

## 간선임도와 작업임도를 고려한 복합임도망의 적정밀도 산정

권형근<sup>1</sup> · 이준우<sup>2\*</sup> · 이학준<sup>2</sup> · 지병윤<sup>1</sup> · 정도현<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림생산기술연구소, <sup>2</sup>충남대학교 산림환경자원학과

### Computation of Optimum Synthetic Road Density for Main and Spur Forest Roads

Hyeong-keun Kweon<sup>1</sup>, Joon-woo Lee<sup>2\*</sup>, Hakjun Rhee<sup>2</sup>, Byeng-yun Ji<sup>1</sup> and Do-hyun Jung<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Forest Practice Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

<sup>2</sup>Department of Forest Environment & Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

**요약:** 본 연구는 효율적인 임내도로망 구축을 위한 정책적 기초자료를 제공하고자 산림청 산하 5개소의 임도 시설시범단지를 대상으로 복합임도망의 적정밀도를 산정하였다. 그 결과, 복합임도망의 적정밀도는 10.1~15.9 m/ha이었으며, 단일 규격의 간선임도망은 8.4~12.4 m/ha로 나타났다. 이를 기준으로 임도개설비용을 추정해보면, 단일규격의 간선임도망에 비해 약 1~8% 낮게 측정된 반면, 임도밀도는 20~30%가량 증가하였다. 또한, 대상지의 생산예정재적과 집제비용이 증가함에 따라 복합임도망의 적정밀도도 증가하였으며, 특히 고규격의 간선임도 밀도가 급격히 증가하였다. 한편, 경사가 급한 지역일수록 저규격의 작업임도 밀도가 상대적으로 증가하는 경향을 보였다.

**Abstract:** This study was conducted to provide the basic policy information for establishing efficient forest-road networks. Synthetic forest-road networks that consist of main and spur roads and forest-road networks with only main road (hereafter called "main-road network") were planned for the five forest-road experimental districts of Korea Forest Service in this study. Road density of the synthetic forest-road networks was calculated and compared with the road density of the main-road networks. The results showed that the optimum road density of the synthetic forest-road networks was 10.1~15.9 m/ha, and the road density of the main-road networks was 8.4~12.4 m/ha. The construction cost of the synthetic forest-road networks was estimated about 1~8% lower than the main-road networks, while the road density was 20~30% greater than the main-road networks. As timber volume and hauling cost increased, the optimum road density of the synthetic forest-road networks increased, within which the road density of highstandard main road rapidly increased. On the other hand, the spur road density increased with slope gradient.

**Key words:** forest-road network, forest road construction, optimum road density, synthetic forest-road network

## 서론

우리나라는 1970~1980년대 실시한 치산녹화사업의 성과와 지속적인 숲가꾸기 사업 등으로 현재 IV영급이상의 산림이 전체 면적의 약 65%를 차지하고 있으며, 대부분의 산림이 수확시기에 도달한 상태이다(Korea Forest Service, 2014b). 현재 산림청에서는 국내 목재자급률을 증대시키고 고부가가치의 국산재를 생산하기 위해 노력하고 있으며, 향후 국산재의 생산이 대경재를 중심으로 중량화 및 대량화될 것으로 예상되기 때문에, 이를 위한 주

별수확 기술 및 영급구조 개선, 생산관리기반시설의 확충 등 지속가능한 산림자원에 대한 관리가 중요한 시기라고 할 수 있다(Cho et al., 2015; Mun et al., 2015).

이와 함께 산림관리와 목재생산을 위한 기반시설이라 할 수 있는 임도의 수요가 급격하게 증가하고 있으며, 국유림을 중심으로 경제림육성단지, 임도시설시범단지 등 고밀한 임도망을 기반으로 목재생산성과 작업효율을 극대화하려는 움직임도 증가하고 있다(Korea Forest Service, 2014a). 그 중에서도 작업임도는 2010년 이후 본격적으로 개설되기 시작하였는데, 간선임도와 지선임도에 비해 상대적으로 규격이 작고 구조물의 설치가 제한적이기 때문에 산림의 훼손과 임지의 피해를 최소화하면서 임목의 집

\*Corresponding author  
E-mail: jwlee@cnu.ac.kr

Table 1. Study site information.

Office	Central	Southern	Northern	Western	Eastern	
	Boeun	Bonghwa	Hongcheon	Muju	Pyeongchang	
Area(ha)	1,131	1,435	6,504	1,239	1,711	
Forest type	Artificial conifer forest (%)	58	22	62	35	37
	Natural deciduous forest (%)	39	76	38	65	63
Growing stock	Artificial conifer forest (m <sup>3</sup> /ha)	118.9	161.3	171.9	147.7	203.2
	Natural deciduous forest (m <sup>3</sup> /ha)	120.6	138.3	141.1	150.5	133.9
Slope type	Gentle slope	Moderate slope	Moderate slope	Steep slope	Steep slope	

재와 운반을 할 수 있는 장점이 있다. 반면, 상대적으로 노퍽이 좁고 공간이 협소하여 대형기계의 진입과 이동이 어렵고 대경장재의 운송에도 장애가 많아 목재수확작업에 어려움이 많은 실정이다(Park, 2013). 따라서 각 임도의 목적과 규격을 고려하여 적정임도밀도를 산출하고 적지에 노망을 배치하는 것은 매우 중요한 과제라고 할 수 있다. 특히, 작업지까지의 접근과 이동에 제약이 많은 산림공간에서 작업효율을 극대화하기 위해서는 임도의 개설과 노망의 확충은 가장 먼저 선행되어야 하며, 이를 위해 합리적인 의사결정과정을 통해 임도계획이 수립되어야 한다.

적정임도밀도에 관한 연구는 Matthews(1942)의 이론을 중심으로 발전되어 왔는데, 주로 임도개설비와 집재비 등 직접적으로 영향을 미치는 비용이 최소가 되는 임도밀도를 적정한 값으로 간주하는 해석적 방법에 근거를 두고 있다. 이 이론을 바탕으로 일본의 학자들에 의해 다수의 임도밀도 이론이 발표되었으며, 우리나라에서도 특정목적 을 중심으로 하는 적정임도밀도의 산정을 위한 일련의 연구가 진행되어 왔다. Cha and Cho(1994)는 기계화집재작업을 고려하여 임도개설비용과 집재비용을 최소로 하는 임도밀도를 산정하였으며, Cha et al.(1995)은 강원도를 중심으로 새로운 중규격의 임도밀도를 고려한 복합노망 밀도를 산출한 바 있다. 그 후, Jung et al.(2005)은 산지지형 및 산림 특성을 고려하여 SOC개념에서 요구되는 기본임도밀도와 산림경영기반시설 개념의 적정임도밀도를 산정하였다. 한편, Park and Kang(2010)은 목재생산에 있어서 경제적 측면의 5가지 비용변수를 기반으로 우리나라의 적정임도밀도를 제시한 바 있다.

그동안 보고된 연구는 단일 규격의 간선임도만을 대상으로 하고 있어 다른 규격의 복합적 임내도로망에 대한 연구는 전무한 실정이며, 현재 복합임도망에 대한 연구는 복합노망 밀도 이론(Minamikata et al., 1986)이 보고된 이후 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 간선임도와 작업임도를 중심으로 복합임도망을 구성하고 적정임도밀도를 산정하고자 한다. 이를 통해 목재생산을 위한 임도정책의 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 연구방법

### 1. 연구대상지

연구대상지는 산림청 산하의 5개 임도시설시범단지를 선정하였다. 대상지는 북부지방산림청 1개소(홍천)와 동부지방산림청 1개소(평창), 남부지방산림청 1개소(봉화), 중부지방산림청 1개소(보은), 서부지방산림청 1개소(무주)로 대상지의 현황은 Table 1과 같다. 임도시설시범단지는 임도의 이상적인 모델을 제시하여 지속가능한 생산기반 시설 및 선진화된 산림경영 실현의 토대를 마련하기 위한 것으로 간선임도와 작업임도 개설사업을 통해 임업기회를 촉진하고 숲가꾸기를 비롯하여 산물수집과 목재공급 등 효율적인 산림작업이 연계되도록 하는데 그 목적이 있다(Korea Forest Service, 2013).

### 2. 복합임도망의 적정밀도 산정방법

복합임도망 밀도산정식에 사용된 각 기초인자는 Minamikata et al.(1986), Korea Forest Research Institute (2004), Jung et al.(2005), Park and Kang(2010), Korea Forest Service(2014b) 등의 선행 연구사례와 행정자료를 조사하고 이를 토대로 연구대상지의 여건을 고려하여 기초인자의 적용값을 산출하였다. 또한, Minamikata et al.(1986)의 복합노망 밀도산정식을 근거로 하여, 산출인자 중 임도시설비를 임도개설비용과 임도보수비용을 포함하는 인자로 수정하여 적용하였다. 수정한 복합임도망의 적정밀도 산정식은 다음과 같다.

$$D_L = 50 \sqrt{\frac{\alpha_L V(1+\eta)(1+\eta')}{R_L + Y \cdot R_f} + \frac{k(1+\eta)C_W \cdot N_W}{500 \cdot V_W(R_L + Y \cdot R_f)}} - D_H$$

$$D_H = \sqrt{\frac{p^2}{4} - q} - \frac{p}{2}$$

$$p = \frac{\beta_H - \beta_L}{R_H - R_L} \cdot V$$

$$q = \frac{2500V(1+\eta)\{\alpha_H(1+\eta') - \alpha_L(1+\eta')\}}{R_H - R_L}$$

where,

- $R$  : Construction cost of forest road (won/m)  
 $\alpha, \beta$  : Coefficient of logging system  
 $V$  : Timber volume available ( $m^3/ha$ )  
 $(1+\eta)$  : Winding coefficient of forest road  
 $(1+\eta')$  : Winding coefficient of logging distance  
 $k$  : Coefficient of walking distance  
 $V_w$  : Average walking velocity (km/hr)  
 $C_w$  : Price of labor (person/hr)  
 $N_w$  : Amount of labor (person/ha)  
 $Y$  : Maintenance period for forest road after construction (yr)  
 $R_r$  : Maintenance cost for forest road (won/m)  
 $D$  : Density of forest road (m/ha)

\*The subscript of the symbols indicates main road (H) and spur road (L)

### 3. 분석방법

상기 복합임도망 산정식을 통해 복합임도망의 적정밀도를 산정하고, 동일한 임지조건에서 적정임도밀도 산정식(Jung et al., 2005)을 이용하여 단일규격으로 구성된 간선임도망의 적정밀도를 산정하였다. 이를 바탕으로 임도 시설기준단비(Korea Forest Service, 2013)를 적용하여 ha당 임도개설비를 비교하였다. 또한 연구대상지를 중심으로 생산예정재적량과 집재비의 변화에 따라 복합임도망의 적정밀도의 추이를 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 복합임도망 밀도 산정을 위한 기초인자

#### 1) 임도개설 및 유지관리비

##### (1) 임도개설비

임도개설비는 임도 1 m를 신설하는데 소요되는 공사비용으로 근거자료는 산림청에서 공시한 임도시공사업 기준단비(Korea Forest Service, 2013)를 기준으로 하였다. 2015년 현재 산림청에서 고시하고 있는 임도시공사업 기준단비는 간선임도의 경우 km당 207,000천원, 작업임도는 km당 125,000천원의 단비를 기준으로 고시하고 있다. 이를 임도밀도 산정식에 적용하기 위해 m단위로 환산하여 적용하였다.

##### (2) 임도유지관리비

임도유지관리비는 임도 1 m를 보수하는데 소요되는 공사비용으로 근거자료는 산림청의 임도보수사업량(Korea Forest Service, 2014)을 기준으로 m단위로 환산하여 적용하였으며, 임도보수가 필요한 기간은 임도시설 후 안정·녹화가 되기까지의 기간으로 하여 10년으로 적용하였다(Korea Forest Research Institute, 2004).

#### 2) 집재비계수

집재비계수는 산지 지형과 집재작업시스템의 종류에 따른 집재비용의 변화를 나타내는 상수이다. 본 연구에서는 Minamikata et al.(1986)의 연구결과를 근거로 하여 고규격의 간선임도에서는 타워야더 등을 이용한 중거리 가선집재작업을 적용하고 저규격의 작업임도에서는 트랙터부착형 윈치 등을 이용한 단거리 가선집재작업을 적용하는 것으로 가정하여 이에 해당하는 집재비계수를 적용하였다.

#### 3) ha당 생산예정재적( $m^3/ha$ )

단위면적당 생산예정재적은 적정벌기령에 도달한 산림의 1 ha당 생산예정재적을 말한다. 본 연구에서는 복합임도망의 적정임도밀도를 산정하는데 있어서 현재 상태의 임목축적을 기준으로 전체 임분이 V영급 이상의 주벌단계에 도달한 것으로 가정하고, 인공침엽수림은 90%, 천연활엽수림의 경우 70%의 이용률을 적용하여(Jung et al., 2005) 이를 바탕으로 가중평균을 구하였다.

#### 4) 노임단가 및 노동투입량

##### (1) 시간당 노임단가

시간당 노임단가는 작업자 1인의 평균 시간당 임금으로 단위는 시간당 비용이며, 2014년 건설공사 표준품셈의 별목부 노임단가를 기준으로 이를 단위시간으로 나누어 적용하였다.

##### (2) ha당 노동투입량

산림 1 ha를 1사업기동안 관리하는데 투입되는 총인원의 평균량을 말하며, 단위는 ha당 투입인원으로 적용하였다. 전체 노동투입량은 ha당 조림·육림·주벌·산림보호 작업인원 및 작업계획·감독·감리인원의 합계 인원을 적용하였으며, 각 작업별 소요인원은 선행 연구자료(Korea Forest Research Institute, 2004; Jung et al., 2005)를 근거로 침엽수림과 활엽수림의 적용값을 적용하였다.

#### 5) 기타 적용인자

임도우회계수는 임도 노선선형의 굴곡정도를 나타낸 값을 말한다. 그리고 집재거리우회율은 임도 또는 집재공간에서 벌채목까지의 집재거리의 우회정도를 나타낸 상수이며, 보행거리수정계수는 임의의 지점에서 임내 작업지점까지의 이동거리 및 작업과정에서 소요되는 보행거리에 대한 조정값을 말한다. 현재까지 국내에서 임도우회계수, 집재거리우회율, 보행거리수정계수 등에 대한 기준이 마련되지 않았기 때문에 본 연구에서는 선행 연구자료(Cha and Cho, 1994; Minamikata et al., 1986; Korea Forest Research Institute, 2004; Jung et al., 2005) 등을 참고하여 적용하였다.

**Table 2. Coefficient values used for calculating the density of the synthetic forest-road networks at the five forest-road experimental districts of Korea Forest Service.**

Symbol	Unit	Value				
		Boeun	Bonghwa	Hongcheon	Muju	Pyeongchang
$\alpha_H$		4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
$\alpha_L$		9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
$\beta_H$		1,823	1,823	1,823	1,823	1,823
$\beta_L$		2,295	2,295	2,295	2,295	2,295
V	m <sup>3</sup> /ha	92.3	131.7	133.5	115.1	126.7
$\eta$		1.2	1.45	1.45	1.6	1.6
$\eta_H$		1.2	1.3	1.3	1.4	1.4
$\eta_L$		1.1	1.2	1.2	1.3	1.3
K		1.1	1.3	1.3	1.5	1.5
C <sub>w</sub>	won/hr	14,412	14,412	14,412	14,412	14,412
N <sub>w</sub>	person/ha	320.3	335.6	418.6	320.3	327.6
V <sub>w</sub>	km/hr	3.0	2.3	2.3	2.0	2.0
R <sub>H</sub>	won/m	207,000	207,000	207,000	207,000	207,000
R <sub>L</sub>	won/m	125,000	125,000	125,000	125,000	125,000
R <sub>t</sub>	won/m	1,150.9	1,150.9	1,150.9	1,150.9	1,150.9
Y	yr	10	10	10	10	10

**Table 3. Optimum forest-road density of the study sites.**

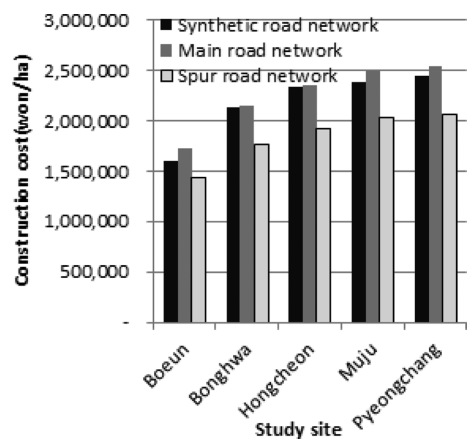
Road type		Forest road density (m/ha)				
		Boeun	Bonghwa	Hongcheon	Muju	Pyeongchang
Synthetic forest road network	Main road	4.4	5.9	6.0	6.0	6.3
	Spur road	5.7	7.7	8.9	9.6	9.6
	Total	10.1	13.6	14.9	15.6	15.9
Main-road network		8.4	10.4	11.5	12.2	12.4

5개소의 대상지는 산지경사에 따라 환경사지(15도 미만), 중경사지(15~30도미만), 급경사지(30도 이상)로 구분하고 이에 따라 산정인자의 값을 달리하여 적용하였으며, 앞서 전술한 각 산정인자의 적용값은 Table 2와 같다.

**2. 복합임도망의 적정밀도**

1) 복합임도망의 적정밀도 산정

Table 2의 값을 바탕으로 기초인자를 대입하여 산정한 복합임도망의 적정 임도밀도는 10.1~15.9 m/ha로 나타났다(Table 3). 대상지 중에서 가장 높은 임도밀도를 나타낸 지역은 평창으로 적정밀도는 15.9 m/ha였고, 가장 낮게 나타난 지역은 보은으로 10.1 m/ha이었다. 보은지역의 적정 복합임도망 밀도가 상대적으로 적게 나타난 것은 생산예정재적이 92.3 m<sup>3</sup>/ha로 가장 적었고, 비교적 환경사 지역으로 임도우회계수를 비롯한 다른 기초인자의 값이 낮은 값을 보이고 있기 때문인 것으로 사료된다. 이와 관련하여 Jung et al.(2005)은 중경사지의 경우 환경사지에 비해 작업원의 보행경비증가율이 더 높기 때문에 임도밀도가 더 높게 산정된다고 하였으며, 본 연구에서도 산지경사가



**Figure 1. Variations of forest-road density by types of forest-road networks.**

급할수록 보행거리, 짐재거리 등의 작업경비에 영향을 미치는 계수가 증가하기 때문에 산림작업에 있어서 임도의 필요성이 더욱 높아지는 것을 확인할 수 있다. 한편, 간선 임도만으로 임내도로망을 구성할 경우를 가정하여 Jung et al.(2005)의 산정식을 이용한 적정임도밀도는 8.4~12.4 m/ha로 나타났다.

2) 복합임도망의 개설비용 비교

Table 3에서 산정된 임도밀도를 기준으로 임도시공사업 기준단비(Korea Forest Service, 2013)를 이용하여 임도개설비용을 비교하였다. 작업임도망의 적정밀도는 복합임도망의 적정밀도와 동일한 것으로 가정하여 산출하였다. Figure 1은 각 대상지역의 ha당 임도개설비용을 나타낸 것으로 모든 대상지역에서 작업임도망에 대한 개설비용이 가장 낮고 다음으로 복합임도망, 간선임도망의 순으로 나타났다. 복합임도망의 개설비용은 단일규격의 간선임도망을 개설하는 비용에 비해 약 1~8%까지 낮게 나타났으며, 단일규격의 작업임도망을 개설하는 비용에 비해 약 11~21%까지 높게 나타났다. 반면, 임도밀도는 단일규격의 간선임도망에 비해 약 20.2~30.7%가량 증가하는 것을 알 수 있다. 임도의 개설비용 측면에서 보면 단일규격의

간선임도망에 비해 낮은 가격으로 높은 밀도의 임내도로 망을 시설할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 복합임도망 밀도의 변화

1) 생산예정재적과 산지경사에 따른 복합임도망의 밀도 변화

지속적인 산림사업과 관리에 따라 우리나라의 임목축적은 점점 증가할 것으로 예상되기 때문에, 대상지에 따라 변동하는 임목축적과 산지경사를 고려하여 이들의 변화에 따른 복합임도망의 노망밀도 변화를 살펴보았다.

단위면적당 생산예정재적의 변화(150~400 m<sup>3</sup>/ha)에 따른 노망밀도의 변화는 다음과 같이 나타났다(Figure 2). 완경사지에서 생산예정재적이 100 m<sup>3</sup>/ha일 때, 적정노망밀도는 10.8 m/ha(간선임도 4.5 m/ha, 작업임도 6.3 m/ha)이며, 생산예정재적이 400 m<sup>3</sup>/ha으로 증가함에 따라 적정노망밀도는 13.5 m/ha(간선임도 9.8 m/ha, 작업임도 3.8 m/ha)로 변화한다. 마찬가지로 중경사지와 급경사지에서도 수확예정재적이 증가함에 따라 복합임도망의 적정밀도도 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 수확예정재적과 산지경사의 증가에 따라 작업원의 보행시간 및 작업경비가 증가하므로 산림작업의 효율성을 고려할 때, 상대적으로 고밀도의 임내도로망이 필요하기 때문인 것으로 판단된다.

Jung et al.(2005)은 산림경영측면에서의 적정임도밀도를 14 m/ha로 제시한 바 있으며, Park and Kang(2010)은 경제적 측면에서의 적정임도밀도를 10.51 m/ha로 제시한 바 있다. 본 연구결과에서 산출된 산정치와 다소 차이는 있으나, 비슷한 경향을 보이고 있으며, 선행연구결과와 비교할 때 임도의 개설비용 및 인건비가 변동하였기 때문에 결과값에 차이가 발생한 것으로 보여진다.

특히, 간선임도와 작업임도의 밀도를 비교해보면, 간선임도의 밀도는 급격히 증가하는 반면, 작업임도의 밀도는 상대적으로 완만하게 감소하는 것으로 나타났는데, 대상지의 수확예정재적이 증가한다는 것은 분당 채취수도 증가하는 것이기 때문에 생산재의 전목 또는 전간집재를 위해서는 간선임도와 같은 고규격의 임도가 요구되는 것으로 판단된다. 또한, 산지의 경사가 급한 지역일수록 복합임도망의 밀도도 높게 나타났는데, 이는 전술한 바와 같이 작업시간 및 경비의 감소를 위해서는 임도시설에 대한 수요가 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 고규격의 임도를 개설하는 것은 많은 비용이 소요되므로 저규격 임도에 대한 수요가 증가하는 것으로 보여진다.

2) 집재비용에 따른 복합임도망의 밀도 변화

집재작업은 기계 및 장비의 종류, 오퍼레이터의 숙련도, 집재거리 등에 따라 작업의 효율성이 달라지며, 작업의 효율은 집재비용에도 영향을 미친다(Kim and Park, 2010).

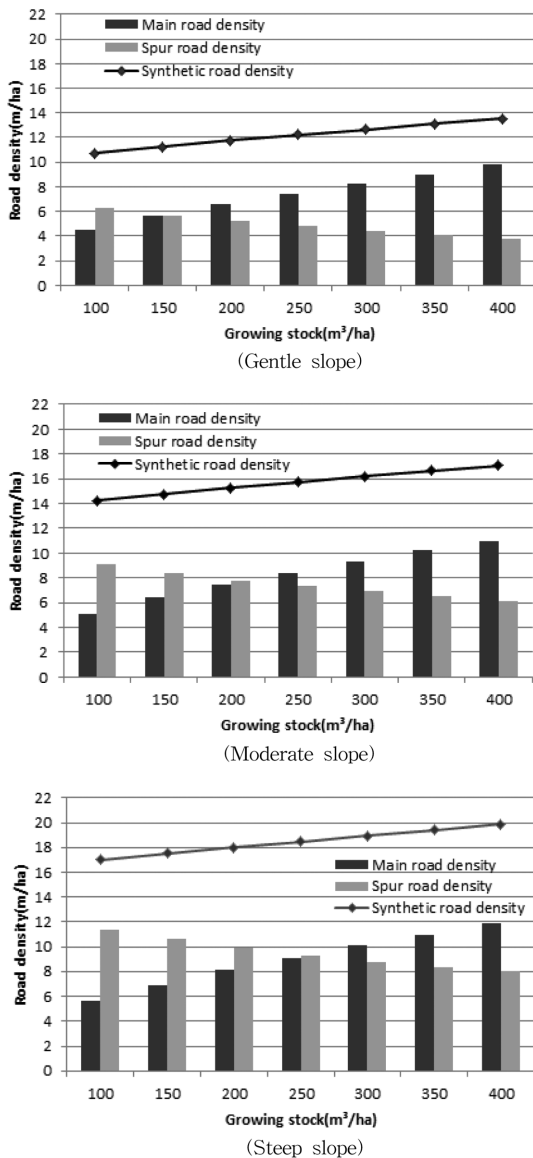


Figure 2. Variations of synthetic forest-road network density by growing stocks.

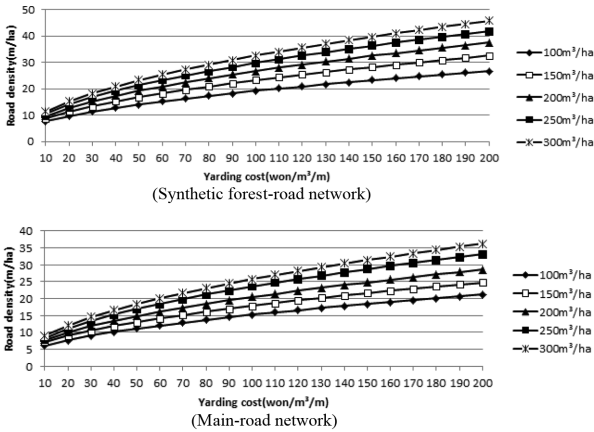


Figure 3. Variations of forest-road network density by yarding cost.

임업기계화를 위해 고성능 임업기계의 개발과 도입이 이루어지고, 작업자와 오퍼레이터의 숙련도도 증진될 것을 가정하여 단위재적당 집재비용의 증가에 따른 복합임도망과 간선임도망의 적정밀도 변화를 보면 Figure 3과 같다. Moon et al.(2015)은 트랙터 부착형 집재기를 이용한 집재작업에서 집재비용은 약 29,688원/m<sup>3</sup>, 타워야더에 의한 집재작업비용은 약 20,449원/m<sup>3</sup>으로 보고하였으며, Kim and Park(2013)은 스윙야더를 이용한 전목집재작업비용을 18,265원/m<sup>3</sup>으로 제시하였다. 집재거리를 100~200 m로 가정할 때, 약 91~296원/m<sup>3</sup>/m으로 산출할 수 있다. 중경사지를 기준으로 집재비용을 10~200원/m<sup>3</sup>/m로 가정할 때, 복합임도망의 적정밀도와 간선임도망의 적정밀도는 Figure 3과 같이 나타난다. 집재작업을 비롯하여 임업기계화가 실행되면 집재비용은 감소할 것이며, 이에 따른 적정임도밀도도 감소할 것으로 예상된다.

### 결론

복합임도망은 규격을 달리하는 고규격의 임도와 저규격의 임도를 유기적으로 배치하여 임도의 개설비용과 유지관리비용은 감소시키고, 임지까지의 접근성과 작업효율은 증가시켜 목재생산작업과 임도망의 배치효율을 최대화하는데 그 목적이 있다.

본 연구에서는 복합임도망의 구축을 위한 기초자료를 제시하기 위해 5개소의 임도시설시범단지를 대상으로 복합임도망의 적정밀도를 산정하고 단일규격의 임도망과 비교하였다. 그리고 생산예정재적과 집재비용의 증가에 따른 복합임도망 밀도의 변화를 살펴보았다.

연구대상지 5개소에서 복합임도망의 적정밀도는 10.1~15.9 m/ha로 산정되었으며, 생산예정재적이 증가할수록 이에 필요한 적정임도밀도도 증가하였다. 특히, 생산예정재적과 집재비용이 증가함에 따라 간선임도의 대한

밀도가 증가하였으며, 경사가 급한 지역일수록 작업임도의 밀도가 상대적으로 증가하는 경향을 보였다.

산림청에서는 임도를 간선임도, 지선임도, 작업임도로 구분하고 각 임도의 적정 규격을 정하여 임도정책을 시행하고 있다. 우리나라는 낮은 밀도의 임내도로망을 가지고 있는 산림국가로서 목재수확을 대비한 생산기반시설의 구축을 위해서는 선택과 집중을 통해 효율적인 임내도로망을 구축해야 할 필요가 있다. 임도개설비의 측면에서는 전반적으로 작업임도망의 개설이 가장 경제적이거나 고성능 장비의 임내진입이 어렵고 대경재의 집재 및 운반에 대한 작업효율이 낮기 때문에 단목집재시스템 위주의 작업시스템을 예상할 수 있다. 반면, 간선임도만으로 구축된 노망은 고규격의 임도망이기 때문에 대형운재장비 및 고성능임업기계의 이동과 작업이 가능하므로 높은 작업효율이 예상되지만, 모든 노선이 간선임도로 개설되기 때문에 많은 비용을 임도개설비로 지출하게 될 것을 예상할 수 있다.

살펴본 바와 같이 복합임도망은 목재수확작업에서 수익에 가장 큰 영향을 미치는 임목재적과 지출비용에서 가장 큰 영향을 미치는 임도개설비용을 고려하여 고규격 임도와 저규격 임도의 밀도가 산출되기 때문에 단일 규격의 노망과 비교하였을 때 임도개설비용이 상대적으로 합리적인 것을 알 수 있다. 하지만 목재수확작업의 효율은 기계의 종류, 오퍼레이터의 숙련도, 본당재적 등 많은 영향요인이 있기 때문에 단순히 노망의 규격으로 작업의 효율을 판단하는 것은 어려우며, 이는 향후 후속연구를 통해 임도의 규격에 따른 작업시스템 및 작업효율의 관계에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 산림청의 임업기술연구개발사업(No. S111215L150110)의 지원에 의해 수행되었음.

### References

Cha, D.S. and Cho, K.H. 1994. Studies on the Design of forest road network for mechanized Yarding Operations(II). Journal of Korean Forestry Society 83(3): 299-310.  
 Cha, D.S. Kim, J.Y., and Jung, D.H. 1995. Studies on Arrangement of Optimum forest road system for Mountainous Terrains. Forest Research Institute Journal of Forest Science 52: 176-185.  
 Cho, Gh., Cho, M.J., Han, H.S., Han, S.K., and Cha, D.S. 2015. Harvesting cost of tree-length thinning in a Larix leptolepis stands. Journal of Korean Forest Society 104(2): 221-229.  
 Jung, D.H., Cha, D.S., Park, J.M., Lee, J.W., Ji, B.Y., Chun,

- K.S., and Kim, J.Y. 2005. Computations of forest road density considering for forest terrain and characteristics. *Journal of Korean Forest Society* 94(3): 168-177.
- Kim, J.H. and Park, S.J. 2010. An analysis of the yarding productivity and cost in forest tending operation. *Journal of Korean Forest Society* 99(4): 625-632.
- Kim, J.Y., Cha, D.S., and Kim, C.H. 1992. Planning methods of optimum forest road network using a digital terrain model. *Research Reports of Forest Research Institute* 44: 120-132.
- Kim, M.K. and Park, S.J. 2013. An Analysis of the operational cost in the Whole-tree and cut-to-length logging operation system. *Journal of Korean Forest Society* 102(2): 229-238.
- Korea Forest Research Institute. 2004. Study on the optimum forest road density of Korea. Seoul, Korea. 109pp.
- Korea Forest Service. 2013. Forest road infrastructure estate plan.
- Korea Forest Service. 2014a. Business plan for wood product.
- Korea Forest Service. 2014b. Statistical yearbook of forestry.
- Matthews, D.M. 1942. Cost control in the logging industry. McGraw-Hill. N.Y. 374pp.
- Minamikata, Y., Sakai, Hideo., and Ito, Koya. 1986. Planning of synthetic forest-road networks of high and low quality. *Bulletin of the Tokyo University Forests* 74: 81-96.
- Mun, H.S., Cho, K.H., and Park, S.J. 2015. An analysis of the operational productivity and cost for the utilization of forest-biomass(II). *Journal of Korean Forest Society* 104(2): 230-238.
- Oh, J.H., Choi, Y.S., and Kim, D.H. 2015. Compressive deformation characteristics of logging residues by tree species. *Journal of Korean Forest Society* 104(2): 198-205.
- Park, M.S. 2013. Optimum landing size and plan for mechanization of logging. *Sanrim* 564(1): 86-89.
- Park, S.K. and Kang, G.U. 2010. Economical optimum forest road density with five cost variable. *Journal of Korean Forest Society* 99(1): 1-8.

---

(Received: October 5, 2015; Accepted: November 7, 2015)