

공간정보를 활용한 산림정책 기반 임도시공 우선지역 선정 연구*

이상욱¹ · 임철희^{2*}

Exploring the Priority Area of Policy-based Forest Road Construction using Spatial Information*

Sang-Wook LEE¹ · Chul-Hee LIM^{2*}

요 약

제6차 산림기본계획에서는 목재자급률 제고를 위해 2037년까지 임도밀도를 12.8m ha^{-1} 까지 증가시키는 것을 목표로 설정하였으며, 지속적인 임도 증설 계획을 수립하였다. 그러나 우리나라는 급속도로 이루어진 산림복원에 비하여 임도 등의 경영관리기반시설은 미비한 실정이다(2017년 기준 4.8m ha^{-1}). 이러한 문제를 해결하기 위하여 공간정보를 기반으로 현장을 평가하는 효율적 임도설계 방안이 활용되고 있다. 이에 본 연구에서는 산림정책 구현을 위하여 공간정보 기반의 임도시공 우선지역 선정 방법을 제시한다. 먼저, 지형, 임상, 산림채해 등을 고려한 임도시공 우선지역을 파악하였다. 또한, 기존의 도로 및 임도와 연결되는 최적의 임도 경로를 도출하였다. 임도밀도가 낮은 청송군과 포항시 북구를 대상으로 GIS와 다의사결정방법인 MCE를 접목시킨 GIS-MCE 기법을 사용하여 중첩 분석을 진행하였다. 효율적인 임도시공지역 설정을 위해 각 인자별 가중치(cost)를 부여하여 임도시공 적합지에 대한 비용표면(cost surface)을 작성하고 산림사업 우선도를 파악하여 최종적으로 최소비용경로 분석을 통한 임도시공경로를 도출하였다. 분석 결과 포항시 북구보다 청송군이 임도시공이 유리한 지역으로 나타났으며, 산림사업 또한 시급성이 높은 지역으로 나타났다. 가장 시급성이 높은 지역만 고려한 결과 산림사업 예상지가 청송군에 30개, 포항시 북구에 1개로 나타났고, 결과적으로 해당 지역에 임도가 설치될 경우 청송군 내 경제림육성단지 임도밀도가 1.58m ha^{-1} 에서 2.55m ha^{-1} 까지 증가할 것으로 전망된다. 이번 연구에서 제시한 기법은 산림사업의 시급성을 고려한 평가방법으로 임도시공지역을 선정하고 기존의 도로망 및 임도망과 연계하는 가이드라인을 제공하여 목재자급률을 높이려는 현 정책에 기여할 수 있을 것이다.

주요어 : 임도, 제6차 산림기본계획, 지리정보시스템, 다의사결정방법, 최소비용경로분석

2022년 10월 28일 접수 Received on October 28, 2022 / 2022년 11월 21일 수정 Revised on November 21, 2022 / 2022년 11월 28일 심사완료 Accepted on November 28, 2022

* 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원(과제번호: 2022R1C1C1008489)과 국민대학교의 학술 지원을 받아 수행되었습니다.

1 국민대학교 산림환경시스템학과 / Dept. of Forestry, Environment, and Systems, Kookmin University

2 국민대학교 교양대학 / College of General Education, Kookmin University

※ Corresponding Author E-mail : cliim@kookmin.ac.kr

ABSTRACT

In order to increase timber self-sufficiency, Korea's 6th Basic Forest Plan aims to increase the density of forest roads to 12.8 m ha^{-1} by 2037. However, due to rapid re-forestation, current management infrastructure is insufficient, with just 4.8 m ha^{-1} of forest roads in 2017. This is partly due to time and cost limitations on the process of forest road feasibility evaluation, which considers factors such as topography and forest conditions. To solve this problem, we propose an eco-friendly and efficient forest road network planning method using a geographic information system (GIS), which can evaluate a potential road site remotely based on spatial information. To facilitate such planning, this study identifies forest road construction priorities that can be evaluated using spatial information, such as topography, forest type and forest disasters. A method of predicting the optimal route to connect a forest road with existing roads is also derived. Overlapping analysis was performed using GIS-MCE (which combines GIS with multi-criteria evaluation), targeting the areas of Cheongsong-gun and Buk-gu, Pohang-si, which have a low forest-road density. Each factor affecting the suitability of a proposed new forest road site was assigned a cost, creating a cost surface that facilitates prioritization for each forest type. The forest path's optimal route was then derived using least-cost path analysis. The results of this process were 30 forestry site recommendations in Cheongsong-gun and one in Buk-gu, Pohang-si; this would increase forest road density for the managed forest sites in Cheongsong-gun from 1.58 m ha^{-1} to 2.55 m ha^{-1} . This evaluation method can contribute to the policy of increasing timber self-sufficiency by providing clear guidelines for selecting forest road construction sites and predicting optimal connections to the existing road network.

KEYWORDS : forest road, 6th Basic Forest Plan, geographic information system, multi-criteria evaluation, least-cost path analysis

서론

임도는 산림경영과 보호관리를 위한 목적으로 건설하는 산림도로로, 산림경영 및 관리를 위한 핵심 산림관리기반시설이다(Cha *et al.*, 1998; Lugo and Gucinski, 2000; Demir, 2007). 임도는 목재 등의 임산물 생산의 목적뿐만 아니라 병해충 방제, 산불 진화, 산림 휴양 등 다양한 형태로 이용되고 있다(Park, 2002; Lee *et al.*, 2017). 임도 시공 계획의 근간이 되는 산림기본계획은 2022년 현재 제6차 산림기본계획을 따르고 있다. 제6차 산림기본계획에서는 이전

제5차 산림기본계획의 한계점인 국산 목재의 안정적인 물량 공급에 대응하여 계획종료 시기인 2037년까지 2017년 16.2%인 목재자급률과 4.8m/ha 인 경제림단지 내 임도밀도를 각 30%와 12.8m/ha 로 증가시키는 것을 목표로 설정하여 임도의 지속적인 증설 계획을 세웠다(KFS, 2018).

그러나 우리나라는 제1차 및 제2차 치산녹화기 동안에 대규모 조림을 통한 녹화를 진행하여 급속적이고 인위적인 요인에 의한 산림복원이 이루어졌기 때문에 이를 관리하기 위한 임도 등의 경영관리기반시설은 부족한 현실이다. 이에 대응하여 원활한 산림관리 및 경영을 하기 위해

서 지속적인 임도확충이 요구되지만, 임도시공의 첫 번째 단계인 임도 노선을 선정하는데 있어 실무 현장에서의 지형, 임황 등을 포함하는 타당성 평가를 고려하기에 시간과 비용이 많이 들어 충분한 검토가 이루어지지 못하는 것이 일반적이다(Lee and Chung, 2000)

이와 같은 문제 해결을 위해 실무 현장 조사가 아닌 지리정보시스템(GIS : Geographic Information System)을 이용한 산림도로망 설계에 대한 연구가 이루어지고 있다. 지리정보시스템은 지형, 임황, 토질 등의 지리정보를 컴퓨터상의 데이터 처리로 인한 결과를 도출하는 프로그램으로, 현장에서 먼 거리에 있어도, 지리정보를 기반으로 현장에 대한 판단을 내릴 수 있다. 임도망 계획 시 GIS를 활용하면 1차적으로 노선을 평가하여 불필요한 인력과 경비를 절감하고 주변 환경 파괴를 줄이는 환경친화적이고 효율적인 임도를 설계할 수 있다(Jeon and Ma, 2002).

이전부터 GIS를 활용한 임도설계에 대한 연구는 지속적으로 이루어져왔다. Jeon(2003)은 다양한 측면을 고려한 임도망 노선선정에 대해 연구한 바 있고(Jeon, 2003), Park *et al.*(2013)은 GIS를 활용하여 경영계획구 내 임도망을 설계했다(Park *et al.*, 2013). 최근 GIS를 활용한 임도관련 연구사례로는 GIS를 활용하여 복합임도망의 설계를 목재생산을 고려한 비용적 평가를 내린 바 있다(Kweon *et al.*, 2019). 하지만 전국 범위의 목재자급률 상승을 위해 임도밀도 목표치 달성을 위해서는 산림사업단지 내 임도망 조성뿐만 아니라 기존의 도로나 임도와 연계되는 대규모의 임도망 기본 계획이 필요하다.

본 연구에서는 경제림단지 내 임도밀도가 행정구역 중 2.64m/ha로 최하위에 해당하는 경상북도의 주요 경제림 육성단지인 포항시 북구와 청송군을 대상으로 산림정책 구현을 위한 임도시공 우선지역을 선정하고, 두 지역의 특성을 비교해보고자 한다. 제6차 산림기본계획과 제5차 전국임도시공기본계획을 기반으로 관련 법령에 근거하여 지형뿐만이 아닌 임상, 산림재해를 고

려한 중요도를 선정하고, GIS를 사용한 중첩 분석과 최소비용경로 분석으로 임도시공의 시급성이 높은 지역을 파악한다. 이를 통해 신설단지 임도망 구축이 아닌 기존 임도나 도로에서 확장되는 전국 임도신설 계획에 기여하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구는 경상북도 청송군과 포항시 북구를 대상으로 진행되었다. 청송군은 면적 약 846.1km² 포항시 북구는 약 734.7km²로 총 1,580.8km²의 면적을 갖는다. 그중 대상지의 중심에 있는 매봉산과 내연산, 주왕산 일부 등을 포함하는 산림면적은 약 1,219.7km²로 대상지의 대부분인 약 77%를 차지한다(그림 1).

연구대상지 내 임상분포는 소나무림이 29.1% 침활혼효림이 23.2%, 활엽수림이 20.9% 낙엽송림이 20.8%로 대부분을 차지했고, 그 외 소나무인공림, 침엽수인공림, 리기다소나무림, 잣나무림, 참나무림 등이 있었다. 임령은 III~V영급이 대부분이고, 각 21.4%, 37.4%, 27.5%를 차지하였다. 연구대상지를 포함하는 경상북도의 2021년 기준 임도밀도는 2.64/ha로 전국 평균인 약 3.81m/ha에 비해 임도밀도가 낮고(KFS, 2022), 대상지 내 임도밀도는 약 1.62m/ha로 더욱 낮다.

2. 연구방법

1) GIS-MCE(Multi Criteria Evaluation)

임도시공 적지분석의 가장 기본적인 방법은 여러 가지 도면을 중첩하여 분석하는 방법을 채택한다. 그러나 가·불가 인자와 연속변수가 포함된 본 연구에 단순중첩으로 결과물을 도출하는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 GIS-MCE기법을 채택하였다.

GIS-MCE기법은 공간정보분석 프로그램인 GIS와 다의사결정방법인 MCE(Multi Criteria Evaluation)를 접목시킨 기법으로, GIS와 MCE 기법은 기존에는 분리되어 있었지만 최근 많은

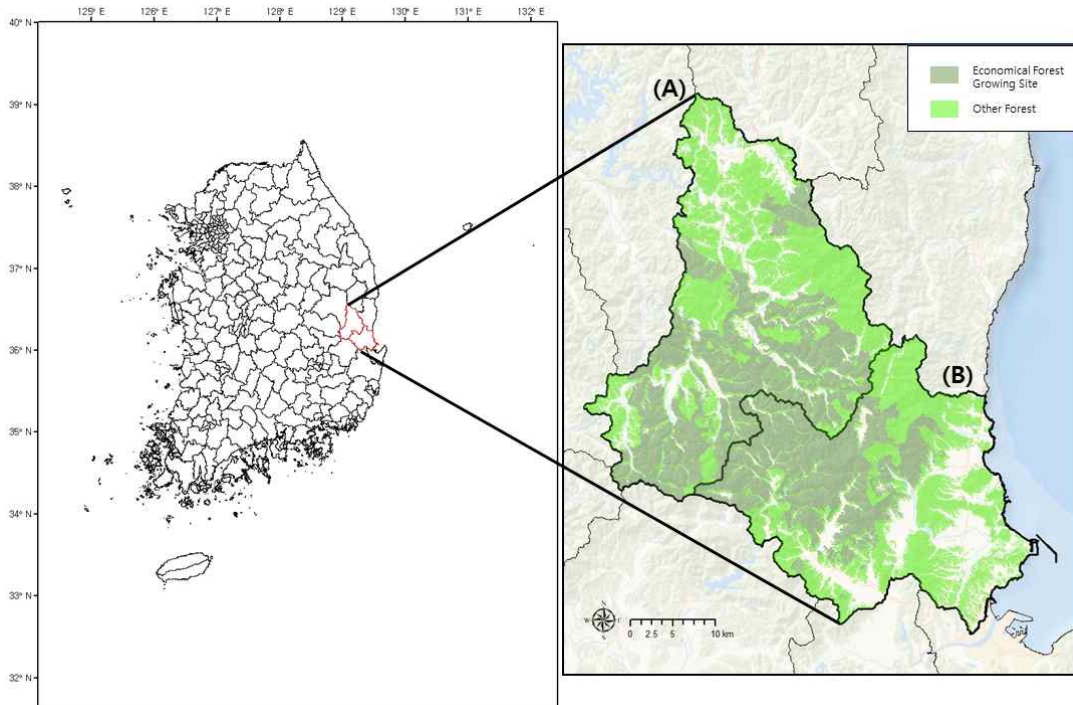


FIGURE 1. Study area (A : Cheongsong-gun, B : Buk-gu, Pohang-si)

연구사례를 통해 단순 의사결정이 아닌 공간적으로 해결하는 방법으로 발전하였다(Malczewski, 1999; Hwang, 2000). GIS에서의 다의사결정 방법(MCE)은 선택된 지역이 가지고 있는 다양한 속성을 기반으로 특정 목적에 맞는 토지를 분석하는 방법으로 가중치에 따라 등급을 매길 수 있다(Jankowski and Richard, 1994; Abdi et al., 2009; Acar et al., 2017; Masoudi et al., 2021). 이는 네트워크 분석을 포함하는 본 연구에 적합한 방법이라 판단하였다.

2) 임도시공 적합지

임도시공 적합지 분석에는 크게 연속변수 자료와 가·불가 인자인 임도시공가능 지역으로 구분된다. 연속변수 자료는 경사도, 산복·산록 지역, 산사태위험도, 암반노출도를 사용하였다. 임도시공가능지역은 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙」 제4조제2항 별표 1 제 1호(나)목의 임도를 설치할 수 없는 경우에 따

라 산지전용이 제한되는 지역, 경사 35° 이상의 급경사지를 지나게 되는 경우, 도로로부터 300m이내인 지역을 지나게 되는 경우, 30% 이상이 암반으로 구성된 지역을 지나게 되는 경우를 제한 요소로 선정하고 임도시공가능지역에서 배제하였다. 이 외에도 목재자급률을 증가시키기 위해 신설임도의 70%를 경제림육성단지 내 조성하려는 제6차 산림기본계획에 맞추어 기능구분이 목재생산림인 지역과 경제림육성단지 부분만을 추출하여 가중치 인자로 사용하였다.

각 인자별 가중치 비율은 동법 제2호의 타당성평가 항목별 기준을 참고하여 각 배점을 경사도 15점, 산복·산록지역 10점, 산사태위험도 20점, 암반노출도 15점, 임도시공가능지역을 40점으로 설정하였다(표 1). 경사도와 암반노출도는 적합성 항목의 경사도와 노출암반 항목을 참고로 설정했고, 산사태위험도는 환경성 항목의 산사태 등 재해취약지 항목을 반영하였다. 산복·산록지역은 제5차 전국임도기본계획에 계

TABLE 1. Weighted ratio for selecting suitable forest road construction sites

	Slope	Hillside & Foot of a mountain	Landslide risk	Rock exposure	Forest road constructible area
Cost Weight	15	10	20	15	40

TABLE 2. Weighted ratio for selecting forest working expected sites

	Forest type	Stand age	Stand density
Weight	10	10	5

곡 및 능선임도는 지양하고 가급적 산복임도로 시설하는 것을 원칙으로 하기에 이를 근거로 배점하였다. 마지막으로, 임도시공가능지역의 경우 예외 조건에 대한 서술이 해당 시행규칙에 포함되어 임도시공 적합지에서 배제하지 않고 가중치 인자로 포함하여 분석을 진행하였다. 모든 가중치 인자는 점수를 부여하기 전에 정규화를 한 후 분석을 진행하였다.

3) 산림사업 예상지

임도망 네트워크를 구성하기 위해서는 노선 구성의 목적인 산림사업이 예상되는 지역이 요구된다. 본 연구에서는 임도노선 신설의 목적을 목재수확으로 보았기에 산림공간정보서비스에서 제공하는 1:25000 제5차 임상도를 활용해 산림사업 예상지를 추출하였다. 목재수확에 관여하는 임상, 임령, 밀도로 인자를 3개로 구분하였다. 임상은 인공림이 천연림보다 목재수확작업 측면에서 유리하고 침엽수가 활엽수나 혼효림에 비해 생산성이 높기에 최대 10점, 임령은 영급이 높을수록 대경제 생산에 유리하기에 1영급 0점에서부터 2점씩 증가하여 6영급 이상을 10점, 임분밀도가 높을수록 생산량이 증가하기에 최대 5점을 부여하였다(표 2).

총 8146개의 임상 중 162개가 대상지 내 배점 최고점인 20점으로 가장 산림사업을 진행할 가능성이 높은 지역으로 나타났다. 그 중 79개의 임상이 경제림육성단지 내 포함되어 있었고, 목재생산량이 적은 소규모 임상을 배제하기 위해 임상면적이 최소 1ha이상인 지역을 선택하였다. 그리고 최대접제거리를 300m로 가정하고, 중심부 좌표가 기존 임도 및 도로에서

300m 떨어진 구역만을 추출하여 사용했다.

4) 최소비용경로 분석을 통한 임도망 확장

본 연구에서는 임도시공 예상지를 추출하기 위해 ArcGIS pro에서 제공하는 최소비용경로(Cost Path) 분석 도구를 사용했다. 최소비용경로는 비용을 최소화하는 출발점과 도착점 사이의 최적 경로를 찾기 위한 도구로, 출발점과 도착점, 비용을 결정짓는 래스터를 요구한다(De Smith *et al.*, 2007). 본 연구에서 출발점은 산림사업 예상지 분석결과의 각 중심부를 point 데이터로 추출하여 사용하였고, 도착점은 임도와 도로망도, 비용은 임도시공 적합지 데이터로 사용하여 임도노선 신설에 가장 적합한 장소를 도출하였다.

3. 연구자료

연구의 가장 주요한 부분인 임도시공 적합지를 산출하는 자료는 크게 임도시공가능지역과 그 외 지역으로 구분된다.

임도시공가능지역에 포함되는 경사도 데이터는 NASA에서 제공하는 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)의 30m DEM을 ArcGIS pro에서 제공하는 도구인 Slope tool로 산출하였다. 도로로부터 300m이내인 지역은 행정안전부에서 제공하는 도로구간 데이터를 ArcGIS pro에서 제공하는 도구인 Distance accumulation tool을 사용하여 산출한 후 300m이내 지역을 잘라냈다. 30% 이상이 암반인 지역은 산림공간정보서비스에서 제공하는 산림입지도(1:25000)에서 암석노출도가 30% 이상인 지역을 제거하

TABLE 3. Data used and Sources

Type	Name	Scale	Data Source
Terrain	DEM(Digital Elevation Model)	30m*30m	SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)
	Road network	-	Ministry of the Interior and Safety
	Rock exposure map	1:25,000	Korea Forest Service, map.forest.go.kr
	Hillside & Foot of a mountain	1:25,000	Korea Forest Service, map.forest.go.kr
Disaster	Development Restriction Zone	-	Ministry of Land, Infrastructure and Transport
	Landslide Hazard map	10m*10m	Korea Forest Service, map.forest.go.kr
Forest type	Economical forest growing site	1:25,000	Korea Forest Service, map.forest.go.kr
	Timber production forests	1:25,000	Korea Forest Service, map.forest.go.kr
	Digital forest type map	1:25,000	Korea Forest Service, map.forest.go.kr

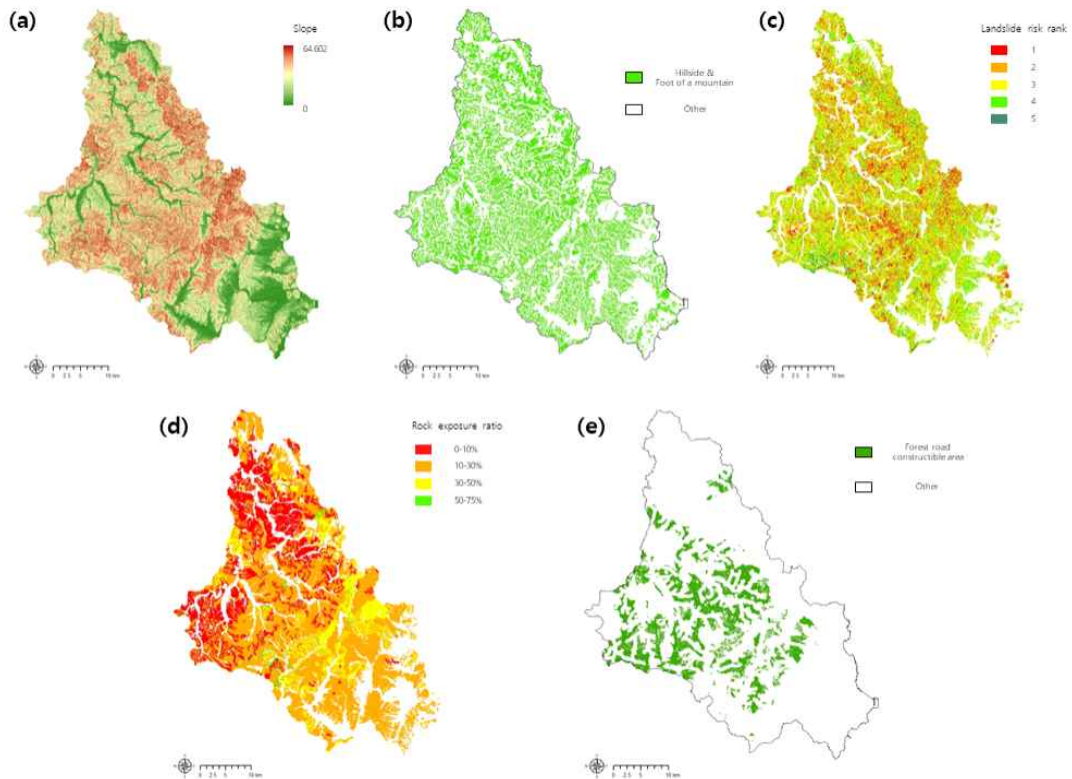


FIGURE 2. Map of Weight factor for selection of suitable forest road construction sites (a : slope, b : Hillside & Foot of a mountain, c : Landslide risk, d : Rock exposure, e : Forest road constructible area)

였다. 그리고 산지전용제한구역을 제거하기위해 국토교통부에서 제공하는 산지관리/기타용도지역에서 산지전용제한구역을 제거하였다. 산림기능구분도와 목재생산림 자료는 산림공간정보서비스에서 제공하는 경제림육성단지 자료와 산림

기능구분도 자료에서 추출하여 사용하였다.

임도시공가능지역 외에 임도시공 적합지를 산출하는 자료 중 경사도는 임도시공가능지역 분석 자료와 같은 데이터를 사용했고, 암반노출도는 임도시공가능지역 분석에 사용했던 자료에서

암석노출 정도를 10% 이하는 1, 10~30%는 2, 30~50%는 3, 50~75%는 4로 값을 부여하고 사용하였다. 산복·산록 지역은 산림입지도(1:25000)에서 산복지역과 산록지역을 추출해서 사용했고, 산사태위험도는 산림공간정보서비스에서 제공하는 산사태위험지도 자료를 사용하였다(표 3, 그림 2).

결과 및 고찰

1. 임도시공 적합지 분석

앞서 서술된 자료를 ArcGIS pro의 Raster calculator tool을 사용하여 자료를 전처리 하였다. 경사도와 암반노출도는 값이 작을수록, 산사태위험도는 값이 클수록 임도시공에 용이하기에, 산사태위험도는 역수를 취하여 사용하였다. 임도시공가능지역과 산복·산록지역은 Boolean 자료형이기에 값을 반전시킨 후 사용하였다. 앞서 제시된 방법에 따라 전처리된 자료는 정규화

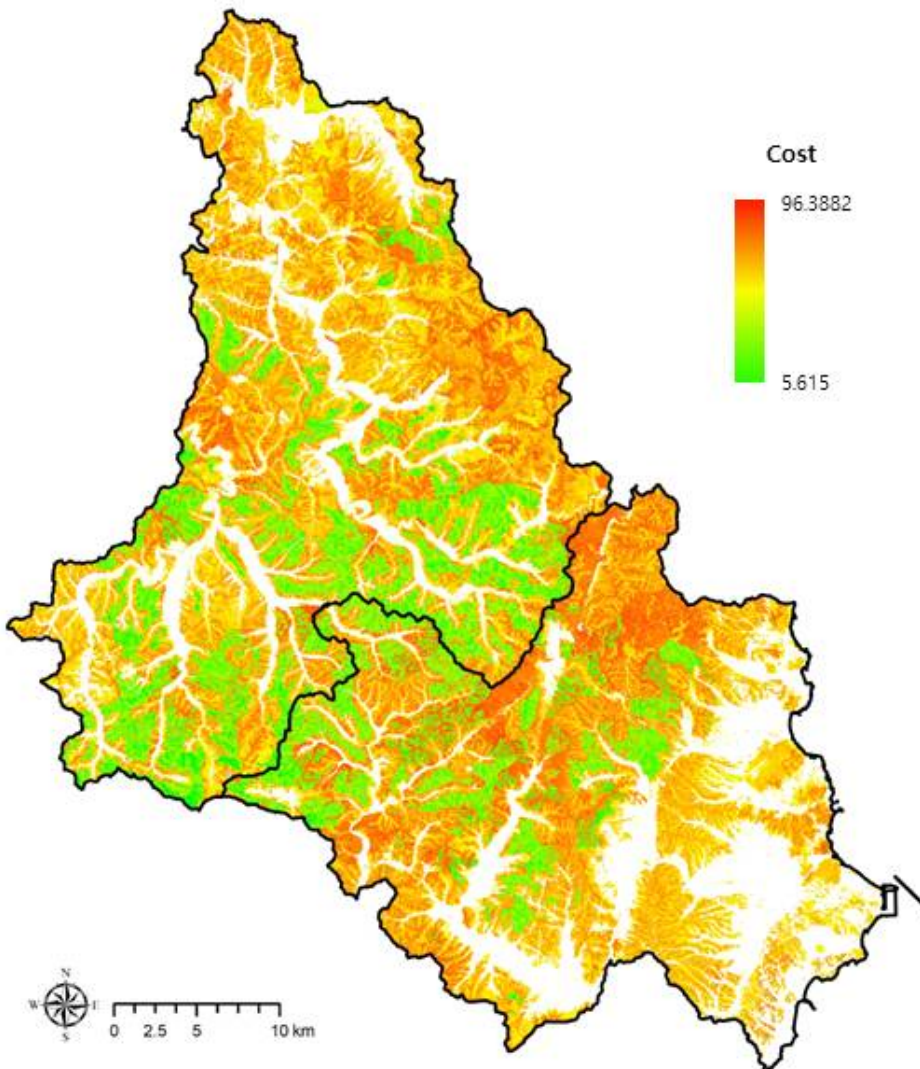


FIGURE 3. Map of suitable forest road construction sites analysis

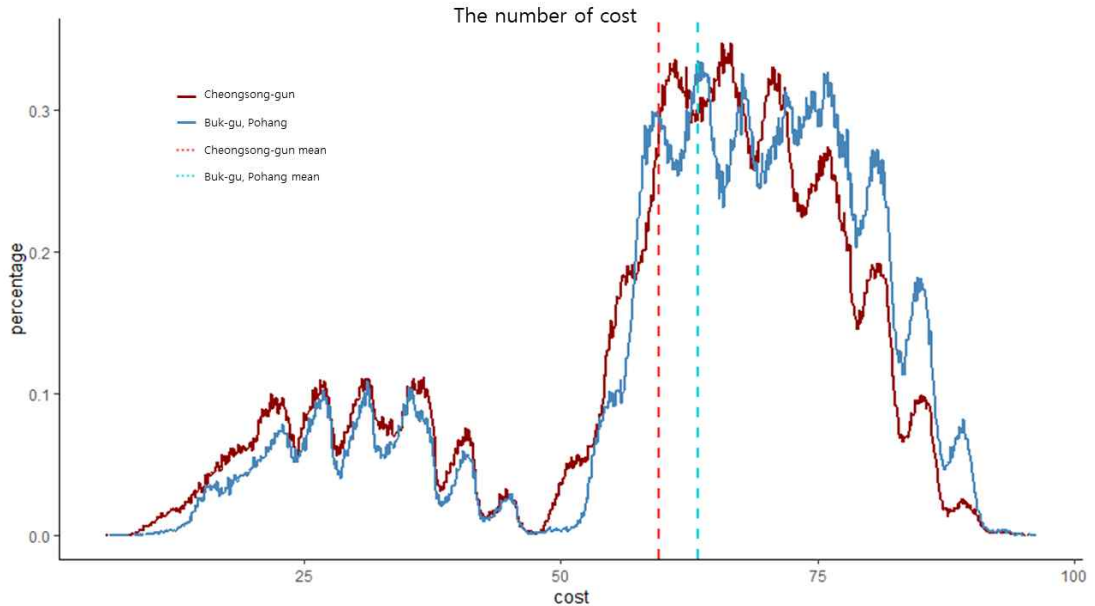


FIGURE 4. Cost patterns by administrative region

한 후 표 1의 가중치 값을 기준으로 30m*30m 크기의 비용표면(Cost Surface)을 도출작성하였다(그림 3). 이때 임도시공이 용이할수록 비용표면의 값이 작다.

비용표면 작성 결과 평균 비용의 값이 청송은 59.6, 포항 북구는 63.3으로 청송이 더 낮은 값을 가졌다(그림 4). 그 중 임도시공에 불리한 비용이 70 이상인 지역은 포항북구가 42.3%로 33.0%인 청송보다 더 높은 비율을 차지하고 있었다. 이는 비용표면의 점수 중 대부분을 차지하는 각 행정구역 내 산림면적 대비 임도시공가능지역의 비율은 포항북구에 비해 청송이 1.33배 더 높았다. 이 외에 산사태위험도의 평균값은 포항 북구 약 2.55, 청송 약 2.60, 암반노출도의 평균값은 포항 북구 약 2.84, 청송 약 2.44, 산복·산록지역의 비율이 포항북구 약 42.7%, 청송 48.5%로 평균값이 21°로 유사했던 경사도를 제외하면 청송이 임도시공에 유리한 지역으로 나타났다.

2. 산림사업 예상지 선정

목재생산을 위한 산림사업이 예상되는 지역은

다음과 같다(그림 5).

산림사업 예상지 분석 결과 총 37개의 임상이 잠재 산림사업 예상지로 추출되었고, 그 중 12개의 임상은 각 2개씩 100m 이내로 가까이 있었기에 각각 하나의 임상으로 보고 분석을 진행했다.

산림사업 예상지의 임상은 모두 교목의 수관 점유 면적이 71% 이상인 임분으로 고밀도에 속했고 6영급의 면적이 90% 이상, 나머지는 모두 7영급으로 임령과 임분밀도에서 모두 최고점을 받았다. 임상 종류는 소나무가 79%, 침활혼효림이 11%, 낙엽송림이 10%로 소나무 임상이 가장 넓은 면적을 차지했다.

31개의 산림사업 예상지 중 단 한 개의 임상만이 포항북구에 포함되었다. 산림사업 예상지로 추출된 포항북구 내 임상은 통합된 한 개의 임상을 제외하고, 모두 1ha 미만의 소규모 임상이었다. 목재생산을 위한 산림사업지에 적합하지 않은 소규모 임상은 분석에 제외되어 최종적으로 한 개의 임상만 포항북구에 포함되었다.

목재생산에 유리한 소나무인공림과 침엽수인

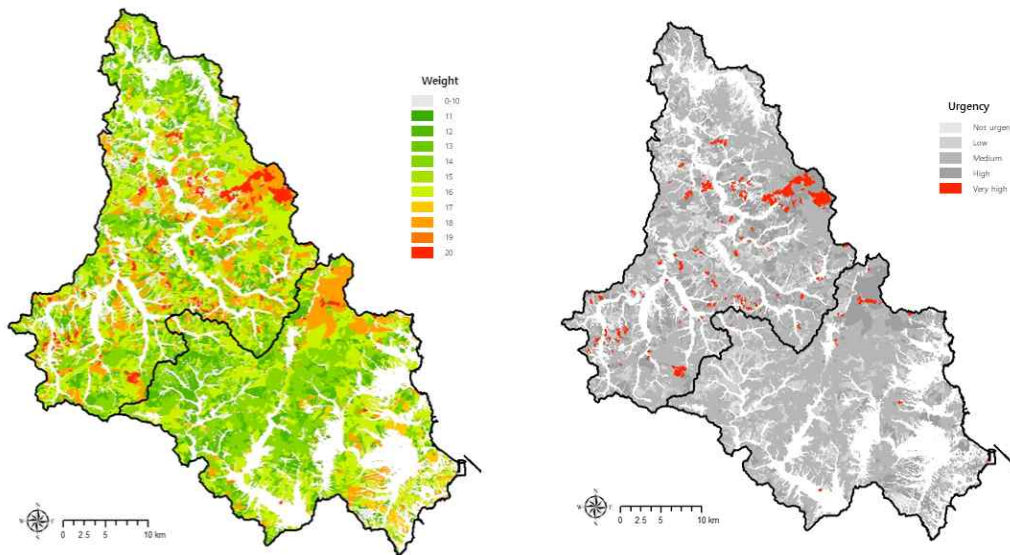


FIGURE 5. Map of forest working expected sites analysis

공림은 포항북구에만 존재했지만, 대부분 2영급에 해당했기에 좋은 점수를 얻지 못했다. 임령의 경우 청송에 비해 포항북구가 더 낮은 경향을 보였다. 결과적으로 산림사업 예상지는 청송에 30개 포항북구에 1개로 청송군이 더 산림사업의 시급성이 높은 지역으로 확인되었다.

3. 임도망 확충 최소비용경로 분석

임도시공 적합지와 산림사업 예상지 분석 결과를 토대로 최소비용경로 분석을 진행했다. 산림사업 예상지 분석 결과로 도출된 37개의 임상 중 12개의 임상은 서로 100m 이내의 지근 거리에 존재했기 때문에 연결한 뒤 두 개의 임상을 하나로 정의하고 분석을 진행하였다. 그 결과 지근거리에 위치한 임상 6개를 포함한 총 31개의 경로가 도출되었다(그림 6). 그 중 도로에서 신설된 임도노선은 20개, 임도에서 연장된 노선은 11개로 총 31.6km의 임도가 생성되었다. 이로 인해 청송군 내 경제림육성단지 임도밀도가 1.58m/ha에서 2.55m/ha로 증가하였다.

4. 고찰

산림관리 및 목재의 국산화를 위한 임도 확충

의 필요성이 강조되는 가운데, 임도밀도 목표치 도달을 위해서는 국소규모의 산림사업단지 내 임도망 조성뿐만 아니라 기존 임도 및 도로망과 연계된 전반적인 확산이 필요하다. 그러나 기존 임도 노선 설계 방법에서는 산림사업단지 내부의 임도설계에 중점을 두어 외부도로와의 연결이 고려되지 않았다. 또한, 임도시공의 비용 효율적 관점에서 목재수확을 고려한 경로가 경제적이지만(Jeon and Ma, 2002), 대부분의 선행 연구에서는 임황을 도착지점에만 포함하여 경로에 고려되지 않았다. 본 연구에서는 임황, 지형, 재해 등을 복합적으로 고려한 기존 임도 및 도로망과 연계되는 노선을 제시하고, 최적의 노선을 선정하였다. 또한, 차선책을 함께 제시함으로써 최적의 임도를 선택할 수 있는 의사결정을 지원할 수 있다.

비용 표면 분석에서 평균비용이 포항시 북구보다 청송군이 낮게 나타났다. 이는 경제림 육성단지의 면적이 더 넓고, 도로망 밀도가 낮아 임도시공가능지역의 비율이 청송군에서 더 높았다. 그 외 비용 표면 분석에 포함되는 인자 중 경사도를 제외한 지형인자 및 산림재해 인자인 산사태위험도 또한 청송군에서 임도시공에 유리

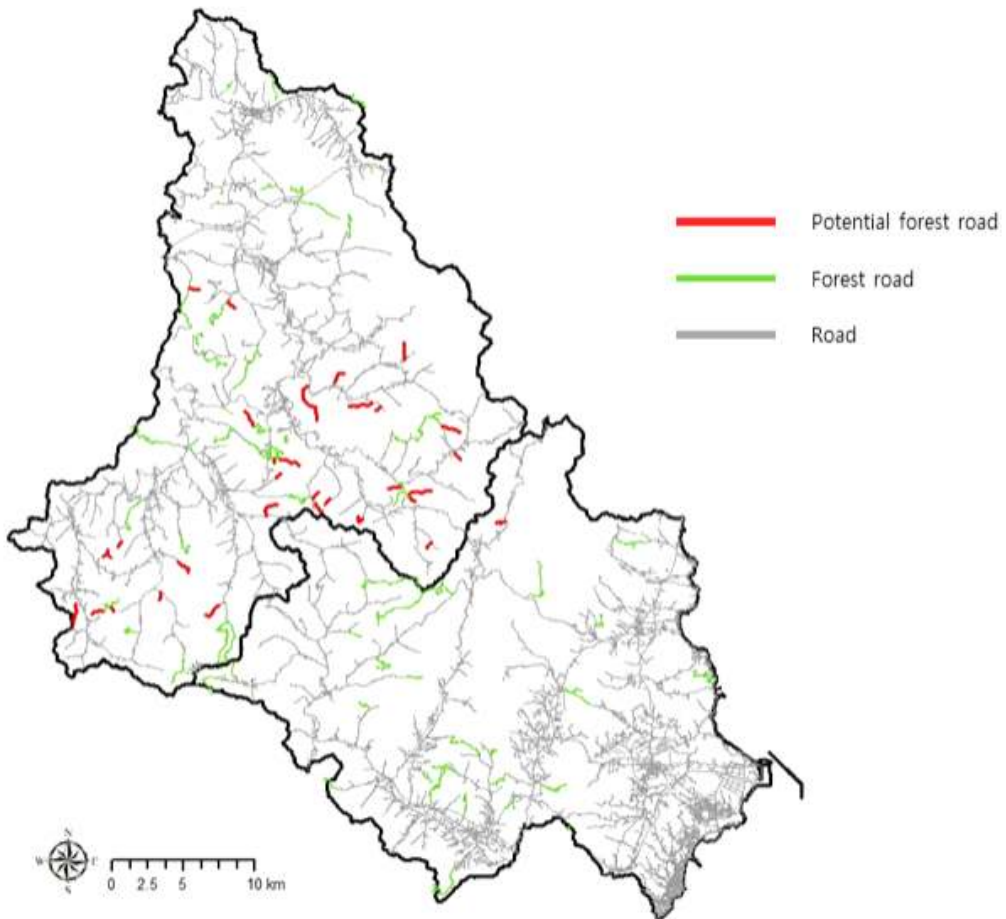


FIGURE 6. Map of least cost path analysis results for extending forest road network

한 것으로 나타났다. 이는 포항시 북구에 비해 청송군이 지형, 임상, 산림재해 등을 고려했을 때 임도시공에 적합성이 더 높은 것을 의미한다.

산림사업 예상지 분석결과 포항시 북구에 비해 청송군의 잠재 산림사업지 개수가 많은 것으로 나타났다. 행정구역상 일반구에 속하는 포항시 북구는 인구수 273,051명으로 24,539명의 청송군보다 약 11배 많은 인구를 보유하고 있다(MOIS, 2021). 개발에 대한 수요는 인구수에 비례하여 증가함으로(Pahari and Murai, 1999; Stenhouse, 2004; Li *et al.*, 2009), 개발에 의한 산림훼손의 강도가 청송군에 비해

높았고, 인위적인 요인에 의해 산림 파편화가 발생했을 것으로 예상된다. 따라서 포항시 북구 내 임상의 개별 면적이 작아 1회 생산 시 대량의 목재생산을 목표로 하는 산림경영에 적합하지 않아 비교적 시급성이 떨어졌다. 또한, 임령이 낮은 임상이 많아 대경재 생산에 불리했기에 분석결과 포항시 북구 내 시급성이 높은 산림사업 예상지가 단 한 개만 나타났다.

결론적으로 본 연구에서의 임도망 확충 경로를 분석한 결과 청송군에 30개, 포항북구에 1개의 임도노선이 도출되었다. 그러나 본 연구에서는 산림사업의 시급성이 높은 지역만을 추출해서 사용하였다는 한계점이 존재한다. 본 연구가

수행된 시점에 산림사업의 시급성을 고려했을 때는 청송군이 높았지만, 장기적으로 고려했을 때에는 목표치 도달을 위해 전반적인 임도밀도의 성장이 요구된다. 또한, 실제 임도시공 시 고려되어야 하는 비용과 임도시공 후 영향에 대한 평가는 고려되지 않았다. 산림관리기반시설의 타당성 평가 이전에 공간정보를 활용한 지형, 임황 등의 사전 평가하여 경로를 도출한 현 연구 이후 비용과 영향을 평가하는 추가적인 연구가 수행되어야 할 필요가 있다.

결론

본 연구는 국내 목재자급률을 높이려는 산림기본정책에 기여하기 위해 포항시 북구와 청송군을 대상으로 임도시공 우선지역을 선정하고, 노선을 도출하였다. 이를 위해 관련 법령과 제6차 산림기본계획, 제5차 전국임도계획을 기반으로 단순 지형만이 아닌 임상, 산림재해를 복합적으로 고려하여 임도시공의 시급성이 높은 지역을 분석하였다.

임도시공 적합지 분석결과 포항시 북구보다 청송군이 임도시공에 유리한 것으로 나타났다. 평균값이 비슷했던 경사도를 제외하고 산림면적 대비 임도시공가능지역, 산사태위험도, 암반노출도, 산복·산록지역의 비율이 모두 청송군에 유리하게 나타났다. 목재 생산을 위한 산림사업 예상지역의 분석결과에서도 임도시공 적합지 분석결과와 유사하게 나타났다. 추출된 31개의 임상 중 포항시 북구에 포함되는 임상은 1개에 불과했다. 포항시 북구의 임상은 면적이 작고 비교적 임령이 낮은 임상이 많아 목재생산에 불리하게 나타났다. 결과적으로 총 임도가 31.6km 연장되어 청송군 내 경제림 육성단지 임도밀도가 1.58m/ha에서 2.55m/ha까지 증가하였다. 제6차 산림기본계획에서 제시하는 경제림육성단지 내 임도밀도 목표인 12.8m/ha에 비하면 매우 낮지만, 이는 산림사업지의 확장에 의해 더 확충될 수 있다. 본 연구에서는 임도시공의 시급성이 높은 지역만을 다루기에 이러한 결과가 제시되었다.

본 연구의 임도시공 노선을 제시하는 방안은 지방청 관할의 대규모 임도설계계획에서 지형외 정보도 고려한 방안으로 산림사업지에 적용 가능할 것으로 사료된다. 특히, 새로운 임업단지를 설계하는 것만이 아닌 기존의 도로 및 임도와 연결하는 방안으로 가이드라인을 제공하여 목재자급률을 높이려는 현 정책에 기여할 수 있을 것이다. **KAGIS**

REFERENCES

- Abdi, E., B. Majnounian, A. Darvishsefat, Z. Mashayekhi and J. Sessions. 2009. A GIS-MCE based model for forest road planning. *Journal of Forest Science* 55 (4):171-176.
- Acar, H.H., E. Dursun, S. Gulci and S. Gumus. 2017. Assessment of road network planning by using GIS-based multi-criteria evaluation for conversion of coppice forest to high forest. *Fresenius Environmental Bulletin* 26(3):2380-2388.
- Cha, D.S., B.Y. Ji, K.M. Kim and I.H. Choi. 1998. Investigation and effect analysis for silvicultural activities with forest road establishment. *The Journal of Korean Forestry Society* 87(2):239-252 (차두송, 지병윤, 김경남, 최인화. 1998. 임도개설에 따른 삼림사업의 실태해석 및 효과분석. *한국산림과학회지*, 87(2):239-252).
- De Smith, M.J., M.F. Goodchild and P. Longley. 2007. *Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools*. Troubador publishing ltd.
- Demir, M. 2007. Impacts, management and functional planning criterion of forest road network system in Turkey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 41 (1):56-68.

- Hwang, K.W. and K.W. Lee. 2000. Land Suitability Analysis of Collective Facility Area in the Kimhae Daechung Park using Geographic Information System and Multi - Criteria Evaluation. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 3(3):45-53 (황국웅, 이규완. 2000. GIS 와 다요소의사결정방법 (MCE) 에 의한 김해 대청공원 집단시설지구 적지분석. *한국지리정보학회지* 3(3):45-53).
- <https://jumin.mois.go.kr/index.jsp>. (Accessed October 3, 2022) MOIS(Ministry of Public Administration and Security). 2022. Resident Registration Population and Generation Status. (행정안전부. 2022. 주민등록 인구 및 세대현황)
- https://www.forest.go.kr/kfswweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?mn=NKFS_02_01_05_02&cmsId=FC_000813. (Accessed June 1, 2022) KFS(Korea Forest Service). 2022. Progress of New Forest Road Construction. (산림청. 2022. 임도신설현황)
- Jankowski, P. and L. Richard. 1994. Integration of GIS-based suitability analysis and multicriteria evaluation in a spatial decision support system for route selection. *Environment and Planning B: Planning and Design* 21(3):323-340.
- Jeon, K.S. and H.S. Ma. 2002. Application Method of GIS for Planning of Forest Road Network. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 5(3):99-106 (전권석, 마호섭. 2002. 임도망의 계획에 있어서 GIS 활용방안. *한국지리정보학회지* 5(3):99-106).
- Jeon, K.S. 2003. Planning of Alternative Forest Road Network Using GIS. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science* 11(1):21-28 (전권석. 2003. GIS 를 이용한 대안별 임도노망의 계획에 관한 연구. *대한공간정보학회지* 11(1):21-28).
- KFS(Korea Forest Service). 2018. the 6th Basic Forest Plan. Daejeon, Korea. (11-1400000-000755-14).
- Kweon, H.G., J.I. Seo and J.W. Lee. Planning and Evaluation of Synthetic Forest Road Network using GIS. *Journal of Korean Society of Forest Science* 108(1):59-66 (권형근, 서정일, 이준우. 2019. GIS 를 이용한 복합임도망의 계획 및 평가. *한국산림과학회지* 108(1):59-66).
- Lee, B.D. and J.S. Chung. 2000. Development of a GIS Model for Projecting Eco - Friendly Forest Roads. *Journal of Korean Society of Forest Science* 89(3):431-439 (이병두, 정주상. 2000. GIS를 이용한 환경친화적 임도 노선 선정 프로그램의 개발. *한국산림과학회지* 89(3):431-439).
- Lee, S.J., B.H. Jung, K.D. Kim, H.S. Jeon and M.W. Jo. 2017. An Analysis for the Economic Impact of Forest Road Investment. *Journal of Korean Society of Forest Science* 106(2):219-229 (이승정, 정병현, 김기동, 전현선, 조민우. 2017. 임도시설 투자의 경제적 파급효과 분석. *한국산림과학회지* 106(2):219-229).
- Li, M., C. Huang, Z. Zhu, H. Shi, H. Lu and S. Peng. 2009. Assessing rates of forest change and fragmentation in Alabama, USA, using the vegetation change tracker model. *Forest Ecology and Management* 257(6): 1480-1488.
- Lugo, A.E. and H. Gucinski. 2000. Function, effects, and management of forest roads. *Forest ecology and management* 133(3): 249-262.

- Malczewski, J. 1999. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons.
- Masoudi, M., C. Centeri, G. Jakab, L. Nel and M. Mojtahedi. 2021. GIS-based multi-criteria and multi-objective evaluation for sustainable land-use planning (case study: Qaleh Ganj County, Iran) "landuse planning using mce and mola". International Journal of Environmental Research 15(3): 457-474.
- Pahari, K. and S. Murai. 1999. Modelling for prediction of global deforestation based on the growth of human population. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing 54(5-6):317-324.
- Park, J.H., B.Y. Ji, J.S. Hwang, J.H. Oh, D.H. Jung and D.S. Cha. 2013. Study on the allocation method for forest road network using GIS. Journal of the Association of Korean Photo-Geographers 23(4):1-11 (박진환, 지병윤, 황진성, 오재현, 정도현, 차두송. 2013. GIS를 이용한 적정 임도망 배치 기법에 관한 연구. 한국사진지리학회지 23(4): 1-11).
- Park, S.J. 2002. The Recreational Functions of Forest-road in Recreational Forest. Journal of the Korean Institute of Forest Recreation 6(3):67-72 (박상준. 2002. 자연휴양림 임도의 휴양적 기능 평가. 한국산림휴양학회지 6(3):67-72).
- Stenhouse, R.N. 2004. Fragmentation and internal disturbance of native vegetation reserves in the Perth metropolitan area, Western Australia, Landscape and Urban Planning 68:389-401. [KAGIS](#)