

산지 지형 및 특성을 고려한 임도밀도 산정

정도현¹ · 차두송* · 박종민² · 이준우³ · 지병윤¹ · 전권석¹ · 김종윤¹

¹국립산림과학원 산림생산기술연구소, 강원대학교 산림과학대학,

²전북대학교 농업생명과학대학, ³충남대학교 농업생명과학대학

Computations of Forest Road Density considering for Forest Terrain and Characteristics

Do Hyun Jung¹, Du Song Cha*, Chong Min Park², Joon Woo Lee³, Byoung Yun Ji¹,
Kwon Suk Chun¹ and Jong Yoon Kim¹

¹Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-820, Korea

College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

²College of Agriculture & Life Sciences, Chonbuk National University, Chonju 567-756, Korea

³College of Agriculture & Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

요약: 본 연구는 환경친화적이고 경제적인 녹색임도 건설에 기초 정책자료를 제공하고자 우리나라의 산지지형 및 산림특성을 고려하여 임도밀도를 산정하였다. 그 결과, 효율적인 산림관리 및 보호를 도모하고 공익적 기능의 고도 발휘를 위한 사회간접자본(SOC) 개념에서의 기본임도밀도는 8.57 m/ha로 나타났으며, 또한 지속가능한 산림경영 체계를 구축하기 위한 산림경영기반시설 개념에서의 적정임도밀도는 14.01 m/ha로 산출되었다.

Abstract: To provide the basic policy informations for environment-friendly and economical construction of green forest road, forest road density considering for the forest terrain and characteristics was computed. As results, designing the effective forest management and protection, standard forest road density as a social overhead capital (SOC) concept was computed to 8.57 m/ha. Considering as based facilities for forest management, we also optimal forest road density for preparing the sustainable forest management system was computed to 14.01 m/ha.

Key words : forest road density, social overhead capital, standard forest road density, optimal forest road density, sustainable forest management system

서론

전 국토의 64%를 점유하고 있는 산림을 대상으로 지속 가능한 산림경영기반 구축을 위하여 보다 가치있는 산림 자원 조성, 경쟁력있는 산림산업 육성 및 건강하고 쾌적한 산림환경 증진을 도모하며 산림내 임산물의 운반과 임업경영상의 교통을 목적으로 축조된 임도는 그 나라의 산업발달과 문화정도는 물론 임업경영의 집약도를 알 수 있는 척도라 할 수 있다(김종윤 등, 1996).

또한 산림에 대한 국민의 다양한 요청에 부응하기 위해 산림의 적정한 정비·보전, 임업의 지속적·건전한 발전, 목재공급·이용의 확보를 도모하는 것이 필요하며, 모든

산림경영활동(조림, 무육, 보호, 간벌, 주벌, 집재, 운재 등)에 있어서 임도가 기반시설임은 물론 산촌에 대한 일반 도로교통의 일환으로서 지역사회의 진흥에도 기여한다(차두송 등, 1994).

우리나라는 급속한 경제성장으로 농산촌의 인구감소에 따른 공동화와 고령화로 임업노동력 확보가 곤란하고, 목재가격의 정체상태에 비하여 노임의 급상승에 따른 경제성이 저하되는 문제가 발생되고 있어 임업의 기계화와 성력화를 위한 산림경영 합리화의 기반시설인 임도의 설치가 불가피하며, 지속가능한 산림관리를 위하여 산림경영 면에서 그동안 단편적으로 강조된 생태·경제·사회적인 측면이 요구되므로써 이에 따른 다양한 산림의 가치창출을 위한 산림경영기반 조성이 요구된다.

산림자원의 질적 고도화를 위하여 산림이 가지고 있는

*Corresponding author
E-mail: dscha@kangwon.ac.kr

공익적 기능의 고도 발휘와 지속적·안정적인 산림자원의 정비를 위하여 입지조건 및 지역실정 등을 감안하여 보건·문화·교육적 활동의 장으로써 산림공간의 정비가 촉진되어야 한다. 또한 유역임업 활성화를 위한 조건 정비로서 산림이 가지고 있는 여러 가지 기능이 발휘되고 있는 유역단위로 산림정비와 효율적인 산림시업을 실시하기 위하여 임도 네트워크(forest road network) 형성의 골격이 되는 기간임도를 중심으로 지속적인 임도개설이 추진되어야 한다(차두송 등, 1999).

최근 사회일각에서 임도개설로 인한 산림훼손, 야생동물의 이동방해, 생태계 혼란, 여름철 집중호우로 인한 임도의 붕괴 및 자연경관 훼손 등에 대한 우려의 목소리가 높아지고 있다. 특히 2002년 태풍 ‘루사’와 2003년 태풍 ‘매미’로 인하여 많은 임도 피해가 발생하는 등의 문제로 급경사지 및 산중복부 이상은 임도설치 제한이 불가피하고, 환경생태계 보전 및 백두대간 보전 등 사회적 여건 변화에 따라 임도설치의 제한지역이 확대되고 있는 것이 현재의 실정이다.

한편, 임도시설기본계획(산림청, 1990)에서는 전체 산림면적을 기준으로 향후 2030년까지 임도설치 목표량을 총 56,000 km(임도밀도 10 m/ha)로 산정하여 임도사업을 추진하여 왔으나 이 기간 내에 계획된 임도를 모두 개설할 경우 무리한 사업물량에 의한 부실시공과 불필요한 지역의 산림훼손까지 초래할 우려가 있다는 의견이 제기되고 있다. 그러나 임도시설은 앞서 언급한 바와 같이 산림경영과 산촌진흥을 지원하는 기반시설로서 산림관리에 필수적이므로 이러한 임도시설의 지속적인 확충 또한 요구된다. 이에 현행 임도설치 목표량을 합리적으로 재설정하기 위하여 체계적이고 논리적인 검토가 필요하다는 의견이 대두되고 있다(국립산림과학원, 2004).

따라서 우리나라의 산지 지형 및 산림 특성을 고려하여 산림관리 및 산림보호를 주목적으로 하는 사회간접자본(SOC) 개념의 기본임도밀도와 합리적인 임업경영을 주목적으로 하는 산림경영기반시설 개념의 적정임도밀도를 구명하여 환경친화적이고 경제적인 녹색임도 건설에 기초 정책자료를 제공하고자 한다.

자료 및 방법

1. 임도밀도 산정 기준

임도밀도의 산정은 南方(1977)의 밀도이론을 이용하여, 기본임도밀도와 적정임도밀도로 구분하였다. 기본임도밀도는 임도가 산림관리 및 보호 이외에 휴양, 지역사회진흥 등 다목적으로 활용되는 사회간접자본(SOC)이라는 개념에서의 임도밀도이다. 산림의 공익적 기능을 증진하거나, 유지하기 위하여 적절한 시기에 지속적인 산림관리가

이루어져야 한다. 이와 같은 산림작업에는 많은 인력과 비용이 소요되며, 이 비용에는 산림관리에 직접적으로 투입되는 비용 이외에도 계획자, 감독자, 검수자, 작업자 등 작업관계자들이 작업지까지 접근 및 이동하기 위한 보행경비 등의 비생산적인 비용을 절감하기 위한 임도개설이 필요하게 되는 것이다. 즉, 산림의 공익적 기능을 지속적으로 유지하거나 증진시키기 위하여 반드시 필요한 최소한의 임도를 시설하여야 하며, 이러한 임도는 우리나라의 전체 산림(또는 시업지)을 대상으로 국가가 시설하여야 한다.

한편, 적정임도밀도는 임도가 사회간접자본이면서 동시에 양질의 목재를 적은 비용으로 생산·공급하기 위한 산림경영 기반시설이라는 개념에서의 임도밀도이다. 지속적인 산림관리를 통하여 산림의 공익적 기능을 증진·유지하면서 이와 함께 양질의 목재를 생산·공급할 수 있는 지속가능한 산림경영 체계를 구축하여야 한다. 이에 기본적인 산림관리비 이외에 집재비 등의 목재생산비가 추가적으로 소요되므로 보행경비와 집재비를 절감하기 위한 임도시설이 필요한 것이다. 즉, 적정량의 임도를 시설함으로써 최소한의 비용으로 양질의 목재를 지속적으로 생산·공급할 수 있게 된다. 이러한 임도는 목재생산을 주목적으로 하는 산림을 대상으로 산림경영 주체(국가, 지자체, 산주 등)가 시설하여야 한다.

2. 임도밀도 산정방법

南方(1977)의 임도밀도식을 근거로 하여, 산출 인자중의 임도시설비를 더욱 확장시켜, 임도시설비에다 임도보수비(10년간)를 포함하는 수정 임도밀도식을 고안하여 임도밀도를 산정하였다.

$$\text{기본임도밀도 } d(\text{m/ha}) = \sqrt{\frac{5 \cdot k \cdot (1 + \eta) \cdot C_w \cdot N_w}{V_w \cdot (R_c + Y \cdot R_r)}}$$

적정임도밀도 $d(\text{m/ha})$

$$= \sqrt{\frac{2500 \cdot \alpha \cdot V \cdot (1 + n) \cdot (1 + n') + 5 \cdot k \cdot (1 + \eta) \cdot C_w \cdot N_w}{R_c + Y \cdot R_r + V_w \cdot (R_c + Y \cdot R_r)}}$$

- 여기에서 R_c : m당 임도시설비(원/m),
- R_r : 연간 m당 임도보수비(원/m·년),
- Y : 집중적인 임도보수가 필요한 기간(년),
- a : $\text{m}^3 \cdot \text{m}$ 당 집재단가(원/ $\text{m}^3 \cdot \text{m}$),
- V : ha당 생산예정재적(m^3/ha),
- $(1 + \eta)$: 임도우회율,
- $(1 + \eta')$: 집재거리 우회율,
- k : 산지경사를 고려한 보행거리 수정계수,
- V_w : 산지에서의 평균보행속도(km/hr),
- C_w : 노동단가(원/시간),
- N_w : ha당 노동투입량(인/ha)

3. 분석방법

임종·임상별, 산지경사급별 임도밀도 산정용 기초인자별에 대한 적용치를 분석하고, 이를 임도밀도 산정식에 도입하여 임종·임상별, 산지경사급별 임도밀도를 산정하였다.

결과 및 고찰

1. 임도밀도 산정 기초인자별 적용치

1) m당 임도시설비

m당 임도시설비는 우리나라의 경우 아직까지 산지경사도별 적정 임도시설비에 대한 자료가 없지만 일반적으로 산지경사도가 급할수록 시설비는 급증하는 것으로 판단된다. 따라서 임도시설비의 산정은 기존의 시설비에 준하여 산정하는 것이 바람직할 것으로 판단되어 2002년도의 시설비를 이용하였다. 2002년도에 시설한 임도는 총 170개소 216.24 km로서 총사업비는 23,407백만원이 투입되어 m당 평균 108,246원(58,656원~329,920원/m)의 임도시설비가 투입되었다. 이것을 기준으로 m당 임도시설비가 적은 순의 10개소(58,656~75,198원/m)를 완경사지의 임도시설비로, 평균 임도시설비를 중경사지의 임도시설비로, 고액순의 10개소(173,131~329,920원/m)를 급경사지의 임도시설비로 적용하여, 완경사지 69,660원/m, 중경사지 108,246원/m, 급경사지 200,913원/m을 m당 임도시설비로 산출하였다.

2) 연간 m당 임도보수비

연간 m당 임도보수비는 2002년도 임도시설 및 보수 거리와 사업비 자료를 이용하여 연간 m당 임도보수비를 산정하였다. 2002년도 임도보수 실적을 보면 총보수거리 5,048 km(민유 651 km, 국유 4,397 km), 총사업비 3,657백만원(민유 2,142백만원, 국유 1,515백만원)로서 연간 m당 평균 725원(민유 3,294원/m, 국유 795원/m)이 투입되었는데, 이는 2002년도 m당 임도시설비의 약 0.67%(민유 3.09%, 국유 0.64%)에 해당된다.

우리나라의 경우 아직까지 산지경사도별 적정 임도보수비에 대한 자료가 없지만 독일 바이에른州的 경우 임도보수비 자료를 보면 산지경사도가 급한 곳에 시설한 임도일수록 임도보수비 역시 증가되는 것으로 나타났다. 따라서 연간 m당 임도보수비는 산지경사급별 m당 임도시설비에 보수비 비율을 곱하여 산정한 결과, 완경사지 467원/m, 중경사지 725원/m, 급경사지 1,346원/m으로 산정되었다. 또한 임도시설 후 임도 노체가 안정되는 일정기간 동안 집중적인 관리가 필요하므로 본 연구에서는 이 기간을 10년으로 설정하였다.

3) ha당 노동투입량

ha당 노동투입량은 임업연구원 연구 결과(임업연구원,

1999; 산림청, 1999)의 임상별 적정시업체계 자료, 2002년도 산불예방 실적 자료, 2003년도 병해충예찰 예산 자료를 이용하여 1시업기(50년으로 설정)동안의 임종·임상별로 산정하였다.

인공침엽수림은 인공소나무림을 기준으로 조림·육림 작업인원 302.4인/ha, 주별 191.5인/ha(반출을 위한 집·운재는 제외), 산림보호 28.2인/ha(산불감시 27.6인/ha, 병해충예찰 0.6인/ha), 작업계획·감독·감리 34.7인/ha 등 총 556.8인/ha, 인공활엽수림의 경우에는 인공상수리나무림을 기준으로 총 419.9인/ha(조림·육림 237.4인/ha, 주별 126.3인/ha, 산림보호 28.2인/ha, 작업계획·감독·감리 28.0인/ha), 육성혼효림은 총 488.4인/ha(조림·육림 269.9인/ha, 주별 158.9인/ha, 산림보호 28.2인/ha, 작업계획·감독·감리 31.4인/ha)의 인력이 투입되어야 경제림으로 육성하기 위한 적정 산림시업이 이루어 질 것으로 판단되어 이를 각 임종·임상별 ha당 노동투입량으로 적용하였다.

그러나 천연림의 경우에는 산림의 공익적 기능을 유지하기 위하여 인공림에 비하여 최소한의 산림작업(천연림 보육 3회, 솎아베기 1회, 주별 1회 등)과 일반적인 산림보호 및 작업관리를 실행하는 것으로 설정하여 193인/ha(조림·육림 78.5인/ha, 주별 79.6인/ha, 산림보호 28.2인/ha, 작업계획·감독·감리 6.7인/ha)을 적용하였다.

4) 시간당 노임단가

산림시업 과정 중 직접적인 산림작업이 이루어지는 조림·육림·주별에 대한 임종·임상별 평균시간당 노임단가를 산정하였다.

인공침엽수림(소나무기준)에 투입되는 작업원의 평균 일당 노임은 2003년도 물가 자료를 기준으로 63,246원/일(작업인원 493.9인/ha, 총작업비 31,237천원/ha), 인공활엽수림(상수리기준)은 61,767원/일(363.7인/ha, 22,465천원/ha), 천연림은 52,338원/일(158.1인/ha, 8,275천원/ha)로 나타났다. 이를 일작업시간 8시간으로 가정하고 시간당으로 환산하여 인공침엽수림 7,906원/시간, 인공활엽수림 7,721원/시간, 육성혼효림 7,813.5원/시간(인공침·활엽수림의 평균치 사용), 천연림 6,542원/시간을 임종·임상별 시간당 노임단가로 적용하였다.

5) ha당 생산예정재적

ha당 생산예정재적은 우리나라 산림 중 주벌단계에 도달한 V영급 이상의 산림에 대한 ha당 임목축적과 이용율을 이용하여 임종·임상별로 산정하였다(산림청, 2003a, 2003b; 임업연구원, 1996).

V영급 이상인 산림의 ha당 임목축적은 인공침엽수림 162.1 m³/ha(산림면적 26.7천ha, 임목축적 4,322천m³), 인공활엽수림 126.7 m³/ha(0.5천ha, 60.0천m³), 혼효림 151.3

Table 1. Factors and their values for calculating standard forest road density.

Factors	Variables	Unit	Slope classes		
			Gentle (15° below)	Moderate (15.1~35°)	Steep (35.1° over)
Road cost	R		74,327	115,498	214,374
Road construction cost	R _c	won/m	69,660	108,246	200,913
Road maintenance cost	R _r		4,667	7,252	13,461
Average walking velocity	V _w	km	3.0	2.3	2.0
Walking distance coefficients	k		1.1	1.3	1.5
Winding coefficient of forest road	η		0.2	0.45	0.6

Factors	Variables	Unit	Forest types			
			Artificial conifer forest	Artificial deciduous forest	Tending mixed forest	Natural forest
Labor input	N _w	man/ha	556.8	419.9	488.4	193.0
Labor cost per hour	C _w	won/hour	7,906.0	7,721.0	7,813.5	6,542.0

m³/ha(149천ha, 22,590천m³), 천연침엽수림 165.4 m³/ha(100천ha, 16,532천m³), 천연활엽수림 130.5 m³/ha(285천ha, 37,203천m³)로 나타났다.

이에 임종·임상별 이용율을 곱하여 인공침엽수림은 145.8 m³/ha(이용율 90%), 인공활엽수림은 88.7 m³/ha(이용율 70%), 육성혼효림은 113.5 m³/ha(이용율 75%)으로, 천연림은 산림면적 점유비율을 고려하여 104.7 m³/ha(이용율 천연침엽수림 80%, 천연활엽수림 60%, 혼효림 75%)를 임종·임상별 ha당 생산예정제적으로 적용하였다.

6) m³·m당 집재비

m³·m당 집재비는 케이블크레인에 대한 공정 연구 자료를 이용하여 목재 1 m³를 1 m 집재하는데 소요되는 비용을 산정한 결과이다(노재후 등, 1988).

케이블크레인(Koller K-300)을 이용하여 4인 1조 가산 집재작업을 실시할 경우, 하루에 480,225원(인건비 331,379원, 재료비 및 경비 148,845원)의 작업비로서 32.66 m³의 목재를 집재할 수 있는 것으로 나타났다. 이에 평균집재거리 150 m를 나누어 98원/m³/m을 m³·m당 집재비로 적용하였다.

7) 평균보행속도, 보행거리계수, 임도우회계수, 집재거리우회계수

산지에서의 평균보행속도는 완경사지 3.0 km/시간, 중경사지 2.3 km/시간, 급경사지 2.0 km/시간을 적용하였다. 이는 산림작업을 위하여 산지에서의 이동시 작업장비·도구 및 이를 사용하기 위한 연료, 수리장비 등을 지참하여 보행하여야 하므로 우리나라 건설분야에서 적용하는 표준품셈중 산악지에서의 지게운반 조건(2 km/hr)과 국유임산물매각규칙시행요령(산림청, 1999)의 저나르기공정(2~3 km/hr)에 의거하여 2~3 km/hr의 범위내에서 산지경사도를

고려하여 설정하였다.

보행거리계수는 산림과 임업기술(산림청, 2000)에서 제시된 1.0~1.5의 범위 내에서 산지경사도를 고려하여 완경사지 1.1, 중경사지 1.3, 급경사지 1.5를 적용하였다.

임도 및 집재거리 우회율은 우리나라의 경우 아직까지 산지경사도별 임도 및 집재거리우회계수에 대한 자료가 없어 우리나라와 산지 조건이 유사한 일본의 연구 사례(大川, 1988; 南方, 1992)를 분석하여 임도우회율은 완경사지 1.2, 중경사지 1.45, 급경사지 1.6, 집재거리우회율은 완경사지 1.4, 중경사지 1.3, 급경사지 1.2를 적용하였다.

2. 기본임도밀도 산정

1) 현재의 산림현황을 고려한 기본임도밀도 산정

현재의 우리나라 산림현황을 기본으로 기본임도밀도를 산정하기 위하여 필요한 기초인자를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1의 기초인자를 이용하여 기본임도밀도식에 의하여 우리나라 산림의 임종·임상별·산지경사급별 기본임도밀도를 산정한 결과는 Figure 1과 같다.

Figure 1을 살펴 보면, 현재 상황에서 우리나라의 기본임도밀도는 평균 8.57 m/ha로 산정되었으며, 산지경사급별로는 완경사지 8.48 m/ha, 중경사지 8.95 m/ha, 급경사지 6.44 m/ha로 나타났다.

임종·임상별로는 인공침엽수림의 경우 완경사지 11.41 m/ha, 중경사지 12.50 m/ha, 급경사지 11.10 m/ha로서 평균 12.28 m/ha이었으며, 인공활엽수림은 완경사지 9.80 m/ha, 중경사지 10.73 m/ha, 급경사지 9.53 m/ha로서 평균 10.42 m/ha, 육성혼효림은 완경사지 10.63 m/ha, 중경사지 11.64 m/ha, 급경사지 10.33 m/ha로서 평균 11.35 m/ha, 천연림은 완경사지 6.11 m/ha, 중경사지 6.69 m/ha, 급경사지 5.94 m/ha로서 평균 6.51 m/ha로 각각 나타났다.

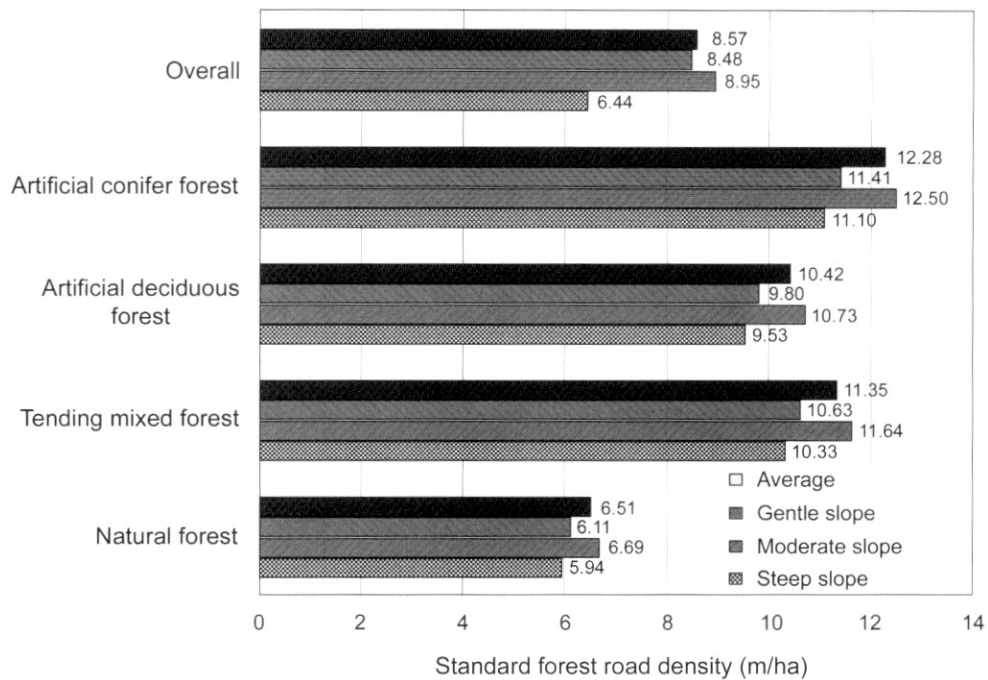


Figure 1. Computation results of standard forest road density by the present forest conditions.

이처럼 중경사지가 완경사지보다 기본임도밀도가 높게 나타난 것은 중경사지의 경우 완경사지에 대한 임도비 증가율(약 55%)보다 작업원의 보행경비 증가율(86%)이 더 높기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 산지경사도가 성토 한계 경사도보다 급한 급경사지의 경우에는 완경사지나 중경사지에 비하여 임도비는 각각 2.88배, 1.86배이지만 보행경비는 이 보다 작은 2.73배와 1.46배이므로 급경사지가 완경사지나 중경사지보다 기본임도밀도가 낮은 것으로 나타났다.

이상에서 볼 때 우리나라의 산림을 지속적인 관리를 통하여 산림의 공익적 기능을 증진·유지하려면 최소한 ha 당 8.57 m의 임도시설이 필요하며, 이에 근거하면 산림사업 대상이 죽림 및 무입목지를 제외한 전체 산림(6,262천 ha)일 경우에는 53,600 km, 시업지(4,856천ha)일 경우에는 약 41,600 km의 임도를 확충하여야 할 것으로 판단된다.

2) 임도시설비 변화에 따른 기본임도밀도의 변화

임도시설비는 임도를 어떠한 규격으로 시설할 것인가, 또는 임도를 조기 안정·녹화시키기 위하여 어떠한 수준의 공법을 투입할 것인가 등에 따라 차이가 크다.

이와 같은 관점에서 현재보다 작은 규격의 임도를 시설할 경우 또는 현재보다 환경친화적이고 튼튼한 임도를 시설하기 위하여 시설비 투자를 증대할 경우를 고려하여 임도비에 따른 기본임도밀도 변화를 분석하였다.

Figure 2는 임도비의 변화에 따른 임중·임상별 산지경사급별 기본임도밀도에, 각각의 산림면적 점유비율을 토

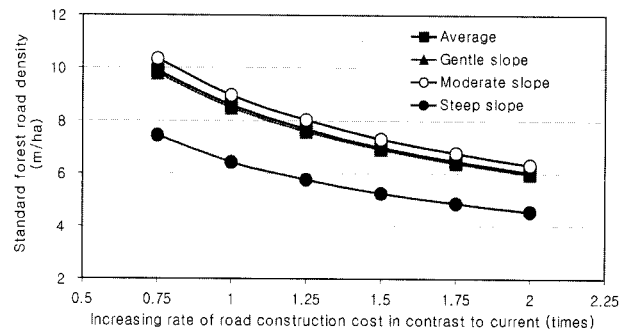


Figure 2. Variations of standard forest road density by changing to construction cost of forest road.

대로 산정한 우리나라 산림의 기본임도밀도 변화를 나타낸 것이다. 임도 피해와 부지 면적 등을 최소화하기 위하여 현재보다 작은 규격의 임도를 시설할 경우를 가정하여 임도시설비를 현재(km당 108,246천원)의 0.75배 수준(81,185천원/km)의 임도를 시설한다면 기본임도밀도 목표량은 약 9.90 m/ha로 현재의 목표량(8.57 m/ha)보다 약 1.33 m/ha 높게 설정하여야 하는 것으로 나타났다.

반면에, 현재의 임도 시설 상태가 미흡하여 보다 많은 노면·사면 안정 및 배수 시설물 등을 추가하여 현재보다 튼튼한 임도를 시설할 경우를 가정하여 임도시설비를 현재의 1.25배(135,308천원/km), 1.5배(162,369천원/km), 1.75배(189,431천원/km), 2배(216,492천원/km) 수준으로 증가시킨다면 기본임도밀도 목표량은 각각 7.67 m/ha, 7.00 m/ha, 6.48 m/ha, 6.06 m/ha로 현재 수준보다 점점 낮게 설정하여야 할 것으로 판단된다.

Table 2. Additional factors and their values for calculating optimal forest road density.

Factors	Variables	Unit	Slope classes		
			Gentle (15° below)	Moderate (15.1~35°)	Steep (35.1° over)
Yarding cost	α	won/m · m ³	98	98	98
Winding coefficient for Yarding	η'		0.4	0.3	0.2

Factors	Variables	Unit	Forest type			
			Artificial conifer forest	Artificial deciduous forest	Tending mixed forest	Natural forest
Production volumes estimated	V	m ³ /ha	145.8	88.7	113.5	104.7

3. 적정임도밀도 산정

1) 현재의 산림현황을 고려한 적정임도밀도 산정

현재의 우리나라 산림현황을 기본으로 적정임도밀도를 산정하기 위하여 적정임도밀도식에서 필요한 기초인자를 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2를 이용하여 우리나라 산림의 적정임도밀도를 임종 · 임상별 산지경사급별로 산정한 결과는 Figure 3과 같다. 이때 목재생산 기능이 높을 것으로 예상되는 인공침 · 활엽수림, 육성혼효림의 경우에는 적정임도밀도, 공익적 기능이 높을 것으로 예상되는 천연림의 경우에는 기본임도밀도 수준의 임도를 시설하는 것으로 가정하였다.

Figure 3에서 보면, 임종 · 임상별 적정임도밀도는 인공 침엽수림의 경우 평균 27.51 m/ha(완경사지 30.62m/ha, 중경사지 27.19 m/ha, 급경사지 21.05 m/ha), 인공활엽수림은 22.52 m/ha(완경사지 24.23 m/ha, 중경사지 21.67 m/ha, 급경사지 16.89 m/ha), 육성혼효림은 23.58 m/ha(완경사지 27.23 m/ha, 중경사지 24.27 m/ha, 급경사지 18.86 m/ha)로 산출되어 기본임도밀도(각각 12.28 m/ha, 10.42 m/ha, 11.35 m/ha)보다 약 12~15 m/ha 증가하는 것으로 나타났다.

이를 산지경사급별(목재생산림)로 살펴보면 완 · 중경사지의 경우 각각 29.27 m/ha와 26.15 m/ha, 급경사지 19.65 m/ha로 산출되어 기본임도밀도(각각 8.48 m/ha,

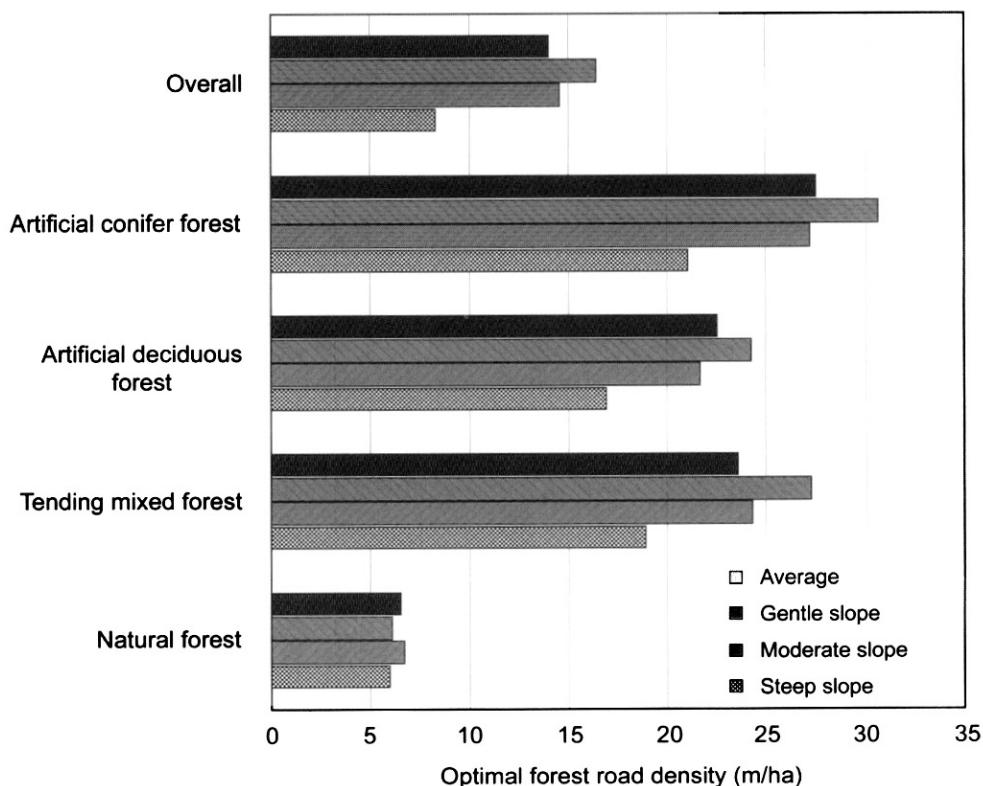


Figure 3. Computation results of optimal forest road density by the present forest conditions.

8.95 m/ha, 6.44 m/ha) 보다 약 13~21 m/ha 증가하는 것으로 나타났다. 이처럼 기본임도밀도와는 달리 완경사지가 중경사지가 보다 높은 이유는 산지경사도가 급해짐에 따른 집재비 증가분이 임도비 증가분과 보행경비 증가분의 차이보다 많기 때문인 것으로 판단된다.

이상에서 서술한 인공침·활엽수림과 육성혼효림의 적정임도밀도와 천연림의 기본임도밀도를 이용하여 우리나라 산지의 적정임도밀도 목표량을 산정한 결과, 14.01 m/ha(목재생산림 26.17 m/ha)로서 기본임도밀도 목표량 8.57 m/ha보다 약 5.44 m/ha 증가하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 우리나라의 산림을 지속적인 관리를 통하여 산림의 공익적 기능을 증진·유지함과 동시에 산림으로부터 목재자원을 지속적으로 생산·이용하기 위해서는 ha당 약 14 m의 임도시설이 필요하며, 이에 근거하여 산림사업 대상을 전체 산림(6,262천ha)으로 확대할 경우에는 87,730 km, 시업지(4,856천ha)로 제한할 경우에는 약 68,000 km의 임도를 확충하여야 할 것으로 판단된다.

2) 임목축적 증가에 따른 적정임도밀도의 변화

체계적이고 지속적인 산림사업은 산림의 질을 향상시키고 목재자원의 양을 증대시킬 것으로 예측된다. 그러나 산림의 질적 가치를 평가한다는 것은 매우 어려우며, 목재자원의 양적 평가는 상대적으로 용이하지만 우리나라의 경우 아직까지 산림사업 전과정에 대한 목재자원의 양적 증가에 대한 자료도 거의 없다.

따라서 본 연구에서는 임도를 시설하고 지속적인 산림사업이 이루어질 경우 주별단계인 V영급 이상에 도달한 산림의 임목축적, 즉 생산예정재적이 증가된다고 가정하여 임목축적 증가에 따른 적정임도밀도 변화를 분석하였다.

Figure 4는 임목축적 증가에 따른 임중·임상별 산지경사급별 적정임도밀도에 각각의 산림면적 점유비율을 토대로 산정한 우리나라 산림의 적정임도밀도 변화를 나타낸 것이다. 임도를 시설하고 지속적인 산림사업을 실시함으로써 우리나라 산림의 임목축적이 현재보다 1.2배, 1.4

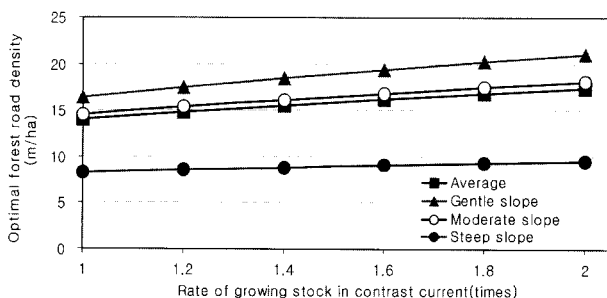


Figure 4. Variations of optimal forest road density by increasing the growing stock.

배, 1.6배, 1.8배, 2.0배로 증가할 경우 적정임도밀도는 각각 14.78 m/ha, 15.49 m/ha, 16.16 m/ha, 16.79 m/ha, 17.39 m/ha로 나타나 현재의 목표량(14.01 m/ha)보다 약 0.8~3.4 m/ha 정도 높게 설정하여야 할 것으로 판단된다.

이처럼 임목축적의 증가율에 비하여 적정임도밀도 증가율이 낮은 것은 본 연구에서 우리나라 산림의 약 60%(천연림+2/3의 혼효림)을 목재생산 기능보다는 공익적 기능 위주의 산림으로 가정하여 기본적인 수준의 임도만을 시설하는 것으로 가정하였기 때문이다.

3) 임목축적 및 임도비 변화에 따른 적정임도밀도의 변화 분석

적정임도밀도는 집약적 산림경영을 통한 목재생산에 위주로 하는 산림에 적용할 수 있는 임도시설 목표량이

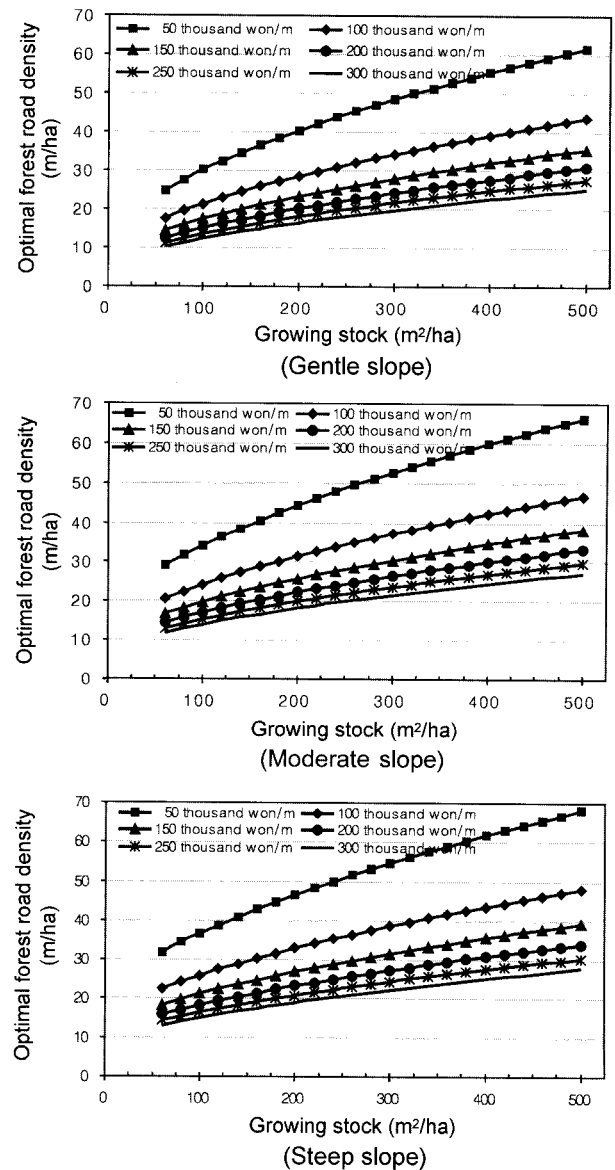


Figure 5. Optimal forest road density by growing stock and road construction cost in Artificial conifer forest.

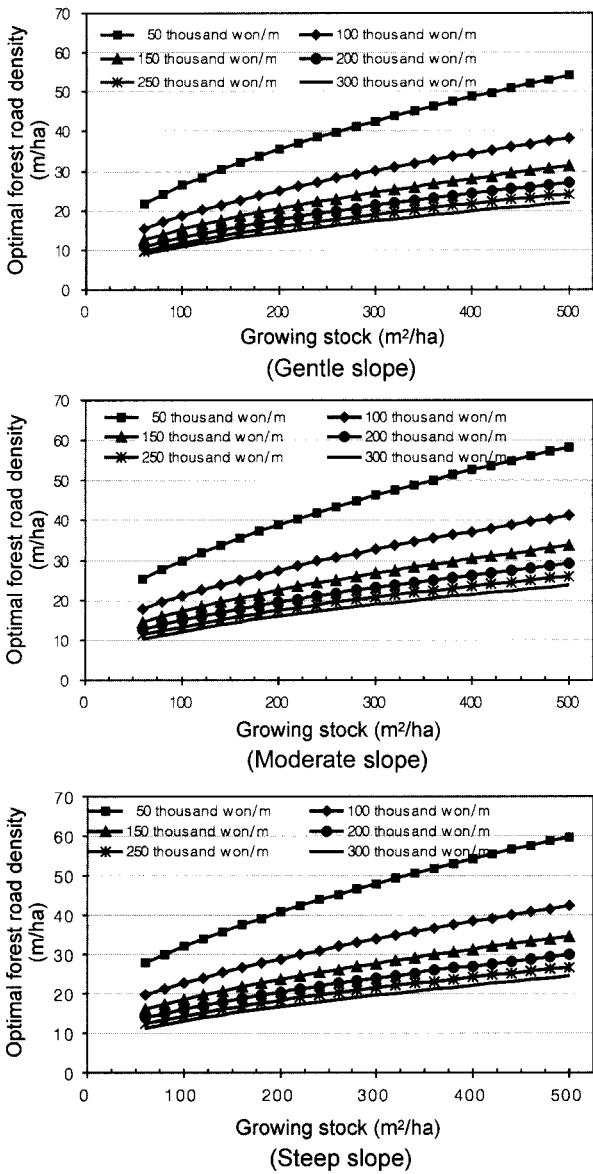


Figure 6. Optimal forest road density by growing stock and road construction cost in Artificial deciduous forest.

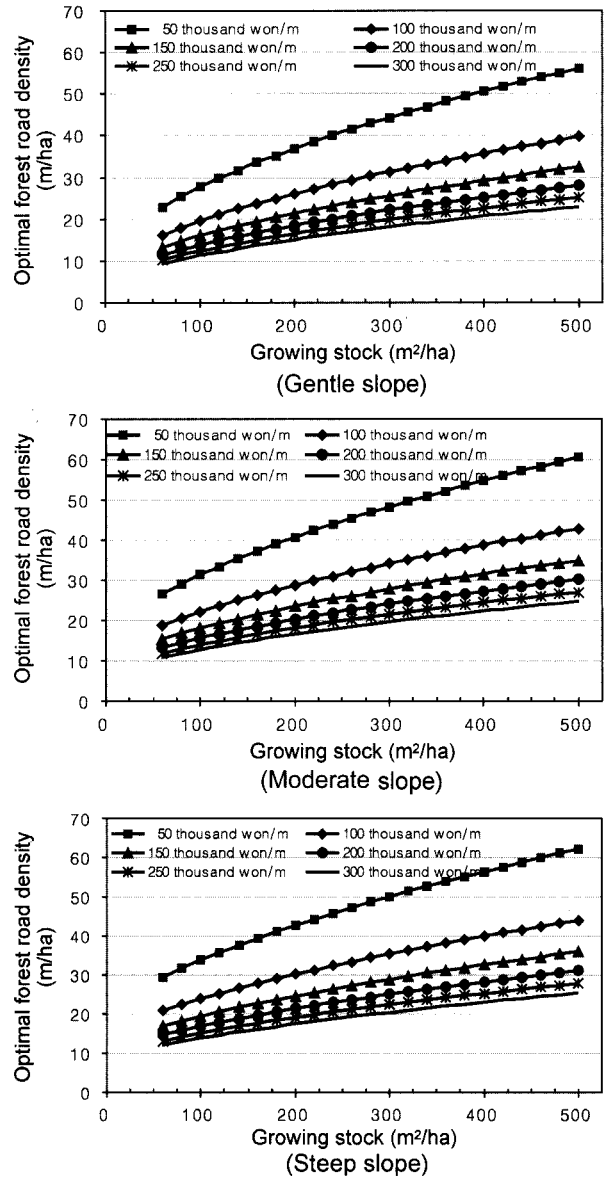


Figure 7. Optimal forest road density by growing stock and road construction cost in Tending mixed forest.

며, 산림토양의 비옥도, 임종·임상, 기후적 특성 등에 따라 임목축적, 즉 이용 가능한 재적의 차이가 있으므로 산림특성 및 산지지형에 맞게 적정한 임도밀도 목표를 설정하여야 한다.

또한 천연림의 경우 공익적 기능 위주의 산림관리가 필요할 것으로 가정하여 우리나라 산림 전체에 대한 적정 임도밀도 목표량 산정에서는 기본임도밀도 수준을 적용하였지만, 산림특성에 따라 적극적인 산림사업 및 목재생산 위주의 산림경영이 필요한 경우에는 적정임도밀도를 적용하는 것이 바람직할 것이다.

따라서 현재의 산림이 주벌단계에 도달하였을 때 예상되는 임목축적과 그 산림에 시설하고자 하는 임도의 구조·규격에 따라 그 산림을 관리하는 담당자가 산지

지형 및 산림특성을 고려하여 임도밀도를 적용할 수 있도록 임종·임상별 산지경사급별로 ha당 임목축적을 60~500 m³ (20 m³ 간격), m당 임도시설비를 50천원~300천원(50천원 간격)에 대한 적정임도밀도의 변화를 산출하였다(Figure 5~8).

예를 들어 산림관리 담당자가 담당구역의 임도계획시 본 조건표를 활용하여 적정임도밀도를 산정하여 보면, 인공침엽수림 환경사지의 경우에는 주벌단계에 도달하였을 때 예상되는 임목축적이 200 m³이고 예상되는 임도비용이 m당 150천원일 때 적정임도밀도는 23.31 m/ha가 되며, 임목축적은 동일하나 예상되는 임도비용이 m당 50천원인 저규격의 임도로 시설하고자 한다면 적정임도밀도는 40.37 m/ha까지 가능하다. 또한 인공활엽수림 중경사지의 경우

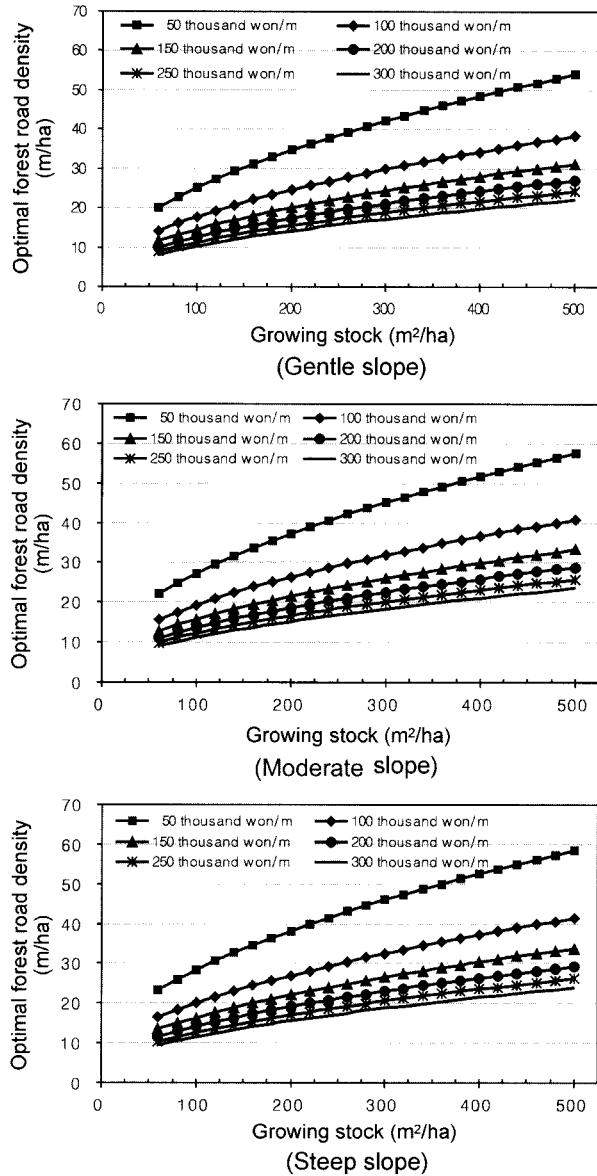


Figure 8. Optimal forest road density by growing stock and road construction cost in Natural forest.

에는 주벌단계에 도달하였을 때 예상되는 임목축적이 160 m³이고 예상되는 임도비용이 m당 200천원일 때 적정임도밀도는 17.81 m/ha가 되며, 천연림 중경사인 경우에는 주벌단계에 도달하였을 때 예상되는 임목축적이 80 m³이고 예상되는 임도비용이 m당 250천원일 때 적정임도밀도는 11.11 m/ha이다.

결론

우리나라의 산지 지형 및 산림 특성에 적합한 기본임도밀도와 적정임도밀도를 산정한 바, 효율적인 산림관리 및 보호를 도모하고 공익적 기능의 고도 발휘를 위한 사회간접자본(SOC) 개념에서의 기본임도밀도는 8.57 m/ha로 나

타났다.

또한 지속적인 산림관리를 통하여 산림의 공익적 기능을 증진·유지하면서 이와 함께 양질의 목재를 생산·공급할 수 있는 지속가능한 산림경영 체계를 구축하기 위한 산림경영기반시설 개념에서의 적정임도밀도는 14.01 m/ha(목재생산림 26.17 m/ha)로 나타났다.

임도밀도는 모든 산림에 동일하게 적용되는 것이 아니라 각각의 산림이 갖고 있는 기능을 최대한 발휘할 수 있는 적합한 수준으로 임도를 시설하는 것이 가장 바람직하다. 그러나 아직까지 이에 대한 연구가 미흡하므로 일단 본 연구에서 산정된 임도밀도를 정책 목표로 정하고, 향후 산지의 기능 구분과 관련한 연구 및 FGIS 구축이 완료되어 법적으로 전국 산림의 기능 구분이 명확하게 이루어지면 산지기능별 임도밀도 목표를 재정립하여야 할 것이다.

이와 함께 향후 산림작업의 기계화·성력화를 위하여 우리나라의 임업여건에 맞는 임업기계 및 작업시스템을 선정하고, 그에 맞는 임도밀도 산정 및 임도망 배치가 이루어져야 하며, 또한 임도피해로 인한 여러 가지 문제점을 해소시키기 위하여 산지지형, 산림특성, 산림작업시스템 등에 따라 임도구조·규격을 차등화할 수 있는 논리적 근거 및 자료 구축이 필요하다.

임도는 반영구적으로 사용되는 임업기반시설이다. 본 연구에서 제시된 임도밀도 목표량 수준에 도달하도록 임도를 시설해 나가기 위해서는 임도계획시에 임도밀도와 함께 장기적인 안목에서 임도 배치 문제를 면밀히 검토하여 질적인 면에서도 활용도가 높은 임도망을 확충시키는 노력이 필요할 것이다.

인용문헌

1. 국립산림과학원. 2004. 임도밀도 목표량 산정연구. pp. 110.
2. 김종윤, 이해주, 정도현, 정영관. 1996. 임목축적과 임도밀도의 변화에 따른 임도의 경제적 효과분석. 산림과학논문집 54 : 23-39.
3. 노재후, 김재원, 박문섭. 1988. 케이블 크레인의 국내적용 가능성에 관한 연구. 임업연보 36 : 145-153.
4. 산림청. 1990. 임도시설기본계획(수정계획). pp. 1-10.
5. 산림청. 1999. 국유임산물매각규칙시행요령. pp. 91.
6. 산림청. 2000. 산림과 임업기술(3). pp. 393-394.
7. 산림청. 2003a. 임업통계연보 제33호. pp. 40-41.
8. 산림청. 2003b. 전국산림자원조사보고서 제4차(1996-2002).
9. 임업연구원. 1996. 활엽수자원조사보고서. pp. 16-23.
10. 임업연구원. 1999. 임도의 효과 분석. pp. 26.
11. 차두송, 김종윤, 정도현. 1994. 산악지형에 적합한 적정노망정비에 관한 연구. 산림과학논문집 52 : 176-185.
12. 차두송, 김종윤, 정도현. 1999. 간선임도와 지선임도의 적정임도밀도 산출에 관한 연구. 산림과학논문집 60 : 33-

- 40.
13. 南方 康. 1977. 林内における基礎路網密度. 日本林學會誌 59(8) : 298-300.
14. 南方 康. 1992. 林業機械と新しい路網整備. 林内路網研究會編. pp. 129.
15. 大川畑 修. 1988. 架線集材における路網計劃に関する研究. 林業試驗場研究報告 351 : 1-79.
-
- (2005년 3월 11일 접수; 2005년 4월 21일 채택)