

산림의 시가지 변화요인을 통한 잠재개발지 분석 및 관리방안*

이지연¹ · 임노을¹ · 이성주² · 조효진³ · 성현찬⁴ · 전성우^{5*}

Analysis and Management of Potential Development Area Using Factor of Change from Forest to Build-up*

Ji-Yeon LEE¹ · No-Oi LIM¹ · Sung-Joo LEE² · Hyo-Jin CHO³
Hyun-Chan SUNG⁴ · Seong-Woo JEON^{5*}

요 약

국토의 지속가능한 개발과 보전을 위해서는 계획적인 개발과 효율적인 환경보전이 수반되어야 한다. 이를 위해서는 기존에 개발된 지역에 대한 분석을 통해 개발에 영향을 준 요인들을 도출하고, 개발압력이 높은 지역에 대하여 적절한 관리방안을 적용함으로써 개발과 보전이 조화를 이룰 수 있도록 유도할 수 있다. 본 연구는 용인시를 대상으로 토지피복이 산림에서 시가지·건조 지역으로 변화된 지역과 여러 가지 사회·지형·제한적 요소 간의 관계를 로지스틱 회귀분석을 통해 회귀식으로 구현하고, 잠재적 개발지를 분석하였다. 잠재 개발지 분석에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 개발제한구역, 보호지역과 같은 제한요소이고, 영향력이 가장 작은 요인은 인구밀도였다. 용인시 산림의 약 148km²(52%)이 잠재적 개발지로 분석되었고, 잠재개발지 중 보호지역에 해당하면서 국토환경성평가지도 1등급으로 환경적 가치가 우수한 지역은 약 13km²으로 도출되었다. 개발 잠재력이 높은 보호지역은 수변구역과 특별대책지역으로 나타나 수변으로 구성된 자연경관이 우수한 지역들이 개발지역으로 선호되고 있었다. 보호지역은 개인의 재산권을 보호하기 위해 일부 행위에 대해 허가를 내주고 있으나 뚜렷한 허가기준이 부재하고, 허가로 인한 환경적 영향을 파악하고 있지 않다. 이는 보호지역이 제 역할을 하지 못하게 하는 요인으로 파악됨에 따라 명확한 예외적 허가기준과 환경영향 모니터링을 통해 관리될 필요가 있다.

2022년 04월 18일 접수 Received on April 18, 2022 / 2022년 05월 16일 수정 Revised on May 16, 2022 / 2022년 05월 17일 심사완료 Accepted on May 17, 2022

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 ICT기반 환경영향평가 의사결정 지원 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(2020002990009)

1 고려대학교 환경생태공학과 석·박통합과정 Integrated PhD course, Korea University Environmental Science & Ecological Engineering

2 한국환경연구원 환경평가본부 연구원 Researcher, Korea Environment Institute, Environmental Assessment Group

3 고려대학교 환경생태공학과 석사과정 Master's course, Korea University Environmental Science & Ecological Engineering

4 고려대학교 오정리질리언스연구원 연구교수 Research Professor, Korea University OJeong Resilience Institute

5 고려대학교 환경생태공학과 교수 Professor, Korea University Environmental Science & Ecological Engineering

* Corresponding Author E-mail : eepss_korea@korea.ac.kr

주요어 : 토지피복지도, 로지스틱 회귀모델, 지리정보, 잠재개발지

ABSTRACT

For the sustainable development and conservation of the national land, planned development and efficient environmental conservation must be accompanied. To this end, it is possible to induce development and conservation to harmonize by deriving factors affecting development through analysis of previously developed areas and applying appropriate management measures to areas with high development pressure. In this study, the relationship between the area where the land cover changed from forest to urbanization and various social, geographical, and restrictive factors was implemented in a regression formula through logistic regression analysis, and potential development sites were analyzed for Yongin City. The factor that has the greatest impact on the analysis of potential development area is the restrict factors such as Green Belt and protected areas, and the factor with the least impact is the population density. About 148km²(52%) of Yongin-si's forests were analyzed as potential development area. Among the potential development sites, the area with excellent environmental value as a protected area and 1st grade on the Environment Conservation Value Assessment Map was derived as about 13km². Protected areas with high development potential were riparian buffer zone and special measurement area, and areas with excellent natural scenery and river were preferred as development areas. Protected areas allow certain actions to protect individual property rights. However, there is no clear permit criteria, and the environmental impact of permits is not understood. This is identified as a factor that prevents protected areas from functioning properly. Therefore, it needs to be managed through clear exception permit criteria and environmental impact monitoring.

KEYWORDS : *Land Cover, Logistic Regression Model, Geographic Information System, Potential Development Area*

서 론

우리나라 산림은 전체 국토의 약 63%를 차지하고 있으며, 산림이 도로신설 및 주택건설, 산업단지 조성 등 타용도로 변경되면서 지속적으로 산림면적이 감소하고 있다(2020 산림기본통계). 산림훼손은 수원함양기능, 토사붕괴방지 기능, 산림휴양기능, 산림치유기능, 생물다양성 보전기능 등 다양한 산림의 공익적 기능을 상실시킨다(Cho, 2014). 그러나 우리나라의 지리적·지형적 특성에 따라 가용토지가 부족한 상황으로, 비교적 지가가 저렴하고, 자연경관이 우

수한 산지 및 구릉지에도 개발압력이 심화되고 있다.

무계획적인 난개발로부터 발생하는 문제점을 방지하고, 국토의 지속가능한 개발과 보전을 위해 향후 개발로 인해 일어날 수 있는 도시지역의 확장을 예측하여 국토계획과 환경계획을 연계한 계획 수립 필요성이 인식되었다(Kim *et al.*, 2019). 이와 관련하여 도시확장 모의 및 토지이용 변화 예측 연구는 최근까지 활발히 이루어져 왔다. 이동근 외(2011)는 Dyna-CLUE 모델을 이용하여 양평, 여주지역의 토지이용 정책을 고려하여 시나리오별 미래 토지이용 변화 패턴을 분석하고, 그 지역의 자연환경에 미치는

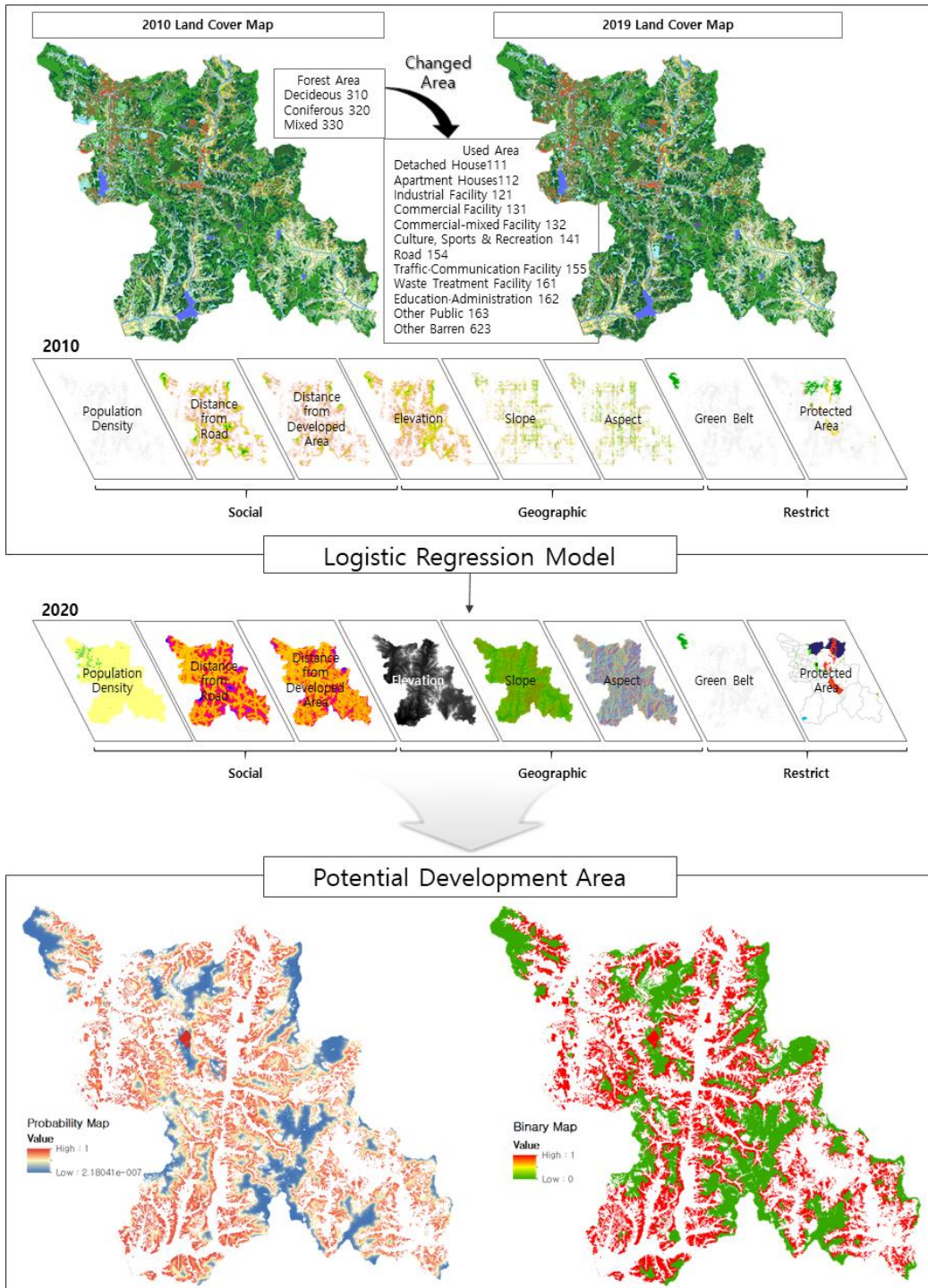


FIGURE 1. Workflow of research

영향을 분석하였다. 이용관 외(2016)는 도시 면적 증가 추세와 농지면적 감소 전망에 따라 도시성장 시나리오를 작성하고, CLUE-s 모델을 이용하여 한반도의 미래 토지이용변화를 예측하였다. 이외에도 토지이용변화 예측에는 SLEUTH(Park and Ha, 2013), 셀룰러오토마타(Kim, 2016; Kim and Kim, 2018; Kim and Kwon, 2018), 시공간체인통계량(Kim and Koo, 2012) 등 다양한 방법론이 사용되었으며, 모델 구동에 필요한 환경변수들도 다양하게 사용되어왔다. 그러나 대부분의 선행연구들은 미래 도시확장 예측과 토지이용변화 예측에 초점을 맞추었으며, 예측된 지역의 환경적 특성과 관리방안 등 정책적 제언에 대한 내용은 미비했다.

중앙정부와 각 지방자치단체는 국토계획과 도시계획 수립을 통해 국토의 공간구조와 기능, 환경보전, 경관 등과 관련하여 정책 방향을 계획한다. 이 과정에서는 국민의 개별적인 개발계획은 포함되지 않기 때문에 개인의 개별적인 개발을 허가해주는 과정에서 난개발이나 기반시설 부족, 경관 부조화, 동·식물 서식처 감소 등 예상치 못한 환경적 측면의 다양한 문제점들이 발생한다. 개별적인 개발 허가에 따른 문제점이 재발하는 것을 방지하기 위해서는 원인과 결과를 명확히 밝히고, 개발수요가 높은 지역을 대상으로 환경적 특성을 반영하여 적절한 관리방안을 도입하는 과정이 필요하다. 따라서, 본 연구는 토지피복이 산림에서 시가지·건조지역으로 변화된 지역의 영향요인을 도출하고, 로지스틱 회귀분석을 통해 잠재적 개발지를 분석하여 해당 지역에 대한 환경적 특성에 따른 관리방안을 제시하고자 한다(그림 1).

연구방법

1. 연구 대상지

용인시는 전체면적 591.23km², 인구수 약 109만명으로 기초자치단체 지위를 유지하면서 일반시와 차별화되어 ‘광역시’에 준하는 행·

재정적 자치권한과 재량권을 부여받는 특별시로 지정되었다. 그간 각종 도시개발사업이 진행되었고, 평지보다는 대부분 산림과 계곡이 많은 산악 지형 특성에 따라 개발로 인해 주변 경관과의 부조화, 양호한 산지 및 농지 잠식 등 다양한 문제가 발생하였다. 용인시는 2018년에 난개발조사특별위원회를 꾸려 유형별 난개발실태를 담은 활동백서를 발간하기도 하였다. 하지만 이런 난개발 문제가 지속적으로 발생함에도 불구하고, 용인시는 2035년 인구 목표를 128만 명으로 설정하여 향후 인구 증가와 도시개발로 인한 산림 훼손 및 자연 생태계 파괴가 우려되는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 용인시를 연구 대상지로 설정하고 미래 잠재적 개발지를 파악하여 이에 적합한 관리방안을 제시하고자 한다(용인시 2035 도시기본계획).

2. 로지스틱 회귀모델

로지스틱 회귀모델은 0과 1로 이루어진 종속변수와 관련된 여러 독립변수와의 상관성을 객관적이고 정량적으로 도출할 수 있다. 로지스틱 회귀모델은 정규분포를 이루지 않는 독립변수에도 적용 가능하며, 데이터의 유형(이산형, 등급형, 명목형, 연속형)에 구애받지 않고 분석에 적용이 가능한 장점을 지닌다(Kim *et al.*, 2019). 또한, 종속변수와 독립변수의 상관성을 나타내는 로지스틱 회귀모델을 통해 사건 발생의 확률 지도를 구축할 수 있어 다양한 분야에서 활용되는 분석방법이다. 본 연구에서 구축된 영향요인들은 정규분포를 이루지 않으며, 데이터의 유형도 매우 다양한 점을 고려하였을 때, 로지스틱 회귀모델이 잠재 개발지 분석에 적합하다고 판단하였다.

2010년 산림지역에 대해서 2019년 산림지역으로 유지되는 곳은 0으로 하고, 시가지·건조지역과 기타나지로 변화된 지역은 1로 하여 종속변수를 구축하였다. 기타나지는 인공적으로 조성된 나지로 채광지역과 운동장을 제외한 토사로 된 절성토면, 공사로 인한 나지, 비포장 도로·농로·임도 등을 포함한다. 변화된 지역(1)

에 비해 변화되지 않은 지역(0)의 표본이 너무 많아 데이터의 불균형이 발생하였다. 불균형 데이터를 이용하여 로지스틱 회귀분석을 수행하게 되면 소수집단의 분류 정확도가 감소하는 현상을 보인다(Park *et al.*, 2015). 따라서 데이터 불균형을 극복하기 위해, 변화된 지역으로부터 거리가 먼 지역을 조건으로 언더샘플링하여 변화된 지역(1)과 셀 개수를 동일하게 만들었다.

로지스틱 회귀모델에 사용할 독립변수를 선정하기 위해 산림이 시가화·건조 지역으로 변화하는데 영향을 미치는 요인들 간의 다중공선성 분석을 수행하였다. 다중공선성은 독립변수 간 상관성을 분석하여 독립성을 확인하는 지표이다. 다중공선성이 존재하는 경우, 도출된 모델의 통계적 유의성과 정확도가 감소하므로 독립성 평가는 로지스틱 회귀모델 수행에 앞서 필수적인 단계이다. 분산팽창계수가 10보다 크면 다중공선성이 존재하는 것으로 판단한다.(Seo and Jun, 2017; Senavirantna and Cooray, 2019; Lee *et al.*, 2020)

선정된 변수들로 구축된 로지스틱 회귀모델의 예측력을 평가하기 위해 AUC를 사용하였다. ROC(Receiver Operating Characteristics) 곡선의 하부 면적인 AUC(Area Under Curve) 값은 다양한 예측모델에 대한 검증 및 정확도 평가에 널리 사용된다(Gayen and Saha, 2018; Bera *et al.*, 2020; Saha *et al.*, 2020). AUC 값의 범위가 0.5~0.6일 때 불합격(fail), 0.6~0.7일 때 나쁨(poor), 0.7~0.8일 때 보통(fair), 0.8~0.9일 때 양호(good), 0.9~1.0일 때 우수(excellent)하다고 분류하여 모델의 성능을 평가하였다(Rasyid *et al.*, 2016).

선정된 독립변수들의 2010년 데이터를 이용하여 로지스틱 회귀모델을 도출하였고, 잠재개발지를 분석하기 위해서 2019년 토지피복지도의 산림지역에 대한 환경변수를 회귀식에 대입하여 용인시 2030년 잠재 개발지를 분석하였다.

3. 분석자료

산림지역을 대상으로 잠재적 개발지를 분석하

기 위해 과거의 산림지역이 현재는 시가화·건조 지역으로 변화된 지역을 추출하여 종속변수로 설정하고, 이를 기반으로 다양한 독립변수들과의 관계를 분석하여 잠재적 개발지를 분석하였다. 개발과 관련하여 토지이용 변화 및 도시 지역 확장 예측에 대해 다양한 연구가 수행되어 왔다. 선행연구 검토 결과, 토지이용 변화 예측 시 토지피복지도(Lee *et al.*, 2011; Park and Ha, 2013; Kim and Yoon, 2015; Lee *et al.*, 2016)나 용도지역(Jang and Yi, 2015; Kim, 2016; Kim and Kim, 2018)을 기반으로 연구하였고, 토지이용 변화 요소로 인문환경적 요인으로 인구수, 인구밀도, 주택수, 아파트수, 접근성(Kim and Sakong, 2006) 등을 고려하였고, 자연환경적 요인으로 표고, 경사, 토양, 임상, 국토환경성평가지도(Kim and Kwon, 2018; Kim *et al.*, 2019) 등을 고려하였다. 또한, 개발을 제한하는 요인으로 개발제한구역, 보호지역을 고려하였다(Kim *et al.*, 2018).

본 연구는 선행연구 검토에 따라 2010년 영상과 2019년 영상으로 제작된 환경부 세분류 토지피복지도를 이용하여 산림지역에서 시가화·건조 지역과 인공나지로 변화된 지역을 추출하여 종속변수로 설정하였다. 환경부 세분류 토지피복지도는 2020년부터 매년 갱신하여 제공되고 있으므로, 향후 지속적인 분석을 위해서는 용도지역보다 더 상세한 정보를 제공하는 토지피복지도의 사용이 적합하다고 판단하였다.

산림이 시가화·건조 지역으로 변화하는데 미치는 영향요인을 ‘사회적 요인’, ‘지형적 요인’, ‘제한요인’ 3가지로 구분하였다(표 1). 사회경제 요인으로 인구밀도, 도로부터의 거리, 기개발지부터의 거리를 설정하였고, 지형적 요인으로는 고도, 경사, 향을 설정하였다. 인구밀도는 통계지리정보서비스에서 제공하는 집계구별 인구밀도 통계를 사용하였고, 도로부터의 거리와 기개발지부터의 거리는 국가교통데이터베이스에서 가장 최신으로 제공하는 2019년 도로망 데이터를 다운받아 ArcGIS의 Euclidean Distance tool을 사용하여 데이터를 구축하였다. 고도, 경사, 향은 국가공간정보포털에서 국

TABLE 1. Information of research material

Categories		Year	Source
Social	Population density	2010, 2020	Statistical Geographic Information Service
	Distance from the road	2010, 2019	Korea Transport DataBase
	Distance from the development area	2010, 2019	Environmental Geographic Information Service
Geographic	Elevation		
	Slope	2014, 2020	National Spatial Data Infrastructure Portal
	Aspect		
Restrict	Green belt	2010, 2020	National Spatial Data Infrastructure Portal
	Protected area	2010, 2020	Korea Database on Protected Areas

TABLE 2. Reconstruction of aspect

Value	Direction	Range
0	Flat	-1
1	North	0-22.5
2	Northeast	22.5-67.5
3	East	67.5-112.5
4	Southeast	112.5-157.5
5	South	157.5-202.5
6	Southwest	202.5-247.5
7	West	247.5-292.5
8	Northwest	292.5-337.5
9	North	337.5-360

TABLE 3. Designation of protected area

Designation
Landscape Reserve
Urban Natural Park Area
Water Source Protection Area
Riparian Buffer Zone
Catchment Reserve Protection Area I
Catchment Reserve Protection AreaII
Wildlife Protection Area
Disaster Prevention Reserve
Special Measurement Area
Natural Environment Conservation Area

토지리정보원이 2014년에 제작한 수치표고모델 데이터를 다운받아 ArcGIS의 Slope과 Aspect tool을 이용하여 구축하였고, 잠재개발지 분석을 위해 2020년 수치지형도의 등고선 데이터를 사용하여 최신화된 수치표고모델을 제작하였다. 범주형 데이터인 향(Aspect)은 8방면으로 구분하여 데이터를 재구성하였다(표 2). 제한요인으로는 국가공간정보포털에서 제공하는 개발제한구역 데이터와 한국보호지역통합DB관리 시스템(Korea Database on Protected Areas, KDPA)에서 제공하는 보호지역으로 설정하였고, 범주형 데이터에 속하면서도 서열이 없는 명목형 변수이기 때문에 더미변수로 바꾸어 분석에 사용하였다(표 3). 모든 데이터 전처리 및 분석은 R studio와 ArcGIS 소프트웨어를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 로지스틱 회귀모델 구축 결과

영향요인 간의 다중공선성 분석 결과, 분산팽창지수(Variance Inflation Factor, VIF)가 1.017에서 2.251 사이로 도출되어 다중공선성이 존재하지 않아 모든 영향요인을 독립변수로 사용하였다. 2010년 세분류 토지피복지도와 2019년 세분류 토지피복지도를 이용하여 구축된 산림의 시가지 변화에 대한 종속변수와 해당 지역의 사회적 요인, 지형적 요인, 제한요인에 대한 독립변수들로 로지스틱 회귀모델을 도출한 결과는 표 4와 같다. 보호지역 더미변수 중 p-value가 0.05보다 큰 제1종수원함양보호구역, 제3종수원함양보호구역, 야생생물보호구역을 제외한 나머지 변수는 산림의 잠재적 개발지 분석을 위한 로지스틱 회귀모델에 유의미한 변수로 나타났다. 향과 보호지역 중 수변구역과 특별대책지역의 계수가 양수이고, 인구밀도, 도로로부터의 거리, 기개발지부터의 거리, 고도, 경사, 개발제한구역의 계수는 음수로 나타나 향과 수변구역, 특별대책지역의 값이 클수록 개발될

TABLE 4. Result of logistic regression model

Variables	Coefficient	Std.Error	z value	Pr(> z)
Intercept	4.6e+00	2.6e-02	175.3	<2e-16***
Population density	-1.8e-04	6.8e-06	-26.3	<2e-16***
Distance from road	-1.5e-03	2.5e-05	-58.5	<2e-16***
Distance from developed area	-5.3e-03	7.2e-05	-74.5	<2e-16***
Elevation	-1.3e-02	1.3e-04	-97.1	<2e-16***
Slope	-7.5e-03	6.7e-04	-11.2	<2e-16***
Aspect	2.3e-02	4.7e-03	4.8	1.52e-06***
Green Belt	-9.8e-01	1.5e-01	-6.5	6.17e-11***
Urban Natural Park*	-2.5e+00	8.0e-02	-31.9	<2e-16***
Riparian Buffer Zone*	7.2e-01	4.4e-02	16.3	<2e-16***
Catchment Reserve Protection Area I*	-1.2e+01	5.5e+01	-0.2	0.8264
Catchment Reserve Protection Arealll*	-9.9e-01	5.3e-01	-1.9	0.0594
Wildlife Protection Area*	1.6e+01	3.8e+02	0.04	0.9664
Special Measurement Area*	2.1e-01	3.0e-02	7.2	7.93-e13***

* : Dummy variables of Protected Area

확률이 높아지는 것으로 나타났다. 더미변수로 들어간 도시자연공원 계수의 절댓값이 가장 크고, 개발제한구역, 수변구역, 특별대책지역 순으로 나타나 산림의 잠재개발 분석에 있어서 제한 요소들이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 계수의 절댓값이 가장 작은 변수는 인구밀도로 나타나 개발에 영향을 가장 적게 미치는 것으로 분석되었다.

구축된 로지스틱 회귀모델의 AUC 값은 0.93이고, 정확도(Accuracy)는 0.87로 도출되어 로지스틱 회귀모델의 예측 성능이 우수한 것으로 판단하였다.

2. 개발지 환경적 특성 분석

로지스틱 회귀모델 구축에 따라 개발된 지역에 대한 향의 분포 패턴을 확인한 결과, 평지의 빈도수가 가장 크지만 다양한 범위의 향에서 빈도수가 나타났기 때문에 본 모델과 양의 관계를 갖는 것으로 판단하였다(그림 2). 산림지역임에도 불구하고, 평지가 많이 개발된 것으로 나타난 이유는 대부분의 개발지가 산림과 기개발지의 경계에서 발생하였기 때문이다. 그림 4의 (e)에서도 볼 수 있듯, 경사도가 0-10° 인 지역에서 가장 개발이 많이 이루어졌음을 확인할 수 있다. 과거 건물의 입지를 결정할 때 우선적

으로 고려했던 남향의 여부가 2000년대 들어서는 조망을 더 중요시하는 인식의 변화로 인해 다양한 방위에서 개발이 이루어진 현실을 회귀식이 잘 반영했다고 볼 수 있다(Heo and Lee, 2011).

보호지역으로 지정된 지역에 차지하는 개발 면적을 확인한 결과, 수변구역과 특별대책지역에 가장 많이 개발된 것으로 나타났다. 이 외에 도시자연공원구역, 재해방지보호구역 등 다른 보호지역에서도 일부 개발이 일어나 모델에 양의 관계를 갖는 변수로 설정되었다(그림 3). 특별대책지역은 팔당호 상수원 수질보전을 위해 지정된 지역으로, 환경오염·환경훼손 또는 자연생태계의 변화가 현저하거나 현저하게 될 우려가 있는 지역과 환경기준을 자주 초과하는 지역의 환경보전을 위하여 환경부 장관이 「환경정책기본법」 제38조에 따라 지정·고시한다(「팔당·대청호 상수원 수질보전 특별대책지역 지정 및 특별종합대책」). 수변구역은 하천·호소의 500m에서 1km 이내로 지정하여 관리기본계획 수립 및 실행, 행위제한 등을 통해 상수원의 적절한 관리와 수질 개선을 목적으로 한다(「한강수계 상수원수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률」 제4조제1항). 두 보호지역은 하천 및 호소와 그 주변 지역을 대상으로 지정된다는 점이

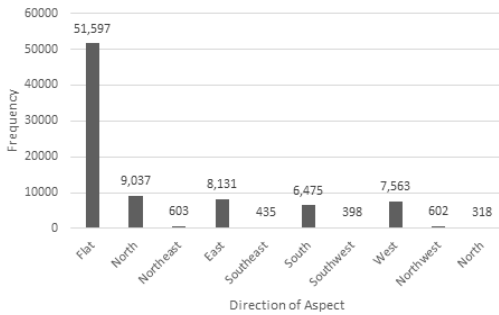


FIGURE 2. Aspect of developed area

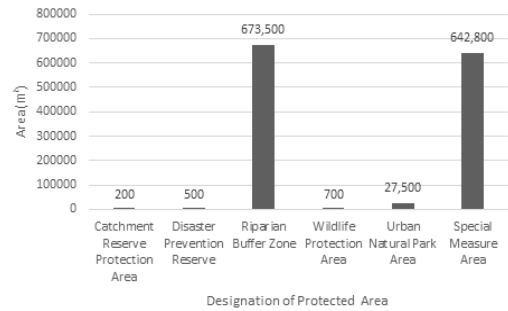


FIGURE 3. Developed area on protected area

공통된다. 경제성장과 소득증가에 따라 삶의 질과 주거환경의 질적 향상에 대한 관심이 커지면서, 자연경관이 양호하고, 조망경관이 우수한 주택에 대한 선호도가 매우 높아졌다(Hwang *et al.*, 2008). 산, 하천, 공원 등의 경관조망 및 이용이 가능한 주택이 선호되고, 실거래가에 반영되고 있는 점을 본 회귀식이 잘 나타내고 있다(Kim *et al.*, 2007). 실제로 수변구역에서 일반 단독주택은 허가의 대상이 되고 있다. 그러나 생활하수가 하천 수질 오염의 원인으로 크게 평가되고 있어 이러한 개발이 지속된다면 보호지역 지정 목적과 다르게 심각한 환경훼손이 발생할 수 있다. 이에 반해 개발제한구역의 경우, 보호지역보다 행위제한이 매우 엄격하게 이루어지고 있어 개발이 거의 불가능한 점이 회귀식과 음의 관계를 갖는 것으로 나타났다. 개발제한구역은 앞서 언급한 보호지역에 비해 개인의 재산권을 보호해줄 수 못하지만, 환경보존에는 확실한 역할을 하는 것으로 나타났다. 보호지역도 제 역할을 할 수 있도록 일부 환경오염 취약지역에 대해 행위제한을 강화하는 등의 조치가 필요하다.

다른 변수들의 히스토그램을 그려본 결과, 값이 작은 부분에서는 개발이 많이 발생하지만, 값이 커질수록 개발이 적게 일어나는 것으로 나타나 모델과 음의 관계를 갖는 것으로 나타났다(그림 4). 기개발지는 이미 인구나 건축물이 포화된 상태로, 더 이상의 개발이 어려움에 따라 기개발지에 비해 상대적으로 인구밀도가 낮지만

중심지와 가깝고, 이동이 원활할 수 있도록 도로로부터의 거리가 가까운 지역이 개발지역으로 선호된다. 또한 도보와 교통수단을 통한 이동이 편리하고, 지반이 안정된 곳이 개발지로 적합하기 때문에 고도와 경사도가 낮은 지역이 선호된다. 이러한 개발지의 특성들이 회귀식에 반영된 것이라고 할 수 있다.

많은 지자체에서 개발행위허가의 기준으로 사용하는 항목이 고도와 경사도이다. 용인시는 고도와 관련해서 현재까지 기준이 부재하고, 경사도 기준은 17.5° 미만인 토지였다가 2015년에 처인구는 25°, 기흥구는 21°, 수지구는 17.5° 이하로 기준을 대폭 완화하였다. 이는 개발 가능 용지를 최대한 확보하여 개발수요에 적극적인 대응을 하고자 함이었고, 그 결과 난개발의 대명사라는 별명이 붙여졌다. 고도와 경사도의 히스토그램에서 볼 수 있듯이, 270m 이상의 표고에서도 개발이 많이 이루어졌으며, 25° 이상의 경사에서도 개발이 발생함을 확인할 수 있다(그림 4, (d), (e)). 평지가 많고, 서울과 가까운 이점으로 수지구와 기흥구에서 개발이 활발히 이루어진 반면, 처인구는 산지와 구릉지가 많고, 팔당호로 유입되는 경안천이 위치하여 각종 규제가 더해져 상대적으로 개발이 더디다. 2019년부터 난개발 반대 여론과 수지·기흥구의 환경보호를 위한 추가 개발 억제 의견을 반영하여 개발행위허가의 기준이 강화되었으나, 개발이 미진한 처인구 주민들은 도시 내 발전의 격차를 언급하며 개발의 형평성을 주장하고 있

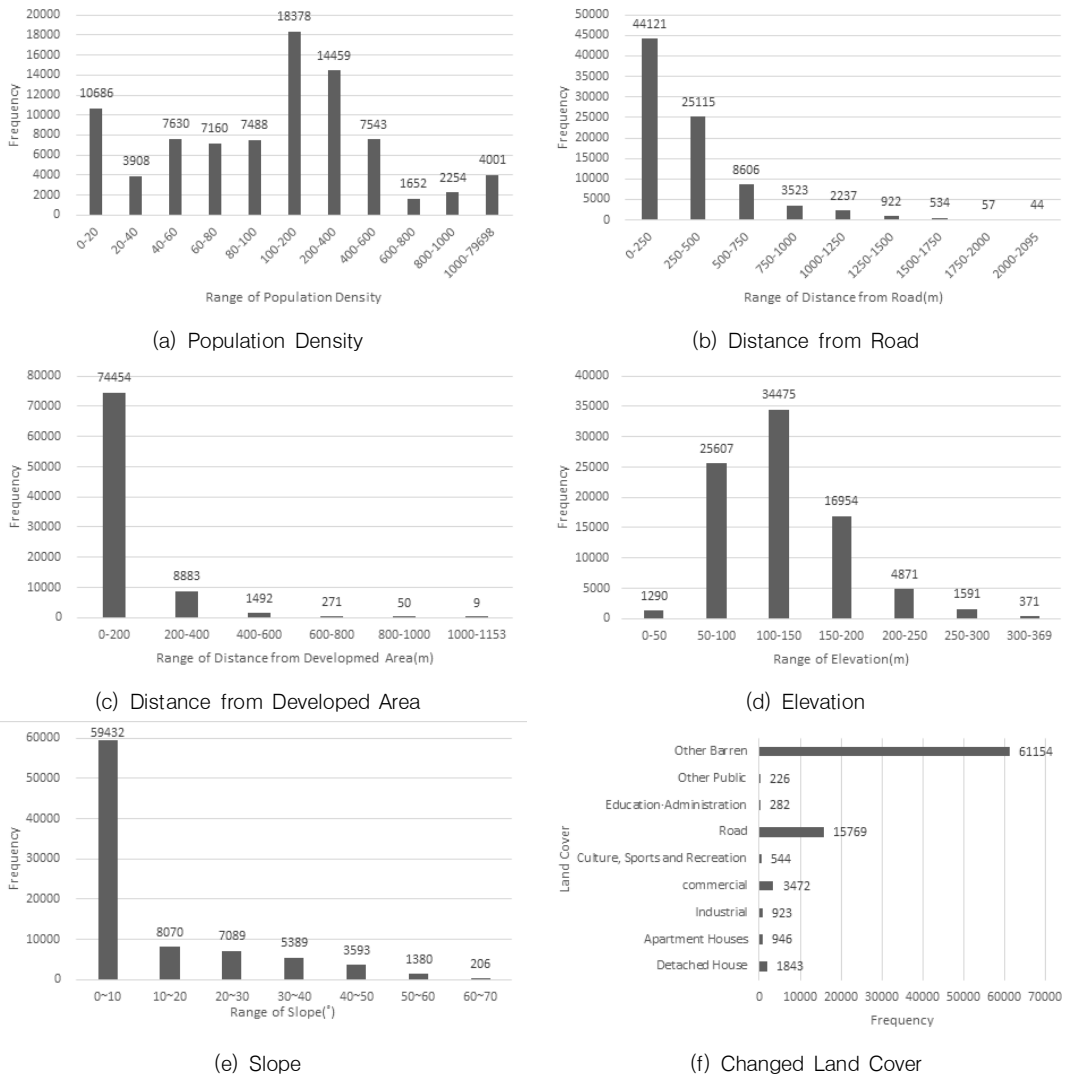


FIGURE 4. Histogram of independent variables on developed area

고, 이는 도시 내 경쟁과 갈등을 만들어내고 있다(Ryu and Chi, 2021). 용인시는 도시계획조례 개정 및 도시기본계획 수립 시 이해당사자들과 충분한 논의와 협의를 통해 도시 내 균형발전을 고려한 공간구조 설정으로 갈등을 해소할 수 있도록 하여야 한다.

3. 잠재 개발지 분석

연속값을 가지는 잠재개발 확률지도를 0과 1 값으로 표현하기 위해 R OptimalCutpoints 패키지를 이용하여 임계값을 설정하였다. 가장 일반적인 방법인 민감도(Sensitivity)와 특이도(Specificity)를 이용하는 경우, 예측발생빈도가 구축데이터의 1 값 발생빈도에 독립적이지 못한 한계가 있어, 낮은 발생빈도를 갖는 로지스틱 모델의 경우 사건의 빈도수(Prevalence)를 기준으로 설정한 임계값 사용이 적절하다(Lee *et*

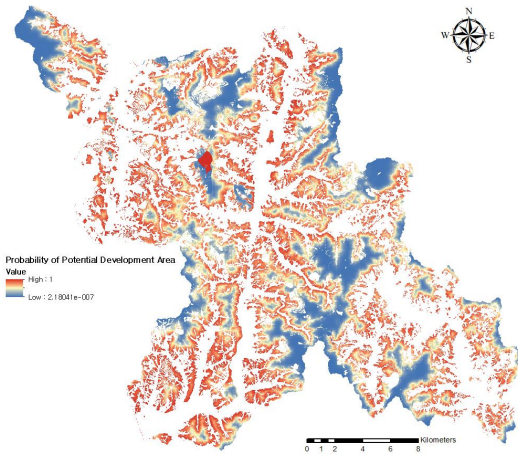


FIGURE 5. Probability of potential development map on forest area

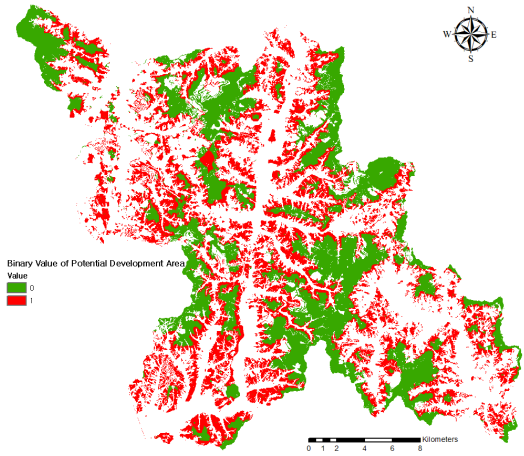


FIGURE 6. Development prediction results on forest area

al., 2020). 따라서, 본 연구는 임계값 설정 방법으로 예측된 발생빈도수(Predicted prevalence)와 관측된 발생빈도수(Observed prevalence)가 같은 지점을 사용하는 빈도수 동일지점(PrevalenceMatching)을 임계값 설정 방법(method)으로 선택하였다. 그 결과, 임계값은 0.61로 도출되어 용인의 산림지역 중 개발될 것으로 예측된 면적은 약 148km²로 이는 용인시 전체 임야 면적의 약 52%를 차지하는 것으로 나타났다(그림 5, 6). 잠재 개발지 중 보호지역에 포함되는 면적은 약 21.3km²로 약 14%를

차지한다. 수변구역에서 10.3km²(7.01%), 특별대책지역에서 9.8km²(6.66%) 순으로 잠재 개발면적이 가장 큰 보호지역으로 나타났다(그림 7). 이는 앞서 로지스틱 회귀모델의 결과와 비슷한 경향성을 보이며, 앞으로도 산, 하천, 공원과 인접하여 우수한 자연경관과 조망권을 제공하는 지역의 개발 잠재력이 높음을 확인할 수 있다. 개발 잠재력이 가장 낮은 상수원보호구역은 상수원을 오염시키는 행위가 금지되며, 일정요건을 충족하는 경우 허가 또는 신고에 의해 개발이 가능하지만 사실상 허가를 받기가 매우

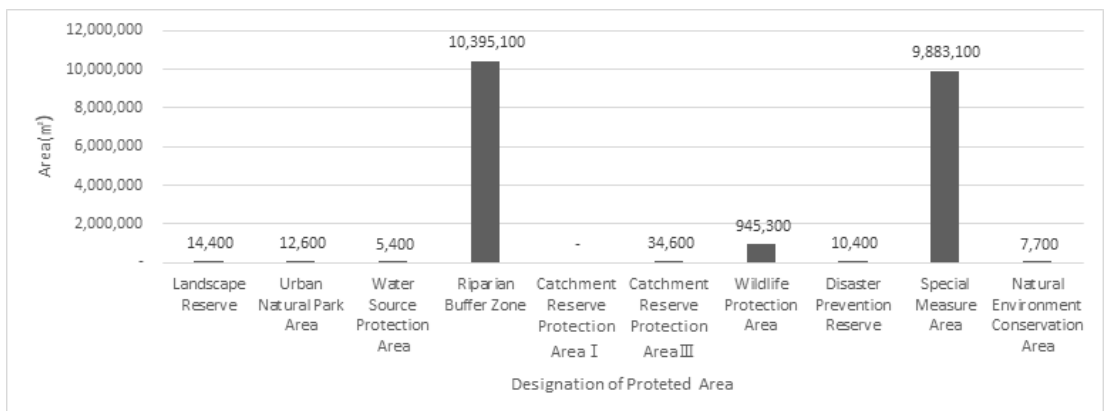


FIGURE 7. Predicted development area on protected area

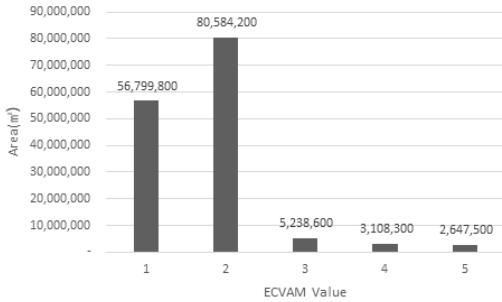


FIGURE 8. Environmental Conservation Value Assessment of potential development area

어려운 점이 반영된 것이다(「수도법」 제7조). 그 다음으로 산림보호구역에 해당하는 경관보호구역, 수원함양보호구역, 재해방지보호구역은 산림청장 또는 시·도지사에게 의해 지정되며, 벌채, 임산물의 채취, 가축의 방목, 토지의 형질 변경 등에 대한 행위가 제한되지만, 농림축산식품부령에 따라 산림보호시설의 설치 등의 일부 행위가 가능하다(「산림보호법」 제9조). 이처럼 개발 잠재력이 낮은 보호지역들은 개발제한구역과 마찬가지로 행위 제한이 엄격하고, 허가의 승인이 어려운 공통점을 가지고 있다. 야생생물 보호구역은 보호구역 내 행위에 제한뿐만 아니라 출입을 제한하거나 금지하기도 하지만, 각 지방자치단체에서 조례를 통해 지정하기 때문에 보호구역의 존치여부는 쉽게 변경가능하다(「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」 제33조).

우리나라의 국토는 자연환경의 보전과 자원의 효율적 활용을 통하여 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전을 이루기 위하여 이용되고 관리되어야 함을 기본원칙으로 한다(「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제3조). 따라서, 개발을 계획할 때는 개발의 사회·경제적 가치뿐만 아니라 환경적으로 개발에 적합한 지역인지 확인하는 과정이 필요하다. 잠재 개발지로 도출된

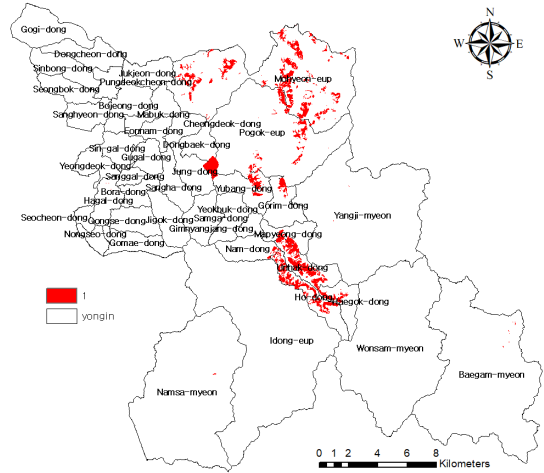


FIGURE 9. ECVAM value 1 and protected area on potential development area

지역의 일부가 보호지역과 중첩되는 것으로 나타나, 해당 지역의 환경적 가치를 파악하기 위해 국토환경성평가지도(Environmental Conservation Value Assessment Map, ECVAM)를 사용하였다. 국토환경성평가지도는 국토를 친환경적이고, 계획적으로 보전하고 이용하기 위하여 다양한 환경 공간정보를 종합하여 환경적 중요도에 따라 5개 등급으로 평가한 지도로, 전략환경영향평가 및 소규모 환경영향평가에서 대상지의 환경적 특성을 파악하거나 도시계획 수립 시의 사결정의 기초자료로 사용되고 있기 때문에 잠재 개발지의 환경적 가치를 파악하기에 적절하다고 판단하였다. 1등급 지역은 최우선 보전지역으로 원칙적으로 개발 비대상지이고, 2등급 지역은 보전을 우선하되 법령이 허용하는 범위 내에서 소규모 개발을 부분 허용하도록 권고하여 보전가치가 높은 토지로 해석된다. 잠재적 개발지의 국토환경성평가지도 등급 분포를 분석한 결과, 1등급 지역에 포함되는 잠재적 개발지의 면적이 약 56km²(38%), 2등급 지역이 약 80km²(54%)으로 잠재적 개발지의 환경적 가치가 우수한 것으로 나타났다(그림 8). 보호지역에 해당하고, 국토환경성평가지도 1등급 지역인 잠재적 개발지의 면적은 약 13km²(9%)으로 모현읍,

포곡읍, 유방동, 운학동, 호동에 넓게 분포하고 있다(그림 9). 특히 포곡읍과 모현읍은 에버랜드와 경안천 등 관광자원이 풍부하고, 유방동과 운학동, 호동은 용인행정타운과 가까운 특징을 가진다. 동시에 해당 지역들은 서울~세종간 고속도로(모현IC) 건설에 따라 광역교통망이 확충되어 개발 잠재력이 매우 큰 지역이다. 이처럼 환경적 가치가 우수하지만 주변의 교통 인프라 구축 등 개발에 매력적인 요소를 갖고 있어 개발에 취약한 지역들을 파악하여 단계적으로 개발허가 기준을 적용하고, 적절한 보전·보호정책 수립을 통해 개인의 재산권을 보호하면서 자원의 효율적 활용과 지속가능한 발전을 도모하여야 한다.

4. 보호지역 관리방안

도출된 회귀식에서 보호지역이 개발에 긍정적인 영향을 미치는 변수로 나타났다. 보호지역 중에서도 특별대책지역과 수변구역에서 가장 많이 개발되었는데, 특별대책지역은 관리적 성격의 법률이고, 수변구역은 행위 제한을 통한 규제적 성격의 법률이라는 차이점을 갖는다. 그러나 수변구역도 상수원의 수질보전에 지장이 없다고 인정되는 경우, 일부 행위에 대해 허가를 받을 수 있다. 이러한 예외적 허용은 개인의 재산권을 보호해주는 역할을 하면서도, 보호지역 지정 목적을 달성하기 어렵게 만든다. 일부 행위에 대한 허가기준이 따로 없고, 허가 이후에는 모니터링 등의 사후관리가 이루어지지 않기 때문에 해당 허가로 인한 실제 환경영향 파악도 어려운 것이 현실이다.

보호지역의 궁극적 목적을 달성하기 위해서는 먼저, 보호지역 내부와 주변에 대한 철저한 조사와 분석을 통해 현황과 문제점을 파악하여야 한다. 보호지역에 서식하는 동·식물 현황과 기후, 토양, 토지이용 등의 여러 환경적 요소들을 파악하여 해당 보호지역 내·외부의 특성을 파악하는 것이 중요하다.

둘째, 현황과 문제점을 바탕으로 보호지역의 관리계획 수립 및 시행이 원활하도록 법·제도

를 정비하고, 이를 뒷받침할 정책과 지침을 마련해야 한다. 현재 수변구역에 대해서는 5년마다 관리기본계획 수립이 이루어지고 있으나, 특별대책지역은 관리계획을 따로 수립하지 않고 있다. 관리계획 시행이 원활하기 위해서는 보호지역에서의 행위제한 및 허가에 대한 기준이 명확하게 정립되어야 한다. 개발사업에 따른 영향은 사업의 업종, 입지하는 지역의 특성과 환경여건 등에 따라 다르게 나타나고, 영향의 정도도 다르다(Joo et al., 2013). 따라서, 사업의 업종, 입지 특성, 타법의 기준 등을 종합적으로 고려하여 행위제한 및 허가 기준을 정립하여야 한다. 또, 관리계획 수립시 개발의 영향을 직접적으로 받는 지역을 우선하여 집중적으로 관리하는 등의 차등적인 관리전략을 통해 효율성과 경제성을 고려할 필요가 있다.

셋째, 보호지역에 대한 관리가 계획에 따라 진행되고 있는지, 이에 따라 보호지역의 질적·양적 변화가 있는지 등에 대한 모니터링 결과를 반영하여 관리계획과 허가기준을 수정하여야 한다. 보호지역 내 행위허가에 따라 개발된 지역의 수질과 동·식물상의 변화를 정성적·정량적으로 분석하여 그 영향이 큰 경우 허가기준을 수정하고, 이에 따라 관리계획의 내용을 더 강화하는 등의 환류과정이 필요하다.

이처럼 조사 및 분석, 관리계획 수립 및 시행, 모니터링에 따른 관리계획 및 허가기준 수정의 전과정이 체계적으로 이행된다면 환경적 가치를 지키면서 지역의 지속가능한 발전을 이룰 수 있을 것으로 기대된다(Cho and Lee, 2010).

결론

본 연구는 산림이 시가지·건조 지역으로 변화하는 요인을 사회적 요인, 지형적 요인, 제한요인으로 구분하여 인구밀도, 도로부터의 거리, 기개발지부터의 거리, 고도, 경사, 향, 개발제한구역, 보호지역을 독립변수로 하는 로지스틱 회귀모델을 도출하였다. 잠재개발지 분석을 위한 회귀모델은 제한요소인 개발제한구역과 보호지역의 영향을 크게 받고, 인구밀도의 영향을 가

장 적게 받는 것으로 나타났다. 회귀식에 2020년 데이터를 대입하여 잠재적 개발지를 분석한 결과, 용인시 산림의 약 148km²이 개발될 것으로 예측되었고, 국토환경성평가지도 1등급 지역과 보호지역이 중첩되는 잠재적 개발지의 면적은 약 13km²으로 나타나 자연환경의 가치가 우수한 지역에 개발압력이 큰 것으로 분석되었다. 보호지역 중에서도 수변구역과 특별대책지역의 개발압력이 큰 것으로 나타나, 자연경관이 우수한 지역이 개발에 매력적인 요소로 작용함을 확인하였다. 또, 서울~세종간 고속도로(모현IC) 개통은 주변 지역의 개발을 촉진하였다. 본 연구 결과는 용인시 도시기본계획 및 환경계획 수립 시 의사결정에 필요한 자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

용인시의 과거 개발 특성을 반영하여 도출된 잠재개발지 중 잠재개발 면적이 큰 보호지역인 특별대책지역과 수변구역의 관리방안으로 보호지역 내·외부의 환경 특성 조사 및 분석 결과에 따른 관리계획 수립, 관리계획 이행을 위한 법·제도적 정비, 보호지역 내 행위제한 및 허가를 위한 기준 정립, 보호지역 모니터링에 따른 관리계획 및 행위제한 기준 수정 등의 관리체계를 제시하였다.

선계획 후개발은 지속가능한 사회의 필수 조건이다. 그러한 의미에서 잠재적 개발지 분석을 통해 환경적 영향이 클 것으로 예상되는 지역의 관리 및 보호는 인간과 생태계의 지속가능성을 보장할 수 있는 과정이다. 그러나, 기존의 용인시를 대상지로 한 도시개발 연구들은 과거부터 현재까지 데이터들의 통계 비교를 통해 도시확장 및 개발(Ryu and Chi, 2021), 공간분포(Joo and Park, 2010; Choi and Cho, 2011) 등의 현황을 제시하고 발견된 문제점을 파악하는 정도였다. 본 연구는 과거의 개발패턴을 모델링하여 미래를 예측하고, 개발 잠재력을 가진 지역 중 자연환경의 보호가 요구되는 지역에 대하여 관리방안을 제시했다는 점에서 다른 연구와의 차별성을 가진다.

다만, 각 지자체마다 개발에 영향을 미치는 요인은 경제적 측면이나 정책적 측면에서 지역

적 특성에 따라 매우 다양하고, 그 민감도도 다르다. 따라서, 지역적 특성을 반영할 수 있는 다양한 요인들이 고려된다면 더욱 정확도 높은 잠재적 개발지를 도출하고, 효과적인 관리가 수행될 수 있을 것으로 사료된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Bera, B., S. Saha and S. Bhattacharjee. 2020. Forest cover dynamics(1998 to 2019) and prediction of deforestation probability using binary logistic regression(BLR) model of Silabati watershed, India. *Trees, Forests and People* 2:100034.
- Cho, Y.H and Y.K. Lee. 2010. A study on surveying and improving management of protected areas in Korea. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 38(1):64-73 (조용현, 이용광. 2010. 우리나라 보호지역 관리 실태와 개선방안. *한국조경학회지* 38(1):64-73).
- Cho, Y.S. 2014. Development of a system dynamics model for estimating the volume of forest resources and function of public benefit. *Korean System Dynamics Review* 15(3):5-36 (조윤숙. 2014. 산림 자원 및 산림의 공익기능량 추정을 위한 시스템다이내믹스 모형 개발. *한국시스템다이내믹스 연구* 15(3):5-36).
- Choi J.Y and Y.T. Cho. 2011. Research on the residential environment of new town & surrounding area. *LHI Journal of Land, Housing, and Urban Affairs* 2(1):1-8 (최재유, 조영태. 2011. 대규모 신도시 및 주변 지역 거주환경 비교분석 연구. *LHI Journal* 2(1):1-8).
- Gayen, A., and S. Saha. 2018. Deforestation probable area predicted by logistic regression in Pathro river basin: a tributary of Ajay

- River. *Spatial Information Research* 26(1): 1-9.
- Heo, S and S.W. Lee. 2011. Quantile regression analysis on the residential land values in Seoul. *Korea Industrial Economics Association* 24(2):591-612 (허식, 이성원. 2011. 서울시 주거용지 가격의 분위회귀 분석. *산업경제연구* 24(2):591-612).
- Hwang, H.K., C.M. Lee and M.K. Kim. 2008. Effect of visibility of the Han river on housing price. *Housing Studies* 16(2): 51-72 (황형기, 이창무, 김미경. 2008. 한강 조망이 주택가격에 미치는 영향. *주택연구* 16(2):51-72).
- Jang, S.M and C.H. Yi. 2015. An estimation of the spatial development patterns based on the characteristic city indicators -The case of Gangnam district-. *Journal of Korea spatial information society* 23(3): 23-33 (장성만, 이창효. 2015. 도시특성지표 기반 공간개발 패턴 추정에 관한 연구 - 강남지역을 대상으로 -. *대한공간정보학회* 23(3):23-33).
- Joo, K.S and Y.W. Park. 2010. A study on the growth and spatial differentiation of housing market in Yongin City. *Journal of Korean Geographical Society* 45(2): 240-255 (주경식, 박용우. 2010. 용인시 주택시장의 성장과 공간적 분화에 관한 연구. *대한지리학회지* 45(2):240-255).
- Joo Y.J., H. Sagong., S.K. Choi., S.B. Lee and J.E. Jeon. 2013. An environmentally friendly management plan for small-scale development projects in riparian areas. *Korea Environment Institute* 2013(9):1-111 (주용준, 사공희, 최상기, 이상범, 전정의. 2013. 수변지역 소규모 개발사업의 친환경 경적 관리방안 연구. *수시연구보고서*, 2013(9):1-111).
- Kim, D.J and H.S. Koo. 2012. Application of spatiotemporal pattern analysis to predict land-use change. *Journal of Korea Planning Association* 47(6):65-81 (김대중, 구형수. 2012. 토지이용변화 예측을 위한 시공간패턴분석기법 적용방안. *국토계획* 47(6):65-81).
- Kim, D.W., J.S. Kim and M.K. Kim. 2018. Application of relative favorability function model for land-use and land-cover change (LUCC) prediction in South Korea. *Journal of the association of Korean geographers* 7(3):463-478 (김동우, 김장수, 김만규. 2018. 남한지역 토지피복 변화 예측을 위한 상대선호도함수 모델 적용. *한국지리학회지* 7(3):463-478).
- Kim, G.H., G.S. Lee., O.S. Kim and H.S. Choi. 2019. Urban growth prediction using zoning district and logistic regression analysis. *Journal of the association of Korean geographers* 8(3):517-527 (김근한, 이길상, 김오석, 최희선. 2019. 용도지역과 로지스틱 회귀분석을 이용한 도시지역 확장 예측 연구. *한국지리학회지* 8(3):517-527).
- Kim, H.Y. 2016. Simulation of land use change by storylines of shared socio-economic reference pathways. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 19(2):1-13 (김효용. 2016. 사회경제 경로 시나리오에 따른 토지 이용 변화 시뮬레이션. *한국지리정보학회지* 19(2):1-13).
- Kim, H.Y and J.S. Kim. 2018. Analysis of characteristics and land use regulation of urban growth potential area in Busan metropolitan. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 21(3):138-148 (김효용, 김지숙. 2018. 부산권 도시성장 잠재지역의 특성 및

- 토지이용규제 실태 분석. 한국지리정보학회지 21(3):138-148).
- Kim, I.K and H.S. Kwon. 2018. Simulation of land use changes in Hanam city using an object-based cellular automata model. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 21(4): 202-217 (김일권, 권혁수. 2018. 객체기반 셀룰러오토마타 모형을 이용한 하남시 토지이용변화 모의. 한국지리정보학회지 21(4):202-217).
- Kim, O.S and J.H. Yoon. 2015. Modeling land-change of South Korea under a business-as-usual scenario. Journal of the Korean Urban Geographical Society 18(3):121-135 (김오석, 윤정호. 2015. 현상상태 유지 시나리오를 이용한 토지피복 변화 예측. 한국도시지리학회지 18(3):121-135).
- Kim, T.J and H.S. Sakong. 2006. Determinants of urban sprawl in Seoul metropolitan region. Seoul Studies 7(2):95-116 (김태진, 사공호상. 2006. 수도권지역의 시가화 확산 결정요인 분석. 서울도시연구 7(2):95-116).
- Kim, T.Y., C.M. Lee., J.H. Cho and H. Park. 2007. Differential values of categorical landscape in apartment price. Journal of the Korea Real Estate Analysts Association 13(3):169-186 (김태윤, 이창무, 조주현, 박한. 2007. 경관 특성 차이가 아파트가격에 미치는 영향 -주택실거래가를 사용하여-. 부동산학연구 13(3):169-186).
- Korea Forest Service. 2021. 2020 Forest Basic Statistics. http://www.forest.go.kr/kfsweb/cop/bbs/selectBoardList.do?mn=NKFS_04_05_10&pageIndex=1&pageUnit=10&searchtitle=title&searchcont=&searchkey=&searchwriter=&searchdept=&searchWrd=&ctgryLrcls=CTGRY070&ntcStartDt=
- =&ntcEndDt=&bbsId=BBSMSTR_1016. (Assessed May 18, 2022).
- Lee, D.K., D.H. Ryu., H.G. Kim and S.H. Lee. 2011. Analyzing the future land use change and its effects for the region of Yangpyeong-gun and Yeosu-gun in Korea with the Dyna-CLUE model. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 14(6):119-130 (이동근, 류대호, 김호걸, 이상혁. 2011. Dyna-CLUE 모델을 이용한 양평·여주 지역의 토지이용 변화 예측 및 평가. 한국환경복원기술학회지 14(6):119-130).
- Lee, S.J., J.E. Ryu and S.W. Jeon. 2020. An analysis of environmental policy effect on green space change using logistic regression model : The case of Ulsan metropolitan city. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 23(4):13-30 (이성주, 류지은, 전성우. 2020. 로지스틱 회귀모형을 이용한 환경정책 효과 분석 : 울산광역시 녹지변화 분석을 중심으로. 한국환경복원기술학회지 23(4):13-30).
- Lee, Y.G., Y.H. Cho and S.J. Kim. 2016. Prediction of land-use change based on urban growth scenario in South Korea using CLUE-s model. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 19(3):75-88 (이용관, 조영현, 김성준. 2016. 도시성장 시나리오와 CLUE-s 모형을 이용한 우리나라의 토지이용 변화 예측. 한국지리정보학회지 19(3):75-88).
- Park, I.H and S.R. Ha. 2013. Land use change prediction of Cheongju using SLEUTH model. Journal of Environmental Impact Assessment 22(1):109-116 (박인혁, 하성룡. 2013. SLEUTH 모델을 이용한

- 청주시 토지이용변화 예측. 환경영향평가 22(1):109-116).
- Park, J.S and S.W. Park. 2015. Logistic regression with sampling techniques for the classification of imbalanced data. *Journal of The Korean Data Analysis Society* 17(4):1877-1888 (박재신, 방성완. 2015. 불균형 자료의 분류분석에서 샘플링 기법을 이용한 로지스틱 회귀분석. *한국자료분석학회* 17(4):1877-1888).
- Rasyid, A.R., N.P. Bhandary and R. Yatabe. 2016. Performance of frequency ratio and logistic regression model in creating GIS based landslides susceptibility map at Lompobattang Mountain, Indonesia. *Geoenvironmental Disasters* 3(1):1-16.
- Ryu, J.W and S.H. Chi. 2021. Politics of urban sprawl: A case of Urban Planning Ordinance Amendments in Yongin. *Journal of the Korean Geographical Society* 56(2): 149-160 (류제원, 지상현. 2021. '난개발'의 도시정치 - 용인시 도시계획조례 개정을 사례로 -. *대한지리학회지* 56(2):149-160).
- Saha, S., M Saha., K. Mukherjee., A. Arabameri., P.T.T. Ngo and G.C. Paul. 2020. Predicting the deforestation probability using the binary logistic regression, random forest, ensemble rotational forest, REPTree: A case study at the Gumani River Basin, India. *Science of the Total Environment* 730:139197.
- Senaviratna, N.A.M.R and T.M.J.A. Cooray. 2019. Diagnosing multicollinearity of logistic regression model. *Asian Journal of Probability and Statistics* 5(2):1-9.
- Seo, H.J and B.W. Jun. 2017. Analyzing the driving forces for the change of urban green spaces in Daegu with logistic regression and geographical detector. *Journal of The Korean Association of Regional Geographers* 23(2):403-419 (서현진, 전병운. 2017. 로지스틱 회귀분석과 지리 탐색기를 이용한 대구시 녹지 변화의 동인 분석. *한국지역지리학회지* 23(2):403-419).
- Yongin City. 2018. Yongin-si 2035 Urban Master Plan. http://www.yongin.go.kr/home/www/www09/www09_01/www09_01_01.jsp. (Assessed May 18, 2022) 