

機械化 集材作業을 위한 路網整備에 關한 研究(II)^{1*}

— 適正林道間隔 및 林道密度 —

車斗松² · 曹丘鉉²

Studies on the Design of Forest Road Network for Mechanized Yarding Operations (II)^{1*}

— Optimal road spacing and density —

Cha, Du Song² and Koo Hyun Cho²

要 約

본 연구는 강원도 춘천군에 위치한 林業振興促進地域을 대상으로 總收穫費用(林道開設費+集材費)을 최소화하는 兩方向 一段階集材 및 二段階集材를 위한 適正林道間隔 및 林道密度를 산출하였다. 이때의 林道開設費는 km당 천만원부터 6천만원까지이다. 그 결과는 다음과 같다.

兩方向 一段階集材에서는 케이블 크레인이 적합하며, 適正林道間隔은 1,698m~4,192m, 평균 3,087m이며, 林道密度는 3.44m/ha~8.44m/ha, 평균 5.12m/ha로 산출되었다. 兩方向 二段階集材에서 中地形은 중형집재기와 로깅부기의 조합기종이 적합하며 林道間隔 1,483m~3,481m, 평균 2,589m로서, 林道密度는 4.05m/ha~9.46m/ha, 평균 5.90m/ha로 산출되었다. 또한 急地形은 중형집재기와 진성원치의 조합기종이 적합하며, 林道間隔 1,693m~3,982m, 평균 2,960m로서, 林道密度는 3.68m/ha~8.64m/ha, 평균 5.38m/ha로 산출되었다.

ABSTRACT

This study was carried out to examine the optimal road spacing and road density to minimize the total harvesting cost (road construction cost plus yarding cost) for mechanized yarding system to roadside by one- and two-stage two-way in Forestry build-up region, Chunchon-kun, Kangwon-do. The estimated road construction costs were ranged from ten million won to sixty million won per km. The results have indicated that cable crane was appropriate for yarding machine by one-stage, two-way, and estimated optimal road spacing was 1,698m~4,192m, averaged 3,087m, and road density was 3.44m/ha~8.44m/ha, and averaged 5.12m/ha. In hilly terrain, combination of medium yarder and logging bogie was suited to yarding machine by two-stage, two-way, and calculated optimal road spacing was 1,483m~3,481m, averaged 2,589m, and road density was 4.05m/ha~9.46m/ha, averaged 5.90m/ha. In steep terrain, combination of medium yarder and jinsung winch was suited, and estimated optimal road spacing was 1,693m~3,982m, averaged 2,960m, and

¹ 接受 1994年 2月 7日 Received on February 7, 1994.

² 江原大學校 林科大學 森林經營學科 Dept. of Forest management, College of Forestry, Kangweon Nat'l. Univ., Chunchon, Korea.

* 本 論文은 1992年度 教育部支援 韓國學術振興財團의 自由公募(地方大學育成)課題研究助成費에 의하여 研究되었음.

road density was 3.68m/ha~8.64m/ha, averaged 5.38m/ha.

Key words : Mechanized yarding operations, Forestry build-up region, One- and two-stage two-way yarding, Optimal road spacing and density, Total harvesting cost

緒 論

최근 林業을 둘러싼 상황은 농산촌 인구의 급속한 감소로 임업노동력의 부족 및 고령화로 인한 노동임금의 상승, 열악한 작업환경 등으로 森林作業을 기피하는 현상으로 인하여 생산비는 상승하고 있으며, 또한 목재수요량의 80% 이상을 값싼 外材의 시장지배로 國內材의 가격은 약보합세를 이루고 있어 林業經營의 의욕을 저하시키는 등 임업생산활동의 전망을 어둡게 하고 있다.

이와 같은 현실하에서 우리 林業이 나아가야 할 방향은 山林作業의 능률화 및 합리화로 작업경비의 절감과 효율적인 사업실행을 통하여 林業生産性 및 山林所得을 증대시키고, 산림노동에서의 신체적 부담을 줄여 능률적인 作業方法, 作業環境 등을 개선시키는 林業의 機械化 및 이를 위한 路網의 整備가 최우선 과제로 대두되고 있다. 특히, 경영의 집단화·협업화로 활력있는 산촌사회의 형성을 목적으로 2000년대 국산재 안정공급기지로서의 林業振興促進地域에 대해서는 林業機械化의 실현 및 路網整備가 우선적으로 실행되어야 하지만, 이것 역시 아직도 초기단계에 머물고 있는 실정이다¹⁾.

임업기계화 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것은 集材作業의 機械化로서, 山岳地形에 있어서의 집재작업은 작업현장의 지형에 의하여 集材機種의 선정 및 集材方向이 제한적일 수 밖에 없을 것이다^{18,24)}. 과거에는 집재기종의 능력에 의해서 單方向集材가 주류를 이루고 있었으나, 集材能力 향상에 따라서 집재방향도 兩方向의 集材가 가능하게 되었다. 또한 林內의 집재작업에서도 單機種의 작업으로 集材圈域의 협소화로 인한 濃密한 路網開設로서 林地의 손실을 초래하였으나, 근년에는 집재기종의 다양화 및 성능향상으로 임내에서도 작업할 수 있는 林內走行型 집재기종의 개발로 駐車型과 走行型의 조합으로 집재작업을 실시하고 있다^{3,4,6,13)}. 集材시스템은 여러가지 요인에 의하여 분류되지만, 대개 집

재기종에 의하여 車輛系集材와 架線集材로 크게 분류되며, 차량계집재는 임내주행형 차량집재와 주차형 차량집재로 나누어 진다. 이와 같이 각 집재시스템의 효율적인 작업을 위한 路網整備에 관한 연구로서는 平地林, 丘陵林 및 山岳林을 대상으로 트랙터 作業道の 適正密度 산출^{14,15)} 및 伐出作業의 기준으로서 平坦地, 丘陵地, 急斜地 및 急峻地로 지형분류를 하여 트랙 집재형, 트랙터 집재형, 중거리 가선형 및 장거리 가선형으로 구분한 標準林道密度의 산출 등이 있다²²⁾. 또한 최근에는 영속적으로 사용할 수 있는 高規格과 低規格林道 등을 고려한 複合的 路網體系를 고려하여 急地形에서는 가선집재, 緩地形에서는 트랙터와 크레인 집재시스템의 복합적 路網密度에 대해서^{5,6)}, 평탄지형에는 트랙터집재, 급·급준지형에는 가선집재방식으로 飽和密度의 개념을 도입하였으며, 노망형태로서는 複合循環路網에 대해서 발표하였다^{8,9)}. 그리고 林道開設費와 集材費를 최소로 하는 單方向의 多段階(multistage) 가선 집재작업을 위한 適正林道間隔의 선정²¹⁾ 및 소규모 임업지역의 노망계획으로서 급지형에서 소형운재차를 중심으로 하는 林道, 作業道 및 集材路의 3종류의 노망적정밀도의 산출¹⁹⁾ 등이 있다.

이와 같이 機械化에 대한 시대적 요구는 임내에서 林業機械가 효율적으로 작업할 수 있도록 集材作業시스템에 적합한 계획적인 路網整備를 실시하는 것이 중요하다.

따라서 본 연구는 강원도 춘천군에 위치한 林業振興促進地域의 7개 團地를 대상으로 케이블 크레인, 경운기부착 단선순환집재기, 중형집재기, 로깅부기, 진성원치 등의 5개 집재기종의 선정 및 각 단지의 지형에 적합한 집재기종을 결정하며, 集材方法은 兩方向(two-way) 一段階(one-stage) 및 二段階(two-stage) 集材, 費用函數는 林道開設費와 集材費의 합계를 이용하여 路網整備의 量的基準인 林道間隔과 林道密度에 대하여 검토하였다.

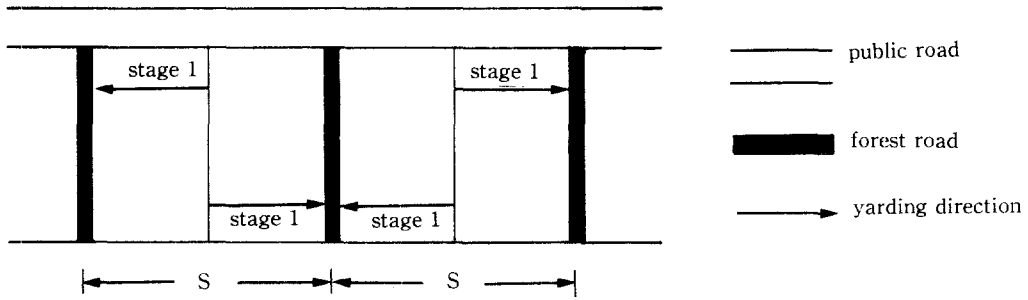


Fig. 1. Schematic diagram of the mechanized yarding system to roadside by one-stage, two-way.

研究內容 및 方法

1. 兩方向 一段階 및 二段階集材를 위한 適正林道間隔 및 林道密度

1) 兩方向 一段階(one-stage, two-way)集材

兩方向 一段階集材는 임도상에 주차형 집재기종을 설치하여 上下方向에서 임내의 목재를 집재하는 것을 말하며, Fig. 1은 兩方向 一段階集材의 모식도를 나타내며, 총수확 비용의 산출은 식(1)과 같다²³⁾.

$$TC = 10R / (VS) + C \text{ AYD} + Y \quad (1)$$

단, TC는 總收穫費用(원/m³), R은 km당 임도개설費(원/km), V는 ha당 林木材積(m³/ha), S는 林道間隔(m), C는 m³당·m당 集材費(원/m³·m), AYD는 平均集材距離(m), Y는 固定集材費(원/m³)이다.

여기에서 S는 最大集材距離의 2배이며 平均集材距離의 4배를 보여주고 있다. 평균집재거리는 林道間隔(S)의 函數이고, 兩方向의 平均집재거리는 S/4와 같다. 따라서 식(1)의 平均집재거리

(AYD)에 S/4를 대입하여 總收穫費用을 최소로 하는 林道間隔(S)을 산출하면 식(2)와 같다.

$$S = \{40R / (CV)\}^{1/2} \quad (2)$$

2) 兩方向 二段階(two-stage, two-way)集材

兩方向 二段階集材는 임내주행형의 집재기종으로 임내의 목재를 일단계 집재의 경제적인 最大集材距離上까지 집재하는 것을 말하며, 이 集積된 목재는 駐車型 集材機種으로 임도상까지 집재를 한다. Fig. 2는 兩方向 二段階集材의 모식도를 나타내며, 총비용함수는 식(1)에서 兩方向 二段階集材를 위하여 다음 식(3)과 같이 변형할 수 있다.

$$TC = 10R / (VS) + P_1 [C_1 (E_1 / 2) + Y_1] + (1 - P_1) \{C_2 (S / 2 - E_2) / 2 + C_1 E_1 + Y_2\} \quad (3)$$

단, C₁은 stage 1의 m³당·m당 集材費(원/m³·m), Y₁은 stage 1의 固定集材費(원/m³), C₂는 stage 2의 m³당·m당 集材費(원/m³·m), Y₂는 stage 2의 固定集材費(원/m³), E₁은 stage 1의 最大集材距離(m), P₁=2E₁/S, stage 1의 集

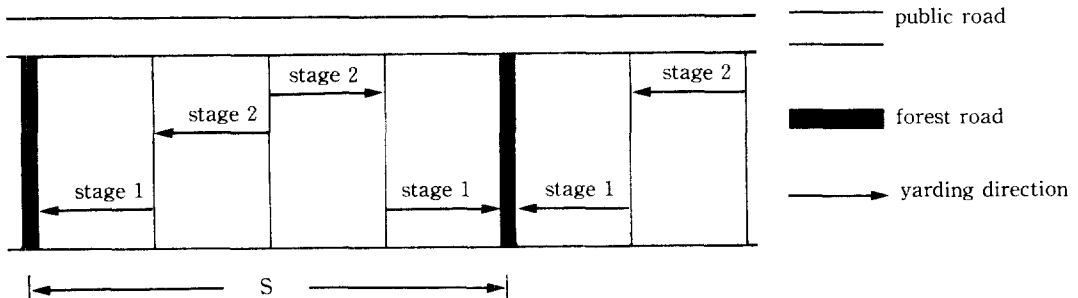


Fig. 2. Schematic diagram of the mechanized yarding system to roadside by one-stage, two-way.

Table 1. Mechanized operational variables for five yarding machines

Yarding machine	Mobile tower cable crane (Cable crane)	Medium sized yader (Medium yarder)	Single line circuit yader (Circuit yader)	Logging bogie	Jinsung winch
Max. yarding(m)	500	300	200	100	100
Crew size	5	2	4	3	2
Yarding cost					
Variable(won/m ³ · m)	6.89	2.49	2.04	11.47	6.54
Fixed(won/m ³)	5,866.25	5,000.18	9,454.89	7,064.49	5,866.25

材積 比率이다.

林道間隔(S)는 stage 1의 最大集材距離(E₁)보다 클것이며, 이것은 집재기의 능력에 따라 다양하게 나타날 것이다.

식(3)에서 P₁=2E₁/S로 대치하여 二段階 集材作業의 총수확비용을 최소로 하는 林道間隔은 식(4)와 같다.

$$S = \{40R / (C_2 V) - 4 C_1 (E_1^2 / C_2) + 8 Y_1 (E_1 / C_2) + 8 E_1^2 - 8 E_1 (Y_2 / C_2)\}^{1/2} \quad (4)$$

3) 林道密度의 算出

林道密度는 基準面積에 대한 林道の 延長으로서 식(2) 및 식(4)에 의하여 산출된 林道間隔을 식(5)에 의하여 林道密度로 환산한다.

$$d = \frac{l(1+\eta)(m)}{l \cdot S / 10^4 (ha)} = \frac{10^4(1+\eta)}{S} (m/ha) \quad (5)$$

단, d는 林道密度(m/ha), l은 林道延長(m), S는 林道間隔(m), η는 林道迂廻率이다.

結果 및 考察

1. 段階別 및 地形別에 따른 集材機種의 決定

對象機種은 케이블 크레인(cable crane ; Köller K-300), 중형집재기(medium sized yarder), 경운기부착 단선순환집재기(single line circuit yarder), 로깅부기(logging bogie) 및 진성윈치(jinsung winch)로서, 이들 집재기종의 제원은 Table 1과 같다^{1,2,7,11,12}. 각 기종의 변동비 계산은 1993년도 현실노임 40,000(원/일)을 기준으로 하였다.

또한 각 集材機種의 특성을 이용하여 각 段階別, 地形別에 따른 집재기종의 결정은 Fig. 3과 같다.

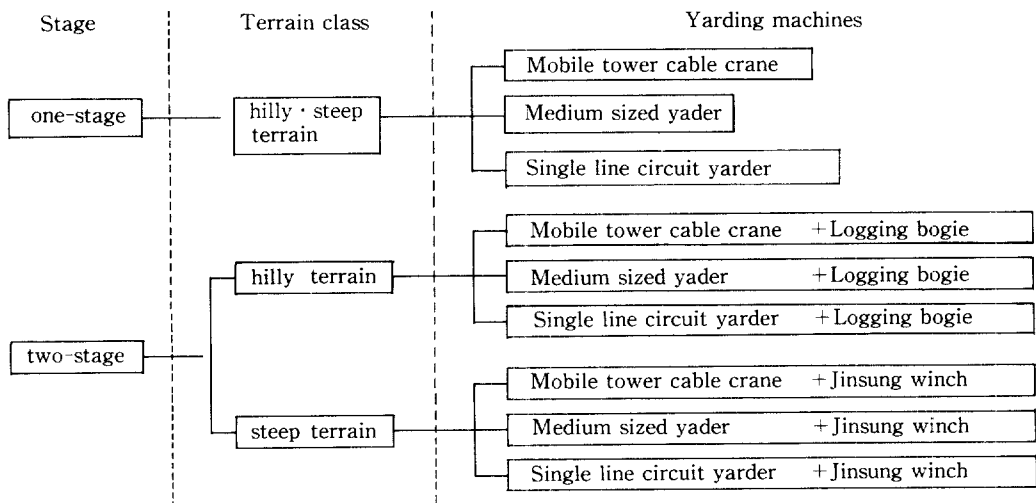


Fig. 3. Determination of the yarding machine system based on stages and terrain classes.

2. 適正林道間隔 및 林道密度 算出

대상지역은 江原道 春川郡 4개면(남면, 동산면, 남산면, 사북면)에 위치한 林業振興促進地域

으로 가정단지(16.4m³/ha), 군자단지(20.5m³/ha), 수동단지(13.1m³/ha), 광판단지(13.3m³/ha), 지암단지(29.4m³/ha), 고성단지(29.9m³/ha) 및 신포단지(28.6m³/ha)의 7개 團地로서 총

Table 2. Optimal road spacing and road density for three mechanized yarding system to roadside by one-stage, two-way in Forestry build-up region

Region	Yarding machine		Road cost(10,000,000won/km)					
			1	2	3	4	5	6
Gajung	Cable crane	RS	1,881	2,660	3,258	3,762	4,207	4,608
		RD	7.66	5.41	4.42	3.83	3.42	3.13
	Medium yarder	RS	3,129	4,426	5,420	6,259	6,998	7,666
		RD	4.60	3.25	2.66	2.30	2.06	1.88
	Circuit yarder	RS	3,457	4,889	5,988	6,915	7,731	8,469
		RD	4.17	2.95	2.40	2.08	1.86	1.70
Gosung	Cable crane	RS	1,393	1,970	2,413	2,786	3,115	3,413
		RD	9.83	6.95	5.68	4.92	4.40	4.01
	Medium yarder	RS	2,317	3,278	4,014	4,635	5,182	5,677
		RD	5.91	4.18	3.41	2.96	2.64	2.41
	Circuit yarder	RS	2,560	3,621	4,435	5,121	5,726	6,272
		RD	5.35	3.78	3.09	2.68	2.39	2.18
Gunja	Cable crane	RS	1,682	2,379	2,914	3,365	3,762	4,122
		RD	8.15	5.76	4.70	4.07	3.64	3.32
	Medium yarder	RS	2,799	3,958	4,848	5,598	6,259	6,856
		RD	4.89	3.46	2.83	2.45	2.19	2.00
	Circuit yarder	RS	3,092	4,373	5,356	6,185	6,915	7,575
		RD	4.43	3.13	2.56	2.22	1.98	1.81
Jiam	Cable crane	RS	1,405	1,987	2,433	2,810	3,142	3,442
		RD	10.25	7.25	5.92	5.12	4.58	4.18
	Medium yarder	RS	2,337	3,305	4,048	4,675	5,226	5,725
		RD	6.16	4.36	3.56	3.08	2.76	2.52
	Circuit yarder	RS	2,582	3,652	4,473	5,165	5,774	6,325
		RD	5.58	3.94	3.22	2.79	2.49	2.28
Kwangpan	Cable crane	RS	2,089	2,954	3,618	4,178	4,671	5,117
		RD	6.56	4.64	3.79	3.28	2.93	2.68
	Medium yarder	RS	3,475	4,914	6,019	6,950	7,771	8,512
		RD	3.94	2.79	2.28	1.97	1.76	1.61
	Circuit yarder	RS	3,839	5,430	6,650	7,679	8,585	9,405
		RD	3.57	2.52	2.06	1.78	1.60	1.46
Sinpo	Cable crane	RS	1,424	2,014	2,467	2,849	3,185	3,489
		RD	10.11	7.15	5.84	5.05	4.52	4.13
	Medium yarder	RS	2,369	3,351	4,104	4,739	5,299	5,805
		RD	6.08	4.30	3.51	3.04	2.72	2.48
	Circuit yarder	RS	2,618	3,702	4,535	5,236	5,854	6,413
		RD	5.50	3.89	3.18	2.75	2.46	2.25
Sudong	Cable crane	RS	2,105	2,977	3,646	4,210	4,707	5,156
		RD	6.51	4.60	3.76	3.25	2.91	2.66
	Medium yarder	RS	3,501	4,952	6,065	7,003	7,830	8,577
		RD	3.91	2.77	2.26	1.96	1.75	1.60
	Circuit yarder	RS	3,868	5,471	6,701	7,737	8,650	9,476
		RD	3.54	2.50	2.04	1.77	1.58	1.45

* RS : Road spacing(m), RD : Road density(m/ha)

면적은 21,417ha이다¹⁰⁾.

이들 단지에 대한 1992년 현재의 林道開設現況은 7개 團地중 유일하게 가정단지만이 1990년에 4km의 임도를 개설한 실적이 있으며, 그밖의 지역은 1998년까지의 임도개설계획은 없는 실정으로, 林道密度는 0.19m/ha에 불과하다. 또한 地形分類의 결과는 地形指數가 고성단지 38.4%, 광판단지 33.8%, 군자단지 32.0%, 수동단지 37.7%로서 中地形으로 나타났으며, 가정단지 40.4%, 지암단지 50.6%, 신포단지 48.3%로서 急地形으로 분류되었다^{17,20)}. 林道密度 산출시의 迂廻率(η) 값은 中地形 團地(고성, 광판, 군자 및 수동단지)는 0.37, 急地形(가정, 지암 및 신포단지)는 0.44를 대입하여 계산하였다¹⁶⁾.

1) 兩方向 一段階集材를 위한 適正林道間隔 및 林道密度 算出

우선 兩方向 一段階 集材作業에 대한 임업진흥 촉진지역의 각 團地別과 集材機種別에 대한 適正 林道間隔의 계산은 Fig. 3의 단계별, 지형별 집재기종의 결정과 각 단지별의 평균재적을 이용하였다. 總收穫費用(林道開設費+集材費)을 최소화하는 식(2)에 의하여 임도개설비를 km당 천만원부터 6천만원까지로 계산한 다음, 식(5)에 의하여 林道密度로 환산하였다. 그 결과는 Table 2와 같다. 또한 총수확비용은 식(1)에 의하여 산출하였다.

總收穫費用을 최소로 하는 適正林道間隔은 임도개설비의 증가와 함께 증가되었으며, 반면에 林道密度는 낮게 산출되었다. 이 경향은 모든 집재기종에서 나타났다. 또한, 모든 단지에서 임도개설비가 km당 천만원에서 4천만의 4배의 증가로 林道間隔은 2배의 증가를 보이고 있으며, 林道密度는 2배의 감소를 나타내었다.

구체적으로 集材機種에 상관없이 林道開設費가 km당 천만원부터 6천만원까지의 각 단지별의 適正林道間隔은 고성단지가 2,090m~5,121m로서 평균 임도간격은 3,774m로 나타났으며, 林道密度는 2.87m/ha~7.03m/ha, 평균 4.27m/ha이며 총수확비용은 10,841원/m³~15,817원/m³으로 산출되었다. 지암단지가 適正林道間隔이 2,108m~5,164m로서 평균 3,806m로 나타났으며, 林道密度는 2.99m/ha~7.33m/ha, 평균 4.45m/ha로 총수확비용은 10,871원/m³~15,888원/m³으로 산출되었다. 또한 신포단지는 適正林道間隔이 2,137

m~5,236m로서 평균 3,859m로 나타났으며, 林道密度는 2.95m/ha~7.23m/ha, 평균 4.39m/ha이며 총수확비용은 10,918원/m³~16,006원/m³으로 산출되었다. 그리고 광판단지와 수동단지는 거의 비슷한 값을 나타내고 있다. 각 集材機種別로 단지의 구분없이 적정임도간격, 임도밀도 및 총수확비용을 보면, 케이블 크레인의 林道間隔은 1,698m~4,192m, 평균 3,087m이며, 林道密度는 8.44m/ha~3.44m/ha, 평균 5.12m/ha로서 총수확비용은 13,669원/m³~22,217원/m³로 산출되었고, 중형집재기의 林道間隔은 2,847m~6,974m, 평균 5,140m, 林道密度는 5.07m/ha~2.08m/ha, 평균 3.05m/ha로서 총수확비용은 8,545원/m³~13,683원/m³으로, 단선순환 집재기의 林道間隔은 3,145m~7,705m, 평균 5,560m, 林道密度는 4.59m/ha~1.88m/ha, 평균 2.79m/ha로 총수확비용은 12,663원/m³~17,314원/m³으로 산출되었다.

각 단지별의 適正林道間隔 및 總收穫費用은 ha당의 임목재적의 순서로 고성단지, 지암단지, 신포단지, 군자단지, 가정단지, 광판단지 및 수동단지로 작게 나타났으며, 반면에 林道密度는 지형에 따른 林道迂廻率의 차이로 인하여 지암단지, 신포단지 및 고성단지의 순서로 높게 나타났다. 또한 團地別의 각 집재기종별로는 最大集材距離가 크며 集材費單價가 높은 케이블 크레인, 중형집재기, 경운기부착 단선순환 집재기의 순으로 林道間隔은 좁게, 林道密度는 높게 나타났으며, 총수확비용은 중형집재기, 단선순환 집재기 및 케이블 크레인의 순서로 적게 산출되었다.

그러나, 대상임지의 모든 지역을 집재가능한 集材圈域으로 가정하는 집재기종의 林道間隔을 고려할 때, 대상임지에서의 집재는 林道開設費가 km당 천만원인 낮은 단계에서도 모든 임지가 集材圈域으로 포함될 수 없는 실정을 보여주고 있다. 이것의 주요 요인은 林業振興促進地域의 삼림이 대부분 유령림(평균재적 21.6m³/ha)으로 구성되어 있어 林道間隔의 산출을 위한 ha당 임목재적이 낮기 때문이다.

또한 앞으로의 임목생장을 고려하여 각 기종에 대하여 林木蓄積이 100m³/ha부터 300m³/ha까지, 林道開設費 역시 km당 천만원에서 6천만원까지로 가정할 때의 適正林道間隔 및 林道密度는 Table 3과 같다.

Table 3. Optimal road spacing and road density for three mechanized yarding system to roadside by one-stage, two-way, for three assumed stocking levels

Yarding machine	volume (m ³ /ha)		Road cost (10,000,000won/km)					
			1	2	3	4	5	6
Cable crane	100	RS	761	1,077	1,319	1,523	1,703	1,866
		RDH	18.00	12.72	10.39	9.00	8.04	7.34
		RDS	18.92	13.37	10.92	9.46	8.46	7.72
	200	RS	538	761	933	1,077	1,204	1,319
		RDH	25.46	18.00	14.68	12.72	11.38	10.39
		RDS	26.77	18.92	15.43	13.37	11.96	10.92
	300	RS	439	622	761	879	983	1,077
		RDH	31.21	22.03	18.00	15.59	13.94	12.72
		RDS	32.80	23.15	18.92	16.38	14.65	13.37
Medium yarder	100	RS	1,267	1,792	2,195	2,534	2,834	3,104
		RDH	10.81	7.65	6.24	5.41	4.83	4.41
		RDS	11.37	8.04	6.56	5.68	5.08	4.64
	200	RS	896	1,267	1,552	1,792	2,004	2,195
		RDH	15.29	10.81	8.83	7.65	6.84	6.24
		RDS	16.07	11.37	9.28	8.04	7.19	6.56
	300	RS	731	1,034	1,267	1,463	1,636	1,792
		RDH	18.74	13.25	10.81	9.36	8.37	7.65
		RDS	19.70	13.93	11.37	9.84	8.80	8.04
Circuit yarder	100	RS	1,400	1,980	2,425	2,800	3,131	3,429
		RDH	9.79	6.92	5.65	4.89	4.38	4.00
		RDS	10.29	7.27	5.94	5.14	4.60	4.20
	200	RS	990	1,400	1,714	1,980	2,214	2,425
		RDH	13.84	9.79	7.99	6.92	6.19	5.65
		RDS	14.55	10.29	8.40	7.27	6.50	5.94
	300	RS	808	1,143	1,400	1,616	1,807	1,980
		RDH	16.96	11.99	9.79	8.48	7.58	6.92
		RDS	17.82	12.60	10.29	8.91	7.97	7.27

* RS : Road spacing(m), RDH : Road density of hilly terrain(m/ha),
RDS : Road density of steep terrain(m/ha)

集材機種別로 살펴보면, 대상 임지를 모두 集材圈域으로 포함시킬 수 있는 林道間隔은 最大集材距離가 가장 긴 케이블 크레인으로서 임목재적 100m³/ha이며 임도개설비 km당 2천만원 이하인 경우로서, 適正林道間隔은 761m 1,077m이며, 林道密度는 中地形 18.00m/ha~12.72m/ha, 急地形 19.92m/ha~13.37m/ha, 총수확비용은 10,397원/m³~11,484원/m³이다. 임목재적 200m³/ha이며 임도개설비 km당 4천만원 이하인 경우에는 適正林道間隔은 538m~1077m, 林道密度는 中地形 25.46m/ha~12.72m/ha, 急地形 26.77m/ha~13.37m/ha, 총수확비용은 9,628원/m³~11,484원/m³이다. 임목재적 300m³/ha이며, 임도개설비 km당 6천만원 이하인 경우는 適正林道間隔은 439m~1,077m, 林道密度는 中地形 31.21m/ha~12.72m/ha, 急地形 32.80m/ha~13.37m/ha로

서 총수확 비용은 9,287원/m³~11,484원/m³이다. 또한 임목재적 400m³/ha 이상이면 임도개설비 km당 7천만원인 경우에도 모든 지역을 集材圈域으로 포함할 수 있을 것이다. 현재의 林道開設單價인 km당 5천만원으로서는 ha당 재적이 200m³/ha 이상이 되어야만 대상 임지를 집재권역으로 포함시키는 것이 가능하다. 이때의 適正林道間隔은 1,204m이며, 林道密度는 中地形 11.38m/ha, 急地形 11.96m/ha로, 總收穫費用은 11,922원/m³으로 산출되었다. 이것은 케이블 크레인을 이용한 兩方向 一段階 集材作業을 실시할 때의 기준치를 나타내고 있는 것이다.

중형 집재기는 林道開設費가 km당 천만원에서 임목재적이 200m³/ha 이상이 되어야만 대부분의 대상 임지를 집재권역으로 포함시킬 수 있다. 適正林道間隔 및 林道密度는 임목재적이 200m³/ha

일때 林道間隔은 896m, 林道密度는 中地形 15.29 m/ha, 急地形 16.07m/ha, 總收穫費用은 6,115 원/m³이며, 임목재적이 300m³/ha일때 林道間隔은 731m, 林道密度는 中지형 18.74m/ha, 급지형 19.70m/ha로 總收穫費用은 5,910원/m³으로 산출되었다. 또한 林道開設費가 km당 2천만원, 임목재적 400m³/ha인 경우는 임도개설비가 km당 천만원, 임목재적이 200m³/ha일때와 동일하게 산출되었다. 그러나 단선순환집재기는 總收穫費用을 최소화하는 適正林道間隔 및 林道密度를 산출하였지만, 일부분의 지역만이 집재권역으로 포함시킬 수 있는 것으로 나타났다.

위의 결과에 의하면 兩方向 一段階集材에서는 케이블 크레인으로 集材作業을 실시하는 것이 적합한 것으로 판명되었으며, 현실의 임목재적 및 임도개설비를 고려한다면, 低規格 林道인 作業道 및 作業路 등의 설치가 유리한 것으로 나타났다. 또한 중형집재기 및 단선순환 집재기는 앞으로 집재기의 드림능력을 향상시켜 최대집재거리를 높이는 것이 바람직 할 것이다.

2) 兩方向 二段階集材를 위한 適正林道間隔 및 林道密度 算出

兩方向 二段階集材作業에 대한 임업진흥촉진지역의 각 團地別과 集材機種別에 대한 適正林道間隔의 계산은 Fig. 3의 地形別 3가지의 집재기종 조합과 각 단지별의 평균재적을 이용하여 總收穫費用을 최소화하는 식(4)에 의하여 임도개설비가 km당 천만원부터 6천만원까지를 계산한 다음, 식(5)에 의하여 林道密度로 환산하였다. 그 결과는 Table 4와 같다. 또한 總收穫費用은 식(3)에 의하여 산출하였다.

구체적으로 集材機種에 상관없이 임도개설비가 km당 천만원부터 6천만원까지의 각 단지별의 適正林道間隔은 고성단지가 1,396m~2,795m로서 평균 임도간격은 2,159m로 나타났으며, 林道密度는 4.91m/ha~10.03m/ha, 평균 6.77m/ha이며 總收穫費用은 11,804원/m³~20,296원/m³으로 산출되었다. 군자단지가 適正林道間隔이 1,579m~3,320m로서 평균 2,553m로, 林道密度는 4.13 m/ha~8.80m/ha, 평균 5.76m/ha로 총수확비용은 12,958원/m³~23,387원/m³으로 나타났다. 지암단지와 신포단지는 동일한 急地形으로 ha당 임목재적이 비슷하므로 適正林道間隔, 林道密度 및 수확비용도 비슷하게 산출되었다. 지암단지는 適

正林道間隔이 1,791m~3,693m로서 평균 2,837m로 나타났으며, 林道密度는 3.90m/ha~8.21m/ha, 평균 5.44m/ha이며 總收穫費用은 10,636원/m³~17,078원/m³으로 산출되었다. 광판단지와 수동단지는 거의 동일한 값을 나타내고 있으며, 광판단지가 적정임도간격이 1,850m~4,068m로서 평균 3,070m이며, 임도밀도는 3.37m/ha~7.46 m/ha, 평균 4.80m/ha로서 총수확비용은 14,633 원/m³~27,754원/m³로 산출되었다. 마지막으로 가정단지가 適正林道間隔이 2,208m~4,852m로서 평균 3,662m로 나타났으며, 林道密度는 2.97 m/ha~6.56m/ha, 평균 4.23m/ha이며 총수확비용은 12,076원/m³~20,917원/m³으로 산출되었다. 각 集材機種別로 團地의 구분없이 로깅부기와 조합한 집재기종의 순서로서 적정임도간격, 임도밀도 및 총수확비용을 보면, 중형집재기가 林道間隔 1,483m~3,481m, 평균 2,589m이며, 林道密度는 4.05m/ha~9.46m/ha, 평균 5.90m/ha로서 總收穫費用은 12,164원/m³~24,034원/m³로 산출되었고, 단선순환집재기가 林道間隔 1,619 m~3,542m, 평균 2,676m, 林道密度는 3.97m/ha~8.60m/ha, 평균 5.74m/ha로서 총수확비용은 14,179원/m³~25,362원/m³으로 나타났다. 다음은 케이블 크레인으로서 林道間隔은 1,912m~3,687 m, 평균 2,875m, 林道密度는 3.80m/ha~7.22m/ha, 평균 5.09m/ha로서 총수확비용은 14,228원/m³~25,126원/m³으로 산출되었다. 또한 진성원 치와 조합한 집재기종의 순서로서 적정임도간격, 임도밀도 및 총수확비용을 보면, 중형집재기가 林道間隔 1,693m~3,982m, 평균 2,960m로서, 林道密度는 3.68m/ha~8.64m/ha, 평균 5.38m/ha로 총수확비용은 9,826원/m³~17,523원/m³으로 산출되었으며, 단선순환집재기가 임도간격 1,939 m~4,093m, 평균 3,108m, 임도밀도는 3.57m/ha~7.50m/ha, 평균 4.99m/ha로서 총수확비용은 11,172원/m³~18,287원/m³으로 산출되었다. 다음은 케이블 크레인으로서 林道間隔은 2,175m~4,211m, 평균 3,279m이며, 林道密度는 3.47m/ha~6.66m/ha, 평균 4.67m/ha로서 총수확비용은 12,385원/m³~19,419원/m³으로 산출되었다.

위의 결과를 살펴 보면, 각 단지별의 適正林道間隔 및 林道密度는 고성단지, 군자단지, 지암단지, 신포단지, 광판단지, 수동단지 및 가정단지의 순서로 좁고 높게 나타났다. 임목재적이 비슷

Table 4. Optimal road spacing and road density for mechanized yarding system to roadside by two-stage, two-way in Forestry build-up region

Region	Yarding machine		Road cost (10,000,000won/km)					
			1	2	3	4	5	6
Gajung	Jinsung winch and Cable crane	RS	2,417	3,093	3,647	4,126	4,556	4,948
		RD	5.96	4.66	3.95	3.49	3.16	2.91
	Jinsung winch and Medium yarder	RS	1,998	2,779	3,384	3,896	4,348	4,758
		RD	7.12	5.18	4.26	3.70	3.31	3.03
	Jinsung winch and Circuit yarder	RS	2,208	2,933	3,512	4,008	4,448	4,852
		RD	6.52	4.91	4.10	3.59	3.24	2.97
Gosung	Logging bogie and Cable crane	RS	1,677	1,994	2,268	2,512	2,734	2,640
		RD	8.17	6.87	6.04	5.45	5.01	4.06
	Logging bogie and Medium yarder	RS	1,173	1,594	1,925	2,208	2,457	
		RD	11.68	8.59	7.12	6.20	5.58	5.10
	Logging bogie and Circuit yarder	RS	1,338	1,719	2,030	2,300	2,540	510
		RD	10.24	7.97	6.75	5.96	5.39	4.96
Gunja	Logging bogie and Cable crane	RS	1,829	2,246	2,598	2,907	3,186	3,442
		RD	7.49	6.10	5.27	4.71	4.30	3.98
	Logging bogie and Medium yarder	RS	1,382	1,900	2,305	2,648	2,952	3,227
		RD	9.91	7.21	5.94	5.17	4.64	4.25
	Logging bogie and Circuit yarder	RS	1,525	2,006	2,393	2,725	3,021	3,291
		RD	8.98	6.83	5.73	5.03	4.53	4.16
Jiam	Jinsung winch and Cable crane	RS	2,047	2,504	2,890	3,230	3,537	3,820
		RD	7.03	5.75	4.98	4.46	4.07	3.77
	Jinsung winch and Medium yarder	RS	1,531	2,103	2,550	2,930	3,266	3,570
		RD	9.41	6.85	5.65	4.91	4.41	4.03
	Jinsung winch and Circuit yarder	RS	1,796	2,304	2,718	3,007	3,398	3,691
		RD	8.02	6.25	5.30	4.68	4.24	3.90
Kwangpan	Logging bogie and Cable crane	RS	2,066	2,624	3,084	3,483	3,841	4,186
		RD	6.63	5.22	4.44	3.93	3.57	3.29
	Logging bogie and Medium yarder	RS	1,682	2,335	2,841	3,270	3,649	3,992
		RD	8.15	5.87	4.82	4.19	3.75	3.43
	Logging bogie and Circuit yarder	RS	1,801	2,422	2,913	3,333	3,706	4,044
		RD	7.61	5.66	4.70	4.11	3.70	3.39
Sinpo	Jinsung winch and Cable crane	RS	2,061	2,527	2,920	3,265	3,578	3,865
		RD	6.99	5.70	4.93	4.41	4.02	3.73
	Jinsung winch and Medium yarder	RS	1,550	2,131	2,584	2,969	3,310	3,618
		RD	9.29	6.76	5.57	4.85	4.35	3.98
	Jinsung winch and Circuit yarder	RS	1,812	2,329	2,750	3,114	3,441	3,738
		RD	7.95	6.18	5.24	4.62	4.18	3.85
Sudong	Logging bogie and Cable crane	RS	2,075	2,640	3,103	3,506	3,867	4,197
		RD	6.60	5.19	4.42	3.91	3.54	3.26
	Logging bogie and Medium yarder	RS	1,694	2,352	2,862	3,295	3,677	4,022
		RD	8.09	5.82	4.79	4.16	3.73	3.41
	Logging bogie and Circuit yarder	RS	1,813	2,439	2,934	3,357	3,733	4,074
		RD	7.56	5.62	4.67	4.08	3.67	3.36

* RS : Road spacing (m), RD : Road density (m/ha)

한 경우에는 지형에 따른 集材機種의 集材費單價 및 最大集材距離가 다르므로 지형이 완만할수록, 林道間隔은 좁게 산출되었다. 즉 兩方向 一段階 集材에서는 임목재적의 순서로 나타났지만, 二段

階集材에서는 組合機種에 의해서 中地形인 군자 단지는 急地形인 지암단지보다, 광판, 수동단지는 가정단지보다 임목재적은 적지만, 林道間隔은 좁게, 林道密度는 높게 산출되었다. 이것은 지형

에 적합한 집재기종 결정의 중요성을 말하는 것이다. 또한 圃地別에서의 각 집재기종별로는 로깅부기 및 진성원치와 조합한 集材機種은 중형집재기, 경운기부착 단선순환 집재기 및 케이블 크레인과의 조합기종의 순서로, 또한 조합기종 중에서도 로깅부기와 조합한 집재기종이 진성원치와 조합한 집재기종보다 林道間隔은 좁게, 林道密度는 높게 나타났으며, 반면에 總收穫費用은 진성원치와의 조합기종이 로깅부기와의 조합기종

보다 낮게 산출되었다. 이것은 조합 집재기종의 집재비단가 및 최대집재거리의 비율이 클수록 林道間隔은 좁게 산출되는 경향을 나타내고 있다.

그러나, 대상임지의 모든 지역을 집재가능한 集材圈域으로 가정하는 集材機種의 林道間隔을 고려할 때, 대상임지에서의 집재는 林道開設費가 km당 천만원인 낮은 단가에서도 모든 임지가 집재권역으로 포함될 수 없는 실정을 보여 주고 있다.

따라서 각 조합기종에 대하여 林木蓄積이 100

Table 5. Optimal road spacing and road density for six mechanized yarding to roadside system by two-stage, two-way, for three assumed stocking levels

Yarding machine	volume (m ³ /ha)		Road cost (10,000,000won/km)					
			1	2	3	4	5	6
Logging bogie and Cable crane	100	RS	1,412	1,530	1,640	1,743	1,841	1,933
		RD	9.70	8.95	8.35	7.86	7.44	7.09
	200	RS	1,349	1,412	1,472	1,530	1,586	1,640
		RD	10.16	9.70	9.31	8.95	8.64	8.35
	300	RS	1,327	1,370	1,412	1,453	1,492	1,530
		RD	10.32	10.00	9.70	9.43	9.18	8.95
Logging bogie and Medium yarder	100	RS	747	952	1,120	1,266	1,397	1,517
		RD	18.34	14.39	12.23	10.82	9.81	9.03
	200	RS	619	747	856	952	1,040	1,120
		RD	22.13	18.34	16.00	14.39	13.17	12.23
	300	RS	571	665	747	821	889	952
		RD	23.99	20.60	18.34	16.69	15.41	14.39
Logging bogie and Circuit yarder	100	RS	986	1,149	1,292	1,421	1,539	1,648
		RD	13.89	11.92	10.60	9.64	8.90	8.31
	200	RS	894	986	1,071	1,149	1,223	1,292
		RD	15.32	13.89	12.79	11.92	11.20	10.60
	300	RS	860	926	986	1,044	1,098	1,149
		RD	15.93	14.79	13.89	13.12	12.48	11.92
Jinsung winch and Cable crane	100	RS	1,650	1,826	1,986	2,135	2,273	2,404
		RD	8.73	7.89	7.25	6.74	6.34	5.99
	200	RS	1,555	1,650	1,740	1,826	1,908	1,986
		RD	9.26	8.73	8.28	7.89	7.55	7.25
	300	RS	1,521	1,587	1,650	1,711	1,769	1,826
		RD	9.47	9.07	8.73	8.42	8.14	7.89
Jinsung winch and Medium yarder	100	RS	936	1,219	1,449	1,646	1,822	1,983
		RD	15.38	11.81	9.94	8.75	7.90	7.26
	200	RS	755	936	1,087	1,219	1,339	1,449
		RD	19.07	15.38	13.25	11.81	10.75	9.94
	300	RS	684	820	936	1,039	1,133	1,219
		RD	21.05	17.56	15.38	13.86	12.71	11.81
Jinsung winch and Circuit yarder	100	RS	1,326	1,539	1,727	1,895	2,050	2,194
		RD	10.86	9.36	8.34	7.60	7.02	6.56
	200	RS	1,205	1,326	1,437	1,539	1,636	1,727
		RD	11.95	10.86	10.02	9.36	8.80	8.34
	300	RS	1,162	1,247	1,326	1,401	1,472	1,539
		RD	12.39	11.55	10.86	10.28	9.78	9.36

* RS : Road spacing (m), RD : Road density (m²/ha)

m³/ha부터 300m³/ha까지, 林道開設費 역시 km 당 천만원에서 6천만원까지로 가정할 때의 適正林道間隔 및 林道密度는 Table 5와 같다.

각 집재기종별로 살펴보면, 대상임지를 대부분 集材圈域으로 포함시킬 수 있는 林道間隔은 로깅부기와 중형집재기기의 조합으로 임목재적 100 m³/ha이며 임도개설비 km당 천만원인 경우로서, 適正林道間隔은 747m, 林道密度는 18.34m/ha, 總收穫費用은 7,274원/m³이며, 임목재적 200m³/ha, 임도개설비 km당 3천만원 이하인 경우의 適正林道間隔은 619m~856m, 林道密度는 16.00m/ha~22.13m/ha이며 총수확비용은 6,257원/m³~8,074원/m³이다. 임목재적 300m³/ha이며 임도개설비 km당 5천만원 이하인 경우, 適正林道間隔은 571m~889m, 林道密度는 15.41m/ha~23.99m/ha이며 총수확비용은 5,837원/m³~8,309원/m³으로 산출되었다. 이것은 로깅부기와 중형집재기를 이용한 兩方向 二段階 集材作業을 실시할 때의 기준치를 나타내고 있는 것이다.

진성원치와 중형집재기와의 組合機種은 임목재적 200m³/ha이며 임도개설비 km당 천만원인 경우, 適正林道間隔은 755m, 林道密度는 19.07m/ha, 總收穫費用은 6,342원/m³이며, 임목재적 300m³/ha, 임도개설비 km당 2천만원 이하인 경우의 適正林道間隔은 684m~820m, 林道密度는 17.56m/ha~21.05m/ha이며 총수확비용은 6,029원/m³~6,615원/m³이다.

또한 로깅부기와 케이블 크레인의 조합은 임목재적 200m³/ha이며 임도개설비 km당 천만원인 경우, 適正林道間隔은 1,349m, 林道密度는 10.16m/ha, 總收穫費用은 10,386원/m³이며, 임목재적 300m³/ha, 임도개설비 km당 2천만원 이하인 경우의 적정임도간격은 1,327m~1,370m, 임도밀도는 10.00m/ha~10.32m/ha이며 총수확비용은 10,227원/m³~10,541원/m³으로 산출되었다.

集材機種의 組合別로는 中地形에서는 로깅부기와 조합한 중형집재기 및 케이블 크레인이 대상임지의 대부분을 集材圈域으로 포함시킬 수 있으며, 急地形에서는 진성원치와 조합한 중형집재기가 가장 적합한 것으로 나타났다. 그 외의 조합기종으로는 總收穫費用을 최소화하는 適正林道間隔 및 林道密度를 산출하였지만, 임도개설비가 km당 천만원인 낮은 단가에도 불구하고 일부분

의 지역만이 집재권역으로 포함시킬 수 있는 것으로 나타났다.

結 論

이상과 같이 江原道 林業振興促進地域을 대상으로 5개의 集材機種을 이용하여 兩方向 一段階 集材 및 二段階 集材를 위한 適正林道間隔 및 林道密度를 산출하였지만, 현재로서는 모든 대상지역을 集材圈域으로는 포함시킬 수는 없는 결과를 얻었다. 그러나, 그 중에서 兩方向 一段階 集材에서는 케이블 크레인이 가장 적당하며, 兩方向 二段階 集材作業은 中地形에서 로깅부기와 중형집재기, 急地形에서 진성원치와 중형집재기가 적합한 것으로 나타났다. 또한 一段階 集材와 二段階 集材에 있어서의 總收穫費用은 집재기종에 따라서 약간의 차이는 있으나, 거의 비슷한 수치를 나타내고 있으므로 대상임지의 集材圈域을 고려한다면 二段階 集材가 바람직 할 것으로 사료된다.

중형집재기, 진성원치 및 단선순환 집재기는 間伐材를 이용한 集材費單價의 산출이며, 로깅부기는 윈칭(winch)거리 만큼 대상으로 하고 실제의 주행거리(500m)는 제외한 점 등에 관하여 좀더 연구검토가 병행되어야 할 것이다.

따라서 금후에는 이와 같은 문제점들을 보완함과 동시에, 經濟性 分析을 통하여 래디 캐리(radi-carry), 수라 등의 다양한 集材機種을 이용하여 山岳地形에 적합한 集材시스템의 확립 및 각 집재기종에 적합한 作業地點의 결정, 林道 및 作業道 등의 構造와 規格 등에 대해서 검토할 예정이다.

引用 文 獻

1. 盧載厚·金在源. 1988. 로깅부기의 使用方法 및 妥當性 研究. 林試研報 36 : 135-144.
2. 盧載厚·金在源·金思日. 1988. 케이블 크레인의 國內適用可能性에 關한 研究. 林試研報 36 : 145-153.
3. 林業試驗場機械化部. 1988. 森林路網 - 코스트다운을 위한 路網과 機械 -. 林業改良普及雙書 99 : 77-116.
4. 林業機械化推進研究會. 1990. 機械化의 비

- ョン - 高性能林業機械と新作業型システムによる林業の變革をめざして - . 全國林業改良協會. 177pp.
5. 南方 康・酒井秀夫・伊臟辛也. 1985. 複合的路網の整備目標. 東大演報 74 : 81-96.
 6. 南方 康. 1991. 機械化・路網・生産システム - 低コスト林業確立のために - . 日本林業調査會 : 79-86.
 7. 朴鍾鳴. 1990. 小型 케이블크레인 K-300을 이용한 集材作業에 관한 研究. 서울大 碩士論文 44p.
 8. 酒井秀夫. 1987. 合理的集運材方式に基づく長期林内路網計劃に關する研究. 東大研報 76 : 1-85.
 9. 酒井秀夫. 1991. 路網計劃とその評價・解析手法. 森林科學 No.33 : 40-44.
 10. 山林廳. 1988. 林業振興促進地域基本計劃. 79pp.
 11. 山林廳. 1990. 間伐材 收穫作業 시스템開發 및 利用度 增進(I). 135pp.
 12. 山林廳. 1992. 間伐材 收穫作業 시스템開發 및 利用度 增進(II). 127pp
 13. 杉山陸志. 1990. 林業機械化の促進について. 林業技術 No.578 : 11-14.
 14. 井上源基. 1989. トラクタ集材路網の配置に關する研究(II) - トラクタ集材のための集材路網計劃法 - . 林試研報 353 : 1-126.
 15. 大河原昭二. 1965. 帶廣營林局管内におけるトラクタ集材距離と作業道密度の合理的關聯性に關する研究(II) - 本計劃法の適用例 - . 日林誌 47(6) : 225-230.
 16. 大川畑修. 1988. 架線集材における路網計劃に關する研究. 東大研報 76 : 1-85.
 17. 車斗松・曹丘鉉・池炳潤. 1993. 機械化 集材作業을 위한 路網整備에 관한 研究(I) - 林地の 分類 - . 江原大 森林科學研報 9 : 57-66.
 18. 上飯坂 實. 1975. 森林利用學序説. 地球社. 234pp.
 19. 小林洋司・仁多見俊夫. 1991. 小規模林業地域における林内路網計劃について. 東大演報 85 : 1-10.
 20. 堀 高夫. 1979. 森林利用學的地形分類に關する研究(豫報). 90回 日林誌 47(10) : 351-352.
 21. Howard, A.F. and J.S. Tanz. 1990. Optimal road spacing for multistage cable yarding operations. Can. J. For. Res. 20 : 669-673.
 22. Kato, Seihei. 1969. Studies on the forest road system - Preliminary report on the road density - . Bull. Tokyo Univ. For. 63 : 214-233.
 23. Matthews, D.M. 1942. Cost control in logging industry. McGraw-Hill, New York. 374p
 24. Trzesniowski, A.. 1982. Cable operations under steep Central European forestry conditions. In : Proceedings on FAO/ILO/IUFRO symposium on the planning and techniques of transport and its relation to operational activities in forestry. Sandefjord, Norway : 137-156.