

Landsat TM 영상을 이용한 지표변화정보 추출 Extraction of Land Surface Change Information by Using Landsat TM Images

최승필¹⁾ · 양인태²⁾

Choi, Seung Pil · Yang, In Tae

Abstract

We are able to simultaneously extract the land surface change information, as we input each information extracted from images classified during the two periods, as the attribute information of geographic information, and then use it a parameter of GIS. Hence, this research sought to present basic data for efficient management and development of land surface, together with land use trends, by using the remote-sensing technique enabling the acquisition of the land surface covering information, as well as the benefits of GIS. The research conducted a study on the extraction of land surface change information, and made it possible to treat image information easily compared to the existing image classification methods, thereby making it easy to know the land surface change process for each pixel.

요 지

두 시기의 분류영상으로부터 추출된 각각의 정보를 지리정보의 속성정보로 입력하여 지리정보시스템의 한 매개변수로 이용함으로써 두 시기의 지표변화정보를 동시에 추출할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지표피복 정보를 획득할 수 있는 원격탐사기법과 지리정보시스템의 장점을 활용하여 토지이용 변화양상과 더불어 지표의 효율적인 관리 및 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다. 지표변화정보 추출에 관한 연구를 수행한 결과 기존의 영상분류방법보다 영상정보처리를 쉽게 할 수 있어 각 화소에 대한 지표의 변화과정을 쉽게 알 수 있었다.

핵심용어(Keywords) : 원격탐사, GIS, Landsat TM 영상, 지표변화

1. 서 론

도시지역의 확산은 급속한 지형변화와 환경변화에 따른 대기 및 수질오염 등의 자연생태계 파괴로 나타나고 있다. 이로 인하여 지속 가능한 개발과 보전에 대한 관심이 증대되고 있으며, 자연자원의 효율적인 평가와 관리에 있어서도 많은 노력이 기울여지고 있다. 이러한 노력의 일환으로 최근에는 원격탐사나 지리정보시스템을 이용한 지표변화에 대한 연구가 선진국을 중심으로 구축되고 있으며, 최근 우리나라도 원격탐사를 이용한 인공위성 영상자료의 활용방안이 주목을 받고 있다. 이러한 인공위성 영상자료는 빠른 시간 내에 넓은 지역에 해당되는 지표 변화상태를 알 수 있게 하므로 광대한 지역에 대하여 지속적인 모니터

링을 위한 데이터로 유용하게 활용될 수 있다.

위성영상 자료를 이용한 지표변화상태는 현지측량이나 항공사진을 이용한 방법에 비해 넓은 지역을 빠른 시간에 효과적으로 처리할 수 있으며, 비용이 저렴하고, 주기적인 데이터 획득이 가능하여 정보갱신이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한 인공위성 영상자료는 공간적, 분광적 해상도의 다양화로 인해 GIS의 입력자료로서 활용가치가 급속도로 증대되고 있는 추세이다(유복모, 2001).

도시지역의 지표변화상태에 있어서도 인공위성 영상자료를 사용함으로써 많은 시간과 비용이 드는 현장조사의 한계를 극복할 수 있음은 물론, 현장조사자료를 보완함으로써 양질의 결과와 객관적인 평가 근거를 마련할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 시간의 변화에 따른 지속적인 모니

1) 정희원 · 관동대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:spchoi@kwandong.ac.kr)

2) 정희원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:intae@cc.kangwon.ac.kr)

터링에 적용 될 수 있도록 강릉지역 내의 지표변화정도를 인공위성영상을 분석함으로써 지표변화정보를 추출하고자 한다. 즉 두 시기의 분류영상으로부터 추출된 각각의 정보를 지리정보의 속성정보로 입력하여 GIS의 한 매개 변수로 이용함으로써 두 시기의 지표변화정보를 동시에 추출할 수 있다(wang, F, 1993). 따라서 지표피복정보를 획득할 수 있는 원격탐사기법과 지리정보시스템의 장점을 활용하여 토지이용 변화양상과 더불어 지표의 효율적

인 관리 및 개발을 위한 기초자료를 제시하는데 목적이 있다.

2.연구내용

2.1 지표변화정보 추출과정

본 연구에서는 지표변화정보를 추출할 수 있는 최적의 조건을 제공하는 연구대상지역을 선정하고, 해당 지역의 인공위성영상을 취득하여 기하보정을 실시하고, 지표변화정보의 추출을 위한 요구조건들을 만족하기 선분류 후 비교법을 이용하여 정확한 지표피복항목을 분류하였다(양인태, 1999). 다음으로 두 시기의 지표피복분류영상을 입력자료로 하여 각 년도의 분류영상을 그리드자료로 변환한 후, 그리드연산을 통해 하나 또는 그 이상의 그리드 자료로 병합하였으며, 병합된 그리드의 속성값을 읽어 지표피복 분류항목의 면적 변화 정보와 위치정보를 추출하였다. 그리고 지표변화정보 추출의 신뢰성을 검증하기 위해 오차행렬의 정확도중 생산자 정확도를 이용하여 평가하였다.

이상의 연구수행 내용을 정리하여 나타내면 그림 1과 같다.

2.2 선분류 후비교법

이 방법은 서로 다른시기의 영상을 토지피복분류하여

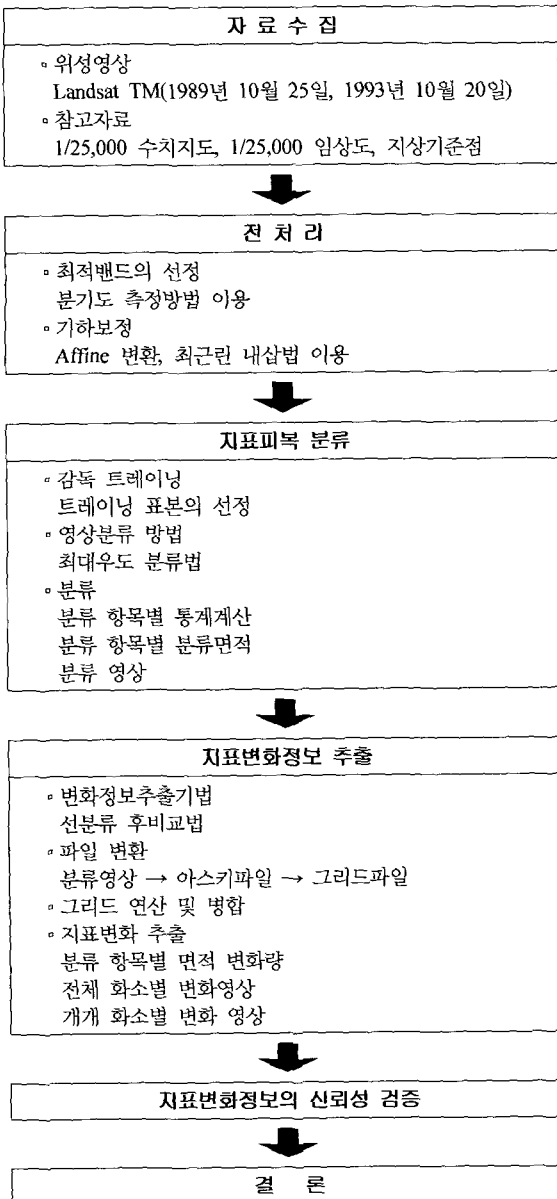


그림 1. 연구수행 내용

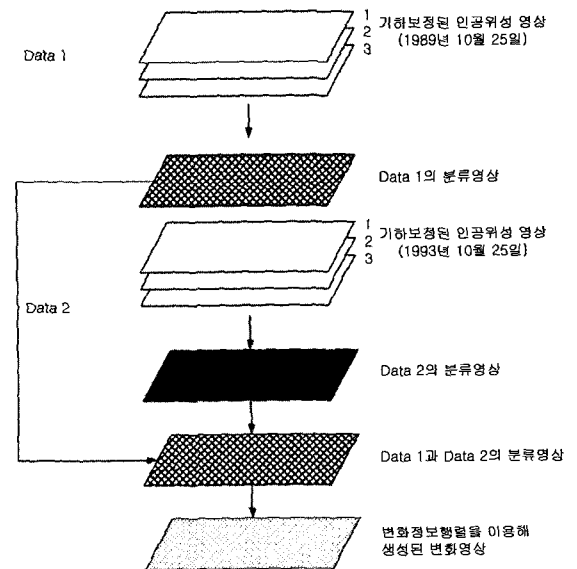


그림 2. 선분류 후비교법

분류된 결과의 영상을 정의된 분류항목끼리 비교하여 변환면적, 변화영상 등을 나타 내는 것이다. 즉 그림 2와 같이 각 시기에 대해 분류를 수행하고 이를 직접 화소끼리 비교하는 방법으로 어떤 지표피복에서 어떤 지표피복으로 변했는지를 정량적으로 파악할 수 있으며, 여러 가지 변화를 행렬로 보여주는 변화도를 만들 수 있다. 또한 두 시기 동안 변화가 발생한 화소가 어떻게 변화가 되었는지도 알 수 있는 기법으로 처리 방법을 이해하기가 쉽다. 그러나 영상들의 기하보정이 정확해야 하며 분류정확도가 높지 않을 경우 지표변화정보의 신뢰도가 떨어질 수 있는 위험이 있으므로 최대한 인공위성영상의 분류정확도를 향상시켜야 한다.

Data 1과 Data 2의 분류항목이 각각 네 가지라면 총 16 개의 변화를 보여줄 수 있으며, 변화영상의 각 화소에 할당하여 변환된 영상의 제작 및 변화량까지도 추출할 수 있다.

본 연구에서는 두 시기의 개개 화소값을 비교하여 변화 정보 행렬에서 정의한 화소로 할당하였다. 이것은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$BV_{ij}(1) \leftrightarrow BV_{ij}(2) \rightarrow D_{ij} \quad (1)$$

여기서, $BV_{ij}(1)$ = Data 1의 분류영상 화소값

$BV_{ij}(2)$ = Data 2의 분류영상 화소값

D_{ij} = 변화영상의 화소값

i = line의 수, j = pixel의 수

그림 3과 그림 4는 선분류 후비교법에 이용되는 분류항

<table border="1"> <tr><td>Data 1의 분류영상</td></tr> <tr><td>A A</td></tr> <tr><td>A A</td></tr> </table>	Data 1의 분류영상	A A	A A	↔	<table border="1"> <tr><td>Data 2의 분류영상</td></tr> <tr><td>A B</td></tr> <tr><td>C D</td></tr> </table>	Data 2의 분류영상	A B	C D	→	<table border="1"> <tr><td>생성된 변화영상</td></tr> <tr><td>1 2</td></tr> <tr><td>3 4</td></tr> </table>	생성된 변화영상	1 2	3 4
Data 1의 분류영상													
A A													
A A													
Data 2의 분류영상													
A B													
C D													
생성된 변화영상													
1 2													
3 4													
<table border="1"> <tr><td>B B</td></tr> <tr><td>B B</td></tr> </table>	B B	B B	↔	<table border="1"> <tr><td>A B</td></tr> <tr><td>C D</td></tr> </table>	A B	C D	→	<table border="1"> <tr><td>5 6</td></tr> <tr><td>7 8</td></tr> </table>	5 6	7 8			
B B													
B B													
A B													
C D													
5 6													
7 8													
<table border="1"> <tr><td>C C</td></tr> <tr><td>C C</td></tr> </table>	C C	C C	↔	<table border="1"> <tr><td>A B</td></tr> <tr><td>C D</td></tr> </table>	A B	C D	→	<table border="1"> <tr><td>9 10</td></tr> <tr><td>11 12</td></tr> </table>	9 10	11 12			
C C													
C C													
A B													
C D													
9 10													
11 12													
<table border="1"> <tr><td>D D</td></tr> <tr><td>D D</td></tr> </table>	D D	D D	↔	<table border="1"> <tr><td>A B</td></tr> <tr><td>C D</td></tr> </table>	A B	C D	→	<table border="1"> <tr><td>13 14</td></tr> <tr><td>15 16</td></tr> </table>	13 14	15 16			
D D													
D D													
A B													
C D													
13 14													
15 16													

그림 3. 변화정보 영상의 화소값

구분	Data 1의 분류영상				
	To From	A	B	C	D
Data 2의 분류영상	A	1	2	3	4
	B	5	6	7	8
	C	9	10	11	12
	D	13	14	15	16

그림 4. 변화정보 행렬

목별 변화영상의 화소값과 변화정보 행렬이다.

이 방법을 이용하여 원격탐사 영상이 가지고 있는 각 화소가 두 Data사이에서 무엇으로 변화하였는지 각 화소별 변화영상을 나타냄과 동시에 시각적으로 판독이 용이하게 할 수 있다. 또한 변화위치와 정량적인 변화량까지도 동시에 추출할 수 있도록 하였다.

3. 실제적용

3.1 연구대상지역

연구대상지역은 강원도에 위치한 강릉시로, 태백산맥의 동쪽 영동지역 중앙에 위치해 있으며, 동쪽으로는 동해바다가 있고 서쪽에는 평창군과 정선군이 인접해 있으며, 남쪽으로는 동해시, 북쪽에는 양양군이 인접해 있다. 전체 면적은 1,040km²이며 총인구는 232,664명으로 행정구역은 1읍 7면 13동 370통 145리 2,840반으로 구성되어 있다. 경·위도상으로 동경 128°35' ~ 129°04', 북위 37°27' ~ 37°54' 사이에 자리하고 있다. 이 지역은 택지 및 관광단지개발, 상업지역 확대, 항만 건설 등으로 인해 지형의 변화가 증대되고 있어 지표변화 정보를 추출하기 좋은 표본 조건을 제공한다. 본 연구에서는 강릉시의 행정구역중 시가지를 중심으로 약 114.243km²을 연구대상지역으로 하였다.

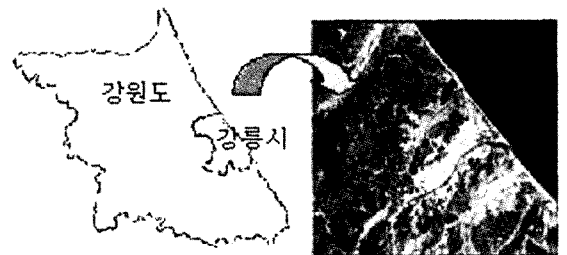


그림 5. 연구대상지역

3.2 자료 전처리

3.2.1 자료수집

연구대상지역이 포함된 1989년 10월 25일과 1993년 10월 20일에 관측된 공간해상도가 30m×30m인 Landsat TM 영상과 기하보정 및 트레이닝 선정을 위한 보조자료로 국립지리원에서 제작·판매되는 1/25,000 수치지도와 임업 연구원에서 발행한 1/25,000 임상도를 이용하였다. 표 1과 표 2는 각각 본 연구에 사용된 위성영상정보와 수치지도에 대한 정보이다.

표 1. 위성영상 정보

관측일	1989년 10월 25일	1993년 10월 20일
위성 / 센서	LANDSAT 5호 / TM	
PATH-ROW	115-34	
FORMAT	BIL	

표 2. 수치지도 정보

도업명	코드번호	도업명	코드번호
속초	388151	강릉	378044
양양	388153	안인	378082
상운	388154	정동	379051
주문진	378041	목호	379053

3.2.2 최적밴드 선정

최적밴드 선정은 인공위성 영상자료를 이용한 지표피복 분류시 분류정확도를 높이기 위한 매우 중요한 처리과정이다.

따라서 본 연구에서는 분기도 측정방법을 이용하여 지표피복분류에 가장 유효한 6개의 밴드를 이용하여 최적밴드를 선정하였다. 즉, 공간해상도가 120m인 열적외선 밴드를 제외한 Landsat TM 1, 2, 3, 4, 5, 7 밴드를 선택하여 총 64개의 밴드조합에 따른 분류항목간 분기도를 측정하여 전체 밴드조합 중에서 분기도가 가장 높은 6개의 밴드조합을 선정하여 표 3에 나타내었다.

1989년 영상에 대한 분기도 측정결과, 전체 밴드조합중 밴드조합 1, 2, 3, 4, 5, 7의 평균분기도가 1997로 다른 밴드조합보다 높게 나타났으며 같은 방법으로 1993년 영상의 분기도 측정결과도 1, 2, 3, 4, 5, 7 밴드조합에서 평균분기도가 1997로 가장 높게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 지표피복분류를 위하여 평균분기도가 가장 높은 Landsat TM 1, 2, 3, 4, 5, 7 밴드를 이용하였다.

표 3. 평균분기도

분류 항목조합	밴드조합						
	3	15	135	1345	13457	123457	
1989년	12	515	1907	1917	1997	1998	1999
	13	1998	1999	1999	1999	1999	1999
	14	1996	1999	1999	1999	1999	1999
	15	1999	1999	1999	1999	2000	2000
	23	1887	1999	1999	1999	1999	1999
	24	1869	1974	1995	1996	1998	1998
	25	1973	1999	1999	1999	1999	1999
	34	348	1889	1907	1928	1980	1981
	35	1973	1905	1980	1982	1985	1987
	45	1981	1982	1995	1996	1997	1998
평균	1636	1966	1980	1990	1996	1997	

분류 항목조합	밴드조합						
	7	15	145	1457	12345	123457	
1993년	12	632	1861	1963	1977	1993	1996
	13	1975	1968	1983	1999	1995	1999
	14	1837	1935	1998	1999	1999	1999
	15	1999	1999	1999	2000	1999	2000
	23	1867	1999	1999	1999	1999	1999
	24	1768	1944	1980	1990	1998	1998
	25	1999	1999	1999	2000	2000	2000
	34	484	1879	1946	1959	1971	1980
	35	1999	1999	1999	1999	1999	1999
	45	1684	1957	1990	1998	1998	1999
평균	1625	1954	1986	1993	1996	1997	

분류항목 1:물, 2:산림, 3:인공구조물, 4:농경지 5:나대지

3.2.3 기하보정

1989년과 1993년 영상의 기하보정은 상당한 시간이 흘러 당시의 참고자료를 구하기가 힘들고 지형적으로 변화가 있으므로 교량, 건물 모서리, 도로의 교차로 같이 잘 변하지 않는 곳을 선택하여 기하보정이 된 1997년 영상을 참조하여 “영상 대 영상” 방식으로 보정을 하였다. 이때 좌표변환은 Affine변환식을 이용하였고 재배열 방법으로는 가장 계산이 빠르고 간단한 최근린 내삽법을 사용하였다. 이렇게 기하보정을 실시한 후 연구대상지역을 절취하였다.

두 시기에 대하여 기하보정을 실시한 결과 1989년 영상의 평균제곱근오차는 약 0.42화소(12.6m), 1993년 영상은

표 4. 기하보정 정보

구분	1989년 영상	1993년 영상
지상기준점	5점	
좌표변환	Affine 변환	
평균제곱근오차	0.42화소(12.6m)	0.33화소(9.9m)
재배열	최근린 내삽법	
기하보정	영상 대 영상	영상 대 영상

약 0.33화소(9.9m)로 각각 나타났다. 이것은 Landsat TM 영상의 통상적 허용오차인 0.5화소(15m)를 만족시켰다.

3.3 지표변화정보 추출

최대우도분류법에 의해서 얻어진 두 시기의 지표피복 분류영상을 지리정보의 속성정보로 입력하여 지표변화정보 추출을 시도하였다. 즉, 어떤 분류항목이 어떤 분류항목으로 변화가 있었는지에 대한 세부적인 정보 추출이 가능한 선분류 후비교법을 응용하여, 두 시기의 분류결과를 GIS의 한 매개변수로 이용함으로써 여러시기의 변화정보를 동시에 추출할 수 있다. 그러나 지표변화정보를 추출하고자 할 때 인공위성영상의 기하보정이 정확해야 하며 지표피복 분류정확도가 높지 않을 경우 지표변화정보의 신뢰도가 떨어질 수 있으므로 영상에 대한 지표피복 분류정확도를 최대한 향상시켜야 한다. 그러므로 본 연구에서는 이러한 점을 최소화하기 위해 허용오차 이내로 기하보정을 실시하였고 비교적 높은 지표피복 분류정확도로 분류를 실시하였다.

지표피복 분류를 마친 분류영상자료에 대하여 호환성을 높이고자 아스키파일로 변환하였다. 그리고 선분류 후비교법을 이용한 지표변화 정보의 추출을 위해 변환된 아스키파일을 다시 그리드파일로 변환시켜 그리드 병합을 실시하였고, 그리드의 산술연산을 이용하여 그리드의 셀값을 재배열 하였다. 변환된 2개의 그리드파일을 ArcGIS (Ver 8.1)를 이용하여 그리드 연산을 통해 하나의 통합된 그리드파일로 만들었다.

이 연산과정을 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$D_{ij} = BV_{ij(1989)} \times 10 + BV_{ij(1993)} \times 1 \quad (2)$$

여기서, $BV_{ij(1989)}$ = 1989년의 그리드 값

$BV_{ij(1993)}$ = 1993년의 그리드 값

D_{ij} = 통합된 그리드(생성된 영상) 값

i = line의 수, j = pixel의 수

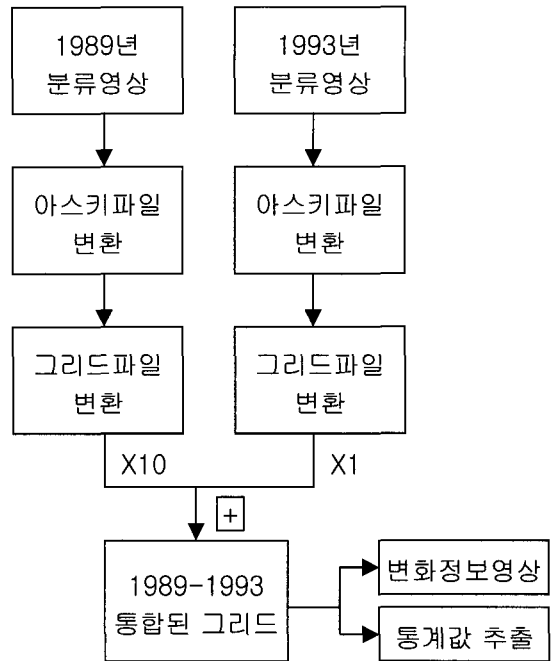


그림 6. 지표변화정보 추출절차

표 5. 분류영상의 속성값 할당

분류항목	물	산림	인공구조물	농경지	나대지
속성값	1	2	3	4	5

이러한 지표변화정보 추출과정을 요약하여 나타내면 그림 6과 같다.

표 5는 5개의 분류항목에 대해 1에서 5까지 각각의 속성값을 할당한 것이며, 표 6은 속성값 할당 규범을 나타내었다.

통합된 그리드파일에 대하여 그리드 분석을 통해 두 시기 사이의 분류항목별 면적변화량을 표 7에 나타내었다.

하나로 통합된 그리드파일은 총 25개의 조합으로 속성정보를 나타내며 각 셀의 속성값은 두 자리로 표현된다. 첫째 자리는 1993년 영상에 대한 지표피복 정보를, 둘째 자리는 1989년 영상에 대한 지표피복 정보를 나타낸다.

지표변화정보를 살펴보면 속성값이 22인 항목의 면적이 39.562km²으로 가장 넓게 나타났고, 속성값이 32인 항목의 면적이 0.189km²으로 가장 작게 나타났다. 이것은 산림에서 산림으로 변화가 없는 지역의 면적이 가장 크게 나타났음을 의미한다.

그리고 변화가 있는 지역 중에서 속성값이 24인 항목의 면적이 9.158km², 속성값이 45인 항목의 면적이 8.487km²

표 6. 그리드의 각 속성값에 대한 할당규범

속성값	년도별 분류항목	
	1989년	1993년
11	물	물
12	물	산림
13	물	인공구조물
14	물	농경지
15	물	나대지
21	산림	물
22	산림	산림
23	산림	인공구조물
24	산림	농경지
25	산림	나대지
31	인공구조물	물
32	인공구조물	산림
33	인공구조물	인공구조물
34	인공구조물	농경지
35	인공구조물	나대지
41	농경지	물
42	농경지	산림
43	농경지	인공구조물
44	농경지	농경지
45	농경지	나대지
51	나대지	물
52	나대지	산림
53	나대지	인공구조물
54	나대지	농경지
55	나대지	나대지

표 7. 두 시기의 항목별 면적변화량 (단위 : km²)

속성값	화소수	면적	속성값	화소수	면적
11	2369	2.132	34	403	0.363
12	1193	1.074	35	1271	1.144
13	593	0.534	41	3068	2.761
14	1036	0.932	42	5840	5.256
15	519	0.467	43	3694	3.325
21	1884	1.696	44	22284	20.056
22	43958	39.562	45	9430	8.487
23	1067	0.960	51	473	0.426
24	10175	9.158	52	370	0.333
25	1429	1.286	53	1964	1.768
31	606	0.546	54	1778	1.6
32	210	0.189	55	4682	4.214
33	6638	5.974	합계	126937	114.243

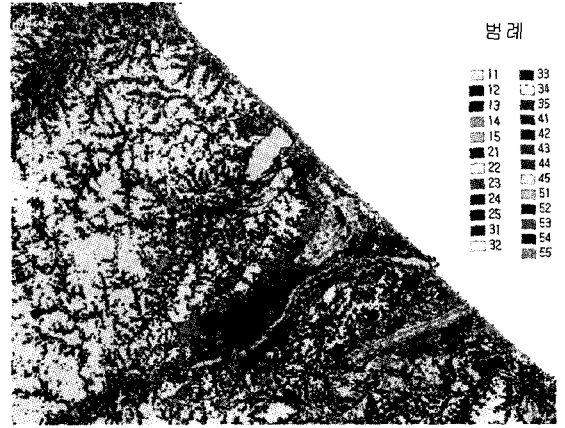


그림 7. 추출된 지표변화 영상(1989~1993)

로 크게 나타났다. 이것은 이 지역이 산림에서 농경지, 농경지에서 나대지로의 변화가 상당히 있었음을 보여주고 있다.

그리고 두 시기에 대하여 추출된 지표변화영상을 그림 7에 나타내었다.

3.4 지표변화정보의 신뢰성 검증

지표변화정보의 정확도는 분류결과와 신뢰도에 크게 좌우된다. 만약 두 시기의 분류정확도가 비슷하다고 가정하였을 때 지표변화정보의 정확도는 두 시기의 분류정확도를 곱한 것이 된다. 즉, 1989년 영상의 농경지가 정확히 분류될 확률이 50%이고 1993년 영상의 농경지가 정확히 분류될 확률이 50%라면 농경지에 대한 지표변화정보의 정확도는 25%이다. 이처럼 낮은 수치의 정확도를 가지고 지표변화정보의 추출을 시도한다면 심각한 오류가 발생할

표 8. 지표변화정보의 신뢰성 평가 (단위 : %)

년도	1993년					
	분류항목 (생산자정확도)	물	산림	인공 구조물	농경지	나대지
1989		93.54	97.72	96.73	82.33	85.11
	물	99.60	93.16	97.32	96.34	82.00
	산림	96.81	90.55	94.60	93.64	79.70
	인공 구조물	97.82	91.50	95.58	94.62	80.53
	농경지	98.54	92.17	96.29	95.31	81.12
	나대지	99.11	92.70	96.85	95.86	81.59

수 있다. 그러므로 지표변화정보의 추출을 시도하기 전에 분류 결과에 대한 신뢰성을 평가하여야 한다.

따라서, 본 연구에서는 지표변화정보의 신뢰성을 검증하기 위해 오차행렬의 생산자 정확도를 이용하여 평가하였다. 표 8은 지표변화정보의 신뢰성을 평가하기 위해 오차행렬의 생산자 정확도를 확률로 나타낸 것이다.

지표변화정보의 신뢰성을 살펴보면 전체적으로 최저 79.70%에서 최고 97.32%까지 지표변화정보의 신뢰성을 보여주고 있다. 이는 전체적으로 지표변화정보의 신뢰성이 대체로 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 강릉시를 연구대상지역으로 하여 1989년과 1993년도에 각각 취득된 Landsat TM 영상을 이용하여 지표피복분류를 실시하고, 여기서 생성된 분류영상을 가지고 그리드 연산을 통하여 지표변화정보를 추출하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 두 시기의 영상에 대하여 전처리 과정을 거친 후, 지표피복 분류를 실시하여 지표변화 정보를 추출한 결과 지표변화정보의 신뢰성이 최저 79.70%에서 최고 97.32%로 나타났다.

2. 두 시기의 인공위성 영상에 대하여 지표변화 정보를 추출한 결과 기존의 영상감독분류보다 영상정보처리를 쉽

게 할 수 있어, 각 화소에 대한 지표의 변천과정을 쉽게 추적할 수 있었다.

3. 두 시기의 영상에 대한 변화 양상을 시각적으로 판독할 수 있을 뿐만 아니라 각 시기의 변화정보를 추출할 수 있어 토지의 효율적인 관리 및 개발을 위한 기초 자료로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 김태근 (1997), "LANDSAT TM 映像資料를 이용한 湖水 水質 評價에 관한 研究", 전북대학교 대학원, 박사학위논문.
- 양인태 외 2인 (1999), "퍼지집합이론을 이용한 감독분류 정확도 향상", 대한토목학회 논문집, 제19권, 제III-3호, pp. 445-455.
- 유복모 (1999), 지형공간정보학, 동명사, pp. 1-21.
- 윤홍식 외 2인 (2002), "인공위성 영상을 이용한 남 한강 유역의 토지피복 변화량 검출", 한국측량학회지, 제20권 제2호, pp. 145-153.
- 한성만 (2003), "GIS를 利用한 遠隔探査 映像의 變化探 知技 法 開發", 강원대학교대학원, 박사학위논문.
- Congalton, R. G. (1991), "A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remote Sensing Data", *Remote Sensing of Environment*, pp. 35-46.
- Intersys (주) (2001), iCube USER'S GUIDE, pp. 275-306.
- Wang, F., (1993), "A knowledge-based vision system for detection land changes at urban fringes", *IEEE transactions on geoscience & remote sensing*, Vol. 31, pp. 136-145.
- 리모트·센싱기술센터 (1998), 地球 觀測 데이터利用ハンドブック, pp. 5-28, 5-36.

(접수일 2003. 9. 1, 심사일 2003. 9. 12, 심사완료일 2003. 9. 25)