

# 남한지역 토지피복 변화 예측을 위한 상대선호도함수 모델 적용\*

김동우\*\* · 김장수\*\*\* · 김만규\*\*\*\*

## Application of Relative Favorability Function Model for Land-use and Land-cover Change (LUCC) Prediction in South Korea\*

Dongwoo Kim\*\* · Jangsoo Kim\*\*\* · Man-Kyu Kim\*\*\*\*

**요약:** 자연환경 보전과 인간의 지속가능한 삶에 대한 관심이 증가하면서 미래 토지이용 및 토지피복 변화(land-use and land-cover change, 이하 LUCC)를 예측하기 위해 다양한 LUCC 예측 모델이 활용되고 있다. 본 연구는 상대선호도함수(Relative Favorability Function, 이하 RFF)모델을 활용하여 남한지역 전체의 과거 LUCC 규칙성을 분석하고 미래 LUCC 예측 적용 가능성을 평가하고자 하였다. 1990년과 2000년의 토지피복지도와 분석지표를 바탕으로 RFF 모델을 구축하여 2010년 토지피복을 예측하고, 실제 2010년 토지피복지도와 비교 분석 및 정확도 검증을 실시하였다. 연구결과, 정확도 검증을 위한 Kappa 계수는 82.3%로 나타나 RFF 모델의 적용 가능성을 확인하였다. 지역별로 특정 토지피복 유형이 과소, 과대 추정되는 현상이 나타났다. 대표적으로 수도권과 지방의 대도시에서 도시와 나지의 면적이 과대 추정된 반면, 세종시와 같이 도시계획에 의해 토지피복이 변한 지역에서는 과소추정되었다. 본 연구는 큰 지역적 규모인 남한전체를 대상으로 LUCC를 예측하는데 RFF 모델의 적용 가능성을 확인하였다는 점에서 의의가 있다.

주요어 : 토지이용 및 토지피복 변화(LUCC), 토지피복 변화 예측 모델, 상대선호도함수(RFF)

**Abstract :** Various LUCC forecasting models are being used to predict future land-use and land-cover change (LUCC) as interest in natural environment conservation and human sustainable life increases. This study analyzes the past LUCC regularities of the entire South Korean region using the Relative Favorability Function (RFF) model and evaluates the applicability of future LUCC predictions. Based on the Land Cover Map and Analysis Indicators in 1990 and 2000, the RFF model was developed to predict land cover in 2010 and compared with land cover maps and accuracy verification in 2010. As a result of the study, the Kappa coefficient for accuracy verification was 82.3%, confirming the applicability of the RFF model. Certain types of land covering were under-estimated and over-estimated. Typically, the area of cities and bare land is over-estimated in Seoul metropolitan region and regional metropolises. It was under-estimated in areas such as Sejong City where land was changed to cover by urban planning.

Key Words : Land-use and land-cover change (LUCC), Land-cover change estimate model, Relative Favorability Function (RFF)

\*본 논문은 김동우의 석사학위논문을 토대로 발전시켰으며 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015S1A5A2A03049896).

\*\*한국환경정책·평가연구원 연구원(Researcher, Korea Environment Institute, dwkim@kei.re.kr)

\*\*\*공주대학교 지역개발연구소 연구교수(Research Professor, Institute of Regional Development Research, Kongju National University, matra99@kongju.ac.kr)

\*\*\*\*공주대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Kongju National University, aquasia@kongju.ac.kr)

## I. 서론

지표경관은 자연적인 요인과 인간의 활동에 의해 지속적으로 변화하고 있다. 특히 산업혁명 이후 인간 활동 영역의 규모와 범위가 빠르게 증가하면서 변화하는 지표경관에 대한 연구의 필요성이 확대되고 있다(장동호 · 김만규, 2003; 조자영 · 장동호, 2014). 토지이용 및 토지피복 변화(land-use and land-cover change, 이하 LUCC)는 자연과 인간의 관계를 이해하는데 기초적인 연구 분야이다(Turner *et al.*, 1994; Lambin *et al.*, 2001). LUCC는 인간이 토지를 이용하는 방식에 영향을 받아 대기 순환, 기후, 해양 등의 자연 시스템을 변질시키는데 이는 다시 인간 활동에 영향을 미친다(김오석 · 윤정호, 2015). 이처럼 LUCC는 인간과 자연을 연결해주는 중요한 역할을 하고 있으며, 최근 자연환경 보전과 인간의 지속가능한 삶에 대한 관심이 증가하면서 미래 LUCC를 예측하려는 연구가 주목받고 있다(Veldkamp and Lambin, 2001; 허동숙 등, 2016). LUCC 주요 원인은 도시 개발 및 농경지 확장이다(박종철 · 김장수, 2014). 특히 지속적인 도시 개발은 도시 자체의 내부 공간구조 변화뿐만 아니라 도시 인근의 LUCC를 촉진한다. 하지만 LUCC는 시공간적으로 다양한 사회 · 경제적 요인과 자연 · 물리적 요인의 영향을 받기 때문에 과거 LUCC 변화를 분석하고 미래 LUCC를 예측하기 위해서는 다양한 시계열 자료와 공간자료를 종합적으로 파악할 수 있는 방법론과 분석체계가 요구된다(오윤경 등, 2011; 박샘 · 최광용, 2016; 이용관 등, 2016).

LUCC 예측 연구는 1960년대에 본격적으로 시작되어 다양한 종류의 LUCC 예측 모델이 개발되어 왔다(Arsanjani, 2011). LUCC 예측 모델은 에이전트 모델과 공간적 상호작용 모델 등으로 나눌 수 있다. 에이전트 모델은 인간과 자연 시스템을 행위자(agent)로 규정하여 행위자간의 상호작용을 기반으로 LUCC를 예측하며 주로 미시적인 토지피복 예측 연구에 주로 활용되고 있다. 공간적 상호작용 모델은 다양한 공간자료를 바탕으로 격자 단위의 시 · 공간적인 LUCC 변화 예측 연구에 이용되고 있으며 대표적으로 CA(Cellular Automata), CA와 Markov Chain이 결합된 모델(CA-Markov) 그리고 CLUE(conversion of land use and its effects) 모델 등이 있다(Rui, 2013; Li and Gong, 2016).

국내 LUCC 예측 연구는 대부분 특정 시 · 군구를 대상

으로만 진행되어 왔으며 남한지역 전체를 대상으로 한 연구는 비교적 최근에 활발히 수행되고 있다(Park *et al.*, 2011; 김진수 · 박소영, 2013; 한국환경정책 · 평가연구원, 2015; 이용관 등, 2016). 토지피복 변화는 지역별 토지이용과 조건에 따라 다르게 나타나지만 기후변화 대책 마련과 같이 남한전체를 대상으로 한 연구를 위해서는 남한전체를 대상으로 한 토지피복 예측연구가 요구되고 있다(김호용, 2016). Park *et al.*(2011)은 남한지역 전체를 대상으로 도시 확장모델링을 실시한 최초의 연구로서 빈도비 모델(frequency ratio model)과 인공신경망 방법론을 제안하였다. 김진수 · 박소영(2013)은 LUCC 예측을 위해 기후변화 사회 · 경제 시나리오 기반으로 각각 도시성장모형과 CA 모형을 적용하였다. 반면 이용관 등(2016)은 CIUE-s 모델을 사용하여 LUCC 특성을 분석하고 도시면적 증가 추세와 농지면적 감소 전망 등을 바탕으로 LUCC 시나리오를 작성하여 LUCC 예측에 적용하였다. 연구목적에 따라 다양한 LUCC 모델이 활용되고 있으며 조자영 · 장동호(2014)는 LUCC 변화 유형 설정과 시 · 공간적 분석을 통해 미래 LUCC를 예측하는 상대선호도함수(Relative Favorability Function, 이하 RFF) 모델을 제안하였다. RFF 모델은 다양한 공간자료를 매개변수로 활용할 수 있으며 과거 LUCC 규칙성을 경험도수분포함수를 바탕으로 분석하여 미래 LUCC 추정이 가능한 모델이다. 하지만 RFF 모델은 중소도시인 천안과 아산을 대상으로만 적용되었으며 보다 넓은 지역적 규모를 대상으로 한 연구는 아직 진행되지 않았다(박종철 등, 2016). 따라서 본 연구에서는 RFF 모델을 활용하여 남한지역 전체의 과거 LUCC 규칙성을 분석하고 미래 LUCC 예측 적용 가능성을 평가하고자 하였다. 이를 통해 남한지역 전체를 대상으로 한 RFF 모델의 한계점과 개선방안을 제시하고자 한다.

## II. 연구자료 및 방법

연구 지역은 남한 전역이며, 이 연구에서 토지피복 변화 예측을 위한 공간해상도는 1×1km로 설정하였다. 현재 남한 지역의 미래 상세 기후변화 시나리오 자료는 공간해상도 1×1km로 제공되고 있다(기후정보포털). 추후 토지피복 변화 예측 자료는 미래 기후변화 시나리오 자료와 함께 미래 기후변화 영향 및 적응 연구를 위해 활용

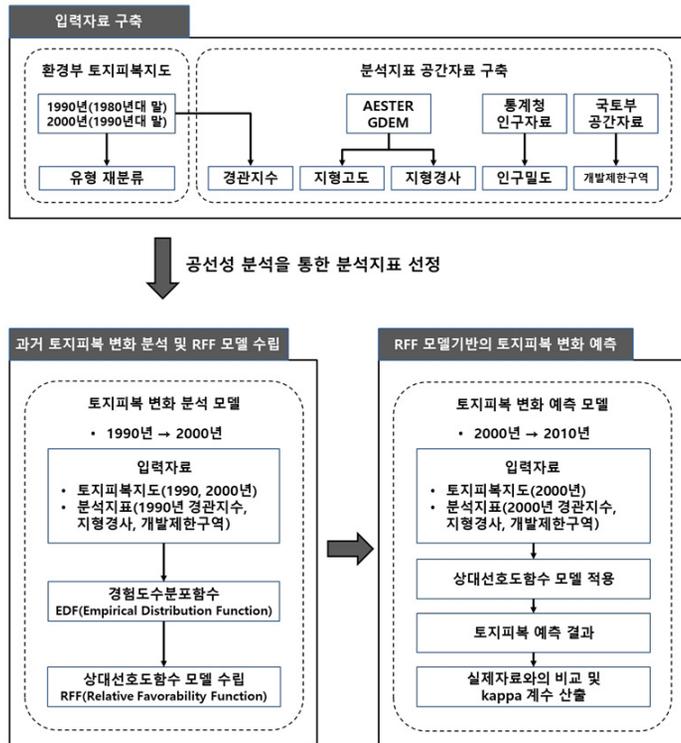


그림 1. 연구흐름도

할 것을 고려하여 자료의 공간해상도를 1×1km로 일치시켰다. 연구 지역은 651개 열과 611개 행의 정규격자로 구성하였으며, 공간해상도 보다 작은 규모의 섬들은 연구 지역에서 제외하였다. 또한 토지피복 변화가 제한되는 지역을 고려하기 위해 보호지역 공간자료를 구축하여 적용하였다.

본 연구는 크게 두 단계로 나누어 진행되었다. 첫 번째는 남한지역 전체를 대상으로 공간해상도를 통일하여 토지피복지도와 분석지표 공간자료를 구축하였다. 토지피복 변화는 다양한 요인에 의해 복합적인 영향을 받으며 고도, 지형경사 등의 자연환경적 요인뿐만 아니라 인구, 경제 등의 사회·인문적 요인까지 고려할 수 있다(조자영, 2015). 두 번째는 1990년부터 2000년까지 10년 사이의 토지피복 변화 및 특성을 격자단위로 분석하였으며 토지피복 변화 유형의 빈도를 EDF(Empirical Frequency Distribution Function)로 표현하였다. 마지막으로 산출된 EDF를 바탕으로 RFF를 모델을 수립하고 이를 기반으로 2010년 토지피복을 예측하였다. 상세한 연구의 흐름은 그림 1과 같다.

토지피복은 시가지·건조지역, 농업지역, 산림지역, 나지, 수변의 5개 유형을 사용하였다. 토지피복지도는 환경부 ‘환경공간정보서비스’에서 제공하는 대분류 토지피복지도를 활용하였는데 이 지도는 7개 분류를 제공한다. 본 연구는 7개 분류 중 초지와 나지 지역은 산림, 농지에 비해 개발가능성이 높기 때문에 ‘나지’로 통합하였고, 습지는 수변인근에 분포하는 경우가 많은 것으로 판단하여 ‘수변’으로 통합하여 총 5개 분류로 재구축하였다. 연구에 이용된 토지피복지도는 1980년대 말, 1990년대 말, 2000년대 말의 시점에 제작되었다. 본 연구에서는 이 자료들을 각각 1990년, 2000년, 2010년 토지피복지도로 명명하였다.

토지피복 변화에 영향을 미치는 분석지표로는 총 11개 지표에 대한 주성분 분석과 공선성 분석 후 8개 지표를 최종적으로 선정하여 활용하였다. 최초에 선정한 11개 지표는 지형고도와 사면경사, 인구밀도, 개발제한구역, 그리고 7개의 경관지수이었다. 경관지수는 환경부 대분류 토지피복지도를 기준으로 산림, 농경지, 초지, 나지, 습지, 수변, 그리고 시가지·건조지역이 1×1km 격자

내 차지하는 면적 비율로 계산하였다.

분석지표 선정 과정은 델파이와 같은 비통계적 방법과 주성분 분석, 요인 분석, 군집 분석, 공선성 분석과 같은 통계적 방법이 사용될 수 있다. 본 연구에서는 공선성 분석과 주성분 분석을 이용하여 분석지표를 선정하였다. 자료의 표준화와 공선성 분석에는 R vegan 라이브러리의 scaling function을 활용하였다. 먼저 주성분 분석을 수행하여 성분이 유사한 성분 중 공선성이 있는 지표를 제외하였다. 그리고 다시 공선성 분석을 수행하여 선정된 모든 지표에서 공선성이 없는지를 확인하였다. 이 과정을 반복하여 최종적으로 공선성이 없는 지표들을 선정하였다. 공선성의 판단 기준으로는 VIF(Variation Inflation Factor) 3을 사용하였다. VIF의 기준 값에 대한 기존 연구들은 대체로 10 이상일 때 다중공선성이 있다고 제한한다(Marquardt, 1970; Neter *et al.*, 1989; Hair *et al.*, 1995; Kennedy, 1992). VIF가 5(Rogerson, 2001) 또는 4(Pan and Jackson, 2008) 이상일 때 다중공선성이 있다고 제시한 연구도 있었다. 본 연구에서는 이 기준에 더욱 보수적으로 3 이상인 변수를 공선성이 있다고 설정하였다.

최종적으로 선정된 8개의 분석지표는 1×1km로 리샘플(resample)한 사면경사 공간자료와 개발제한구역, 농경지, 초지, 나지, 습지, 수변, 그리고 시가지·건조지역 각각에 대한 격자 내 면적 비율이다. 사면경사는 ‘NASA’에서 제공하는 ASTER GDEM(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model)를 활용하였다. 개발제한구역은 ‘국가공간정보포털’에서 제공하는 2017년 개발제한구역 공간자료를 활용하였다. 보호지역은 ‘한국보호지역 통합 DB관리시스템’과 ‘국가공간정보포털’에서 2017년 2월 기준의 보호지역 정보를 통합하여 구축하였으며 모든 공간자료에서 보호지역을 제외하였다. 활용한 보호지역 공간자료와 관련 법령은 표 1과 같다. 연구에 활용된 각 분석지표의 지도는 그림 2와 그림 3 그리고 그림 4와 같다.

RFF 모델 수립은 두 시기의 토지피복지도를 비교하여 토지피복 변화 양상을 분석하는 과정과 각 토지피복 변화 양상별 분석지표와의 관계를 분석하는 부분으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 1990년부터 2000년의 토지피복 변화 양상을 분석하였고, 각 토지피복 변화 양상, 예를 들어 산림으로부터 나지로의 변화, 또는 산림으로부터 도시로의 변화 등과 각 지표와의 관계를 EDF(Empirical

표 1. 보호지역 공간자료와 관련 법령

보호지역 공간자료	관련 법령
국립공원	자연공원법
군립공원	자연공원법
도립공원	자연공원법
생태경관보전지역	자연환경보전법
시·도 생태경관보전지역	자연환경보전법
습지보호지역	습지보전법
시·도 습지보호지역	습지보전법
야생동물보호구역	야생동물 보호 및 관리에 관한 법률
야생동물특별보호구역	야생동물 보호 및 관리에 관한 법률
백두대간보호지역	백두대간보호에 관한 법률
산림유전자원보호림	산림보호법
천연기념물	문화재보호법
천연보호구역	문화재보호법

출처 : 국가법령정보센터.

Frequency Distribution Function), RFS(Relative Favorability Score) 및 RFF(Relative Favorability Function) 모델로 표현하였다. EDF는 토지피복 변화 유형에 분석지표가 미치는 영향을 빈도로 표현한 것이며 이를 0~1 사이로 정규화 시킨 값이 RFS이다. RFS를 3개의 매개변수로 모형화하여 표현한 것이 RFF이다. 3개의 매개변수로는 a, b, c가 있으며 a는 분석지표의 값이 0일 때의 RFS, b는 RFS가 최대일 때의 분석지표 값 그리고 c는 RFS가 0일 때의 분석지표 값을 나타낸다(그림 5).

RFF 모델을 이용한 토지피복 변화 예측에서는 2010년의 토지피복을 예측하였다. 토지피복 변화 예측에서는 도시 면적 증가 기대치 등을 필요로 하는데(박중철 등, 2017), 본 연구에서는 1990~2000년 사이에 일어난 도시 면적 증가량을 기대치로 적용하였다. 2010년 토지피복 예측 결과에 대한 평가는 실제 2010년 환경부 토지피복 지도와의 비교를 통해 산출된 Kappa 계수를 활용하였다. Kappa 계수는 두 지도의 일치도를 계산할 때 우연히 일치하는 경우를 제외하고 실제 일치하는 셀의 비율을 나타낸 것으로 토지피복도의 정확도를 평가하는데 널리 쓰이고 있다(Park *et al.*, 2011; Yirsaw *et al.*, 2017).

토지피복 변화 예측에는 박중철 등(2016)이 개발한 토지피복 변화 예측 프로그램을 활용하였다. 이 프로그램은 오픈소스 GIS 컴포넌트인 ‘MapWinGIS Open Source ActiveX Map Control’을 활용하여 개발되었다.

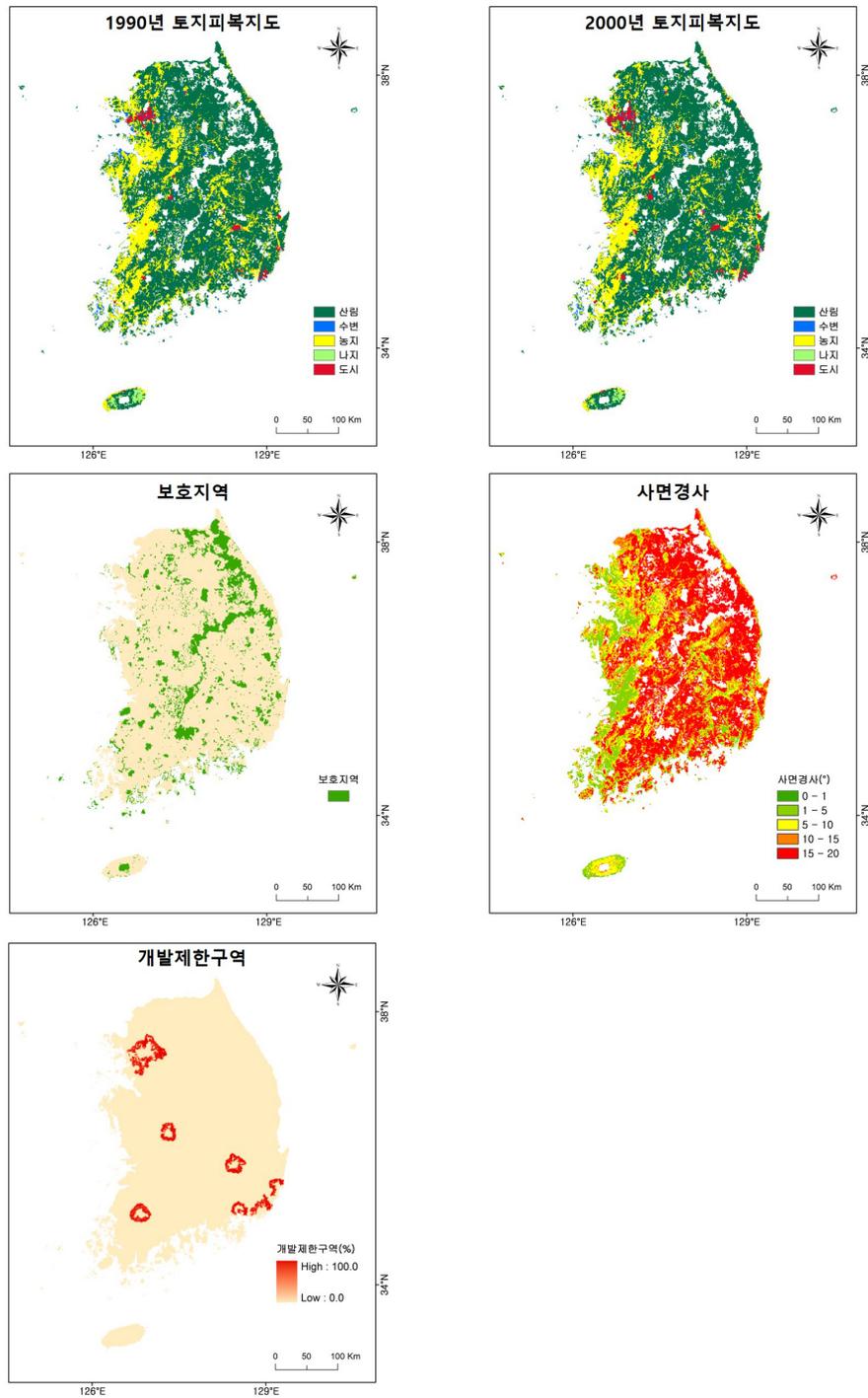


그림 2. 1990년, 2000년 토지피복지도와 보호지역, 사면경사, 개발제한구역 지도

\* ArcGIS 10.1을 활용.

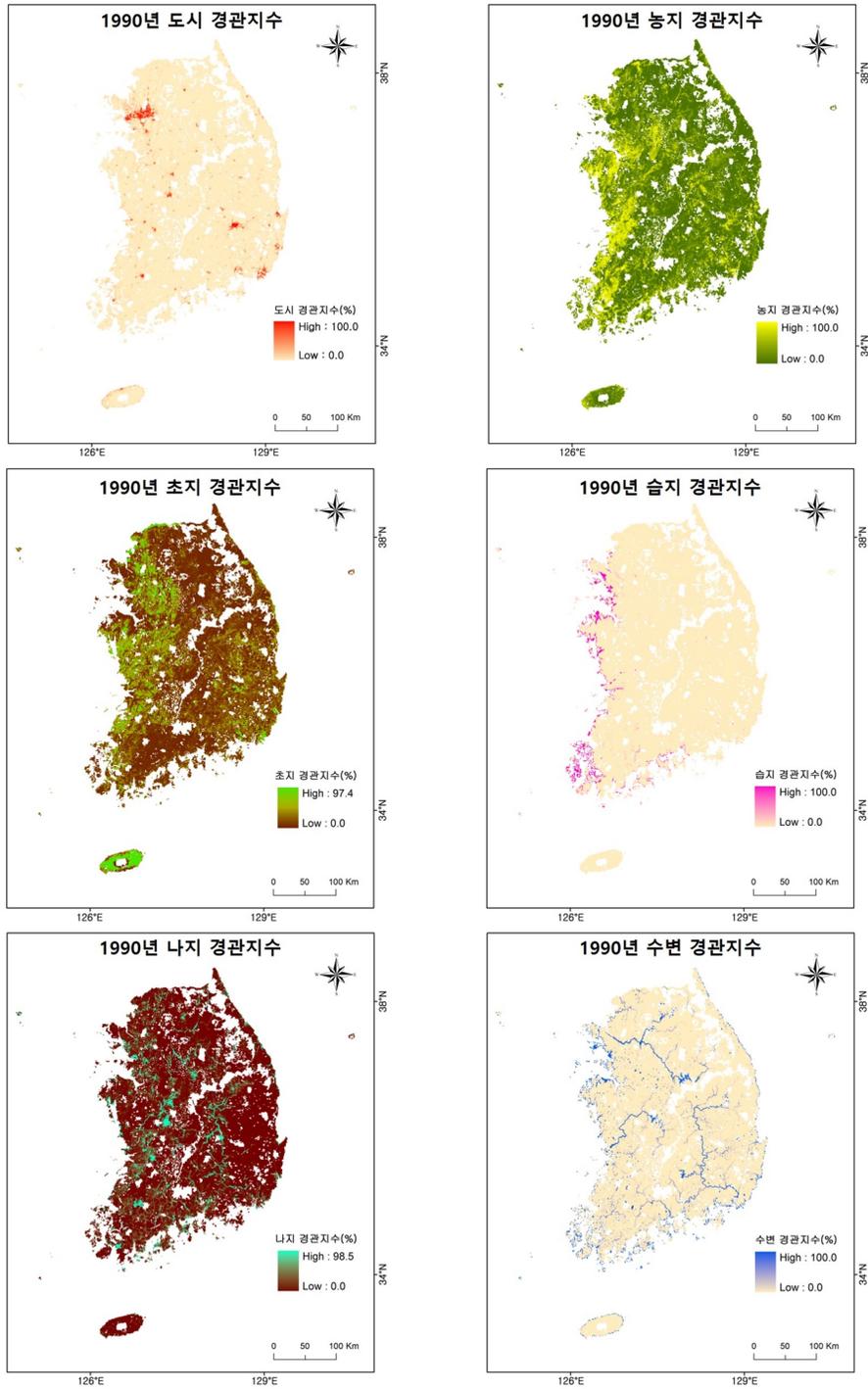


그림 3. 1990년 경관지수(도시, 농지, 초지, 습지, 나지, 수변) 지도

\* ArcGIS 10.1을 활용.

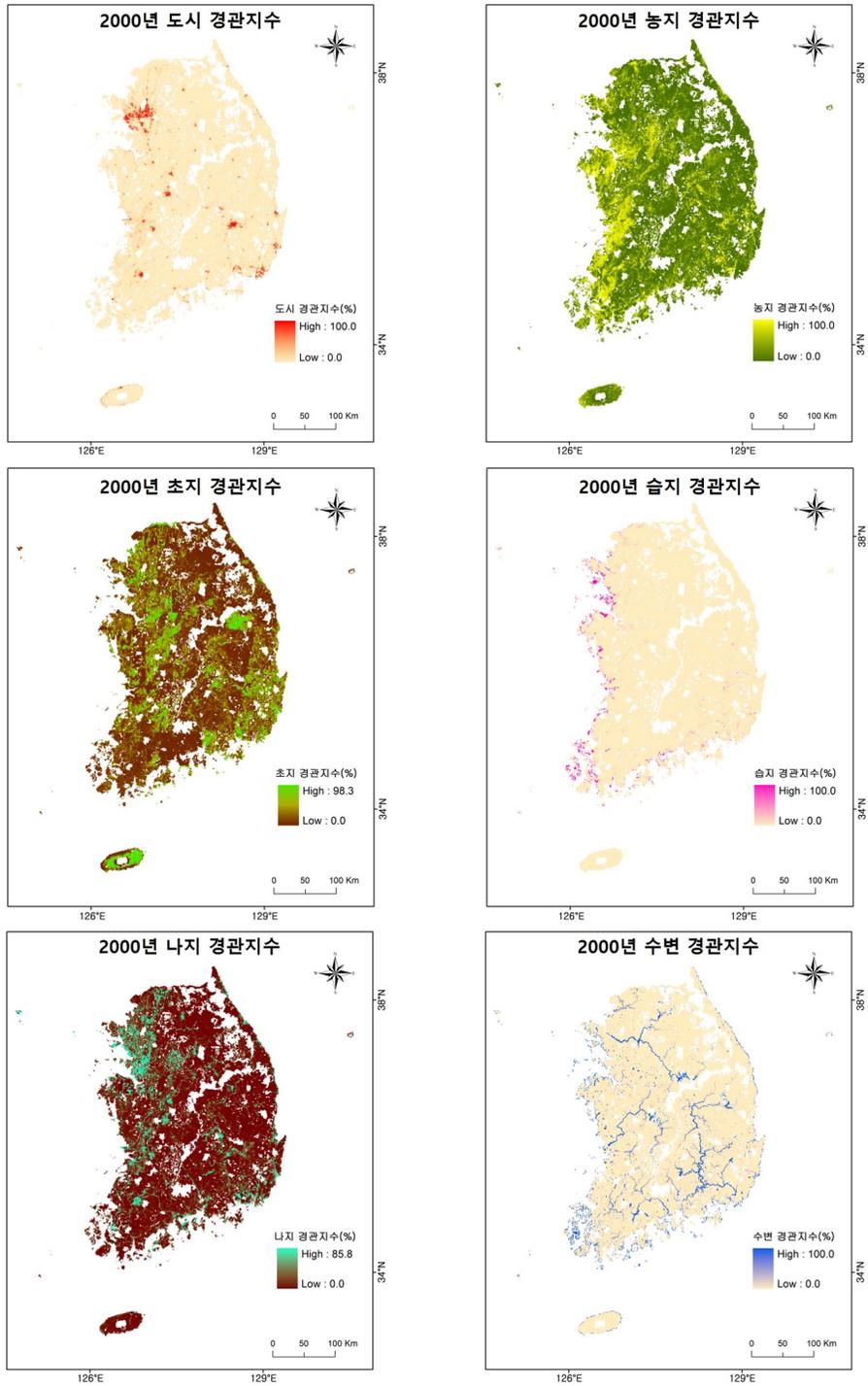


그림 4. 2000년 경관지수(도시, 농지, 초지, 습지, 나지, 수변) 지도

\* ArcGIS 10.1을 활용.

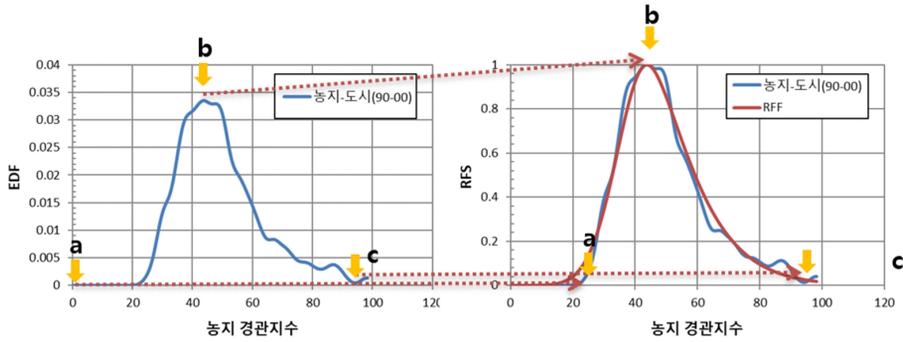


그림 5. 1990년에서 2000년까지 농지에서 도시로의 변화에서 나타난 농지 경관지수에 따른 EDF와 RFF 그래프

### III. 연구 결과

#### 1. 과거 토지피복 변화 분석

1990년과 2000년의 토지피복지도를 비교해 보면 농지, 나지, 수변은 모두 감소하였고 산림과 도시의 면적은 증가하였다. 농지는 24.2%에서 22.9%로 가장 많이 감소하였다. 나지와 수변은 모두 0.1%p 감소하였는데, 나지와 수변이 각각 0.9%에서 0.8%, 1.7%에서 1.6%로 감소하였다. 산림은 71.7%에서 72.2%로 증가하였고 증가량은 407km<sup>2</sup>이다. 도시는 1.6%에서 2.5%로 가장 많이 증가하였으며 증가량은 764km<sup>2</sup>이다(표 2).

토지피복 변화 유형별 변화량을 살펴보면 농지는 대부분 산림으로부터 변화되었고, 나지는 산림과 농지로부터 변화되었으며 도시는 주로 농지와 산림으로부터 변화되었다(표 3). 농지가 산림으로부터 변화된 면적은 2,042km<sup>2</sup>로 모든 토지피복 변화 유형 중 가장 넓은 면적을 차지하며 이로 인해 산림의 면적이 증가한 것으로 나타났다. 하지만 일반적으로 산림의 면적은 감소해온 것으로 알려져 있으며 1990년부터 2000년까지의 산림입업 통계에서도 산림 면적은 647,603km<sup>2</sup>에서 642,200km<sup>2</sup>로 감소하였다(산림청, 2000; 2010). 이 현상은 두 가지

가능성에서 살펴볼 필요가 있다. 첫째는 토지피복 분류의 불확실성이 토지피복 변화량에 미치는 영향이다. 중분류 토지피복도 제작 과정에서 발생한 토지피복 분류의 불확실성은 중분류 토지피복도를 활용한 토지피복 변화 탐지에 영향을 미칠 수 있다고 지적된 바 있다(박종철 · 김장수, 2014). 이러한 현상은 대부분 토지피복지도에서 역시 이러한 가능성에 대한 검토가 필요하다. 두 번째는 토지피복자료의 재처리 과정의 영향이다. 대부분 토지피복지도를 1×1km로 리샘플(resample)하였으며 산림의 비율이 높은 보호지역을 제외하였기 때문에 통계적인 오류가 발생했을 가능성이 있다. 이처럼 농지가 산림으로 변한 토지피복 변화 패턴은 자료의 한계인 가능성과 재처리 과정으로 인한 결과일 가능성을 모두 내재하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이 변화 유형을 연구대상에서는 제외하였다. 또한 나지에서 산림 또는 농지로의 변화량도 각각 149km<sup>2</sup>와 129km<sup>2</sup>로 나타났다. 그러나 이 변화 역시 산림의 수종 개량 과정, 인삼밭 등에서의 휴경 등 일시적 피복 변화와 연관되어 있을 가능성이 높아 연구대상에서 제외하였다. 도시에서 다른 유형으로 변하는 것은 일반적인 토지피복 변화 유형이 아니

표 3. 1990년부터 2000년의 토지피복 변화량 (단위: km<sup>2</sup>)

표 2. 1990년과 2000년의 토지피복 현황

구분	1990		2000	
	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)
산림	58,209	71.7	58,616	72.2
농지	19,635	24.2	18,615	22.9
도시	1,293	1.6	2,057	2.5
나지	696	0.9	641	0.8
수변	1,377	1.7	1,281	1.6
계	81,210	100.0	81,210	100.0

구분	2000년						
	산림	농지	나지	도시	수변	합계	
1990년	산림	56,357	<b>1,516</b>	<b>110</b>	<b>135</b>	91	58,209
	농지	2,042	16,735	<b>140</b>	<b>545</b>	173	19,635
	나지	149	129	327	<b>59</b>	32	696
	도시	13	14	15	1,249	2	1,293
	수변	55	221	49	69	<b>983</b>	1,377
	합계	58,616	18,615	641	2,057	1,281	81,210

\* 이탤릭체 굵은 글씨는 본 연구에서 고려한 토지피복 변화 유형.

므로 제외하였고, 수변 유형의 변화는 간척, 댐, 저수지 개발 등에 의한 것으로 판단되어 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 전체 토지피복 변화 유형 가운데 산림에서 농지, 나지, 도시로의 변화, 농지에서 나지, 도시로의 변화, 나지에서 도시로의 변화 총 6개의 토지피복 변화 유형을 고려하여 토지피복 변화를 예측하였다.

## 2. 분석지표별 토지피복 변화의 상대선호도함수 모델 수립

토지피복 변화에 어떤 분석지표가 영향을 미치는지를 알아보기 위해 6가지 토지피복 변화 유형과 분석지표별로 EDF와 RFS를 계산하고 도출된 매개변수를 바탕으로 RFF모델 그래프를 작성하였다(그림 6).

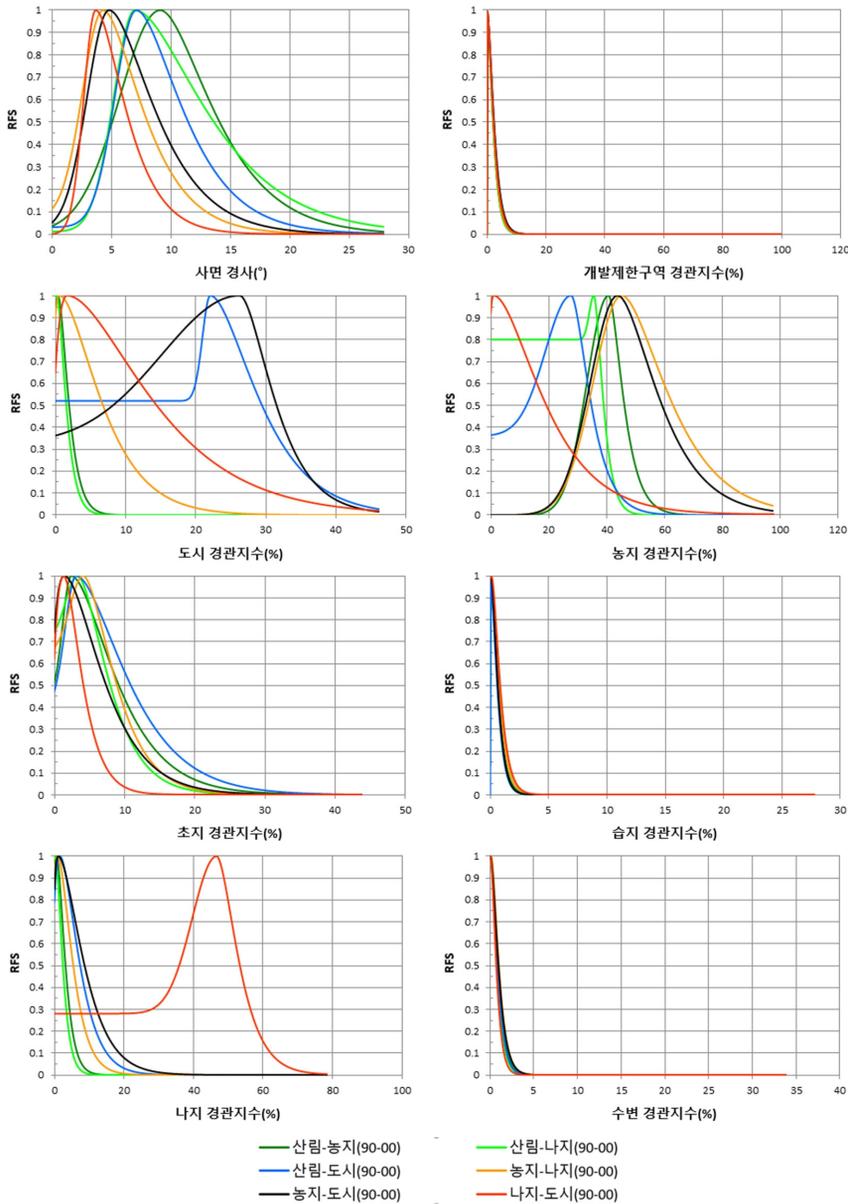


그림 6. 분석지표와 토지피복 변화 유형에 따른 RFF 그래프

사면경사에 따른 토지피복 변화에서는 모든 유형이 약 3~8°의 경사에서 토지피복 변화량이 가장 큰 것으로 나타났다. 농지가 나지와 도시로 변하는 유형과 나지가 도시로 변하는 유형은 5° 이하까지 변화량이 증가하는 것으로 나타나 비교적 평지에서 변화가 활발한 것으로 판단된다. 산림에서 나지, 농지, 그리고 도시로 변한 유형은 5° 이상까지 변화량이 상승하는 것으로 나타났다. 이는 기존의 산림이 위치한 지점의 특성이 반영된 것으로 판단된다. 사면경사에서 8° 이상부터는 토지피복 변화량이 점차 감소하는 경향이 나타났으며 25° 이상부터는 토지피복 변화가 거의 나타나지 않았다. 개발제한구역 경관지수는 약 7% 이하인 구간에서 모든 토지피복 유형의 최대 변화지점이 나타났으며 개발이 제한되는 특성이 토지피복 변화에 반영되는 것으로 판단된다. 도시 경관지수에 따른 토지피복 유형 가운데 산림이 농지와 나지로 바뀌는 유형과 농지가 나지로 바뀌는 유형, 그리고 나지가 도시로 바뀌는 유형은 도시 경관지수가 약 0.3~3%인 지점에서 변화량이 가장 큰 것으로 나타났다. 이들 변화유형은 도시지역과의 연관성이 떨어지는 것으로 보인다. 반면 산림과 농지는 도시 경관지수가 약 22~27%인 지점에서 변화량이 큰 것으로 나타났다. 이는 도시 인근의 산림과 농지에서 도시로 바뀐 것으로 판단된다. 농지 경관지수에 따라서는 토지피복 유형별로 다양하게 나타났다. 나지에서 도시로 변한 유형은 농지 경관지수 약 1%인 지점 이후 떨어지는 것으로 보아 농지와 연관성이 가장 낮은 것으로 판단된다. 산림에서 나지로 경관지수가 약 27% 지점까지 상승하고, 도시로 변한 유형은 30% 이후 35%인 지점까지 급상승하는 것으로 나타났다. 반면 농지에서 나지와 도시로 변하는 유형과 산림에서 농지로 변하는 유형은 농지 경관지수가 40% 이상에서 최대지점이 나타나는 규칙성이 나타났다. 초지 경관지수는 약 2~5% 이하인 구간에서 모든 토지피복 유

형의 최대 변화지점이 나타났으며 30% 이후로는 토지피복 변화가 나타나지 않는 규칙성을 보였다. 나지 경관지수는 대부분의 토지피복 유형이 약 2% 지점에서 변화가 크지만 나지에서 도시로 변하는 유형은 약 46%인 지점에서 가장 변화가 큰 것으로 나타났다. 이는 나지가 넓게 분포하는 지점이 도시로 변하는 특성으로 판단된다. 습지와 수변 경관지수는 약 3% 이하인 구간에서 모든 토지피복 유형의 최대 변화지점이 나타나고 이후 급락하는 것으로 나타나 토지피복 변화에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단된다.

### 3. 토지피복 변화 예측

1990년부터 2000년까지의 토지피복 변화와 분석지표를 바탕으로 수립된 RFF 모델에 2000년 토지피복지도와 분석지표를 입력하여 2010년 토지피복을 예측하였다. Kappa 계수는 산출한 결과 82.3%로 나타났다. 일반적으로 Kappa 계수가 80~85% 이상인 경우는 모델의 결과가 적합한 것으로 판단하고 있다(Eastman, 2012; 서현진·전병운, 2017). 따라서 남한지역 전체를 대상으로 미래 토지피복을 예측하는데 RFF 모델이 적합한 것으로 판단되었다. 토지피복 변화 유형별로 매트릭스를 살펴보면(표 4), 전체 유형 가운데 도시와 나지의 예측 면적이 실제보다 더 많은 것으로 나타났다. 2010년 시가지의 면적은 예측과 실제 모두 2000년에 비하여 증가한 것으로 나타났다. 2,799km<sup>2</sup>로 예측되었으나 실제는 2,509km<sup>2</sup>로 나타나 290km<sup>2</sup>의 차이를 보였다. 이는 전체 도시면적의 약 11%에 해당되는 것이다. 나지는 2010년 829km<sup>2</sup>로 예측되었으나 실제 721km<sup>2</sup>로 나타났다. 산림은 58,372km<sup>2</sup>로 예측되어 2000년보다 245km<sup>2</sup> 감소한 것으로 나타났다. 하지만 실제 2010년 산림은 59,111km<sup>2</sup>로 2000년에 비해 494km<sup>2</sup> 증가하였다. 농지의 면적은 예측과 실제 모

표 4. 2000년부터 2010년까지의 토지피복 면적 변화 매트릭스

(단위: km<sup>2</sup>)

예측 \ 실제	산림	수역	농지	나지	도시	합계
산림	56,367	39	1,609	241	115	58,371
수역	88	1,013	120	32	28	1,281
농지	2,335	45	15,293	75	184	17,932
나지	117	2	272	328	109	828
도시	203	2	479	41	2,073	2,798
합계	59,110	1,101	17,773	717	2,509	81,210

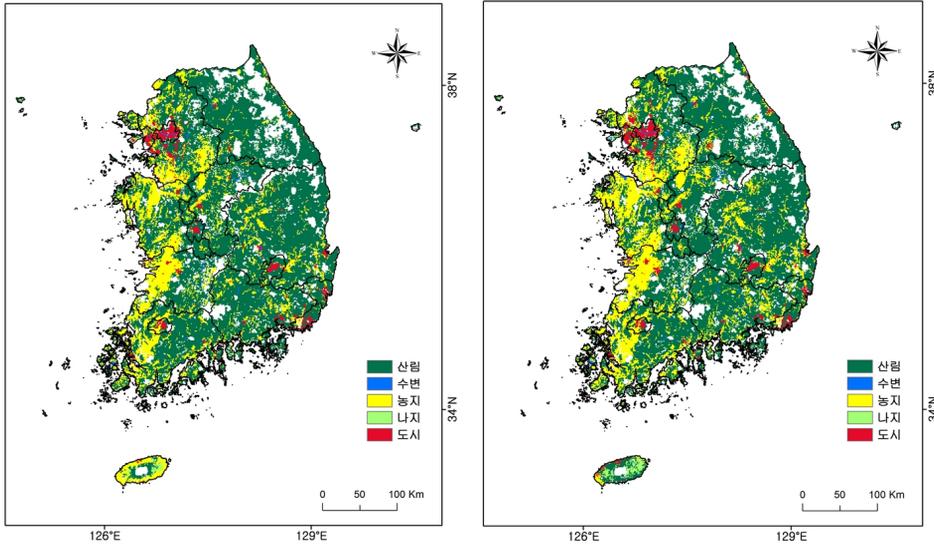


그림 7. 2010년 토지피복지도(좌)와 RFF모델로 예측한 2010년 토지피복지도(우)

\* ArcGIS 10.1을 활용.

두 감소하였다. 예측된 면적은 17,932km<sup>2</sup>, 실제 면적은 17,773km<sup>2</sup>으로 159km<sup>2</sup> 차이로 나타났다. 2010년 수변의 면적은 2000년과 비교하여 182km<sup>2</sup> 감소하였지만 예측된 결과의 면적은 변화가 일어나지 않았다.

토지피복 변화 유형의 지역적 분포를 확인하기 위해 2010년 실제 토지피복지도와 예측한 토지피복 결과를 지도화하고(그림 7) 두 지도의 토지피복 유형의 일치/불일치 지점을 지도화하였다(그림 8). 불일치 지점은 전국적으로 산재된 가운데 제주도에서 특히 집중된 것으로 나타났으며 시도별로 과소, 과대 예측된 토지피복 변화 유형을 분석해 보았다(표 5).

서울은 실제 산림에서 토지피복 변화 유형 가운데 나지로 변한 면적이 5km<sup>2</sup>로 가장 컸지만 예측 결과에서는 산림과 농지 그리고 나지가 도시로 변화가 각 9km<sup>2</sup>, 5km<sup>2</sup>, 3km<sup>2</sup>으로 나타나 도시로의 변화가 과대 예측된 것으로 나타났다.

부산에서는 실제 산림에서 도시와 나지로의 면적이 각각 9km<sup>2</sup>, 7km<sup>2</sup>로 많았으며 나지에서 도시로의 변화도 5km<sup>2</sup>로 나타났다. 예측 결과에서는 산림에서 농지, 도시로의 의 변화가 과대 예측되었으며 각각 7km<sup>2</sup>, 4km<sup>2</sup>로 확인되었다.

대구는 실제 산림에서 농지와 나지로, 농지에서 도시로 변한 유형의 면적이 각 2km<sup>2</sup>이며 예측에서는 농지에

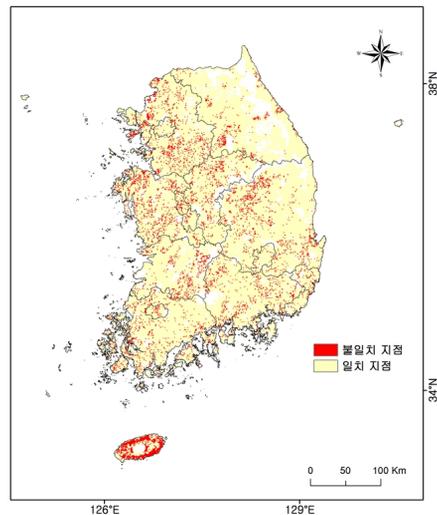


그림 8. 2010년 토지피복 예측 결과 불일치/일치 지점

\* ArcGIS 10.1을 활용.

서 도시로 변한 유형이 2km<sup>2</sup>로 토지피복 변화가 전체적으로 미미하게 나타나 실제와 예측의 차이가 크지 않아 예측이 잘된 지역으로 판단할 수 있다.

인천의 실제 농지와 나지가 도시로 변한 면적이 각각 12km<sup>2</sup>로 크게 나타났지만 예측에서는 산림에서 농지로의 변화가 10km<sup>2</sup>, 농지에서 도시로의 변화가 19km<sup>2</sup>로

표 5. 2000년부터 2010년까지 시·도별 토지피복 변화량

(단위: km<sup>2</sup>)

구분	변화 유형	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	세종	경기	강원	충남	충북	전남	전북	경남	경북	제주	합계
실제	산림-농지	0	0	2	1	0	1	0	8	231	69	23	193	33	179	175	233	528	1,676
	산림-나지	5	7	2	5	2	2	6	2	58	54	10	24	11	13	9	14	25	249
	산림-도시	1	9	0	0	5	1	7	0	61	3	3	1	6	0	8	13	1	119
	농지-나지	0	2	0	12	2	3	2	6	7	6	6	10	14	2	9	7	2	90
	농지-도시	1	2	2	1	17	2	12	0	95	22	14	22	12	3	22	17	6	250
	나지-도시	1	5	0	12	9	3	13	0	35	3	5	7	16	1	22	7	1	140
예측 결과	산림-농지	0	7	0	10	3	0	3	15	239	87	393	101	267	85	87	208	9	1,514
	산림-나지	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	105	109
	산림-도시	9	4	1	7	6	8	0	0	30	11	5	8	9	4	0	12	15	129
	농지-나지	0	0	0	2	0	0	0	0	51	5	7	1	7	0	3	2	51	129
	농지-도시	5	1	2	19	20	4	1	0	162	63	39	16	39	68	9	46	47	541
	나지-도시	3	2	0	3	5	1	6	0	15	1	2	2	6	1	4	8	0	59

과대 추정되었다.

광주에서는 실제와 예측 모두 농지에서 도시로의 변화 면적이 17km<sup>2</sup>, 20km<sup>2</sup>로 가장 크게 나타났다.

대전에서는 실제 모든 토지피복 변화 유형 면적이 1~3km<sup>2</sup>로 고르게 나타났지만 예측에서는 산림에서 도시로의 변화와 농지에서 도시로의 변화 면적이 각각 8km<sup>2</sup>, 4km<sup>2</sup>로 과대 추정되었다.

울산은 실제 산림에서 농지로의 변화는 일어나지 않았으며 농지와 나지에서 도시로 변한 면적이 각각 12km<sup>2</sup>, 13km<sup>2</sup>로 크게 나타났다. 하지만 예측에서는 산림에서 농지로 변한 면적이 3km<sup>2</sup>로 과대추정 되었으며 나지에서 도시로 변한 면적이 6km<sup>2</sup>로 크게 나타났다.

세종은 실제 산림에서 농지로 변한 면적이 8km<sup>2</sup>, 농지에서 나지로 변한 면적이 6km<sup>2</sup>로 크게 나타났지만 예측에서는 산림에서 농지로만 15km<sup>2</sup> 변화하여 농지가 과대 추정되었다.

경기도는 산림에서 농지와 나지, 그리고 도시로 변한 면적이 각 231km<sup>2</sup>, 58km<sup>2</sup>, 61km<sup>2</sup>로 크게 나타났으며 농지와 나지도 각각 95km<sup>2</sup>, 35km<sup>2</sup>의 면적이 도시로 변하였다. 예측에서는 산림이 농지로 변한 면적이 239km<sup>2</sup>로 실제와 비슷하게 나타났지만 산림과 농지, 그리고 나지가 도시로 변한 유형이 각 30km<sup>2</sup>, 162km<sup>2</sup>, 15km<sup>2</sup>로 실제보다 과대 추정되었다. 특히 농지에서 도시로 변한 유형이 과대 추정되었으며 이는 김포, 일산일대에서 많이 나타났다. 경기도는 실제와 예측 결과 모두 도시로 변한 면적이 전국에서 가장 크며 주로 서울, 인천 주변에서 도시로의 변화가 나타났다.

강원도에서는 실제 산림에서 농지와 나지로 변한 면

적이 각각 69km<sup>2</sup>, 54km<sup>2</sup>였지만 예측에서는 각각 87km<sup>2</sup>, 2km<sup>2</sup>로 나타나 농지는 과대 추정되고 나지는 과소 추정하였다. 실제 산림에서 나지로 변한 지역은 대관령 일대의 골프장, 목장, 밭으로 판단되었다. 반면 농지에서 도시로 변한 면적이 실제 22km<sup>2</sup>였지만 예측에서는 63km<sup>2</sup>로 과대 추정되었으며 주로 원주와 강릉일대인 것으로 나타났다.

충청남도는 실제 산림에서 농지와 나지로 변한 면적과 농지에서 도시로 변한 면적이 각 23km<sup>2</sup>, 10km<sup>2</sup>, 그리고 14km<sup>2</sup>로 크게 나타났다. 하지만 예측에서는 산림에서 농지로 예측된 면적이 393km<sup>2</sup>로 과대 추정되었으며 농지에서 도시로 변한 면적도 39km<sup>2</sup>로 과대 추정되었다. 도시는 천안을 중심으로 과대 추정되었으며 농지는 대부분의 지역에서 농지인근의 산지가 농지로 과대 추정되었다.

충청북도는 실제 산림에서 농지와 나지로 변한 면적이 각각 193km<sup>2</sup>, 24km<sup>2</sup>로 나타났지만 예측에서는 산림에서 농지로 변한 면적이 101km<sup>2</sup>로 감소하였고 나지로의 변화는 일어나지 않았다. 또한 실제 농지에서 나지로 도시로 변한 면적과 나지에서 도시로 변한 면적은 각 10km<sup>2</sup>, 22km<sup>2</sup>, 그리고 7km<sup>2</sup>였지만 예측에서는 농지에서 도시로 변한 면적이 16km<sup>2</sup>로 작게 나타났다.

전라남도에서는 실제 산림에서 농지로의 변한 면적이 33km<sup>2</sup>로 가장 크며 나머지 토지피복 변화 유형은 10km<sup>2</sup> 내외로 나타났다. 하지만 예측에서 산림에서 농지로 변한 유형이 267km<sup>2</sup>로 과대 추정되었으며 이러한 현상은 주로 진도, 해남, 영암 일대에서 나타났다. 농지에서 도시로 변한 유형도 39km<sup>2</sup>로 과대 추정되었으며 주로 순

천과 나주 일대의 도시 면적이 증가하였다.

전라북도 또한 실제 산림에서 농지로의 변환 면적이 179km<sup>2</sup>로 가장 크며 나머지 유형의 면적이 10km<sup>2</sup> 내외로 나타났다. 반면 예측에서는 산림에서 농지로 변환 유형이 85km<sup>2</sup>로 과소추정되었으며 농지에서 도시로 변환 면적은 39km<sup>2</sup>로 과대추정되었다. 주로 군산, 익산, 전주에서 도시면적이 증가한 것으로 나타났다.

경상남도는 실제 산림에서 농지로 변환 면적이 175km<sup>2</sup>로 가장 크게 나타났으며 나머지 유형이 나지와 도시로 변환 면적은 20km<sup>2</sup> 내외로 나타났다. 하지만 예측에서는 산림에서 농지로 변환 면적이 87km<sup>2</sup>로 과소추정되었으며 다른 유형 또한 실제보다 과소추정되었다.

경상북도 또한 실제 산림에서 농지로 변환 면적이 233km<sup>2</sup>로 나타나 가장 컸으며 다른 유형은 10km<sup>2</sup> 내외로 나타났다. 예측 결과에서는 농지와 나지에서 도시로 변환 유형이 각각 46km<sup>2</sup>, 8km<sup>2</sup>로 과대추정되었으며 나머지 유형은 과소 추정되었다. 주로 구미, 포항, 경상 일대에서 도시면적이 증가되었다.

제주도는 실제와 예측한 토지피복이 가장 상이하게 나타났다. 실제로는 산림에서 농지로 변환 면적이 528km<sup>2</sup>로 가장 크게 나타났다. 하지만 예측에서는 산림에서 농지로 변환하는 면적은 9km<sup>2</sup>였으며 산림에서 나지로 변환 면적과 농지에서 나지와 도시로 변환 면적이 각 105km<sup>2</sup>, 51km<sup>2</sup>, 47km<sup>2</sup>로 크게 나타났다. 이는 2000년부터 2010년까지의 실제 토지피복 변화가 1990년부터 2000년까지의 토지피복 변화 규칙성을 크게 벗어났거나 2010년 토지피복지도 제작과정에서의 분류오차로 판단된다.

도시로의 과대 추정은 서울, 부산 등의 대도시와 경기도 등 기존에 도시가 많이 확장되던 지역뿐만 아니라 나머지 지역에서도 크게 나타났으며 각 도에 포함되는 중소도시 인구를 중심으로 이와 같은 현상이 나타났다. 하지만 도시계획에 생성된 세종시에서는 도시와 나지로의 변화가 과소 추정되었다. 충청남도과 전라남도 등 기존에 농지로의 변화가 활발한 지역은 농지로의 변화가 과대 추정되었으며 강원도와 충청남도, 경상남도, 그리고 경상북도도 농지로의 변화가 과소 추정되었다. 이와 같은 토지피복의 과대, 과소 추정 현상의 원인은 추후 연구에서는 시군구와 같이 보다 상세한 지역 단위에서 분석할 필요가 있다.

## IV. 토론

본 연구에서는 RFF 모델을 이용하여 남한지역 전체를 대상으로 2010년 토지피복을 예측하고 정확도를 검증하였다. 정확도 검증을 위한 Kappa 계수는 82.3%로 나타나 RFF 모델의 적용 가능성을 확인하였다. 하지만 여러 가지 한계점을 확인할 수 있었다.

먼저 과거 토지피복 변화 분석 결과 1990년부터 2000년까지의 산림 면적이 407km<sup>2</sup> 증가하고 2000년부터 2010년까지 494km<sup>2</sup> 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 「임업 통계연보」에 따르면 1990년 647,603km<sup>2</sup>였던 산림의 면적은 2000년에는 642,200km<sup>2</sup>으로, 2010년에는 637,000km<sup>2</sup>으로 감소하였다(산림청, 2000; 2010). 이러한 현상은 대분류 토지피복지도 제작 과정에서의 불확실성이 토지피복 변화 탐지에 미친 영향과 대분류 토지피복지도를 1×1km로 리샘플(resample)하는 과정에서 산림의 비율이 높은 보호지역을 제외하였기 때문에 발생하였을 가능성이 있다. 추후 이에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

RFF 모델 수립에서는 8개의 분석지표를 활용하였으며 분석지표별로 다양한 규칙성이 확인되었다. 하지만 습지와 수변, 그리고 개발제한 경관지수는 단순한 패턴이 나타났다(그림 6). 이는 추후 RFF 프로그램의 단계적 분석을 통해 원인을 파악할 필요가 있다.

2010년 토지피복을 예측한 결과, 실제 2010년 토지피복지도보다 도시와 나지의 면적이 과대 추정된 것으로 나타났다. 서울시 인근의 경기도의 대도시지역에서 도시면적이 가장 많이 증가하였고, 광역시보다 지방의 대도시 인근에서 도시로 과대 추정된 면적이 큰 것으로 나타났다. 1990년에서 2000년까지 10년분의 토지변화를 입력 자료로 활용하였기 때문에 대도시 인근의 대규모 면적의 산지와 농지, 그리고 나지가 도시로 변화한 규칙성이 RFF 모델에 반영된 것으로 판단되며 광역시보다 지방의 대도시의 면적이 증가에는 개발제한구역 분석지표가 미친 영향을 확인할 필요가 있다. 이러한 현상은 다른 토지피복 유형에도 영향일 미쳤을 가능성이 있으므로 추후 연구에서 검토할 필요가 있다. 지역별로 토지피복 변화가 과대 또는 과소 추정하는 현상을 둔화시키기 위해서는 보다 지역적인 원인 분석이 필요하며 시도 또는 시군구별로 RFF 모델을 따로 구축하여 남한지역 전체를 예측할 수 있게 모델의 구조를 개선하는 방향을 제시할 수 있다.

또한 도시계획에 의해 도시나 나지로 토지피복이 변화한 유형은 예측 결과에서 반영되지 않는 것으로 나타났다. 2010년 세종시 지역 토지피복 예측 결과에서는 산림에서 농지로 변한 유형만 나타났지만 실제로는 산림과 농지가 나지로 변한 유형이 크게 나타났다(표 2). 이는 세종시 신도시 개발에 따른 나지로의 변화로 판단된다. 이러한 토지피복 변화를 반영하기 위해서는 개발예정지역 공간자료를 분석지표로 활용하여 토지피복 변화 규칙성을 적용할 수 있다. 또한 다중시기 토지피복 변화 자료를 활용하면 특정시기에 등장한 대규모 나지가 추후에 도시로 변화하는 규칙을 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

## V. 결론

본 연구는 남한지역 전체를 대상으로 토지피복 변화를 분석하고 예측하는데 RFF 모델의 적용 가능성을 평가하였다. 먼저 과거 토지피복변화 규칙성을 파악하기 위해 1990년부터 2000년까지의 토지피복 변화를 분석하였다. 농지로 변한 지점의 대부분은 산림이었고, 나지는 산림과 농지로부터 변화되었으며 도시는 주로 농지와 산림으로부터 변화된 것을 확인하였다. 토지피복 변화 유형별 면적과 오류가능성을 고려하여 산림이 농지, 나지, 도시로 변한 유형과 농지가 나지, 도시로 변한 유형, 그리고 나지가 도시로 변한 유형 총 6개의 토지피복 변화 유형을 분석 토지피복 변화 대상으로 지정하였다.

2000년 토지피복지도와 분석지표를 바탕으로 RFF 모델을 구축하여 2010년 토지피복을 예측하고 실제 2010년 토지피복지도와 비교 분석하였다. Kappa 계수 산출 결과는 82.3%로 남한지역 전체를 대상으로 한 RFF 모델의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 하지만 수도권과 광역시, 지방의 중소도시에서 도시와 나지의 면적이 과대 추정된 반면 세종시에서는 과소 추정되었다. 과소 추정의 원인은 연구에 사용된 모델이 도시계획에 의해 생성되는 토지피복 예측을 고려하고 못하기 때문이다. 추후에는 시군구 도시계획을 반영할 수 있는 분석지표와 다중시기 토지피복 자료의 필요성이 있다.

본 연구는 RFF 모델을 활용하여 보다 큰 지역적 규모인 남한전체를 대상으로 토지피복 변화 특성을 분석하고 발생한 한계점에 대한 방안을 제시하여 RFF 모델의

적용 가능성을 확인한 것에 의의가 있다. 추후 연구에서는 토의 부분에서 제시된 한계점을 보완할 필요가 있으며 다른 LUC 예측 모델과의 비교 분석에 대한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- 김오석·윤정호, 2015, “현 상태 유지 시나리오를 이용한 토지피복 변화 예측,” 한국도시지리학회지, 18(3), 121-135.
- 김진수·박소영, 2013, “기후변화시나리오의 사회경제발전 양상을 고려한 행정구역별 도시성장 예측,” 한국지형공간정보학회지, 21(2), 53-62.
- 김호용, 2016, “사회경제 경로 시나리오에 따른 토지이용 변화 시뮬레이션,” 한국지리정보학회지, 19(2), 1-13.
- 박샘·최광용, 2016, “위성영상에 탐지된 1980년대 이후 수도권 지역의 도시 팽창,” 한국지리학회지, 5(3), 331-343.
- 박종철·김동우·장동호, 2016, “상대선호도함수 모델을 위한 매개변수 최적화가 토지피복 변화 예측성에 미치는 영향,” 한국사진지리학회지, 26(3), 71-86.
- 박종철·김동우·장동호, 2017, “지목자료 분석을 기반으로 한 상대선호도함수 모델의 개선,” 한국사진지리학회지, 27(3), 63-78.
- 박종철·김장수, 2014, “토지피복 변화탐지에서 국가 토지 피복도의 활용과 한계 -충청남도를 사례로-,” 한국사진지리학회지, 24(1), 19-34.
- 산림청, 2000, 「입업통계연보」.
- 산림청, 2010, 「입업통계연보」.
- 서현진·전병운, 2017, “CA-Markov 모형을 이용한 대구시 녹지의 공간적 변화 모델링,” 대한지리학회지, 52(3), 123-141.
- 오윤경·최진용·유승환·이상현, 2011, “기후변화 시나리오에 따른 미래 토지피복변화 예측 및 군집분석을 이용한 지역 특성 분석,” 한국농공학회논문집, 53(6), 31-41.
- 이용관·조영현·김성준, 2016, “도시성장 시나리오와 CLUE-s 모형을 이용한 우리나라의 토지이용 변화 예측,” 한국지리정보학회지, 19(3), 75-88.
- 장동호·김만규, 2003, “IKONOS 영상자료를 이용한 토

- 지피복도 개선,” 한국GIS학회지, 11(2), 101-117.
- 조자영, 2015, “RFF모델과 공간정보 자료를 이용한 토지 피복 변화 예측-천안·아산시를 사례로-,” 공주대학교 박사학위논문.
- 조자영·장동호, 2014, “상대선호도함수를 이용한 천안·아산시의 미래 지면피복 변화 예측,” 한국사진지리학회지, 24(4), 91-107.
- 한국환경정책·평가연구원, 2015, 「기후변화 적응정책 지원을 위한 토지이용통합모델 개발(I)」.
- 허동숙·안유순·박수진, 2016, “토지이용 및 토지피복 변화 모델링(LUCC Modling)에서의 행위자 의사결정 체계 구축방안,” 국토지리학회지, 50(1), 63-80.
- 환경부, 2014, 「통계로 본 국토·자연환경」.
- Arsanjani, J.J., 2012, *Dynamic Land Use/Cover Change Modelling: Geosimulation and Multiagent-based Modelling*, Berlin: Springer.
- Eastman, J.R., 2012, *IDRISI Selva Manual*, Worcester: Clark University.
- Hair, Jr., J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., and Black, W.C., 1995, *Multivariate Data Analysis*, 3rd edition, New York: Macmillan.
- Kennedy, P., 1992, *A Guide to Econometrics*, Oxford: Blackwell.
- Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skånes, H., Steffen, W., Stone, G.D., Svedin, U., Veldkamp, T.A., Vogel, C., and Xu, J., 2001, The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths, *Global Environmental Change*, 11, 261-269.
- Li, X. and Gong, P., 2016, Urban growth models: Progress and perspective, *Science Bulletin*, 61(21), 1637-1650.
- Marquardt, D.W., 1970, Generalized inverses, ridge regression, biased linear estimation, and nonlinear estimation. *Technometrics*, 12(3), 591-612.
- Neter, J., Wasserman, W., and Kutner, M.H., 1989, *Applied Linear Regression Models*, Homewood, IL: Irwin.
- Pan, Y. and Jackson, R.T., 2008, Ethnic difference in the relationship between acute inflammation and serum ferritin in US adult males, *Epidemiology & Infection*, 136(3), 421-431.
- Park, S., Jeon, S., Kim, S., and Choi, C., 2011, Prediction and comparison of urban growth by land suitability index mapping using GIS and RS in South Korea, *Landscape and Urban Planning*, 99(2), 104-114.
- Rogerson, P., 2001, *Statistical Methods for Geography*, London: SAGE Publication.
- Rui, Y., 2013, Urban Growth Modeling Based on Land-use Changes and Road Network Expansion, Unpublished Ph.D. Dissertation, Department of Urban Planning and Environment, KTH Royal Institute of Technology.
- Turner, B.L., Meyer, W.B., and Skole, D.L., 1994, Global land-use/land-cover change: Towards an integrated study, *Ambio*, 23(1), 91-95.
- Veldkamp, A. and Lambin, E.F., 2001, Predicting land-use change, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85(1), 1-6.
- Yirsaw, E., Wu, W., Shi, X., Temesgen, H., and Bekele, B., 2017, Land use/land cover change modeling and the prediction of subsequent changes in ecosystem service values in a coastal area of China, the Su-Xi-Chang Region, *Sustainability*, 9(7), 1204 (<https://doi.org/10.3390/su9071204>).
- 국가공간정보포털, <http://www.nsdi.go.kr>
- 국가법령정보센터, <http://www.law.go.kr>
- 기후정보포털, <http://www.climate.go.kr/home>
- 한국보호지역 통합 DB관리시스템, <http://www.kdpa.kr>
- 환경공간정보서비스, <https://egis.me.go.kr>
- MapWinGIS Open Source ActiveX Map Control, <https://mapwingis.codeplex.com>
- NASA, <https://asterweb.jpl.nasa.gov>
- 교신 : 김만규, 32588, 충남 공주시 공주대학교 56, 공주대학교 인문사회과학대학 지리학과 (이메일 [aquasia@kongju.ac.kr](mailto:aquasia@kongju.ac.kr))

김동우 · 김장수 · 김만규

Correspondence : Man-Kyu Kim, 32588, 56 Gongjudae-hak-ro, Gongju-si, Chungcheongnam-do, Korea, Department of Geography, College of Humanities and Social Sciences, Kongju National University (Email: aquasia@kongju.ac.kr)

**투 고 일: 2018년 10월 16일**

**심사완료일: 2018년 11월 9일**

**투고확정일: 2018년 11월 30일**