

System Dynamics 기반의 산지전용 수요 모델 개발에 관한 연구

곽두안^{1*}

Study on Forestland Conversion Demand Prediction based on System Dynamics Model

Doo-Ahn KWAK^{1*}

요 약

본 연구에서는 우리나라의 미래 산지면적의 변화를 전망하기 위해 요인들의 인과관계에 기반한 System Dynamics 모델을 개발하여 2050년까지 산지전용 수요 변화를 전국 단위로 분석하였다. 모델을 개발하기 위한 산지전용 형태의 유형을 농업용지, 산업용지, 주거·상업용지, 공용·공공용지로 분류하여 시계열 자료로 구축하였다. 각 산지전용 유형에 영향을 주는 피드백 인자를 분석한 결과, 농업용지와 산업용지는 모두 GDP와 직접적인 음과 양의 관계를 가지는 것으로 나타났고, 공용·공공용지는 GDP와 직접적인 양의 관계가 성립하지만 생활용 목적이 대부분이기 때문에 인구수와도 직접적인 영향을 주고받는 것으로 나타났으며, 주거·상업용지의 경우에는 경기상황을 대표하는 GDP와 주택건축허가량에 직접 영향을 받는 것으로 분석되었다. 또한 각 유형에 영향을 주는 GDP, 주택건축허가량, 인구의 변수는 하위 단의 생산토지, 생산자산, 고용자수 등의 변수와 순환적 관계가 성립하고 이러한 변수에 의해 유발되는 유형별 전용면적은 생산토지에 다시 영향을 주는 피드백 관계를 나타내는 것으로 나타났다. 그리하여 본 연구에서는 한국은행, 통계청에서 제공하는 GDP와 인구자료와 기존 연구에서 도출된 주택건축허가량 시계열 자료를 이용하여 각 유형을 직접 추정하는 모델을 개발하였다. 그 결과 농업용지 전용수요는 지속해서 감소하고, 2050년까지의 산업용지 수요는 2020년 전용면적 대비 약 39% 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 공용·공공용지의 경우 2050년까지 감소추세를 나타내며 인구가 감소하는 2029년 이후부터 수요의 감소율이 지속해서 증가하는 것으로 분석되었으며, 주거·상업용지의 수요는 가구수 감소와 더불어 2034년 정점 대비 약 1,634ha까지 줄어드는 것으로 예측되었다. 이렇듯 산지전용은 미래에도 지속해서 발생하기 때문에 산지의 보호와 국토의 균형적 발전을 위해서는 현재의 산지이용 체계를 개선하여 합리적인 이용을 유도할 수 있는 법률과 정책이 수반되어야 할 것으로 사료된다.

주요어 : 산지전용, System Dynamics, GDP, 인구, 주택건축허가량

2022년 11월 21일 접수 Received on November 21, 2022 / 2022년 12월 19일 수정 Revised on December 19, 2022 / 2022년 12월 26일 심사완료 Accepted on December 26, 2022

1 국립산림과학원 산림정책연구과 / Forest Policy and Economics Division, National Institute of Forest Science
* Corresponding Author E-mail: dkwak@korea.kr

ABSTRACT

This study was performed to predict change of forestland area in future to 2050 based on System Dynamics Model which is based on feedback loop by causal relationship. As forestland area change in the future depends on potential forestland conversion demands, each demand type of forestland conversion such as agricultural, industrial, public and residential/commercial use was modeled using annual GDP, population, number of household, household construction permission area (1981~2019). In results, all of conversion demands would have continuously decreased to 2050 while residential and commercial land would be reduced from 2034. Due to such shortage, eventually, total of forestland in South Korea would have decreased to 6.18 million ha when compared to current 6.29 million ha. Moreover, the forestland conversion to other use types must be occurred continuously in future because most of forestland is owned privately in South Korea. Such steady decrement of forestland area in future can contribute to the shortage of carbon sink and encumber achievement of national carbon-neutral goal to 2050. If forestland conversion would be occurred inevitably in future according to such change trends of all types, improved laws and polices related to forestland should be prepared for planned use and rational conservation in terms of whole territory management. Therefore, it is needed to offer sufficient incentive, such as tax reduction and payment of ecosystem service on excellent forestland protection and maintenance, to private owners for minimizing forestland conversion. Moreover, active afforestation policy and practice have to be implemented on idle land for reaching national goal 'Carbon Neutral to 2050' in South Korea.

KEYWORDS : *Forestland Conversion, System Dynamics, GDP, Population, Household Construction Permission*

서론

우리나라 산림면적 일체의 임목자원 수탈과 해방 이후 한국전쟁을 거치면서 1955년까지 급격히 감소하다가 1960년대 이후 국민식수운동을 통한 재조림 등으로 1970년대에 급격히 증가하였다(Bae *et al.*, 2012). 반면 산림조성의 기반이 되는 토지 개념의 산지는 1960년대 이후 급속한 경제성장과 도시화에 따라 개발 수요가 급격히 증가하여 1980년대부터 감소하기 시작하였다(Kwak and Park, 2021). 최근에는 국민소득 증가에 따라 산림환경에 대한 국민의 관심도가 높아지고 산림보전의 중요성이 부각되고 있지만, 지속적인 도시화 요구와 산주의 임

업 외 경제활동을 위해 산지의 전용이 지속적으로 이루어지고 있다. 산림면적의 주요한 감소 원인이 되는 산지의 타용도 전용은 산림 생물다양성 감소와 생태계 서비스 공급에도 영향을 미치기 때문에 물리적인 환경 파괴는 물론이고 산림의 공익적 가치 훼손에 직접적인 원인을 제공하고 있다(Kwak and Park, 2021). 산림청 임업통계연보(Korea Forest Service, 2022)를 살펴보면 우리나라의 산지 중 약 69%는 사유지이며, 또한 개발유보용으로 인식되고 있는 준보전산지가 약 21%를 차지하고 있기 때문에 지속적으로 산지전용이 발생할 수밖에 없는 구조를 지니고 있고, 또한 Cho *et al.*(2019)의 연구에 따르면 우리나라의 산지는 미래에도 지속적인 산지전용이 발생하는 것으로 예측이 되었다. 그러므로 산지와 산림의 공익적 가치를 향상시키

고 산주들의 재산권과 경제권을 보장하기 위해서는 산지의 합리적인 보전과 동시에 산지를 효과적으로 이용할 수 있는 제도가 필요하며, 그러한 제도와 정책의 수립을 위해서는 미래의 산지전용 수요량을 전망하여 방향성을 제시하는 단계가 반드시 필요하다.

이러한 산지의 미래 변화예측을 위해 1961년 산림법이 수립될 때 임산물의 장기 수급에 관한 전망을 하도록 처음 규정하였고, 2001년 산림법이 산림기본법으로 변화되면서 산림청장은 산림자원 및 임산물의 수요와 공급에 관한 장기전망을 10년마다 공표하고 이를 기반으로 산림기본계획을 수립하도록 규정하고 있다. 이에 따라 우리나라 전체 산지면적 변화에 관한 전망 연구는 Joo *et al.*(2007)에서 임업 분야별로 수행되었고, 그 후 제6차 산림기본계획 수립을 위해 Kwak(2020)에서는 지대 극대화 이론에 기반한 산지, 농지, 도시 및 기타지의 부문별 변화량을 모의하여 2050년까지 산지면적 변화를 전망하였다. 하지만 지대가 경제상황에 따라 변화하는 것은 타당하나, 과거 자료의 한계로 인해 지대 변수를 직접 독립변수로 사용하지 못하고 대리변수를 사용하여 추정치의 불확실성이 커지는 구조를 지니고 있다. 또한 모형 구조가 평형 모델(Equilibrium Model)이기 때문에 인구가 감소함에 따라 도시의 쇠퇴가 발생하면 감소된 인구만큼의 도시용지가 축소되고, 축소된 도시용지는 국토의 토지이용에 대한 평형(균형)을 맞추기 위해 반드시 산지 또는 농지로의 편입이 발생해야 하는 비현실성이 존재한다. 따라서 이러한 평형 모델의 한계점을 극복하고 보완할 수 있는 현실적인 전국 단위의 산지면적 변화 모델을 개발하는 것이 필요하다. 또한 우리나라에서는 주로 주거용 토지 수요에 관한 연구(Kim, 1997; Byun and Lee, 2002; Ahn, 2006; Yun and Kim, 2000; Lee and Ahn, 2003; Chung and Cho, 2005)와 비주거용 토지수요, 주로 산업단지에 관련된 연구(Moon and Ahn, 2003; Ryu, 2006)가 진행되었는데(Lee, 2009), 이러한 토지수요와 직접 관련된 영향인자만을 독립변수로 하는 선형·비선형적 분석을 통한 미래의 예측

은 사회·경제적 환경변화에 따라 토지 이용수요의 추세가 증가·감소되는 현상을 설명하기 어렵고 그러한 토지수요와 관련된 사회·경제적 연쇄요인들 간의 역동적인 관계성을 반영하기 어렵다.

반면 System Dynamics 기반 모델은 사회·경제적 구조의 복잡성과 가변성을 반영할 수 있고, 이에 따라 변화하는 토지이용 수요를 순환적 인과관계로 구조화하여 동태적으로 시뮬레이션할 수 있다는 장점이 있다(Kim *et al.*, 2015; Cho *et al.*, 2019). 또한 다른 분석모형들에 비해 동태적이며 순환적 인과관계 즉 완벽한 피드백 구조를 갖기 때문에 단기적 예측보다는 중장기적 예측에 더 적합하고, 두 변수 간의 정태적 상관관계보다는 여러 변수 사이의 순환적 인과관계에 초점이 맞춰져 있으므로 계량화가 곤란한 요인들까지도 변수 상호 간의 인과관계를 유기적으로 체계화할 수 있다(Kim, *et al.*, 1999). Cho *et al.* (2019)에서는 토지 이용수요를 예측할 때 현대사회에서는 수요가 과거의 선형적 추세와 다르다는 것, 토지이용 변화를 유발하는 주요 변수간 순환적 인과성이 존재한다는 것과 시간의 흐름에 따른 동태적 특성이 발생한다는 것을 고려해야 함을 언급하였다.

따라서 본 연구에서는 System Dynamics 기반의 산지전용 수요 모델을 개발함으로써 2023년에 공표될 제6차 산림기본계획의 수정을 지원하기 위해 언급된 지대 극대화 이론에 기반한 평형 모델의 비현실성과 한계점을 극복하는 것을 목표로 한다. 두 번째는 기존의 관련 변수와 산지전용 수요와의 정적인 선형적 관계로 미래 산지수요를 전망하는 것을 탈피하여, 사회·경제적인 변수들의 순환적인 변화를 토대로 변수간 그리고 종속변수인 산지전용 수요와의 인과관계를 규명함으로써 향후 2050년까지 산지전용 수요의 유형별 변화를 전국 단위로 분석하는 것이다. 최종적으로는 이러한 목표와 분석과정을 통해 추정된 산지면적 전망 자료를 기반으로 미래의 산지를 합리적으로 보전·이용할 수 있는 정책적 제안을 하였다.

연구 재료 및 방법

1. 산지전용 수요 예측을 위한 System

Dynamics 사고

System Dynamics는 1950년대 말 MIT의 Jay Forrester 교수가 개발한 학문적 영역으로써 사회 문제의 구조(체계)를 모델화하여 이를 시뮬레이션함으로써 정책효과를 분석하는 방법이다(Kim, 2004; Yi, 2018; Yi *et al.*, 2020). System Dynamics 기법 및 사고체계는 시뮬레이션 기법이 발전하면서 산업체의 경영전략, 수요예측, 에너지 및 환경문제, 의사결정 도구 등 사회·경제·과학 분야에서 다양하게 사용되고 있다(Kim *et al.*, 1999; Oh and Byun, 2016; Yi *et al.*, 2020). 즉 System Dynamics는 사회·경제·과학 분야의 역동적인 변화를 비선형적인 피드백 시스템으로 파악하고 이를 시뮬레이션함으로써 목표 분야의 동적인 변화를 분석하고자 하는 방법이라고 할 수 있다(Choi, 2003). System Dynamics를 통해 해결하고자 하는 목표의 시뮬레이션은 다음과 같이 몇 단계의 과정으로 수행된다(Yi *et al.*, 2020). 첫 번째는 분석하고자 하는 목적에 맞게 문제를 인식하고 정의하는 것이고, 두 번째는 해결하고자 하는 문제를 관련 인자들의 피드백 관계로 나타낼 수 있도록 인과지도를 작성하는 것이며, 세 번째는 이러한 인과관계를 바탕으로 해결 목표의 분석에 이용될 변수 간의 모델을 작성하고, 주요변수들의 변화를 중심으로 모델의 적합성을 평가

한다. 넷째로는 적합성이 확보된 모델을 이용하여 목표 정책에 대한 분석을 수행하는 것이다.

이를 바탕으로 본 연구에서는 첫 단계로 산지전용 유형별 수요의 변화와 관련된 사회·경제적 지표를 선정하고, 두 번째 단계에서는 지표와 산지전용 유형별 수요와의 연쇄적 연관성을 살펴보기 위해 인과지도를 작성하여 영향인자 간의 피드백 구조와 연계성을 파악하였다. 세 번째 단계에서는 미래 산지전용 유형별 수요를 예측할 수 있도록 모델링을 수행하였는데 변수 간의 모델은 통계청과 한국은행에서 개발한 모형을 채택하였고 최종 변수와 산지전용 유형별 수요를 예측할 수 있는 모델을 구축하여 통계적인 검증을 실시하였다. 마지막으로 미래 전망 결과에 따라 향후 산지전용의 방향성에 대해 제언하는 순서로 연구를 진행하였다(그림 1).

2. 산지전용 수요의 유형 정립

산지전용 수요 변화를 분석하기 위한 기초 자료구축을 위해 1979년부터 2019년까지의 산지전용 면적통계가 수록된 임업통계요람과 임업통계연보를 입수하여 유형화 작업을 수행하였다. 그러나 1979년부터 1984년까지 발행된 임업통계요람의 산지전용 자료는 누락된 연도가 존재하고 연간 통계량이 크게 차이가 나는 불확실성 때문에 1985년부터 2019년까지 발행된 임업통계연보 자료를 이용하여 유형화를 수행하였다(표 1). 현행 임업통계연보에서는 산지전용 유형을 22개로 분류하여 제공하고 있지만 위계가

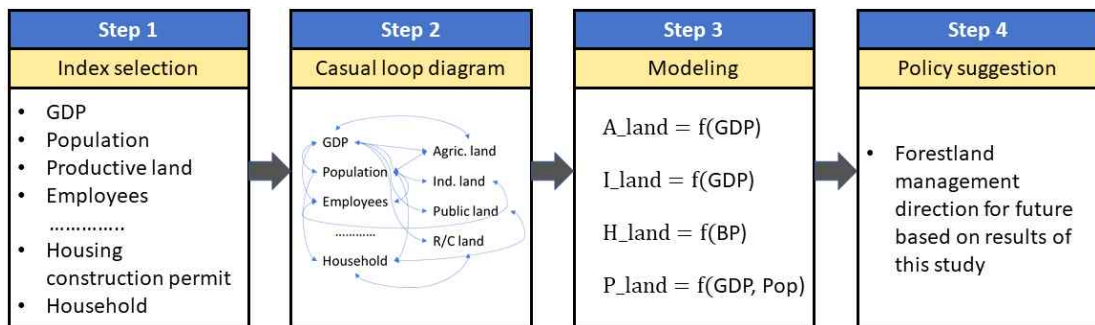


FIGURE 1. Overall process of this study based on System Dynamics concept

TABLE 1. Reclassification of forestland conversion type in this study

Forestland conversion types in Statistical Yearbook of Forestry		Reclassification in this study
	Farmland	Agricultural land
	Grassland	
Factory	Industrial complex	Industrial land
	General factory	
	Other factories	
homestead	Urban development	Residential and commercial land
	Rural housing	
	General housing	
	Other housing	
	Road facilities	Public land
	Educational facilities	
	Religious facilities	
	Military facilities	
	Electronic and telecommunication	
	Cemetery facilities	
	Barn warehouse	
	Golf course	
	Ski resort	
	Sports facilities	
	Tourist facilities	
	Public facilities	
	Other facilities	

혼합되어 있기 때문에 본 연구에서는 농업용지, 산업용지, 주거·상업용지, 공용·공공용지로 재분류하여 각각의 산지전용 수요 모델을 개발하는 데 사용하였다. 주거·상업용지의 경우에는 주택지와 상업용지가 포함된 형태로 분류하였는데, 이것은 현행 산지전용 유형 중 택지도시개발은 주택지와 상업용지를 혼합한 형태로 산지전용 통계가 발표되기 때문에 별도로 택지와 상업지구를 분리할 수 없어 주거·상업용지로 명명하여 분류를 수행하였다. 또한 공용·공공용지는 농업용지, 산업용지, 주거·상업용지 이외의 산지전용 유형을 살펴봤을 때 대부분 공공재 성격을 나타내는 시설로 전용허가가 되기 때문에 본 연구에서는 그 외 전용유형을 공용·공공용지로 분류하여 분석을 수행하였다.

3. 산지전용 유형별 수요의 인과관계 분석

사회적·경제적 요소를 기반으로 산지전용 유형별 수요와 어떠한 관계가 성립하는지를 인과

관계도 작성하여 살펴보았다. 유형별 산지전용 수요와의 유의성은 관련 변수의 과거 연도별 자료(1985~2019년)와 산지전용 유형별 자료를 비교하여 상호 관계를 먼저 살펴본 다음 Cho *et al.*(2019)를 참고하여 인과관계도를 작성하였다(그림 2).

농업용지 수요는 경기상황을 설명하는 GDP로 설명되는데 이는 역(-)의 관계를 성립하는 것으로 나타나며, 생산토지, 생산자산, 고용자수 등에 의해 순환적으로 영향을 주고받는다. 추가적으로 농업용지로의 전용은 다시 생산토지의 공급원이 되므로 GDP에 양(+)의 영향을 주는 피드백 형태가 성립된다. 반면, 산업용지의 수요는 농업용지와 마찬가지로 GDP의 변동에 따라 변화하지만 서로 양(+)의 관계를 나타내는 피드백을 형성하며 전용에 의한 산업용지 수요의 증가는 생산토지, 생산자산, 고용자수 등에 다시 영향을 주는 순환적인 구조를 갖는다. 주거·상업용지의 경우에는 농업용지, 산업용지와 달리

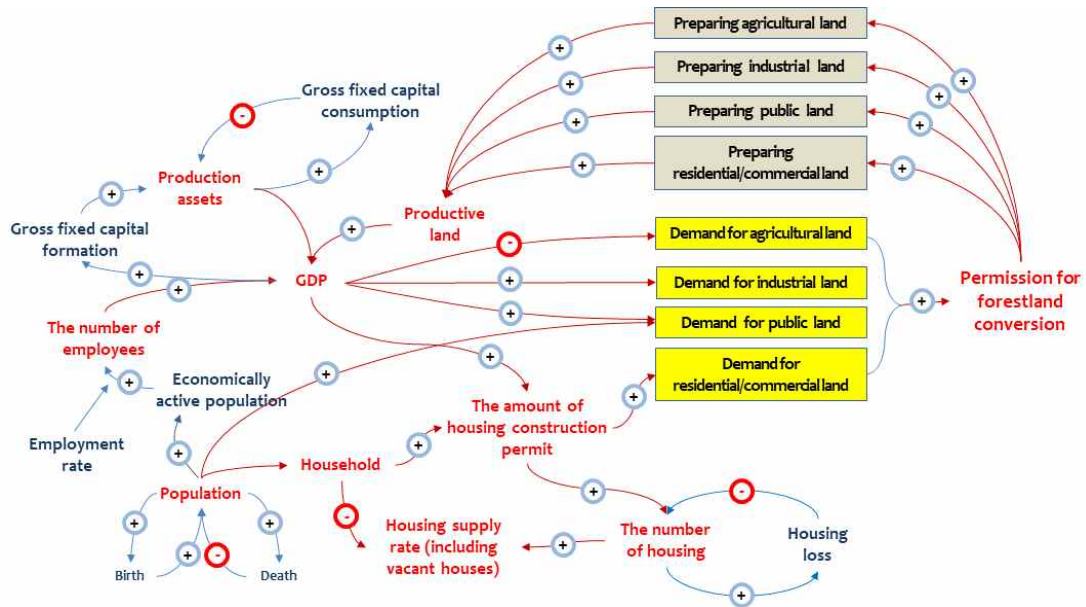


FIGURE 2. Causal Relationship between related factors for forestland conversion demand types

주택건축허가량에 직접적인 양(+)의 영향을 받고 이는 경기상황을 대표하는 GDP와 가구수의 증감이 변인으로 작용하며, 가구수는 인구 규모와 인구구조의 영향을, GDP는 고용자수, 생산자산, 생산토지 요인에 의해 영향을 받으며 주거·상업용지의 증가는 다시 언급된 변인에 영향을 주는 피드백을 형성한다. 또한, GDP의 경우는 건축의 변인으로 대지의 증감을 일으키면서 동시에 영향을 받기도 한다. 공용·공공용지는 농업, 산업, 주거·상업 이외의 전용 목적을 하나로 분류한 것인데, 이것은 인구가 거주하면서 필요한 생활용 목적이 대부분이기 때문이다(표 1). 그러므로 공용·공공용지는 타용도 유형과 마찬가지로 GDP의 영향을 받지만 동시에 인구의 영향을 받는 것으로 인과관계가 설정되었으며 이외 세 가지 전용수요와 마찬가지로 공용·공공용지의 전용수요는 생산토지의 증가로 귀결되기 때문에 고용자수, 생산자산 등과 순환적 관계를 갖는 것으로 분석되었다.

4. 산지전용 수요 모델 개발

- 1) 국가통계 추정방식 서브 모형 및 통계

자료 활용

그림 2와 같이 System Dynamics에 기반한 유형별 산지전용 수요 모델을 개발하기 위해서는 각 수요에 주요한 영향을 미치는 GDP와 인구, 가구수, 주택건축허가량을 예측할 수 있는 모형개발이 선행되어야 한다. Cho *et al.*(2019)에서는 토지이용 수요 예측 모형을 개발하기 위해 인구모형, 가구모형, 주택모형, GDP모형을 각각 서브 모형이라 정의하고, 인구모형, 가구모형은 통계청의 장래인구 및 가구 추계에서 사용하는 인구균형방정식과 가구추출법을 적용하여 개발하였고, 주택모형은 국토교통부의 주택보급률 발표에 이용되는 주택균형방정식을 이용하여 개발하였다. 또한 GDP 모형은 노동, 토지, 자본 등 근원적 3대 생산요소를 기반으로 한 생산함수(Cobb-Douglas Function)를 이용하여 고용자수, 생산토지, 생산자산 등으로 개발하였다. 그리하여 최종적으로 인구, 가구, 주택, GDP가 변동함에 따라 토지이용 수요의 변화를 전망할 수 있도록 하였다. 하지만 본 연구에서는 표 2와 같이 통계청(Statistics Korea, 2019; Statistics Korea, 2021), 한국은행(Bank of Korea, 2020)

TABLE 2. Submodels for developing forestland conversion demands prediction model

Estimation methods	Equations and variables explanation
Population estimate by demographic balancing equation (Statistics Korea, 2021)	$P_t = P_{t-1} + B_{t-1} - D_{t-1} + NM_{t-1}$ P_t : Population in t year, B_t : Births in t-1 year D_t : Deaths in t-1 year, NM_t : Net migration in t-1 year
Household estimate by headship rate method (Statistics Korea, 2019)	$H^s(x,t) = \sum_m P^s(m,x,t) \times h^s(m,x,t)$ $H^s(x,t)$: Household estimates in t year by sex(s) and age(x) of headship $P^s(m,x,t)$: Population in t year by marriage(m), age(x) and sex(s) $h^s(m,x,t)$: Headship rate in t year by marriage(m), age(x) and sex(s)
Real GDP estimate by chained weighted method (Bank of Korea, 2020)	$Real\ GDP_t = \sum p_0 \cdot q_0 \times Q_{0,t}^{LC}, Q_{0,t}^{LC} = Q_{0,1}^L \times Q_{1,2}^L \times \dots \times Q_{t-1,t}^L$ p_0 : Price in base year, q_0 : Production in base year $Q_{0,t}^{LC}$: Quantity change in t year compared to base year by Laspeyres chain index
Household construction permit estimate by Kwak(2021)	$BP_t = e^{-46.6992} \cdot NH_{bc,fr,3yr}^{7.34104} \cdot GDP_{bc,fr,3yr}^{-2.55347}$ BP_t : Number of household construction permit in t year $NH_{bc,fr,3yr}$: Mean of households from t-1 to t-3 year $GDP_{bc,fr,3yr}$: Mean of GDP from t-1 to t-3 year

에서 매년 추정·공표되는 인구수, 가구수, 실질 GDP 등의 자료가 고유의 추정 모델(서브 모델)을 통해 산출되기 때문에 해당 모델을 본 연구에 적용하였고, 주택건축허가량은 Kwak(2021) 연구에서 직전 3년간 가구수와 실질 GDP를 이용하여 개발한 추정 식을 이용하였다.

2) 산지전용 수요 예측 모델 개발

본 연구에서는 표 2와 같은 방법으로 추정·공표되는 자료를 이용하여 미래의 산지전용 유형별 수요를 예측하기 위해 표 3과 같이 과거 인구수, 가구수, GDP, 주택건축허가량 자료를 이용하여 개발된 모델을 개발하였다. 사용된 모든 자료는 1985년부터 2019년까지의 자료를 이용함으로써 산지전용 수요 유형별 전망치를 2020년부터 추정할 수 있도록 하였다.

산지전용 유형별 수요 모델은 농업용지, 산업용지, 주거·상업용지, 공공·공공용지 등의 4개 유형으로 구분하여 개발을 수행하였다. Cho et al.(2019)에서 제시한 유형별 함수는 기본적인

$y = a \cdot x^b$ 형태의 멱함수(Power Function)를 이용하였으나, 본 연구에서는 멱함수 형태에 구애받지 않고 농업용지와 산업용지 수요의 경우 각각 GDP, 주거·상업용지 수요는 주택건축허가량, 공공·공공용지 수요는 1인당 GDP와의 관계를 도식화 살펴본 후 추세에 합당한 다양한 형태의 함수식들을 후보로 정하고, 그 다음 선형 또는 비선형 회귀분석 방법을 통하여 통계적으로 가장 유의한 모델을 선택하였다(그림 3).

분석 시 사용된 선형 회귀분석과 비선형 회귀분석은 모두 추정된 값과 실제 값의 차이(잔차)를 최소화하는 방법을 이용하여 최적의 계수를 추정한다(Park and Park, 2008). 반면, 종속변수와 독립변수가 비선형적인 관계를 가지고 있음에도 불구하고 각 항에 자연로그를 취하면 선형적인 관계를 가지는 멱함수 형태의 경우에는 독립변수와 종속변수 값의 변화 없이 원래의 값을 이용하여 잔차를 최소화하는 비선형 회귀분석을 수행할 수 있으나, 선형 회귀분석을 실시할 경우에는 독립변수, 종속변수 모두 자연로그

TABLE 3. Model types and variables by forestland conversion 4 demands

Agricultural land	Industrial land	Residential and commercial land	Public land
$A_{land} = f(GDP)$	$I_{land} = f(GDP)$	$H_{land} = f(BP)$	$P_{land} = f(GDP, Population)$

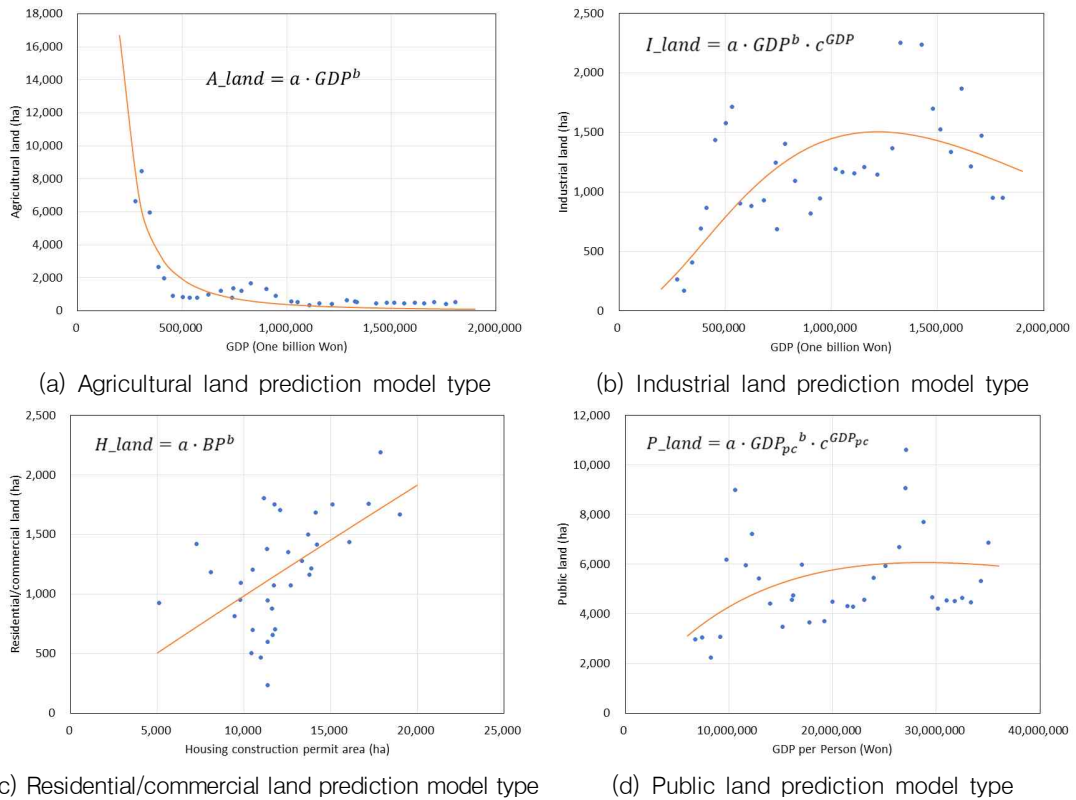


FIGURE 3. Optimal models by forestland conversion type through trend analysis with 1985~2018 data

를 취하여 변형된 값을 이용하여 계수를 추정한다. 본 연구에서는 현실의 값을 최대한 반영하기 위해 변형된 값을 이용하는 선형 회귀는 가능한 회피하여 비선형 회귀분석을 실시하였으나, 분산분석을 통한 통계적 유의성을 살펴보고 현실적인 독립변수와 종속변수와의 관계를 벗어나는 회귀분석 방법을 제외함으로써 각 유형별 계수를 추정하였다. 유형별 모델의 계수의 추정과 통계량은 SAS 9.4 프로그램을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 모델 개발 및 통계량 검증

그림 3에서 제시된 모델 형태와 변수를 이용

하여 산지전용 유형별 수요 예측 모델을 개발하여 통계분석을 실시하였다(표 4).

농업용지는 그림 3와 같이 실질 GDP와 명확한 멱함수 관계를 보이고 있기 때문에 비선형 회귀분석을 실시하여 계수를 추정하였고(표 5), 결정계수(Pseudo- R^2)가 상대적으로 높게 추정이 되어 통계적인 유의성이 높은 것으로 나타났다. 산업용지의 경우에는 마찬가지로 실질 GDP를 변수로 채택하였으나 그림 3와 관계를 살펴본 후 일반적인 멱함수 형태에서 변형된 곡선식을 선택하여 분석하였으며, 해당 모델을 비선형과 선형 회귀분석을 실시한 후 통계량과 현실 반영 정도를 판단하여 최종적으로 결정계수(R^2)가 높은 선형 회귀분석을 통해 계수를 추정하였다(표 6).

TABLE 4. ANOVA by forestland conversion demand prediction models

Statistics	Agricultural land	Industrial land	R/C land	Public land
Model type	$A_{land} = a \cdot GDP^b$	$I_{land} = a \cdot GDP^b \cdot c^{GDP}$	$H_{land} = a \cdot BP^b$	$P_{land} = a \cdot GDP_{pc}^b \cdot c^{GDP_{pc}}$
Method	Nonlinear	Linear	Nonlinear	Linear
R2	-	0.55	-	0.18
Pseudo-R2	0.83	-	0.28	-
SSE	20018944	4.80338	4970136	3.12041
MSE	625592	0.15495	155317	0.10066
UCTSS	181520206	1672.83	55118730	2464.68
CTSS	116383629.53	10.7289	6880847.53	3.79528
F-Value	129.08	19.12	161.44	3.35
Pr>F	<.0001	<.0001	<.0001	0.0481

* SSE: Sum of Square Error, MSE: Mean Square Error, UCTSS: Uncorrected Total of Sum of Square, CTSS: Corrected Total of Sum of Square

TABLE 5. Coefficients for agricultural and residential/commercial land by nonlinear regression analysis

Forestland conversion Type	Parameter	Estimate	Approximate Std. Error	Approximate 95% Confidence Limits	
Agricultural land	a	5.521E16	1.801E17	-3.12E17	4.221E17
	b	-2.3618	0.2566	-2.8844	-1.8392
Residential and commercial land	a	0.1490	0.3610	-0.5863	0.8843
	b	0.9552	0.2556	0.4346	1.4758

주거·상업용지는 농업용지와 마찬가지로 같은 형태의 멱함수를 사용하여 주택건축허가량(BP)를 변수로 하는 선형·비선형 회귀분석을 수행하였다(표 6). 그 결과 비선형 회귀분석의 결정계수가 선형 회귀분석을 적용했을 때보다 높게 추정되었으나 그 값이 0.28로 추정되는 것으로 분석되었는데, 이것은 종속변수가 주거용지와 상업용지가 혼합된 형태로 모델이 추정되었기 때문으로 사료된다. 차후 주거·상업용지 추정의 정확도를 개선하기 위해서는 주거용지와 상업용지를 분리하여 각각 주택건축허가량과의 관계를 분석하거나 또는 주거용지와 주택건축허가량, 상업용지와 상업용 건물건축허가량과의 관계를 모델링해야 할 것으로 판단된다. 하지만 현행 입법통계연보 상의 산지전용 통계자료는 주거와 상업용지가 혼합된 형태로 발표되기 때문에 주거·상업용지가 분리된 국가통계를 구축하는 것이 선행되어야 한다. 공용·공공용지의 경우는 산업용지와 마찬가지로 변형된 멱함수의

형태로 GDP와 1인당 GDP를 변수로 하여 회귀분석을 실시하였다. 선형, 비선형 회귀분석 결과 선형 회귀분석의 결정계수($R^2=0.18$)가 상대적으로 비선형 분석보다 높아 선형 회귀분석을 통해 추정된 계수를 채택하였으나, 농업, 산업, 주거·상업용지를 제외한 모든 전용형태를 하나의 유형으로 분류한 것이기 때문에 다른 유형의 모델보다 통계적 유의성이 가장 낮게 추정된 것으로 사료된다. 그러므로 주거·상업용지와 마찬가지로 모델의 정확도 향상을 높이기 위해서는 하나의 유형으로 분류된 자료를 특징적인 여러 유형으로 재분류를 하여 분석하는 것이 필요하고 이를 위해서는 위계를 갖춘 산지전용의 유형별 통계 구축이 선행되어 모델에 활용할 수 있어야 한다. 하지만 현행 통계는 그러한 분류체계가 없기 때문에 본 연구에서는 공용·공공용으로 통합되어 분석될 수밖에 없었고 낮은 설명력의 모델링이 수행될 수밖에 없는 한계를 가진다. 또한 본 연구에서는 37년간 구축된 상대적

TABLE 6. Coefficients for industrial and public land by linear regression analysis

Forestland conversion Type	Parameter	DF	Estimate	Standard Error	t Value	$P > t $
Industrial land	a	1	-20.72611	6.65467	-3.11	0.0039
	b	1	2.15519	0.53013	4.07	0.0003
	c	1	-0.00000177	6.174804E-7	-2.87	0.0074
Public land	a	1	-5.24019	8.64506	-0.61	0.5488
	b	1	0.86260	0.55324	1.56	0.1291
	c	1	-3.35822E-8	3.053984E-8	-1.10	0.2800

으로 적은 양의 자료를 사용하여 모델링을 수행하였기 때문에 별도의 검증자료를 구축하지 않았다. 검증자료 구축은 모델링에 사용되는 자료의 감소를 야기하기 때문에 본 연구에서는 표 5, 6과 같이 모델의 적합도와 추정된 계수의 통계적 유의성을 기반으로 모델평가를 수행하였다.

2. 미래 산지전용 유형별 수요 전망 분석

산지전용 유형별로 개발된 수요 예측 모델을 기반으로 미래의 산지전용 발생량을 전망하기 위해서는 유형별 모델의 독립변수에 대한 미래 자료를 구축해야 한다. 농업용지와 산업용지의 미래 수요를 예측하기 위해서는 미래의 실질 GDP를 추정할 자료가 필요한데 이것은 표 2의 방법으로 한국은행에서 구축한 연간 경제성장률 1.3%의 시나리오로 2050년까지 구축된 자료를 이용하였다(Bank of Korea, 2020). 주거·상업용지의 미래 변화를 예측하기 위한 주택건축 허가량은 농업 및 산업용지에서 사용된 실질 GDP와 2020년 통계청에 발표한 장래인구추계의 장래가구특별추계 전국편을 이용하여 산출하였으며(Statistics Korea, 2019), 공용·공공용지는 앞서 사용된 2050년까지의 실질 GDP와 통계청의 장래인구추계 증위추계 결과로 계산된 미래 1인당 실질 GDP를 산출하여 자료를 구축하였다. Cho *et al.* (2019)에서는 GDP, 인구, 주택보급률 등의 변화에 따른 미래 토지이용 수요를 직접 예측하였으나, 본 연구에서는 국가통계로 발표되는 하나의 시나리오만을 이용하여 미래 산지전용 수요를 예측할 수 있도록 하였다. 그러나 통계청과 한국은행에서 발표되는 자

료의 변동에 따라 유형별 전용수요를 예측할 수 있도록 모델을 개발하여 실제적인 자료의 변화에 대처할 수 있도록 하였다.

전체적인 산지전용 수요의 변화 결과를 살펴보면, 2023년까지 8,749ha까지 상승하고 그 이후로 차츰 감소하기 시작하면서 2050년에 6,239ha까지 감소하는 것으로 나타났다(표 7). 앞서 분류한 4가지 유형 중 주거 및 경제활동과 직접적인 관련이 된 주거·상업용지의 수요는 장래인구추계 자료(Statistics Korea, 2021)에서와 같이 가구수가 감소하기 시작하는 2035년부터 감소하나, 그 외 3가지 유형의 산지수요는 지속적으로 감소 경향을 나타내는 것으로 분석되었다.

유형별 변화 추이를 살펴보면, 농업용지 전용 수요의 경우 1985년부터 2019년까지의 추세와 마찬가지로 지속적으로 감소하여 2050년에는 약 86ha에 이르는 것으로 나타났다. 농업용지의 경우 농촌의 고령화와 이농현상으로 인해 한계 농지 및 유휴농지 등이 발생하고 도시의 확장에 의해 타용도로 전용되는 현상을 고려해볼 때, 미래에는 실제 농업을 위해 산지로부터 전용되는 수요는 드물 것으로 판단되며, 도시에 거주하는 비농업인의 주말농장과 같은 여가 수요로 소규모의 농지전용 수요가 발생할 것으로 판단된다. 산업용지 전용 수요는 2020년 1,227ha에서 지속적인 하강추세를 보이는데, 2050년까지 약 480ha까지 약 39%가 감소하는 등 비교적 급하게 감소하는 경향을 나타낸다. 실질 GDP는 지속적으로 증가하지만 장기적인 경기침체와 인구감소에 따른 절대적인 생산활동 인구가 감소하여 산업용지 수요가 줄어드는 것으로

TABLE 7. Forecast of forestland conversion demand types to coming 50 years

(Unit: ha)

Year	Predicted Forestland Conversion Area	Forestland conversion demand types			
		Agricultural land	Industrial land	Residential/ Commercial land	Public land
2020	8,749	463	1,227	1,811	5,248
2021	8,706	405	1,175	1,892	5,233
2022	8,722	370	1,138	1,997	5,218
2023	8,749	339	1,101	2,109	5,201
2024	8,740	311	1,064	2,182	5,183
2025	8,727	286	1,027	2,248	5,164
2026	8,707	264	991	2,307	5,145
2027	8,682	245	957	2,357	5,124
2028	8,652	228	924	2,398	5,102
2029	8,617	214	892	2,433	5,078
2030	8,578	201	864	2,460	5,053
2031	8,536	190	837	2,482	5,027
2032	8,487	180	811	2,498	4,999
2033	8,431	170	786	2,507	4,968
2034	8,370	162	762	2,509	4,936
2035	8,302	155	741	2,505	4,902
2036	8,227	148	719	2,495	4,865
2037	8,142	141	698	2,476	4,826
2038	8,047	135	677	2,450	4,785
2039	7,942	129	657	2,415	4,741
2040	7,827	124	637	2,373	4,694
2041	7,704	119	619	2,323	4,644
2042	7,571	114	601	2,265	4,591
2043	7,428	110	584	2,200	4,535
2044	7,279	106	568	2,129	4,475
2045	7,121	102	552	2,054	4,412
2046	6,956	99	537	1,975	4,345
2047	6,786	95	523	1,893	4,275
2048	6,611	92	508	1,810	4,200
2049	6,428	89	494	1,724	4,122
2050	6,239	86	480	1,634	4,039

예측된다. 미래 주거·상업용지 수요는 농업, 산업용지와는 달리 2034년 2,509ha까지 증가하다가 이후 2050년 1,634ha까지 감소하는 것으로 나타나는데, 이는 주거·상업용지 수요가 실질 GDP뿐만 아니라 인구와 직결되는 가구수로 예측되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 통계청의 장래인구추계 자료(Statistics Korea, 2021)에서 중위 추계인구가 감소하기 시작하는 2029년에 바로 감소가 나타나지 않고 5년 후부터 감소가 나타난다. 가구수는 연령구간의 인구와 가

구주율에 의해 추정되는데, 결혼 또는 동거에 의해 형성이 되는 가구수의 감소는 그 인구감소 연령구간에 해당하는 인구가 가정을 이루는 기간까지 진입하는 시간이 약 5년 정도 소요되기 때문인 것으로 사료된다. 공용·공공용지는 2020년 5,248ha를 정점으로 2050년 4,039ha까지 감소하는 것으로 전망되었지만, 공용·공공용지의 전용 수요는 모델 개발 시 농업, 산업, 주거·상업용지를 제외한 모든 시설용지를 포함한 것이기 때문에 현재와 미래 모두 가장 넓은 면적

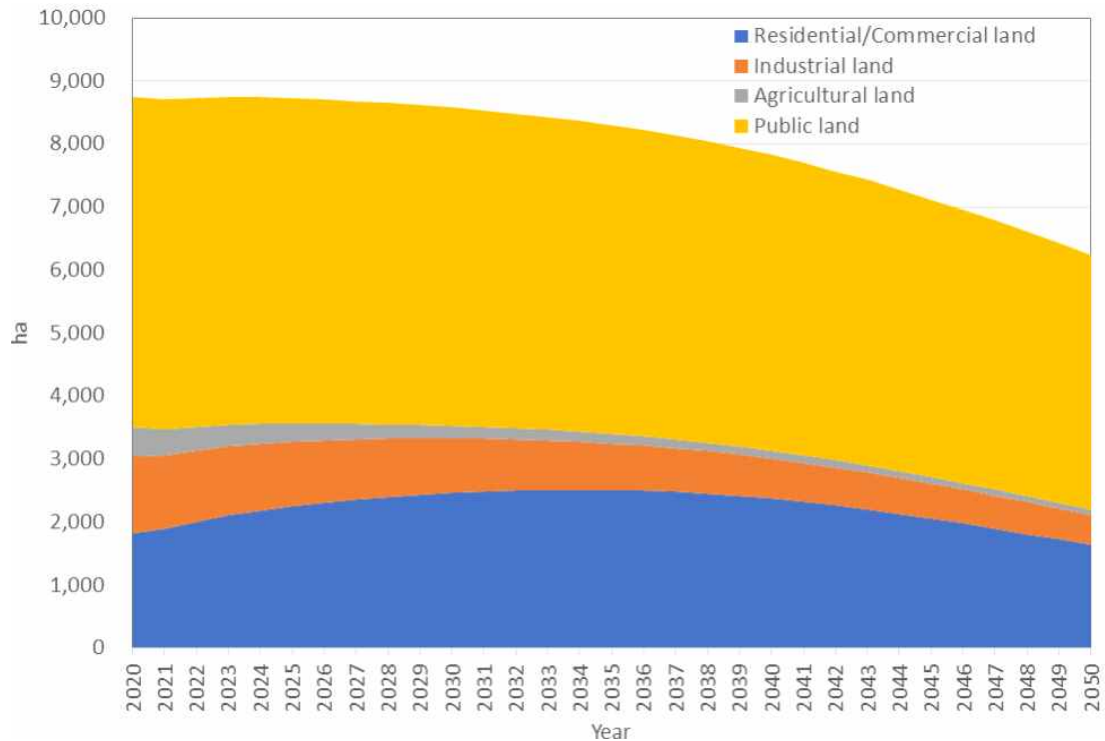


FIGURE 4. Change pattern of forestland conversion demand types to coming 50 years

을 차지하는 것으로 나타났다. 공용·공공용지의 수요는 다양한 용지의 전용 수요가 포함되었기 때문에 인구의 감소와 낮은 경제성장률에 의해 지속적으로 감소하는 추세로 나타나며, 인구가 감소하는 2029년 이후부터는 수요의 감소율이 지속적으로 증가하는 것으로 분석된다(그림 4).

결론

System Dynamics 기반의 산지전용 수요 모델을 통한 미래 전망을 한 결과 2050년까지 전용 면적의 총수요는 감소하나 지속적으로 연평균 약 6,240ha 정도가 전용되는 것으로 나타났다. 산지의 전용은 곧바로 산림면적의 감소로 이어지기 때문에 국가 차원에서 산림의 황폐화와 파괴를 방지하고 공익적 기능을 최대한 발휘하여 국민의 삶의 질을 높이기 위해서는 가장 기본적으로

로 산지전용을 최소화하는 정책을 수립할 필요가 있다. 또한 산지의 보전을 통한 탄소흡수원의 보호와 증가, 궁극적인 기후변화 대응을 위해서는 산지면적 감소와 증가 부분 모두에 대한 적극적인 정책이 필요하다. 또한 국토교통부의 제5차 국토종합계획(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019) 및 환경부의 제4차 국가환경종합계획(Ministry of Environment, 2015), 산림청의 제6차 산림기본계획(Korea Forest Service, 2018) 등 산지 및 산림환경 관련 부처의 향후 10년~20년까지의 산지 관련 계획을 살펴보면, 미래의 이슈 중 경제 저성장, 인구감소에 따른 국토 공간의 재생 및 정비가 주요 사안으로 강조되고 있다. 이러한 계획은 결과적으로 새로운 토지를 대상으로 개발을 하는 것이 아니라 인구 공동화와 생활환경의 노후화에 따른 기존의 거주환경을 개선을 유도하고 있다. 하지만 본 연구결과에 따르면 낮은 경제성장률

과 인구감소는 절대적인 산지전용 수요의 감소를 초래함에도 불구하고 향후 50년 동안에도 산지전용은 지속적으로 발생하는 것으로 나타났다. 그러므로 산지면적의 감소를 최소화하기 위해서는 사유지의 산지전용 수요를 충족시키고 동시에 산지의 보전이 가능하도록 유도하는 정책이 필요하다.

토지의 재생과 환경개선 차원에서 산지의 전용을 최소화하기 위해서는 산지의 등급화 방법을 통하여 환경·생태적으로 열악한 지역을 대상으로 전용을 할 수 있도록 제도화하고, 또한 산지전용을 통해 토양의 형질변경을 할지라도 지형의 평활화 작업이 아닌 자연 그대로의 지형과 산림자원을 이용할 수 있도록 자연친화적 산지이용을 유도하는 것이 필요하다. 다만 산주의 재산권에 대한 적절한 보상 차원에서 자연친화적 산지이용 시 산주에게 인센티브 또는 사후 별도의 산지전용 우선권을 부여하는 등의 정책과 제도를 마련하는 것이 동반되어야 한다. 본 연구결과에서는 농지와 산업용지로의 전용은 상대적으로 적은 면적이 전용될 것으로 예상되나, 주거상업용지와 공용·공공용지는 지속적으로 넓은 면적에 대한 수요가 발생할 것으로 분석되었다. 산지관리의 특성상 산지전용이 발생하면 해당 필지 지목이 변경되어 타부처로 관리 주체가 바뀌기 때문에 타용도로 전용이 발생한 지역은 다시 산지로서의 재생과 정비가 어려울 수 있으므로, 불법 산지전용에 대한 사후 모니터링을 포함한 다각적인 관리방안에 대해 해당 부처와의 협력이 필요할 것이다.

다만 언급된 바와 같은 실제적인 산지의 합리적인 보전과 이용이라는 정책적 세부 목표달성을 위해서는 한 걸음 더 나아가 공간자료를 활용한 모델링과 그에 따른 산지전용 수요의 공간분포 결과가 필요하다. 지역별 공간적 특성과 잠재적 수요를 분석하여 산지전용 공간분포 모델을 개발한다면 정량적으로 전망된 산지전용 수요를 지역별 잠재적 수요에 맞게 배분하고, 그에 따른 산지의 이용 및 보전에 대한 지역계획을 현실에 맞게 수립·실천할 수 있을 것이다. 그리고 본 연구는 산지관리 분야로의 System

Dynamics 개념의 소개와 적용, 그리고 모델링을 통한 국가규모에서의 산지전용 수요 전망에 초점을 맞추었기 때문에 국가통계로 발표된 하나의 시나리오만을 적용하여 분석을 수행하였다. 하지만 정책입안과 의사결정을 지원하기 위해서는 사회적·경제적 변수의 변화에 따른 산지전용 수요 변화 예측과 같은 시나리오별 전망을 실시하여 대안을 제시하는 단계가 반드시 필요할 것으로 사료된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Ahn, J.G. 2006. A Study on the Land Demand and Supply System in the Capital Region of Korea. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society* 7(6):1277-1283 (안정근, 2006. 수도권 토지수요와 공급체계 분석 연구. *한국산학기술학회 논문지* 7(6):1277-1283).
- Bae, J.S., R.W. Joo. and Y.S. Kim. 2012. Forest transition in South Korea: Reality, path and drivers. *Land Use Policy* 29(1): 198-207.
- Bank of Korea. 2020. National account statistical data report. 51pp (한국은행, 2020. 국민계정 통계정보 보고서. 서울. 한국은행. 51쪽).
- C.H. Byun. and H.J. LEE. 2002. The Estimation on the Potential Capability of the Housing Demand and Supply in Seoul. Seoul Development Institute. 216pp (변창흠, 이희정, 2002. 서울시 주택수요 및 공급능력 추정에 관한 기초연구. *서울시정개발연구원 연구보고서*. 216쪽).
- Cho, Y.S., W.H. Song. and J.P. Lee. 2019. Development of Land Demand Prediction Model depending on Changes in Social and Economic System Structure. *Korean System Dynamics Review* 20(2):41-67 (조윤숙, 송원호, 이종필, 2019. 사회·경제

- 구조변화에 따른 토지이용수요 예측모형 개발. 한국시스템다이내믹스 연구 20(2):41-67).
- Choi, N.H. 2003. A system dynamics approach in analyzing the dynamics of Seoul metropolitan and finding policy leverages. Korean Public Administration Review 37 (4):329-358 (최남희. 2003. 시스템 다이내믹스 기법을 이용한 서울시 도시동태성 분석과 정책지렛대 탐색: 인과순환구조와 시스템 행태 분석을 중심으로. 한국행정학보 37 (4):329-358).
- D.A. Kwak and S.H. Park. 2021. Change Prediction of Future Forestland Area by Transition of Land Use Types in South Korea. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 24(4):99-112 (광두안, 박소희. 2021. 로지스틱 회귀모형을 이용한 우리나라 산지면적의 공간변화 예측에 관한 연구. 한국지리정보학회지 24(4):99-112).
- E.C. CHUNG. and S.J. Cho. 2005. Demographic Changes and Long-term Housing Demand in Korea. THE JOURNAL OF KOREA PLANNERS ASSOCIATION 40(3):37-46 (정의철, 조성진. 2005. 인구구조 변화에 따른 장기주택수요 전망에 관한 연구. 대한국토도시계획학회지(국토계획) 40(3):37-46).
- J.H. Yun. and H.S. Kim. 2000. Empirical Analysis of Tenure Choice and Housing Demand in Korea. The Korea Spatial Planning Review 29(0):51-65 (윤주현, 김혜승. 2000. 주택수요구조분석 및 전망에 관한 연구. 국토연구 29(0):51-65).
- Joo, R.W., Jung, B.H., Lee, S.Y., Kim, C.S., Bae, J.S., Lee, K.H., Kim, K.H., Kim, J.J., Park, C.W., Han, S.Y., Kim, E.G., K. Choi. and Y.C. Youn. 2007. Historical Trends and Long-term Projections for Forest Sector in the Republic of Korea. Korea Forest Research Institute Research report. 229pp (주린원, 정병헌, 이성연, 김철상, 배재수, 이경학, 김경하, 김재준, 박찬우, 한상열, 김의경, 최관, 윤여창. 2007. 산림부문의 추세 및 장기 전망. 국립산림과학원 연구보고서. 229쪽).
- Kim K.H. 1997. A study on housing demand and housing investment in Korea. Korea Research Institute for Human Settlements. 15pp (김경환. 1997. 주택 수요구조 변화 전망에 관한 연구. 국토연구원 연구보고서. 15쪽).
- Kim, D.H. 2004. Systems Thinking. Sunhaksa. Seoul. 323pp (김동환. 2004. 시스템사고: 시스템으로 생각하기. 선학사. 323쪽).
- Kim, D.H., T.H. Moon. and D.H. Kim. 1999. System Dynamics. Daeyoung, Goyang. 261pp (김도훈, 문태훈, 김동환. 1999. 시스템다이내믹스. 대영문화사. 261쪽).
- Kim, J.S., H.Y. KIM and S.H. LEE. 2015. Analysis on Inundation Impacts of Sea Level Rise Using System Dynamics-GIS Model. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 18(2):92-10 (김지숙, 김호용, 이성호. 2015. System Dynamics-GIS 모델을 이용한 해수면 상승 침수 영향 분석. 한국지리정보학회지 18(2):92-104).
- Korea Forest Service. 2018. 6th National Basic Forest Plan (2018~2037). Daejeon. 151pp (산림청. 2018. 제6차 산림기본계획 (2018~2037). 대전. 산림청. 151쪽).
- Korea Forest Service. 2022. Statistical Yearbook of Forestry. Daejeon. 454pp (산림청. 2022. 2022 산림업통계연보. 대전. 산림청. 454쪽).
- Kwak, D.A. 2020. Change Prediction of Forestland Area in South Korea using

- Multinomial Logistic Regression Model. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 23(4):42-51 (곽두안, 2020. 다항 로지스틱 회귀모형을 이용한 우리나라 산지면적 변화 추정에 관한 연구. *한국지리정보학회지* 23(4):42-51).
- Kwak, D.A. 2021. Application of System Dynamics Approach to Development of Forestland Conversion Demand Prediction Model. *Proceedings of the 2021 Joint Conference of the Forest Science*. 142pp (곽두안, 2021. System Dynamics를 이용한 산지전용 수요 예측 모델 개발 연구. 2021 산림과학 공동학술대회 논문집, 142쪽).
- Lee H.Y. 2009. Methods for Estimating Land Need and Its Empirical Analysis for Urban Growth Management. *Journal of the Korean Urban Geographical Society* 12(1):11-30 (이희연, 2009. 도시성장관리를 위한 토지수요 예측방법 구축 및 실증분석. *한국도시지리학회지* 12(1):11-30).
- M.S. Moon. and S.Y. Ahn. 2003. An analysis of forecasting methodology for industrial location demand in Gyeonggi Province. Gyeonggi Research Institute. 177pp (문미성, 안신영, 2003. 경기도 산업입지 수요예측 모형 정립연구. *경기개발연구원 연구보고서*. 177쪽).
- Ministry of Environment. 2015. 4th Comprehensive Plan for National Environment. Sejong. 146pp (환경부, 2015. 제4차 국가환경종합계획. 세종. 환경부. 146쪽).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2019. 5th National Comprehensive Territorial Plan. Sejong. 249pp (국토교통부, 2019. 제5차 국토종합계획. 세종. 국토교통부. 249쪽).
- Ryu, S.H. 2006. An Analysis of Forecasting Methodology for Industrial Land Demand. Korean Research Institute for Human Settlements. 95pp (류승한, 2006. 산업입지 수요조사 방법 및 기준 표준화 방안 연구. 국토연구원 연구보고서. 95쪽).
- S.U. Oh and B.S. Byun. 2016. Dynamics analysis of urban functions of the old downtown of Incheon by using system dynamics. *The Geographical Journal of Korea* 50(2):227-238 (오세은, 변병철, 2016. 시스템다이나믹스를 이용한 인천 원도심의 도시기능 동태성 분석. *국토지리학회지* 50(2):227-238).
- Statics Korea. 2019. Future household estimates: 2017~2047. Daejeon. 94pp (통계청, 2019. 장래가구추계(시도편): 2017~2047년. 대전. 통계청. 94쪽).
- Statics Korea. 2021. Future population estimates: 2020~2070. Daejeon. 85pp (통계청, 2021. 장래인구추계: 2020~2070년. 대전. 통계청. 85쪽).
- Y.E. Lee. and J.G. Ahn. 2003. An Analysis of Housing-Demands by Area in the Capital Region of Korea. *The Journal of Korea Planners Association* 38(6):61-74 (이영은, 안정근, 2003. 수도권 권역별 주택수요 분석. *대한국토도시계획학회지(국토계획)* 38(6):61-74).
- Y.M. Park. and K.B. Park. 2008. Estimation of Project Performance Using Fuzzy Linear Regression. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems* 18(6):832-836 (박영만, 박광박, 2008. 퍼지회귀분석을 이용한 프로젝트 성과예측. *한국지능시스템학회 논문지* 18(6):832-836).
- Yi, M.S. 2018. A structural analysis between overseas opening of geospatial information and the promotion of geospatial information

- industry using the systems thinking. Journal of The Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography 36(4): 213-221 (이미숙. 2018. 시스템 사고를 통한 지도데이터 국외개방과 공간정보 산업 활성화간 인과구조 분석. 한국측량학회지 36(4): 213-221).
- Yi, M.S., K.H. Yeo and C.H. Kim. 2020. The Effect Analysis of Smart City Planning on Urban Dynamics Using System Dynamics Method – Focused on Anyang-city, Korea. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 38(1):57-67 (이미숙, 여관현, 김창훈. 2020. 시스템 다이내믹스를 이용한 스마트도시계획이 도시동태성에 미치는 영향 분석 – 안양시를 중심으로. 한국측량학회지 38(1):57-67).