

## GIS를 이용한 환경친화적 임도 노선 선정 프로그램의 개발<sup>1</sup>

李丙斗<sup>2</sup> · 鄭主相<sup>2</sup>

### Development of a GIS Model for Projecting Eco-Friendly Forest Roads<sup>1</sup>

Byungdoo Lee<sup>2</sup> and Joosang Chung<sup>2</sup>

#### 요 약

이 연구에서는 환경친화적 임도 노선 선정과 임도 노선에 대하여 환경적·공학적 특성을 평가할 수 있는 GIS 응용 전산 프로그램을 개발하였다. 이 모델은 도형 및 속성 자료 관리 모듈, 적정 노선 선정 모듈, 노선의 환경적·공학적 효율성 평가 모듈, 산악 지형 분석 모듈, 평가서 작성 모듈의 5개 세부 모듈로 구성되었으며, 이 모듈들은 임업 현장 실무에서 쉽게 활용될 수 있도록 'pull-down' 메뉴 체계로 개발되었다. 모델의 운영 체계는 ESRI사의 Avenue, Microsoft의 Visual Basic 6.0을 이용하여 작성하였고, GIS 엔진은 ArcView 3.1, Spatial Analyst 및 3-D Analyst를 이용하였다. 이 논문에는 임도 노선 선정 및 평가와 관련된 응용 원리 및 전산 모델의 구조와 운용 체계가 제시되었다.

#### ABSTRACT

In this study, a GIS-application model to determine the optimal route of eco-friendly forest roads and to evaluate the environmental and engineering features of the route was developed. The model consists of five modules for managing spatial and attribute data, determining the optimal route for forest road projection, evaluating environmental and engineering efficiency of forest roads, analyzing characteristics of mountain terrains and report-writing. Using the pull-down menu system, these modules were integrated to be user-friendly for forest field practitioners. Visual Basic 6.0 and Avenue were used as the programming tool and the commercial GIS softwares, ArcView 3.1, Spatial Analyst and 3-D Analyst were used as the basic engine of the model for GIS analysis. In this paper, discussed are the principles for forest road projection and evaluation and structures and application features of the model.

*Key word* : optimal route for forest road projection, evaluating environmental and engineering efficiency, GIS, eco-friendly forest roads.

#### 서 론

힘준한 산악 임지에 있어서 일련의 임도 시공 단계 중 노선 선정은 임도의 기능적 효율성, 공학적 안정성, 산림 경관 및 공사비 등을 결정하는 가장 기본적이며 중요한 과정이다. 따라서 바람직한 임도 노선은 임도의 시점과 종점이 주어졌을 때 공학적, 환경적으로 안정되고, 경관이나 경제

성, 기능적 효율성을 극대화할 수 있도록 선정되어야 할 것이다. 그러나 일반적으로 임도의 노선 선정 과정은 지형, 임상 및 토양에 대한 정확한 이해는 물론 다양한 공간 분석, 공학적·경제적·환경적 특성을 동시에 고려해야 하는 복잡한 과정을 요구한다. 따라서 실무 현장에서의 임도 노선 선정은 많은 노력과 비용이 요구되는 물론 기술적인 어려움으로 인해 현실적으로 충분한 검토 작업

<sup>1</sup> 接受 2000年 6月 26日 Received on June 26, 2000.

<sup>2</sup> 서울대학교 山林資源學科 Dept. of Forest Resources, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

이 이루어지지 못한 상태에서 임도가 개설되는 것이 일반적이다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 지리정보시스템(GIS; Geographic Information System) 응용에 의한 접근이 이루어지고 있다. 이것은 최근 급속하게 발전하고 있는 지리정보시스템의 제 기능이 효율적 공간 분석을 통해 노선 선정과 같은 복잡한 의사 결정을 효과적으로 지원할 수 있는 것에 기인한다. 특히 불규칙 삼각망(TIN; Triangulated Irregular Network)을 이용한 수치지형 모델(DTM; Digital Terrain Model)은 산악지형 분석에 유용하게 이용될 수 있다. 한 가지 예로 1993년 캐나다에서 개발된 임도 설계 전용 소프트웨어인 RoadEng은 공학적 원리에 기초한 설계 도면의 작성은 물론 지형 분석에 의한 임도의 공학적, 환경적 평가가 가능하도록 설계되어 있다. 국내에서도 이규성(1991)이 지리 정보 연결 분석(Connectivity Analysis) 기법을 응용한 수치지도 분석을 통해 임도 노선의 선정 방법을 제시한 바 있으며, 정영동 등(1993)은 수치 지형 모델을 이용하여 최적 노선 선정에서 지형 및 토공량 변화에 따른 지형 변이 및 경관 해석을 시도한 바 있다. 그 외에 이준우(1992)는 수치 지형 모델에 면적분할법을 적용하여 산림 경영을 위한 적정 임도망 배치를 시도한 바 있다. 이러한 연구들은 국내의 임도 계획과 관련하여 새로운 접근 방법을 제시하였다고 볼 수 있으나 실무적 응용 체계로 발전하지는 못하였다.

이상에서 볼 때 국내 임도 사업의 현실을 고려하여 지리정보시스템의 제 기능을 활용함으로써 환경적·공학적 검토를 효율적으로 수행하여 안정되고 효율성이 높은 임도 노선을 선정할 수 있는 실무적 지원 체계 개발이 필요한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 지리정보시스템을 이용하여 임도의 시점과 종점이 주어진 계획 임도에 대하여 급경사지 통과 여부, 종단 물매, 경관 유지, 임도의 중복성 등을 기준으로 종합적이고 객관적인 평가를 통해 임도의 효율성과 안정성을 증진하기 위한 노선 선정 과정을 자동화하고, 각 기준에 따른 임도 노선의 취약점을 사전에 파악하기 위한 실무형 전산 모델을 개발하고자 수행되었다.

## 임도 노선 선정 및 평가를 위한 주요 인자

본 연구에서는 지리정보시스템 응용에 의한 자

동화 전산 모델을 개발하기 위하여 우선 노선 선정 및 평가에 영향을 미칠 수 있는 공학적·환경적·경제적 인자 7가지를 선정하였다. 지형 인자로는 국립지리원에서 발행한 수치지형도를 통해 획득 가능한 횡단 경사와 종단 물매, 집수 면적을 선정하였으며, 경영 인자로는 수치 임상도(임업연구원 제작)를 통해 추출할 수 있는 임상 조건과 임도 배치의 적정성을 표현할 수 있는 기존 임도나 도로로부터의 거리를 산출하였다. 경관 인자로서는 시계(Viewshed)를 선정하였으며, 마지막으로 임도의 안정성과 시공비 결정에 중요한 토양을 선택하였다. 그 외에 임도 예정지에 위치한 건물, 농지, 묘지 등과 같이 임도 노선이 지나가기 어렵다고 판단되는 장애 지역은 사용자 입력에 의해 별도로 고려될 수 있도록 하였다.

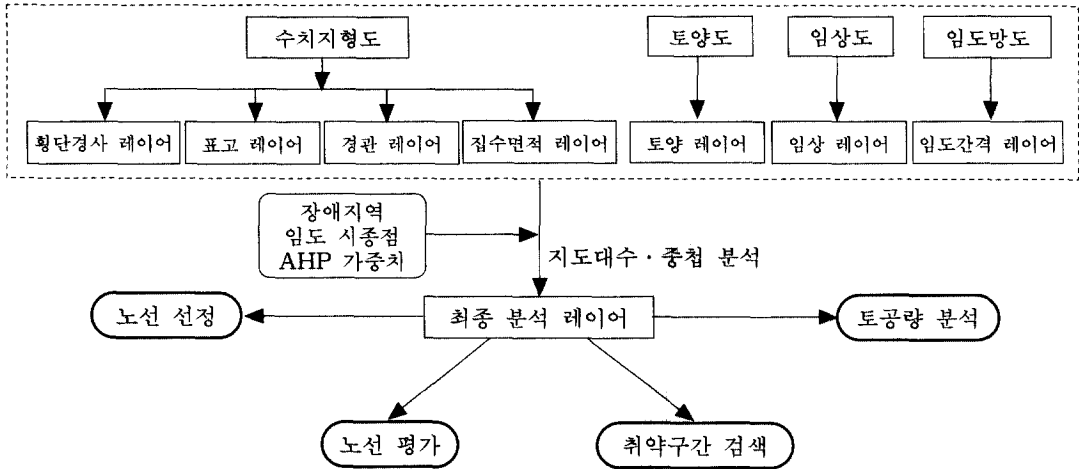
## 임도 노선 선정 및 평가를 위한 GIS 분석 체계

### 1. GIS 분석 체계의 개요

임도 노선의 선정 및 평가는 [그림 1]에 나타난 바와 같이 일련의 수치 도면 해석 과정을 통해 가능하다.

우선 수치지형도, 토양도, 임상도 및 도로망도로부터 임도 노선의 공학적·환경적 안정성을 평가하기 위한 7가지 주요 인자들에 대해 각각 적합도 분석을 거쳐서 기초 레이어를 작성해야 한다. 기초 레이어들이 작성되면 임도의 시·종점과 현지 조사에 의해 임도가 통과할 수 없는 장애 지역들을 입력하고, 각 평가 인자들의 상대적 중요도를 의미하는 가중치를 부여하게 된다. 이와 같은 자료 입력 작업과 지도 중첩(Map Overlay) 및 지도 대수 분석(Map Algebra Analysis) 등의 공간 연산과 분석을 통해 최종 분석 레이어가 완성된다. 최종 분석 레이어는 개별 Cell 단위의 지형·임상·경관·토양·주변 도로 여건 등을 의미하는 정량화된 속성값을 지니게 되므로 적정 노선 선정과 선정된 노선의 적합성 평가를 정량적으로 수행할 수 있도록 해주고 취약 구간의 자동 검색 및 추가적인 시뮬레이션에 의한 토공량 분석 등을 가능하게 한다.

한편 [그림 1]에서는 수치지형도를 활용하여 추출한 4가지 레이어 중 표고 레이어는 시점과 각 Cell의 표고차를 산출한 것으로 임도의 시점이 주어졌을 때에만 추출이 가능하지만 편의상 그림에서는 다른 레이어들과 같이 생성할 수 있는 것으로



(그림 1) 임도 노선 선정 및 평가를 위한 GIS 분석체계

로 표현하였다. 표고 레이어는 이후 설명되는 표면 비용 모델링(Surface Cost Modeling)의 최적 노선 선정 과정에 임도 진행 방향의 종단 물매를 매우 효과적으로 줄이기 위한 인자로 활용된다.

**2. 산악 지형 분석**

수치지형도를 이용한 산악 지형 분석은 3차원 지형을 해석하는데 효과적인 불규칙 삼각망을 이용하여 수치 표고 모델(DEM; Digital Elevation Model), 경사도, 경사향, 음영기복도 및 수계(혹은 집수 면적)를 추출하였다. 경사도와 경사향 산출에 있어서 격자형 자료보다 불규칙 삼각망을 이용한 것은 해상력에 상관없이 경사도가 일정한 값을 유지할 수 있기 때문이다(신진민과 이규석, 1999). 이러한 산악 지형 분석 기능은 대부분 국내의 산림이 험준한 지형에 위치한 점을 감안할 때 임도는 물론 산지 개발과 같은 공간 의사 결정(Spatial Decision Making) 과정에 있어서 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

**3. 지리적 입지에 따른 인자별 가중치 결정**

임도의 경제적·환경적 안정성에 영향을 미치는 주요 인자들의 상대적 중요도는 임도 예정지의 지리적 입지 여건에 따라 달라질 수 있다. 이런 관점에서 임도 노선 선정을 위한 평가인자들에 상대적 중요도를 부여하기 위한 방안이 요구되지만 정량화 작업에 대한 객관적 기준을 설정하는 것은 매우 어려운 문제이다.

따라서 본 연구에서는 정성적인 접근 방법으로

사용자의 경험 혹은 전문가 직관에 의해 직접 가중치를 결정하여 입력하는 방법과 입력된 자료를 바탕으로 계층화 의사 결정법(AHP; Analytic Hierarchy Process)을 적용하여 가중치를 결정하는 방법 중 한 가지를 선택하여 적용할 수 있도록 하였다. 이 때 계층화 의사결정법을 선택할 경우 제 임도 관련 인자들을 정량적인 기준에 의해 체계적인 평가가 가능하다.

**4. 표면 비용 모델링에 의한 최적 임도의 선정**

산악 지형 분석 결과와 입력된 자료를 바탕으로 최적 노선을 선정하는데 있어서 표면 비용 모델링 기법이 이용되었다. 표면 비용 모델링은 연결성 분석의 한 종류로서, 물리적 거리에 마찰 또는 비용이라는 개념을 도입하여 최단 경로(Shortest Path)를 산출하기 위한 Graph 이론의 한 방법이다. [그림 2]는 각 Cell 간의 간격을 1로 했을 때 물리적 거리에서의 최단 거리와 비용 표면(Cost Surface)을 이용했을 때 최단 거리 개념을 나타낸 것이다. 짙은 색으로 표현된 Cell들의 집합이 최단 경로 혹은 최소 비용 경로를 의미한다.

표면 비용 모델링을 위한 비용 표면은 비용에 해당하는 값을 지니는 Cell들로 구성된다. 각 Cell에 내포된 비용을 산출하기 위해서는 우선 해당 Cell의 인자별 입지 특성을 평가하여 정량화한다. 이렇게 결정된 각 인자별 점수에 가중치를 적용하여 합계한 점수가 해당 Cell의 비용 점수가 되며, 이러한 비용을 속성값으로 지닌 새로운 레이어가 [그림 1]에 나타난 최종 분석 레이어가 되며 이것

(그림 2) 물리적 거리 및 비용 표면에 의한 최단 경로의 비교

[표 1] 개설 임도 및 선정된 임도의 안정성 평가 기준의 예

평 점	횡단 경사	중단 물매	임도 노출도	인근 임도 및 도로와의 거리	마사토 함유 비율
100	0 - 20°	0 - 6%	0	>500m	0%
90	20 - 25°	6 - 8%	0 - 10%	-	<3%
80	25 - 30°	8 - 10%	10 - 20%	400 - 500m	<6%
70	30 - 35°	10 - 12%	20 - 30%	-	<9%
60	35 - 40°	12 - 14%	30 - 40%	300 - 400m	<12%
50	40 - 45°	-	40 - 50%	-	<15%
40	-	-	50 - 60%	200 - 300m	<18%
30	-	-	60 - 70%	-	<21%
20	-	-	70 - 80%	100 - 200m	<24%
10	-	-	-	-	-
0	>45°	>14%	>80%	<100m	>24%

을 비용 개념으로 전환한 것이 비용 표면에 해당한다.

비용 표면이 준비되면 이를 토대로 표면 비용 모델링 모듈이 비용 경로 분석에 의해 최소 비용 조건을 만족시키는 경로를 선정하게 된다. 즉, 표면 비용 모델링 모듈은 임도 시점을 의미하는 Cell로부터 임도 종점, 즉, 목적지 Cell을 연결하는 누적 이동 비용(Accumulating Travel Costs) 산출의 반복 과정(Iterative Process)에 의해 최소 비용 조건을 만족시키는 경로를 결정해 준다.

### 5. 선정된 임도 노선의 평가 체계

전술한 평가 인자들에 의해 노선이 선정되었거나 이미 개설된 임도에 대해서 공학적·환경적 안정성을 비교적 쉽게 객관적으로 평가할 수 있다.

일례로 [표 1]에는 임도 노선의 안정성을 정량적으로 평가하기 위한 5가지 기준이 제시되어 있다. 이 표에서 지형은 산지 경사와 중단 물매를 점수화하여 평가할 수 있으며, 경관은 마을 또는 도로상 주요 지점에서의 임도 노출도를, 임도 중복성은 Buffering 분석을 통해 인근 임도 및 도로까지의 거리를, 토양은 마사토 함유 비율을 점수

화하여 평가할 수 있도록 하였다.

**6. 간이 설계도면 작성 및 토공량 분석체계**

이미 선정된 임도 노선에 임도 제한이 주어지는 경우 Buffering 분석을 통해 일정 간격의 축점을 설정하고, 각 축점에 대한 3차원 좌표를 취득할 수 있다. 이러한 축점 좌표를 시물레이션 모듈과 연결하면 종단면도와 횡단면도 작성은 물론 토공량 분석이 가능하다.

본 연구에서는 임도 노선이 중앙선을 지나고, 임도 나비는 1급 임도 기준인 4m라고 가정하여 시물레이션 모듈을 개발하였다. 축점 간격은 사용자가 임의 선정하도록 하였으며 토공량은 각 축점별 절·성토 단면적을 산출한 후 양단면적평균법을 이용하여 절·성토량이 계산된다.

**전산 모델의 개발 환경 및 운용 체계**

**1. 개발 환경**

공간 분석 기능을 담당하는 지리정보시스템 엔진으로는 ESRI사의 ArcView 3.1과 동일 제품군인 Spatial Analyst와 3D Analyst를 사용하였다. 프로그램의 작성은 ArcView 3.1에 내장된 객체

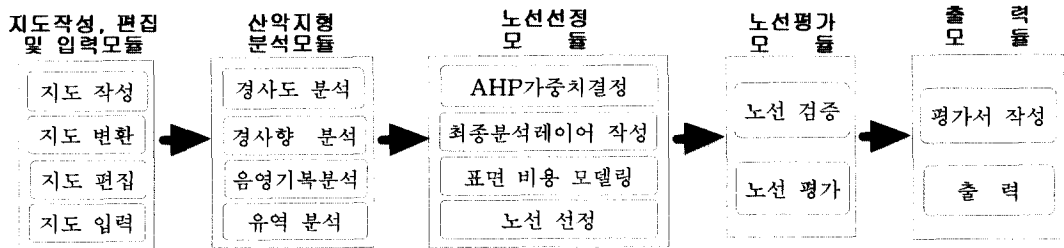
지향 애플리케이션 개발 언어인 Avenue와 Dialog Designer를 이용하였으며, 계층화 의사 결정법에 의한 가중치 결정 모듈과 종단면도 및 토공량 분석 모듈은 Microsoft사의 Visual Basic 6.0을 이용하였다.

**2. 전산 모델의 구조와 운용 체계**

본 연구에서 제시된 전산 모델은 크게 지도 작성 및 입력 모듈, 노선 선정 모듈, 노선 평가 모듈, 산악 지형 분석 모듈, 평가서 작성 및 출력 모듈의 5개로 구성되며, 메뉴 체계는 노선 선정 과정에 따라 7단계로 구분하고 각 단계마다 하위 메뉴를 생성하여, 'pull-down' 방식으로 작성하였다.

이와 같은 모듈들의 단계적 운용 체계 및 인터페이스 메뉴 체계가 각각 [그림 3]과 [표 2]에 제시되어 있다.

지도 작성 및 입력 모듈은 지도를 작성하거나, 변환·편집하는 기능과 노선 선정에 관여하는 여러 인자들의 입력 기능을 담당한다. 즉, 국립지리원 발행 dxf file format의 수치지형도를 이용하여 필요한 지도를 생성하는 역할과 수치 지도와 임상도, 토양도, 임도망도 등의 자료를 본 프로그램



(그림 3) 전산 모델의 구조 및 단계적 운용 체계

(표 2) 전산 모델의 인터페이스 메뉴 체계

기본 업무	메뉴	주요 기능
시스템 관리	파일	시스템 시작·종료 및 파일 관리
GIS 수치지도엽 관리	지도 작성 및 등록	수치 지도 추출·등록 및 기초 자료 입력
	지도 편집	수치 지도의 복사·삭제·잘라내기 등의 편집 및 라벨 입력
GIS 분석	산악 지형 분석	TIN 생성, 경사·방위·음영 기복 등의 지형적 특성과 유역내 수계 분석
	평가 레이어 생성	경사·집수 면적·경관·임상·임도 간격·토양 등 평가 인자별 레이어 생성
	노선 선정 및 평가	임도 시·종점 입력, 최적 노선의 선정, 기존 임도 노선의 평가, 취약 지역 분석, 토공량 분석, 항공 사진 분석 및 평가서 작성
기타	도움말	ArcView와 프로그램의 안내와 사용법

램에서 이용할 수 있도록 하는 자료 변환 기능, 수치 지도 편집 기능 등이 구현되어 있다. 자료의 입력 및 등록이 완료되면 메뉴 체계에 의해 순차적인 임도 노선 선정 및 평가 분석을 거쳐서 최종 출력이 가능하도록 설계되었다. 즉, 최종적으로 선정된 노선과 각종 분석 결과들은 평가서 작성 및 출력 모듈을 통해 보고서로 출력된다. 본 프로그램은 노선 선정 결과를 플로터와 프린터를 이용해 출력할 수 있을 뿐만 아니라, 손쉽게 자료를 공유할 수 있도록 HTML 형식으로 보고서가 작성되도록 하였다.

## 전산 모델의 응용

### 1. 초기 작업 환경 설정

「임도 노선 선정 프로그램」을 실행하면 초기 화면으로써 [그림 4]와 같이 새로운 노선 선정 작업을 할 것인지, 기존의 저장된 작업을 불러올 것인지를 선택하게 되며, 새로운 노선 선정 작업을 할 경우 [그림 5]와 같이 작업 환경을 설정해야 한다. 환경 설정 중 해상도는 Raster 분석의 기본 단위인 Cell의 크기를 주어야 한다.

### 2. 노선 선정 인자별 적합성 분석을 통한 기초 레이어 생성

국립지리원에서 작성한 dxf file format의 수치지형도를 이용하기 위하여 수치지형도 표준 코드

를 참조하여 산악 지형 분석에 이용될 등고선 레이어와 도로 접근성 계산시 이용될 도로 레이어, 경관 분석시 이용될 마을이나 건물의 위치에 관련된 레이어를 검색하여 본 프로그램의 파일 구조인 shape file format으로 변환한 결과는 [그림 6]과 같다. 또한 수치지형도에서 추출한 등고선 레이어를 바탕으로 생성된 불규칙 삼각망을 이용한 경사도 분석 결과는 [그림 7]과 같다.

[그림 8]은 기존 도로나 기존 임도로부터 임도 노선 후보가 되는 각 Cell까지의 최단 거리를 산출한 임도 간격 레이어의 모습이다. 또한 [그림 9]는 임상 조건의 분석 결과를 보여주고 있는데, 이는 임업연구원에서 구축한 수치 임상도를 이용하여 임상별, 경급별, 영급별, 소밀도별로 점수를 부여할 수 있도록 설계하였다.

[그림 10]과 [그림 11]은 임도 개설시 발생할 수 있는 경관의 훼손을 최소화하기 위하여 경관 분석을 수행하는 과정이다. [그림 10]은 경관 분석 중

시계를 분석하기 위하여 마을이나 도로 등을 중심으로 임도 노선 예정지에 대한 시준점을 입력한 결과이며, [그림 11]은 임도의 노출도를 토대로 작성된 점수 레이어를 나타낸 것이다.

### 3. 노선 선정

노선 선정 인자들 각각에 대한 분석을 통하여 만들어진 점수 레이어에 가중치를 부여하는 방법으로 본 연구에서는 사용자 직접 입력 방법과 계층화 의사 결정법에 의한 가중치 결정 방법 두 가지를 제시하였다. [그림 12]에서 보는 바와 같이 계층화 의사 결정법에 의한 가중치 결정 방법을 이용하면 쌍체 비교를 통하여 각 레이어의 가중치와 결정된 가중치의 합리성을 표현하는 정합도를 계산하게 된다. 한편 [그림 13]은 지금까지의 분석 과정을 종합한 최종 분석 레이어에 표면 비용 모델링 기법을 이용하여 선정된 예정 노선을 나타낸 것이다.

### 4. 노선 평가 및 보고서 작성

[그림 14]는 선정된 임도 노선의 3차원 분석을 통해 3차원 좌표 값을 취득하여 작성한 종단면도

및 개략적인 구간별 질·성토량 산출 결과이며, [그림 15]는 임도 노선 구간중 지형, 토양, 경관 임도 중복성 등의 취약구간을 나타낸 것이다.

[그림 16]은 산림 분야와 관련된 원격 탐사 이미지 중 높은 공간 해상력을 가지면서 쉽게 활용

할 수 있는 항공 사진에 좌표를 입력하여 선정된 노선과 중첩 분석한 결과이다. 이처럼 항공 사진을 이용하면 실제 지형 지물과 개설된 노선과의 관계를 보다 현실적으로 파악할 수 있는 장점이 있다. 마지막으로 [그림 17]은 본 전산 모델의 출력 양식 중 HTML 형식의 출력 결과를 보여주고 있다.

## 결 론

이 연구에서는 지리정보시스템을 이용한 산악 지형 분석 및 지도 분석을 바탕으로, 적정 임도 노선을 선정할 수 있고, 선정된 노선을 평가할 수 있는 자동화 전산 모델을 개발하였다. 임도 노선 선정 인자로 횡단 경사, 종단 물매, 집수 면적, 경관, 임도 중복성, 임상, 토양의 7가지를 이용하였다. 수치 지형 모델을 이용하여 산악 지형을 분



석하여 재구성하고, 지도 분석을 통하여 노선 선정 인자들을 결합한 뒤 표면 비용 모델링을 적용하여 최적 노선을 선정할 수 있도록 하였다. 선정된 노선에 대해서는 3차원 분석, 토공량 분석, 종단면 분석, 취약 구간 분석, 항공 사진 분석을 통하여 노선의 적정성을 검증하고 평가할 수 있도록 하였다.

한편 본 연구에서 개발된 전산 모델은 임도 노선의 선정 및 평가에 중점을 두고 개발되었으나 향후의 연구에서는 공학적·환경적으로 안정된 임도 사업을 지원하기 위한 임도 설계 모델의 개발이 필히 요구된다. 또한 이와 같이 개발된 전산 모델의 실무 보급을 위한 노력이 반드시 수반되어야 할 것이며, 이를 통해 실무 측면에서의 검증과 지속적으로 수정·보완이 이루어져야 할 것이다.

**참 고 문 헌**

1. 김종윤. 1992. 수치지형도를 이용한 최적 임도망 편성방법과 임도 개발 효과 분석. 경상대학교 박사 논문. 8-12pp.
2. 김종윤·정도현. 1998. 임도망 계획 방법. 임업연구원. 1-54pp.
3. 산림청. 1998. 환경친화적 임도의 시설·관리를 위한 정책 방향. 13-20pp.
4. 산림청. 1998. 임도 노선 선정·설계 및 시설 기준. 1-12pp.
5. 신진민·이규석. 1999. GIS Software를 이용한 한국 산악 지형의 경사도 산출 정확도에 관한 연구. 한국 GIS 학회 춘계 발표 대회 초록집. 9-12pp.
6. 이규성. 1991. 컴퓨터 지도 분석을 이용한 임

- 도 계획. 한국임학회지 80(3) : 317-325.
7. 이준우. 1992. 수치 지형 모델을 이용한 임도망 배치 계획에 관한 연구. 서울대학교 박사 논문. 13-23pp.
8. 장진원. 1998. AHP의 User Interface 개선에 관한 연구. 서울대학교 석사 논문. 13-20pp.
9. 정영동·박정남·박성규·김진기. 1993. 수치지형모형을 이용한 최적노선선정에 관한 연구. 한국측지학회지 11(2) : 17-26.
10. 정주상·정우담. 1995. 임도 설계 자동화를 위한 전산모델의 개발. 한국임학회지 84(3) : 333-342.
11. 차두송·이준우. 1992. 최적 임도 배치 계획에 관한 연구. 한국임학회지 81(2) : 139-145.
12. Burrough, P.A.(1986). Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press. New York. p.50.
13. ESRI. 1996. Avenue Customization and Application Development for ArcView.
14. Jenson S.K. and J.O. Domingue. 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 54, No. 11, November 1988. 1593-1600pp.
15. Katsuhiko KITAGAWA. 1991. Fundamental studies on the terrain analysis in mountainous forest areas. 49-180pp.
16. Softree. 1993. ROADENG(Forest engineering software). p.284.