

용도지역과 로지스틱 회귀분석을 이용한 도시지역 확장 예측 연구*

김근한** · 이길상*** · 김오석**** · 최희선*****

Urban Growth Prediction Using Zoning District and Logistic Regression Analysis*

Geunhan Kim** · Gilsang Lee*** · Oh Seok Kim**** · Hee-Sun Choi*****

요약 : 지속가능한 국토의 보전 및 이용을 위해서는 도시지역의 확장을 예측하고, 이를 근거한 국토계획 및 환경계획의 수립이 필요하다. 이에 본 연구에서는 도시지역의 확장 예측을 위해 2006년과 2018년 용도지역의 도시지역을 비교하여 도시지역으로 변화된 지역들을 종속변수로 설정하고, 도시지역의 변화와 관련된 인자들을 독립변수로 설정하여 로지스틱 회귀분석을 수행했다. 로지스틱 회귀분석을 수행하여 회귀식을 도출하였으며, 해당 회귀식에 2018년 현재 데이터를 적용하여 2030년 도시지역 확장을 예측했다. 2018년의 도시지역은 전국토의 4.0%였으며, 분석 결과 도출된 도시지역 확장 예측지도에서도 상위 4.0%를 도시지역으로 지정하였다. 이렇게 도출한 도시지역 확장 예측지도의 상위 4.0%에서 2018년 기존 도시지역을 제외한 결과 2030년에 신규로 도시지역으로 변화되는 지역은 전국토의 약 1%인 1,087km² 지역이 신규 도시지역으로 변화할 것으로 예측되었다. 이렇게 구축한 도시지역 확장 예측 지도의 구축은 국토계획, 환경계획 등 다양한 국토의 이용 및 보전과 관련된 계획에서 활용 가능할 것으로 판단되며, 이러한 도시지역 확장 예측 결과에 기반한 다양한 계획의 수립은 국토의 지속가능한 토지 이용 및 관리에 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

주요어 : 도시지역 확장 예측, 용도지역, 로지스틱 회귀분석, 토지이용, 환경계획

Abstract : Sustainable conservation and use of national lands requires anticipating the expansion of urban areas and establishing national environmental plans accordingly. As such, this study compared the use district for 2006 and 2018 to predict the expansion of urban areas. It sets the areas changed to urban districts as dependable variables and the factors related to the changes of the urban districts as independent variables and then performed the logistic regression analysis. It derived a regression equation from the logistic regress analysis and applied the current data in 2018 to the derived regression equation to predict the urban growth in 2030. Since urban areas accounted for 4.0% of the total land in Korea as of 2018, it designated the top 4.0% of the urban growth prediction map derived from the analysis as urban districts. It then excluded the existing urban district districts in 2018 from the top 4.0% of the urban growth prediction map. As a result, it predicted that about 1% of the national lands, or 1,087 km², would be changed to urban districts by 2030. The derived urban growth prediction map would be a good reference for national land plans and environmental plans related to the use and preservation of national lands, and various plans based on the urban growth prediction would contribute to sustainable use and management of national lands.

Key Words : Prediction of urban growth, Zoning district, Logistic regression analysis, Land use, Environmental plan

*본 연구는 환경부 사업으로서 한국환경정책·평가연구원(KEI)에서 수행한 '국토-환경계획 통합관리를 위한 공간환경기분구상안 마련(Ⅱ)'의 연구내용 중 일부를 논문형식으로 작성하였으며, 환경부 사업으로서 한국환경정책·평가연구원(KEI)에서 수행한 '지자체 국토-환경계획 통합관리 시행기반 구축사업(Ⅱ)'의 지원으로 연구를 수행하였음.

**한국환경정책·평가연구원 전문연구원(Research Specialist, Korea Environment Institute, ghkim@kei.re.kr)

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

****한국환경정책·평가연구원 부연구위원(Research Fellow, Korea Environment Institute, oskim@kei.re.kr)

*****한국환경정책·평가연구원 선임연구위원(Chief Research Fellow, Korea Environment Institute, choihs@kei.re.kr)

I. 서론

국토의 지속가능한 보전과 이용을 위해서는 지속적인 국토의 모니터링이 필요하다. 특히 계획 없이 개발된 국토의 난개발로 발생하는 문제들을 방지하고, 지속가능한 국토의 이용과 보전을 위해서는 향후 개발로 인한 도시지역의 확장에 대한 예측 및 모니터링이 필요하며, 이러한 도시지역의 예측과 모니터링 기반의 국토계획 및 환경계획 수립이 필요하다(김근한 등, 2014; 김근한 등, 2017). 이에 국내외 많은 연구에서 국토의 토지이용과 관련된 모니터링과 변화 예측과 관련된 연구가 수행되었다. 하지만 이러한 토지이용 변화 연구들은 국토의 토지이용 변화를 파악하기 위해 영상자료를 기반으로 토지피복지도를 구축하거나 기 구축된 환경부의 토지피복지도를 활용했다. 하지만 연구자 개인이 작성한 토지피복지도는 대부분 감독분류로 구축한 대분류 스케일의 토지피복지도를 구축하게 되는데 이렇게 구축한 대분류 토지피복지도의 경우 토지피복의 분류정확도가 떨어진다. 또한 이러한 문제점을 보완하기 위해 일부 데이터 보정을 통해 정확도의 일부를 담보하는 환경부의 대분류 토지피복지도의 경우 10년 주기로 갱신되고 있어 이를 분석에 직접적으로 활용할 수 있는 시간적 요소는 제한적이라 볼 수 있다. 그리고 정확도가 높은 세분류 토지피복지도의 경우는 전 국토를 구축하는데 10년의 기간이 소요되었기 때문에 처음 구축된 지역과 마지막에 구축된 지역의 시점 차이가 10년이다. 따라서 동일 시점을 기준으로 우리나라 전국에 대해 분석을 수행하기에 한계가 있다. 또한 세분류 토지피복지도의 구축으로 중분류 토지피복지도의 구축 및 갱신은 없으므로, 향후 중분류 토지피복지도를 활용하기에는 제한적이라 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 국토를 효율적으로 이용하기 위해 토지피복지도를 대체할 수 있는 용도지역의 도시지역 중 주거, 상업, 공업지역을 대표 도시지역으로 지정하여 국토의 현실적인 토지 이용 현황을 반영하고자 했다. 용도지역은 토지의 이용 및 건축물의 용도, 건폐율, 용적률, 높이 등을 제한함으로써 토지를 경제적, 효율적으로 이용하고 공공복리의 증진을 도모하기 위하여 전국에 대해 중복되지 않게 지정되어 있다(양현재 등, 2018). 또한 전국을 대상으로 주기적으로 갱신되고 있으며, 공간정보포털에서 손쉽게 자료를 수집할 수 있기 때문에, 분석에 손쉽게 활용할 수 있다는 장점이 있다.

이에 본 연구에서는 2018년 기준으로 2006년의 용도지역의 도시지역 중 주거, 상업, 공업지역을 도시지역으로 정의하고, 2006년에서 2018년에 변화된 도시지역들을 추출하고, 다양한 선행연구에서 활용했던 도시지역 및 토지이용변화에 영향을 미치는 인자들과의 상관성을 분석했다. 이렇게 도출된 도시지역과 관련 인자들의 상관성을 기반으로 2018년 자료에 상관분석을 적용함으로써 2030년 도시지역의 확장을 예측해보고자 했다. 이를 위해 도시지역의 확장 예측지도를 구축하기 위해 본 연구에서는 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 분석이 쉽고, 데이터 유형에 제한이 없으며, 정확도가 높게 나타난다는 장점을 가진 로지스틱 회귀분석을 적용하여 2030년 도시지역의 확장을 예측했다.

II. 자료 및 방법론

1. 분석자료

도시지역의 확장을 예측하기 위해서는 과거의 도시지역과 현재의 도시지역 현황을 기반으로 도시지역으로 변경된 지역을 추출하여 종속변수로 지정하고, 이를 기반으로 다양한 독립변수들과의 관계를 분석하여 신규로 확장되는 도시지역을 예측해야 한다. 개발과 관련되어 도시 성장 및 확장에 관한 다양한 연구가 수행되어 왔다. 강영옥·박수홍(2000), 박호명·백태경(2009), 손정우 등(2009), 이동근 등(2011), 박인혁·하성룡(2013), 이용관 등(2016)의 많은 연구에서 도시 확장의 과정과 결정 요인 및 도시성장 예측 연구를 수행하였다. 이러한 선행연구 대부분에서 종속변수로 활용할 기 개발지역을 추출하기 위해 다양한 위성영상을 활용하여 토지피복지도를 작성하고 이 토지피복지도의 토지피복 분류를 활용하여 개발에 필요한 요소들과의 관계를 분석하여 도시지역의 확장을 예측했다. 하지만 토지피복지도의 경우 감독분류 기법을 적용한 토지피복지도는 대분류 스케일의 토지피복지도를 구축하게 되며, 이렇게 구축된 토지피복지도의 경우 토지피복의 분류 정확도가 떨어진다. 이러한 단점을 극복하기 위해 환경부의 중분류, 세분류 토지피복지도를 검토할 수 있는데, 해당 공간정보들은 디지털 기법을 이용하여 객체들의 경계를 구분하고, 해당 지역들의 토지이용과 관련된 토지이용현황을 입력하

표 1. 용도지역의 구분

용도지역	법령에서의 정의
도시지역	인구와 산업이 밀집되어 있거나 밀집이 예상되어 그 지역에 대하여 체계적인 개발·정비·관리·보전 등이 필요한 지역
관리지역	도시지역의 인구와 산업을 수용하기 위하여 도시지역에 준하여 체계적으로 관리하거나 농림업의 진흥, 자연환경 또는 산림의 보전을 위하여 농림지역 또는 자연환경보전지역에 준하여 관리할 필요가 있는 지역
농림지역	도시지역에 속하지 아니하는 농지법에 따른 농업진흥지역 또는 산지관리법에 따른 보전산지 등으로서 농림업을 진흥시키고 산림을 보전하기 위하여 필요한 지역
자연환경보전지역	자연환경·수자원·해안·생태계·상수원 및 문화재의 보전과 수산자원의 보호·육성 등을 위하여 필요한 지역

출처 : 국토교통부, 2019.

표 2. 용도지역의 세분

용도지역	법령에서의 정의	
도시지역	주거지역	거주의 안녕과 건전한 생활환경의 보호를 위하여 필요한 지역
	상업지역	상업이나 그 밖의 업무의 편익을 증진하기 위하여 필요한 지역
	공업지역	공업의 편익을 증진하기 위하여 필요한 지역
	녹지지역	자연환경·농지 및 산림의 보호, 보건위생, 보안과 도시의 무질서한 확산을 방지하기 위하여 녹지의 보전이 필요한 지역
관리지역	계획관리지역	도시지역으로의 편입이 예상되는 지역이나 자연환경을 고려하여 제한적인 이용·개발을 하려는 지역으로서 계획적·체계적인 관리가 필요한 지역
	생산관리지역	농업·임업·어업 생산 등을 위하여 관리가 필요하나, 주변 용도지역과의 관계 등을 고려할 때 농림지역으로 지정하여 관리하기가 곤란한 지역
	보전관리지역	자연환경 보호, 산림 보호, 수질오염 방지, 녹지공간 확보 및 생태계 보전 등을 위하여 보전이 필요하나, 주변 용도지역과의 관계 등을 고려할 때 자연환경보전지역으로 지정하여 관리하기가 곤란한 지역

출처 : 국토교통부, 2019.

는 과정을 통해 토지피복지도를 구축하여 정확도가 매우 높지만, 세분류 토지피복의 경우 구축에 소요되는 예산 등의 문제로 전 국토를 구축하는 데 약 9년의 기간이 소요되었다. 2010년 북한강과 남한강 일대의 세분류 토지피복지도의 구축을 시작으로 2018년 전라남도와 광주광역시를 마지막으로 전국에 대해 세분류 토지피복지도가 구축되었다. 따라서 처음 구축된 북한강과 남한강 일대의 토지피복 현황과 2018년에 구축된 전라남도와 광주광역시 일대의 토지피복현황은 약 9년의 시점 차이가 발생하며, 본 연구와 같이 전국을 대상으로 토지이용변화를 추출하고자 할 때 동일 시점의 토지피복현황 변화의 추출이 불가하기 때문에 활용 및 분석에 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 도시지역의 예측을 위해 토지가 발을 통해 일어나는 토지의 형질변경의 특성이 반영된 용도지역을 분석에 활용했다. 용도지역은 국토의 계획

및 이용에 관한 법률 제2조에 따라서 “토지의 이용 및 건축물의 용도·건폐율·용적률·높이 등을 제한함으로써 토지를 경제적·효율적으로 이용하고 공공복리의 증진을 도모하기 위하여 서로 중복되지 아니하게 도시관리계획으로 결정하는 지역”으로 정의하고 있으며(국토교통부, 2019), 표 1과 같이 우리나라 전체에 대해 도시지역, 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역으로 구분하고 있으며, 표 2와 같이 지역별로 세분화 된다. 이때 도시로 변경된 지역의 추출을 위해 본 연구에서는 표 2의 도시지역 중 주거, 상업, 공업지역을 개발이 발생한 도시지역으로 간주하고 도시지역의 확장된 지역의 추출에 활용했다.

그리고 도시지역의 확산 예측을 위해 위에서 언급한 선행연구들을 검토하여 표 3과 같은 평가항목을 도출했다. 우선 개발의 발생과 관련된 지형적 특성을 살펴보기

표 3. 분석 데이터

데이터		출처
신규 개발 지역		「용도지역도」(2006~2018년)
표고		「DEM」(2006년, 2018년)
경사		
도로로부터의 거리		「도로망도」(2006년, 2018년)
각각의 용도지역으로부터의 거리	주거지역	「용도지역도」(2006년, 2018년)
	상업지역	
	공업지역	
	녹지지역	
	계획관리지역	
	생산관리지역	
	보전관리지역	
	농림지역	
자연환경보전지역		
「국토환경성평가지도」 환경생태적평가		「국토환경성평가지도」(2006년, 2018년)
「국토환경성평가지도」 법적평가		

위해 「DEM」 자료를 통해 해당 지역의 표고와 경사가 개발에 미치는 영향을 살펴보고자 했으며, 「용도지역도」로부터 주거지역, 상업지역, 녹지지역, 계획관리지역, 생산관리지역, 보전관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역을 추출하고, ArcGIS의 Euclidean Distance 분석으로 각각의 용도지역으로부터의 거리를 계산하여 각각의 용도별 활용과 도시지역 확장과의 상관성을 분석하고자 했다. 그리고 도로로부터의 거리 또한 Euclidean Distance 분석을 이용하여 거리를 계산함으로써 접근성과 도시지역 확장과의 연관성을 검토하고자 하였으며, 국토의 환경성을 공간정보를 기반으로 객관적으로 5등급 체계로 평가하는 「국토환경성평가지도」의 환경생태적평가와 법적평가 결과를 활용하여 토지의 법적 관점에서의 토지이용규제와 국토의 환경생태적 우수성과 도시지역의 확대와의 관계를 살펴보고자 했다. 「국토환경성평가지도」는 각각의 래스터마다 value 값으로 1~5등급의 등급 값을 가지고 있어 해당 등급 값의 추출을 통해 개발지역과 「국토환경성평가지도」의 환경생태적 평가등급과 법적 평가등급의 상관성을 분석하고자 하였다. 이러한 데이터들은 용도지역의 기준에 맞춰 2006년과 2018년의 데이터를 수집하였으며, 2006년에서 2018년 사이의 도시지역으로 확장된 지역과 해당 지역의 2006년 데이터들과의 상관성을 분석하여 도출한 상관계수를 2018년 데이터에 적용하

여 2030년의 도시지역 확장을 예측하고자 했다.

2006년 말 기준 용도지역 중 본 연구에서 활용한 녹지지역을 제외한 도시지역의 주거지역은 2,179km², 상업지역은 267km², 공업지역은 807km²로, 본 연구에서 개발이 발생한 지역이라고 판단한 도시지역은 3,253km²이며, 도시지역의 녹지지역은 12,677km², 농림지역은 51,032km², 관리지역은 25,905km², 자연환경보전지역은 12,209km²이었으며, 2018년 기준 용도지역을 살펴보면 본 연구에서 활용한 녹지지역 제외 도시지역은 주거지역은 2,684km², 상업지역은 335km², 공업지역은 1,198km²로 분석에 활용한 도시지역은 4,217km²이며, 도시지역의 녹지지역은 12,629km², 농림지역은 49,351km², 관리지역은 27,223km², 자연환경보전지역은 11,923km²이었다. 본 연구에서 신규 개발 지역의 추출을 활용한 도시지역의 면적은 2006년 3,253km²에서 2018년 4,217km²로 964km²가 증가했다.

2 로지스틱 회귀분석을 이용한 도시지역 확장 예측

로지스틱 회귀분석은 도출하고자 하는 종속변수와 해당 종속변수의 발생 원인과 관련된 독립변수들과의 상관성을 객관적이고 정량적으로 도출할 수 있다. 이때 종속변수는 존재의 유무와 같이 두 개의 값을 가지는 경우 수행하게 된다. 그리고 독립변수에 대한 정규분포의

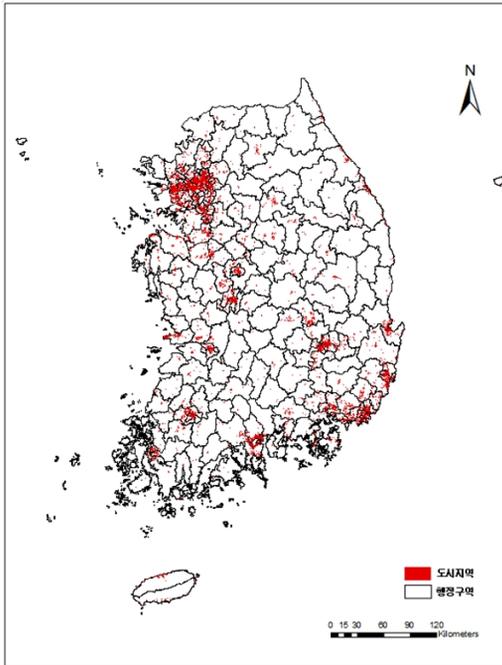


그림 1. 2006년 도시지역 현황

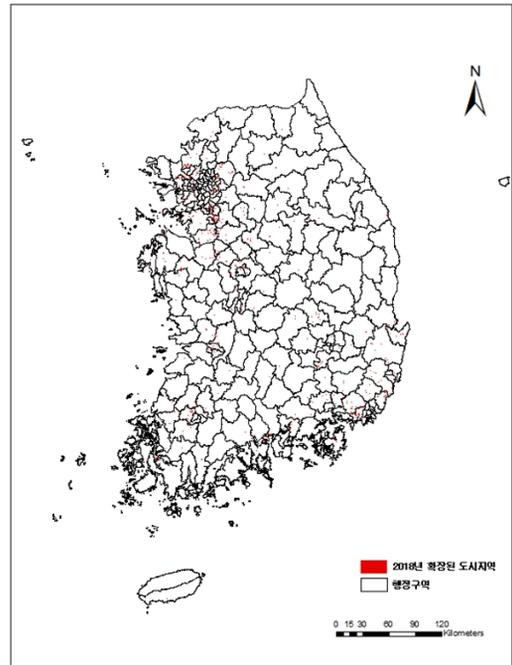


그림 2. 2006년 대비 2018년 확장된 도시지역

유무와는 상관없이 분석에 활용할 수 있다(이환길·김기홍, 2012; 김세준 등, 2014). 그리고 이산형, 등급형, 명목형, 연속형과 같이 독립변수의 다양한 자료 유형에 상관없이 분석에 적용할 수 있는 장점이 있으며, 이는 자료의 가공으로 인한 정보의 손실 없이 분석에 활용가능하다는 장점이 있다(김근한 등, 2016). 또한 다양한 종류의 공간정보를 활용하여 로지스틱 회귀분석에 사용되는 종속 변수와 독립 변수의 상관관계를 기반으로 GIS 분석을 통해 확률지도의 구축이 가능하다는 장점이 있다(김정훈, 2002). 이러한 로지스틱 회귀분석을 수행하여 얻은 종속 변수와 독립 변수들과의 상관성을 나타내는 회귀식을 이용하여 다양한 분야에서의 확률 지도를 구축할 수 있다. 이러한 장점을 기반으로 국내외의 다양한 선행연구에서는 산사태 발생 확률 지도, 지반 침하 위험도, 멧돼지 서식지 모형 개발, 고유적 입지의 예측 모델, 광물의 부존 가능성 도출, 지하수 산출 가능 예측 모델, 북한지역의 환경생태적 우수 지역 확률 지도를 구축하는 등 다양한 분야에서 로지스틱 회귀분석을 이용했다(서창완, 2000; 이사로 등, 2004; 이사로 등 2005; 이진영, 2006; 오현주, 2010; 임태근, 2010; 이환길·김기홍, 2012;

김근한 등, 2016; Lee, 2005; Lee and Sambath., 2006; Lee, 2007; Pradhan, 2010; Pradhan and Lee, 2010; Yalcin *et al.*, 2011; Regmi *et al.*, 2014).

이렇듯 다양한 사례에서 적용하고 있는 로지스틱 회귀분석을 미래 도시지역의 확장 예측에도 활용 가능하다. 이를 위해 본 연구에서는 종속변수로 사용할 기 도시지역은 그림 1의 2006년과 2018년 용도지역 중 주거, 상업, 공업지역을 각각 추출하여, 그림 2와 같이 2018년 신규로 생성된 도시지역을 종속변수로 추출하였다. 이렇게 추출된 도시지역과 표 3과 같이 도시지역 확장과 관련된 평가항목들은 모두 10m ground sampling distance (GSD)의 래스터 파일로 변환하였다. 로지스틱 회귀분석을 수행하기 위해 종속변수와 독립변수들의 값이 포함된 정형데이터 생성이 필요하다. 이를 위해 동일 지점의 종속변수와 독립변수들의 속성 값을 추출하기 위해 포인트를 생성했다. 래스터 리샘플링 작업을 통해 50m와 450m의 GSD의 래스터를 생성하고, 해당 래스터를 포인트로 변환하여 포인트들의 간격이 동일한 간격을 유지할 수 있도록 했다. 이렇게 생성한 포인트를 이용하여 해당 포인트와 중첩되는 종속변수와 독립변수들의 속성

값을 한 번에 추출했다.

기존 도시지역의 추출을 위해 50m의 GSD의 래스터를 이용해 도시지역으로 변화된 지역만을 추출하였으며, 개발 지역이 아닌 대표 지역을 추출하기 위해 750m의 GSD 래스터를 이용해 생성한 포인트를 이용하여 도시지역이 아닌 지역들을 추출하였다. 이렇게 추출한 포인트들을 Merge 기능을 통해 하나의 파일로 병합했다. 이렇게 추출된 포인트의 속성 값은 해당 포인트가 개발지로 변했는지에 대한 여부와 표 3의 평가항목의 값들이 포함되어 있다. 샘플 포인트의 전체 수는 301,492개이며, 이중 중속 변수로 도시지역으로 변경된 지역의 포인트는 163,382개이다. 이렇게 추출한 정형데이터를 이용하여 다중공선성 분석을 수행하여 독립성을 평가하였으며, 다중공선성이 나타난 독립변수들을 제외한 평가항목들을 이용하여 2006년 독립변수들을 이용하여 로지스틱 회귀분석을 수행하였다. 이렇게 도출한 회귀식을 2018년 데이터에 적용하여 2030년 도시지역 확장 확률 지도를 구축하였다. 구축된 확률지도에서 2018년 전국토 대비 도시지역의 비율인 4.0%를 적용하여 상위 4.0%인 지역을 추출하고, 2018년 기존 도시지역을 제외함으로써 2030년 신규 도시지역으로 확대된 지역을 추출하고자 하였다.

III. 실험결과

1. 로지스틱 회귀분석을 적용한 2030년 도시지역 확률지도 구축

로지스틱 회귀분석의 수행에 앞서 샘플링 추출한 포인트들의 속성 값을 이용하여 독립변수들 간의 독립성 확인을 위해 다중공선성 분석을 수행하였다. 독립변수들 간 다중공선성이 존재한 상태에서 로지스틱 회귀분석을 수행하게 되면 통계적 유의도가 감소하게 된다(김세준 등, 2014). 특히 본 연구에서는 다양한 유형의 용도 지역으로부터의 거리를 평가에 활용했기 때문에 로지스틱 회귀분석의 수행에 앞서 독립성 평가를 수행해야 한다. 다중공선성은 공차한계가 0.1보다 작고, 분산팽창계수는 10보다 크면 다중공선성이 존재한다고 판단하는데, 이때 분산팽창계수와 공차한계는 역수관계이다(노경섭, 2014).

이렇게 독립성평가를 수행한 후, 표 4의 평가항목들을 이용하여 로지스틱 회귀분석을 수행하였으며, 로지스틱 회귀분석 결과 유의확률이 0.05보다 큰 평가항목은 평가에서 제외하고 분석을 수행하였으며, 로지스틱 회귀분석을 수행결과 유의확률이 0.05보다 큰 항목은 없었다.

표 4. 다중공선성 수행 결과

모형	비표준화 계수		표준화계수	t	유의확률	공선성 통계량	
	B	표준오차	베타			공차	VIF
(상수)	5.214	0.036	-	145.645	.000	-	-
경사	-0.073	0.001	-0.176	-89.132	.000	0.41	2.437
표고	-0.001	.000	-0.044	-22.692	.000	0.427	2.339
「국토환경성평가지도」 법제적평가	0.6	0.008	0.112	73.141	.000	0.687	1.456
「국토환경성평가지도」 환경생태적평가	0.279	0.006	0.087	47.115	.000	0.467	2.14
공업지역으로부터의 거리	0	.000	-0.201	-104.921	.000	0.436	2.296
자연환경보전지역으로 부터의 거리	-2.56E-06	.000	-0.003	-1.986	0.047	0.779	1.283
녹지지역으로부터의 거리	0	.000	-0.162	-48.522	.000	0.144	6.934
생산관리지역으로 부터의 거리	0	.000	0.181	120.33	.000	0.709	1.411
상업지역으로부터의 거리	-9.26E-05	.000	-0.062	-20.197	.000	0.168	5.963
도로로부터의 거리	-4.45E-06	.000	-0.001	-0.851	0.395	0.783	1.278

표 5. 종속변수 교집합의 로지스틱 회귀분석 수행 결과

구분	B	표준오차	Wals	자유도	유의확률	Exp(B)
경사	-0.038380	.001	2006.693	1	0.000	.962
표고	-0.005976	.000	4418.243	1	0.000	.994
「국토환경성평가지도」 법적평가	0.414138	.007	3143.396	1	0.000	1.513
「국토환경성평가지도」 환경생태적평가	0.055577	.005	115.222	1	0.000	1.056
공업지역으로부터의 거리	-0.000201	.000	8403.999	1	0.000	1.000
자연환경보전지역으로부터의 거리	-8.301878	.000	50.494	1	0.000	1.000
녹지지역으로부터의 거리	-0.000638	.000	10965.991	1	0.000	1.000
생산관리지역으로부터의 거리	0.000103	.000	2134.375	1	0.000	.999
상업지역으로부터의 거리	-0.000044	.000	123.410	1	0.000	1.000
도로로부터의 거리	-0.000052	.000	65.639	1	0.000	1.000
상수항	1.465699	.033	1976.446	1	0.000	4.364

표 6. 종속변수 교집합의 로지스틱 회귀분석 수행 결과 분류 정확도

	예측		정확도(%)
	비 도시지역	도시지역	
비 도시지역	110,772	27,338	80.2
도시지역	11,884	157,742	93.0
전체 퍼센트	-	-	87.3

표 7. 로지스틱 회귀분석 수행 결과 변수별 계수

변수		계수	변수		계수
경사	a1	-0.038380	녹지지역으로부터의 거리	a7	-0.000638
표고	a2	-0.005976	생산관리지역으로부터의 거리	a8	0.000103
「국토환경성평가지도」 법적평가	a3	0.414138	상업지역으로부터의 거리	a9	-0.000044
「국토환경성평가지도」 환경생태적평가	a4	0.055577	도로로부터의 거리	a10	-0.000052
공업지역으로부터의 거리	a5	-0.000201	상수항	c	1.465699
자연환경보전지역으로부터의 거리	a6	-8.301878		-	

이렇게 선정된 평가항목을 이용한 로지스틱 회귀분석의 적합성모형은 표 6과 같이 87.3%의 분류정확도가 나타났으며, 특히 도시지역의 경우는 93%의 분류 정확도가 나타났다. 따라서 로지스틱 회귀분석을 이용하여 도시지역의 확장을 예측하기에 적합할 것이라 판단된다. 최종적으로 선정된 모형은 식 (1)과 같으며, 해당 변수별 계수는 표 7과 같다.

$$\text{logit} = \text{경사}*(a1) + \text{표고}*(a2) + \text{법제적평가}*(a3) + \text{환경성평가}*(a4) + \text{공업지역으로부터의 거리}*(a5) + \text{자연환경보전지역으로부터의 거리}*(a6) + \text{녹지지역으로부터의 거리}*(a7) + \text{생산관리지역으로부터의 거리}*(a8) + \text{상업지역으로부터의 거리}*(a9) + \text{도로로부터의 거리}*(a10) + \text{상수항}(c) \quad (1)$$

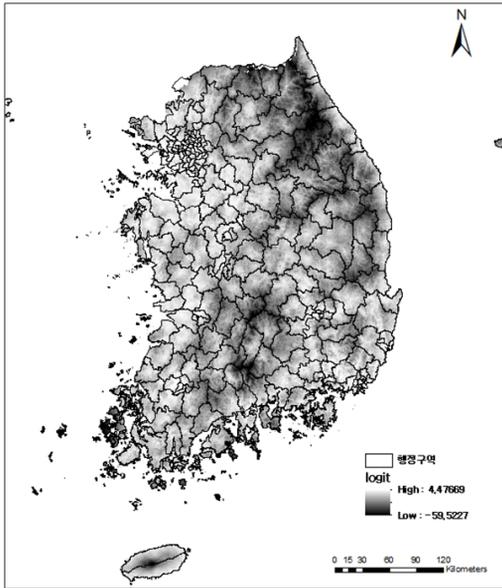


그림 3. logit 계산 결과

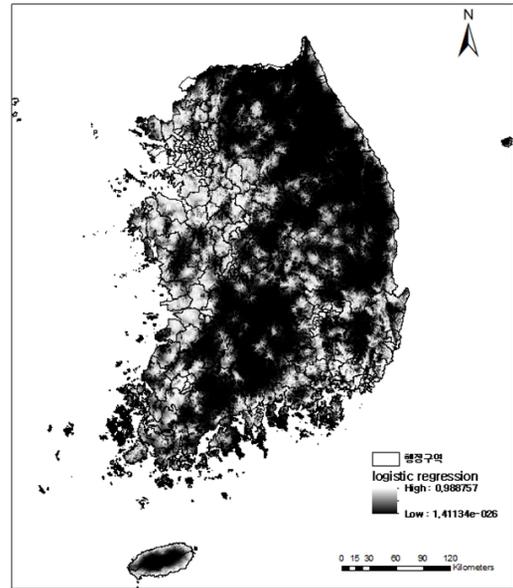


그림 4. 2030년 도시지역 확률지도

로지스틱 회귀분석 결과를 살펴보면 경사와 표고는 낮을수록 도시지역으로 확장될 가능성이 높고, 「국토환경성평가지도」의 법제적평가와 환경생태적평가 결과는 5등급으로 갈수록 도시지역으로 확장될 가능성이 높다. 그리고 도로로부터의 거리가 가까울수록 도시화될 가능성이 높게 나타났으며, 용도지역으로부터의 거리는 공업지역, 녹지지역, 상업지역으로부터 가까울수록 도시화될 가능성이 높게 나타났으며, 자연환경보전지역 또한 거리가 가까울수록 도시화될 가능성이 높다고 나타났지만, 실제로 0에 가까운 계수를 보이고 있어, 자연환경보전지역으로부터의 거리는 거의 영향을 미치지 못할 것이라 판단된다. 그리고 관리지역 중 생산관리지역으로부터의 거리가 멀수록 도시화될 가능성이 높을 것이라는 결과가 도출되었다. 2018년 현재 데이터들을 식 (1)에 적용하여 그림 3과 같이 로짓(logit)을 계산하였으며, 계산된 값을 아래의 식 (2)에 대입하여 그림 4의 2030년 도시지역 확률 지도를 작성했다.

$$\text{자연환경성 우수지역 확률} = \frac{\exp(\text{logit})}{1 + \exp(\text{logit})} \quad (2)$$

2018년 현재 데이터를 식 (1)과 식 (2)의 적용을 통해 로지스틱 회귀분석을 수행하여 그림 4의 2030년 도시지역으로 나타날 확률 지도를 도출했다. 이러한 확률 지도

는 전국에 대해 도시지역으로 나타날 확률로 결과물이 도출되기 때문에 2030년 추가로 도시지역으로 확장되는 지역들을 예측하기 위해서는 추가 분석이 필요하다. 이에 2030년 도시지역의 확장을 예측하기 위해서 2018년 도시지역 현황자료가 전국에서 차지하는 비율을 토대로 그림 4의 2030년 도시지역 확률지도에서 해당 비율만큼 상위 확률에서 추출하여 2030년 도시지역으로 적용하고자 한다. 이때 2030년 도시지역은 2018년 현재 도시지역과 추가로 예측된 지역을 2030년 도시지역으로 예측하고자 한다. 2018년 도시지역의 비율은 전국토의 약 4.0%를 차지하고 있으며, 이를 그림 4의 확률지도에 적용하여 상위 4.0%를 도시지역으로 그림 5와 같이 추출하였다. 그리고 기존의 2018년 도시지역과 중첩하여 2030년 도시지역으로 예측하고자 한다. 그리고 2030년 상위 4.0%인 도시지역 예측지역에서 기존 2018년 현재 도시지역을 제거함으로써 그림 6과 같이 2030년 신규 도시지역을 예측했다.

로지스틱 회귀분석을 통해 2030년 도시지역의 확장을 예측한 결과 신규 도시로 확장된 면적은 1,087km²로 전국토의 1% 면적이 도시로 확장될 것이라 예측됐었고, 전국토의 약 5.0%가 도시지역이 될 것으로 예측됐다. 또한 분석 결과 신규 도시지역의 확장은 신규 지역에서의 도시의 발생보다는 기존 도시지역에서의 확장을 통해 도

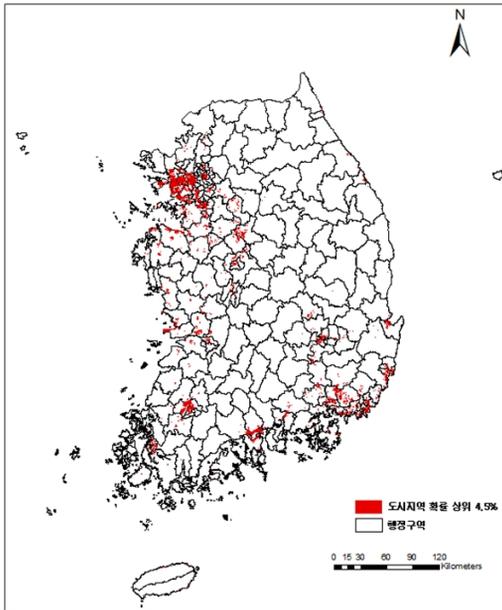


그림 5. 도시지역 확률 상위 4.0% 지역

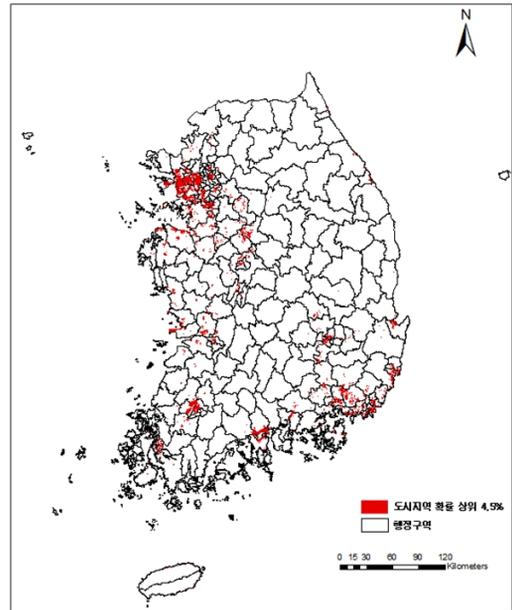


그림 6. 2030년 신규 도시지역 예측 결과

시지역이 확장될 것이라 예측되었다. 이러한 분석 결과는 향후 국토계획, 환경계획 또는 지자체에서의 도시계획과 환경계획의 수립 등 다양한 분야에서의 활용이 가능할 것이라고 판단된다.

IV. 결론

지속가능한 국토의 보전과 이용을 위해서는 향후 국토의 개발 등을 예상하고, 이를 기반한 국토계획 및 환경계획 수립이 필요하다. 이에 본 연구에서는 산사태 발생 확률 지도, 지반 침하 위험도, 멧돼지 서식지 모형 개발, 고유적 입지의 예측 모델, 광물의 부존 가능성 도출, 지하수 산출 가능 예측 모델, 북한지역의 환경생태적 우수 지역 확률 지도 구축 등 다양한 분야에서 활용되고 있는 로지스틱 회귀분석을 이용하여 도시지역의 확장 예측 지도를 구축하고자 했다. 그리고 많은 선행연구에서 활용했던 토지피복지도는 연구자 개인이 감독분류로 작성한 토지피복지도는 정확도가 낮다는 문제가 있고, 이를 개선한 환경부의 토지피복지도는 전국을 구축하는데 지역마다 구축 시점이 다르다는 단점이 있다. 이를 극복하고자 본 연구에서는 용도지역의 도시지역을 활용했다.

또한 도시지역의 확장을 예측하기 위해 관련 선행연구에서 활용한 데이터들을 검토하여 로지스틱 회귀분석을 적용했다.

2006년과 2018년 사이의 도시지역의 확대와 독립변수로 활용된 데이터들과의 상관관계를 분석하여 회귀식을 도출하고 2018년 데이터에 적용함으로써 2030년 도시지역의 확대를 예측했다. 로지스틱 회귀분석 결과 87.3%의 분류 정확도가 나타났으며, 도시지역의 경우 93%로 높은 분류 정확도를 나타냈다. 따라서 향후 도시지역의 확장 예측에 해당 모델이 적용할 것으로 판단하였으며, 해당 로지스틱 회귀분석의 회귀식에 2018년 데이터를 적용하여 2030년 도시지역 확률 지도를 구축했다. 이렇게 구축한 도시지역의 확장 확률 지도에서 2018년 도시지역의 비율인 4.0%를 적용하여 2030년 도시지역으로 확장 가능성이 높은 지역들을 전국의 4.0%의 비율로 추출하였으며, 2018년 도시지역인 기존 도시지역을 제외한 약 1%의 지역이 신규 도시지역으로 선정했으며, 기존 도시지역을 포함했을 때 전국의 5.0%가 도시지역으로 확장될 것으로 예측됐다.

이렇게 구축된 전국의 도시지역 확장 예측 결과를 활용하여 국토계획 및 환경계획과 지자체의 다양한 계획에 적용할 것으로 판단되고, 이렇게 도시지역으로 확장 예

측되는 지역들의 환경생태적평가 및 주요 생물종 서식 등 검토를 통해 도시지역으로 신규 확장 예측되는 지역들의 관리 및 모니터링이 추가적으로 필요할 것으로 판단되며, 이러한 국토의 모니터링 및 관리를 통해 국토의 지속가능한 관리와 이용에 기여할 수 있을 것이라 판단된다. 향후 연구에서는 인구와 같은 사회, 경제, 인문분야 등 수집 및 활용할 수 있는 다양한 인자들을 고려하여 도시지역 확장 예측 분석에 활용할 수 있도록 추후 연구의 추진이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

강영욱·박수홍, 2000, “서울대도시지역 도시성장 예측에 관한 연구” 대한지리학회지, 35(4), 621-639.

국토교통부, 2019, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」(2019년 8월 20일 일부 개정).

김근한·공석준·김민경·이명진·송지윤·전성우, 2014, “광역생태축과 「국토환경성평가지도」를 활용한 지자체 광역생태네트워크 구축 방안」 환경정책연구, 13(3), 3-19.

김근한·노영희·정휘철·최재용·윤정호, 2017, “국토환경성평가지도 기반 Gap 분석을 이용한 자연환경 우수지역 중 관리취약지역 추출” 한국지도학회지, 17(2), 111-123.

김근한·이은정·정휘철·전철민, 2016, “로지스틱 회귀분석을 이용한 북한지역 자연환경 우수지역 평가지도 작성” 한국지도학회지, 16(3), 75-88.

김세준·이종출·김진수·노태호, 2014, “항공 LiDAR 와 수치지도를 이용한 산사태 취약성 비교 분석” 한국측량학회지, 32(4-1), 281-292.

김용성, 2010, “확률기법에 근거한 지하수산출가능성 예측모델 개발” 경북대학교 박사학위논문.

김정훈, 2002, “GIS와 로지스틱 회귀분석을 이용하여 도시의 광지역의 토지이용 변화 분석” 국토연구, 33, 153-164.

김한수, 2012, “경관생태학적 접근을 통한 비오름 유형화 및 개별비오름 평가방법에 관한 연구” 동국대학교 박사학위논문.

노경섭, 2014, 「제대로 알고 쓰는 논문 통계분석: SPSS & AMOS 21」, 서울: 한빛아카데미.

박인혁·하성룡, 2013, “SLEUTH 모델을 이용한 청주시 토지이용변화 예측” 환경영향평가, 22(1), 109-116.

박호명·백태경, 2009, “원격탐사와 GIS를 이용한 부산광역

시 도시화지역의 확산과정과 토지이용 특성에 관한 연구” 한국지리정보학회지, 12(2), 23-33.

변지선·이병걸·문서정, 2015, “영상자료의 식생지수를 이용한 제주 북동부 지역의 풍력자원지도 작성에 관한 연구” 한국지형공간정보학회지, 23(1), 15-22.

서창완, 2000, “GIS와 로지스틱 회귀분석을 이용한 멧돼지 서식지 모형개발” 서울대학교 박사학위논문.

손정우·전성우·최철웅, 2009, “GIS와 통계기법을 이용한 대한민국 도시확장 패턴분석” 한국지형공간정보학회지, 17(4), 13-22.

양현재·김근한·윤정호·전철민·이은정·황소영, 2018, “용도지역 행위 제한을 고려한 「국토환경성평가지도」 법적 평가 개선” 한국환경복원녹화기술학회지, 21(1), 13-18.

오현주, 2010, “지공간 상관관계 통합기법을 이용한 지질현상 예측모델 개발 및 응용” 연세대학교 박사학위논문.

이동근·류대호·김호걸·이상혁, 2011, “Dyna-CLUE 모델을 이용한 양평여주 지역의 토지이용 변화 예측 및 평가” 환경복원녹화, 14(6), 119-130.

이사로·이명진·원중선, 2004, “GIS 및 원격탐사를 이용한 2002년 강릉지역 태풍 루사로 인한 산사태 연구II: 확률기법을 이용한 강릉지역 산사태 취약성도 작성 및 교차 검증” 자원환경지질, 37(5), 521-532.

이사로·이명진·원중선, 2005, “인공신경망 및 GIS를 이용한 강릉지역 산사태 발생 요인의 가중치 분석” 지질학회지, 41(1), 101-111.

이용관·조영현·김성준, 2016, “도시성장 시나리오와 CLUE-s 모형을 이용한 우리나라의 토지이용 변화 예측” 한국지리정보학회지, 19(3), 75-88.

이진영, 2006, “GIS를 이용한 남한의 고고유적 입지예측모델 연구” 충남대학교 박사학위논문.

이환길·김기홍, 2012, “로지스틱 회귀분석을 이용한 인제군 산사태지역의 위험도 평가” 한국측량학회지, 30(3), 313-321.

임태근, 2010, “GIS를 활용한 지반침하 영향인자에 관한 연구” 전남대학교 박사학위논문.

정재준·이수현, 2010, “국토 모니터링을 위한 지표설정과 방법론 개발에 관한 연구” 한국지도학회지, 10(1), 65-74.

국토교통부, 2006, 2018, 「도로망도」.

국토교통부, 2006, 2018, 「DEM」.

국토교통부, 2006-2018, 「용도지역도」.

환경부, 2006, 2018, 「국토환경성평가지도」.

- Lee, S., 2005, Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, 26(7), 1477-1491.
- Lee, S., 2007, Comparison of landslide susceptibility maps generated through multiple logistic regression for three test areas in Korea, *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(14), 2133-2148.
- Lee, S. and Sambath, T., 2006, Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models, *Environmental Geology*, 50(6), 847-855.
- Pradhan, B., 2010, Landslide susceptibility mapping of a catchment area using frequency ratio, fuzzy logic and multivariate logistic regression approaches, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38(2), 301-320.
- Pradhan, B. and Lee, S., 2010, Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models, *Environmental Earth Sciences*, 60(5), 1037-1054.
- Regmi, A.D., Devkota, K.C., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H.R., Kumamoto, T., and Akgun, A., 2014, Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya, *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 725-742.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C., and Yomralioglu, T., 2011, A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey, *Catena*, 85(3), 274-287.
- 법제처 국가법령정보센터, <http://www.law.go.kr>
- 교신 : 최희선, 30147, 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 B동, 한국환경정책·평가연구원 (이메일: choihs@kei.re.kr)
- Correspondence : Hee-Sun Choi, 30147, Bldg. B, 370 Sicheong-daero, Sejong Special Self-Governing City, Korea, Environment Institute (Email: choihs@kei.re.kr)
- 투 고 일: 2019년 8월 3일
심사완료일: 2019년 9월 19일
투고확정일: 2019년 12월 5일

