

임도망의 계획에 있어서 GIS 활용방안

전권석¹ · 마호섭^{2*}

Application Method of GIS for Planning of Forest Road Network

Kwon-Seok JEON¹ · Ho-Seop MA^{2*}

요 약

임도망 계획시 GIS의 활용은 시공전에 노선을 평가할 수 있어 노선선정의 잦은 변경에 따른 불필요한 노력과 경비를 절감할 수 있다. 본 연구는 임도망의 종합적인 계획을 위하여 지형정보시스템을 이용하여 경남 남해군에 위치한 금산주변의 국유림을 대상으로 노선선정기준에 따른 합리적이고 환경친화적인 임도망의 계획방법을 제시하고 그 적용성을 검토하였다. 효율적인 노선선정을 위하여 분석항목별 노선통과의 적합성 여부를 평가하는 기준으로 각 격자에 가중치(점수)를 주었으며, 구조적인 측면의 종단물매와 생산적인 측면에서 투자효과의 최대화에 의한 2가지 노선선정기준에 따라 임도망을 계획하고 그 결과를 분석하였다. 종단물매를 고려하여 임도망을 계획한 결과, 총연장 및 임도밀도는 20.41km, 6.92m/ha로 나타났으며, 구조적인 측면의 종단물매와 투자효과의 최대화에 의한 방법을 조합하여 노선을 계획한 결과 총연장 및 임도밀도는 21.15km, 7.17m/ha로서 구조적인 측면의 임도망 계획결과에 비하여 높게 나타났다. GIS 기법에 의한 임도망의 계획은 각 대안별 평가를 통하여 최종 의사결정자가 최적의 임도망을 선택할 수 있는 의사결정지원체제로서 중요한 정보를 제공할 수 있는 것으로 평가된다.

주요어: 지형정보시스템, 임도망, 노선선정, 임도밀도, 종단물매, 투자효과

ABSTRACT

The application method of GIS for planning of forest road network can be save the efforts and cost by frequently change of forest road and evaluation the forest road route before construction. The purpose of this study is to suggest the proper method for planning an optimal forest road network in mountains forest using geographic information system(GIS) in the national forest of Mt. Kumsan at Namhae-gun, Gyungsangnam-do. In the forest road network planning by the minimum longitudinal gradient, The total length was 20.41km, and road density was 6.92m/ha. In the forest road network planning by mixed with the minimum longitudinal gradient and the maximization of investment effect, The total length was 21.15km, and road density was higher than that of the minimum longitudinal

2002년 9월 8일 접수 Received on September 8, 2002 / 2002년 9월 23일 심사완료 Accepted on September 23, 2002

¹ 임업연구원 중부임업시험장 Chungbu Experiment Station, Korea Forest Research Institute

² 경상대학교 농과대학 산림과학부 Division of Forest Science, Gyeongsang National University

* 연락처 E-mail: mahoseop@nongae.gsnu.ac.kr

gradient as 7.17m/ha. The road length overlapped by cost path was more short than 3.52m/ha of the minimum longitudinal gradient as 1.73km. So, it appeared that forest road has an high effectiveness in yarding function. Therefore, it considered that the geographic information system could provide an effective and reasonable solutions for planning of optimal forest road network.

KEYWORDS: *Geographic Information System, Forest Road Network, Road Selection, Forest Road Density, Longitudinal Gradient, Investment Effect*

서 론

임도는 산림의 합리적인 경영을 위한 주요 기반시설로서 산림청에서는 임업의 산업화 및 기계화를 위하여 임도망의 구축에 많은 투자를 해오고 있다. 임도의 밀도가 높으면 식재부터 벌채생산에 이르기까지 인건비는 물론 산림사업비, 집재운반비, 기타 간접비 등을 최대한 절약할 수 있다. 지금까지 임도정책은 임업 기반조성을 위하여 질적인 면보다도 양적인 면에 많은 치중이 되어 왔다. 임도의 개설시에는 산림개발, 농산촌의 지역간 연결, 산림의 보호 및 산화예방 등 다목적으로 고려하여야 함에도 불구하고 산림경영을 위한 합리성과 객관적인 측면을 무시하고 많이 시공이 되었다. 또한, 목재운반만을 고려한다면 임도를 개설할 경우에는 막대한 투자에 비해 산림수확을 위한 이용률과 효율성이 감소될 것이다. 그러나 향후 임도망 계획시에는 노선선정의 잦은 변경에 따른 불필요한 인력과 경비를 절감할 수 있고, 임도시설로 인한 주변환경 파괴를 최소화할 환경친화적이고 이용도가 높은 양질의 임도시설이 필요하게 될 것이다.

특히, 산림작업시 기계화작업의 촉진을 위한 임도가 어디에 어떻게 배치될 것인가에 대한 임도망(forest road network)의 문제는 아주 중요하다. 현재 우리나라의 경우 임도노선의 선정작업에서는 측량작업 후 일부 컴퓨터를 이용하여 도면작업에 의하여 노선배치를 하고 있으나 대부분이 객관적인 기준없이 사람의 손에 의해서 이루어지기 때문에 적절치

못한 임도망이 형성되는 경우가 많았다.

DTM과 GIS를 이용한 임도의 설계 및 노선배치에 관한 연구로 Hickman(1995), Reute(1998)는 산악지형에 적합한 임도망 편성작업을 연구하였고, 국내에서는 임도의 설계 및 노선배치에 관한 연구로 김종윤 등(1992)은 수치지형도(DTM)를 작성하여 임도밀도, 임도물매, 집재비 및 임도개설비 등을 적용하여 최적임도망 편성 전산프로그램을 개발하여 경제성분석을 실시하였다.

차두송과 이준우(1992)는 임도개설 목적에 따른 평가인자 중 평균집재거리, 개발지수, 집재불능지점수의 비율을 이용하여 최적 임도노선의 배치계획에 대하여 연구하였다. 또한 이준우(1992)는 임도망 배치에 관한 연구로서 임도노망편성 전산화프로그램을 개발하여 임도망을 편성하고 임도밀도가 증가함에 따른 임도개설효과에 관하여 분석한바 있다. 환경친화적인 측면에서 임도노선 선정프로그램의 개발(정주상과 정우담, 1995; 이병두, 2000) 등의 연구가 이루어 졌다. GIS기법은 다양하게 이용되고 있으며 벌채가능지역의 구분 및 임목가격 산정에 응용한 사례와 체기물 매립지의 적지분석에도 많이 활용되고 있다(김한수 등, 2000; 이진덕 등, 2000). 구자훈(2000)은 수치지형도를 활용하여 토지이용정보시스템을 구축하였다.

본 연구는 경상남도 남해군 금산주변의 국유림을 대상으로 지형정보시스템과 수치지형도(DTM)를 이용하여 노선선정기준에 따른 합리적인 임도망의 계획방법을 제시하고, 그 적

용성을 검토함으로써 향후 환경친화적인 임도 개설의 기초자료를 제공하고자 실시되었다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구의 대상지역은 경상남도 남해군에 위치한 금산(해발고 701m)의 주변지역으로 위치는 동경 127°58' ~ 128°00'과 북위 34°45' ~ 35°45'로서 한반도의 최남단에 있다. 최고봉인 금산을 중심으로 사면이 바다에 면하고 있으며, 비교적 완만한 경사를 이루고 있다. 연구대상지의 기존 임도망과의 비교를 통하여 그 적용성을 검토하고자 국유임도가 개설된 지역을 중심으로 선정하였으며, 조사지역은 그림 1과 같다.

지황은 최고봉인 금산을 중심으로 동서남북으로 뻗은 주능선이 골격을 이루고 있으며, 총면적은 약 2,948.0ha이다. 표고는 최고 701m이며, 경사는 산정 주변에는 비교적 급경사를 이루지만 전반적으로 25~35% 정도로서 비교적 완만한 편이다. 모암은 주로 금산 주변으로 화강암과 편마암이 많아 암석이 심하게 노출

된 곳이 많이 있으며, 산복이하의 저지대는 경상계 혈암이 분포하고 있다. 토성은 양토, 식양토 및 사양토로서 표토가 얇고 부식층이 적어 임지생산능력은 보통의 임지에 해당한다.

임황은 온대남부에 속하는 편백, 삼나무, 리기다소나무 등 인공조림지를 제외하고는 대부분 활엽수 및 혼효림으로 구성되어 있으며, 일부분이 한려해상국립공원(222.6ha)으로 지정되어 있어 자연공원법에 의하여 시업이 제한되고 있다. 수계는 최고봉인 금산에서 발원하여 북동쪽으로는 내산리에 위치한 내산저수지로 유입되며, 북서쪽으로는 북곡저수지로 유입되어 농업용수를 공급하는 중대한 역할을 하고 있다.

2. 데이터베이스의 구축과 처리

지형정보시스템을 이용하여 노선선정기준에 따른 합리적인 임도망의 계획방법을 제시하고 기존 임도망과의 비교를 통하여 그 적용성을 검토하기 위하여 사용한 S/W는 ARC View와 ARC/INFO이며, 수치지형도(1:5,000), 임소반도(1:25,000), 임상도(1:25,000), 기설임도망도(1:25,000), 간이산림토양도(1:25,000), 산림

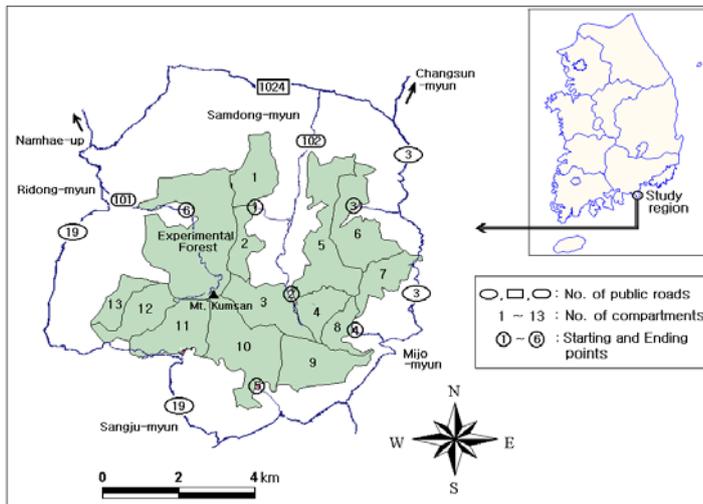


FIGURE 1. Location map of the case study area

기능구분도(1:25,000)와 임도관리대장 및 산림조사부를 이용하여 주제도(layer)를 구축하였다.

임도개설의 주요점과 영역의 설정은 구축된 각 주제도(layer)를 중첩하여 데이터베이스화 하여 이용하였다. 이때 체계적이고 산림지역의 합리적인 임도개설을 위하여 한 격자(cell)의 크기는 30m×30m로 설정하였다. 효율적인 노선선정을 위하여 분석항목별 노선통과 가능 적합성 여부를 평가하는 기준으로 각 격자에 가중치(점수)를 주었으며, 2가지 노선선정기준에 따라 임도망을 계획하고 그 결과를 분석하였다.

노선의 시점과 종점의 선정은 임도시설규정상 노선의 선정기준에서 피해야 할 영역, 토지이용현황 및 주변의 주요지형지물 등을 제외하고 시점과 종점을 선정하였다. 또한 본 연구를 수행함에 있어서 사용된 GIS S/W를 이용한 대안별 임도망 구축과정의 전체적인 흐름도는 그림 2와 같다.

결과 및 고찰

1. 종단물매에 따른 임도노선 배치

지리정보시스템을 이용하여 최적의 임도노

망 계획을 위하여 ‘저항(resistance or friction)’ 개념을 적용하였다. 즉, 임도노선이 통과해서는 안될 영역은 저항치를 높게 부여하고 통과해도 좋은 영역은 낮게 부여하여 저항치가 낮은 구역이 임도노선으로 선정되게 하였다. 노선선정 알고리즘은 최소비용경로와 같이 간단히 어떤 결론을 산출하는 단계적인 순서로서 출발지로부터 도착지의 점(point)간에 최소비용경로를 찾는 방법으로 그들 사이의 가능한 모든 경로를 조사하고 최소비용을 가진 경로를 선택하게 된다(오명진, 1997). 망(network)에는 수백만 가지의 경로들이 존재하므로 가능한 최소한의 경로를 조사하는 것은 오랜 시간이 소요되므로 이러한 현상을 최소화하기 위한 방법상의 모델이 요구된다(ESRI, 1991).

본 연구의 수행과정에서 network를 통해 최소비용경로를 찾기 위한 알고리즘의 처리과정은 첫째, 일단 누적비용 grid와 back-link grid가 생성되고 나면 지정된 목적지의 셀이나 영역으로부터 최소비용경로를 구한다. 둘째, 최소비용경로를 찾는 cost-path 함수는 source까지 back-link grid를 통해 목적지 셀을 다시 찾게 해준다. 셋째, 입력 목적지(destination)로서 다수의 셀이나 영역이 있으면 각 셀이나 각 영역(각 zone에 대한 하나의 경로)으로써

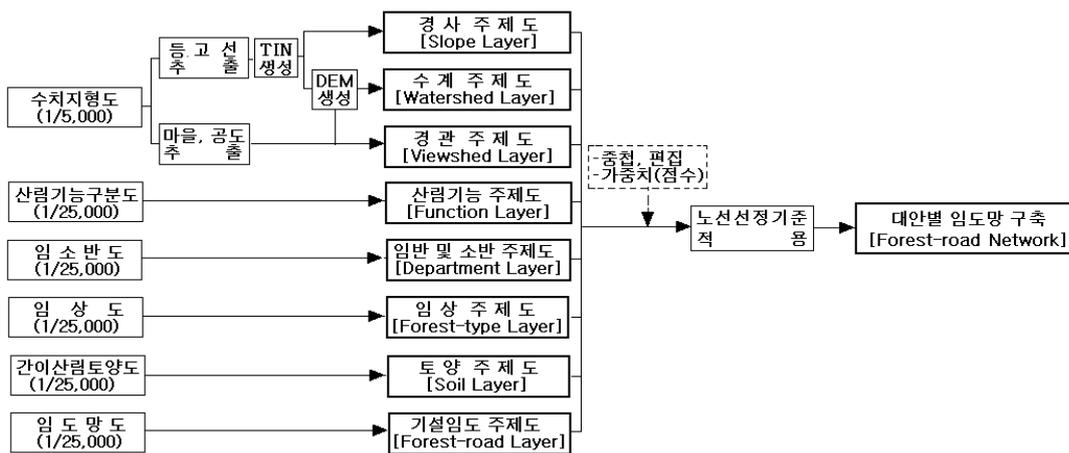


FIGURE 2. Flow chart of forest road network construction

터, 또는 주제도 단위로 최소비용경로(zone으로부터 비용이 가장 낮은 단 하나의 경로)를 계산하여 노선을 선정하게 된다.

임도의 구조적인 측면은 차량의 원만한 주행과 노면 및 측구침식을 최소화시키기 위하여 가능한 임도의 종단물매를 최소로 하는 방법으로 노선을 선정하는 것이 좋다. 임도의 종단물매는 차량타이어의 활동비율과 노면침식을 유발하는 물의 활동비율을 고려하여 종단물매가 0.0%~2.0% 미만은 6%일 때와 같다는 연구결과(Oregon State Office, 1970)에 따라 0.0%~2.0% 미만과 6.1%~8.0% 미만은 3점을 주었고, 임도의 유지관리를 고려한 적정물매가 5%라는 연구결과(권태호, 1986)를 고려하여, 4.1%~6.0% 미만은 2점, 2.1%~4.0% 미만은 1점을 주었다. 또한, 임도시설규정(임업연구원, 1999; 산림청, 2000)에 의하면 설계속도별 종단물매의 경우 특수지형에 있어서 노면을 포장할 경우 18%까지 허용하고 있으므로 18%까지 2% 간격으로 10개 등급을 나누었다. 노선 선정을 위해 적용되어진 등급별 점수(가중치)

는 최저 1점에서 최고 9점을 표 1과 같이 부여하였다.

본 연구의 경우 수치지형도(1:5,000)에서 각 격자에 대한 표고를 이용하여 어떤 격자에서 다음 격자까지 18% 이내의 종단물매를 산출한 후 노선선정 알고리즘에 의하여 이미 선정된 한 방향을 제외한 나머지 7방향 중 가장 낮은 점수를 가지는 구간으로 다음노선을 선정하게 된다. 이렇게 하여 시점과 종점상에 최단거리의 모든 노선이 선정된다. 이때 특별히 헤어핀곡선이 될 나타날 경우는 임도의 효율성과 지형의 상태를 고려하여 적절히 판단하여야 할 것이다.

도로의 주요기능인 차량의 주행성과 가장 관련이 깊은 구조적인 측면인 종단물매만을 고려하여 노선을 선정한 임도망의 결과는 그림 4와 같다.

그림 4에서 종단물매를 고려하여 임도망을 계획한 결과, 총연장 및 임도밀도는 20.41km, 6.92m/ha로 나타났으며, 일부구간의 노선이 대상지역의 경계영역과 인접하게 선정되어져 임

TABLE 1. Classification and weighting value by longitudinal gradient

Longitudinal gradient (%)	Class	0.0~2.0	2.1~4.0	4.1~6.0	6.1~8.0	8.1~10.0	10.1~12.0	12.1~14.0	14.1~16.0	16.1~18.0	18.1~
	Weight	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9

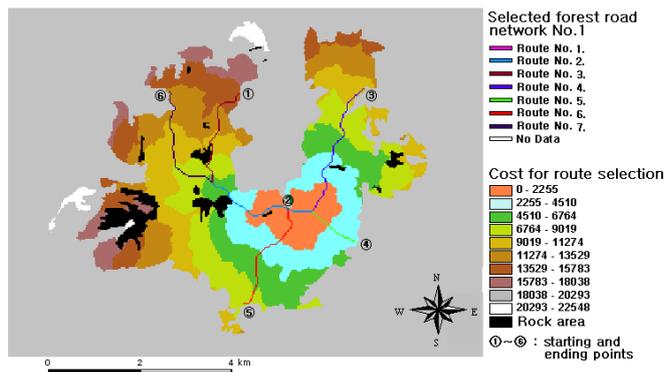


FIGURE 4. A map showing the selected routes of forest road network based on longitudinal gradient

업적 측면에서는 임도의 효율성이 떨어지는 경향임을 알수있다.

중단물매만을 고려한 임도망의 경우 대상 지역내의 source 셀인 지점 ②에서 나머지 지점 ①부터 지점 ⑥까지의 최소비용경로에 의한 격자별 누적비용은 10구역으로 구분되었다. 이때 마지막 10번째 구역의 누적비용은 22,548로 나타났다.

임도망의 선형은 연구 대상지역내 공도와 유사한 선형을 이루고 있었으며, 13개 임반 중 6개 임반이 통과되어 임업적측면에서 투자효과를 최대화하는 임도망의 배치보다는 그 역할이 낮은 것으로 평가되었다.

2. 투자효과에 따른 임도망의 배치

임도의 투자효과를 최대화하는 방법은 단위면적당 현재가치를 결정하는데 가장 큰 영향을 미칠수 있는 단위면적당 임목축적량이 많은 곳(방향)으로 노선의 통과를 유도하는 방

법이다. 이는 임업적인 측면, 즉 임목생산에 많은 비중을 두어 노선을 선정하는 것이다.

본 연구지역의 임목축적량은 임업연구원 남부임업시험장과 남원영림서의 산림조사자료와 현지조사를 통하여 얻은 자료를 비교 검토한 후 임소반도상의 임반과 소반의 경계를 수치지형도상에 중첩하여 격자의 단위면적당 임목축적량을 자료로 활용하였다.

노선선정에 적용되는 격자별 점수화를 위하여 한 격자(30m×30m)의 단위면적당 임목축적량의 최대치와 최소치를 산출하여 2.0m³간격으로 9개 등급을 구분하여 표 2와 같이 가중치를 부여하였다.

구조적인 측면의 중단물매와 생산적인 측면의 투자효과를 최대화하기 위하여 이들을 조합하여 노선을 선정한 결과는 그림 5와 같다.

그림 5 및 표 2에서 임도망계획 결과 총연장 및 임도밀도는 각각 21.15km, 7.17m/ha로서 구조적인 임도망에 비하여 높게 나타났다. 중단물매와 임목축적을 고려한 임도망의 경우

TABLE 2. Classification and weighting value by timber volume

Timber volume (m ³ /0.09ha)	Class	0.0~2.0	2.1~4.0	4.1~6.0	6.1~8.0	8.1~10.0	10.1~12.0	12.1~14.0	14.1~16.0	16.1~
	Weight	9	8	7	6	5	4	3	2	1

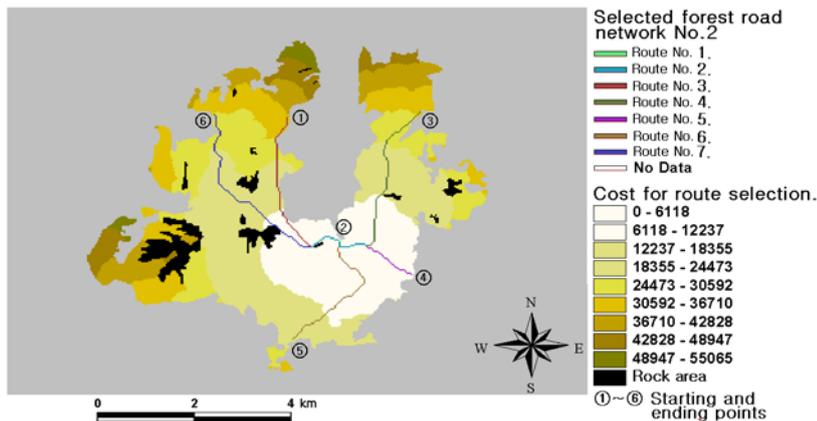


FIGURE 5. A map showing the selected routes of forest road network based on longitudinal gradient and investment efficiency

대상지역내의 source 셀인 지점②에서 나머지 지점 ①, ③, ④, ⑤ 및 ⑥과의 최소비용경로에 의한 격자별 누적비용은 9구역으로 구분되었으며, 이때 누적비용은 55,065의 값을 가졌다.

임도망의 선형은 연구 대상지역내 공도와 일부구간에서 구조적인 측면의 대안임도와 유사한 선형을 이루고 있고, 13개 임반 중 9개 임반이 통과되었다. 그러나 지점 ①과 지점 ②를 연결하는 3노선과 지점 ②와 지점 ⑥을 연결하는 7노선이 일부구간에서 인접하여 적절하지 못한 구간으로 평가되며, 지점 ①과 지점 ②를 연결하는 3노선은 대상지역의 경계영역으로 치우치는 경향이 있어 임업적 측면에서 효율성이 떨어지는 것으로 평가된다. 특히, 생산적인 측면을 고려할 때 지점 ⑤와 지점 ⑥을 연결하는 노선선정이 추가로 필요한 것으로 생각된다.

노선선정의 2가지 기준에 따라 임도망을 평가하여 보면, 우선 구조적인 측면의 종단물매에 따라 선정되어진 임도망은 지점 ①과 지점 ②를 연결하는 1노선과 지점 ②와 지점 ⑥을 연결하는 7노선 중 시험림 3임반과의 경계점에서 중복노선이 선정되었다. 이때 중복선정된 노선의 연장은 2.72km로 나타났다. 그리고 지점 ②와 지점 ③을 연결하는 4노선과 지점 ②와 지점 ④를 연결하는 5노선에서도 0.8km가 중복 선정되어 총 중복된 연장거리는 3.52km로 나타났다.

생산적인 측면에서 투자효과를 최대화하는 방법에 의해 선정되어진 임도망은 지점 ①과 지점 ②를 연결하는 3노선과 지점 ②와 지점 ⑥을 연결하는 7노선 중 3임반에서 일부구간이 중복선정된 2노선의 연장은 0.95km이다. 그리고 지점 ②와 지점 ③을 연결하는 4노선과 지점 ②와 지점 ④를 연결하는 5노선에서도 구조적인 경우에서 선정된 임도와 마찬가지로 0.8km가 중복 선정되었다. 총 중복된 연장거리는 1.73km로서 구조적인 측면에서 선정된 임도의 3.52km에 비하여 다소 낮게 나타났다. 특히,

여러 가지 방법으로 노선을 선정하여 계속적으로 같은 구간이 중복되는 것은 임도로서 적정하게 활용가치가 더욱 높다는 의미를 가지고 있다.

따라서 임도망 계획시 GIS 기법을 활용하여 시공전에 노선을 평가하므로써 노선선정의 잦은 변경에 따른 불필요한 인력과 경비를 절감할 수 있고, 임도시설로 인한 주변환경 파괴를 최소화할 환경친화적이고 이용도가 높은 양질의 임도시설을 할 수 있을 것이다. GIS 기법에 의한 임도망의 계획은 각 대안별 평가를 통하여 최종 의사결정자가 최적의 임도망을 선택할 수 있는 의사결정지원체제로서 중요한 정보를 제공할 수 있는 것으로 평가된다.

결 론

임도망의 종합적인 계획을 위하여 지형정보시스템을 이용하여 경남 남해군에 위치한 금산주변의 국유림을 대상으로 종단물매와 투자효과 두가지 노선선정 기준에 따라 임도노선을 선정하였다. 종단물매를 고려하여 임도망을 계획한 결과, 총연장 및 임도밀도는 20.41 km, 6.92m/ha로 나타났으며, 일부구간의 노선이 대상지역의 경계영역과 인접하게 선정되어져 임업적 측면에서는 그 효율성이 떨어지는 경향이 있었다. 종단물매만을 고려한 임도망의 경우 최소비용경로에 의한 격자별 누적비용은 10구역으로 구분되었으며, 이때 마지막 10번째 구역의 누적비용은 22,548로 나타났다. 비용에 의해 선정되어진 1노선과 7노선은 시험림 3임반의 경계점에서 중복으로 노선이 선정되었으며, 중복선정된 노선의 연장은 2.72km로 나타났다. 그리고 4노선과 5노선에서도 0.8km가 중복 선정되어 총 중복된 연장거리는 3.52km로서 다소 높게 나타났다. 구조적인 측면의 종단물매와 생산적인 측면의 투자효과를 최대화하기 위하여 이들을 조합하여 노선을 계획한 결과 총연장 및 임도밀도는 21.15km, 7.17m/ha로서

구조적인 측면의 임도망 계획결과에 비하여 높게 나타났다. 종단물매와 임목축적을 고려한 임도망의 경우 최소비용경로에 의한 격자별 누적비용은 9구역으로 구분되었고, 이때 마지막 9번째 구역의 누적비용은 55,065로 나타났다. 비용에 의해 선정되어진 임도망의 분석결과 3노선과 7노선은 3임반에서 일부구간이 중복선정된 노선의 연장은 0.95km이다. 그리고 4노선과 5노선에서도 구조적인 경우의 대안임도와 마찬가지로 0.8km가 중복 선정되어 총 중복된 연장거리는 1.73km로 나타났다. 임도망 계획시 GIS 기법의 활용은 시공전에 노선을 평가하므로써 노선선정의 잦은 변경에 따른 불필요한 인력과 경비를 절감할 수 있고, 임도 시설로 인한 주변환경 파괴를 최소화할 환경친화적이고 이용도가 높은 양질의 임도시설을 할 수 있을 것이다. GIS 기법에 의한 임도망의 계획은 각 대안별 평가를 통하여 최종 의사결정자가 최적의 임도망을 선택할 수 있는 의사결정지원체계로서 중요한 정보를 제공할 수 있는 것으로 평가된다. **KAGIS**

참고문헌

- 권태호, 1986. 도로구조 및 입지요인이 임도의 노면침식에 미치는 영향에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문. 39쪽.
- 구자훈, 2000. 수치지형도를 활용한 계획분석 구역별 토지이용정보시스템 구축방안. 한국지리정보학회 3(3):77-89.
- 김중윤, 차두송, 김찬희, 1992. 수치지형도를 이용한 최적임도망 편성방법. 임업연보 44:120-132.
- 김한수, 원현규, 최조룡, 우중춘, 2000. 지리정보시스템을 이용한 벌채가능지역의 구분 및 임목가격 산정에 관한 연구. 한국지리정보학회 3(3):54-68.
- 산림청, 2000. 임도의 설계 및 시설기준.
- 오명진, 1997. GIS를 이용한 도로교통의 최적 경로 선정에 관한 연구. 한국지형공간정보학회논문집 5(2):131-144.
- 이병두, 2000. GIS를 이용한 환경친화적 임도 노선선정 프로그램의 개발. 한국임학회지 89(3):431-439.
- 이준우, 1992. 수치지형모델을 이용한 임도망 배치계획에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문. 154쪽.
- 이진덕, 연상호, 김성길, 2000. GIS를 활용한 폐기물 매립지의 적지분석 사례연구. 한국지리정보학회 3(4):33-49.
- 임업연구원, 1999. 임도계획·설계·시공 및 유지관리 -임도구조 강화방법 개발-. 1998년도 임업연구사업보고서(4-II). 임업연구원. 107-130.
- 정주상, 정우담, 1995. 임도설계자동화를 위한 전산모델의 개발. 한국임학회지 84(3):333-342.
- 차두송, 이준우, 1992. 최적 임도배치계획에 관한 연구. 한국임학회지 81(2):139-145.
- 林内路網研究會編, 1992. 林業機械化と新たら路網整備-高性能林業機械作業システムに適した路網整備のあり方. 日本林業調査會. 200面.
- ESRI, 1991. ARC/INFO User's Guide.
- Hickman, C.E. 1995. Feature-based data models and linear referencing systems aids to avoiding excessive segmentation of network links. GIS-T Symposium.
- Oregon State Office, 1970. Forest Road Handbook. Bureau of Land Management, Oregon State. 220pp.
- Reute, S.E. 1988. ROUTES : A Computer Program for Preliminary Route Location. USDA For. Ser. PNW-GTR-216. 18pp.

KAGIS