

연구논문

CLUE-S 모델과 시계열 Landsat 자료를 이용한 토지피복 변화 예측 The Expectation of the Land Use and Land Cover Using CLUE-S Model and Landsat Images

김우선* · 윤공현** · 허 준*** · 자야쿠마****

Kim, Woo Sun · Yun, Kong Hyun · Heo, Joon · S. Jayakumar

要 旨

특정 기간 사이의 토지의 변화들을 파악하는 것은 매우 중요하다. 그러나, 토지를 변화 시킬 수 있는 요소들은 많이 존재할 수 있기 때문에 그러한 요인들을 규명하기란 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 이러한 토지 변화 요인들을 정량적으로 사용하여 시뮬레이션을 수행하고자 하였다. CLUE-S 모델을 이용하여 사용한 자료는 1987년 Landsat TM 영상과 2001년 Landsat ETM+ 영상이며, 1987년부터 2010년까지 23년 동안의 토지 이용도를 시뮬레이션 하였다. 그 결과, 2001년 영상의 감독 분류 결과와 시뮬레이션을 수행한 2001년 결과 사이의 정확도는 93.69%가 나왔으며, 이러한 결과를 통해 미래의 토지 피복 현황도를 예측할 수 있었다.

핵심용어 : 토지 사용, 토지 피복, CLUE-S 모델, Landsat 영상

Abstract

Land use/land cover is very important to understand the change in the land cover between specific periods. But as there are number of factors which are responsible for the change in the land cover, it is very difficult to identify the specific factors. Therefore in the study we made an attempt to use the land use strategies quantitatively and conducted simulation study. The input data using the CLUE-S model are the satellite data of 1987 and 2001 from Landsat Thematic Mapper (TM) and Enhanced Thematic Mapper (ETM+) and we conducted simulations for 23 years from 1987 to 2010. As a result, the accuracy between the land use map derived from original satellite data and simulation for 2001 was 93.69% and in this reason we could expect land use and land cover in the future.

Keywords : Land Use, Land Cover, CLUE-S model, Landsat Images

1. 서 론

우리가 살고 있는 토지는 지역적인 특성과 관련 정책 등을 포함한 수많은 요인들로 인해 다양한 형태와 특징들을 지니게 되었다. 또한 인간의 활동 영역이 넓어짐에 따라 토지를 변화 시키는 발생 요인들은 더욱 복잡하게 구성되어 보다 정밀한 분석을 요하게 되었다. 따라서 토지의 변화 요인들은 대부분 추상적이거나 주관적이기 때문에 객관화 하고 정량화 할 때, 상당히 많은 부분들을 고려해야 한다. 결국, 토지의 변화 요인과 이용 패턴을 정확히 알아야 하는데, 이를 위해서는 보다 체계적인 접근 방법과 적절한 도구를 선택해야 한다. 또한 요인들 간

의 상호 메커니즘을 파악하는 실증적인 연구도 선행되어야 한다(권일, 1997).

이미 해외의 여러 국가에서는 토지 변화와 관련된 시뮬레이션을 수행하였고, 지역별 특성에 맞는 시나리오를 적용하여 토지 변화를 예측하고 분석해 왔다.

베트남의 경우를 살펴보면, Bac Kan 지방에서는 토지 정책에 기반한 세 가지 시나리오를 통해 모델링을 수행하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 면적과 관련된 시나리오를 기반으로 가장 많은 변화가 있는 지역을 규명하였고, 북부 지방의 주거 지역 발전성에 대해서도 예상하였다(Willemen, L., 2002).

또한, 말레이시아에서는 Selangor 강 주변의 분지 지역

2008년 1월 23일 접수, 2008년 2월 25일 채택

* 정희원·연세대학교 토목공학과 석사과정 (kwsbulls-77@hanmail.net)

** 정희원·연세대학교 건설공학연구소 연구원 (ykh1207@yonsei.ac.kr)

*** 교신저자·정희원·연세대학교 교수 (jheo@yonsei.ac.kr)

**** 연세대학교 토목공학과 박사후과정 (sjayakumar_1@yahoo.com)

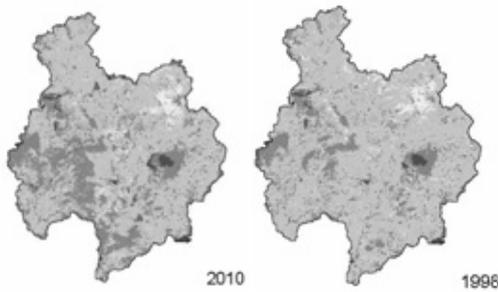


Fig. 1. Scenario of province rice production, livestock development and some reforestation (from 1998 to 2010).

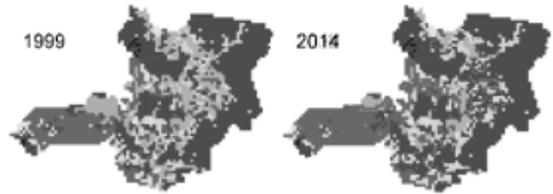


Fig. 2. Predicted land use changes in the Selangor river basin, Malaysia (from 1999 to 2014).

과 야자수 재배 지역의 확장에 대한 모델링을 수행하여 지역 분석에 많은 도움을 주었다(Fig. 2). 특히 이 지역은 삼림 보존 지역이나 개발 제한 구역과 같은 광범위한 지역의 모델링이 수행되어 이에 대한 구체적인 방법까지도 제시하였다(Engelsman, W., 2002).

그러나 기존의 연구들은 토지들 간의 변화량 즉, 삼림과 농경지 그리고 주거지역 등 육지에 대한 변화량만을 토지변화의 요소들로 고려하였다. 따라서 본 연구에서는 토지 이외에 수역 부분에 관련된 변화 요인과 철강 산업과 같은 특정 산업에 관련되어 변화된 부분의 변수를 설정해보고자 하였다.

연구 지역은 경상북도 동해안에 위치한 포항시 주변 지역을 모델링의 대상 지역으로 선정하여 시물레이션을 수행하였고, 이 지역의 토지 변화 요소들은 무엇이 있으며, 면적 시나리오에 기반한 변수는 어떻게 설정해야 할지도 구상하여 보았다. 최종적으로는 관련 변수들을 보정하면서 2010년도 토지 이용도를 예상하여 보았다.

2. 실험 대상지역

실험 대상 지역은 Fig. 3 에서 보는 바와 같이 경상북도 동해안에 위치한 포항시 주변 지역이다. 이 지역은 바다와 인접해 있고 낮은 구릉성 산지와 층적 평야로 이루어져 있어 대부분 농경지로 이용되었다. 그러나 1970년대 부터 포항 종합 제철소 건설로 농업과 어업 중심의 도시에서 공업 도시로 비약적인 발전을 이루게 되었다.

이에 토지 이용에 있어 활발한 변화가 있을 것으로 예상되어 실험 대상 지역으로 선정하였다.

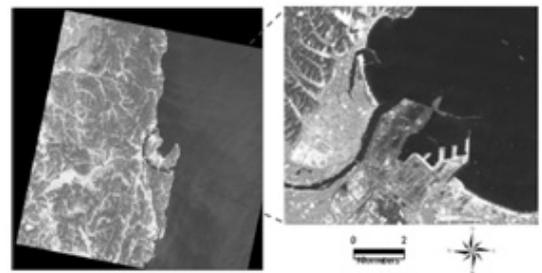


Fig. 3. Study area (Pohang City).

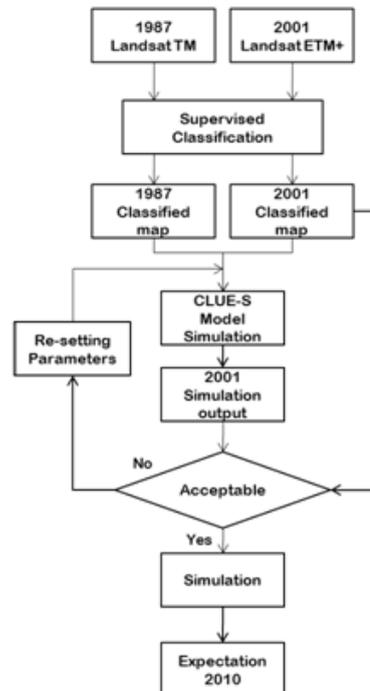


Fig. 4. Flow chart of study.

3. 연구절차 및 방법론

본 연구는 크게 세 부분으로 구성된다. 먼저 1987년도 Landsat TM 영상과 2001년도 ETM+ 영상을 감독 분류 한 후, 면적 시나리오를 기반으로 시뮬레이션을 시작한다. 시뮬레이션 결과들 중에서 2001년도 토지 이용도와 기존에 감독 분류화 된 2001년도 ETM+ 분류화 영상 결과를 비교하여 정확성을 평가한다. 그리고 해당 변수들을 보정하면서 가장 적합한 변수들로 재설정한다. 최종적으로 결정된 최적의 변수들을 통해 2010년도 토지 이용도를 예상해보고 1987년도 영상과 비교하여 분석하는 절차를 따른다(Fig. 4).

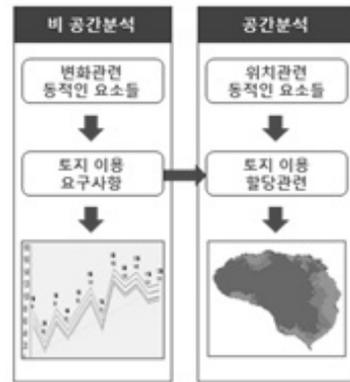


Fig. 5 Overview of the modeling procedure.

3.1 CLUE-S Model 소개

CLUE-S 모델은 네덜란드의 Wageningen 대학에서 개발한 토지 변화 모델링 프로그램이다. 이 프로그램은 토지 이용 변화를 정량적인 변수를 사용하여 예상하는 연도까지의 영상들을 추정하고 시뮬레이션 하는데 사용된다.

모델의 구조는 보이지 않는 요소를 고려한 비공간 분석 모듈과 토지 변화를 고려한 공간 분석 모듈로 나눌 수 있다(Fig. 5).

본 연구에서는 크게 네 가지 부분의 모듈을 고려하고자 한다.

첫 번째로는 공간 정책과 제약 조건들이 토지 변화 패턴에 어떤 영향을 미치는지를 알아보는 부분이다. 예를 들어, 벌목 금지 지역이나 개발 제한 구역과 같은 부분은 인접 지역들과 많은 관련성을 가지고 있게 된다. 따라서 비록 작은 지역일지라도 주변 지역 전부를 제약할 수도 있으므로 간과해서는 안 된다는 것이다.

두 번째로 고려해야 할 사항은 변환 요소들을 토지 이용 형태별로 나누어 설정하는 것이다. 이것은 다시 변환 순응성 부분과 토지이용 전이순서 부분으로 나뉜다. 위의 두 부분은 토지의 이용 형태를 숫자나 매트릭스의 형태로 나타낸다. 먼저 변환 순응성 부분에서는 형태가 변하는 부분과 변하지 않는 부분을 숫자 0과 1로 표현한다. 그리고 각 변환 형태별로 0과 1사이의 소수값들을 적절히 할당한다. 다시 말하면 다음 단계로 바뀔 수 있는지에 대한 가능성을 숫자로 나타내는 것이다.

다음으로는 토지이용 전이순서 부분으로 매트릭스로 표현한다. '+' 기호는 변환 가능성이 있음을 의미하고, '-' 기호는 변환 가능성이 없음을 의미한다. 위의 두 가지 요소들을 Fig. 6과 Fig. 7을 통해서 살펴보면, 삼림에서 경지를 확장하여 발전시키면 농경지가 될 수 있음을 +(A)로, 삼림에서 벌목을 하면 목초지가 될 수 있음을 +(B)로 표현된다. 또한 농경지를 그냥 방치해두면 목초지가 될

미래의 토지 이용

		삼림	농경지	목초지
현재의 토지 이용	삼림	+	+(A)	+(B)
	농경지	-	+	+(D)
	목초지	-	+(C)	+

Fig. 6. Land use change sequence.



Fig. 7. Land use conversion matrix.

수 있음을 +(C)로, 목초지를 개발하면 농경지가 될 수 있음을 +(D)로 표현하여 관련 변수들 간의 가능성을 숫자와 매트릭스의 형태로 표현할 수 있는 것이다.

세 번째로 고려해야 할 사항은 토지의 시나리오에 대한 부분이다. 시나리오는 과거부터 미래까지의 토지의 이용 변화를 적용하기 위해 숫자로 구성된 표이다. 이는 면적이나 인구 성장에 대한 수치적 자료로 구성될 수 있으며, 본 연구에서는 1987년부터 2010년까지 면적에 대한 시나리오로 적용하고자 하였다. 이를 위해 과거와 현재의 흐름을 파악하여 미래의 변동 추세를 예측할 때 사용하는 추세 외삽법을 사용하였으며, 그리하여 총 23년 간의 면적 시나리오를 얻게 되었다(Table 1).

마지막으로 고려해야 할 사항은 지역적 특성에 대한 부분이다. 토지의 변화에서 중요한 것은 특정 시점에서 가장 선호되는 지역의 변화를 파악하는 것이다. 특정시점

Table 1. Scenario of land use according to area (Unit : Ha)

구분목록						
A	시가화 건조지역		B	농업지역		
C	산림지역		D	나지		
E	수역		F	비분류		
Year	A	B	C	D	E	F
1987	2705	574	1146	378	4501	19
1988	2715	570	1146	377	4498	17
1989	2725	565	1146	376	4493	18
1990	2735	560	1146	375	4487	20
1991	2745	553	1146	374	4483	22
1992	2755	548	1145	373	4481	21
1993	2765	542	1145	372	4479	20
1994	2775	530	1145	371	4473	29
1995	2785	523	1145	370	4471	29
1996	2795	518	1145	369	4468	28
1997	2805	513	1144	365	4465	31
1998	2815	511	1144	362	4459	32
1999	2825	510	1144	361	4452	31
2000	2835	509	1144	359	4445	31
2001	2850	508	1143	358	4440	24
2002	2892	497	1139	348	4422	25
2003	2912	486	1130	337	4412	46
2004	2951	475	1118	323	4407	49
2005	2965	464	1102	311	4391	90
2006	3075	453	1093	305	4378	19
2007	3095	442	1078	291	4362	55
2008	3114	431	1060	283	4349	86
2009	3188	420	1045	271	4325	74
2010	3286	409	1032	266	4311	19

이 의미하는 부분은 특정 정책이나 여론, 토론 등이 발생했던 년도를 의미하고 그러한 특정시점에서 가장 많은 변화가 일어난 지역의 변화를 파악함을 의미한다. 예를 들어, 2004년도의 노/사/공/시민 대토론 회의와 같은 여론에 의해 움직일 수 있을 만한 변화 요인들이나 철강산업의 사양화 추세 및 중국 시장의 진출 요인들, 공장 건설에 따른 대기, 토양, 해양 오염과 환경 개선에 의한 입지조건 이동에 대한 요인들 그리고 지역 주민들의 삶의 질 보장 문제에 대한 요인 등은 해당 지역에서의 토지의 변화에 중요한 변수로 작용할 수도 있다는 것이다.

Table 2. Main parameters

번호	변수에 대한 설명
1	토지 사용 형태의 개수
2	지역들의 개수
3	독립변수들의 최대 개수
4	동적 요소들의 총 개수
5	로우의 개수
6	컬럼의 개수
7	이미지 셀길이
8	X좌표 시작점
9	Y좌표 시작점
10	토지 구분 인덱스
11	변환 요소들
12	반복 변수들
13	시작 연도와 종료 연도
14	코딩의 개수
15	출력 파일의 선택 유무
16	지역의 상세한 회귀분석 선택
17	토지 사용 초기화
18	근린지 계산 선택
19	지역적 선호도 추가 변수
20	선택 순환 변수

이에 대한 선호도는 위치적 특성과 접근성 그리고 거리의 값으로 계산된다.

이러한 네 가지 고려사항들은 CLUE-S 모델을 구동할 때, 여러 가지 파일들과 변수들로 구성되어 입력된다. 그 중에서 가장 중요한 부분은 주요 변수들을 설정하는 부분과 형태별 시나리오를 구성하는 부분일 것이다. 먼저 주요 변수들을 설정하는 것은 시뮬레이션에서 기본적으로 필요한 환경들을 설정하는 부분이다.

분류된 토지의 이용 형태 개수, 영상의 로우와 컬럼 개수, 시작 좌표 및 시작 연도와 마지막 연도 등을 정수와 실수 값으로 나타내어 입력 변수로 설정하는 것이다. 그 중에서도 11번째 변수인 변환 순응성 관련 변수는 시뮬레이션에 가장 큰 영향을 주는 중요한 인자로서, 10번째 변수인 토지 구분 인덱스와 관련된 형태의 변환 가능성을 가리킨다.

본 연구에서는 인덱스 1번은 시가화 건조지역, 인덱스 2번은 농업지역, 인덱스 3번은 산림지역, 인덱스 4번은 나지, 인덱스 5번은 수역 그리고 인덱스 6번을 비 분류 지역으로 나누어 총 6개의 토지 형태로 구분하였다. 본

연구에서 포항지역의 시나리오는 시가화 건조지역, 농업 지역, 그리고 산림지역을 변환 가능성이 클 것으로 예상하여 각각 0.3과 0.2, 그리고 0.1로 설정하였다. 반면 수역은 다소 변화하기 힘든 부분이기엔 0.9로 설정하여 시물레이션을 실시하였다. 여기서 변환 가능성이 있다는 것은 과거의 산림지역이 시가화 건조지역이나 나지로 변환될 가능성이 있음을 뜻한다. 반면 변환 가능성이 없다는 것은 수역이 산림지역이 된다거나 시가화 건조지역으로 변할 수 없음을 의미한다. 각 라인에 대한 설명은 Table 2에 제시하였다.

4. 연구 결과 및 분석

4.1 영상 감독 분류화

본 연구를 위해 포항 주변 지역의 1987년도 Landsat TM 영상과 2001년도 ETM+ 영상을 사용하였다. Table 3은 연구에서 사용할 영상 정보이다.

1987년과 2001년도 영상들의 토지 이용도를 추출해내기 위해 Table 4에서 보는 바와 같이 환경부에서 제시한 토지 피복 분류 현황도(환경부, 2001)를 참조하였다.

토지 피복 분류 항목은 참조 영상이 되는 환경부의 토지 피복 분류 체계를 따라 총 7가지 부분으로 구성된다. 시가지는 주거지역, 공업지역, 상업지역, 교통, 공공시설물을 포함하는 지역이며, 농경지는 논, 밭, 과수원 등 경작지를 말한다. 산림은 활엽수, 침엽수, 혼효림 등 자연적으로나 인공적으로 조성된 수림을 의미한다. 초지는 녹지, 묘지, 수목 밀도가 높지 않은 야산 등을 포함하는데, 초분류의 식생이 자생하는 지역이나, 골프장과 같은 시설, 도심 내에 조성된 도심공원 등이 이에 해당한다. 습지는 늪이나 갯벌, 염전 등을 말한다. 나지는 광산, 채석장 등 채광지역, 해변의 백사장, 강기슭의 모래사장, 미개발지역이 이에 해당한다. 수역은 하천, 호수 등 내륙수와 해양수를 말한다(박성미, 2001).

그리고 토지 피복 분류 현황도의 분류 항목에 맞추어 최대 우도 감독 분류 작업을 수행하였다. 최대 우도 감독 분류 기법(Maximum likelihood classification)은 그 정확도와 활용도가 가장 높은 기법으로 평가되며, 하나의 분류항목에 대한 확률 함수가 정규밀도 함수에 근사하다고 가정하고, 트레이닝 데이터로부터 취득된 통계 값들을 이용하여 영상의 화소들을 특정한 항목들로 분류하는 알고리즘이다. 즉, 각 클래스에 대한 화소 자료의 우도를 구하고 최대 우도 클래스에 그 화소를 분류하는 방법이 다(전영준, 2005).

본 연구에 앞서 실제 지역과 영상을 통해 분류한 지역이 동일한지에 대한 여부를 검증하는 작업도 수행하였다.

Table 3. Image Information

Path	Row	Date
114	35	1987-09-27
114	35	2001-08-24

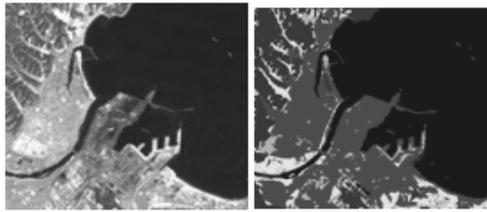
Table 4. Classification standards

대분류(7목)	색상	주요 내용 중분류	
시가화 건조지역	100		주거지역
			공업지역
			상업지역
			위락시설지역
			교통지역
			공공시설지역
농업지역	200		논
			밭
			하우스 재배지
			과수원
			기타재배지
산림지역	300		활엽수림
			침엽수림
			혼효림
초지	400		자연초지
			골프장
			기타초지
습지	500		내륙습지
			연안습지
나지	600		채광지역
			기타나지
수역	700		내륙수
			해양수

그리하여 토지 이용도에서 분류된 클래스마다 15개의 체크 포인트를 설정하고, 검증한 후 그에 따른 감독 분류화된 토지 이용도를 수정하여 사용하였다. 그리고 Fig. 8에서 보는 바와 같이 대 분류 7개 항목들 중에서 시가화 건조지역과 농업지역, 산림지역, 나지 및 수역 부분에 초점을 맞추어 감독 분류를 수행하였다.

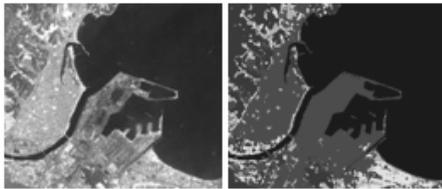
4.2 CLUE-S Model Simulation

1987년과 2001년 영상을 감독 분류화 하여 그에 대한 결과를 바탕으로 시물레이션에 필요한 변수들을 설정하였다. 특히 이 지역의 경우, Fig. 9에서 보는 바와 같이



Row	Name	Area (ha)	Color
1	시가화 건조지역	2705.95	■
2	농업지역	574.911	■
3	산림지역	1146.17	■
4	나지	378.833	■
5	수역	4501.9	■
6	비분류	19.1691	■

(a)



Row	Name	Area (ha)	Color
1	시가화 건조지역	2850.27	■
2	농업지역	508.712	■
3	산림지역	1143.16	■
4	나지	358.608	■
5	수역	4440.14	■
6	비분류	24.0426	■

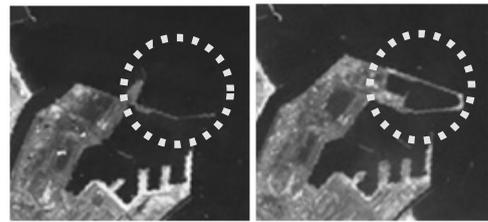
(b)

Fig. 8. TM Images and maximum likelihood classification; (a) Landsat TM image on 27, September 1987 and (b) Landsat ETM+ image on 24, August 2001.

1987년에는 수역으로 분류되었던 몇몇 부분들이 2001년에는 시가화 건조 지역으로 일부 변화했기에 보다 세밀한 변수 설정이 필요하였다.

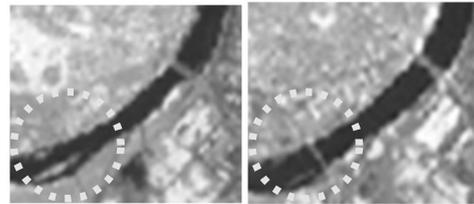
4.3 영상 비교 및 변수 재설정

영상의 시뮬레이션 결과 총 23년간의 다양한 토지 형



(a)

(b)



(c)

(d)

Fig. 9. Visible differences among TM Images; (a),(c) Landsat TM image on 27, September 1987 and (b),(d) Landsat TM image on 24, August 2001.

태를 지닌 영상들이 생성되었다. 본 연구에서는 픽셀당 면적을 28.5×28.5m²로 하고, 2001년도 영상을 대상으로 기존의 최대 우도 감독 분류 결과(행부분)와 시뮬레이션 결과(열부분)를 비교하여 영상들 간의 정확성을 평가하였다(Table 5). 평가 결과, 전체 정확성(Overall Accuracy)은 약 93%로 시뮬레이션 결과에 대한 변수 설정이 대부분 정확했음을 알 수 있었다. 또한 카파 계수(Russell G., 1999)도 0.90으로 높은 편이었다.

그러나 정확성 평가 부분에서 63.61%로 유난히 낮은 수치를 보이는 농업지역 부분은 원래 영상에 대한 감독 분류화 결과와 주거지, 공터, 그리고 공장 지역 간의 변수를 설정함에 있어 가중치 적용 값의 차이가 컸기 때문에 발생되었으며, 이를 통해 인위적으로 적절한 변수를 설정해야 함을 알게 되었다.

4.4 최종 변수 설정에 따른 재검정

4.3에서 설정된 변수들을 바탕으로 다른 년도의 시뮬레이션 결과에 대한 정확성도 평가해 보았다. 사용된 영상(Fig. 10)은 2000년도 3월 14일 영상이고, Table 6에서 보는 바와 같이 2000년도 영상간의 전체적인 정확성은 91%로 나왔고 카파 계수도 0.87로 높은 편이었다.

4.5 예상 토지 이용도 분석

위와 같은 변수 설정을 통해 얻어진 결과를 통해 포함 지역의 2010년 영상을 추정해 보았다(Fig. 11).

그리고, 위의 결과를 이용하여 1987년부터 2010년 사

Table 5. Accuracy Assessment

구분목록								
Row	Class		Row	Class		Row	Class	
1	시가화 건조지역		3	산림지역		5	수역	
2	농업지역		4	나지		6	비분류	

Class	1	2	3	4	5	6	Total	Users A
1	29795	2359	544	1575	787	31	35091	84.90%
2	20	6015	36	174	17	1	6263	96.04%
3	27	623	13331	30	63	0	14074	94.72%
4	48	435	62	3844	25	1	4415	87.06%
5	276	4	22	61	54314	0	54677	99.33%
6	0	19	4	0	0	273	296	92.22%
Total	30166	9455	13999	5684	55206	306	114816	
	98.77%	63.61%	95.22%	67.62%	98.38%	89.21%		

Overall Classification Accuracy = 93.69%

Kappa Coefficient = 0.9

Table 6. the other case : Accuracy Assessment (2000년)

구분목록								
Row	Class		Row	Class		Row	Class	
1	시가화 건조지역		3	산림지역		5	수역	
2	농업지역		4	나지		6	비분류	

class	1	2	3	4	5	6	Total	Users A
1	23315	0	1742	0	0	0	25057	93.04%
2	1732	12125	5656	334	3	0	19850	61.08%
3	0	0	13963	0	28	0	13991	99.79%
4	0	0	0	1689	0	0	1689	100%
5	174	18	1240	0	52173	2	53607	97.32%
6	0	0	0	0	0	622	622	100%
Total	25221	12143	22601	2023	52204	624	114816	
	92.44%	99.85%	61.78%	83.48%	99.94%	99.67%		

Overall Classification Accuracy = 90.48%

Kappa Coefficient = 0.86

이의 해당 지역의 토지 피복에는 어떤 변화가 있었는지 분석하여 보았다(Table 7). 특히 본 연구 지역은 농업과 어업 중심에서 공업 중심으로의 변화가 있었던 지역이기 때문에 시가화 건조 지역과 산림 지역, 그리고 농업 지역 간의 관계에 중점을 두어 분석하였다.

먼저 산림지역의 변화를 살펴보면, 농업지역으로의 이

동이 가장 많았으며, 그 다음으로는 나지, 그리고 시가화 건조 지역으로의 변화 순으로 나타났다.

또한, 나지와 농업 지역은 시가화 건조 지역으로 변하여 공업화로 인한 도시의 변화도 예상되었다. 그리고 바다와 인접한 육지 부분과 해변 주변 지역 역시 시가화 건조 지역으로 확장될 것으로 예상되었다. 최종적으로

Table 7. Variations of the expected land use

형태의 특징적 변화	면적(Ha)
1. 산림지역의 변화	
산림지역 => 시가화 건조지역	66.68
산림지역 => 농업지역	168.54
산림지역 => 나지	121.18
2. 나지, 농업 지역, 수역의 변화	
나지 => 시가화 건조지역	476.05
농업지역 => 시가화 건조지역	219.87
수역 => 시가화 건조지역	123.29

전체적인 변화를 파악하기 위해 시간이 지남에 따라 변화되는 공간 면적의 추이를 그래프 형태로도 표현해 보았다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 시가화 건조지역은 꾸준한 증가를 이루고 있는 반면 산림지역과 나지 부분은 일정한 형태로 감소되고 있다. 산림지역이나 농업지역을 포함한 나지 부분의 감소까지도 시가화 건조 지역 증가의 원인이 되었다. 그리고, 시가화 건조 지역 내의 23개 중분류 항목들 중 상업 지역과 위락 시설 지역들의 증가가 예상되었고, 전반적인 공업화에 따른 부가적인 부분의 변화도 예상되었다.

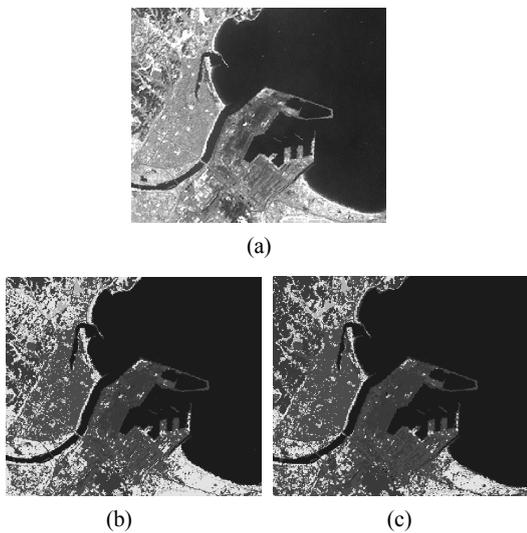


Fig. 10. (a) Landsat ETM+ image on 14, March 2000, (b) Classified map 2000 and (c) simulation map 2000.

Row	Name	Area (ha)	Color
1	시가화 건조지역	2898.43	Dark Gray
2	농업지역	127.28	Light Gray
3	산림지역	1536.86	Medium Gray
4	나지	262.844	Lightest Gray
5	수역	4500.19	Black
6	비분류	0.3249	Black

Fig. 11. The expected land cover of in 2010.

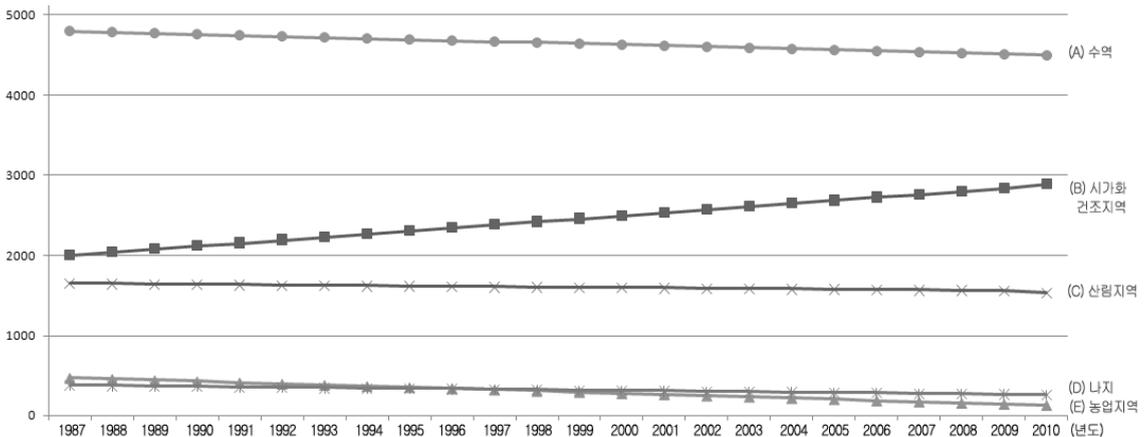


Fig. 12. The variation of land use area.

5. 결 론

본 연구에서는 포항 지역내의 토지 이용 변수 및 변화 요인들 간의 상관성을 파악하기 위하여 최대 우도 감독 분류 작업을 통해 지난 23년 간의 토지 이용 현황에 대해 모의하여 보았다. 그리고 시뮬레이션 결과와 Landsat ETM+ 영상 자료를 바탕으로 적합성을 체크하고, 가까운 미래의 토지 형태들을 예상해 보았다. 또한 면적 시나리오와 주요 변수들의 변화를 통해 연구 지역의 면적 변화들을 관찰할 수 있었다.

주요 변수들의 설정은 곧 그 지역의 추상적인 부분을 객관화 시켜줄 수 있는 중요한 요소로 작용하였으며 그러한 자료들은 다양한 시나리오를 바탕으로 더욱 정확한 예측을 할 수 있게 도와주었다. 따라서 본 연구에서 사용된 CLUE-S 모델은 토지의 이용 형태 변화를 추정하는데, 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 예상되었다.

아울러 포항 지역이 아닌 보다 더 넓은 지역에서의 시뮬레이션도 가능할 것으로 사료되었다. 이와 유사한 연구들을 통해 면적뿐만 아니라 교통이나 식생에 대한 시나리오 그리고 그 외 사회 전반에 걸쳐 발생할 수 있는 현상들을 다양한 시나리오 형태로 구성하여 사용할 수 있다는 것도 알게 되었다. 그리고 여러 가지 방법을 통해 토지의 형태를 분석함으로써 추후의 토지 정책 분석 및 정책 수립 차원에서 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

하지만 산업화와 공업화의 요충지인 포항 지역의 경우는 여러가지 외적 변수가 토지 변화에 영향을 미칠 수 있었다. 예를 들면 철강 산업의 사양화 추세나 공장 건설에 따른 대기, 토양, 해양 오염 및 환경 개선에 의한 입지 조건 이동에 대한 요인들이다. 이는 상당히 중요한 변수로 작용될 수 있으며 기존의 변수 외에 또 다른 설정이 필요할 수도 있다. 특히, 이러한 사회 현상들을 객관화시켜 시뮬레이션에 반영할 경우, 예상했던 토지 이용도의 상당 부분들이 달리 표현될 수도 있다는 것이다. 따라서 추후에는 단순한 변수의 변화가 아닌 여러 가지 발생 가능한 변수들을 찾아내어 적절히 설정하고 수많은 모의 검정을 통해서 연구를 진행해야 할 것으로 생각한다.

참고문헌

- 권일, 1997, "신시가지 토지 이용 변화의 발생순서에 관한 실증적 연구(III)", *論文集 (THESES COLLECTION)*, 제32권, 제2호, pp. 693-706
- 박성미, 임정호, 사공호상, 2001, "다량의 Landsat 위성영상 처리를 통한 광역 토지피복분류", *한국원격탐사학회지*, 제17권, 제3호, pp.189-197
- 이규성, 김계현, 임삼성, 2000, "다목적 실용위성을 이용한 북한 지역의 토지피복현황도 작성", *한국지질자원연구원 보고서*, KIGAM/T-303
- 전영준, 2005, "FPGK 알고리즘의 내부 클러스터를 이용한 다중분광 영상의 패턴 분류", *동덕대학교 박사학위논문*, pp.20.
- 황경부, 2001, "토지피복분류도 제작지침"
- Kok, K., Verburg, P.H., Veldkamp, A., 2007, "Editorial: Integrated Assessment of the Land System: The future of land use", *Land Use Policy*, 24(3): 517-520.
- Overmars, K.P. and Verburg, P.H. 2005, "Analysis of land use drivers at the watershed and household level: linking two paradigms at the Philippine forest fringe", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 19, No. 2, pp. 125-152.
- Verburg, P.H. and Veldkamp, A. 2005, "Spatial modelling to explore land use dynamics - editorial", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 19, No. 2, pp. 99-102.
- Willemen, L., Verburg, P.H., m Veldkamp, 2002, "Modelling of land cover changes with CLUE-S in Bac Kan province, Vietnam", *The University of Wageningen at the Netherlands*, February 2002.
- Engelsman, W., 2002, "Simulating land use changes in an urbanising area in Malaysia", *The University of Wageningen at the Netherlands*, March 2002.
- Russell G. Congalton, Kass Green, 1999, "Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data:Principles and Practices", LEWIS PUBLISHERS, pp. 49-53.
- Web 3d, 2007, land use and land cover change model, the Netherlands, <http://www.cluemodel.nl/>