

# 주요 조림수종의 적지 판정 및 투자효율성 분석을 위한 GIS 응용모델의 개발

김의경<sup>1</sup> · 김형호<sup>2\*</sup> · 정주상<sup>3</sup>

## Development of a GIS Application Model for Analyzing Site-Specific Suitability and Investment Efficiency of Major Plantation Species

Eui-Gyeong KIM · Hyung-Ho KIM · Joo-Sang CHUNG

### 요 약

이 연구의 목적은 주요 조림수종의 적지적수 및 투자효율성을 분석하기 위한 GIS 응용모델을 개발하는데 있다. 이 모델은 잠재적 임분성장력과 투자효율성을 동시에 만족시킬 수 있는 수종을 선정할 수 있도록 개발되었다. 즉, 임분의 잠재적 성장력은 지위지수의 추정을 통해 그리고 산림투자에 대한 효율성은 내부투자수익율을 산출하여 수종을 선발하게 된다. 산림경영 여건과 지위지수는 일련의 FGIS 수치도면들의 처리과정을 통해 추출되는 산림입지환경인자들의 함수로 평가된다. 이와 같은 분석 과정을 거쳐서 결정된 수종별 지위지수를 토대로 잠재적 임분성장량이 높게 예측되는 수종들을 우선 선발하고, 이 수종들을 조림하여 경영하는 경우의 내부투자수익율을 산출하게 된다. 내부투자수익율이 가장 높은 것이 결국 임분의 성장량 측면과 수익성 측면을 동시에 만족시키는 수종으로 볼 수 있다. 이 모델을 서울대학교 태화산학술림에 적용하여 6개 수종에 대한 입지여건별 적합도 판정을 위한 사례분석을 수행하였고 그 결과를 제시하였다.

주요어 : 지위지수, 내부투자수익율, 입지환경인자, 임분성장

### Abstract

The objective of this study was to develop a GIS application model for analyzing site-specific suitability and investment efficiency of major plantation tree species. The model was designed to choose the best plantation species in terms of both potential stand growth and investment efficiency. Site index and IRR were used as the criteria for the potential of stand growth and investment

2005년 11월 15일 접수 Received on November 15, 2005 / 2006년 5월 11일 심사완료 Accepted on May 11, 2006

1 경상대학교 산림과학부 교수

2 국립산림과학원 산림경영과 박사후연구원

3 서울대학교 산림과학부 교수

\* 연락처 E-mail: kimlake1@hanmail.net

efficiency, respectively. In the model, the conditions of forest stand management and site index are estimated as the function of site-environmental factors extracted by a series of spatial analyses of digital maps of FGIS. Based on site index values of tree species, the model screens out all the high potential tree species, in terms of stand growth, as the candidates for species selection and, then, calculates IRR for managing plantation forest stands for all the candidate tree species. The tree species of the highest IRR would be chosen as the one possessing the highest potential in terms of stand growth and profit. The model was applied to a case study for analyzing the site-specific suitability of 6 tree species in Taehwa University Forest of Seoul National University and the results are given in this paper.

**KEYWORDS** : *Site Index, Internal Rate of Return, Site-environmental Factors, Stand Growth*

## 서 론

장기투자가 불가피한 조림사업은 낮은 수익성으로 인해 민간부문에 있어 산림투자를 어렵게 하는 주된 요인이 된다. 그럼에도 불구하고 산림의 환경적·공익적 특성으로 공공 예산지원에 의한 산림투자가 필수불가결한 측면이 있다. 이와 같은 성격의 조림투자에 있어 산림의 제반 입지조건에 따른 임분의 성장조건이나 경영여건을 면밀히 검토하여 수종을 선택하는 것이 필요하며, 바람직한 산림경영을 위한 투자가 될 수 있다.

하지만 대부분의 조림사업에서 적지적수나 투자에 따른 효율성을 충분히 고려하여 수종을 선택하기가 쉽지 않다. 왜냐하면 산림경영이 이루어지는 조림대상지의 수종선정에 있어서 임분의 생육예측 및 경영여건에 따른 투자의 효율성까지 고려하기 위해서는 전문적인 지식은 물론 많은 노력과 비용이 수반되기 때문이다.

국내학계에서도 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 연구들이 수행된 바 있고, 대부분 조림대상지별 적지적수 판정에 초점을 두고 있다. 즉, 임분의 입지조건에 따른 수종별 성장특성을 규명함으로써 적지를 판단하고자 하였다. 그 예로, 노의래(1983)는 기상인자에 의한 조림적지 판단기준 설정과 조림예정지에 대한

온도를 추정하여 적지여부를 판단하였고, 이천용 등(1987)은 리기테다소나무의 조림적지를 판정하기 위해 환경, 토양 및 기상인자를 분석하였으며, 정영관 등(1993)은 해송에 대한 적지선정 기준을 설정한 바 있다.

그 외에도 산림의 입지환경인자에 의해 임지생산력을 간접적으로 추정하기 위한 연구들(마상규, 1974; 정인구, 1981; 김규현 등, 1987, 1988; 임영호 등, 1988; 손영모와 정영관, 1994; 김형호와 정주상, 2001; 신만용 등, 2002; 구교상 등, 2003)이 수행된 바 있다. 특히 강영호 등(1996, 1997)은 우리나라 실정에 알맞은 기후, 토양, 지형해석 인자 및 수종특성을 고려한 적지적수도를 GIS 수치지형해석으로 작성할 수 있는 기법을 모색한 바 있다.

한편 이러한 연구들은 조림학적 혹은 생태학적 관점에 중점을 두고 수행된 반면 경제적 관점에서의 조림투자에 대한 효율성 문제까지 동시에 다루고자 하는 연구는 전무한 실정이다. 보다 합리적인 조림투자를 하고자 하는 산주들 입장에서는 투자효율성에 따른 산림소득 문제에 관심을 둘 수밖에 없으므로 산림의 입지해석에 따른 적지적수의 판정문제는 물론 투자효율성까지 동시에 고려할 수 있는 조림수종 선정을 위한 의사결정 도구가 필요하다.

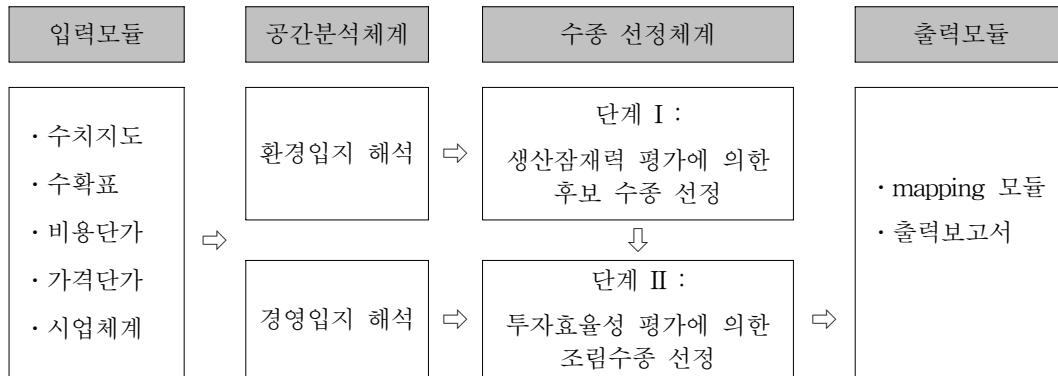


FIGURE 1. GIS 응용모델 개발의 개념도

이 연구에서는 생태적 관점에서의 산림입지 해석과 조림투자의 효율성을 동시에 분석하여 수종 선정에 도움을 줄 수 있는 의사결정 지원모델을 개발하고자 하였다. 이 모델에서는 산림의 생태적 입지를 산림청에 의해 구축된 FGIS 수치도면자료를 활용하여 해석하고, 이를 토대로 투자효율성 측면에서 조림수종의 선별이 가능하도록 분석결과를 제시해 준다.

## GIS 응용모델

### 1. 개발 환경

모델은 Microsoft사의 Windows 운영체제 하에서 사용될 수 있도록 개발되었다. 공간 분석을 위한 GIS 엔진으로 Esri사의 ArcView 3.x를 사용하였고, 프로그래밍은 Esri사의 Avenue와 MS사의 Visual Basic 6.0을 이용하였다. 즉, 적지적수의 판정 및 산림작업 비용 분석에 요구되는 공간분석 관련 모듈은 ArcView의 Avenue 언어로 그리고 투자효율성을 분석하기 위한 체계 및 편의프로그램은 Visual Basic을 사용하여 개발하였다. 이 모델에서는 제반 입지 및 비용 분석을 비롯하여 지위지수 판정과 투자효율성 등의 분석을 GIS 공간분석과 연동되게 함으로써 통합적 운용체계로 구현된다.

### 2. 모델의 개념도

그림 1과 같이 기능적 측면에서 입출력을 위한 자료관리체계, 산림의 입지환경 및 경영여건을 분석하기 위한 GIS 공간분석체계 그리고 임분의 생산잠재력 및 투자효율성 분석에 의한 수종 선정체계로 모델이 구성되어 있다.

공간분석체계에서는 우선 지형도 및 산림입지도도를 이용하여 지위지수 추정 및 생산잠재력 평가에 요구되는 임분의 환경입지 인자들의 속성 값을 추출한다. 또한 경영입지 해석체계에서는 작업비용 추정에 요구되는 임분의 경사 및 접근성 등의 작업여건을 분석한다.

환경입지 해석을 통해 수치입지도에서 추출된 자료는 제1단계의 수종 선정체계로 입력되어 수종별 지위지수 추정 혹은 생육조건 판정에 이용된다. 이 모델에서 지위지수는 김의경 등(2005)이 제안한 환경입지 해석에 의한 지위지수 추정방식을 통해 추정하였다. 각 수종에 대한 해당 임분의 생산잠재력은 추정된 지위지수를 이용하여 평가된다.

경영입지 해석을 통해 임상도, 지형도 및 도로망도에서 추출된 자료는 제2단계의 수종 선정체계로 입력되어 제반 수확 및 시업을 위한 작업비용을 산출하는데 활용된다. 이와 같은

과정을 통해 비용단가가 결정되면 제반 작업 비용 및 임목매각에 따른 수입을 산출하여 사업체계에 따른 현금흐름에 의거 내부투자수익율(internal rate of return)에 의한 투자효율성을 평가하고, 최종적으로 수종을 선정하게 된다.

결국 제1단계 수종선정 과정은 임분의 생산 잠재력을 바탕으로 다양한 후보 수종 중에서 해당 임지의 생육환경에 불리한 수종들을 걸러내는 기능을 가진다. 대신 제2단계 과정은 잠재적으로 가능성이 있는 수종들 중에서 투자효율성을 극대화시킬 수 있는 수종을 가려내기 위한 것이다.

입출력 모듈은 수치지도 및 분석에 필요한 제반 입출력자료를 관리하는 기능을 지니며, 특히 별도의 mapping 기능을 지니고 있어 분석하고자 하는 도면 위에 선정된 수종분포도를 작성할 수 있다.

### 3. 공간 분석

#### 3.1 입지환경 분석에 의한 지위지수의 추정

이 연구에서는 수치입지도, 지형도, 기상자료 중에서 수종별 유효인자를 선정하고, 인자별 주제도를 작성한 후 지도대수 분석을 통해 지위지수 함수식을 추정하였다(그림 2). 대상 수종은 강원지방소나무, 중부지방소나무, 리기다소나무, 해송, 낙엽송, 잣나무, 상수리나무 및 신갈나무로 다중회귀분석을 통해 지위지수 추정함수를 추정할 수 있도록 설계하였다(김의경 등, 2005).

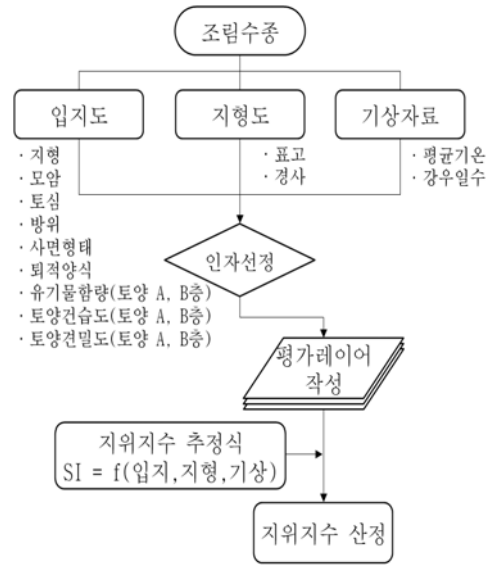


FIGURE 2. 지위지수 추정 흐름도

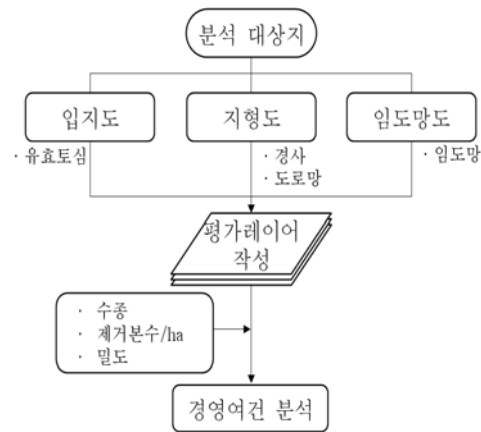


FIGURE 3. 산림경영 여건 분석 흐름도

TABLE 1. 본 모델에서 사용된 수치지도 및 속성 정보

수치지도	정 보	구축기관	구축단위	축 척
수치지형도	표고, 경사도, 도로접근성	국토연구원	전국	
수치입지도	지형, 모암, 퇴적양식, 사면형태, 방위, 유효토심, 유기물함량, 토양건습도, 토양건밀도 등	산림청	전국	1:25,000
임도망도	임도접근성	산림청	전국	

### 3.2 산림경영 여건 분석

일반적으로 산림작업의 효율성은 경사나 접근성 그리고 ha당 밀도나 제거본수 등의 산림경영 여건에 의해 좌우되며, 산림작업 비용은 이 인자들의 함수관계를 통해 산출할 수 있다(김의경 등, 2005). 따라서 공간해석에 의한 경영여건분석은 그림 3과 같이 수치입지도에서 유효토심인자를, 수치지형도에서 경사와 도로망을, 그리고 수치입도망도에서 임도를 추출하여 평가레이어를 작성함으로써 주요 인자들을 추출하고, 수확표(산림청, 2000) 상에서 수종, ha당 밀도 및 제거본수를 산정할 수 있도록 설계하였다.

### 3.3 수치지도 자료

조림수종의 투자효율성 분석 및 적지판정 모델의 개발을 위해 사용된 수치지도 자료는 표 1과 같다. 수치지형도는 구조화 편집과정과 가공을 통해 표고, 경사, 경사향, 수계망, 유역, 도로망, 건물현황 등의 지리정보를 포함하고 있다. 따라서 산림관리에 필요한 많은 정보들 중 임업 혹은 산림관련 정보들을 제외한 대부분의 일반 지리정보를 쉽게 취득할 수 있으며, 산림관리 분야의 GIS 활용에도 폭 넓게 이용된다. 특히 수치 지형도와 관련된 제반 지리정보 중 등고선도는 3차원 해석이 요구되는 산림관리 분야에 있어서 필수적인 자료가 된다. 조림수종의 적지판정시 필요한 표고 및 산지사면의 경사 등이 이 등고선도로부터 추출되며, 임분의 접근성은 임도망도를 통해 분석된다. 또한 수치산림입지도상의 입지환경 인자들을 추출하여 수종별 지위지수를 추정함으로써 임지생산력을 산정할 수 있다.

## 4. 투자효율성 분석

### 4.1 임상조건 및 수확량 예측

임분의 수확량 예측은 수종별 산림수확표(산림청, 2000)를 이용하였다. 이 수확표는 생산조

건이 비슷한 지역에서 동일한 방법으로 시업했을 때 단위면적당 생산되는 재적, 직경, 수고, 본수 등의 표준적인 수치를 임령과 지위지수별로 나타낸 것이다. 따라서 입지환경인자를 이용하여 추정한 지위지수와 별채하고자 하는 임령에 따른 주벌채 생산량을 산출하였다. 그리고 원목의 이용재적은 등급별 임목의 재적을 구하고 여기에 정세경 등(1994)이 제시한 등급에 따른 조제율을 차등 적용하여 산출하였다.

### 4.2 산림작업 비용의 산출

산림작업 비용은 2005년도 산림청 임산물매각규칙에 따라 조림 및 육림작업, 벌목 및 조제작업, 집재 및 운제작업으로 구분한다. 이 규칙에서는 산림작업의 단가를 산림작업의 효율성에 영향을 미치는 산지경사, 접근성, 유효토심, ha당 수확량 그리고 임분밀도 등의 함수관계로 산출하도록 되어 있다. 따라서 그림 3에서와 같이 수치지형도 및 수치입지도의 공간분석을 통해 해당 임분의 경사, 접근성 및 유효토심을 구하고, 수확표에서 ha당 제거본수 및 임분밀도를 추출함으로써 경영여건을 분석하여 이를 토대로 임목매각규칙에 준해 산림작업 단가를 산출하였다.

### 4.3 투자효율성 분석

조림투자에 대한 투자효율성은 산림시업체계에 의해 주어진 시업일정에 따라 수입과 지출을 나타내는 현금흐름표(cash flow table)를 작성하고, 이를 토대로 내부투자수익율(internal rate of return)을 계산하도록 설계하였다. 시업체계에 따른 희망 벌기령에 도달한 임목가액은 등급별 이용재적에 시장도착 원목가를 기준으로 시장역산가 방식에 의해 수확 및 집운제 비용 산출 모듈을 통해 계산된 값을 공제하는 식으로 산출한다.

TABLE 2. 산림사업체계와 가격 및 비용 단가

수종	가격단가 (원/m <sup>3</sup> )	사업시기(임령)					
		지존	조림	하예	덩굴제거	치수가꾸기	간벌
소나무	140,519	0	1	1~4	5~6	8	15, 30
리기다	60,000	0	1	1~4	5~6	8	15
낙엽송	96,822	0	1	1~4	5~6	8	15, 25
잣나무	108,788	0	1	1~5	5~6	-	20, 35
상수리	100,211	0	1	1~4	5~6	10, 15	20, 30
신갈나무	100,211	0	1	1~4	5~6	10, 15	20, 30

작업비용			
조림·육림 비용 단가		수확작업 단가 (원/m <sup>3</sup> )	
노임(원/일/인)	41,218	벌채작업	61,038
묘목대 (천원/ha)	소나무(897), 잣나무(162) 상수리(942), 낙엽송(155) 리기다(56), 신갈나무(942)	집재작업	24,613
		운재작업	17,686

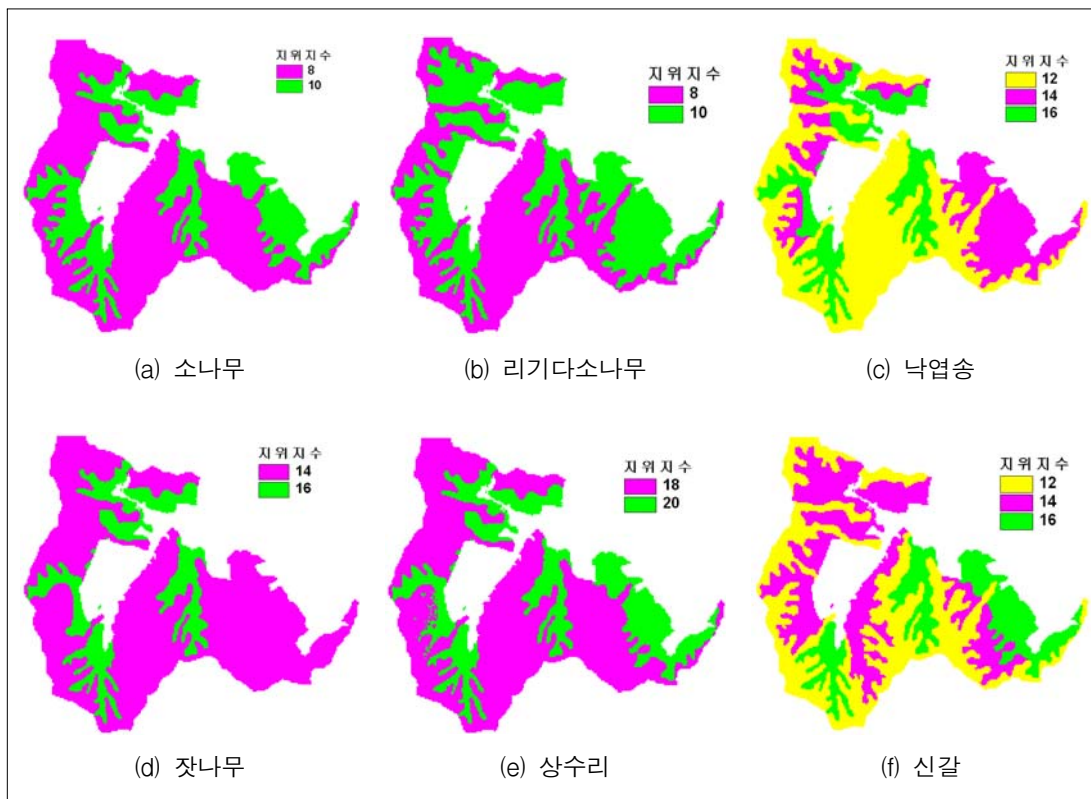


FIGURE 4. 수종별 지위지수 추정 분포도

## 사례분석에 의한 모델의 적용

### 1. 사례분석 대상지

경기도 광주지역의 서울대학교 태화산학술림을 대상으로 800ha 전체에 대한 수종별 조림적지를 사례분석하였다. 현재 이 산림은 낙엽송, 잣나무, 리기다소나무 및 활엽수로 구성된 임상을 보여주고 있으나, 사례연구에서는 전체 산림을 수확하고 갱신한다는 가정 하에 조림투자를 위한 적지적수 판정 분석을 수행하였다.

### 2. 산림사업체계와 가격 및 비용단가

새로운 조림투자를 계획하기 위해 6개 수종(소나무, 리기다소나무, 낙엽송, 잣나무, 상수리나무, 신갈나무)을 예비 수종으로 고려하였다. 투자효율성을 평가하기 위한 산림사업체계와 사례연구 분석을 위해 사용한 목재가격 및 생산비용 단가들이 표 2에 제시되어 있다. 산림사업체계는 산림청의 2005년도 임산물매각규칙을 참고하여 만들어 졌다. 그 외에 작업비용 단가 중에서 조림 및 육림비용은 산주가 직접 부담하기 보다는 표 2에 제시된 비용단가의 90%를 사유림 지원정책에 따른 정부보조금 지원사업으로 이루어진다고 가정하였다. 수종별 가격단가는 2 등급목재를 기준으로 하여 정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 수종별 생육조건 분석

연구대상지 임분들의 각 수종별 생육조건 혹은 지위지수 분포도가 그림 4에 제시되어 있다. 여기서 각 수종별 지위지수는 그림 2에 나타난 공간분석 과정에 의해 수치입지도에서 추출한 산림환경입지 인자들의 함수관계에 의해 판정된다. 따라서 그림 4에 나타난 연구대

상지의 지위지수 분포도의 임분경계는 수치입지도의 임분구획선과 일치할 수밖에 없다.

그림 5는 수종별 지위지수의 분포를 보여준다. 여기서 ‘기존의 지위지수’란 2000년 산림청에서 발간한 임업기술에 나오는 수종별 최대값 및 최소값을 가지는 전국단위 지위지수의 범위를 의미하고, ‘추정 지위지수’는 각 수종별로 연구대상지에 나타나는 지위지수의 범위를 의미한다.

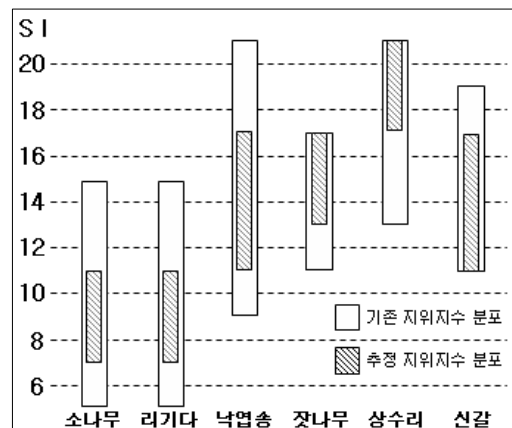


FIGURE 5. 조림수종별 지위지수의 추정 분포

추정된 지위지수의 범위는 소나무 및 리기다소나무의 경우 대략 7~11m의 범위에 속해 다른 수종에 비해 상대적으로 낮은 값에 속한다. 하지만 연구대상지에 나타난 각 수종별 지위지수의 분포 범위는 대체로 전국단위 지위지수의 평균 혹은 평균을 다소 상회하는 정도를 보이고 있으며, 특히 잣나무 및 상수리나무의 경우 생육조건이 매우 우량한 임분을 다수 포함하고 있는 것으로 판단된다.

#### 3.2 경영여건 분석

사례지에 대한 경영여건 분석 결과가 그림 6에 나타나 있다. 분석에 의하면 도로망을 따라 경사가 낮게 나타나고 있으며, 임분의 접근성

에 있어서는 최대 1.6km 까지 임도가 떨어져 있다. 또한 수치입지도 해석에 의해 추출한 각 임분의 유효토심은 15~28cm까지 분포하는 것으로 나타났다.

### 3.3 투자효율성 분석

연구대상지에 대한 각 수종별 내부투자수익율을 계산하여 mapping한 결과가 그림 7에 제시되어 있다. 모델은 이 결과를 토대로 각 수

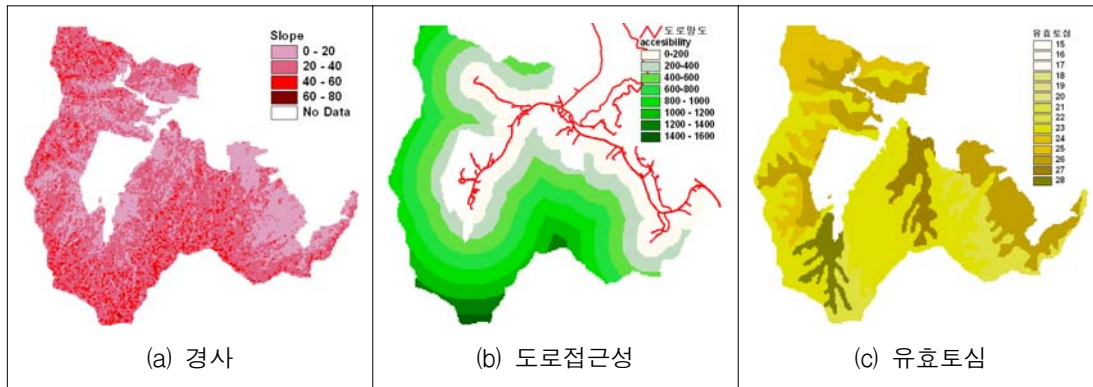


FIGURE 6. 경사, 접근성 및 유효토심의 분포도

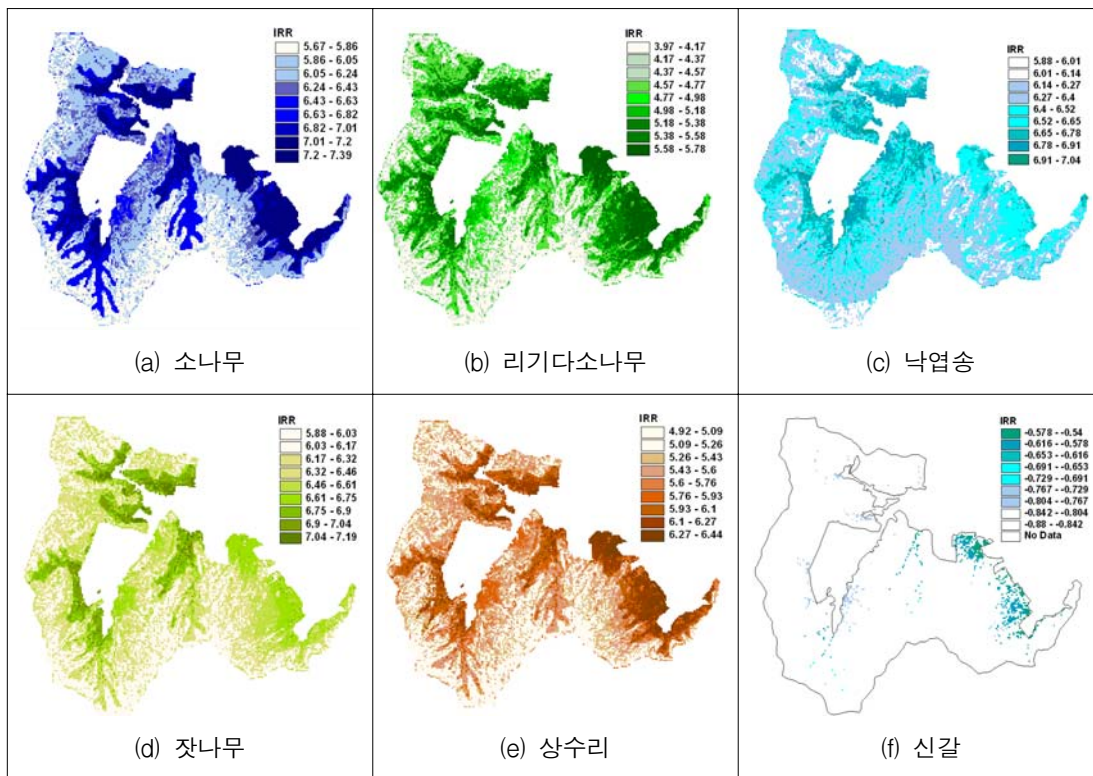


FIGURE 7. 조림수종에 따른 내부투자수익율 분석 결과



TABLE 3. 수종별 내부투자수익율 분포

수 종	소나무	리기다	낙엽송	잣나무	상수리	신 갈
내부투자수익율	5.67~7.39	3.97~5.78	5.88~7.04	5.88~7.19	4.92~6.44	-0.54 이하

종별 내부투자수익율을 비교함으로써 투자효율성이 가장 높은 것을 조림수종으로 선별하게 된다.

사례연구에서는 표 3의 수종별 내부투자수익율의 분포를 근거로 조림수종으로 소나무, 낙엽송, 잣나무가 선호되며, 다음으로 상수리와 리기다소나무 순으로 분석되었다. 특히 신갈나무의 경우 내부투자수익율이 -0.54 이하로 나타나 이 연구에서 주어진 시장환경 하에서는 연구대상지 조림수종으로 부적합한 것으로 판단된다. 다만, 이러한 결과는 사례연구를 위한 scenario 분석에 의한 것으로 scenario가 바뀌거나 목재의 용도나 시장가 혹은 생산비용 단가 등의 변동에 의해 그 결과가 쉽게 달라질 수 있음에 유의해야 할 것이다.

### 결 론

임지를 대상으로 조림수종의 경제적 측면의 적지를 판정하기 위해서는 우선 그 대상이 되는 주요 조림수종의 성장특성을 비롯하여 조림에서 수확까지 수종별 시업체계에 따른 경제성 분석이 필요하고, 이를 위해서는 면밀한 입지분석과 경영활동에 직접적 영향을 미치는 경영여건에 관한 분석이 필수적이다.

이 연구에서는 임분의 성장특성을 밝히기 위한 입지분석과 경영활동에 직접적 영향을 미치는 경영여건의 분석에 GIS의 공간분석 기능을 활용하고, 이를 토대로 투자효율성을 분석함으로써 조림투자에 적합한 수종의 선정을 지원하기 위한 의사결정지원체계를 개발하였다. 따라서 모델은 GIS를 기본엔진으로 하는 공간분석, 그리고 산림시업체계에 따른 투자효율성 분석모듈들이 통합된 형태로 개발되었다.

이 모델은 이미 산림청에서 구축한 FGIS 수

치지도들을 기본 자료로 적지적수 판정을 자동화 할 수 있는 여건을 만들고, 또한 이 결과를 투자효율성 산출을 위한 재무 분석 과정과 직접 연계시킴으로써 항상 이원화 될 수밖에 없었던 복잡한 분석과정을 통합시켜 단순화하였다는 점에 의미가 있다.

다만 현실적인 여건상 GIS의 공간분석 기능을 기존의 비용추정함수와 연계하여 사용함으로써 공간분석 기능을 충분히 활용할 수는 없었다. 즉, 기존의 산림작업에 대한 비용함수가 GIS 공간분석 기능을 전제로 개발된 것이 아니기 때문에 그만큼 분석의 정교함이 줄어들 수밖에 없었다. 이런 관점에서 GIS 기능을 충분히 활용할 수 있는 별도의 산림작업 비용추정함수 등에 관한 연구가 필요하며, 이를 통해 보다 완성도 높은 모델로의 개선 및 보완이 가능할 것으로 판단된다. **KAGIS**

### 참 고 문 헌

강영호, 정진현, 김영걸, 이원규, 1996. 수치지형 해석에 의한 온대북부림의 적지적수도 작성. 산림과학논문집 54:94-103.

강영호, 정진현, 김영걸, 박재욱, 1997. 수치지형 해석에 의한 온대중부림의 적지적수도 작성. 한국임학회지 86(2):241-250.

구교상, 김인호, 정진현, 원형규, 신만용, 2003. 경기·충청지역의 수치 산림입지도를 이용한 주요 수종의 산림생산력 추정에 관한 연구. 한국농림기상학회지5(4):247-254.

김규현 외 18인, 1987. 입지환경인자에 의한 지위 지수에 관한 연구. 임업연구원연구보고 34: 48-64.

김규현 외 18인, 1988. 입지환경인자에 의한 지

- 위지수에 관한 연구. 임업연구원연구보고 36: 22-43.
- 김의경, 정상기. 2000. 국산재 생산·공급체계 구축을 위한 합리적 방안연구. 산림청연구보서. p.34-36
- 김의경, 이천용, 정주상, 김형호. 2005. 주요조림수종의 경제성을 고려한 적지관정 GIS모델 개발. 농림부. 253pp.
- 김형호, 정주상. 2001. 적지적수 관정을 위한 Neural Network 기법의 응용. 한국임학회지. 90(4):437-444.
- 노의래. 1983. 기상인자에 의한 우리나라 산림수종의 생육범위 및 적지적수에 관한 연구. 한국임학회지 62: 1-18.
- 마상규. 1974. 환경인자의 수량화에 의한 지위지수 추정. 임업시험장연구보고 21: 117-150.
- 산림청. 2000. 산림과 임업기술-(Ⅲ)산림경영. p.698-722.
- 손영모, 정영관, 1994. 지형, 토양 및 기상인자가 해송의 수고생장에 미치는 영향. 한국임학회지 83(3): 380-390.
- 신만용, 원형규, 구교상, 정진현, 이천용, 김인호. 2002. 입지환경인자를 이용한 강원도 지역의 수종별 지위지수 추정. 한국농림기상학회지 4: 93-96.
- 이천용, 이원규, 박승걸, 김갑성, 오민영. 1987. 리기테다소나무의 조림적지에 관한 연구. 한국임학회지 76(3): 200-205.
- 임영호, 강창호, 원형규, 김정환, 유정환, 이재호, 강병서, 장경한, 김종호. 1988. 입지환경인자에 의한 지위지수에 관한 연구. 임업연구원연구보고 36: 22-43.
- 정세경, 이경학, 이홍균. 1994. 잣나무, 참나무, 소나무를 대상으로한 주요수종의 임목자산평가. 임업연구원연구보고 50: 96-111.
- 정영관, 박남창, 손영모. 1993. 임목(해송)의 적지선정에 관한 연구. 한국임학회지 82(4): 420-430.
- 정인구. 1981. 수량화에 의한 우리나라 삼림토양의 형태학적 및 이화학적 성질과 잣나무 및 낙엽송의 생장 상관분석. 한국임학회지 53: 1-26. 