상 084-242의 연구대상지역을 최대우도추정분류와 분광각대응분류에 의해 산출된 계급별 분류치와 표본조사자료에 기초한 항목(계급)별 분류치를 나타낸다(표 3b참조).

이들 분류결과치를 상호비교해보면 다음과 같은 특징을 찾을 수 있다.

첫째, 낮은 태양고도($hs=28.9^\circ$)에서 이방향반사효과가 강하게 작용하는 피복체, 즉 산림에 대해서는 분광각대응분류의 경우 표본조사보다 9.19% 그리고 최대우도추정분류보다 14.29%각각 적게 나타났다. 전술한 바와 같이 서쪽사면과 북쪽사면의 많은 부분, 즉 그림 7b의 흑색영역이 미분류로 구분되어 산림면적이 감소되었기 때문이다. 그러나 이들 미분류 계급과 합하면 삼림 계급의 분류속성(면적)비율은 27.96%가 되어 표본조사의 삼림계급에 대한 면적비율 28.06%와 비교하면 0.1%밖에 차이가 나지 않는다. 미분류의 처리결과가 없는 최대우도 추정분류의 경우 삼림계급의 면적비율이 33.16%를 차지하고 있어 표본조사의 그 비율보다 4.1%많게 나타난다. 많은 면적이 발생할 이유는 농지에서도 삼림계급화소가 발견되기 때문이다. 따라서 분광각대응분류는 그림자영향에 의해 심한 위장반사가 일어나는 산림지역의 분류작업에 최대우도 추정분류보다 유용하다.

둘째, 편평한 지형을 가진 농지의 분류면적을 살펴보면 우선 표본조사에서 겨울농사를 하는 경작의 면적비율은 11.51%이고 비닐하우스의 면적비율은 5.75%를 차지하고 있어 두 계급을 합하면 17.26%가 된다. 이들 두 분류산법에 의해서도 두 계급의 분리가 어렵기 때문에 하나의 계급으로 합쳐 분류정확도에 대해 검토하면, 최대우도추정분류에 의한 농지면적 비율이 분광각대응분류를 통한 그 비율보다 1.17%적게 나타나고 표본조사에 의한 그 비율보다는 0.58%많게 차지한다. 따라서 낮은 태양고도 일지라도 평야지역을 토지이용분류나 기타목적의 분류를 할 경우 최대우도추정분류의 산법이 분광각대응분류의 산법보다 분류정확도에 있어서 장점을 지닌다고 볼 수 있다.

셋째, 나머지 계급의 분류속성비율을 분석해보면 두 분류의 분류정확도 우열에 대해서 유의성을 발견할 수 없다. 그 예로 갈대식생의 면적비율을 분광각대응분류로 할 경우 표본조사보다 0.83%많게, 그리고 최대우도추정분류로 할 경우 표본조사보다 1.70%적게 표출된다. 강(담수)면적비율도 분광각대응분류일때 표본조사보다 2.11% 많게 그리고 최대우도추정분류일 때 표본조사보다 1.80%적게 나타난다. 그 반면 주거지 및 상공지(표 4의 urban)의 면적비율을 보면 분광각대응분류의 경우 표본조사보다 0.49% 적은 면적비율, 그리고 최대우도추정분류의 경우 표본

Table 4. Land cover results from SAM classification, the maximum likelihood classification and systematic sampling supported in-situ analysis for the test site of Fuyo-1 OPS worldwide reference system, path 084 and row 242, in percentage of the classified pixels.

Class	Cover of SAM Classification(%)	Cover of In-situ Analysis(%)	Cover of ML Classification(%)
Unclassified	9.08	-	-
Forest	18.87	28.06	33.16
Urban	6.70	7.19	10.08
Winter Agricultural	19.01	11.51	
Greenhouse(Vinyl)	-	5.75	17.84
Barren	0.49	-	0.12
Reeds Vegetation	4.43	3.60	1.90
River	5.71	3.60	1.80
Sand dune	-	0.72	-
Costal sea	35.70	39.57	34.3
Total100	100	100	

조사보다 2.89% 많은 면적비율을 차지한다. 연안, 즉 해수의 면적비율에 대해서는 전술한 세 가지 계급과 전혀 다른 현상, 다시 말하면 분광각대응분류와 최대우도추정분류 각각이 표본조사보다 3.87%와 5.27%만큼 적은 면적비율을 차지한다.

원래 원격탐사자료를 이용한 분류결과의 정확도는 오차행렬(error matrix)을 만들어 KHAT (=kappa statistic) 또는 생산자 정확도(producer's accuracy)와 사용자 정확도(user's accuracy)를 통하여 알 수 있지만 이 방법은 비위치특성(nonsite-specific) 정확도 평가이므로 어디까지나 연구대상지역 전체에 대한 분류정확도만 말할 수 있고 위치에 따른 분류정확도에 대해서는 무시되는 형편이다(Verbyla, 1995 ; Jensen, 1996).

여기에서 사용된 표본조사에 의한 분류정확도 비교방법은 비록 통계적 검정분석과정이 없더라도 표본조사점과 지상의 실제위치와 일치시켜 분류계급을 조사 결정하였으므로 상기 첫째 · 둘째 결과에 대해서는 감히 인정할 수밖에 없다. 이 결과를 토대로 4.3절의 해 · 담수의 분포도는 최대우도추정분류의 산법에 의해 만들어졌다.

4.3. 생태해명 화상도

본 연구의 범위가 육지표면의 피복체에 대한 환경계측외에 수체, 즉 해 · 담수의 피복체에 대한 생태해명까지 포함한다. 따라서 해 · 담수에 대한 최대우도 추정분류화상의 산출 외에 가림(masking)방법을 통하여 연안과 하천을 연구대상지역의 전체화상에서 추출한다. 이 추출된 부

분화상에서 근적외선 밴드자료만 가지고 유색밀도편분(color density slice)화상을 만든다. 그리고 하중도 남단의 조간대지역과 사주에는 철새도래지가 있고 하구의 평균 조위차가 1.4 m이므로 조간대의 노출범위폭이 크다. 따라서 입체시 밴드자료에 의한 입체화상으로 조간대지역을 파악한다. 왜냐하면 조간대지역은 해수의 염분이 떨어지는 기수지역과 더불어 중요한 야생조류서식처이기 때문이다. 반사과장영역 0.5 μm 에서 0.6 μm 사이의 녹색대의 주사자료로부터 만들어진 수색이 15 m까지의 수심을 파악할 수 있지만 다른 한편에서 보면 수체의 투명도 또는 부유물질의 현탁도에 의해 수색이 강하게 결정되기 때문에 연구대상지역의 낙동강 담수유입 및 확산에 대한 광역적 관찰을 그림 8 a, b, c의 감독분류화상에서 살펴본다. 그림 8a는 세 가지 밴드를 이용하여 담수계급 하나만 사전정보화(a priori information)한 것으로 낙동포 지역에 이미 유입된 담수는 해안 서편, 즉 태동만을 거쳐 진해만의 해안선을 따라 우세하게 분포됨을 알 수 있다. 그리고 낙동포 중앙부근에 담수 일부가 해수에 의해 포위된 모습으로 발견되고 가덕도 동편에 다량의 담수가 산재되어 있음은 연안류가 동쪽해안을 따라 밀려오고 있기 때문이다. 이 연안류 유동형태(pattern)는 이미 김문선·추교승(1987)에 의해 위성탐재 Landsat MSS와 TM 주사자료를 가지고 성공적으로 탐지된 바 있다. 다만 낙동포 북쪽 부근에 흰 점들이 배열된 상태는 담수의 분광반사능에 의한 것이 아니고 오히려 김양식장에서 나오는 분광반사능 때문이다. 그림 8a와는 반대로 그림 8b는 세 가지 밴드의 주사변량자료에서 해수만 감독 분류한 것으로 해수의 잔존이 낙동강분류의 물금부근까지 발견되고 서낙동강에서는 6번 남해고속국도와 6-2번 남해지선고속국도의 중간지점까지 해수의 흔적이 남아있다.

해수와 담수를 함께 감독분류한 그림 8c에서 새로운 하천유출수가 을숙도와 명호도 사이의 담수로 지나 대마등까지 확산해 나가고 있어 고조후 낙조류중기의 담수분포임을 알 수 있다. 그리고 낙동강 하구둑 윗부분인 북쪽부분과 아래 부분인 남쪽부분이 뚜렷이 담수와 해수의 분류특성을 표시하고 있어 닫힌 하구둑 수문이 창조류의 진입을 막는 역할을 어느정도 하고 있다고 볼 수 있다.

철새도래지인 낙동강 하류수역은 원래 자연적인 기수지역으로 생물생산 보고지라 불릴 정도였다. 그러나 1987년 11월 하구둑 건설 후 낙동강 하류의 본류수역은 일종의 담수저수지 형태로 바뀌어 오폐수로 인한 부영양화가 증가하고 있어 하구둑 남쪽수역은 저조시만 담수방류로 인해 해수역 또는 인위적 기수지역으로 변했다. 낙동강 주변 공단에서 무단 방류하는 폐수와 장립·을숙도의 하수 종말처리장에서 나오는 유출수가 철새도래지의 수질오염을 가중시킬 뿐더러 하천수의 유입량이 적어 염화이온농도의 증가로 어패류를 비롯한 수서곤충의 생태계마저도 불안정한 상태에 놓여있다. 특히 겨울철에 많은 표본점을 수시로 현장 조사할 수 없기 때문에 1992년 11월 11일에 현장 측정된 수질조사자료를 위색혼성화상위에 표시하며 우선 수색과의 연관관계를 찾아본다.

그림 10a에서 나타난 적색선은 표층수의 화학적 산소요구량(COD)의 농도를 나타낸다. 그 실선은 3 mg/l, 그 점선은 2 mg/l의 경계를 표시한다. 그리고 황색선은 표층수의 총무기질소(TIN)를 도식한 것으로 그 실선은 2 mg/l, 그 점선은 1 mg/l의 경계를 나타낸다. 또 표층수의 염분분



Figure 8a. Maximum likelihood classification image of freshwater in the test area.



Figure 8b. Maximum likelihood classification image of salt water in the test area.



Figure 8c. Maximum likelihood classification image of freshwater and salt water in the test area.

포를 알기 위해 표시된 녹색실선은 24%의 염분상태 그리고 그 점선은 32% 염분상태를 보여주고 있다. 따라서 기수지역의 화학적 산소요구량 농도는 장림 하수처리장 부근 해역에서 멀어질수록 낮아지는 분포상태를 알 수 있고, 총무기질소농도의 경우도 하구둑에서 낙동포 쪽으로 내려갈수록 감소경향을 보였다. 이와는 반대로 염분상태는 하구둑쪽 가까이 갈수록 점차 낮아짐을 알 수 있다. 그림 10a에서는 하구둑수문을 통하여 나가는 하천담수의 확산유형을 어느 정도 알 수 있지만 표층수의 수질오염조사자료와 위색혼성화상의 수색간에는 정확한 연관관계를 발견할 수 없다. 그러나 가림방법에 의해 만들어진 수체의 위색혼성화상 그림 9a에서 보면 기수지역 범위와 하천 유입수의 흐름을 파악할 수 있다. 특히 서낙동강의 하천 유입량이 낙동강 분류보다 작기 때문에 담수가 진우도와 대마등 사이에서 분산됨을 알 수 있다. 그림 9a에서도 수질오염·염분상태를 판독할 수 없으므로 수체의 유색밀도편분화상을 만들어 이들에 대한 분포를 파악한다. 그림 6에서 보는 바와 같이 해·담수의 분광반사특성을 보면 근적외선대에서 가장 큰 반사능차이가 발생하였으므로 근적외선 밴드자료의 유색밀도편분화상은 녹색·적대 밴드의 그들 화상보다 수질변화를 잘 분석할 수 있다.

우선 수체에 대한 유색밀도편분화상, 그림 9b에서 염분상태에 따른 해수역의 구분을 뚜렷이 볼 수 있다. 해안선 부근을 따라 적색으로 나타난 담수의 잔존역은 분광각대응 분류화상(그림 7b)에서 보여준 흰색구역과 동질성을 찾을 수 있고, 하천 유입수에 의한 연안해수역의 염분희석, 즉 담수확산현상을 추적할 수 있다. 왜냐하면 녹색으로 보이는 해역은 표 4에서 보는 바와 같이 적색수역과 청색수역 사이의 반사치를 갖고 있고 담수계급 단독의 감독분류화상(그림 8a)에서 나타나는 연안의 담수분포현상과 비슷하기 때문이다. 따라서 분광각 대응분류화상과 비교하여 보아도 유색밀도편분화상의 우수함을 알 수 있다.

무엇보다 피복수체중 가장 많은 면적을 차지하는 녹색수역은 플랑크톤이 풍부한 외양성 해역, 즉 청색수역과는 다르게 유출되는 낙동강 하천수에 의해 운반된 부유물질이 형성한 것으로 보인다. 하구둑과 녹산수문 남쪽 기수지역에 생긴 적색수역은 고조후 낙조류에 의해 파생된 것인지 아니면 이들 수문들을 열어 담수유출 때문인지 그림 9b의 유색밀도편분화상만으로는 알 수 없다. 그리고 하구둑과 녹산수문 북쪽 담수지역에 나타난 적색수역 역시 창조류의 해수에 의해 생긴 것인지 그렇지 않고 담수량의 풍부로 말미암아 수질오염농도가 희석된 것인지에 대해서도 판별할 수 없다. 그러나 그림 8b를 보면 하구둑과 녹산수문이 그 당시 해수차단의 원래 역할을 하지 않고 이들 수문을 통하여 해수가 유입되었음을 판독할 수 있어 그림 9b상의 적색수역은 해·담수혼합에 의해 발생한 것으로 밖에 설명할 수 없다. 따라서 하구둑과 녹산수문 바로 북쪽 적색수역이 다른 담수지역과 비교해서 표층수의 반사치가 낮은 이유는 해수유입에 의해 희석되었기 때문이다(표 5참조). 그리고 낙동강 분류중 수질오염상태가 비교적 좋게 나타난 물금과 원동사이의 적색수역 역시 그림 8b에 의하면 유입된 해수의 잔존에 기인한다고 설명할 수 있다. 낙동강분류보다 서낙동강과 지류, 즉 맥도강, 평강천 그리고 조만강에서 많이 발견되는 자색수역은 심각한 수질오염상태를 말해준다. 박청길(1993)에 의해 조사된 수질자료에 따르면 1992년 추계와 동계에 이미 서낙동강은 5등급의 수질상태임이 밝혀져 이러한 수질악화상

Table 5. Color class intervals and associated values for color-coded density sliced image of selected water bodies in the test area shown in Figure 9b.

Visual color class interval	Color look-up table value			DN value		Percent of total number of pixels
	Red	Green	Blue	Low	High	
Blue	0	0	255	10	14	17.7081
Green	0	255	0	15	17	51.9551
Red	255	0	0	18	20	15.8528
Yellow	255	255	0	21	21	4.1337
Cyan	0	255	255	22	23	4.2043
Purple	160	32	240	24	27	3.4532
White	255	255	255	28	160	2.6928

황을 뒷받침 해준다. 특히 중사도·수안치등섬·신안치등섬 부근수역이 자색수역중 대부분의 범위를 차지하고 있어 김해시와 부산광역시 강서구 강동동과 대저1동에서 나오는 오·폐수가 하수종말처리 과정없이 그대로 서낙동강에 방류된다고 보아진다. 그리고 대동수문을 통하여 유입되는 낙동강본류의 담수량이 적거나 없는 것도 이들 수역의 수질오염을 가중시키고 있다. 무엇보다 그림 9b의 좌측상단에 나타난 자색수역을 통하여 보면 낙동강 수계의 수질은 이미 중류(삼랑진 윗수역)부터 5급 수질임을 알 수 있다. 다만 하천의 자정작용이 아닌 창조류의 해수유입으로 인하여 하류의 수질이 상승한 것으로 간주된다.

담수지역에서 비교적 높은 표층수의 반사치를 가지는 청록색수역은 불금부근 수역부터 하류로 내려올수록 증가하게 나타난다. 이러한 양상은 축산오수·생활하수·공장폐수의 유입량 증가에 기인한다고 볼 수 있다. 특히 사상공단에서 나오는 공장폐수가 청록색수역을 증가시키는 요인으로 파악된다. 그러나 유색밀도편분화상에서 흰색으로 표출된 부분은 수체가 아닌 다른 피복체, 즉 사주나 시멘트로 만들어진 교량 내지 하구둑으로 판독된다. 왜냐 하면 표 5에서 가장 높은 반사값을 갖는 흰색계급은 다른 화상에서 판독하여도 상기피복체로 밖에 해당할 수 없기 때문이다. 무엇보다 수체와 분리하여 이들 부분을 가림하는 작업도 보통 힘든 일이 아니기 때문이다.

그림 9b의 유색밀도편분화상의 판독결과를 유추해보면 낙동강 하구둑은 원래의 목적인 담수화를 수행하지 못하고 있어 낙동강수계의 수질개선이 근본적으로 이루어지지 않는다면 하구둑에 의한 담수저장은 요원한 일이 될 것이다.

앞서 언급한 바와 같이 위색혼성화상으로는 기수지역의 염분상태와 하천의 오염을 육안판독에 의해 구분하기 어렵지만 낙동강하구의 간석지범위에 대해서는 추정할 수 있다. 따라서 그림 10a를 통해서 관찰하면 하중도, 즉 을숙도·명호도(일명 명지도)·신호도와 사주인 대마동·장자동·새동·백합동·나무식등 사이마다 엷은 청색으로 보이는 곳은 간석지이다. 이들 간석지는 1992년 4월 19일부터 1993년 4월 20일 까지 실시된 겨울 철새중 수조류생태조사에 의할 것

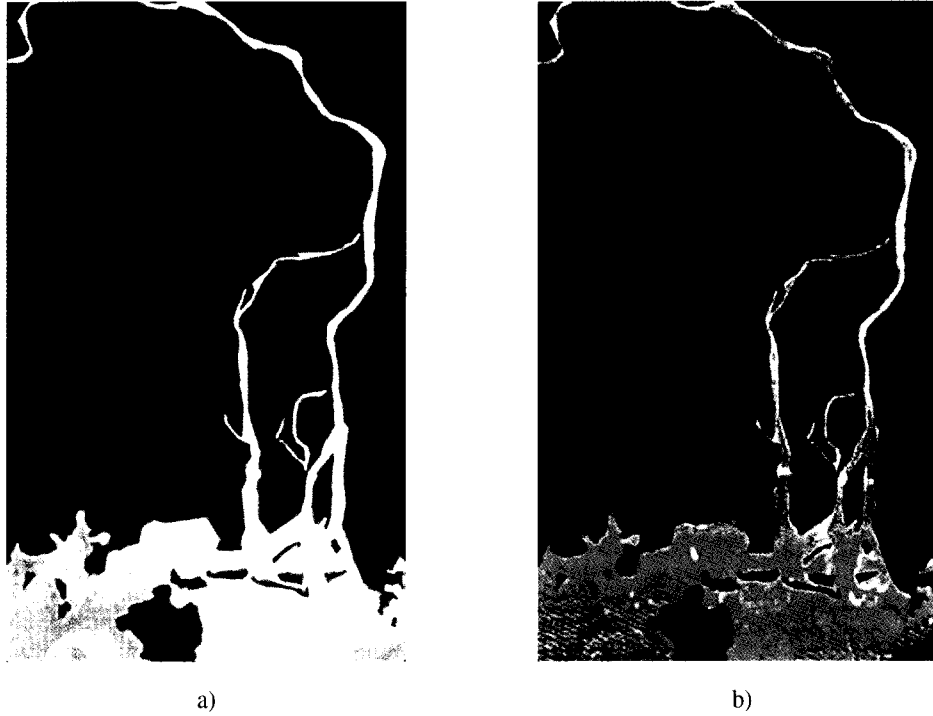


Figure 9 a) False color composite image of water bodies, the test area masked. b) Color-coded density sliced image of selected water bodies by using near-infrared band 3. Color class intervals and associated look-up table values are presented in Table 5.

같으면 보존해야할 수금류·섬금류 서식처이다. 왜냐하면 이들 수조류의 잠재식이물인 저생무척추동물의 서식처와 동일하기 때문이다(김화정·원병호, 1993).

이곳 또한 간조시에 일부가 사구로 부상하지만 만조시에는 넓은 하구를 이루게 되므로 그림 10b의 입체화상에서 보면 만조시의 간석지 형태와 범위를 그림 10a 보다 잘 파악된다. 근적외선대의 입체화상은 가시광선대의 입체화상보다 선명도와 입체감은 떨어지지만 왼쪽눈에 녹색필터 그리고 오른쪽눈에 적색필터를 갖다대고 보면 창낙조류에 의해 잠긴 사구 및 수생식물의 식생분포까지 3차원적으로 구별되어진다. 따라서 음향측심기를 사용하지 않고도 입체시를 통해 겨울철새를 비롯한 텃새들의 서식처인 이곳 조간대지역을 다른 화상 및 지도상에 도식할 수 있다.

지금까지 논의된 수체와는 다르게 육상식생의 광범위한 환경계측을 위해서는 우선 필요한 지구물리학적 매개변수가 식생지수이다. 전 절에서 설명한 바와 같이 연구대상지역내 비닐하우스가 상당부분 차지하므로 겨울작물로 구성된 피복체에 대한 식생지수를 획득하는 데에는 상당한 난제가 포함된다. 따라서 본 절에서는 농생태계에 관한 식생지수부분은 논외로 하고 산림에

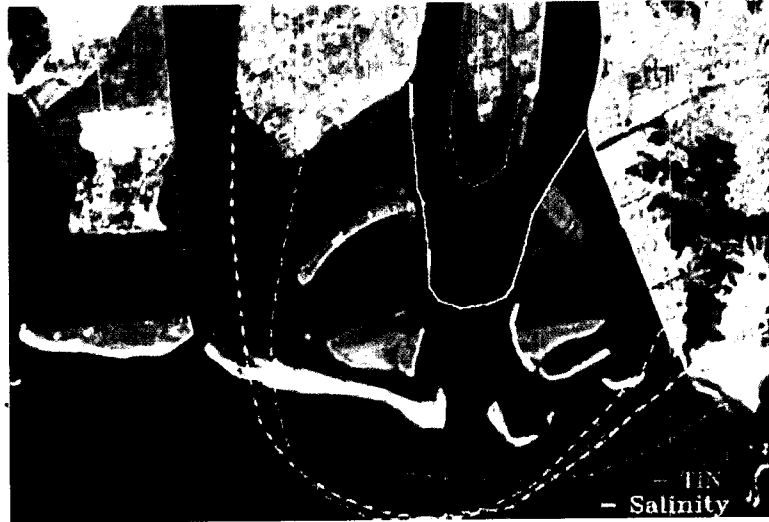


Figure 10a. False color composite Fuyo-1 OPS VNIR image showing the test site Nak-Dong Estuary. Red line(or dotted red line), green line(or dotted green line) and yellow line(or dotted yellow line) indicate chemical oxygen demand(COD), total inorganic nitrogen(TIN) and salinity, respectively. See text for details.



Figure 10b. Anaglyphic image of Fuyo-1 OPS VNIR band 3(nadir-looking) and band 4 (forward-looking) data for the test site Nak-Dong Estuary.

관한 식생지수만 취급하기로 한다. 정규·변환식생지수화상과 비율화상 모두 이방향성효과에 따른 명암(illumination)영향을 줄일 수 있는 장점을 지녔다. 특히 변환식생지수는 실제 지상에서 측정된 식생지수와 매우 높은 연관성을 지니고 있다(양영규외, 1991).

변환식생지수화상 그림 11a는 가림기법을 통하여 산림만 추출한 다음 정규식생지수값에 0.5를 가산하고 그 제곱근의 값으로 만들었다. 이 회색화상에서 높은 식생지수값을 갖는 영역, 즉 생체량이 많은 구역은 밝게, 그리고 낮은 식생지수값을 갖는 영역, 즉 생체량이 적은 구역은 어둡게 나타난다. 제2.1절에서 전술한 바와 같이 김해군의 경우 침엽수림의 면적이 활엽수림의 면적보다 약 2.4배 크고 그 축적량은 활엽수림의 축적량 절반보다 적다. 그렇다면 그림 11a에서 밝게 나타난 영역은 활엽수림이고 어둡게 보이는 영역은 침엽수림으로 판독할 수 있는 것인지는 아닌지 낙엽후 활엽수림의 근적외선대 반사치가 감소하여 생긴 현상으로 볼 것인가 하는 문제이다. 이러한 오독을 방지하기 위하여 변환식생지수 화상위에 능선을 적색으로 표시하였다. 우선 어둡게 나타난 부분들은 북쪽과 서쪽사면에 치중해 있음을 볼 수 있다. 왜냐하면 주사당시

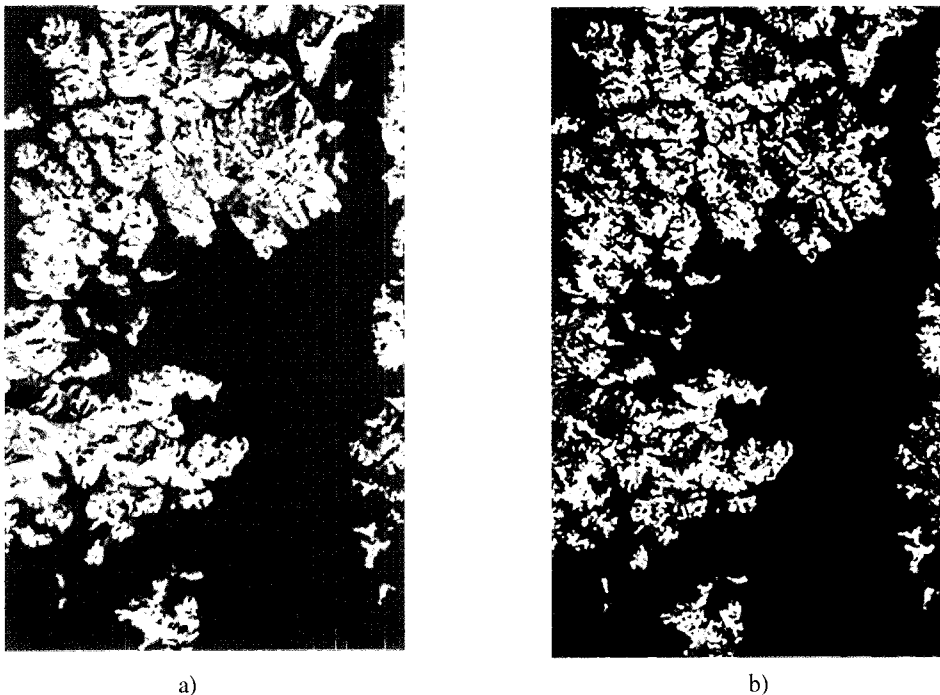


Figure 11. a) Transformed vegetation index(TVI) image of the selected mountain forest in the test area. Red lines indicate a ridgeline of mountains and they also divide slope orientations. b) Color-coded normalized difference vegetation index(NDVI) image of selected mountain forest in the test area. Color representation of NDVI values are found in Table 6.

의 입사광을 살펴보면 천정각 $\theta_1=61.1^\circ$ 와 방위각 $\phi_1=160.8^\circ$ 이므로 자연히 그림자가 북북서향 정확하게 방위 N18.2°W를 중심축으로 나타나기 때문이다. 조성훈(1995)의 식생방향성 분석에 의하면 Fuyo-1 OPS VNIR 자료와 같이 지상분해능이 우수한 주사자료로 식생지수를 산출할 경우 특히 낮은 태양고도와 산지일 때 반드시 그림자영향을 고려해야 한다. 그러나 화소의 지상분해능이 1.1km를 갖는 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)자료를 사용하여 식생지수를 구할 경우에는 어느정도 이방향성효과를 무시할 수 있다(Running et al., 1995).

식생지수가 생체량보다 그림자와 지형에 의해 영향을 더 받는 것인지에 대해서는 임상도와 중첩비교하면 파악할 수 있다. 산림청 임업연구원의 임상도(축적비 1:25,000, 1989년 제작)를 GIS기법에 의해 식생지수와 동일한 축적비를 가진 임상도로 겨울철 식생지수의 그림자영향에 관한 분석은 향후 과제로 남겨두기로 하고 다른 방법, 즉 정규식생지수도를 유색코드화하여 식생지수의 방향성을 조사한다.

무엇보다 Fuyo-1 OPS의 근적외선밴드와 적색밴드로부터 계산된 정규식생지수치가 음수값이 나오는 것이 있어 0을 기준으로 하여 우측이동(R-shift)시켰다. 아울러 부동소수점방식을 사용하여 그림 11b와 같은 유색코드화상을 만들었다. 표 6은 그림 11b의 지정된 유색에 대한 우측 이동 전의 정규식생지수치와 분포백분율을 나타낸 것이다. 흑색으로 표출된 부분은 가림된 영역과 같은 출력색으로 하여 제외시켰다. 왜냐하면 히스토그램분석에서 특출하게 나타나 위치 판독한 결과 산골짜기의 나지로 판명되었기 때문이다.

그림 11b에서 보면 가장 낮은 정규식생지수값을 가지는 적색영역의 대부분은 북동쪽사면과 서쪽사면사이, 즉 그림자가 생기는 구역에서 나타난다. 그리고 상기 사면구역을 제외한, 즉 그림자가 발생할 수 없는 사면들에서 적색을 제외한 청색·황색·청록색·심홍색들이 발견된다. 정규식생지수값이 높은 심홍색·청록색영역은 주로 남쪽사면 정확히 남남서쪽 사면과 남동동쪽 사면 사이에서만 관찰되고 침엽수림으로 판독된다. 따라서 4.1절에서 전술한 정규식생지수값이 남쪽-동쪽-서쪽-북쪽사면 순으로 감소하는 경향이 유색코드 정규식생지수화상에서도 비슷하

Table 6. Color representation and associated normalized difference vegetation index(NDVI) value intervals for color-coded NDVI image of the selected mountain forest in the test area shown in Figure 11b. See the text for the black color representation.

Color representation	NDVI value interval		Percent of total number of pixels
	Low	High	
Red	-0.4609	0.0172	17.8729
Black	-0.0073	-0.0032	1.9114
Blue	0.0212	0.1427	39.9440
Yellow	0.1468	0.2440	23.1878
Cyan	0.2481	0.3291	12.2888
Magenta	0.3331	0.5681	4.7951

게 발견됨을 알 수 있다. 예외적으로 남동사면에 표출된 적색영역은 산림내 채석장인 나지로 판명될 뿐 아니라 남동사면에 있는 청색영역도 낮은 해발인 부분은 농지로 전용된 곳이고 8부 능선 이상인 부분은 수관밀도가 낮은 산림으로 보인다. 그러므로 겨울철 낮은 태양고도일 때 산림의 정규식생지수에 관해서는 다음과 같은 현상을 파악할 수 있다.

첫째, 정규식생지수도 그림자영향, 즉 방향성이 있음을 알 수 있다.

둘째, 낙엽후 시기에는 생체량, 즉 입목축적량보다는 산림의 수관상태 다시말하면 임관밀도와 엽록소양과 연관이 있다고 볼 수 있다.

이러한 산림에서 나타나는 현상과는 반대로 편평한 농지나 강·바다에 대한 정규식생지수는 그림자영향과 무관하게 획득될 수 있다. 상기의 결과들로부터 그림자 영향을 둔화시킬 수 있는 나아가 이방향성효과를 보정할 수 있는 산림의 식생지수가 필요하다. 비록 생체량중 농작물에 적용되는 녹색식생지수(GVI : greenness vegetation index)라 할지라도 입목축적량조사에는 유용하리라 본다. 왜냐하면 녹색식생지수는 이미 박종화(1992)에 의해 산지가 많은 서울시의 녹지피복율을 성공적으로 평가했고 토양명도지수(SBI : soil brightness index)측에 직교하면서 각 식생의 분광반사특성이 되는 축을 찾아 환언하면 양지와 음지의 사면측에 따라 값이 정해지므로 때문이다. 그리고 Huete(1988)에 의해 개발된 토양조정식생지수(SAVI : soil-adjusted vegetation index)를 응용하면 겨울철 산림생체량조사에 적합하리라 본다. 왜냐하면 그림자 영향과 낙엽후 임관밀도를 고려하여 보정되기 때문이다.

5. 결 론

광역 동시적 환경관측을 하는 위성탐재 Fuyo-1 OPS VNIR 주사자료를 이용하여 낙동강 하류지역의 겨울철 식생지수획득과 주제별 분류화상 및 생태해명도를 산출하였다. 본 연구를 통해 나타난 환경계측이론과 기대효과는 다음과 같다.

첫째, 지표면의 피복체는 상이한 분광반사특성을 갖고 있으므로 수체, 즉 하천과 연안의 경우에는 녹색대의 파장영역과 근적외선대의 파장영역을 통해 분석하고 육상의 녹지·비녹지의 경우에는 적색대와 근적외선대의 파장영역에 대해 파악한다. 왜냐하면 근적외선대의 분광반사능은 식물의 색소체 양에 따라 차이가 나고 부유물질을 제외한 수체의 경우에는 높은 녹색대의 분광반사능을 갖고, 비녹지의 피복체는 높은 적색대의 분광반사능을 나타내기 때문이다.

둘째, 산림지역의 반사특성을 분석할 경우 특히 경사향과 수관부 형태에 의한 후방향반사특성을 고려해야 할 뿐더러 그림자에 의한 위장반사현상도 참고해야 한다. 이러한 영향을 보정하기 위해서는 사면에 따른 표본조사와 임상도 활용이 필요하겠지만 분광반사율을 알 수 있는 지상검정측정이 요구된다.

셋째, 하천·연안생태계에 필요한 해·담수의 분포 그리고 수질오염상태를 알기 위해서는 위 색혼성화상의 수색육안판독 외에 최대우도추정분류산법과 유색밀도편분기법에 의해 작성된

해·담수분포도와 수질오염도를 분석한다. 표층수와 저층수의 수질상태 차이 때문에 현지조사가 수반되어야 한다.

넷째, 중위도권에 속해있는 우리 나라의 경우 겨울철 식생에 관한 주제별 분류를 할 경우 다른 어떤 분류산법보다 태양의 고도와 방위를 고려하는 분광각대응분류산법이 정확히 계급분류 처리한다.

다섯째, 지상분해능이 우수한 주사자료를 사용하여 복합생태계의 환경계측을 할 경우에도 식생지수가 효과적 매개변수이다. 그러나 겨울철 산림에 대한 정규·변환식생지수 모두 그림자 영향을 받으므로 산림생체량의 계측을 위해서는 이방향성효과와 무관하게 적용할 수 있는 식생지수분석법을 개발해야 한다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 핵심전문 연구비(941-1300-008-01) 지원으로 수행되었으며 지원에 감사를 드립니다. 아울러 본 연구를 위하여 Fuyo-1 OPS 주사자료를 무상 제공한 일본우주사업개발단(NASDA : National Space Development Agency of Japan)과 통상산업성(MITI : Ministry of International Trade and Industry)에 감사를 드립니다. 그리고 본 연구에 있어 화상처리를 도와 준 미국 아이다호대학 산림자원학과(Univ. of Idaho, Dept. of Forest Resources) 박사과정생 조성훈군과 국민대학교 산림자원학과 석사과정생 정 강호군에게도 감사의 뜻을 전하는 바입니다.

참고문헌

- 김 문선·추 교승, 1987. Landsat위성자료에 의한 낙동강 하천수의 유입확산이 해양환경에 미치는 영향, 대한원격탐사학회지 3(1), pp. 11-23.
- 김 천, 1995. 위성주사자료를 이용한 낙동강 하류지역 환경계측 시범연구 : 동식생지 수획득과 생태해명도 작성을 중심으로, 한국과학재단, 44p.
- 김 화정·원 병호, 1993. 낙동강하류에 도래하는 수조류의 생태조사 : 낙동강하류 도래지 생태계 학술조사 보고서, 한국조류연구소, 경희대학교, pp. 133-165.
- 박 봉규, 1993. 부산 낙동강 하구 인근에 산재하고 있는 몇 곳의 도서지역 식생의 개황: 낙동강 하류 철새도래지 생태계 학술보고서, 한국조류연구소, 경희대학교, pp. 377-390.
- 박 종화, 1992. Landsat 녹색식생지수를 이용한 서울시 도시녹지 변화조사, 대한원격탐사학회지, 8(1) pp. 27-43.
- 박 청길, 1993. 낙동강하류 철새도래지의 수질 : 낙동강하류 도래지 생태계 학술조사 보고서, 한국조류연구소, 경희대학교 pp. 199-224.

- 안 유환, 1992. 해양미생물들의 광특성(흡수, 역산란 및 형광) 연구와 Ocean Color Remote Sensing에 응용 : '92 국내외 한국과학기술자 학술회의, 추계 Workshop 지구과학분과, 과총, pp. 94-98.
- 양 영규·조 성익·정 인숙·배 영래·강 태호·최 경호·남 현옥·서 종조·김 상하·김 경옥, 1991. 원격탐사관련기술 실용화 연구(III), 한국과학기술원 시스템 공학연구소, 과학기술처, pp. 71~124.
- 윤 해순, 1993. 낙동강 하구언 축조후의 수금류 식이식물군락의 변화에 관한 연구 : 낙동강 하류 철새도래지 생태계 학술보고서, 한국조류연구소, 경희대학교, pp. 355-375.
- 임업연구원, 1994. 활엽수자원 조사보고서, 임업연구원 연구 자료 제83호, pp. 150-151.
- 조 성훈, 1995. 위성탐재 원격탐사자료를 이용한 식생의 방향성 분광특성연구, 국민대학교 대학원 석사논문, 42p.
- 환경처, 1994. 녹지자연도 지역정밀조사 -경상남도·경상북도-, 행정간행물 등록번호 12000-67140-57-9446.
- Bartolucci, L.A., B.F. Robinson, and L.F. Silva, 1977. Field measurements of the spectral response of natural water, *PE & RS*, 53(5) : 595-598.
- Center for the Study of Earth from Space(CSES) and Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences(CIRES), 1992. SIPS User's guide : Spectral image processing system, version1.2. University of Colorado, Boulder CO, USA, pp. 16-29.
- Hilderbrandt, G. 1984. Das Reflexions-und Emissionsverhalten natürlicher Oberflächen ; Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft, Herbert Wichmann Verlag, pp. 23-37.
- Hoffer, R.M., 1979. Biological and Physical Considerations in Applying Computer Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data ; *Remote Sensing : The Quantitative Approach*, McGraw-Hill, Inc. pp. 227-286.
- Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index, *Remote Sensing of Environment*, 25 : 295-309.
- JAROS, 1993. JERS-1 Mission Instruments, 05JSGISI-PM-006
- Jensen, J.R., 1996. *Introductory Digital Image Processing*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, pp. 197-252.
- Kim C., 1996. Comparison of spectral angle mapper classification and maximum likelihood classification for winter land cover of Lower Nak-Dong River region, *Proc. of International Symposium on Remote Sensing*, Cheju, Korea, Oct. 24-25,

1996, pp. 210-215.

Research System, Inc., 1995. ENVI version 2.0 Tutorial Boulder, CO, USA, pp. 41-47.

Running, S.V., T.R. Loveland, L.L. Pierce, R.R. Nemani and E.R. Hunt, Jr., 1995. A Remote Sensing Based Vegetation Classification Logic for Global Land Cover Analysis, *Remote Sensing of Environment*, 51(1) : 39-48

Verbyla, D.V., 1995. *Satellite Remote Sensing of Natural Resources*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA, pp. 157-168.

Yuhas, R.H. and A.F.H. Goets, 1993. Comparision of airborne(AVIRIS) and spaceborne(TM) imagery data for discriminating among semi-arid landscape endmembers, *Proc. of Ninth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing*, Pasadena, CA, USA, pp. 503-511.