

最適林道配置計劃에 관한 研究^{1*}

車斗松² · 李峻雨³

Studies on Planning Method of Optimum Forest Road^{1*}

Du Song Cha² and Joon Woo Lee³

要 約

本 研究는 江原大學校 林科大學附屬 演習林의 第2林班을 대상으로 數值地形圖를 이용, 林道開設目的에 따른 4개의 評價因子, 즉 最短林道開設長, 平均集材距離, 開發指數 및 集材不能地點數의 比率 등을 설정하여 각각의 評價因子에 적합한 最適林道路線의 配置計劃에 대하여 검토하였다. 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 最短林道開設長에 의한 路線配置는 總延長 6035.6m, 林道密度 12.73m/ha, 平均集材距離 279.9m, 開發指數 1.43, 集材不能地點數의 比率 15.7%이다.
2. 平均集材距離에 의한 路線配置는 總延長 7828.5m, 林道密度 16.52m/ha, 平均集材距離 198.4m, 開發指數 1.31, 集材不能地點數의 比率 4.0%이다.
3. 開發指數에 의한 林道路線配置는 總延長 7410.6m, 林道密度 15.64m/ha, 平均集材距離 210.9m, 開發指數 1.26, 集材不能地點數의 比率 5.0%이다.
4. 集材不能地點數의 比率에 의한 林道路線配置는 總延長 8307.1m, 林道密度 17.53m/ha, 平均集材距離 184.9m, 開發指數 1.29, 集材不能地點數의 比率 2.5%이다.

ABSTRACT

A planning method of optimum forest road was tested in the compartment II of Kangweon National University Forests by using a digital terrain model under four evaluation factors, i. e., minimum road length, average skidding distance, exploitative index, and ratio of inaccessible points.

The results of the study were as follows :

1. Optimum forest road design based on the minimum road length was shown as 6035.6m, 12.73m/ha, 279.9m, 1.43, and 15.7% for total road length, forest road density, average skidding distance, exploitative index, and ratio of inaccessible points, respectively.
2. Optimum forest road design based on the average skidding distance was shown as 7828.5m, 16.52m/ha, 198.4m, 1.31, and 4.0% for total road length, forest road density, average skidding distance, exploitative index, and ratio of inaccessible points, respectively.

¹ 接受 1992年 3月 13日 Received on March 13, 1992.

² 江原大學校 林科大學 College of Forestry, Kangweon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

³ 서울大學校 山林資源學科 Department of Forest Resources, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

* 이 論文은 1990年度 教育部支援 韓國學術振興財團의 地方大專育成(新進課題) 研究助成費에 의하여 研究되었음.

3. Optimum forest road design based on the exploitative index was shown as 7410.6m, 15.64m/ha, 210.9m, 1.26, and 5.0% for total road length, forest road density, average skidding distance, exploitative index, and ratio of inaccessible points, respectively.
4. Optimum forest road design based on the ratio of inaccessible points was shown as 8307.1m, 17.53 m/ha, 184.9m, 1.29, and 2.5% for total road length, forest road density, average skidding distance, exploitative index, and ratio of inaccessible points, respectively.

Key words : optimum forest road, evaluation factors, digital terrain model, forest road density.

緒 論

林道는 森林의 종합적·합리적인 管理經營 및 伐採·搬出 및 造林·撫育의 作業據點이 되는 生産基盤施設이며 農山村에 대한 交通路로서 農山村지역의 생활환경을 개선시키고 山林休養資源의 開發을 촉진시킴으로써 地域産業의 진흥에도 크게 기여하고 있다. 또한 林道는 山林의 公益的 機能을 고도로 발휘하기 위한 적절한 管理 및 다양한 施業을 실시하는데 필수적인 施設이기도 하다.

이에 山林廳에서는 林業의 여건과 環境변화에 능동적으로 대처하고 林業經營의 활성화를 위하여 林道施設基本計劃을 수립하여 추진중에 있다. 山地資源化政策의 일환으로서의 林道事業은 1991년말 현재 林道密度 0.5m/ha를 1996년까지 林道密度 2.1m/ha로, 더우기 2010년까지는 林道密度를 임업선진국 수준인 10m/ha, 總林道延長 56,000km로 계획하고 있다^{22,23}. 이와 같이 林道에 관한 중요성 및 매년 임도사업에 투자하는 예산도 증가하고 있는 실정하에서 합리적인 林道計劃의 필요성이 더욱 증대되고 있는 것이다.

林道配置에 관한 연구로서 우선 Lünzmann⁵)는 평탄지에 있어서 平均集材距離에 비중에 둔 配置形態에 관한 연구로서 開發指數를 이용하여 林道網을 評價하였고, 神崎⁹)는 그래프이론에 바탕을 둔 林道の 配置手法에 관한 연구를 발표하였으며, 平賀^{6,7})는 林道開發費와 集材費의 합계를 최소로 하는 最適配置를 電算機를 이용하여 결정하는 방법을 제안하였다. 또한 酒井^{19,20,21})은 集材距離와 林道開發長을 母數로 하는 評價式을 이용하여 動的計劃法으로 林道の 最適配置를 결정하였으며, 小林^{11,12,13})은 山岳林의 數值地形圖를 이용하여 費用便益論의 立場으로 부터 林道投資效

果를 최대로 하는 林道路線 配置計劃法을 규명하였고, 車登^{1,2,3})은 임업적인 측면에서의 評價基準을 선정하여 數值地形圖를 이용한 路線配置의 自動化에 관하여, Howard⁸)와 Peters¹⁶)는 總費用을 최소로 하는 多段階 集材作業에 따른 適正林道間隔과 목재수확비용을 최소로 하는 임도 및 집재장간격을 제시하였다. 그리고 木林收穫과 관련된 林道網配置 및 架線集材에 대한 林道網配置手法도 발표되었다^{4,14,15,24,25}). 이와같이 오늘날의 林道路線配置는 電算機를 이용하여 林道開設目的에 따른 評價基準을 선정하여 이에 적합한 最適林道路線을 配置하고 있다^{10,17,18}). 특히 우리나라와 같은 山岳地形의 조건하에서는 林道路線의 選定 및 路線選定時의 評價基準을 어떻게 결정하며 또한 어떠한 방법으로 路線을 配置할 것인가가 중요한 과제로 대두되고 있다.

따라서 本 研究에서는 江原道 洪川郡 北方面에 소재한 江原大學校 林科大學附屬 演習林 第2林班을 대상으로 數值地形圖를 이용, 林業의 측면에서의 4개의 評價因子, 즉 最短林道開設長, 平均集材距離, 開發指數 및 集材不能地點數의 比率 등을 설정하여 Personal Computer를 사용하여, 각각의 評價基準에 適合한 最適林道路線의 配置計劃에 대하여 검토하였다.

最適林道路線의 配置手法

計劃對象區域內에 電算機를 이용한 林道路線配置의 平價因子, 林道路線의 選點 및 配置手法은 다음과 같다.

1. 評價因子의 決定

1) 最短林道開設長에 의한 評價
林道開設長을 最小로 하는 評價式은 (1)式으로

나타내며, 이 式을 最小로 하는 林道路線配置가 最短林道路線이 된다.

$$G = \text{Min.} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 G : 最短林道開設長(m), g_{ij} : 各 地點(i, j)에서 終點까지의 路線長(m)이다.

2) 平均集材距離에 의한 評價

平均集材距離는 林道配置評價法의 하나로서 일반적으로 많이 이용되고 있다^{2,3,11,12,13}. 이것은 林內의 各 地點에서 最短距離에 있는 林道上의 集材地點을 구하여 距離를 計算하므로써 구해진다. 더우기 全 地點에 대하여 最短集材距離를 계산하여 그 平均值를 (2)式에 의하여 산출하고, 이것을 該當路線의 平均集材距離라 한다.

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{ij} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서 L : 平均集材距離(m), D_{ij} : 各 地點(i, j)에서 林道上 集材地點까지의 最短集材距離(m), N : 全 地點의 數이다.

3) 開發指數에 의한 評價

林道網配置의 幾何構造의 良否를 나타내는 指標로서, 評價式은 (3)式과 같다⁵. 이것은 林道網이 理想的으로 配置된 경우의 平均集材距離에 대하여 동일한 林道密度로서 실제적으로 配置된 林道網의 平均集材距離의 비율에 의하여 林道網의 效率性의 정도를 判定하는 質的基準이다.

즉, 量的크기에 質的크기를 곱한 것으로 보다 이상적으로 배치된 경우에는 이 開發指數는 1에 가깝다. 그러나 실제 林道網配置에 따른 開發指數는 대부분 1보다 크다. 따라서 林道路線을 개선하여 가능한 한 1에 가까운 數值로 配置하는 것이 바람직하다.

$$I = dL/2,500 \dots\dots\dots (3)$$

여기에서 I : 開發指數(m^2/ha), d : 林道密度(m/ha), L : 平均集材距離(m)이다.

4) 集材不能地點數의 比率에 의한 評價

對象區域內의 各 地點에서 林道上의 集材地點까지의 距離, 즉 最短集材距離를 구하여, 사용하고자 하는 集材機의 最大集材距離보다 긴 경우에, 이 地點을 集材不能地點이라 정의하며, 全 地點에 대한 集材不能地點數의 比率은 (4)式에 의하여 산출한다^{2,3}.

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}/N \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

여기에서 R : 集材不能地點數의 比率(%), M_{ij} : 各 地點(i, j)에서 林道上 集材地點까지의 集材不能地點, N : 全 地點數이다.

2. 林道路線의 選點手法

Figure 1의 (a)와 같이 (4,5)는 既設林道라 할 때 다음의 計劃林道의 選定은 (4,5)區間을 제외 한, (5,1), (5,2), (5,3), (5,6), (5,7), (5,8), (5,9)區間의 7方向의 全 區間에서 검토되어 진다. 또한 이들 全 區間의 標高差에 의하여 물매를 계산한 다음, 주어진 許容물매내의 全 區間을 選定하여 當該地點에서 延長할 수 있는 開設區間으로서 選點한다. Figure 1의 (b)는 許容물매내에서 선정된 하나의 林道路線의 예를 나타내고 있으며, g_i 는 i번째 區間에 선정된 林道路線을 의미한다.

選點方法의 특징은 林道路線의 始點과 終點間에는 하나의 路線으로 선정되는 것이다. 그리고 分岐하는 경우에는 既設林道上에서 새로운 始點과 終點을 選定하여 林道路線을 配置할 수 있다.

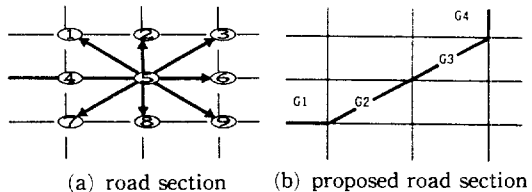


Fig. 1. Model of road section by use of a grid.

3. 林道路線配置의 手法

上記의 評價因子 및 林道路線의 選點手法을 利用하여 電算機에 의한 最適林道路線의 配置手法

은 다음과 같다.

- 1) 縮尺 1/25,000의 對象區域의 地形圖에 實距離 125m의 長方形 格子를 設定하여, 各 地點의 平面位置와 標高에 따라 數值地形圖를 작성한다.
- 2) 林道の 起點, 終點 및 林道路線이 통과할 中間點 등을 설정한다.
- 3) 路線選定上의 評價因子는 平均集材距離, 開發指數, 最短林道開設長 및 集材不能地點數의 比率이다.
- 4) 우선, 起點으로부터 選點을 개시한다.
- 5) 다음에, 通過 가능한 全 區間에 대한 물매를 계산하여, 이것이 許容물매內이면 그 區間에 路線을 延長한다.
- 6) 林道の 中間點 및 終點에의 到達與否를 확인한다.
- 7) 주어진 許容물매내에서 終點까지 도달된 林道路線에 대하여 最短集材距離를 계산하여 平均集材距離, 開發指數, 集材不能地點數의 比率과 最短林道開設長 등을 산출한다.
- 8) 산출된 評價值中에서 各各의 評價基準에 적합한 林道路線을 選定하면, 이것이 가장 適正으

로 配置되어진 最適林道路線이 된다.

이상의 林道配置手法를 Flow chart로 나타내면 Figure 2와 같다.

結果 및 考察

對象地域은 江原道 洪川郡 北方面에 소재한 江原大學校 林科大學附屬 演習林의 第2林班이다. 이 지역은 九節山(750m)과 蓮葉山(850m)을 중심으로 一定流域을 형성하고 있다. 面積은 473.97ha로서 平均傾斜 48.7%, 地形指數 53.2%로서 急地形을 이루고 있으며, 15개의 小班으로 형성되어 있다. 또한 到達林道の 성격에 應 進入路가 第2林班의 境界까지 開設되어 있다.

林道路線은 既設進入路의 560m 標高點을 起點으로 하여 第3林班의 境界(標高 450m)를 終點으로 하는 路線을 配置하였다. 또한 路線配置時에 地形이 급격히 變化되는 곳에 2개의 中間點을 設定하여 林道路線이 반드시 통과되도록 유도하였다. 또한 각 Figure의 굵은 선은 計劃路線이다.

Figure 3은 (1)式을 이용한 最短林道開設長으로서 林道の 始點에서 終點까지 도달하는 配置의 結果를 보여 주고 있다. 이 配置結果를 살펴보면 林道總延長 6,035.6m, 林道密度 12.73/ha, 平均集材距離 279.9m, 開發指數 1.43 및 集材不能地點數의 比率 15.7%로 나타났다. 이 最短林道開設長의 配置結果值를 基準으로 하여 各 評價因子值의 범위를 Table 1에 나타내고 있으며 이 범위내에 속하는 路線중 가장 적합한 값을 나타내는 路線을 最適林道路線으로 선정하였다. 또한 林道路線의 選點條件인 最大許容물매는 最短林道開設長에 의하여 配置된 $\pm 32\%$ 로 設定하였다.

Figure 4는 (2)式을 이용하여 平均集材距離를 계산한 다음, 設定된 平均集材距離의 評價基準值에 適合한 林道路線을 選정한 最適配置의 結果이다. 林道總延長은 7828.5m, 林道密度 16.52m, 平均集材距離는 198.4m이다. Figure 5는 (3)式의 開發指數의 評價因子를 이용, Table 1의 開發指數의 適正值를 나타내는 林道路線의 最適配置이다. 林道總延長 7410.6m, 林道密度 15.64 m/ha, 開發指數는 1.26으로 나타났다. Figure 6은 (4)式의 集材不能地點數의 比率의 評價因子를 사용하여 全 地點에 대한 集材不能地點數의 比率이 가장 낮은 값을 보여 주는 林道路線을 選定한

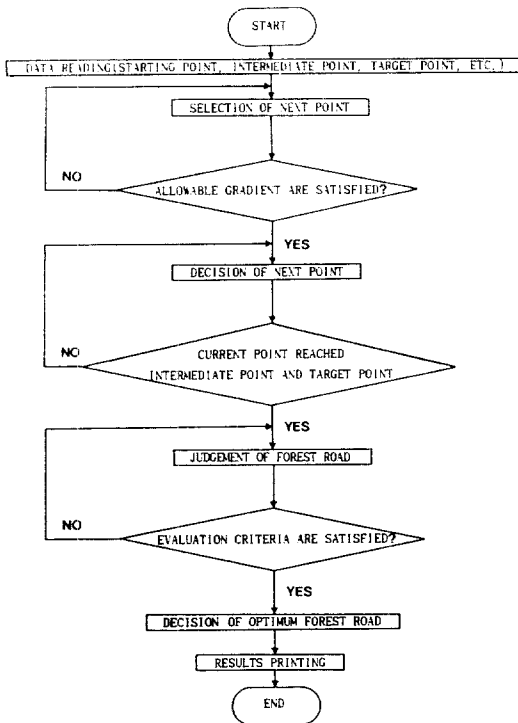


Fig. 2. Flow chart for forest road location with a Personal Computer.

Table 1. The values of evaluation factors for planning of optimum forest road.

Evaluation factors	Values
Average skidding distance(m)	150m-250m
Exploitative index	0.8-1.2
Ratio of inaccessible points(%)	less than 10%

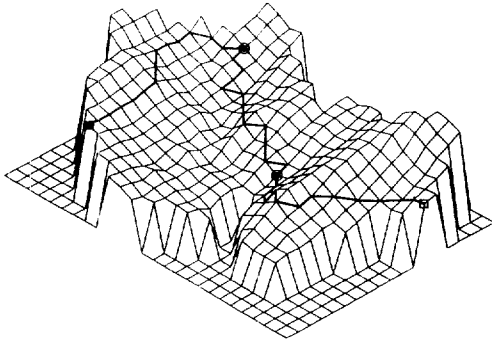


Fig. 3. Location of optimum forest road on the minimum road length. (■ : Starting point, ◎ : Intermediate point, □ : Target point)

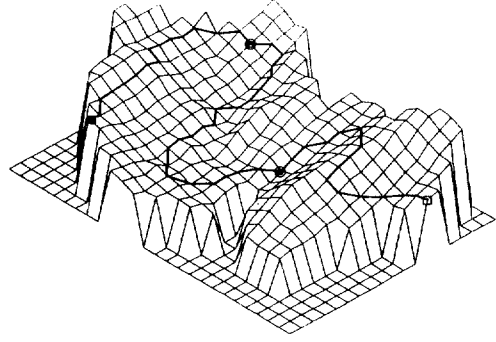


Fig. 5. Location of optimum forest road on the ploitative index. (■ : Starting point, ◎ : Intermediate point, □ : Target point)

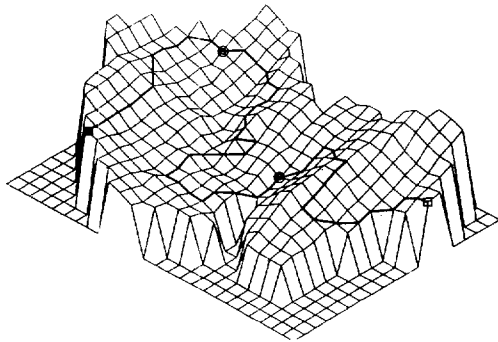


Fig. 4. Location of optimum forest road on the average skidding distance. (■ : Starting point, ◎ : Intermediate point, □ : Target point)

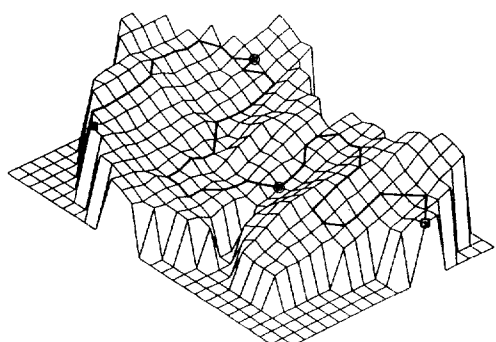


Fig. 6. Location of optimum forest road on the of inaccessible points. (■ : Starting point, ◎ : Intermediate point, □ : Target point)

결과이다. 여기에서 集材不能地點은 트랙터集材를 상정하여 最大集材距離 500m이상의 地點으로 정의하였다. 配置結果는 林道總延長 8307.1m, 林道密度 17.53m/ha, 集材不能地點數의 比率은 2.5%로 나타났다.

이들의 林道總延長, 林道密度 및 各 評價因子值들의 結果를 정리하면 Table 2와 같다.

이상과 같이 4개의 評價因子를 이용한 最適林道路線의 配置結果를 살펴보면 첫번째 中間點까지인 第1區間의 路線配置는 平均集材距離와 最短林道開設長에 의한 路線이 總延長 1957.12m, 林道

密度 4.13m/ha로서 동일한 延長과 동일한 路線配置의 형태로 되어 있음을 보여주고 있다. 그리고 開發指數 및 集材不能地點數의 比率에 의한 路線配置도 林道密度가 각각 4.28m/ha, 3.69m/ha로서 路線配置의 다양한 變化는 보여주지 못하고 있다. 또한 第2區間의 路線配置를 살펴 보면 平均集材距離에 의한 路線配置가 總延長 3362.46m, 林道密度 7.09m/ha으로 路線延長이 가장 길며 다음이 集材不能地點으로서 林道總延長 3008.9m이다. 마지막 區間에서는 集材不能地點의 比率에 의한 路線配置의 林道延長이 가장 길게 配

Table 2. The results for planning of optimum forest road in the compartment II of Kangweon National University Forests.

Evaluation factors	Planning area				
	Total road length(m)	Forest road density (m/ha)	Average skidding distance(m)	Exploitative index (m ² /ha)	Ratio of inaccessible points(%)
Minimum road length	6035.6	12.73	279.9	1.43	15.7
Average skidding distance	7828.5	16.52	198.4	1.31	4.0
Exploitative index	7410.6	15.64	210.9	1.26	5.0
Ratio of inaccessible points	8307.1	17.53	184.9	1.29	2.5

置되었다.

이와같이 각각의 評價因자를 이용한 林道路線의 最適配置는 中間點의 設定 및 許容물매의 조건때문에 路線의 형태는 다양한 변화를 보여 주지 못하고 等高線林道の 형태를 보여주고 있다. 특히 中間點은 路線選定上 반드시 路線이 通過되어야 할 地點을 선정하는 것이 보통이나, 本論文의 경우에는 對象地域이 急地形이고, 또한 探索路線이 幾何級數적으로 증가하기 때문에 Personal Computer의 기억용량으로서는 路網配置가 거의 불가능하므로 이를 해소하기 위하여 설정한 것이다. 또한 本 林道路線配置計劃法의 특징은 評價基準値의 적용범위를 路線配置의 設定目的에 適合하도록 설정할 수 있음과 동시에, 이에 適正한 林道路線도 配置할 수 있다.

따라서 Personal Computer를 이용한 最適林道路線配置의 手法에 있어서는 對象區域을 일정한 流域 및 小面積으로의 효율적인 분할이 고려되어야 하며, 格子를 크게하여 路線配置를 실시한 다음, 다시 格子를 작게 하여 路線配置를 행하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다. 또한 適地適所에 中間點의 設定 및 路線配置를 실시하는 동안 거의 동일한 路線이 配置되는 경우에는 과감히 同一路線을 생략하는 프로그램의 개발과 林業의 인 측면에서 評價因자의 선정 뿐만 아니라 森林의 公益的機能의 발취 및 山地의 毀損을 최소화하기 위한 評價因자를 선정하여 林道路線을 配置計劃하는 연구검토가 병행되어야 할 것이다. 금후 이 문제에 관하여 검토할 예정이다.

引用 文 獻

1. 車斗松, 關屋雄偉. 1987. 林道開設의基礎研究 -開設效果의評價について-. 日林九支研論集 40: 31-32.
2. 車斗松·綿引 青·中尾博美. 1989. 數値地形圖を用いた路線配置の自動化について. 日林九支研論集 42: 227-230.
3. Cha, D.S., H. Nakao, and K. Watahiki. 1991. A computerized arrangement of forest road using a digital terrain model. J. Fac. Agr., Kyushu Univ., 36(1·2): 131-142.
4. FAO. 1977. Planning forest road and harvesting systems. FAO FORESTRY PAPER 2. 148pp.
5. 藤原登譯. 1970. 開發指數, 林道網評價のための指數およびその林道網計劃への適用. 機械化林業 205: 29-39.
6. 平賀昌彦. 1971. 電算手法による林道網計劃法に關する研究(I) 作業道の最適選點と密度決定のひとつ方法. 林試研報 238: 1-30.
7. 平賀昌彦. 1972. 電算手法による林道網計劃法に關する研究(II) 簡単な伐區形狀パターンによる集材作業道網決定のひとつ方法. 林試研報 245: 99-158.
8. Howard, A.F. and J.S. Tanz. 1989. Optimal road spacing multistage cable yarding operations. Can. J. For. Res. 20: 669-673.
9. Kanzaki, K. 1966. A planning of the forest road

- network by the theory of graphs. *J. Jap. For. Soc.* 48(10) : 365-362.
10. Kitakawa, K. 1984. A new logical system for forest road network planning. *IUFRO Proceedings Kyoto* : 353-362.
 11. 小林洋司. 1980. 山岳林における林道網配置計画法に関する研究-投資効果を最大とする配置法-. 91回日林論 : 459-460.
 12. 小林洋司. 1983. 山岳林における林道網計画法に関する研究. 宇都宮大演報 38 : 1-101.
 13. Kobayashi, Y. 1984. Planning of system for road route location in mountainous forests. *J. Jpn. For. Soc.* 66(8) : 313-319.
 14. 南方 康ら. 1985. 複合的路網の整備目標. 東大演報 74 : 81-96.
 15. 大川畑修. 1988. 架線集材における路網計画に関する研究. 林試研報 351 : 1-79.
 16. Peters, P.A. 1978. Spacing of roads and landing to minimize timber harvest cost. *Forest Sci.* 24 : 209-217.
 17. Reutebuch, S.E. 1988. Routes : A computer program for preliminary route location. *USDA For. Serv., Pacific Northwest Res. stn. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-216.* 18pp.
 18. 酒井秀夫. 1987. 合理的 集運材方式に基づく長期林内路網計画に関する研究. 東大演報 76 : 1-85.
 19. 酒井徹朗. 1981. シミュレーションモデルを利用した林道計画に関する研究. 京大演報 53 : 162-171.
 20. 酒井徹朗. 1983. 林道の配置計画について (II) 集材距離・開設長による最適配置. 京大演報 55 : 222-229.
 21. Sakai, T. 1984. Studies on planning method of forest roads networks. *IUFRO Proceedings Kyoto* : 363-370.
 22. 山林廳. 1987. 山林資源化計画(第3次山林基本計画). 10pp.
 23. 山林廳. 1992. 1992年度 主要業務計画. 5pp.
 24. Walker, H.D. and W.H. Lougheed. 1989. Road network designs in wood supply analysis. *Forestry Chronicle* 65(6) : 431-440.
 25. Weintraub, A. and D.I. Davon. 1976. A forest management planning model integrating silvicultural and transportation activities. *Management Sci.* 22 : 1299-1309.