

위성영상의 적정 해상도 탐색 방안에 관한 연구

구자용* · 황철수**

상명대학교 사회과학부 지리학전공*, 경희대학교 지리학과**

A Procedure to Select the Optimum Resolution for Satellite Imagery

Cha-Yong Ku* and Chul-sue Hwang**

Division of Social Sciences, Sangmyung University*, Department of Geography, KyungHee University**

Abstract : The geographical phenomena in space are well observed in the specific scale. This scale is called the operational scale. For an analysis of the optimum scale, it is needed to measure and represent the characteristics of attribute information extracted from the satellite imagery. The development of remote sensing technique makes various images with different resolution available. Researchers can select the image with the optimum resolution for their analysis among various resolutions. For an effective analysis of the scale characteristics of satellite image, we investigated the characteristics of attribute information extracted from satellite image with different resolution. The two stage-procedure for exploring the optimum resolution proposed in this study was tested by applying to the satellite imagery covering Suncheon bay. This procedure can be an effective tool utilizing the scale characteristics of attribute information extracted from satellite imagery.

Key Words : optimum resolution, scale change, image characteristics, autocorrelation

요약 : 원격탐사 영상은 해상도가 변화함에 따라 축척 효과에 의해 영상의 특성이 변화한다. 연구자는 다양한 해상도의 원격탐사 영상으로부터 연구에 적합한 공간적 현상이 나타나는 적정 해상도를 선택할 필요가 있다. 특정 지리현상은 특정 축척에서 가장 잘 표현될 수 있기 때문이다. 이와같이 공간현상을 명확하게 설명하기 위해서는 이러한 현상이 나타나는 축척이나 공간 해상도를 적절히 선정하여야 한다. 본 연구에서는 위성영상의 적정 해상도를 탐색하기 위하여 구조특성과 분광분리도를 측정하는 지수들을 살펴보고 이를 이용하여 적정 해상도를 모색하는 과정을 제시하였다. 연구의 수행과정에서 제안한 해상도 특성 측정지수와 적정 해상도 모색과정을 순천만의 위성영상에 적용하여 그 효용성을 평가하였다. 원격탐사 영상으로부터 적정 해상도를 선정하기 위해 제안한 2단계의 탐색절차를 시험한 결과 적정 해상도 탐색이 가능하였고 분류정확도와와의 상관관계도 높게 나타났다. 2단계의 적정 해상도 탐색절차는 연구지역의 지리현상을 반영하는 해상도를 모색하는 기법으로 이용될 수 있다.

1. 서론

원격탐사 영상은 지표면의 정보를 담고 있으므로 해상도가 변화함에 따라 축척 효과(scale effect)에 의해 특성이 변화한다(Goodchild and Quattrochi, 1997). 따라서 연구자는 다양한 해상도의 원격탐사 영상으로부터 연구에 적합한 지리현상이 나타나는 적정 해상도(optimum resolution)를 선택하여야 한다. 다양한 해상도의 원격탐사 영상으로부터 적정 해상도를 탐색하기 위해서는 해상도의 변화에 따른 영상의 특성을 객관적 지수로 산출할 필요가 있다. 이 지수는 해상도 변화에 따른 영상의 특성의 변화를 대표하는 값이다. 즉, 해상도에 따라 영상의 특성을 표현하는 지수의 값이 변화하기 때문에 이의 변화를 분석하면 적정해상도 탐색이 가능하다.

한편, 해상도에 따라 변화하는 영상의 특성을 표현할 지수는 다음과 같은 요건을 고려하여 선정하였다. 첫째, 해상도에 따른 변화를 명확히 표현하여야 한다. 즉, 해상도의 변화에 따른 지수의 민감도(sensitivity)가 높아서 영상 특성의 변화에 민감하게 반응할 수 있어야 한다. 둘째, 영상의 처리 과정이 효율적이어야 한다. 일반적으로 영상으로부터 필요한 속성을 파악하기 위해서는 영상의 전처리, 훈련지역 설정, 영상의 분류, 정확도 평가 등 일련의 영상처리 절차를 필요로 한다. 해상도에 따른 원격탐사 영상의 특성을 모두 파악하기 위해서는 이러한 절차를 모두 처리하기 위해서는 많은 비용과 시간이 소요된다. 따라서 해상도를 측정하는 지수는 최소한의 영상처리 절차만을 거치면서도 최종 결과를 예측할 수 있는 지표이어야 한다. 셋째, 속성정보의 분류 정확도가 반영될 수 있어야 한다. 원격탐사 영상은 최종적으로 지표면의 속성정보로 변환되며 이러한 속성정보의 질을 평가하는 방법이 분류정확도이다. 따라서 분류정확도는 다양한 해상도로부터 분류된 속성정보의 질을 평가하는 주요한 수단 중의 하나이다. 해상도의 변화를 측정하는 지수는 원격탐사 영상으로부터

터 파악되는 속성정보의 변화를 표현하여야 하므로 분류정확도와 밀접한 관계가 요구된다.

본 연구에서는 영상의 해상도에 따른 특성을 이용하여 적정 해상도 탐색과정을 제안하고자 한다. 이를 위해 위성영상의 해상도를 저감하여 다양한 해상도의 영상을 제작하고, 생성된 다양한 해상도의 영상을 대상으로 구조특성과 속성정보 특성의 변화를 파악하여 이를 통해 특정 지리현상이 나타나는 축척(operational scale)을 선정하고자 한다.

2. 위성영상의 해상도 특성 측정지수

해상도의 변화에 따른 영상의 특성을 분석하기 위한 지수는 크게 두 가지 종류로 구분할 수 있다. 첫째는 속성정보 분류과정 이전의 영상을 대상으로 해상도에 따른 특성을 파악하는 지수이다. 기존 연구의 기술통계적 분석이나 국지적 분산, 프랙탈 차원 등과 같이 영상의 공간적 구조특성(spatial structure)을 파악하는데 사용되는 지수들이 여기에 속한다. 둘째는 속성정보의 파악과정에서 훈련지역의 특성을 반영한 지수이다. 원격탐사 영상으로부터 분류된 속성정보의 특성은 영상의 질을 평가하는 중요한 기준이다. 기존의 위성영상의 해상도 특성을 파악할 수 있는 지수들을 아래와 같이 유형화시켜 볼 수 있다.

1) 위성영상의 구조특성 측정지수

(1) 국지적 분산(local variance)

원격탐사 영상의 해상도에 따른 변화를 측정하고 적정 해상도를 모색할 수 있는 방안 중의 대표적인 기법이 국지적 분산(local variance)이다. Woodcock와 Strahler(1987)에 의해 개발된 국지적 분산은 3×3의 이동 윈도우(moving window)를 영상 자료에 씌운 후 분산을 계산하는 방법이다. 국지적 분산은 원격탐사 영상의 해상도 특성을 측정하기 위해 구조적인 특성을 측정하는 기법이다.

그러나 국지적 분산기법은 영상의 전체 분산에 의존하고 있다는 점이 가장 큰 문제로 대두된다. 즉, 한 영상의 국지적 분산의 측정 결과는 다른 영상의 결과와 비교할 수 없다. 또한 영상의 국지적 분산이 다시 평균으로 요약되기 때문에 영상내에서 분산의 공간적 분포특성을 파악할 수 없다.

(2) 프랙탈 차원(fractal dimension)

프랙탈 분석은 프랙탈 차원의 측정을 통하여 이루어진다(Lam and Cola, 1993, Lam, 1990). Cao(1992)는 위성 영상에 대한 프랙탈 차원을 계산하기 위한 Isarithm 기법, Variogram 기법, Triangular prism 기법 등을 비교·분석하여 이 가운데 Goodchild(1980)가 제안한 Isarithm 기법을 가장 적절한 방법으로 평가한 바 있다. 위성 영상의 프랙탈 차원은 일반적으로 2차원과 3차원 사이의 실수값으로 나타난다. 프랙탈 차원의 값이 높을수록 복잡한 공간구조를 가지고 있기 때문에 해상도에 따른 프랙탈 차원의 변화를 관찰함으로써 공간구조의 변화를 파악할 수 있다. 이러한 원리로 프랙탈 차원을 구하여 해상도에 따른 영상의 특성을 수치로 표현할 수 있다.

(3) 분산영상의 공간적 자기상관

원래의 영상이 가지고 있는 분포특성이 해상도 저감과정에서 어떻게 변화하였는가를 파악하기 위해서는 평균영상 이외에 분산영상(variance image)이 필요하다. 분산 영상은 원래의 영상이 해상도가 저감될 때 변화되는 지역의 분포특성을 나타내는 영상이다. 해상도를 저감할 때 원래의 해상도에서 화소들간의 이질성이 크면 하위영상의 분산은 커진다. 반대로 화소들이 비슷한 값을 가지고 있으면 하위영상의 분산은 작아진다. 넓고 평활한 지역은 해상도의 저감과정에서 낮은 분산의 값이 기록되며, 좁고 복잡한 지역은 높은 분산의 값이 기록된다. 분산영상과 같이 연속적인 변수를 가지고 있는 자료의 분포패턴은 Moran의 제 2측도를 이용한 자기상관 측정이 적합하다(남영우, 1992).

2) 훈련지역의 분광분리도 측정기법

(1) Divergence

Divergence는 원격탐사 자료의 처리에 이용되는 최초의 통계적 분리도 측정기법 중의 하나로 자주 사용되고 있다. Divergence는 감독 분류의 훈련지역 선정과정에서 수집되는 계급 통계의 평균과 공분산 행렬을 이용하여 계산된다. Divergence를 구함으로써 훈련지역의 영상자료를 계급간의 통계적 분리도를 파악할 수 있다. 그러나 Divergence는 분류계급간의 거리가 멀어질수록 급격히 증가하는 경향이 있어 일반화하기 어렵다는 단점을 가지고 있다(Jensen, 1996).

(2) J-M distance

Jeffreys-Matusita distance는 Divergence를 변형한 Bhattacharyya distance를 지수변환하여 계산한 값이다. 이 J-M distance는 다변량의 분류계급으로부터 분광분리도(spectral separability)를 계산할 때 Divergence보다 널리 사용되는 기법이다. 그것은 J-M distance가 Divergence가 가지고 있던 distance에 따른 분광분리도의 급격한 증가현상이 나타나지 않기 때문이다. 그러나 계산과정이 복잡하고 많은 처리시간이 소요된다는 단점이 있다.

(3) Mahalanobis distance

Mahalanobis distance는 기하학에서 널리 사용되는 유클리드 distance에 자료간의 상관관계나 분포를 함께 고려한 값으로서 인도의 수학자 Mahalanobis가 고안했다. Mahalanobis distance는 유클리드 distance에 계급간의 공분산 행렬을 곱한 값이다. Mahalanobis distance는 J-M distance에 비하여 계산이 간단하고 처리시간도 적게 소요되는 장점이 있다. 또한 Divergence에서 나타나는 계급간 distance에 대한 급격한 분광분리도 증가도 나타나지 않는다. Mahalanobis distance는 이러한 장점으로 분광분리도 측정기법으로 널리 사용되고 있으며, 특히 영상의 분류 방법 가운데 하나인 Mahalanobis 분류법의 핵심기술이다.

3. 적정 해상도 탐색절차

일반적으로 원격탐사 영상의 적정 해상도는 영상을 분류할 경우 속성정보가 잘 표현되는 이른바 '현상반영 축척'에 해당되는 해상도를 일컫는다. 다양한 해상도의 원격탐사 영상으로부터 적정 해상도를 선정하기 위해서는 객관적인 해상도 특성 지수를 개발하여 영상의 특성변화를 분석할 필요가 있다. 즉, 영상의 특성을 반영할 수 있는 지수를 선정하고 이 지수의 변화를 분석하여 적정해상도를 선정할 수 있다.

그런데 영상의 특성을 반영하는 하나의 지수

만으로 적정해상도를 선정하는 방법에는 무리가 따른다. 해상도 특성을 파악하기 위한 지수들은 개발목적에 따라 각자 다른 특성을 반영하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 해상도 특성을 표현하기 위한 지수들을 조합하여 적정 해상도 탐색 절차를 제안하고자 한다. 원격탐사 영상의 적정 해상도 탐색을 위한 절차를 모식적으로 표현하면 Fig. 1과 같다.

원격탐사 영상으로부터 정보를 파악하는 과정은 기하보정된 영상으로부터 혼련지역을 설정하고 이를 바탕으로 토지유형을 분류한 후 정확성을 평가하는 절차를 거친다. 해상도에 따른 영상의

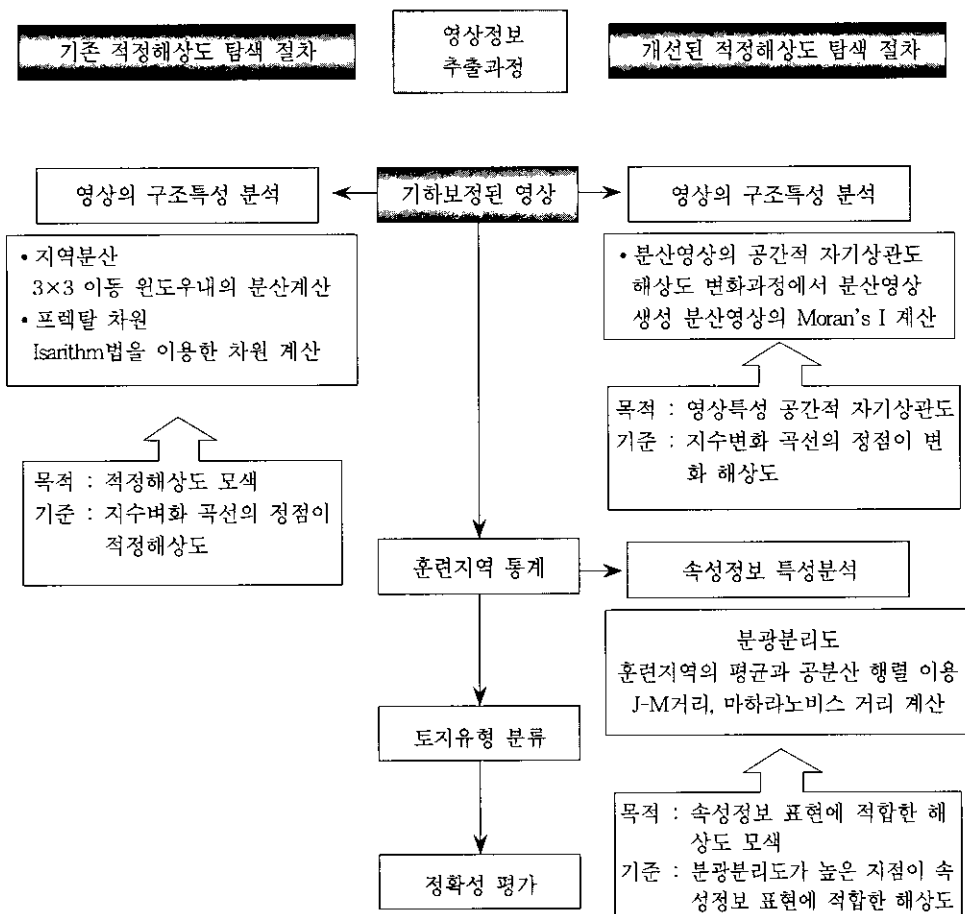


Fig. 1. Proposed steps required to select a optimum resolution

특성을 파악하기 위해, 특히 영상으로부터 파악되는 속성의 특성을 파악하기 위해서는 이러한 영상 처리 과정을 거쳐 정확도가 평가되어야 한다. 그러나 다양한 해상도의 모든 영상으로부터 속성을 분류하고 정확성을 평가하기 위해서는 많은 비용과 시간이 소요된다. 따라서 영상처리 과정을 모두 수행하지 않고서도 영상으로부터 파악된 속성 정보를 적절히 표현할 수 있는 해상도의 탐색절차가 필요하다.

지금까지 적정해상도의 선정을 위한 기존 연구들은 원래의 영상을 대상으로 해상도에 따른 구조적 특성을 파악하는데 집중되어 왔다. 예컨대 국지적 분산과 프랙탈 차원이 여기에 해당된다. 그러나 이들 지수는 영상으로부터 취득되는 속성정보의 처리과정이 반영되지 않기 때문에 속성정보의 변화를 파악할 수 없다는 단점을 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 원격탐사 영상의 적정 해상도 탐색절차를 두 단계로 나누어 접근하고자 한다. 우선 영상의 구조특성 측정을 통한 변화 해상도를 선정하고, 다음 단계로 분광분리도 측정을 통해 속성정보의 표현 해상도를 선정한다.

1) 위성영상의 해상도 저감

위성영상은 수치자료의 형태로 되어있어 컴퓨터에서 수치의 조작으로 공간 해상도 변환이 가능하다. 인근의 픽셀의 값을 조합하여 하나의 대표값을 줌으로써 저해상도의 축척으로 변환할 수 있다. 또한 저해상도로 변환된 영상역시 인근의 픽셀값을 합침으로써 더욱 낮은 해상도의 영상을 제작할 수 있다. 원 이미지를 기반으로 계속 축척을 줄여가면서 낮은 해상도의 영상을 제작하면, 마치 하나의 피라미트 같은 구조를 이루게 된다. 이러한 축척변형 방법을 피라미트 모형이라고 한다. 원 이미지로부터 생성된 여러 가지 축척의 이미지들은 각각 비교, 분석되어 연구자의 분석에 적합한 해상도로 선정된다. 이때 새로운 해상도의 대표값을 부여하는 방법중에서 가장 보편적으로 사용되는 축척변환 기법이 원래의 화소들의 평균값을 구하여 하나의 화소로 표현하는 평균법이다. 평균법

은 전체 영상이 영상의 통계적 특성을 유지하면서, 영상의 내용을 보존할 수 있는 방식이다.

낮은 해상도의 영상을 제작하기 위하여 화소의 평균을 구할 때, 분산(variance)도 동시에 구할 수 있다. 분산은 자료의 산포도를 측정하는 기법으로 평균과 함께 기본적인 통계 특성을 표현할 때 사용된다. 따라서 낮은 해상도의 영상을 제작할 때 평균값을 가진 영상과 함께 분산값을 가진 영상을 동시에 제작하면, 영상의 특성을 분석하는데 더욱 효과적이다. 구체적으로는, 영상에서 인접한 화소들을 묶어 새로운 화소를 작성함으로써 해상도를 변화시키고, 새로운 영상으로 합쳐지는 화소들간의 분산을 계산하여 분산영상을 제작한다. 분산영상은 해상도를 저감할 때 저감된 영상과 원래의 영상간의 차이를 표현하는 영상이다. 따라서 분산영상의 공간분포를 분석함으로써 해상도 저감에 따른 영상의 변화를 파악할 수 있다.

X_1	X_2	→ 평균영상	$x_m = \sum_{i=1}^4 x_i / 4$
X_3	X_4	→ 평균영상	$x_v = \sum_{i=1}^4 (x_m - x_i)^2 / (4-1)$

2) 위성영상 구조특성의 변화 해상도 탐색

영상의 특성이 변화하는 해상도를 탐색하기 위한 지수로 분산영상의 공간적 자기상관도를 선정하였다. 해상도의 변화과정에서 파생되는 분산영상의 공간적 분포패턴을 파악함으로써 해상도 변화에 따른 영상의 특성 변화를 분석할 수 있다. 이러한 원리는 웨이브렛 다해상도 분해과정에서 상세영상(detail image)의 해석과 유사한 과정이라 할 수 있다.

1 단계 : 해상도의 변화과정에서 제작된 분산영상을 대상으로 공간적 자기상관도 측정지수인 Moran's I를 계산한다. Moran's I는 인접한 화소들간의 차이가 임의적인가 그리고 어떠한 경향을 가지고 있는가를 표현하는 지수로 I의 값이 높을수록 공간적 자기상관도가 높다고 할 수 있다. 공간적 자기상관도가 높으면 공간

적 분포패턴은 집중된다. 분산영상의 공간적 분포패턴이 집중되면 해상도 저감에 따른 일부구역의 변화가 크다는 것을 의미한다.

2 단계 : 각 해상도마다 측정된 Moran's I 값을 해상도에 따라 비교한다. Moran's I 값은 해상도의 변화에 따라 일정한 변화양상을 보이고 있다. 이러한 변화양상을 분석하고 이를 그래프로 표현한다.

3 단계 : Moran's I 값의 변화를 파악하여 변화 해상도를 선정한다. Moran's I의 변화를 표현한 그래프에서 곡선의 정점에 해당되는 해상도가 영상의 정보가 변화하는 해상도이다. 즉, 원격탐사 영상의 특성이 변화하는 해상도로써 이 해상도를 기준으로 영상의 정보가 변화하며 분류정확도가 저하된다.

분산영상의 공간적 자기상관도 분석을 통하여 영상의 특성이 변화하는 해상도를 탐색할 수 있다. 한편 변화 해상도보다 높은 해상도에서는 해상도의 변화에 따른 분류정확도의 변화가 크지 않다. 그러나 변화 해상도보다 낮은 해상도의 경우 해상도의 변화에 따른 분류정확도의 변화가 심하게 나타나고 있다. 따라서 변화 해상도보다 낮은 해상도 중에서 적정 해상도를 선정할 경우 속성정보의 표현에 적합한 해상도의 탐색 절차가 수반되어야 한다.

3) 위성영상의 속성정보 표현에 적합한 해상도 탐색

속성정보의 표현에 적합한 해상도의 탐색을 위해서는 훈련지역의 통계정보를 이용한 분광분리도 측정기법을 적용하는 것이 효과적이다. Markham과 Townshend(1981)의 연구에서와 같이 공간해상도가 영상의 분류결과에 미치는 주요 요인중의 하나가 분광분리도의 변화이기 때문이다. J-M distance와 Mahalanobis distance는 속성정보의 변화 과정을 명확히 표현하기 위한 지수가 될 수 있다. J-M distance나 Mahalanobis distance가 높게 나타나는 해상도는 분류정확도가 향상되는 해상도로 볼 수 있다. 따라서 이러한 해상도는 영상의 속성

정보를 잘 반영하는 해상도라고 할 수 있다. 분광분리도 측정기법을 이용한 속성정보의 표현에 적합한 해상도의 탐색절차는 다음과 같다.

1 단계 : 원격탐사 영상으로부터 훈련지역(training set)을 설정한다. 훈련지역은 영상으로부터 속성정보를 파악하기 위해 분류 지역의 특성을 전형적으로 가지고 있는 지역으로 선정한다. 선정된 훈련지역은 각 해상도의 영상에 적용된다.

2 단계 : 각 해상도의 영상으로부터 훈련지역의 통계량을 계산하여 signature 파일로 저장한다. 훈련지역의 통계량으로는 평균, 표준편차, 최소, 최대, 밴드간 공분산 등이 있다. 대부분의 영상처리 시스템을 통해 이와 같은 훈련지역의 통계량을 얻을 수 있다.

3 단계 : 훈련지역의 통계특성을 담은 signature 파일로부터 분광분리도를 측정한다. 분광분리도 측정기법으로는 J-M distance나 Mahalanobis distance를 이용한다. 이들 분광분리도 측정기법은 영상으로부터 분류되는 속성정보의 분류정도를 예측할 수 있는 기법이다.

4 단계 : 각 해상도마다 측정된 J-M distance와 Mahalanobis distance를 해상도에 따라 비교한다. 이들 분광분리도는 해상도의 변화에 따라 특이한 변화양상을 나타내고 있다. 이러한 변화양상을 분석하고 이를 그래프로 작성한다.

5 단계 : J-M distance와 Mahalanobis distance의 변화를 파악하여 영상의 속성정보를 적절히 표현할 수 있는 해상도를 선정한다. 분광분리도의 변화를 표현한 그래프에서 지수의 값이 급속히 증가하는 해상도가 영상의 속성정보를 잘 표현할 수 있는 해상도이다. 특히 변화 해상도보다 낮은 해상도 중에서 분광분리도가 증가하는 해상도는 영상으로부터 파악된 속성정보의 분류정확도가 증가하는 해상도로 파악될 수 있다. 즉, 원격탐사 영상의 속성정보를 적절히 표현할 수 있는 적정 해상도로 선정할 수 있다.

원격탐사 영상의 분광분리도 분석을 통하여 속성정보를 적절히 표현할 수 있는 해상도를 선정할

수 있다. 특히 분광분리도가 증가하는 해상도에서는 분류정확도의 향상을 예측할 수 있다. 이와 같이 분광분리도 측정기법은 변화 해상도보다 낮은 해상도에서 속성정보를 적절히 표현하고자 할 경우 적정 해상도를 선정하는데 사용될 수 있다.

본 연구에서 제안한 적정 해상도 탐색절차는 기존의 해상도 측정기법과 비교하여 다음과 같은 장점을 가질 수 있다. 첫째, 영상의 특성이 변화하는 해상도, 즉 변화 해상도를 우선 선정한다. 즉 기존 방법은 적정 해상도를 선정할 기준이 모호하였지만, 여기서 제안한 해상도 탐색 기법에서는 변화 해상도를 우선 탐색하여 연구자에게 적정 해상도를 선정할 수 있는 기준을 제시한다. 변화 해상도를 기준으로 자료의 질과 양을 고려하여 적정 해상도를 탐색할 수 있도록 분석의 유연성을 부여하고 있다. 영상은 일정 범위까지는 해상도의 변화에 따라 그 특성이 크게 변화하지 않다가 변화 해상도에서 급격히 변화한다. 이보다 낮은 해상도의 영상에서도 지리현상의 축적 효과에 따라 낮은 해상도라 할지라도 높은 수준의 정보를 파악할 수 있다. 둘째, 영상을 분석하여 파악되는 속성의 정확도를 예측할 수 있기 때문에 속성이 선명하게

표현되는 해상도를 탐색할 수 있다. 분광분리도가 증가하는 해상도는 영상으로부터 파악되는 속성정보의 정확도가 높은 해상도라 할 수 있다. 원격탐사 영상의 이용목적은 속성을 파악하여 공간정보로 가공하는 것이다. 따라서 정확한 속성정보가 파악되는 해상도의 탐색이 필요하다. 이때 분광분리도를 이용하여 속성파악에 적합한 해상도를 탐색함으로써 명확한 정보의 파악이 가능하다.

4. 적정 해상도 탐색절차 적용과 평가

1) 적용대상 지역과 자료

본 연구에서는 제안한 탐색 기법을 평가하기 위해 순천만 지역을 촬영한 위성영상을 활용하였다. 순천만 지역은 하천, 염생습지, 갯벌 등 해안습지가 분포하고 있기 때문에 영상의 해상도에 따른 토지유형 변화를 추적하는데 적합하다고 판단하였다. 해안습지는 육상 생태계와 해양 생태계가 만나는 접이지대로 다양한 지형과 식생군락을 형성하는 독특한 지형을 이루고 있으며 여러 환경요인에 의하여 공간적인 분포가 다양하게 나타나

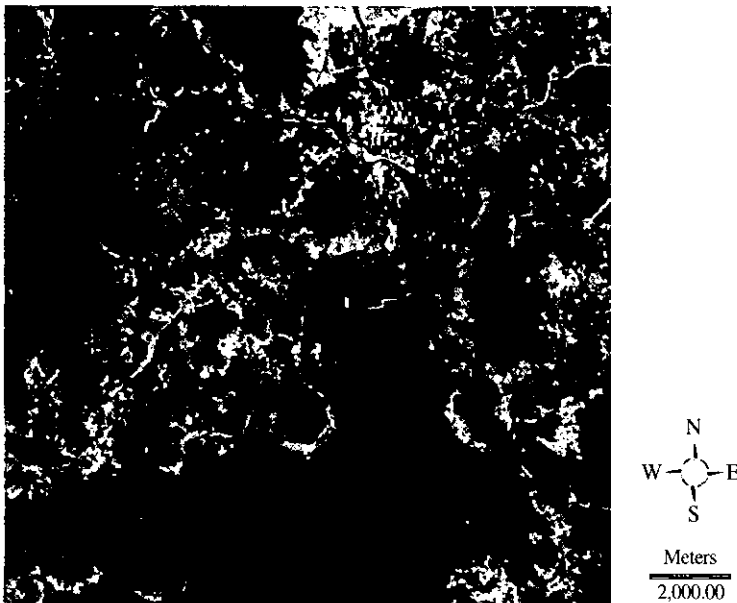


Fig. 2. Landsat TM image, Suncheon area

고 있다. 그러나 해안습지는 식생이 밀집되어 있고 지형이 불안정하여 현장을 직접 조사하는 방법 보다는 원격탐사 영상으로 그 특성을 파악하는 것이 효과적이다(Lyon and McCarthy, 1995). 특히, 염생습지는 몇몇의 군락이 군집되어 나타나기 때문에 각각의 군락을 파악하기 위해서는, 수미터 단위의 고해상도의 영상을 사용하지 않을 경우, 오히려 군집의 크기와 같은 저해상도의 영상이 해안습지의 파악에 효과적이다(McNairm et al. 1993). 따라서 본 연구에서는 해안습지의 파악에 있어 적정 해상도의 모색과정을 적용해 보고자 한다.

해안습지는 실험 자료는 현재 국내외에서 이용되고 있는 대표적인 영상인 Landsat TM 영상(1991년 3월 5일 촬영)을 이용하였다(Fig. 2). Landsat TM 영상은 4개의 적외선 밴드를 포함하

여 다양한 분광해상도를 가지고 있어 특히 습지지역의 토지정보 파악에 주로 이용되는 자료이다. 대상지역을 촬영한 Landsat TM 영상을 기하보정 후 순천만 지역의 영상을 512행과 512열로 절출하여 분석에 이용하였다. Landsat TM이 가지고 있는 7개의 분광밴드 중에서 공간적 해상도가 다른 6번 밴드(열적외선 밴드)를 제외한 6개 밴드를 이용하였다.

2) 적정 해상도 탐색단계의 적용

(1) 영상의 해상도 저감

순천만 해안습지의 Landsat TM 영상으로부터 적정 해상도를 탐색하기 위하여 영상의 해상도를 저감하였다. 해상도의 저감기법은 인접한 화소들의 평균과 분산을 구하고 이를 각각 영상으로 제

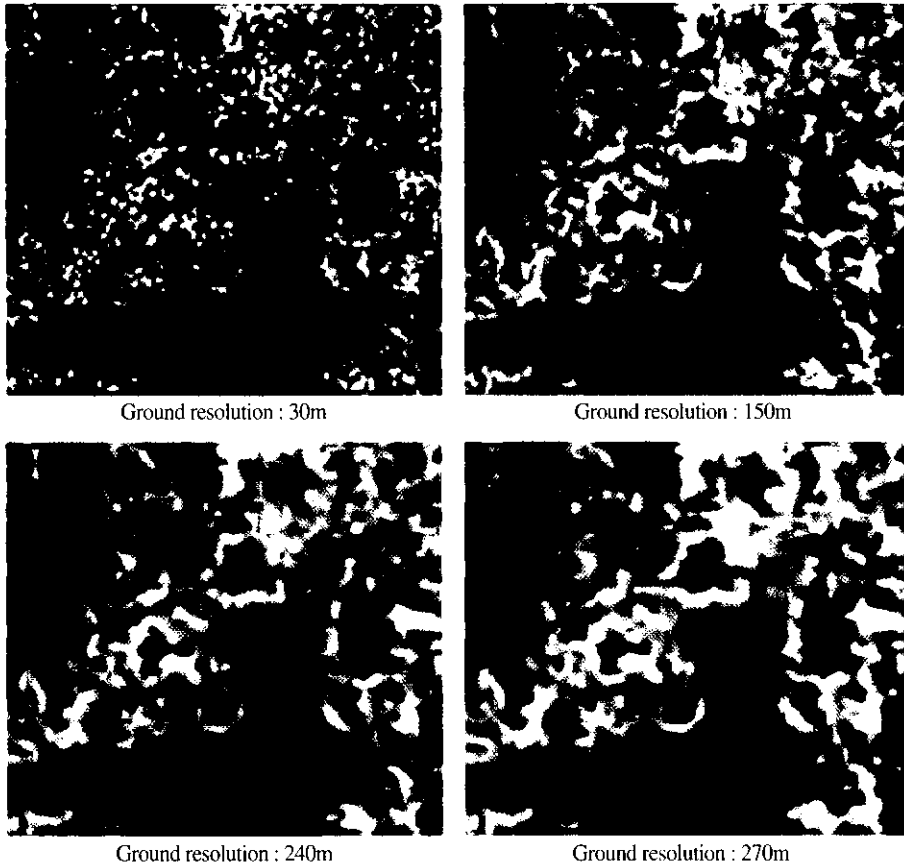


Fig. 3. Images with different resolution

작하는 방법을 사용하였다. 분산영상은 공간적 자기상관 분석을 통하여 구조특성을 측정하는데 사용되며, 평균영상은 분광분리도를 측정하는데 사용된다. 이들 영상은 순천만 해안습지의 파악에 적합한 적정 해상도를 모색하는데 실험자료로 이용된다. 또한 평균으로 해상도가 저감된 영상들은 각각 토지피복 분류과정과 분류정확도 평가과정을 거쳐 선정된 적정해상도가 적절한가를 분석하는 과정에 이용된다.

본 연구에서는 30m 해상도의 위성영상을 30m 간격으로 저감하여 480m 해상도까지 모두 16개의 영상을 제작하였다. 해상도가 저감된 영상은 각각 Fig. 3과 같다.

(2) 1 단계 : 영상의 구조특성 측정

해상도의 변환과정에서 제작된 분산영상을 대상으로 공간적 자기상관도의 측정을 통해 다음과 같은 특징을 발견할 수 있다(Fig. 4). 대부분 밴드에서 점차 Moran 지수가 120m 해상도까지 낮아지다가 150m 해상도에서는 증가하는 경향을 보인다. 그러나 다시 180m 해상도에서는 감소한다. 즉 150m 해상도에서만 공간적 자기상관이 급격히 증가한 후의 해상도에서는 감소한다. 이러한 현상은

300m 해상도와 390m 해상도에서도 유사하게 나타나고 있다. Moran 지수가 커졌다는 것은 분산의 공간적 분포가 일부 지역에 군집되었다는 것을 의미하며, 이는 해상도의 변화과정에서 일부지역의 변화가 크게 나타남을 의미한다. 따라서 Moran 지수가 증가하다가 감소하는 정점에서는 분산 분포의 추세가 변화하는 해상도로 파악될 수 있다. 다시 말해 150m, 300m, 390m의 해상도는 분산영상의 공간적 분포패턴의 변화가 나타나는 시점이라고 할 수 있다.

분산영상의 공간적 자기상관도 증가는 영상내의 일부분에서 공간적인 변화가 발생하였다는 것을 의미한다. 즉 해상도의 변화에 따라 영상의 공간적인 분포가 변화하였다는 것으로 해석할 수 있다. 순천만 지역의 영상에서 정점을 나타내고 있는 150m 해상도와 300m 해상도는 이전 해상도인 120m 해상도와 270m 해상도에서 해상도를 변화할 때 영상의 공간적인 변화가 발생하였다고 볼 수 있다. 이들 해상도는 해상도의 변화에 따라 영상의 구조특성이 변화하는 지점(scale of action)이라고 해석할 수 있다. 그렇다면 어떤 이유에서 이러한 현상이 발생하는 것인가? 순천만에는 최대폭이 120m에 이르는 염생습지가 존재하고 그 군집

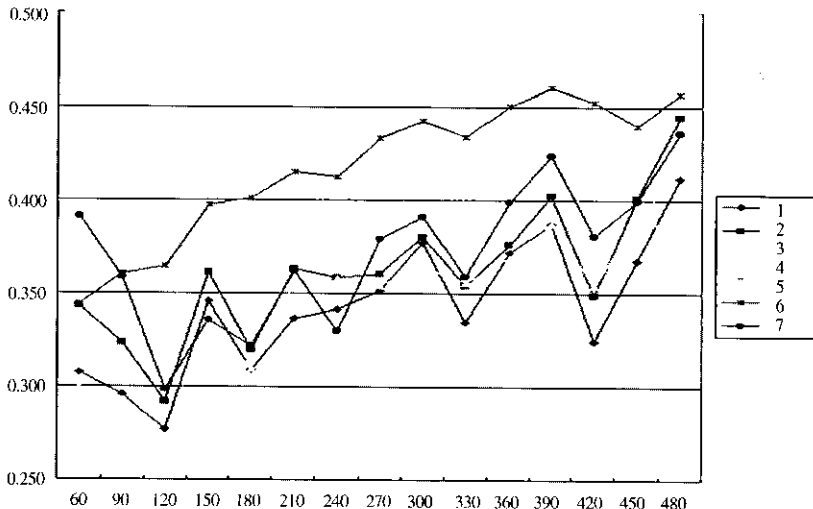


Fig. 4. Changes of spatial autocorrelation related with each 7 bands' variances

의 폭은 최대 280m이다. 영상에서는 염생습지의 최대 크기인 120m 해상도까지는 염생습지를 포함한 순천만의 특성을 표현할 수 있으나, 그보다 낮은 해상도에서는 영상의 특성이 변화하여 표현이 어렵다. 낮은 해상도에서는 염생습지가 군집으로 표현되다가 군집의 크기보다 큰 300m 해상도에서는 다시 그 특성을 표현할 수 없다. 이러한 순천만 지역의 특성이 분산영상의 공간적 자기상관도의 변화에 나타난다고 할 수 있다.

(2) 2 단계 : 영상의 분광분리도 측정

분광분리도 측정기법으로는 J-M distance와 Mahalanobis distance를 이용하였다. 분광분리도를 측정하기 위해서는 우선 토지유형 분류계급을 설정하고, 분류계급별 훈련지역의 선정이 선행되어야 한다. 우선 순천만의 토지유형을 수역, 갯벌, 삼림, 경지, 염생습지, 도시역의 6가지로 설정하고, 각 토지유형별로 두 개씩의 훈련지역을 선정하였다. 훈련지역은 벡터 파일 형태로 선정하여 다양한 해상도의 영상에 공통적으로 적용되도록 하였

다. 각 해상도의 영상을 대상으로 훈련지역의 기초통계량과 밴드간 공분산이 계산하여 그 결과를 signature 파일로 저장하였다. 작성된 signature 파일을 대상으로 분광분리도 측정기법인 J-M distance와 Mahalanobis distance를 측정하였다.

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 J-M distance와 Mahalanobis distance의 해상도에 따른 변화를 나타내고 있다. 분광분리도는 앞의 단계에서 파악된 변화 해상도인 150m 해상도까지는 크기 변화하지 않다가 그보다 낮은 해상도에서 분광분리도의 변화가 뚜렷이 나타나고 있음을 확인 할 수 있다. 특히 240m 해상도와 270m 해상도에서 분광분리도의 증가가 나타나고 있다. 이는 이들 해상도에서 속성정보가 잘 구분되고 있으며 따라서 이들 해상도가 속성정보의 표현에 적합한 적정 해상도라는 것을 의미한다. 즉, 변화 해상도인 150m 해상도보다 낮은 해상도에서는 속성정보의 표현에 적합한 해상도로 240m 해상도와 270m 해상도를 선정할 수 있다.

이상의 과정을 통하여 실험 대상지역의 영상은 다음과 같은 해상도 특성을 가지고 있다. 첫째, 영상의 구조특성이 변화하는 변화 해상도는 150m이다. 즉, 분산영상의 공간적 자기상관도의 변화를 해상도에 따라 분석할 때, 그 변화가 정점인 해상도가 영상의 구조특성이 변화하는 변화 해상도라 할 수 있다. 둘째, 변화 해상도보다 낮은 해상도에서 영상의 속성정보를 표현하기에 적합한 적정 해상도는 240m 해상도와 270m 해상도이다. 이는 J-M distance와 Mahalanobis distance와 같은 분광분리도 측정을 통하여 선정할 수 있다. 즉, 해상도에 따른 분광분리도의 변화를 분석할 때, 분광분리도가 급격히 증가하는 해상도가 속성정보의 표현에 적합한 적정 해상도라 할 수 있다.

3) 적정 해상도 탐색절차의 평가

(1) 해상도별 영상의 분류정확도 비교

적정 해상도 탐색절차를 통하여 선정된 변화 해상도와 속성정보의 표현을 위한 적정 해상도가

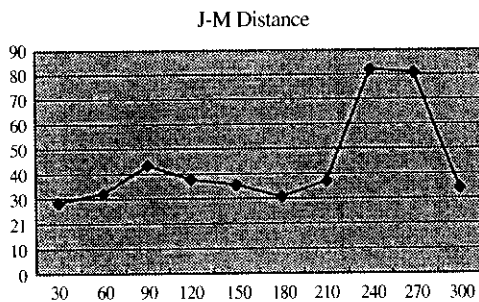


Fig. 5. Change of J-M distance

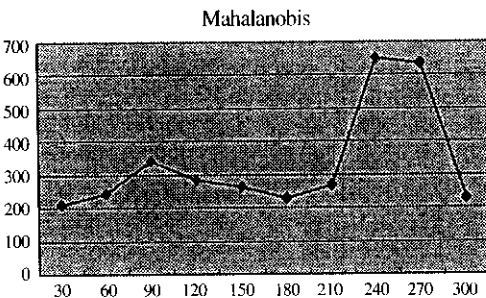


Fig. 6. Change of Mahalanobis distance

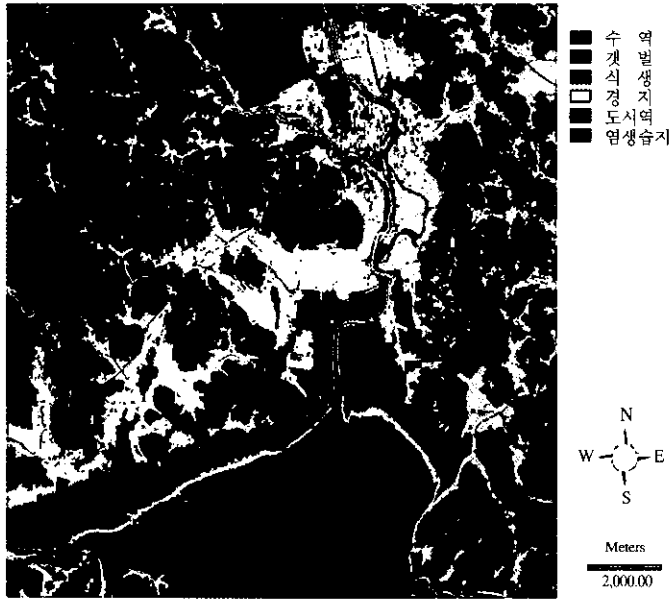


Fig. 7. Land-cover classification of the sample image

영상의 특성을 반영하고 있는가를 평가하기 위하여 실제 영상을 토지피복 분류하고 분류정확도 분석을 통하여 분류결과를 평가하였다. 먼저 각 해상도의 영상에서 선정된 훈련지역을 대상으로 토지유형 분류를 실시하였다. 연구 지역의 토지유형 분류계급은 수역, 갯벌, 경지, 삼림, 염생습지, 도시 지역의 6가지 계급을 이용하였다. 30m 해상도의 영상에서 토지유형의 분류결과를 Fig. 7과 같다.

분류정확도 분석을 위하여 순천만의 지형도와 항공사진, 그리고 임상도를 이용하여 참조지도를 작성하였다. 참조지도는 수역, 갯벌, 경지, 그리고

삼림의 4가지 분류계급으로 이루어져 있으며 Arc/Info의 벡터 커버리지 형태로 되어 있어 다양한 해상도의 래스터 자료로 변환이 가능하다.

해상도에 따른 영상의 분류정확도 측정을 위하여 다양한 해상도의 영상을 분류하고, 이를 각각 해당 해상도의 래스터 참조자료와 비교하였다. 각 해상도에서 분류된 영상을 참조지도와 중첩·분석하여 전체 정확도와 Kappa Index를 계산한다 (Fig. 8, Fig. 9).

해상도에 따른 영상의 분류정확도 변화를 적정 해상도 탐색절차에서 나타난 영상의 특성과 비교

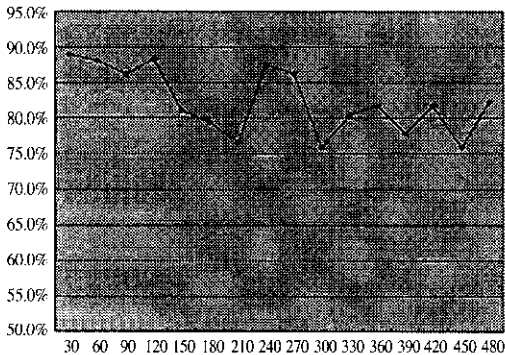


Fig. 8. Accuracy change according to spatial resolutions

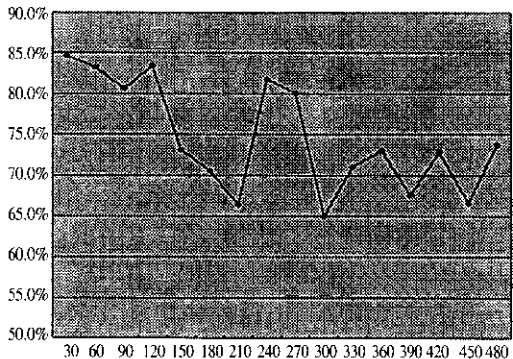


Fig. 9. Change of Kappa Index

하면 다음과 같은 특징을 찾을 수 있다. 첫째, 분산영상의 공간적 자기상관도 측정을 통하여 파악된 변화 해상도인 150m와 300m 해상도에서 정확도의 급격한 하락이 나타나고 있다. 즉 영상의 특성이 변화하는 변화 해상도에서 영상의 분류정확도가 하락한 결과와 일치하고 있다. 이것은 분산영상에 대한 자기상관도 측정의 유용성을 밝혀주는 근거라고 할 수 있다. 둘째, 영상의 분광분리도 측정기법을 이용하여 선정된 속성정보 표현의 적정 해상도인 240m 해상도와 270m 해상도에서 분류정확도의 증가가 나타나고 있다. 즉, 분광분리도가 향상된 해상도에서 분류정확도가 향상되는 결과와 일치하고 있다. 변화 해상도보다 낮은 해상도에서 속성정보의 표현에 적합한 적정 해상도에서 분류 정확도가 향상하고 있다. 이러한 맥락에서 J-M distance와 Mahalanobis distance는 영상의 속성정보의 표현에 적합한 해상도를 탐색하는 과정에 활용할 수 있다.

(2) 분류정확도와 해상도 특성 측정지수의 상관관계 분석

다음으로 영상의 해상도 특성을 반영하는 지수들을 평가하기 위하여 정확도와의 상관관계를 분석을 실시하였다. 상관관계 분석은 두 단계로 진행하였다. 첫째는 원격탐사 영상의 구조특성을 측정하기 위한 해상도 특성 측정 기법들과 분류정확도를 대상으로 상관분석을 실시하였고, 두 번째로 영상으로부터 분류되는 속성정보의 경향을 예측하기 위한 분광분리도와 분류정확도의 상관관계를 분석하였다. 상관관계 분석 방법은 Spearman의

비모수 순위상관 분석을 행하였다. 순위상관 분석은 자료의 양이 작거나 서열척도일 경우 사용되는 상관관계 분석방법이다. 본 연구의 경우 30m 해상도부터 300m 해상도까지 11개의 자료만을 사용하였기 때문에 Pearson의 상관분석보다는 순위상관 분석이 적합하다.

① 원격탐사 영상의 구조특성과의 상관관계 분석

원격탐사 영상의 구조특성을 측정하는 3 가지 지수, 즉 국지적 분산, 프랙탈 차원, 그리고 분산영상의 자기상관도와 분류정확도에 대해서 해상도에 따라 상관관계를 분석한 결과는 Table 1과 같다.

분류정확도와 영상의 구조특성을 나타내는 지수들 사이의 상관관계를 살펴보면 분산영상의 공간적 자기상관이 높은 상관관계를 보이는 반면 다른 측정지수들은 상대적으로 낮은 상관관계를 보이고 있다. 분산영상의 공간적 자기상관도가 부(負)의 상관관계를 갖고 있는 것으로 보여 분산영상의 공간적 자기상관이 높을수록 영상의 분류정확도는 낮아진다고 볼 수 있다. 특히 앞서 분석한 바와 같이 분산영상의 공간적 자기상관도가 정점인 해상도에서 분류정확도가 급격히 하락하는 현상은 이와 같은 부의 상관관계를 그대로 반영하는 사례로 인식할 수 있다.

② 원격탐사 영상의 분광분리도와 분류정확도 변화와의 상관관계

원격탐사 영상으로부터 파악되는 속성정보의 특성을 반영할 수 있는 3 가지 분광분리도 측정기법인 Divergence, J-M distance, 그리고 Mahalanobis distance에 대해서 각각 분류정확도와 상관관계를

Table 1. Spearman's rank correlation coefficient between the structural indicies and the classification accuracies

	국지적 분산	프랙탈	분산영상의 공간적 자기상관
상관관계	-0.273	-0.200	-0.717

Table 2. Spearman's rank correlation coefficient between the indices of spectral separability and the classification accuracy

	J-M distance	Mahalanobis	Divergence
상관관계	0.636	0.588	0.042

측정한 결과는 Table 2와 같다. 분광분리도는 속성정보의 변화정도를 예측할 수 있는 지표이므로 분광분리도의 변화량과 분류정확도의 변화량을 대상으로 상관관계를 분석하였다.

J-M distance와 Mahalanobis distance가 분류정확도와 상대적으로 높은 정(正)의 상관관계를 보이는 반면에, Divergence의 상관관계는 매우 낮게 나타났다. 즉, 이들 분광분리도는 분류정확도를 60%에 가까운 정도로 예측할 수 있다. 따라서 J-M distance와 Mahalanobis distance는 해상도의 변화에 따른 속성정보의 변화를 잘 반영하고 있을 뿐만 아니라 속성정보의 분류정확도의 변화와도 상대적으로 상관관계가 높다는 것을 암시하며, Divergence의 경우 해상도의 변화에 따른 속성정보의 변화를 분광분리도로 표현하기 어렵다고 할 수 있다.

이상의 결과를 종합해보면 분산영상의 공간적 자기상관도는 분류정확도와 유의한 상관관계가 있으므로 해상도의 변화에 따른 영상의 특성을 파악하기 위한 지수로 사용될 수 있다. 특히, 해상도에 따른 전반적 영상의 변화를 파악하고 해상도가 변화하는 지점(scale of action)을 탐색할 경우에는 유용한 지표가 될 수 있다고 판단된다. 또한 분광분리도 측정기법인 J-M distance와 Mahalanobis distance는 정확도의 변화를 예측하기 위한 지수로 활용될 수 있다. 즉 이들 지수가 정확도의 변화와 정(正)의 상관관계에 있으므로 분광분리도가 크게 증가한 해상도가 분류정확도가 향상되는 해상도로 해석할 수 있다.

5. 결 론

지리·공간적 현상에 대한 분석은 연구자가 선택한 공간자료의 축척에 따라 서로 다른 결과를 도출한다. 계량적 방법을 동원하여 지표 공간상의 특성을 파악하고 분석하는 원격탐사와 지리정보학(Geographic Information Science)의 연구에서도 '축척(scale)'은 연구결과에 중요한 변수로 작용한

다. 특히 원격탐사 기법을 이용한 연구에서는 공간해상도가 축척의 역할을 하며, 공간해상도의 변화는 위성영상이 담고 있는 지리정보의 공간적 패턴을 변화시킨다. 따라서 연구자가 원격탐사를 이용하여 지역을 분석할 경우 지리현상을 적합하게 반영할 수 있는 적정 해상도, 즉 현상반영 축척의 선정은 연구결과와 신뢰도를 결정하는 핵심적 요소로 평가할 수 있다.

본 연구에서는 원격탐사 영상으로부터 적정 해상도를 선정하기 위해 2단계의 탐색 절차를 제시하고 이를 실험하였다. 분석과정은 제 1 단계로 원영상의 구조특성을 분석하여 변화해상도를 탐색한다. 이때 분산영상의 공간적 자기상관도를 지수로 활용할 수 있다. 변화해상도는 영상의 특성이 변화하는 해상도로 영상의 토지피복 분류정확도가 급격히 하락하는 해상도이다. 따라서 영상의 변화해상도를 탐색함으로써 영상의 특성을 유지할 수 있는 한계에 해당되는 해상도를 찾을 수 있다.

제 2 단계로 영상에서 속성정보를 추출하는데 적합한 해상도를 탐색한다. 여기에는 훈련지역의 분광분리도를 지표로 활용한다. J-M distance와 Mahalanobis distance는 영상으로부터 분류된 속성정보의 정확도를 예측할 수 있는 지수로 판명되었다. 즉, J-M distance와 Mahalanobis distance가 높게 나타나는 해상도가 영상의 분류정확도가 높게 나타나는 해상도이다. 그리고 영상의 변화해상도보다 낮은 해상도에서 토지피복 정보를 명확하게 표현할 수 있는 해상도를 탐색함으로써 적은 양의 자료만으로도 연구지역의 특성을 명확하게 표현할 수 있다.

한편 본 연구에는 향후 더욱 다양한 토지유형을 가진 지역과 여러 가지 센서의 영상을 대상으로 연구가 보완되어야 한다. 이를 통해 일반화가 가능한 규칙을 도출함으로써 원격탐사 영상으로부터 적정 해상도를 탐색하는 연구는 다양한 공간해상도의 영상으로부터 연구자의 목적에 필요한 영상을 선정할 경우 명확한 기반을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 남영우, 1992. 계량지리학, 법문사.
- 어양담, 1999. 위성영상 분류를 위한 트레이닝 정규화 알고리즘과 클래스 분리도 측정기법의 개발, 서울대학교 도시공학과 박사학위 논문.
- 유근배, 1993. 지리정보론, 상조사
- Cao, C., 1992. *Detecting the Scale and Resolution Effects in Remote Sensing and GIS*, Ph. D. Dissertation, Louisiana State University.
- Goodchild, M. F. and D. A., Quattrochi, 1997. *Scale in Remote Sensing and GIS*, Lewis Publishers.
- Jensen, J. R., 1996. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Lam, N. S and D. A., Quattrochi, 1992. On the Issues of Scale, Resolution, and Fractal Analysis in the Mapping Sciences, *Professional Geographer*, 44(1): pp. 88-98.
- Lam, N. S. and L. D., Cola, 1993. *Fractals in Geography*, PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Lam, N. S., 1990. Description and Measurement of Landsat TM Images Using Fractals, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(2): pp. 187-195.
- Lyon, J. G. and J., McCarthy (eds), 1995. *Wetland and Environmental Applications of GIS*, Lewis Publishers, Boca Raton.
- Markham, B. L., and Townshend, J. R. G., 1981. Land cover classification accuracy as a function of sensor spatial resolution, *Proceedings of the 15th International Symposium on Remote Sensing of Environment*: pp. 1075-1090.
- McNairn, H., R., Protz, and C., Duke, 1993. Scale and Remotely Sensed Data for Change Detection in the James Baym Ontario, Coastal Wetlands, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 19(1): pp 45-49.
- Weigel, S. J., 1996. *Scale, Resolution and Resampling: Representation and Anlysis of remotely Sensed Landscapes across Scale in Geographic Information Systems*, Ph. D. Dissertation, Louisiana State University.
- Woodcock, C. E. and A. H., Strahler, 1987. The Factor of Scale in Remote Sensing, *Remote Sensing of Environment*, 21: pp. 311-332.