

## 伐採地內 運材路의 土壤物理性 및 植生の 回復過程

- 運材路 開設이후 9년 經過의 經過 -

禹保命<sup>1)</sup> · 金慶勳<sup>1)</sup> · 朴在鉉<sup>2)</sup> · 崔炯太<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>서울大學校 農生大 山林資源學科 · <sup>2)</sup>林業研究院

## Progression of Restoration of Soil Physical Properties and Vegetation in Logging Roads

- In Case of 9 Years Results after Construction of Logging Road -

Woo, Bo-Myeong<sup>1)</sup>, Kim, Kyung-Hoon<sup>1)</sup>, Park, Jae-Hyeon<sup>2)</sup>, Choi, Hyung-Tae<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Forest Resources, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University.,

<sup>2)</sup>Forest Research Institute

### ABSTRACT

To investigate the restoration progression on soil physical properties and vegetation at the surface of logging road affected by timber harvesting operation. This study was carried out at logging roads constructed from 1989 to 1994 in Mt. Baekwoon, Kwangyang, Chollanam-do. Judging from the analysis of soil hardness, there were significant changes in the depth of soil between 5 and 10cm. Soil hardness was recovered from the compacted condition to the natural forest condition after 9 years passed. Soil macroporous ratio (pF2.7) of topsoil was higher than that of deep soil. Soil moisture retention of topsoil was more improved than that of deep soil. From the view of soil bulk density, the necessary time for recovering to the undisturbed condition of forest soil was about 10 years in the logging road left. Soil physical properties such as soil bulk density and porous ratio were recovered as time passed. Improved soil physical properties promoted the plant recovery on the logging road surface. The dominant species on the logging roads were *Cornus kousa*, *Prunus sargentii* as overstory species, *Rubus crataegifolius*, *Lespedeza bicolor* as understory species, and *Saussurea gracilis*, *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum* as herbaceous species. The plant recovery of bank-slopes was faster than that of cut-slopes and road surface. In progress of year, average plant coverage were 70 to 90% in cut- and bank-slopes and 30 to 60% on the logging road surface which was elapsed 9 years after logging road construction. Therefore, additional planting and seeding work could be effective to the soil condition and vegetation restoration.

Key words : logging road, soil physical properties, vegetation restoration

## I. 緒 論

최근 산림경영계획에 의하여 경영의 기반시설인 林道와 산림벌채를 위한 運材路 개설량은 증가하고 있는 실정에 있다. 특히 成熟林木伐採作業을 위해 개설되고 있는 임도와 운재로는 구조적인 문제로 인하여 노면, 절·성토사면의 침식 및 토양의 교란 등의 문제가 나타나고 있으며(Leslie et al., 1971; 權台鎬, 1987), 여름철 집중호우시에는 붕괴의 우려까지 상존하고 있다.

운재로 노면은 운재로 개설작업 및 벌출작업시 기계와 장비 등의 이동과 차량의 통행으로 토양이 경화되며, 이로 인하여 土壤空隙 및 透水性이 감소된다(村井·岩崎, 1975; Johnson, 1978; Paul et al., 1991; 井手, 1992). 또한 벌채작업은 운재로의 노면토양을 교란시키고, 침식을 가속화시키는 등의 영향을 미치고 있다(Froehlich, 1979; Adams, 1981; 中尾, 1983; 李天龍, 1995). 이와 같은 토양의 기계적인 踏壓은 토양의 假密度(bulk density)를 측정하여 분석하면 판단하기 쉽다. 즉, 토양가밀도의 변화를 측정·분석하는 것은 산림토양의 물리적 성질을 파악하는데 크게 기여하며, 산림작업시 지표토양의 훼손 및 硬化로 인하여 발생하는 산림훼손을 판단하는 지표가 된다(Gent et al., 1983; Krag et al., 1986; 朴在鉉, 1995).

답압으로 인하여 증가된 운재로 토양의 가밀도가 교란되지 않은 자연임지상태로 회복되기 위해서는 약 20년 이상이 경과되어야 한다는 연구결과가 있는 반면(Sidle, 1980; Adams, 1981; Froehlich et al., 1985), 백운산 운재로의 경우 토양가밀도의 회복에는 약 10년 정도가 필요하였다(禹保命 등, 1994a). 또한 운재로 노면 토양의 가밀도는 토양표층으로부터 15cm 깊이까지 영향을 받기 쉬우며, Sidle(1980)은 토양교란 후 토양가밀도는 토양깊이 7.5cm에서는 25~45%, 22.5cm에서는 25%가 증가한다고 하였다.

뿐만 아니라 산림벌채작업을 위해서 사용되는 기계장비의 이동에 의해 영향을 받은 토양

에서는 토양의 영향도가 적은 지역의 식생에 비해 생장에 영향을 많이 받는다(Froehlich et al., 1985). 이러한 훼손된 지역에서의 식생회복은 경과년수 및 토양경도 등의 인자에 영향을 받게 되는데(金慶勳, 1994), 임도 및 운재로변에서 침입되는 식생의 초기출현종은 주변식생의 영향을 많이 받는다(全僉雨·吳在萬, 1992; 禹保命 등, 1994b). 특히 연구대상지인 白雲山의 식생상황에 대하여 金甲德 등(1991)은 백운산 벌채적지의 하층식생으로 많이 생육하고 있는 식생은 조릿대(*Sasa borealis*)이며, 목본의 치수로는 비목(*Lindera erythrocarpa*)이 우점종이었다고 보고한 바 있다.

이와 같이 성숙임목수확작업을 위하여 개설되는 임도 및 운재로에서 발생하는 토양교란은 궁극적으로 토양의 물리성을 변화시켜 장래의 식생회복에 매우 밀접한 영향을 미치게 된다. 즉, 최근 강조되는 환경보전문제를 고려해 볼 때 운재로 개설에 따른 토양물리성의 변화 및 회복, 그리고 이와 연계한 식생회복에 관한 기초적이고도 종합적인 연구는 시급한 상황에 있다.

따라서 이 연구는 1989년부터 1994년까지 벌채사업계획에 의하여 서울大學校 農業生命科學大學 附屬 南部演習林(全羅南道 光陽市 소재) 白雲산지구 제26, 27林班에 연차적으로 개설한 운재로를 대상으로 토양물리성의 변화와 자연식생침입에 의한 식생의 회복과정을 조사·분석함으로써 훼손된 생태계의 복원을 위한 계획수립 등에 기여할 수 있는 학문적 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## II. 材料 및 方法

이 연구는 서울대학교 농업생명과학대학 부속 남부연습림 백운산지구 제26, 27임반에 1989년부터 1994년까지 연차적으로 개설한 운재로를 대상으로 하였으며, 1998년 8월에 현지조사를 실시하였다.

현지조사는 1994년도의 1차 조사자료를 바탕으로 연차적으로 개설한 운재로에서 노선길이 20m마다 식생조사구(폭 1m×길이 5m)를

총 18개 설치하였으며, 각 위치별 조사구(1m×1m)는 운재로 절토부와 성토부에 각각 1개소, 운재로 노면에 3개소(측구부, 중앙부, 노면부)씩 소방형구를 설치하였다.

토양의 물리성을 측정하기 위하여 각 조사구에서 운재로 노면 중심부를 기준으로 좌우측의 토양깊이 0~7.5cm, 7.5~15cm에서 각기 3 반복하여 토양채취기를 이용하여 채취하였으며, 채취한 100cc 캔 토양을 건조기에서 105℃로 48시간 건조 후 土壤水分含有率, 土壤採取容積과 乾燥土壤의 비율로 土壤假密度를 구하였다(中野 등, 1995; 藤原 등, 1996).

또한 토양의 保水性을 파악하기 위한 토양의 粗空隙率(pF2.7)을 측정하기 위해 채취한 토양을 토양pF측정기(pF meter)를 이용하여 측정하였다. 아울러 貫入式土壤硬度計(Cone penetrometer)를 이용하여 토양깊이별 土壤硬度를 각기 3반복하여 측정하였으며, 대조구로써 교란되지 않은 자연산림 지역을 임연부에 선정하여 운재로에서 조사한 방법과 동일하게 측정·분석하였다.

식생조사는 운재로 노면, 절·성토부로 연결되는 식생조사구를 대상으로 초본과 목본식생으로 구분하여 각각의 樹高(草高), 樹冠幅(草幅), 個體數, 被覆度 등을 조사하고 重要度, 種多樣度, 優占度 등을 산출하였다(金遵敏, 1986).

### Ⅲ. 結果 및 考察

#### 1. 運材路 路面 土壤의 物理性 變化

연차적으로 개설한 운재로 노면에서 관입식 토양경도계를 이용하여 토양깊이별 토양경도를 측정한 결과는 그림 1에서와 같다.

교란되지 않은 자연임지상태에서의 토양경도는 토양깊이 10cm까지 5mm 이하로 완만하게 증가하였으며, 특히, 인부 및 차량 등의 답압으로 영향을 받기 쉬운 토양깊이 0~7.5cm까지는 토양경도가 3mm 이하로 나타났다. 운재로 개설 후 9년이 경과한 1989년 운재로에서는 자연임지의 토양경도와 비슷한 경향을 나타냈으나, 토양깊이 20cm 이상에서는 토양경도가 약 10~15mm로 높게 나타나 기계적 답압의 영향이 완전하게 회복되지 않은 것으로 나타났다.

또한 1990년과 1991년에 개설된(개설 후 7, 8년 경과) 운재로에서는 절대값은 다르지만 토양깊이 7.6cm 이하에서는 토양경도의 증가 경향이 1992, 1993, 1994년에 개설된 운재로의 토양경도보다 완만한 추세를 나타내어 토양의 상태가 자연임지상태로 점차 회복되어 가는 것으로 나타났다. 그러나 1992년 이후에 개설된 운재로에서는 토양경도가 급격히 상승하는 변곡점이 표층토양으로부터 5~10cm 사이에서 빨리 나타

Soil depth (cm)

Fig. 1. Changes of soil hardness using cone penetrometer on the constructed logging roads.

Table 1. Changes of soil physical properties on the logging roads by year after construction.

| Construction year                      |                | 1989  | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | Natural forest |
|--|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Items                                  | Soil depth(cm) |       |       |       |       |       |       |                |
| Macroporous ratio (pF2.7, %)           | 0~7.5          | 29.0  | 36.6  | 24.4  | 27.6  | 22.0  | 21.0  | 48.4           |
|  | 7.6~15.0       | 21.6  | 30.5  | 23.0  | 25.4  | 20.0  | 18.7  | 38.9           |
| Porous ratio (%)                       | 0~7.5          | 65.7  | 61.6  | 57.0  | 49.8  | 36.3  | 35.9  | 70.3           |
|  | 7.6~15.0       | 64.6  | 57.6  | 51.9  | 46.7  | 34.9  | 30.3  | 68.2           |
| Soil bulk density (g/cm <sup>3</sup> ) | 0~7.5          | 0.909 | 1.017 | 1.139 | 1.330 | 1.688 | 1.698 | 0.788          |
|  | 7.6~15.0       | 0.938 | 1.123 | 1.275 | 1.412 | 1.724 | 1.741 | 0.850          |

나는 경향을 보이고 있다. 이는 트럭 등 집운재 기계에 의해 답압된 토양의 회복이 토양 표층부에 국한되어 있으며, 깊이 10cm 이하에서의 토양경도는 25mm 이상으로, 이 깊이에서의 토양경도가 자연임지 상태로 회복되기 위해서는 상당한 시간이 소요될 것으로 생각된다.

1989년부터 연차적으로 개설된 운재로에서 토양깊이 0~7.5cm, 7.6~15cm에서 토양의 조공극률(pF2.7), 공극률, 토양가밀도를 분석한 결과는 표 1에서와 같다.

토양의 보수성을 나타내며 토양공극이 물을 흡착 유지할 수 있는 힘의 세기를 水柱壓으로 표시한 조공극률(pF2.7)은 값이 높을수록 식생 및 토양의 회복상태가 좋다는 것을 의미한다(李天龍, 1995). 토양의 조공극률은 자연 임지를 포함하여 1989년부터 1994년까지 연차적으로 개설한 운재로 노면에서 깊이 0~7.5cm의 토양이 7.6~15cm 깊이의 토양보다 약 1.4~9.5%가 높았는데, 이는 표층토양이 심층토양보다 토양의 수원함양능력이 높음을 의미한다.

한편 토양 깊이에 따른 공극률도 자연임지를 포함하여 1989년부터 1994년까지 연차적으로 개설한 운재로에서 깊이 0~7.5cm의 토양이 7.6~15cm 깊이의 토양보다 약 1.1~5.6%가 높아 토양깊이에 따른 토양의 조공극률의 대소 경향과 같은 결과를 나타내었다. 한편 자연임지에서 표층토양(0~7.5cm)과 심층토양(7.6~15cm)의 조공극률은 각각 48.4%, 38.9%로 유네스코 생태계보전지역인 경기도 광릉지역에서의 토양깊이에 따른 조공극률과 유사한 값을 나타

내었다(林業研究院, 1995).

그러나 1989년부터 연차적으로 개설된 운재로 중 1994년 개설 운재로의 조공극률 및 공극률은 가장 낮은 값을 나타내 토양의 답압으로 인한 경화가 운재로 개설 연도와 밀접한 관계가 있음을 나타내었다. 즉, 1989년과 1990년에 개설된 운재로에서 표층토양(0~7.5cm)의 조공극률은 각각 29.0%, 36.6%로 다른 운재로에 비해 토양의 보수성이 가장 많이 회복된 것으로 나타났다. 이는 성숙임목의 벌채를 위한 운재로 이용시 표토층의 유실, 공극의 충전, 토양소동물 및 미생물의 감소 등으로 토양의 물리성이 악화되었던(林業研究院, 1997) 상태가 시간이 경과함에 따라 자연임지상태로 회복되어진다는 것을 의미하는 것이다.

일반적으로 답압된 상태의 토양에서는 상대적으로 공극률이 감소하게 되는데(吳求均·禹保命, 1992), 1994년에 개설한 운재로에서 토양깊이 0~7.5cm, 7.6~15cm의 공극률은 각각 35.9%, 30.3%로 나타나 1989년부터 1994년까지 연차적으로 개설한 운재로 가운데 가장 낮은 값이었으나, 1989년에 개설한 운재로의 토양깊이(0~7.5cm, 7.6~15cm)별 공극률은 각각 65.7%, 64.6%로 자연임지의 공극률에 가까워지는 것으로 나타났다. 이는 운재로 개설 후 연도가 오래될수록 토양의 공극률은 자연임지상태로 회복되는 것을 의미하는 것이다.

교란되지 않은 자연임지에서 토양깊이를 0~7.5cm, 7.6~15cm로 구분하여 측정된 토양가밀도의 값은 각각 0.788g/cm<sup>3</sup>, 0.850g/cm<sup>3</sup> 이었다.

반면, 운재로 개설 후 9년이 경과한 1989년 개설 운재로의 토양깊이별 가밀도는 1989년부터 1994년까지 개설한 운재로에서 측정된 값보다 낮았다. 즉, 운재로가 개설된 후 경과년수가 오래될수록 토양가밀도는 점차로 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 백운산 벌채지에 개설한 운재로는 개설 후 벌채작업이 종료됨과 동시에 사용할 수 없도록 폐쇄되었으므로 이때부터 토양은 자연적으로 벌채전의 자연임지상태로 회복되었기 때문이다.

이와 같이 연차적으로 개설된 운재로 토양의 깊이별(0~7.5cm, 7.6~15cm) 회복정도를 회귀분석한 결과 다음과 같은 직선회귀식을 얻었다.

$$Y_1 = 2.4388 - 0.1757 \cdot X \quad (R^2 = 0.9746) \dots\dots(1)$$

$$Y_2 = 2.4747 - 0.1701 \cdot X \quad (R^2 = 0.9857) \dots\dots(2)$$

- X : 경과년수
- Y<sub>1</sub> : 토양깊이 0~7.5cm의 가밀도
- Y<sub>2</sub> : 토양깊이 7.6~15cm의 가밀도

상기의 식에서와 같이 운재로 개설 후 사용이 완료되어 인위적인 이용이 없는 상태에서 답압되어 경화된 운재로 노면의 토양깊이 0~7.5cm에서는 매년 약 10.1%씩 회복되어가고 있었으며, 벌채 전의 자연임지 상태로 회복되기 위해서는 약 17.7년이 경과되어야 하는 것으로 추정되었다. 또한 토양깊이 7.6~15cm에서는 매년 9.5%씩 회복되며 토양의 가밀도가 자연임지상태로 회복되기 위하여는 총 9.5년이

경과되어야 하는 것으로 추정되었다. 즉, 토양 깊이에 따른 가밀도의 회복은 토양깊이별 차이가 크게 나타나지 않았는데, 이는 벌채지에서의 운재작업은 트럭 등의 장비와 인력에 의해서 이루어졌기 때문에 토양의 경화가 토양 깊이가 15cm까지 영향을 미친 데 기인한 결과라 생각된다.

이와 같은 결과는 트랙터 등 중장비를 이용하여 집재한 운재로를 교란되지 않은 자연상태로 회복시키기 위해서는 자연상태에서 약 23년이 경과되어야 한다는 연구결과(Froehlich et al., 1985)보다는 짧은 기간이었다.

각 인자들의 상관분석결과 경과년수가 증가할수록 토양가밀도(이하 상관계수 : -0.9770)는 감소하고 있으며, 조공극률(pF2.7 : 0.6227)과 공극률(0.9777)은 회복되어가는 것으로 나타났다. 또한 토양가밀도가 증가할수록 조공극률과 공극률은 감소하는 경향을 나타내고 있는데, 기계력에 의하여 답압된 토양에서는 토양의 경화로 인하여 토양의 조공극률과 공극률이 낮아짐을 의미하는 것이다.

또한 토양물리성 인자와 식생회복과의 관계에서는 경과년수에 따라서 토양의 물리성이 개선되며, 이에 따라서 식생피복도(0.4948)는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 시간의 경과에 따라서 식생의 종다양도지수(0.7708)와 균재도(0.7086)도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 시간의 경과에 따라서 식생의 구성상태가 다양한 종으로 회복되는데 기인한 결과 때문으로 판단된다.

**Table 2.** Correlation matrix between soil physical properties and plant indices.

| Factors           | Elapsed year | Soil bulk density | Macroporous ratio | Porous ratio | Plant coverage | Species diversity | Evenness index |
|-------------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------|----------------|-------------------|----------------|
| Elapsed year      | 1.0000       |                   |                   |              |                |                   |                |
| Soil bulk density | -0.9770**    | 1.0000            |                   |              |                |                   |                |
| Macroporous ratio | 0.6227*      | -0.6645*          | 1.0000            |              |                |                   |                |
| Porous ratio      | 0.9777**     | -0.9964**         | 0.6726*           | 1.0000       |                |                   |                |
| Plant coverage    | 0.4948*      | -0.5267*          | 0.3074            | 0.5463*      | 1.0000         |                   |                |
| Species diversity | 0.7708**     | -0.8252**         | 0.3710            | 0.7988**     | 0.1730         | 1.0000            |                |
| Evenness index    | 0.7086**     | -0.7561**         | 0.3384            | 0.7219**     | 0.0452         | -0.9640**         | 1.0000         |

Note : \* means statistically significant at 5% level and \*\* means statistically significant at 1 % level

Table 3. Importance value of species emerged on the logging roads.

| Korean name        | Scientific name                                      | Construction year | 1989  | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  |
|--------------------|--|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Woody species      |  |                   |       |       |       |       |       |       |
| 고광나무               | <i>Philadelphus schrenckii</i>                       |                   |       | 5.01  | 1.30  | 2.63  | 5.72  | 5.15  |
| 국수나무               | <i>Stephanandra incisa</i>                           |                   |       | 4.30  | 1.77  | 11.36 |       | 2.78  |
| 누리장나무              | <i>Clerodendron trichotomum</i>                      |                   | 1.29  |       |       |       | 0.95  | 1.27  |
| 다래                 | <i>Actinidia arguta</i>                              |                   |       |       | 1.39  | 3.37  | 1.46  | 1.72  |
| 단풍나무               | <i>Acer palmatum</i>                                 |                   | 0.66  | 2.61  |       |       |       |       |
| 두릅나무               | <i>Aralia elata</i>                                  |                   | 1.09  |       |       |       |       | 3.94  |
| 매죽나무               | <i>Styrax japonica</i>                               |                   |       |       |       |       | 1.46  | 6.38  |
| 말발도리               | <i>Deutzia parviflora</i>                            |                   |       |       | 1.30  |       |       |       |
| 물푸레나무              | <i>Fraxinus rhynchophylla</i>                        |                   |       | 1.27  | 1.30  |       |       |       |
| 붉나무                | <i>Rhus chinensis</i>                                |                   |       | 6.28  |       | 0.96  | 3.57  | 4.45  |
| 비목나무               | <i>Lindera erythrocarpa</i>                          |                   | 1.30  |       | 5.52  | 2.63  | 3.54  | 1.11  |
| 산딸기                | <i>Rubus crataegifolius</i>                          |                   | 5.87  | 5.30  | 5.16  | 9.13  | 6.90  | 8.16  |
| 산딸나무               | <i>Cornus kousa</i>                                  |                   | 3.06  | 3.06  | 4.70  | 1.40  | 1.38  | 2.73  |
| 산벚나무               | <i>Prunus sargentii</i>                              |                   | 1.76  | 10.32 | 7.95  | 4.63  | 1.20  | 1.36  |
| 산수국                | <i>Hydrangea serrata</i> for. <i>acuminata</i>       |                   |       | 1.36  |       |       | 1.56  |       |
| 산초나무               | <i>Zanthoxylu schinifolium</i>                       |                   |       | 1.93  | 2.72  |       | 3.85  | 1.72  |
| 싸리                 | <i>Lespedeza bicolor</i>                             |                   | 3.30  | 5.21  | 9.75  | 2.46  | 2.04  | 3.89  |
| 오리나무               | <i>Alnus japonica</i>                                |                   |       |       |       |       | 7.27  | 2.38  |
| 울나무                | <i>Rhus verniciflua</i>                              |                   |       | 1.77  |       |       |       |       |
| 자귀나무               | <i>Albizia julibrissin</i>                           |                   |       |       |       |       | 1.09  | 1.00  |
| 잣나무                | <i>Pinus koraiensis</i>                              |                   | 1.29  |       | 1.30  | 6.08  | 1.86  | 1.11  |
| 조록싸리               | <i>Lespedeza maximowiczii</i>                        |                   |       | 4.38  | 1.10  | 3.88  |       | 2.73  |
| 조릿대                | <i>Sasa borealis</i>                                 |                   |       | 7.27  | 12.36 |       | 7.79  |       |
| 졸참나무               | <i>Quercus serrata</i>                               |                   |       | 1.48  |       | 1.87  |       | 0.91  |
| 철쭉나무               | <i>Rhododendron schlippenbachii</i>                  |                   | 1.29  |       |       |       |       |       |
| 층층나무               | <i>Cornus controversa</i>                            |                   |       | 1.23  |       |       |       |       |
| 취팔배나무              | <i>Pueraria thunbergiana</i>                         |                   |       | 2.84  | 0.79  |       |       |       |
| 팔배나무               | <i>Sorbus alnifolia</i>                              |                   | 1.29  |       |       |       |       |       |
| Herbaceous species |  |                   |       |       |       |       |       |       |
| 강아지풀               | <i>Setaria viridis</i>                               |                   | 1.57  |       |       |       |       |       |
| 거북꼬리               | <i>Boehmeria tricuspis</i>                           |                   | 0.69  |       |       |       |       |       |
| 고사리                | <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>   |                   | 3.87  |       | 2.07  |       | 4.75  | 5.91  |
| 구절초                | <i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i> |                   |       |       |       | 0.84  |       |       |
| 김의털                | <i>Festuca ovina</i>                                 |                   | 2.20  |       |       |       | 1.81  | 4.42  |
| 꽃향유                | <i>Elsholtzia splendens</i>                          |                   | 3.47  | 3.96  |       |       | 1.27  |       |
| 노랑물봉선화             | <i>Impatiens noli-tangere</i>                        |                   | 0.95  | 4.55  |       | 0.95  |       |       |
| 노루오줌               | <i>Astilbe chinensis</i> var. <i>davidii</i>         |                   |       | 1.71  |       |       |       |       |
| 노랑의자물              | <i>Commelina communis</i>                            |                   | 4.34  |       |       |       |       |       |
| 대나물                | <i>Gypsophila oldhamiana</i>                         |                   | 0.99  | 1.11  |       | 0.82  |       |       |
| 더덕                 | <i>Codonopsis lanceolata</i>                         |                   |       |       |       | 1.08  |       |       |
| 도깨비바늘              | <i>Bidens bipinnata</i>                              |                   | 3.09  |       |       | 9.19  |       |       |
| 마타리                | <i>Patrinia scabiosaefolia</i>                       |                   |       | 1.56  |       |       |       |       |
| 망초                 | <i>Erigeron canadensis</i>                           |                   | 0.74  |       |       | 0.82  |       |       |
| 매듭풀                | <i>Kummerowia striata</i>                            |                   | 0.66  |       |       |       |       |       |
| 멀기                 | <i>Adenocaulon himalaicum</i>                        |                   | 2.81  | 1.71  |       |       |       |       |
| 모시풀                | <i>Pilea mongolica</i>                               |                   | 2.06  | 5.29  | 15.24 | 2.29  | 7.03  | 8.60  |
| 도물레                | <i>Hypericum ascyron</i>                             |                   | 0.72  |       |       |       |       | 0.01  |
| 물레봉선               | <i>Impatiens textori</i>                             |                   | 3.23  | 3.02  | 1.98  | 11.64 | 4.39  | 3.17  |
| 바디나물               | <i>Angelica decursiva</i>                            |                   |       |       |       | 1.89  |       |       |
| 새새                 | <i>Arundinella hirta</i>                             |                   | 3.79  |       | 1.48  |       |       |       |
| 새팔                 | <i>Phaseolus nipponensis</i>                         |                   | 1.05  |       |       |       |       |       |
| 숙                  | <i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>     |                   |       | 10.51 | 1.13  | 3.85  | 3.11  | 6.23  |
| 알며느리밥풀             | <i>Melampyrum roseum</i> var. <i>ovalifolium</i>     |                   |       |       |       |       |       | 2.21  |
| 여뀌                 | <i>Persicaria hydropiper</i>                         |                   | 8.58  |       |       |       |       |       |
| 여뀌                 | <i>Thalictrum actaeifolium</i>                       |                   |       |       | 1.48  |       |       |       |
| 연꽃                 | <i>Saussurea gracilis</i>                            |                   | 6.16  | 3.08  | 5.02  | 10.40 | 4.56  |       |
| 연꽃                 | <i>Oplismenus undulatifolius</i>                     |                   | 11.66 |       |       | 5.54  | 14.03 | 16.02 |
| 진경이                | <i>Plantago asiatica</i>                             |                   | 0.96  |       |       | 3.47  |       |       |
| 진경이                | <i>Angelica gigas</i>                                |                   |       | 3.34  |       |       |       |       |
| 진경이                | <i>Miscanthus sinensis</i>                           |                   | 2.01  |       |       | 2.63  | 2.55  | 1.27  |
| 진경이                | <i>Pseudostellaria palibiniana</i>                   |                   | 1.94  |       | 2.09  |       |       |       |
| 진경이                | <i>Lysimachia clethroides</i>                        |                   | 5.31  |       |       | 3.79  | 1.27  | 2.15  |
| 진경이                | <i>Cardamine flexuosa</i>                            |                   | 0.66  | 1.11  |       |       |       |       |

## 2. 運材路 路面과 切 · 盛土斜面の 植生回復

운재로에서 조사된 각 식생의 중요도를 산출한 결과는 표 3에서와 같다. 출현종은 목본 28, 초본 34종으로 식생상은 매우 다양하였으며, 禹保命 등(1994a)이 조사한 1994년의 연구 결과보다 더 다양한 식생이 자연적으로 침입하여 생육하고 있는 것으로 나타났다.

조사대상지의 상층식생으로는 산딸나무, 산벚나무 등의 중요도가 높았으며, 관목류로는 산딸기, 싸리, 국수나무 등이 많이 출현하였다. 조사지역의 하층식생을 구성하고 있는 조릿대의 경우에는 지역적인 특성상 일부 구간에 집중되어 출현하였는데, 이들 목본 수종은 대부분 상층식생의 낙하종자에 의하여 발아한 것이며, 나지가 노출된 상태인 운재로에서는 초기 침입종인 산딸기, 국수나무, 싸리나무 등의

관목류가 우점하고 있는 것으로 나타났다. 1994년 조사에서는 교목들의 치수가 많이 출현하였지만 1998년 조사에서는 일부 관목들이 교목의 치수를 피압하고 상대적으로 우점하고 있는 것으로 나타났다(禹保命 등, 1994b).

초본의 경우 주로 길가나 산야에 많이 생육하고 있는 모시물통이, 큰까치수영 등의 생육이 왕성하였으며, 도로개설지 등에 초기에 침입하는 큰까치수영 등의 우점도가 높았다. 특히 1994년 조사에서는 초기 침입종인 새류 등 벼과의 우점도가 높았으나, 1998년 조사에서는 은분취, 고사리 등의 생육이 증가된 것으로 나타났다. 이는 운재로 폐쇄 후 노출된 입지에 주변의 상층식생에서 유입된 목본치수와 초기 침입초종들의 우점상태에서 백운산의 대표적인 하층식생을 이루는 종으로 천이되어 가기 때문

Table 4. Changes of species diversity indices on the logging roads by year after construction.

| Indices                          | Construction year |        |        |        |        |        |
|----------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                  | 1989              | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   |
| Species diversity(H')            | 1.1985            | 1.2343 | 1.0939 | 1.0952 | 1.0729 | 0.9717 |
| Maximum species diversity(H'max) | 1.5682            | 1.4314 | 1.3802 | 1.4150 | 1.4472 | 1.4150 |
| Evenness(J')                     | 0.7643            | 0.8623 | 0.7925 | 0.7740 | 0.7414 | 0.6867 |
| Dominance(D')                    | 0.2357            | 0.1377 | 0.2073 | 0.2260 | 0.2586 | 0.3133 |

Each part of logging roads

Fig. 2. Changes of plant coverage(%) of each part of logging the logging roads.

이라 생각된다(Leak, 1992; 禹保命 등, 1994b).

연차적으로 개설된 운재로 노면에서의 종다양도지수를 분석한 결과는 표 4에서와 같다.

운재로 폐쇄 후 시간이 경과할수록 종다양도는 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 우점도는 1994년에 조사한 결과치 0.3133에서 1998년에 조사한 결과치 0.2357로 감소한 것으로 나타났는데, 이는 운재로 폐쇄 후 초기에는 몇몇 종들에 의해 우점되지만, 시간이 경과할수록 식생상은 다양해지는데 기인한 결과 때문이라 생각된다.

운재로의 위치를 각각 5구간으로 구분하여 식생피복도를 분석한 결과는 그림 2에서와 같으며, 운재로의 식생회복은 주로 주변의 낙하종자에 의한 발아, 절·성토부 인접식생의 침입에 의하여 이루어지는 것으로 판단된다.

1991년에 개설된 운재로에서는 절·성토사면의 높이가 낮고 길이가 짧아 주변 산림지역에서 침입한 식생에 의해 거의 피복·녹화가 되었다. 그러나 운재로 노면에서는 목본, 초본의 유묘가 생육하고 있을 뿐 완전히 피복·녹화되지는 않았다.

식생피복도는 성토부가 절토부보다 상대적으로 높은 것으로 보아 식생피복으로 인한 안정녹화는 절토부보다 성토부에서 먼저 진행되는 것으로 판단된다. 또한 노면에서의 식생피복도는 절·성토사면보다 매우 낮은 값을 나타내었는데, 이는 운재작업으로 인한 답압으로 토양이 경화된 데 기인한 결과라 생각된다. 즉, 운재로 폐쇄 후 약 9년이 경과된 1989년 개설 운재로의 식생피복도는 절·성토사면의 경우 약 70~90%, 노면의 경우 약 30~60%로 나타나 운재로를 폐쇄 후 노면을 조기에 피복·녹화시키기 위해서는 풀씨 등의 파종, 주변의 자연식생과 조화되는 묘목의 조립 등 인위적인 피복·녹화가 필요하다고 생각된다.

#### IV. 結 論

이 연구는 1989년부터 1994년까지 벌채사업 계획에 의하여 서울대학교 농업생명과학대학

부속 남부연습림(전라남도 광양군 소재) 白雲山지구 제 26임반, 27임반에 연차적으로 개설된 운재로를 대상으로 토양물리성 및 식생의 회복과정을 조사·분석한 것으로 그 결과는 다음과 같다.

1. 운재로 노면의 토양깊이별 토양경도는 토양 표층부 5~10cm 사이에서 뚜렷한 변화를 나타내었으며, 운재로 개설 후 9년이 경과한 시점에서는 자연임지의 토양경도와 유사한 상태로 회복되었다. 토양의 조공극률은 자연 임지를 포함하여 1989년부터 1994년까지 연차적으로 개설한 운재로 노면토양의 깊이 0~7.5cm가 7.6~15cm 토양보다 약 1.4~9.5%가 높게 나타나 표층토양이 심층토양보다 토양의 수원함양능력의 회복이 빨랐다.
2. 운재로 노면의 토양가밀도는 운재로 개설 후 자연임지상태로 회복되는데 약 10년이 소요되는 것으로 추정되었으며, 토양표층부(0~7.5cm)와 심층부(7.6~15cm)에서 회복양상은 큰 차이를 나타내지 않았다. 또한 운재로 개설 후 경과년수가 길수록 토양가밀도, 조공극률, 공극률 등 토양의 물리성은 빠르게 회복되는 것으로 나타났으며, 이들 토양인자의 개선과 함께 연차적으로 식생이 회복되는 것으로 나타났다.
3. 운재로상에는 산딸나무, 산벗나무 등의 교목류와 산딸기, 싸리 등의 관목류가 우점하였으며, 초본으로는 은분취, 고사리 등의 생육이 증가하였다. 또한 운재로상에서의 식생의 회복은 노면이나 절토부보다 성토부에서 빠르게 진행되는 것으로 나타났다.
4. 운재로 폐쇄 후 약 9년이 경과된 1989년 개설 운재로의 식생피복도는 절·성토사면의 경우 약 70~90%이었으나, 노면의 경우 약 30~60%에 불과해 운재로 폐쇄 후 노면을 조기에 피복·녹화시키기 위해서는 경운을 비롯한 풀씨 등의 파종, 주변의 자연식생과 조화되는 묘목의 조립 등 인위적인 피복·녹화가 필요하다고 생각된다.

## V. 引用 文 獻

- 權台鎬. 1987. 道路構造 및 立地要因이 林道の 路面浸蝕에 미치는 影響에 關한 研究. 서울大學校 博士學位論文. 39pp.
- 金甲德 · 金泰旭 · 金俊選. 1991. 全南 白雲山 伐採地域의 森林生態系 遷移에 關한 研究(I) - 全南 白雲山 北斜面 天然林의 個體群分布 및 群集의 遷移 -. 서울大學校 演習林報告 27 : 54-64.
- 金慶勳. 1994. 林道 切土비탈의 植生造成에 미치는 環境因子의 影響에 關한 研究. 서울大學校 碩士學位論文. 51pp.
- 金遵敏. 1986. 最新 植物生態學. 日新社. 408pp.
- 朴在鉉. 1995. 白雲山 成熟闊葉樹林 皆伐收穫 地에서 伐出直後의 環境變化와 運材路 浸蝕에 關한 研究. 서울大學校 博士學位 論文. 137pp.
- 吳求均 · 禹保命. 1992. 踏壓으로 毀損된 林間 裸地의 林床植生復元에 關한 研究(I) - 林床植生復元에 미치는 播種, 施肥 및 表土處理效果 -. 韓國林學會誌 81(1) : 53-65.
- 禹保命 · 朴在鉉 · 金慶勳. 1994a. 伐採跡地 運材路의 土壤假密度 變化와 自然植生回復에 關한 研究. 韓國林學會誌 83(4) : 545-555.
- 禹保命 · 吳求均 · 金慶勳 · 朴鍾英 · 朴貞昊. 1994b. 白雲山 演習林內 伐採地域의 植生遷移에 關한 研究(I). 서울大學校 演習林研究報告 30 : 15-25.
- 李天龍. 1995. 山林環境土壤學. 晉成文化社. 45-88pp.
- 林業研究院. 1995. 水源涵養機能增進을 위한 施業技術 開發. 林業研究報告書(4-I) : 294-299.
- 林業研究院. 1997. 제2차년도 高城 산불지역 생태조사 결과보고서. 林業研究院. 47-59pp.
- 全僅雨 · 吳在萬. 1992. 林道斜面의 土砂流出과 植生侵入에 關한 研究(I). 江原大學校 演習林報告 12 : 39-58.
- 藤原俊六郎 · 安西徹郎 · 加藤哲郎. 1996. 土壤 診斷の方法と活用. 281pp.
- 井手久登. 1992. 環境に調和した道路. 造園雜誌 55(4) : 342-343.
- 中尾博美. 1983. 作業道の路面寢食について. 第94回日本林學會大會發表論文集 : 705-706.
- 中野政詩 · 宮崎 毅 · 塩澤 昌 · 西村 拓. 1995. 土壤物理環境測定法. 東京大學出版會. 246pp.
- 村井 宏 · 岩崎勇作. 1975. 林地の水および土壤 保全機能に關する研究(第1報)-地床かく亂が土地表流下, 浸透および浸蝕に及ぼす 影響と林地の保全策-. 林試研報 274 : 1-23.
- Adams, P. W. 1981. Compaction of forest soils : a pacific northwest extension publication. Oregon. USDA Forest Service. PNW-217.
- Froehlich, H. A. 1979. Soil compaction from logging equipment : Effects on growth of young ponderosa pine. Journal of Soil and Water Conservation 34(4) : 276-278.
- Froehlich, H. A., D. W. R. Miles and R. W. Robbins. 1985. Soil bulk density recovery on compacted skid trails central Idaho. Soil Science Society American Journal 49 (4) : 1016-1017.
- Gent, J. R., R. Ballard and A. E. Hassan. 1983. The impact of harvesting and site preparation on physical properties of lower coastal plain soils. Soil Science Society of American Journal 47 : 595-598.
- Johnson, M. G. 1978. Infiltration capacities and surface erodibility associated with forest harvesting activities in the Oregon cascades M.S. thesis, Oregon State Univ., Corvallis. 172pp.
- Krag, P., K. Higginbotham and R. Rothwell. 1986. Logging and soil disturbance in south-east British Columbia. Canadian Journal of Forestry Research 16 : 1345-1354.
- Leak, W. B. 1992. Vegetative change as an index

- of forest environmental impact. *Journal of Forestry* 90(9) : 32-35.
- Leslie A., D. S. Lacate and R. P. Willington. 1971. The impact of forest roads on the environment. University of British Columbia : 16-22.
- Paul, W. A., A. L. Flint and R. L. Fredriksen 1991. Long-term patterns in soil moisture and revegetation after a clearcut of a Douglas-fir forest in Oregon. *Forest Ecology and Management* 41 : 249-263.
- Sidele, R. C. 1980. Impacts of forest practices on surface erosion. A pacific northwest extension publication, Oregon. USDA Forest Service. PNW 195 : 1-5.

接受 1998年 9月 29日