한국지역지리학회지 제7권 제1호(2001) 35~50

위성영상 해상도에 따른 순천만 해안습지의 분류 정확도 변화

구 자 용* · 황 철 수**

공간상의 지리현상은 축척에 따라 공간적 분포패턴이 다르게 표현되고 측정될 수 있다. 특정한 지리현상은 특정한 축척에서 보다 선명하게 관찰될 수 있다. 지표면의 정보를 담고 있는 위성영상 역시 공간해상도의 영향에 의해 독특한 특성을 보이고 있다. 위성영상의 분석을 위한 적정해상도를 모색하기 위해서는 영상으로부터 분류되는 속성의 특성을 파악하여야 한다. 본 연구에서는 순천만 해안습지를 대상으로 위성영상으로부터 토지피복 정보를 추출하고, 공간 해상도의 변화에 따른 변화를 살펴보았다. 순천만 영상을 대상으로 토지피복 분류정확도를 파악한 후 30m 해상도부터 480m 해상도까지 30m 간격의 16가지 해상도로 영상을 제작하여 분류정확도의 변화를 살펴보았다. 순천만 해안습지는 다양한 토지유형이 다양한 크기로 분포하고 있어 해상도의 변화에 따라 토지피복 특성이 변화하고 있으며, 순천만의 위성영상 역시 축척 효과에 의해 해상도에 따라 속성정보의 특성의 변화가 뚜렷하게 나타난다.

주요어 : 공간해상도, 위성영상, 원격탐사, 해안 습지, 토지피복 분류

1. 서 론

일반적인 지리학 연구에서와 마찬가지로 원격탐사와 GIS 시스템을 활용하는 연구에 있어서도 공간자료를 파악하거나 분석하는 과정에서 자료의 축척(scale)은 연구자가 고려해야 할 가장 중요한 요인중의 하나이다. 공간상의 지리현상은 축척에 따라 분포패턴의 특성이 다르게 표현되고 측정될 수 있으며 특정한 지리현상은 특정한 축척에서 보다 선명하게 관찰될 수 있다(Goodchild and Quattrochi, 1997). 위성영상을 이용하는 원격탐사 연구에서는 센서에서 취득되는 지표면의 최소단위인 공간해상도(spatial resolution)가 축척의 역할을 한다. 이때 지표면의 정보 역시 공간해상도의 영향에 의해 다른 특성을 보이고 있다(Welch, 1982).

GIS와 원격탐사를 이용하여 수집하는 지표면의 정보 중에서 해안습지는 최근까지 지속적으로 연구되고 있는 중요한 지역이다(Jensen, 1996). 해안습지는 육상 생태계와 해양 생태계가 만나는 점이지대로 다양한 지형과 식생군락을 형성하는 독특한 지형이다. 특히 해안습지는 환경의 변화에 따라 시공간적인 변화가 다양하며 다양한 형태의 토지피복이 나타나는 특징을 갖는다. 그런데 해안습지는 지형이 불안정하고 식생밀도가 높아 연구자가 직접 조사하기에는 많은 제약이 따르고 그 연구지역의 규모가 광범위할 때 세밀한 답사가 매우 힘들다. 그리고 기후변화나 해수면 변화와 같은 지구적 차원(global scale)의 환경변화 뿐만 아니라 간척사업과 같은 인위적인 그리고 국지적 차원(local scale)의 영향에 의해서도 민감하게 영향을 받는다. 이러한 배경에서 최근에 원격탐사 방법을 통해 해안습지를 구분하고 현지조사를 통하여 그 특성을 확인하거나 구체화시키는 연구방법이 활발히 동원되고 있다(Lee and Lenetta, 1995).

* 상명대학교 사회과학부 지리학과 전임강사
** 경희대학교 지리학과 전임강사

그런데 해안습지를 촬영한 영상은 해상도의 변화에 민감하기 때문에 습지에서 나타나는 지리현상을 효율적으로 표현할 수 있는 축척, 즉 '현상반영 축척'을 선정하는 과정이 포함되어야 한다. 본 연구는 우리나라 순천만 해안습지를 대상 지역으로 원격탐사 기법에 의한 토지피복 분류가 그 지역적 특성을 적절하게 반영하기 위해 위성영상이 갖는 공간적 축척의 영향을 파악하는데 그 목적을 두고 있다. 즉, 위성영상의 공간적 축척 변화에 따라 나타나는 해안습지의 변화를 탐색하기 위하여 참조지도를 다양한 해상도로 변화하여 그 특성을 파악하고, 여러 가지 해상도로 제작된 영상을 각각 토지피복 분류하여 분류정확도의 변화를 분석한다. 이를 통해 해상도의 변화에 따른 해안습지 토지피복의 특성변화를 비교함으로써 해안습지의 분석에 필요한 위성영상의 적정해상도를 모색하고자 한다.

2. 연구동향

원격탐사와 GIS 분야에서 해상도에 대한 연구는 최근들어 활발히 이루어지기 시작하였다. 원격탐사에서 다루어지는 해상도 중에서 주된 관심분야는 공간 해상도이다. 공간 해상도는 센서의 특성에 의해 결정되기 때문에 센서에 관한 연구가 지금까지는 주된 연구주제로 다루어져 왔다. 그러나 최근 다양한 공간 해상도의 위성영상이 등장함에 따라 공간해상도의 변화에 따른 영상의 특성을 탐색하는데 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 위성영상과 같은 수치 데이터는 아날로그 사진에 비하여 관리와 조작이 용이하기 때문에 연구자가 필요로 하는 공간 해상도의 자료로 변환이 용이하다. 수치 데이터의 형태로 구성되어 있는 영상자료로부터 다양한 해상도의 영상자료를 제작하고 각 해상도의 영상이 얼마나 지표면의 특성을 잘 반영하는가를 측정하는 모의실험이 가능하게 되었다.

Woodcock and Strahler(1987)은 원격탐사 영상이 공간 해상도에 따라 특성이 변화한다는 점을 밝히고, 이를 이용하여 적정 해상도를 탐색하는 기법을 제시하였다. 이들은 영상의 해상도가 저감됨에 따라 공간 구조(spatial structure)가 변화하며, 이에 따라 영상의 특성이 변화한다는 것을 밝혔다. 적정 해상도는 대상물의 크기와 관련이 있다는 점을 밝히고, 이를 측정하기 위하여 국지적 분산(local variance) 기법을 개발하고, 적정 해상도를 탐색하는 과정에 적용하였다. 공간 해상도의 변화가 영상의 분류결과에 미치는 영향에 관한 연구도 진행되었다. Markham and Townshend(1981)은 영상의 분류정확도는 두가지 요소에 의하여 결정된다고 밝히고 있다. 첫 번째 요인은 분류결과에서 주변에 위치한 화소의 영향이다. 이러한 화소들은 지표면의 토지피복 특성이 혼합되어 있어 이러한 화소의 해석결과에 따라 영상의 분류정확도가 크게 달라질 수 있다. 이는 지리현상이 나타나는 해상도, 즉 현상반영 축척과 연관지을 수 있다. 영상의 해상도가 저감됨에 따라 혼합된 화소의 영향이 늘어나고, 이는 특정 지리현상이 영상에서 표현될 수 있기 때문이다. 두 번째 요인은 해상도에 따른 분광분리도의 변화이다. 해상도가 저감됨에 따라 같은 계급내의 분광 분리도가 변화하고 이는 분류정확도의 결과에 영향을 미치게 된다.

지금까지의 공간해상도에 따른 위성영상의 특성을 파악한 기법들은 영상 자체의 특성변화에 초점이 맞추어져 왔다. 그러나 영상으로부터 분류되는 속성정보의 변화에 초점을 맞추고 속성정보를 잘 표현할 수 있는 기법을 탐구하여야 한다. Markham and Townshend(1981)의 연구는 해상도에 따른 속성정보의 변화를 추적할 수 있는 단서를 제공하고 있다. 즉, 지리현상이 나타나는 축척을 탐색하기 위해서는 영상으로부터 분류되는 결과의 변화를 파악하여야 한다는 것이다. 특히 해안습지와 같이 다양한 토지피복 패턴이 나타나는 지역에서는 습지를 잘 표현할 수 있는 'operational scale'의 탐색이 필요하다. 따라서 속성정보의 변화에 초점을 맞추고 이를 잘 표현할 수 있는 기법을 모색하고자 한다.

3. 연구 지역: 순천만

연구의 대상지역으로 전남 순천만의 해안습지를 택하였다. 순천만은 도시역, 경지, 삼림 등의 육상 경관과 함께 하천, 염생습지, 갯벌 등 해안습지의

그림 1. 연구 대상지역과 영상

특성을 가지고 있기 때문에 해상도에 따른 토지유형 변화의 추적에 적합하다고 판단된다. 연구지역의 위치는 1:25,000 도엽으로 순천, 원창, 광양, 신풍의 일부에 해당된다(그림 1). 자료는 1991년 3월 5일 촬영한 순천만 지역의 LANDSAT TM 영상을 이용하였다.

순천만은 순천시에서 남쪽에 위치하여 왼쪽으로는 여수반도와 오른쪽으로는 고흥반도에 둘러싸인 만(bay) 지형이다. 순천만은 넓은 갯벌과 갈대군락이 분포하여 있는 것이 특징이다. 순천만의 해안선은 총 39.8㎞이며 행정구역 상으로 순천시 인안동 다대동, 해룡면 선학리, 벌량면 우산리, 학산리, 풍리, 마산리, 구룡리에 포함된다. 순천만에 유입되는 하천으로는 동천과 이사천이 있는데, 순천만 입구에서 합류한다.

순천만은 갯벌의 면적이 21.6㎢ 갈대밭의 면적이 5.4㎢를 이루고 있으며 평균수심은 1.5m 이다(순천시, 1999). 순천만 해역은 수심이 얕고 잘 발달된 사니질로 형상되어 있어, 고막, 새고막 등 패류 양식업이 성행하고 있다. 그러나 최근에는 어장의 노후화와 육지의 도시로부터 유입되는 오폐수 등의 영향으로 인하여 어장환경이 날로 악화되고 있다. 특히 상사댐이 건설된 이후 이사천의 유속이 느려짐과 동시에 주기적인 흐름을 유지하여 동천 하구의 토사 퇴적이 많아지고 또한 갈대의 천이가 점점 하천과 바다쪽으로 진행되면서 어장의 기능이 더욱 악화되고 있는 실정이다.

순천만으로 유입되는 하천인 동천하류의 염생습지에는 갈대가 짙은 밀도로 자라고 있으며, 특히 하천 주변의 넓은 면적의 둔치와 방조제 주변에는 친수성 사초, 억새 등의 식물이 무성하게 자라고 있다. 그리고 외해에 가까운 갯벌 지역에는 천이 초기단계의 식생 군락이 부분적으로 발달되어 있다.

순천만 하구부분에는 폭 120m 정도의 넓은 염생습지가 분포하고 있으며, 만의 외곽 방향에는 염생습지의 규모가 줄어들어 작게는 150㎡에서 크게는 15,000㎡까지의 면적을 가지고 다양하게 분포하고 있다. 수차례의 현지조사와 항공사진(1994년 촬영) 분석결과 이들은 독립적인 군락으로 형성되면서 일

정한 간격(약 10m에서 150m)을 두고 분포하는 특징을 가지고 있다. 전체 군집은 지름이 약 220m에서 280m의 크기를 가지고 있다. 순천만 하구에는 갈대 군락이 넓게 분포되어 있다. 그러나 순천만 하구의 남단 이하에는 몇몇의 염생습지 군락이 분포하고 있다. 이들 군락은 일정 간격을 가진 몇 개의 군집으로 분포하고 있다. 따라서 순천만의 염생습지를 개별적으로 파악하기 위해서는 염생습지 군락을 모두 구별할 수 있도록 최소 1m 이상의 고해상도 영상이 필요하다. 염생습지의 개별적인 군락보다는 순천만에서 염생습지의 분포패턴을 파악하고 그 특성을 파악하기 위해서는 염생습지의 군집을 파악하는 것이 오히려 명확하다. 군집의 크기보다 작은 해상도의 영상을 이용할 경우 염생습지와 갯벌과의 혼합화소만 생기게 되어 분류정확도가 낮아질 소지가 있다. 이러한 경우 염생습지 군집과 비슷한 크기의 저해상도에서 염생습지를 파악할 경우 더욱 우수한 결과를 얻을 수 있다. 영상의 해상도를 저감하면서 나타나는 여러 가지 특성을 파악하고 그 변화를 분석하는 과정을 통하여 이와 같은 현상반영 축척을 탐색할 수 있다.

3. 순천만 영상의 토지피복 분류와 평가

1) 분류체계 설정

습지에 대한 지리정보를 데이터베이스로 구축하고 분석하기 위해서는 분류하고자 하는 모든 계급을 선정하고 정의하여야 한다. 이때 분류체계가 이용된다. 분류정보는 체계적으로 올바르게 정의되어야 하며, 논리적 기준에 맞게 조직되어야 한다. 분류체계가 정립되지 못하면 영상을 분석할 때마다 다른 종류의 습지유형이 나타나고, 이는 자료의 호환을 저해함은 물론 습지변화 모델링과 같은 기본적인 습지 분석 과정이 어렵게 된다. 순천만 지역의 토지유형 특성을 파악하기 위해서는 지표면의 특성을 유형화하고 체계적으로 조직하여야 한다. 우리나라의 경우 습지를 분류하는 기준이나 원격탐사 영상의 분류를 위한 기준이 아직 마련되어 있지 않다. 순천만 습지지역의 토지유형 분류를 위하여 미국에서 사용하고 있는 토지피복 분류체계와 습지 분류체계를 참조하고 순천만 지역의 특성을 반영할 수 있는 토지유형 분류체계를 설정하였다. 본 연구에서는 미국에서 원격탐사를 이용한 습지관리에 사용하고 있는 C-CAP(Coastal Change Analysis Program) 분류체계를 우리나라에 적용하여 토지이용분류체계를 설정하였다. C-CAP에서 사용하고 있는 분류체계는 위성영상 특히 LANDSAT TM 영상을 이용하여 습지를 효과적으로 관리하기 위해 개발되었기 때문이다.

C-CAP에서 사용하고 있는 대분류 기준을 참조하여 육상부, 수역, 습지의 세가지 유형으로 대분류를 설정하였다. 대분류 하위에는 원격탐사 영상의 분류기준과 순천만 지역의 토지유형 특성을 참조하여 중분류를 설정하였다. 육상부의 경우, 식생, 도시역, 경지의 세가지 분류유형을 설정하였다. 도시역은 건물이나 도로와 같은 인공구조물과 인구 밀집지역이 포함되어 있으며, 경지는 농경을 위해 이용되고 있는 지역을 포함한다. 순천만 지역의 경우는 대부분 논농사 지역으로 이루어져 있다. 식생은 삼림과 내륙의 식생밀집지역이 포함되어 있다. 습지의 경우 식생이 피복되어 있지 않은 갯벌과 식생이 피복되어 있는 염생습지로 구별하였다. 순천만은 식생이 피복되어 있는 염생습지가 다른 해안지역에 비하여 비교적 넓게 분포되어 있다. 설정된 계층적 토지유형은 표 1과 같다.

표 1. 순천만 지역의 토지유형 분류체계

대분류	중 분 류
습지 (Wetland)	갯벌(Estuarine Unconsolidated Shore)
	염생습지(Estuarine Emergent Wetland)
육상 (Upland)	도시역(Developed Land)
	경지(Cultivated Land)
	식생(Woody Land)
수역 (Water)	수역(Water)

* ( )안은 미국 NOAA의 C-CAP에서 사용중인 분류체계

2) 훈련지역(training area) 선정

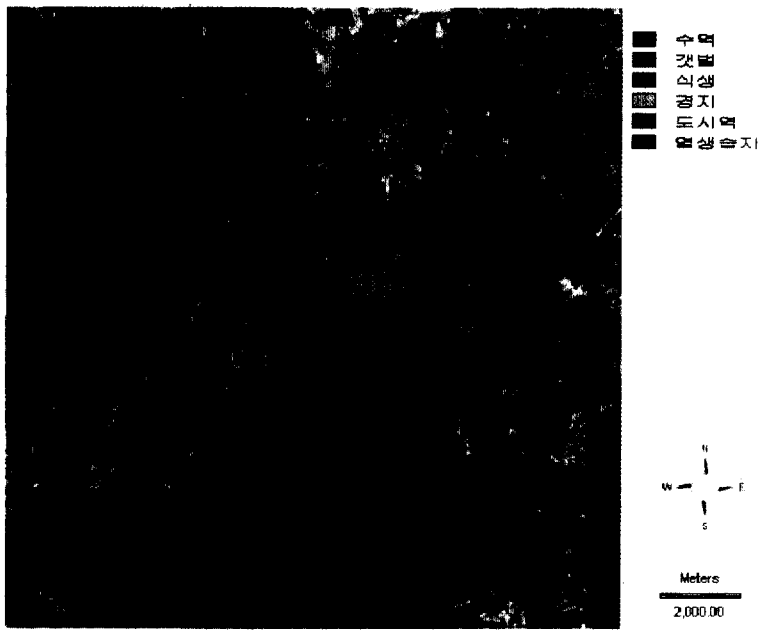

그림 2. 영상에서 훈련지역의 위치

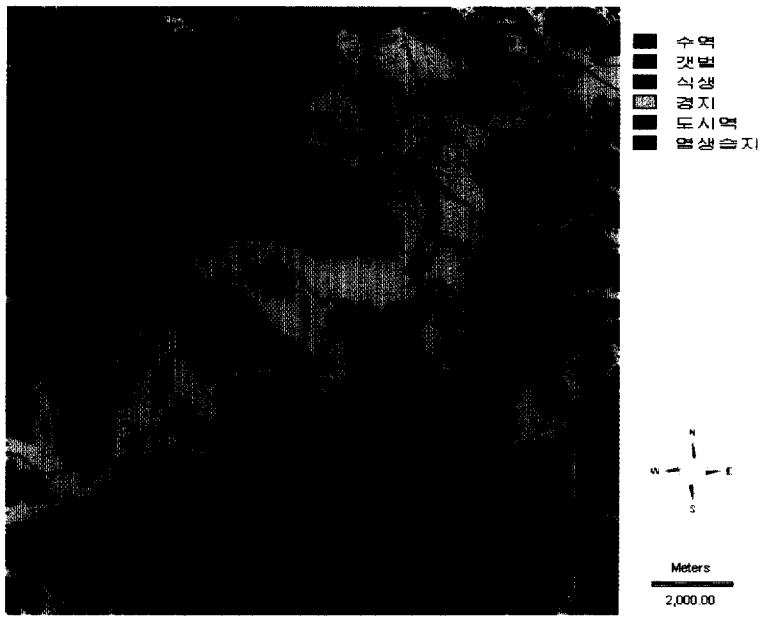

그림 3. 순천만의 토지피복 분류결과

원격탐사 영상으로 속성정보를 파악하기 위해서는 훈련지역을 설정하여 영상의 분류에 필요한 기본적인 통계값을 구하여야 한다. 영상으로부터 연구자가 파악하려는 속성을 전형적으로 가지고 있는 지역을 선정하여 해당지역의 분광특성을 분석하게 된다. 따라서 훈련지역은 전형적인 지표정보를 가진 등질적인 지역이어야 한다. 훈련지역은 지형도로부터 후보지역을 일차적으로 선정한 후 현장답사를 통하여 구체적인 위치를 선정한다.

순천만 지역의 속성 정보 파악을 위하여 선정된 6개의 분류체계를 대상으로 각 분류항목별로 2개 지역씩 모두 12개의 훈련지역을 설정하였다. 앞으로 해상도의 변화를 고려하여 훈련지역은 폭 480m 이상의 넓은 지역에서 균등한 토지유형을 보이는 지역들을 선택하였다. 선정된 훈련지역을 영상에 표현한 결과는 그림 2와 같다. 갯벌은 회색 다각형으로 표현되어 있으며, 영상의 중앙과 좌측에 위치한 해안구역을 선정하였다. 염생습지는 갈색으로 표현되어 있으며 순천만 하구의 양안구역을 선정하였다. 도시역은 영상의 상단에 위치한 순천시를 적색 다각형으로 선정하였다. 경지는 순천만 하구 상단의 농경지와 영상 우측 상단의 구역을 황색 다각형으로 선정하였다. 식생은 순천만 양안, 즉 영상의 좌측과 우측의 산악지역을 녹색 다각형으로 선정하였으며, 수역은 순천만 좌측의 저수지와 바다를 청색 다각형으로 선정하였다.

선정된 훈련지역을 대상으로 원격탐사 영상의 통계적 특성이 계산되며 이를 바탕으로 속성정보의 분류과정이 진행된다. 원격탐사 영상의 분류를 위해서는 훈련지역과 밴드별로 측정된 기본통계량과 함께 밴드간의 공분산 행렬이 필요하다. 훈련지역의 기본적인 통계만으로는 밴드별 토지유형의 특성은 파악할 수 있지만 밴드를 조합한 분광특성은 파악할 수 없기 때문이다. 일반적으로 훈련지역의 통계특성을 저장하는 signature 파일에는 밴드별로 기본적인 통계량과 함께 해당 계급에서 밴드간의 공분산 행렬이 함께 저장된다.

3) 참조지도 작성

순천만 지역의 토지유형 특성을 명확히 표현하고 영상 분류결과와 비교하기 위해서는 참조지도를 작성하였다. 참조지도란 순천만 영상에 해당하는 지역의 실제 토지유형을 지도의 형태로 제작한 자료이다. 참조지도는 토지유형별로 구별된 지표면의 속성정보가 기록되어 있으며, 다양한 형태로 변환이 가능하여야 한다. 기존의 지형도와 각종 주제도, 그리고 현지 조사자료를 수치화하여 GIS 데이터베이스의 레이어로 구축하고, 이를 중첩하여 순천만 지역의 토지유형을 표현할 수 있는 참조지도를 작성하였다. 참조지도의 시기는 위성영상의 촬영시점을 전후한 자료를 이용하였다. 지형도는 1995년 수정된 국가기본도를 사용하였고, 항공사진은 1994년 촬영된 영상을 사용하였다. 순천만 지역의 토지유형 구분을 위하여 설정한 분류체계를 이용하여 대상지역의 토지유형을 분류하였다. 분류유형에 따라 표현될 속성정보를 분류하고 각각의 속성을 주제별로 GIS 데이터베이스로 구축하였다.

도시역은 지형도로 판독이 가능한 건물과 도로 등을 수치화하여 면사상의 레이어로 구축하였다. 하천과 경지 속성도 지형도를 수치화하여 벡터형태의 GIS 자료로 구축하였다. 식생의 경우 산림청 임업연구소에서 작성한 임상도를 변환하여 데이터베이스로 구축하였다. 염생습지의 경우 순천대학교 지역개발연구소에서 작성한 식생도와 현지 조사자료를 이용하여 수치화하였고, 해수와 갯벌의 경계선은 위성영상을 시각적으로 분석하여 입력하였다. 참조지도는 Arc/Info를 이용하여 각각의 주제 레이어로 구축하였으며, 이를 중첩하여 벡터형태의 면사상 GIS 자료로 작성하였다.

작성된 참조지도는 벡터형 GIS 자료의 형태를 가지고 있어 각종 공간 분석이 가능하다. 특히 다양한 해상도의 래스터 자료로 변환할 수 있어, 원격탐사 자료로부터 분류된 속성자료의 평가과정에서 참조자료로 이용될 수 있다.

4) 토지피복 분류와 분류정확도 평가

설정된 토지유형과 훈련지역을 이용하여 순천만 지역의 영상을 감독분류 하였다. 감독분류는 연구자가 사전에 훈련지역의 선정을 통하여 분류할 계급의 통계적 특성을 정의하면, 영상의 나머지 지역

의 분류 계급은 사전에 설정된 훈련지역의 통계량과 비교하여 부여되는 기법이다.

순천만 지역의 영상을 대상으로 6개 계급으로 토지정보를 분류하였다. 분류된 결과는 그림 3과 같다. 그림에서와 같이 원격탐사 영상이 수역, 갯벌, 식생, 경지, 도시역, 염생습지의 6가지 토지유형으로 분류되어 속성정보로 변환된다. 영상의 남쪽단에 수역이 분포하고 있으며 북쪽방향으로 갯벌과 염생습지가 분포하고 잇다. 수역과 갯벌 사이에 경지로 오분류된 화소가 나타나는데, 이 화소는 토양의 습도와 입자가 논의 토양과 비슷하기 때문에 발생한 것으로 사료된다. 순천시 남단의 경지에서는 도시역으로 오분류된 화소가 나타나는데, 이 구역은 비닐하우스경작지가 많기 때문에 발생한 것으로 보인다. 변환된 속성정보는 래스터 데이터 형태로 GIS 분석에 통합될 수 있다. 그러나 이에 앞서서 영상이 얼마만큼 정확히 분류되었는가를 평가하는 정확도 평가절차를 거쳐야 한다.

분류결과를 평가하기 위하여 참조지도를 30m 해상도로 래스터화 한 후 분류된 영상과 중첩하여 분류정확도를 측정하였다. 래스터화 방법은 Arc/Info의 Polygrid 명령어를 이용하였다. 이 명령어는 벡터자료를 사용자가 설정한 크기의 격자로 분할하고 각 격자에서 가장 많은 면적을 차지하고 있는 토지피복 속성을 할당한다.

표 2. 순천만 영상에서 분류된 속성의 정확도 평가

분류결과 / 참조지도	수역	갯벌	식생	경지	도시역	염생습지	총 합	제작자 정확도
수역	35872	0	17	85	127	0	36101	99.4%
갯벌	556	15229	2	74	75	165	16101	94.6%
식생	511	12	112692	4933	5	115	118268	95.3%
경지	2492	605	2505	36401	4767	1315	48085	75.7%
도시역	281	130	4883	2752	29297	78	37421	78.3%
염생습지	122	2071	44	113	151	3667	6168	59.5%
총 합	39834	18047	120143	44358	34422	5340	262144	
사용자 정확도	90.1%	84.4%	93.8%	82.1%	85.1%	68.7%		

* 전체정확도 : 88.9 %　　Kappa Index : 0.846

표 2는 참조지도와 분류결과의 DN(digital number)값의 일치하는 정도를 교차 테이블의 형태로 표현하는 오차행렬이다. 영상의 정확도는 88.9%로 나타났다. 일반적으로 원격탐사 영상의 정확도를 평가하기 위해서는 몇몇 지점을 표본추출하여 표본의 정확도를 계산하고, 이로부터 전체 영상의 정확도를 추정하게 된다. 본 연구의 경우 전체 영상을 대상으로 참조지도와 비교한 결과이므로, 전수조사를 통한 정확도 평가를 수행하였다고 할 수 있다. 전체정확도에서 우연히 영상의 분류결과가 바르게 평가될 경우의 수를 제외한 평가도인 Kappa 지수는 0.846으로 나타났다.

제작자 정확도의 경우 경지와 염생습지의 분류정확도가 낮게 나타났다. 특히 염생습지의 정확도는 다른 분류계급에 비하여 낮게 나타났다. 사용자 정확도의 경우에도 염생습지의 정확도가 낮게 나타났다. 이는 염생습지의 면적이 다른 토지유형에 비하여 적기 때문에 오분류 화소의 영향이 다른 계급에 비하여 크게 작용하기 때문인 것으로 해석된다. 특히 경지로의 오분류 화소가 큰 영향을 차지하고 있다. 갯벌의 경우 제작자 정확도는 매우 높으나 사용자 정확도는 약간 저하되어 있다. 이는 갯벌이 염생습지로 오분류된 화소가 비교적 많기 때문으로 해석된다. 그러나 대부분의 계급들이 80%를 상회하는 높은 정확도를 보이고 있고, 정확도가 낮은 염생습지의 경우도 60%의 정확도를 보이고 있다. 전체 영상을 대상으로 정확도 평가를 수행한 결과,

대단히 높은 정확도를 보이고 있다고 할 수 있다.

순천만 지역의 영상을 분류하고 정확성을 평가한 결과 90%에 가까운 높은 분류정확도를 구할 수 있었다. 영상을 분류한 결과 얻어진 정확도는 영상의 해상도에 따라 변화한다. 일반적으로 영상의 해상도가 낮아질수록 정확도 역시 낮아질 것으로 예상된다. 그러나 원격탐사 영상이 가지고 있는 축척의 영향에 따라 정확도의 변화는 다르게 나타난다. 또한 정확도의 평가과정에서 좋지 않은 정확도로 나타난 염생습지와 경지, 갯벌 등의 토지유형도 해상도의 변화에 따라 각각 정확도가 변화할 것으로 예상된다.

4. 해상도에 따른 순천만 영상의 토지피복 분류정확도 변화

1) 위성영상 해상도의 저감

하나의 영상자료로부터 다양한 해상도의 위성영상 자료를 추출할 수 있는 기법으로 여러 가지 기법들이 개발되어 왔다. 대표적인 기법이 압축(aggregation)을 이용한 피라밋 접근법이다. 원래의 영상에서 인접한 화소들을 묶어 하나의 화소로 표현하는 방법으로 낮은 축척의 영상을 제작하는 기법이다. 새로이 작성된 영상은 다시 인접 화소들을 묶어 더욱 낮은 축척의 영상으로 제작된다. 이러한 과정이 반복되면서, 원래의 영상은 가장 아래에 위치하고, 하나로 압축된 화소는 가장 상층에 위치하는 피라밋의 자료모형으로 구성된다.

원격탐사 영상은 인접한 화소들을 합쳐 새로운 해상도의 DN값을 부여함으로서 해상도를 저감시킨다. 이때 새로운 해상도의 DN값을 부여하는 방법 중에서 가장 보편적으로 사용되는 축척변환 기법이 원래의 화소들의 평균값을 구하여 하나의 화소로 표현하는 평균법이다. 평균법은 전체 영상이 영상의 통계적 특성을 유지하면서, 영상의 내용을 보존할 수 있는 방식이다. 이러한 장점 때문에 대부분의 해상도 저감에 관한 선행연구에서 평균에 의한 방법이 이용되어 왔다. 본 연구에서는 순천만을 촬영한 LANDSAT TM 영상을 이용하여 평균법으로 영상의 해상도를 저감하여 30m 해상도부터 480m 해상도까지 30m 간격으로 16가지 해상도의 영상을 제작하였다.

2) 해상도별 분류정확도 평가

순천만 지역의 영상을 이용하여 해상도를 저감한 영상을 각각 작성한 후 동일한 훈련지역을 사용하여 영상을 분류하였다. 30m 해상도의 영상으로부터 480m 해상도의 영상까지 30m 간격으로 모두 16가지의 영상을 토지유형 분류하였다. 분류계급은 순천만 해안습지의 분석과정에서 설정한 6개 계급이다.

해상도에 따라 각각의 영상은 동일한 훈련지역의 통계량을 기반으로 나머지 화소들이 분류되었다. 순천만 지역의 토지유형 분류를 위해 선정된 훈련지역을 이용하여 각 해상도마다 영상을 분류하였다. 훈련지역은 ER Mapper에서 선정한 후, IDRISI의 벡터 데이터로 변환하였다. IDRISI의 영상처리 모듈은 지리좌표를 가진 벡터자료를 대상으로 훈련지역의 통계적 특성을 계산하고 이를 signature 파일에 저장한다. 각각의 해상도마다 동일한 훈련지역을 적용하여 signature 파일을 작성하였다. signature 파일에는 훈련지역의 기초통계량과 밴드별 공분산 행렬이 저장된다. signature 파일을 이용하여 IDRISI의 영상분류 모듈을 이용하여 각 해상도의 영상을 토지유형 분류할 수 있었다. 영상의 분류에는 공간 해상도가 상이한 6번 밴드를 제외한 6개의 밴드가 사용되었다.

이와 같은 절차를 거쳐 토지유형 분류의 결과 16가지 해상도의 토지유형 속성정보를 표현한 공간자료를 작성하였다. 16가지 해상도의 영상을 대상으로 동일한 훈련지역을 적용하여 토지유형을 분류한 결과는 그림 4에서 6과 같다. 그림과 같이 해상도가 변화하면서 분류된 속성정보가 다르게 표현되고 있다. 해상도가 낮아지면서 혼합화소의 수가 많아지면서 분류정확도의 변화가 나타나고 있다. 특히 300m보다 낮은 해상도의 영상에서는 혼합화소의 영향으로 도시역으로 분류된 화소가 증가하고 있다.

변환된 속성정보는 실제의 속성지도와 비교하여

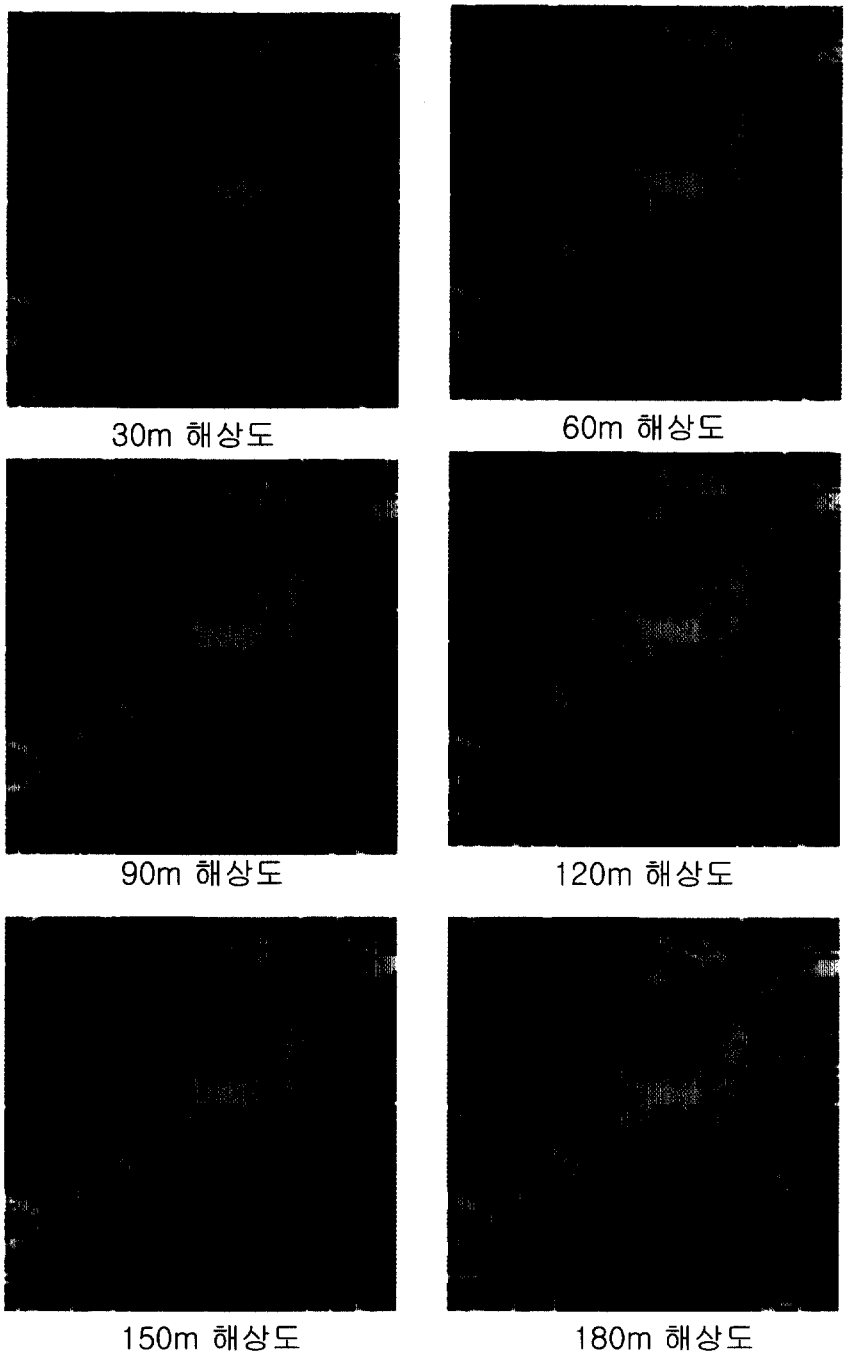

그림 4. 해상도별 영상의 속성분류 결과 (30m~180m)

위성영상 해상도에 따른 순천만 해안습지의 분류 정확도 변화

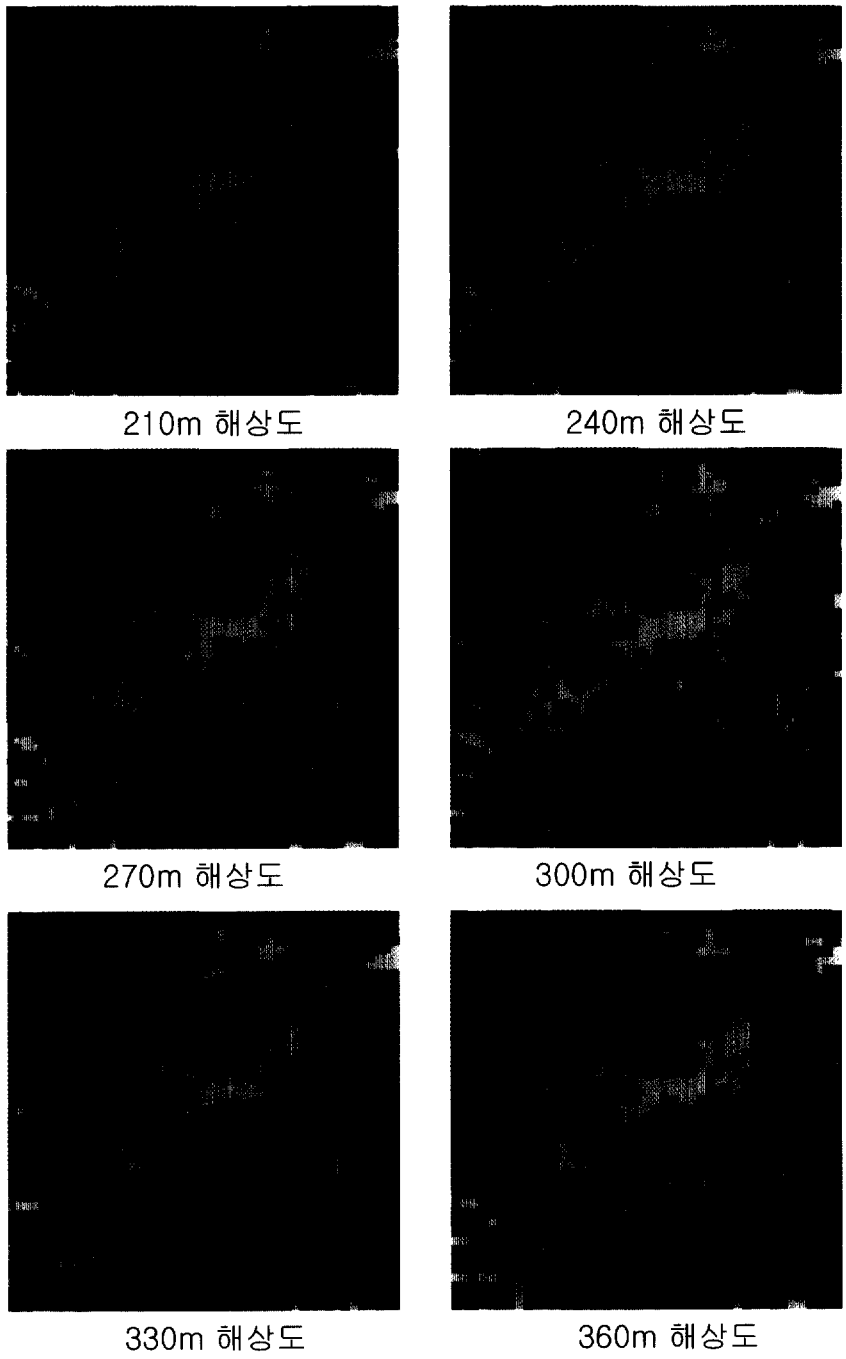

그림 5. 해상도별 영상의 속성분류 결과 (210m~360m)

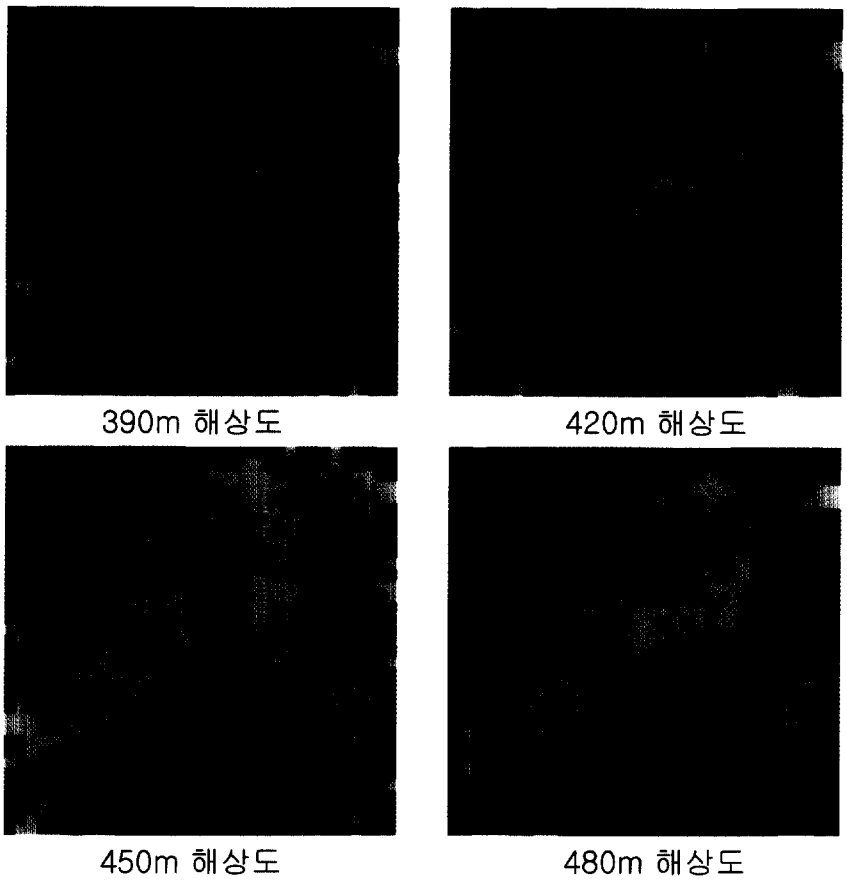

그림 6. 해상도별 영상의 속성분류 결과 (390m~480m)

정확도가 검증되어야 한다. 본 연구에서는 순천만 지역의 조사결과 구축된 참조지도를 영상의 해상도에 맞게 래스터화 하여 다양한 해상도의 래스터 참조지도를 작성하였다. 작성된 래스터 참조지도와 영상의 분류결과를 중첩분석하여 전체 영상의 오차행렬을 작성하였다. 순천만 지역의 영상을 대상으로 해상도에 따라 각각 분류한 결과 그림 7과 같은 전체 해상도의 변화를 찾을 수 있었다.

전체 영상의 분류정확도(kappa index)는 그림과 같이 해상도에 따라 특이하게 변화한다. 120m 해상도까지는 분류정확도의 변화가 적다가 150m 해상도부터는 분류정확도의 급격한 하락이 나타난다. 특이할 점은 240m 해상도와 270m 해상도에서 다시 분류정확도의 향상이 나타나는데, 이 해상도에서 분광분리도가 향상된 현상과 일치하고 있다. 또한 360m 해상도와 420m 해상도에서도 분류정확도의 향상이 나타나고 있다.

각 분류계급별로 제작자 정확도와 사용자 정확도의 변화를 살펴보았다. 참조지도를 래스터화한 자료를 대상으로 분류결과와 정확성평가를 실시한 결과는 그림 8과 같다. 제작자 정확도에서는 수역 갯벌, 식생 계급이 해상도의 변화에도 꾸준히 높은 정확도를 유지하고 있다. 이에 반하여 경지, 도시역, 염생습지 계급은 120m 해상도까지는 정확도를 유지하다가 그 이후의 해상도에서는 변화가 심하게 나타나고 있다. 특히 240m 와 270m 해상도에서 도시역의 정확도 증가가 두드러지게 나타난다. 450m 해상도에서는 갯벌과 도시역, 염생습지의 정확도가

위성영상 해상도에 따른 순천만 해안습지의 분류 정확도 변화

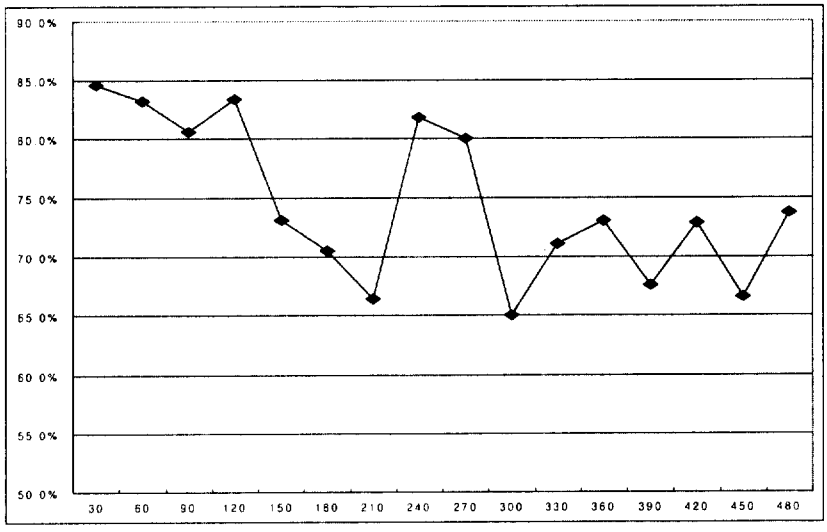

그림 7. 분류정확도의 Kappa Index 변화

급격히 하락하고 있다.

사용자 정확도에서도 이러한 경향이 유사하게 나타난다. 그림 9는 참조지도를 래스터화한 자료를 대상으로 분류정확도를 평가한 결과이다. 수역과 식생은 정확도에 따른 변화가 크지 않으나, 갯벌, 경지, 도시역, 염생습지 계급은 해상도의 변화에 따른 정확도의 변화가 심하게 나타났다. 사용자 정확도의 경우도 240m 해상도와 270m 해상도에서 정확도의 증가가 나타난다. 450m 해상도에서는 갯벌의 정확도가 매우 낮게 측정되었으며, 도시역의 정확도는 매우 높게 나타났다.

해상도에 따른 분류정확도의 변화를 파악하기 위하여 분광분리도 측정기법을 적용하였다. 분광분리도는 훈련지역의 통계량을 이용하여 영상의 분류

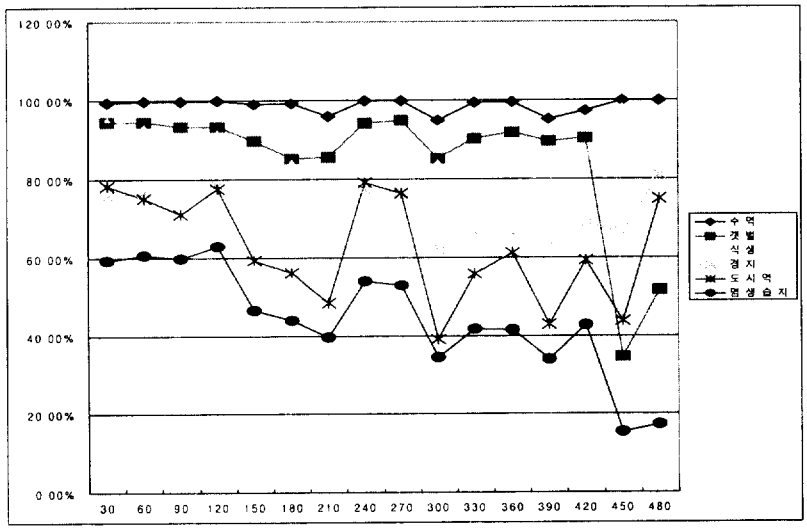

그림 8. 제작자 정확도의 변화

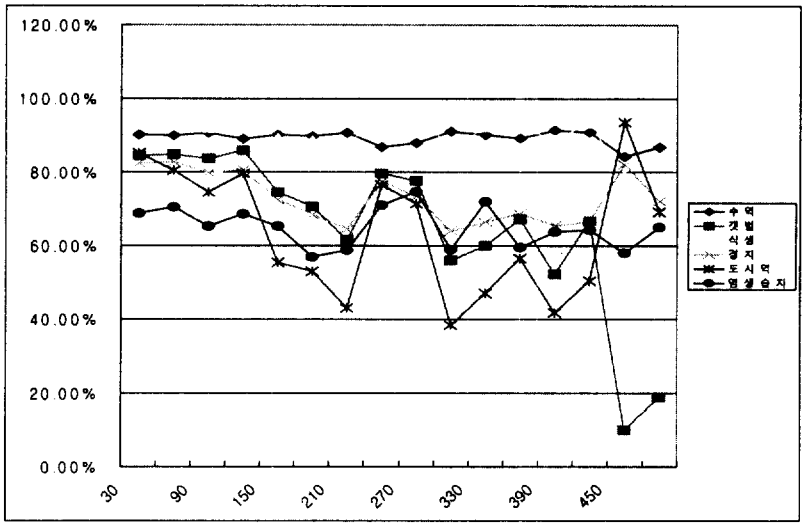

그림 9. 사용자 정확도의 변화

계급들이 중복되는가 분리되는가를 나타내는 정도를 나타낸 척도이다(Jensen, 1996). 대표적인 분광분리도 측정기법인 Jeffries-Matusita 거리(J-M 거리)와 Mahalanobis 거리를 적용하여 분류정확도의 변화를 파악하였다. J-M 거리의 변화는 그림 10과 같다. J-M 거리는 30m 해상도이후 점차 분광분리도는 증가하다가 90m 해상도에서 정점을 이룬 후, 다시 감소한다. 180m 해상도부터는 다시 분광분리도가 증가하다가 240m와 270m 해상도에서 각각 분리도의 정점이 나타났다. 분류정확도가 높게 나타난 240m와 270m 해상도에서 분광분리도 역시 높은 값으로 측정되었다. Mahalanobis 거리 역시 J-M 거리의 결과와 유사하다(그림 11). Mahalanobis 거리가 높게 나타난 해상도에서 분류정확도

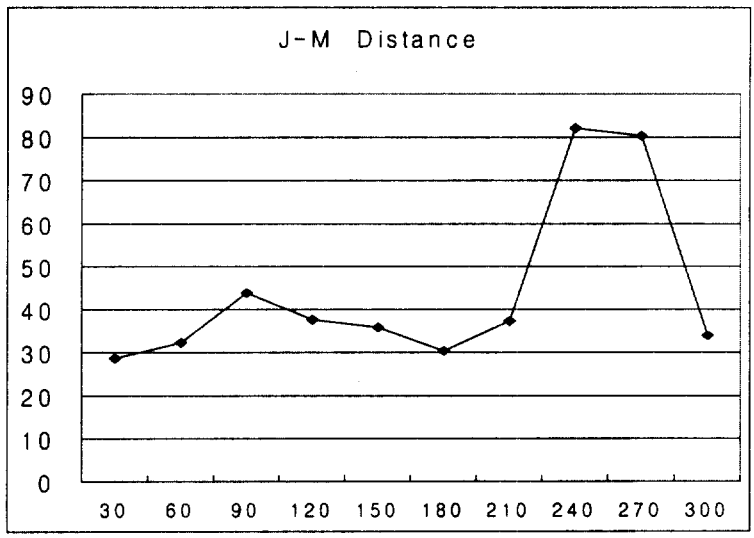

그림 10. J-M 거리 변화

위성영상 해상도에 따른 순천만 해안습지의 분류 정확도 변화

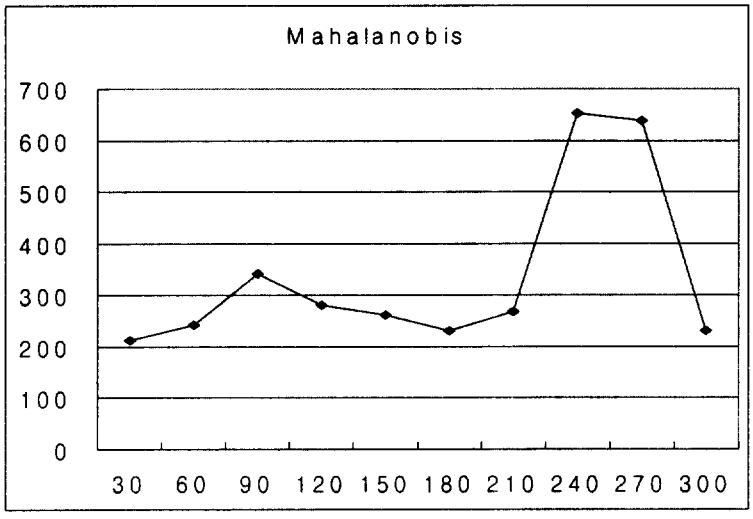

그림 11. Mahalanobis 거리 변화

가 높게 나타나고 있다.

정확도의 측면에서 순천만 지역의 적정해상도를 모색한다면, 120m 해상도까지는 원래의 영상과 비교하여 정보의 변화가 크지 않게 나타났다. 120m 해상도 이후에는 해상도의 감소에 따른 정보의 정확도가 감소되었으나 240m와 270m 해상도에서는 오히려 정확도가 증가하고 있다. 순천만 지역의 영상의 경우 이들 해상도에서 축척 효과가 나타나는 지점이라고 할 수 있다. 450m 해상도에서는 올바른 토지피복분류가 되지 않았다.

5. 결 론

최근 국내외에서 새롭게 원격탐사 기술이 급격히 발전함으로써 다양한 해상도의 영상을 손쉽게 취득할 수 있는 여건이 마련되고 있다. 이와 같은 환경에서 연구자는 분석하고자 하는 지리적 현상을 적절하게 반영할 수 있는 적정해상도의 영상을 선택하여야 한다. 이것은 지표면의 정보를 감지하여 기록한 원격탐사 영상은 축척 특성을 가지고 있어 해상도에 따라 공간적 분포특성이 변화하기 때문이다. 이때 영상의 해상도 변화에 따른 특성을 명확하게 분석하기 위해서는 영상으로부터 파악되는 속성정보의 변화가 반영되어야 한다.

본 연구에서는 해안습지의 토지피복 정보가 해상도에 따라 변화하는 특성을 분석하였다. 즉, 위성영상을 최도우법으로 분류한 다음 그 정확도를 비교·분석함으로써 공간해상도의 변화에 따른 토지피복 정보의 영향을 탐색하였다. 순천만 영상을 대상으로 토지피복 분류정확도를 파악한 후 30m 해상도부터 480m 해상도까지 30m 간격의 16가지 해상도로 영상을 제작하여 분류정확도의 변화를 살펴보았다. 본 연구에서 나타난 결과는 다음과 같다.

첫째, 순천만 해안습지는 복잡한 토지유형이 다양한 크기로 분포하고 있어 해상도의 변화에 따라 토지피복 특성이 민감하게 변화하고 있다. 순천만의 벡터 폴리곤 참조지도를 다양한 해상도로 래스터화하여 해상도와 토지유형 특성을 살펴본 결과, 해상도의 크기에 따라 각 토지유형들이 차지하는 면적이 다르게 나타났다. 특히 식생과 도시역의 경우, 참조지도에서의 면적과 큰 차이를 보이고 있으며, 450m 해상도에서 가장 큰 차이를 보이고 있다. 또한 참조지도를 래스터 격자로 분할할 때 발생하는 토지유형 혼합도는 해상도가 낮아질수록 크게 나타났다. 순천만에서는 래스터화 과정에서 해상도가 낮아지면서 450m 해상도에서 혼합도가 가장 크게 나타나고 있다. 이러한 특성은 위성영상을 분석한 결과에도 나타나고 있다. 도시역의 경우 해상도

가 낮아질수록 도시역으로 오분류되는 화소가 증가하고 있으며, 식생으로 분류되는 화소들은 줄어들고 있다. 참조지도의 토지피복 혼합도가 가장 높은 450m 해상도에서는 위성영상의 분류정확도 역시 매우 낮게 나타났다. 염생습지의 경우 작은 군락들이 군집을 이루고 있어 낮은 해상도에서 토지유형의 분류정확도가 높게 나타났다. 이러한 현상은 순천만 해안습지가 가지고 있는 토지유형들이 다양한 크기와 형태를 가지고 있어 그 만큼 해상도에 따라 분포특성이 변화한 것으로 판단할 수 있다.

둘째, 원격탐사 영상이 가지고 있는 축척 효과에 의해 영상의 특성은 해상도에 따라 변화한다. 해상도가 낮아지면 영상의 분류정확도 역시 비례하여 낮아질 것이라는 일반적인 예상과는 달리 분류정확도는 해상도에 따라 변화가 심하게 나타났다. 일정 해상도까지는 분류정확도의 변화가 크게 나타나지 않다가 그 이후의 해상도에서 급격히 감소하는 경향을 보였다. 또한 분광분리도가 높아지는 해상도에서는 저해상도라도 분류정확도가 증가한다. 순천만 영상을 적용하여 해상도에 따른 분류정확도의 변화를 파악한 결과 해상도가 낮은 240m와 270m 해상도에서 이보다 좋은 해상도보다 분류정확도가 높게 나타났다. 이것은 순천만의 영상이 해상도의 변화에 따라 특성이 변화하며, 영상으로부터 파악되는 토지피복 정보 역시 이러한 영향을 받기 때문에 분류정확도가 변화하는 것으로 판단된다. 특히 해안습지의 경우 몇몇의 군락이 군집을 형성하기 때문에 군집의 크기에 상응하는 낮은 해상도에서 분류정확도가 증가한 것은 주목할 만하다.

文獻

순천대학교 지역개발연구소, 1999, 순천만 생태계 조사.

순천시, 1999, 환경백서.

유근배, 1993, 지리정보론, 상조사.

Goodchild, M. F. and Quattrochi, D. A., 1997, ***Scale in Remote Sensing and GIS***, Lewis Publishers.

Jensen, J. R et. al, 1986, Remote sensing inland wetlands : a multispectral approach, ***Photogrammetric Engineering and Remote Sensing***, 52(1), 87-100.

Jensen, J. R., 1996, ***Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective***, Prentice-Hall Inc., New Jersey.

Lee, K. H. and Lenetta, R. S., 1995, Wetlands detection methods, in Lyon, J. G. and McCarthy, J. (eds.), ***Wetland and Environmental Applications of GIS***, Lewis Publishers, Boca Raton, 249-284.

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***, 1075-1090.

Woodcock, C. E. and Strahler, A. H., 1987, The factor of scale in remote sensing, ***Remote Sensing of Environment***, Vol. 21, 312-332.

Welch, R., 1982, Spatial resolution requirements for urban studies, ***International Journal of Remote Sensing***, 3(2), 139-146.

위성영상 해상도에 따른 순천만 해안습지의 분류 정확도 변화

The change of land cover classification accuracies according to spatial resolution in case of Sunchon bay coastal wetland

Cha Yong Ku* · Chul-sue Hwang**

Summary

Since remotely sensed images of coastal wetlands are very sensitive to spatial resolution, it is very important to select an optimum resolution for particular geographic phenomena needed to be represented. Scale is one of the most important factors in spatial analysis techniques, which is defined as a spatial and temporal interval for a measurement or observation and is determined by the spatial extent of study area or the measurement unit. In order to acquire the optimum scale for a particular subject (i.e., coastal wetlands), measuring and representing the characteristics of attribute information extracted from the remotely sensed images are required.

This study aims to explore and analyze the scale effects of attribute information extracted from remotely sensed coastal wetlands images. Specifically, it is focused on identifying the effects of scale in response to spatial resolution changes and suggesting a methodology for exploring the optimum spatial resolution.

The LANDSAT TM image of Sunchon Bay was classified by a supervised classification method. Six land cover types were classified and the Kappa index for this classification was 84.6%. In order to explore the effects of scale in the classification procedure, a set of images that have different spatial resolutions were created by a aggregation method. Coarser images were created with the original image by averaging the DN values of neighboring pixels. Sixteen images whose resolution range from 30 m to 480 m were generated and classified to obtain land cover information using the same training set applied to the initial classification.

The values of Kappa index show a distinctive pattern according to the spatial resolution change. Up to 120m, the values of Kappa index changed little, but Kappa index decreased dramatically at the 150m. However, at the resolution of 240 m and 270 m, the classification accuracy was increased. From this observation, the optimum resolution for the study area would be either at 240m or 270m with respect to the classification accuracy and the best quality of attribute information can be obtained from these resolutions. Procedures and methodologies developed from this study would be applied to similar kinds and be used as a methodology of identifying and defining an optimum spatial resolution for a given problem.

key words : spatial resolution, satellite imagery, remote sensing, coastal wetland, landcover classification

* Full-time lecturer, Division of Social Sciences (Geography), Sangmyung University
** Full-time lecturer, Department of Geography, KyungHee University