

인공위성 영상을 이용한 남한강 유역의 토지피복 변화량 검출 A Study on the Detection of Land Cover Changes in Southern Han River Using Landsat Images

윤홍식* · 조재명** · 안영준***

Yun, Hong Sic · Cho, Jae Myoung · Ahn, Yung Jun

요 旨

국토의 효율적인 관리와 이용 및 계획은 사회 공동체의 이익은 물론이거니와 국가 발전에 이바지하는 중요한 기초가 된다. 이러한 국토 관리와 계획을 수립하기 위해 가장 먼저 선행되어야 하는 것은 국토에 대한 올바른 조사와 정보의 획득이다. 원격탐사에 의한 국토조사방법은 적은 시간에 적은 인력을 동원하여 양질의 조사 결과를 얻을 수 있는 가장 합리적인 방법이다. 본 연구에서는 남한강 유역을 포함하는 1980, 1985, 1990, 1995 및 2000년대의 Landsat 영상을 이용하여 영상분류를 실행하고 토지피복 변화량을 분석하였으며 남한강 유역의 관리를 위한 유용한 정보를 제시하였다. 특히, 댐의 건설과 산업화 등에 기인하여 수역의 증가와 산림 및 농경지의 감소가 확연히 나타나 있음을 본 연구의 결과를 통해 알 수 있었다.

ABSTRACT

Reforming land is an important foundation for benefit of society as well as national development. A correct investigation and information acquirement as to land must go first to establish land management and plan. Land investigation by remote sensing is one of the most reasonable methods that doesn't need lots of time and manpower. In this study, Image classification on land use from Landsat data was carried out, which were respectively in 1980, 1985, 1990, 1995 and 2000, covering southern Han river and then land use changes were detected. In addition, an available information was reported, which could be used in the control of southern Han river. As a result, there is an obvious change in land use, especially the increase of water and decrease of forest and agriculture. Those are caused by the industrialization and the construction of dam.

1. 서 론

1957년 인류 최초의 무인 위성인 Spoutnik가 발사된 이후 첨단과학 기술의 발전에 따라 인공위성 관련 기술 또한 비약적으로 발전하였다. 위성에 의한 정보과학기술은 초기에 군사적 목적에 의해 제한적으로 사용되었으나 현재는 지리정보 수집·관리, 지구환경의 감시, 기상예측, 해양환경 관측 및 자원탐사 등 여러 분야에 다양하게 활용되고 있으며, 특히 근래 민간용 위성영상의 고해상도화와 극다중분광화 기술의 발전으로 인해 그 응용분야가 급속도로 확대되고 있는 추세이다. 1972년 최초의 지구관측위성인 Landsat 1호로부터 시작하여 현재

Landsat 7호 및 프랑스의 SPOT, 미국의 IKONOS, 그리고 우리 나라의 아리랑 위성(KOMPSAT) 등 많은 수의 위성이 활동하고 있으며, 이들 위성으로부터 공급받은 영상자료를 이용하여 지구자원탐사, 환경 및 재난감시, 지도제작 등에 활용하고 있다.^{1,2)}

원격탐사에 의한 국토조사방법은 비교적 적은 시간과 인력을 통해 양질의 결과를 얻을 수 있으며, 특히 현재 국토 토지 이용 조사를 위해 선행되어야 하는 토지피복분류는 다중 분광 밴드 영상의 특징을 적용할 수 있는 가장 좋은 활용 분야이다.³⁾

본 연구에서는 1980년과 2000년도 사이 5년 단위의 Landsat 위성영상을 이용하여 남한강 유역의 토지피복분류를 실시하고 토지피복 변화량을 분석하여 토지의 효율적인 관리 및 개발을 위한 기초 자료를 제시하는데 목적이 있다.

*성균관대학교 토목환경공학과 조교수
**성균관대학교 토목환경공학과 박사과정
***성균관대학교 토목환경공학과 석사과정

2. 연구자료 및 대상지역

2.1 연구자료

본 연구에서는 남한강 유역의 토지피복변화량을 추출하기 위해 1980년부터 2000년까지 5년 간격의 Landsat 영상을 이용하였다. 위성영상을 이용한 변화탐지에서 결과 정확도에 가장 많은 영향을 미치는 것 중의 하나는 시기별 영상의 일관성이다. 즉, 영상들이 촬영된 계절이나 시간대가 서로 비슷할수록 변화탐지 결과 정확도가 향상되는 것이다. 따라서 본 연구에서는 5년 간격의 영상을 확보하는데 있어서 윤량이 전체 영상의 5% 이하인 영상을 먼저 검색하고 계절별로 분류하여 연대별로 가장 많은 영상을 포함하는 5~8월 영상을 사용하였다. 5년 간격의 영상 중 윤량과 시기별 조건을 만족하는 영상이

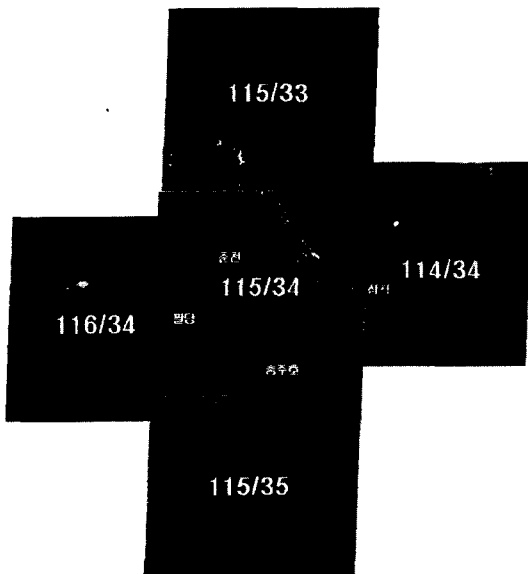


그림 1. 연구대상지역 주변 Landsat TM Path/Row

없을 때는 ± 1 년의 여유를 두어 4~6년 간격의 영상을 검색하여 촬영 상태가 가장 좋은 영상을 채택하였다. 표 1은 윤량, 영상의 상태, 시기별 조건 등을 고려하여 최종적으로 본 연구에 사용된 Landsat 위성 영상의 목록이다.⁴⁾

2.2 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 남한강의 발원지인 강원도 삼척 시로부터 충청북도 충주호를 거쳐 남한강과 북한강의 합류점인 팔당에 이르는 총면적 12,388 km²의 남한강 유역권이다(그림 2).

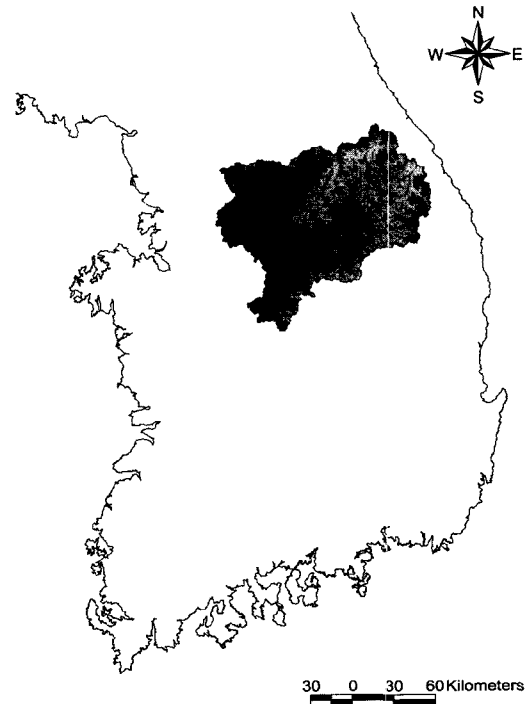


그림 2. 연구대상지역

표 1. 사용 위성자료목록

Path/Row	115/33(124/33)		115/34(124/34)		115/35(124/35)		114/34(123/34)	
년대	Sensor	Date	Sensor	Date	Sensor	Date	Sensor	Date
1980년대	L2 MSS	1979. 08. 28	L2 MSS	1979. 08. 28	L2 MSS	1979. 08. 28	L2 MSS	1981. 06. 05
1985년대	L5 TM	1984. 05. 04	L5 TM	1985. 10. 14	L5 TM	1986. 04. 24	L5 TM	1985. 05. 16
1990년대	L5 TM	1989. 06. 03	L5 TM	1989. 06. 03	L5 TM	1989. 06. 03	L5 TM	1989. 10. 18
1995년대	L5 TM	1995. 04. 17	L5 TM	1994. 06. 01	L5 TM	1995. 05. 03	L5 TM	1995. 05. 12
2000년대	L7 ETM	2000. 05. 08	L7 ETM	2000. 05. 08	L7 ETM	2000. 05. 08	L7 ETM	2000. 06. 18

3. 토지피복분류

3.1 위성영상의 전처리

위성영상처리 전 단계로서 위성영상자료에 대하여 지상을 촬영할 당시 위성의 자세 등에 따른 기하학적 오류를 교정하고 영상의 좌표를 지도좌표에 맞추도록 기하보정(geometric correction)을 실시하였다. 위성영상과 동일하다고 판단되는 지상의 지형지물의 상호 위치관계를 파악하기 위한 지상기준점(ground control point)은 DGPS 측량을 통하여 지상좌표를 결정하였다. 지상기준점은 2000년도 영상을 기준으로 scene당 15~25점의 지상기준점을 영상 전체에 고루 분포하도록 선정하여 DGPS 측량을 하였다. 기하보정식은 1차 다항식을 사용하였으며, 평균제곱근오차(root mean square error, RMSE)가 0.5 화소(TM의 경우 15 m) 이하가 되도록 조정하였다. 이러한 방법으로 2000년도 영상을 기하보정한 후 나머지 영상들은 기하보정된 2000년도 영상을 기준으로 이미지 대 이미지(image to image)방식으로 기하보정을 실시하였다. 원본영상을 기준좌표계상의 위치로 변환하는 재배열

(resampling) 방법으로는 원래의 화소가 가지고 있는 값에 영향을 가장 적게 미치는 최근린내삽법(nearest neighbor)을 이용하여 MSS는 60 m, TM은 30 m 간격으로 재배열하였다.

3.2 토지피복분류 항목선정

Landsat 영상자료를 이용하여 토지피복분류를 시행한 선행연구를 살펴보면 동일한 연구지역이라 하더라도 연구의 목적, 분석하고자 하는 내용, 분석방법에 따라 분류

표 2. 토지피복분류 항목

토지피복 분류항목	내 용
수역	하천, 호수, 해양수
시가화	주거지역, 산업 상업지역, 교통, 공공시설물
나지	광산, 채석장, 백사장, 모래사장, 미개발지
습지	늪, 갯벌, 염전
초지	녹지, 묘지, 수목밀도가 낮은 야산, 골프장
산림	활엽수, 침엽수, 혼효림
농경지	논, 밭, 과수원

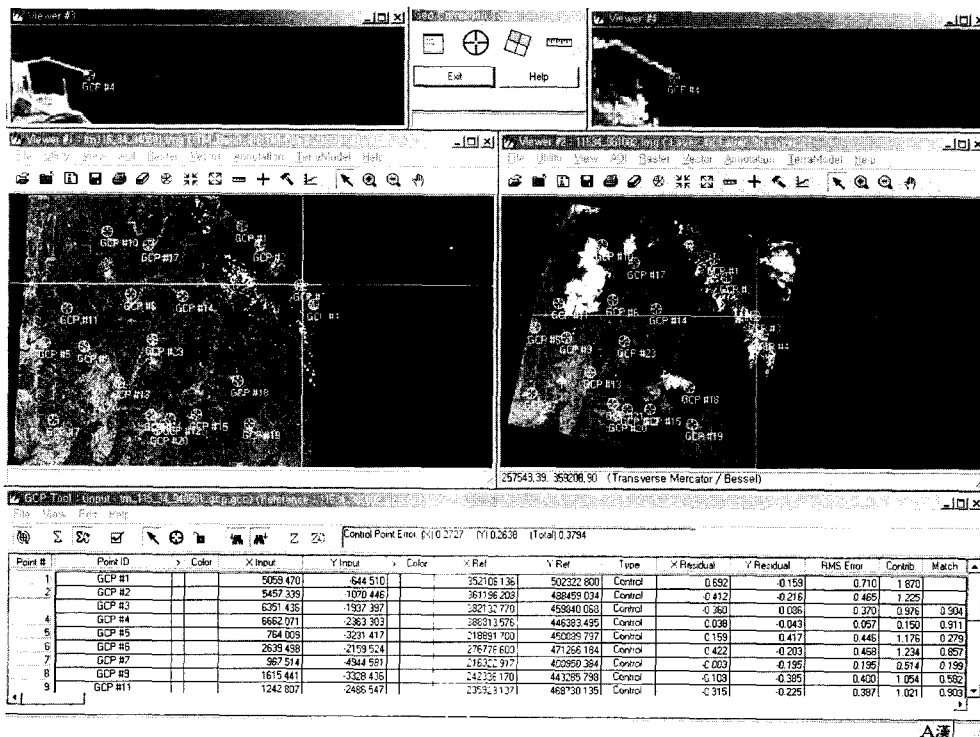


그림 3. 위성영상의 기하보정

항목이 각기 다르다. 본 연구에서는 Landsat 영상자료를 이용하여 토지피복분류를 시행한 후 토지피복 변화량 정보를 구하고자 하는 것이므로 미국의 지질조사원(USGS) 분류체계 및 우리나라 환경부에서 설정한 토지피복 분류체계를 참고하여 Landsat 영상에서 분류할 수 있는 일반적인 토지피복분류 항목을 선정하였다. 즉, 미국 지질조사원의 1단계 분류항목과 우리나라 환경부의 1단위 분류체계를 참고하여 본 논문에서는 수역, 시가화, 나지, 습지, 초지, 산림, 농경지의 7개 항목을 분류 항목으로 선정하였다. 본 연구에서 사용한 토지피복분류 항목 및 내용은 표 2와 같다.

3.3 토지피복분류

본 논문에서 수행한 토지피복분류의 절차는 그림 3에서 보는 바와 같다. 먼저 Landsat 영상의 모든 밴드의 분광특성을 이용하여 감독분류(supervised classification)를 실시하고 오분류 및 미분류된 지역에 대해서는 무감독분류(unsupervised classification)를 실시하였다. 감독분류시 훈련지역(training area) 설정을 위한 참조자료로는 1970년대, 1980년대 간행된 1/50,000 지형도와 1990년대 간행된 1/25,000 수치지형도를 사용하였다. 훈련지역은 7개의 분류항목에 대하여 영상전체에 고른 분포를 갖도록 하여 scene당 50~150개를 선정하였다. 중첩된 화소의 경우 확률함수에 따른 매개변수법 중 최대우도법(maximum likelihood)을 이용하여 분류하였으며 감독분류 후 참조자료와의 비교를 통하여 오분류된 화소와 미분류된 화소를 추출하였다. 무감독분류는 오분류, 미분류된 화소를 대상으로 ISODATA 기법을 이용하여 군집수

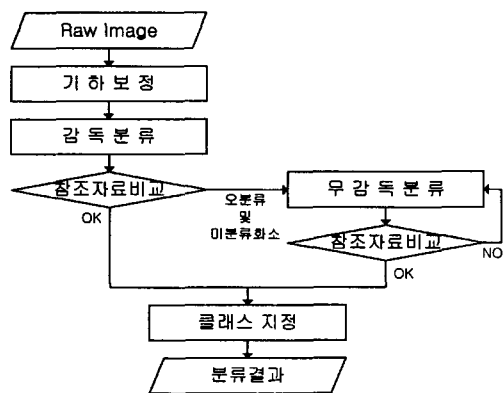


그림 4. 토지피복분류 흐름도

를 10~20개, 수렴도 95% 기준으로 실시하였으며, 1차 분류결과를 참조자료와 비교하여 정확도가 70% 이상인 부분을 추출하고, 2차에서 다수(majority)에 할당하였으며, 이러한 방법을 이용하여 얻은 연도별 최종 토지피복분류 결과는 그림 5~9와 같다.

3.4 토지피복분류의 정확도 검사

본 논문에서는 토지피복분류의 정확도를 검사하기 위

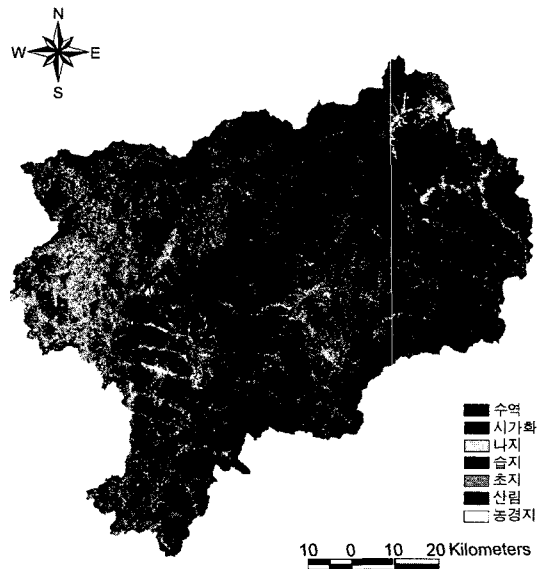


그림 5. 토지피복분류 결과(1980년대)

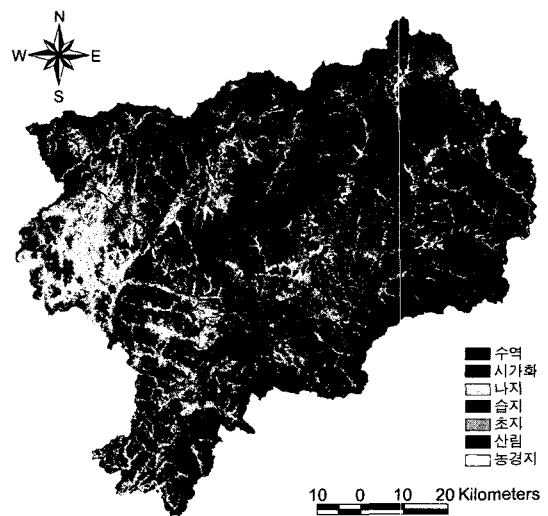


그림 6. 토지피복분류 결과(1985년대)

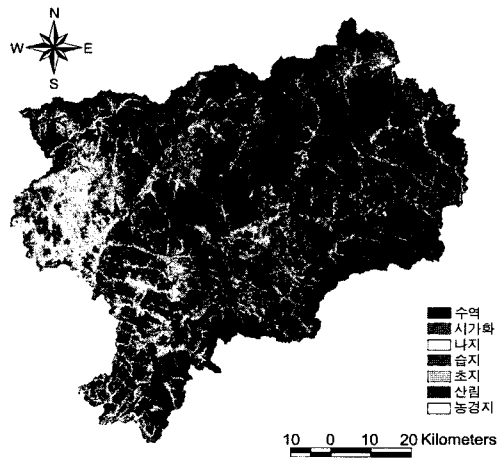


그림 7. 토지피복분류 결과(1990년대)

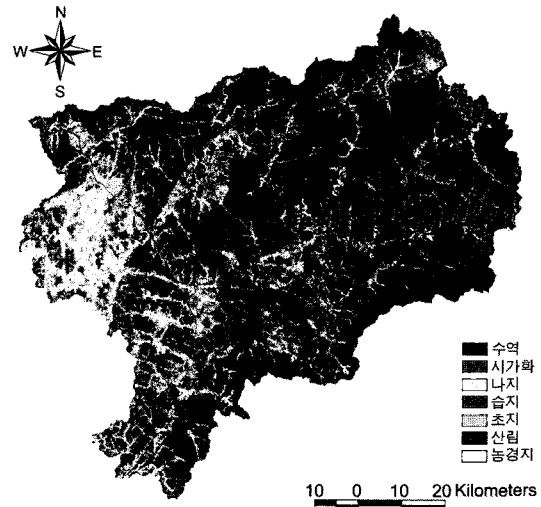


그림 9. 토지피복분류 결과(2000년대)

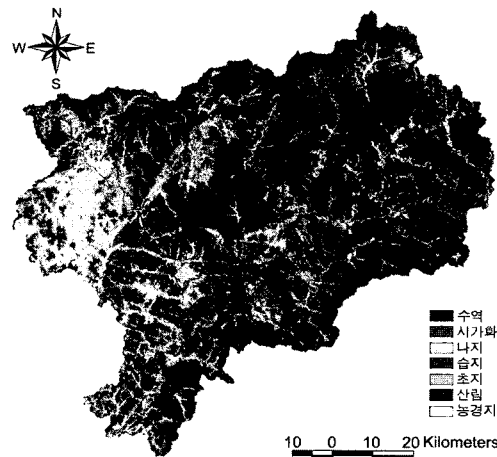


그림 8. 토지피복분류 결과(1995년대)

하여 우선 영상별 획득시기와 비슷한 연도에 국립지리원에서 제작된 종이 지형도 및 수치지형도를 이용하였다. 국립지리원에서 간행되는 지형도의 경우, 지역에 따라 제작 년도에 차이가 있기 때문에 연구지역 전체에 대하여 각 연도별 분류 정확도를 검사하기 위한 참조자료로 사용하기에는 무리가 있다. 따라서 본 논문에서는 영상 획득시기와 비슷한 시기에 제작된 종이 지형도와 수치지형도를 우선 정리하고 이들로부터 검사점을 추출한 후 기하보정을 거친 영상과 비교하여 육안으로 판단하기에 비교적 구분이 명확한 검사점만을 다시 추출하여 최종 검사점을 선정하였다. 이러한 과정을 거쳐 최종 검사점은

표 3. 토지피복분류 정확도 검사결과(1980년대)

		참조자료							User's Accuracy (%)	
		수역	시가화	나지	습지	초지	산림	농경지		합계
분류 결과	수역	127	0	1	-	19	2	4	153	83.01
	시가화	0	92	7	-	5	0	0	104	88.46
	나지	4	9	67	-	1	0	4	85	78.82
	습지	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	초지	2	7	0	-	176	3	13	201	87.56
	산림	0	0	4	-	16	142	13	175	81.14
	농경지	2	4	2	-	19	2	131	160	81.88
	합계	135	112	81	-	236	149	165	878	
	Producer's Accuracy (%)	94.07	82.14	82.72	-	74.57	95.30	79.39		

overall accuracy : 83.71%

표 4. 토지피복분류 정확도 검사결과(1985년대)

		참조자료								User's Accuracy (%)
		수역	시가화	나지	습지	초지	산림	농경지	합계	
분류 결과	수역	189	0	0	-	6	0	9	204	92.65
	시가화	0	212	12	-	5	0	3	232	91.38
	나지	5	7	152	-	13	0	0	177	85.88
	습지	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	초지	0	0	3	-	145	15	12	175	82.86
	산림	0	0	0	-	18	227	9	254	89.37
	농경지	6	0	2	-	5	0	128	141	90.78
과	합계	200	219	169	-	192	242	161	1183	
Producer's Accuracy (%)		94.50	96.80	89.94	-	75.52	93.80	79.50		

overall accuracy : 89.01%

표 5. 토지피복분류 정확도 검사결과(1990년대)

		참조자료								User's Accuracy (%)
		수역	시가화	나지	습지	초지	산림	농경지	합계	
분류 결과	수역	162	0	0	-	0	4	4	170	95.29
	시가화	0	230	26	-	0	0	0	256	89.84
	나지	0	12	143	-	0	0	9	164	87.20
	습지	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	초지	0	3	0	-	187	0	16	206	90.78
	산림	0	0	0	-	25	168	5	198	84.85
	농경지	0	0	0	-	4	6	107	117	91.45
과	합계	162	245	169	-	216	178	141	1111	
Producer's Accuracy (%)		100	93.88	84.62	-	86.57	94.38	75.89		

overall accuracy : 89.74%

표 6. 토지피복분류 정확도 검사결과(1995년대)

		참조자료								User's Accuracy (%)
		수역	시가화	나지	습지	초지	산림	농경지	합계	
분류 결과	수역	176	0	7	-	0	0	5	188	93.62
	시가화	0	152	11	-	1	2	0	166	91.57
	나지	2	6	79	-	0	0	2	89	88.76
	습지	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	초지	0	2	1	-	245	9	12	269	91.08
	산림	0	0	0	-	14	192	3	209	91.87
	농경지	3	0	2	-	2	0	86	93	92.47
과	합계	181	160	100	-	262	203	108	1014	
Producer's Accuracy (%)		97.24	95.00	79.00	-	93.51	94.58	79.63		

overall accuracy : 91.72%

표 7. 토지피복분류 정확도 검사결과(2000년대)

		참조자료								User's Accuracy (%)
		수역	시가화	나지	습지	초지	산림	농경지	합계	
분류결과	수역	92	0	0	-	6	0	2	100	92.00
	시가화	0	172	13	-	3	0	0	188	91.49
	나지	0	14	87	-	2	0	2	105	82.86
	습지	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	초지	0	8	0	-	168	5	2	183	91.80
	산림	0	1	0	-	7	219	1	228	96.05
	농경지	1	0	0	-	11	2	121	135	89.63
	합계	93	195	100	-	197	226	128	939	
Producer's Accuracy (%)		98.92	88.21	87.00	-	85.28	96.90	94.53		

overall accuracy : 91.48%

표 8. 연도별 토지피복분류 결과 (km²)

	1980년대	1985년대	1990년대	1995년대	2000년대
수역	46.57	155.26	90.74	90.38	111.53
시가화	35.06	53.18	76.65	123.04	168.94
나지	90.79	125.20	182.52	192.20	188.70
습지	-	-	-	-	-
초지	274.78	292.44	344.27	410.78	478.93
산림	9615.54	9334.01	9269.44	9209.87	9134.48
농경지	2326.29	2428.94	2425.41	2362.76	2306.45
합계	12389.03	12389.03	12389.03	12389.03	12389.03

연도별로 900~1200점을 선정하였고 이를 분류결과와 비교하여 분류 정확도를 검사하였다. 표 3~8은 연도별 토지피복분류의 정확도 검사 결과를 나타내는 error matrix 이다.

표 3~8에서 보는 바와 같이 피복분류 결과의 전체 정확도(overall accuracy)는 83.71~91.72%를 나타내고 있고 MSS영상을 이용한 1980년대 피복분류 결과가 83.71%로써 가장 낮은 정확도를 나타내고 있음을 볼 수 있다. 분류 항목별 평균 정확도를 살펴보면 수역 91.31%, 시가화 90.55%, 나지 84.70%, 초지 88.82, 산림 88.66%, 농경지 89.24%로써 나지가 가장 낮은 정확도를 나타내고 있다.

4. 분류결과 및 변화탐지

표 8 및 그림 10은 각 연도별 토지피복분류 결과 및 변화량을 나타낸 것이다. 분류결과를 살펴보면 습지가 차

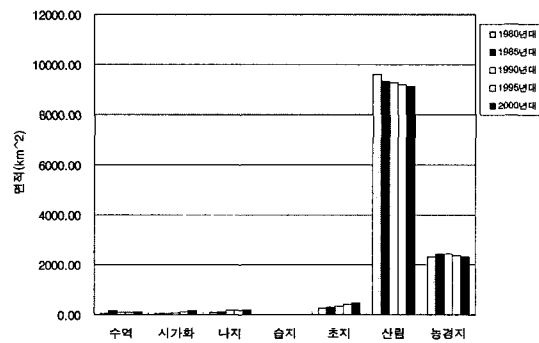


그림 10. 토지피복분류 변화도

지하는 면적이 0인 것을 볼 수 있는데 이는 본 연구에서 습지의 기준을 늪, 갯벌, 염전으로 설정하였기 때문에 영상 분류시 동해안 지역에서는 습지에 해당하는 지역이 많이 분포하였으나 내륙지역인 본 연구대상 지역에서는 참조자료인 지형도 상에 습지로 분류할 수 있는 늪, 갯벌, 염전 지역이 거의 없기 때문에 분류 결과에서 습지

표 9. 토지피복 면적의 연평균 증가율(%)

	1980~1985	1985~1990	1990~1995	1995~2000	평균
수역	27.23	-10.19	-0.08	4.30	5.32
시가화	8.69	7.59	9.93	6.55	8.19
나지	6.64	7.83	1.04	-0.37	3.79
습지	-	-	-	-	-
초지	1.25	3.32	3.60	3.12	2.82
산림	-0.59	-0.14	-0.13	-0.16	-0.26
농경지	0.87	-0.03	-0.52	-0.48	-0.04

가 차지하는 면적은 0을 나타내고 있다. 하지만 이러한 결과는 사용된 참조자료의 한계에 기인하는 것으로서 실제로 습지가 존재하지 않는 것은 아니다.

통계상 연평균 증가율은 다음과 같은 식에 의하여 구하여지며, 각 연도별 연평균 증가율과 이들의 평균은 표 9와 같다.

$$P_t = P_n(1+r)^{t-n} \quad (4-1)$$

여기서, P_t : 비교년도 자료, P_n : 기준년도 자료, t : 비교년도, n : 기준년도, r : 연평균 증가율(%)

표 9에서 보는 바와 같이 토지피복의 전체적인 변화는 시가화, 나지 및 초지 지역은 지속적으로 증가하는 반면 산림, 농경지 지역의 면적은 감소하는 것을 볼 수 있다. 수역의 경우 1980년대에서 1985년대 사이에 3배 이상 급격히 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 남한강 수계상에 건설된 댐, 특히 1978년에 착공하여 1985년에 완공된 충주댐에 의하여 저수량이 크게 증가한데 그 원인이 있다. 피복분류도를 살펴보면 충주댐으로 인해 생성된 충주호 주변의 수역이 크게 증가하였음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 남한강 유역권에 대한 1980~2000년도 사이의 Landsat 영상 중 영상의 촬영상태 및 계절별 일관성을 고려하여 4~6년 간격별로 취득된 영상을 이용하여 남한강 유역의 토지피복 변화량에 대해 고찰하였다. 연구결과 시가화, 나지, 초지 지역이 각각 연평균 8.19%, 3.79%, 2.82% 증가율을 보이는 반면, 산림과 농경지는 각각 0.26%, 0.04% 감소율을 보이는 것으로 나타났다. 특히, 수역은 1985년에 완공된 충주댐 등의 영향으로 인해 1980년도 이후로 그 면적이 급격히 증가한 것으로 나타났으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 연구 결과 댐 건설로 인해 남한강 유역의 수역 면적이 급격히 증가하여 연평균 5.32% 증가율을 나타내고 있으며, 도시화 지역 확산으로 인해 시가화 면적의 증가율이 연평균 8.19%인 것으로 나타났다. 또한 산업화 진행으로 인해 도시화 지역이 증가하는 반면 산림과 농경지는 그 면적이 감소하는 것을 알 수 있다.

2. 수역을 제외한 다른 분류항목은 일정한 방향의 증가 또는 감소 추세를 나타내는 반면 수역의 변화량은 그 증가, 감소 추세가 일정하지 않은데 이는 수역의 경우 영상 촬영전의 강수량과 같은 일별 및 계절별 일기상황에 따른 영향이 많이 작용하기 때문이다. 특히 1985년도 수역의 면적이 이후 연도의 수역 면적보다 크게 나타난 것은 남한강 수계를 주로 포함하고 있는 115/34 path/row Landsat 영상의 촬영 시기에 기인하는 것으로써 남한강 수계 상에 있는 충주, 청주 지역의 1971~2000년도에 걸친 기상청 월 평년 강수량을 살펴보면 1990, 1995, 2000년대 영상의 촬영 시기인 5월초 수역 면적에 영향을 미칠 수 있는 4월 강수량이 각각 연평균 76.5 mm, 76.6 mm인 반면, 1985년도 영상의 촬영 시기인 10월 수역 면적에 영향을 미칠 수 있는 9월 강수량이 각각 연평균 136.3 mm, 133.2 mm인 것으로부터 계절별 강수량에 의한 영향을 받았기 때문인 것으로 판단된다.

3. 분류 정확도 검증 결과 나지의 분류 정확도가 다른 항목에 비하여 낮게 나타났다. 이는 정확도 검증 과정에서 시가화 지역이 나지로 오분류된 경우가 많은 것으로 보아 나지로 분류되는 채석장, 백사장, 모래사장, 미개밭지 등의 반사특성이 시가화 지역의 반사특성과 비슷한 것으로 판단된다.

4. 본 논문을 통하여 현대 사회의 급속한 도시화에 따른 토지이용패턴의 추출 및 변화검출을 위하여 인공위성 영상을 사용하는 것이 효율적이라는 것을 알 수 있었다.

5. 인공위성 영상을 이용한 국토의 조사 및 분석 자료는 과거로부터 현재에 이르는 광범위한 데이터를 다양하게 이용할 수 있다는 점에서 국토의 효율적인 관리를 위한 지리정보시스템(GIS) 구축에 있어서 그 활용가치가 높다고 판단된다.

참고문헌

1. 유복모, “현대수치사진측량학”, 문운당, 1999.
2. 정보통신부 · 한국전산원 · 국토연구원, 공간영상정보시스템구축 시범사업, 공간영상정보 품질관리 연구, 2000.
3. Lucas L. F. Janssen, Principle of Remote Sensing, ITC, 2000.
4. 김영섭, 서애숙, 조명희, “원격탐사개론, 동화기술, 1998.
5. Thomas M. Lillesand, Ralph W. Kiefer, Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley & Sons Inc, 2000.
6. Robert A. Schowengerdt, Remote Sensing : Model and Methods for Image Processing, Academic Press, second edition, 1997.
7. Floyd F. Sabins, Remote Sensing : Principle and Interpretation, W. H. Freeman and Company, third edition, 2000.
8. John R. Jensen, Remote Sensing of The Environment : An Earth Resource Perspective, Prentice Hall, 2000.
9. 환경부, 인공위성영상자료를 이용한 토지피복분류, 1999.

(2002년 2월 3일 접수)