

## 車輦의 走行速度에 關係하는 林道の 構造 改善<sup>1\*</sup>

李 峻 雨<sup>2</sup>

## Improvement of Forest Road Construction Related to the Running Speed of Cargo Truck<sup>1\*</sup>

Joon Woo Lee<sup>2</sup>

### 要 約

본 연구는 임도의 노선 선형이 차량의 주행속도에 미치는 영향을 규명하고, 임도의 구조를 개선할 수 있는 개선책을 제시하고자 하였다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 본 연구는 기존의 임도 설계서 및 설계도면을 검토하여 연구 목적에 부합하는 임도를 선정하고, 연구대상 임도에 대해 종단물매, 노폭, 곡선반지름, 곡선길이, 곡선부의 편구배 등 노선선형 인자와 노면의 상태 등을 측정하였다. 선택된 실험차량을 이용하여 주행실험을 한 결과, 차량의 주행속도에 크게 영향을 미치는 인자는 노면의 상태, 곡선반지름, 하성물매, 곡선길이, 종단물매인 것으로 나타났다.

또한, 실험차량의 주행속도는 임도시설규정에서 제시된 설계속도에 비해 낮은 값을 나타내었으며, 적재시(적차)의 주행속도는 비적재시(공차)에 비해 70-85%의 값을 보였다. 그리고 노면의 상태에 따라 곡선반지름과 종단물매의 증가에 따른 주행속도의 변화를 식으로 나타낼 수 있었다.

이러한 연구의 결과는 기존의 임도 뿐만 아니라 향후 개설될 임도의 질을 판단하고, 임도에서의 주행속도를 개선시킬 수 있는 임도 구조의 선택을 가능하게 할 것으로 생각된다.

### ABSTRACT

This study was aimed at predicting running speed related to alignment factors of forest road, and recommending the improvement method of forest road construction using the running speed of vehicles. For these purposes, this study proceeds to select forest roads after reviewing the planning papers and maps, to measure the road alignment factors such as longitudinal gradient, width of roadway, radius of curve, length of curve, superelevation, and conditions of road surface on the subject forest road.

It was found that the running speed of vehicle on forest road is mainly influenced by the conditions of road surface, radius of curve, compound gradient, length of curve, longitudinal gradient and so on. The average running speed of cargo truck showed lower value than that of the expected speed of 'Forest Road Construction Regulations and Rules', and the average running speed of loaded truck showed 70-85% of the speed of empty truck.

According to the road conditions, the changes of running speed can be expressed mathematically in terms of the increment of radius of curve and longitudinal gradient. The results of the study on the running speed of vehicle subject to the alignment of forest roads make it possible for one to judge the quality of the existing and to be constructed forest roads, to select the structure of forest road to improve the running speed of vehicle on forest road.

*Key Words* : Forest road, running speed, cargo truck, radius of curve, longitudinal gradient

<sup>1</sup> 接受 1996年 5月 7日 Received on May 7, 1996

<sup>2</sup> 忠南大學校 山林資源學科 Dept. of Forest Resources, Chungnam Nat'l Univ. Taejon, Korea

\* 본 논문은 1995년도 한국과학재단의 핵심전문연구비(과제번호 : 951-0608-061-1)의 지원으로 수행되었음.

## 緒 論

임도(林道, forest road)는 주로 산간 오지에 개설되기 때문에 일반도로와는 비교할 수 없을 정도로 발생하는 교통량은 매우 적을 뿐만 아니라 차량을 이용한 수송의 대상이 되는 임산물, 자재, 인원 등도 매우 적은 실정이다. 그러나 주요 간선임도를 중심으로 해가 감에 따라 임도를 이용하는 교통용량은 증대될 전망이며, 임도의 기하구조가 차량의 주행속도에 미치는 영향을 파악하므로써 임도의 구조를 개선하고 나아가 임도상에서의 운재비용을 추정할 수 있는 근거가 확보된다.

현재의 임도시설규정은 1985년(산림청 예규 제 282호) 제정되어 일반도로와 같이 도로의 구조 및 시설에 관한 일반적·기술적 기준을 정하는 것을 목적으로 제3장에서는 임도의 노폭, 곡선반지름, 종단기울기, 시거 등 임도의 구조에 관한 주요 항목의 최저 기준이 제시되어 있다.

그러나 임도는 일반도로(대통령령 제13001호)나 농어촌도로(내무부령 제573호)의 여건과는 달리 개설되는 위치, 포장여부 뿐만 아니라 전체적인 도로의 기타 구조가 타 도로 보다는 매우 열악한 조건임에도 불구하고, 구조에 관한 최저 기준은 유사한 실정이며, 이러한 본질적인 차이를 극복하고 임도가 지니고 있는 목적-임업경영 기반을 조성하고 임업경영의 효율화를 도모함-을 달성하기 위해서는 임도의 구조를 결정하는 요소에 대한 충분한 연구와 검토가 있어야 할 것으로 생각된다.

도로를 설계할 때에는 구조면에서의 기하학적 형상을 결정하는 데에 있어서 중요한 요소로서 설계속도가 필요하다. 설계속도는 도로설계의 기초가 되는 자동차의 최고속도이며, 설계속도가 결정되면 도로의 최소폭이나 선형이 결정된다. 임도의 경우에는 도로구조령에 따르는 도로의 구분에 따라 설계속도는 제3종 4급, 5급 도로에 준하여 설계한다(산림청, 1988). 그러나 설계속도는 일반도로(평지)를 대상으로 한 실험과 계산을 통하여 얻어지기 때문에, 산지에 건설됨으로서 설계, 시공하는 과정 중에 개설지의 지형조건 등에 의해서 복잡한 선형이 되는 일이 많은 임도의 경우에는 적용하기 어려운 부분이 많다.

일반적으로는 자동차 도로의 설계속도는 기술적으로 실현이 가능한 자동차 속도의 한계와 운전상 위험이 없는 속도 한계와의 쌍방의 입장에 의해 결정되는데, 통상 결정의 주요인자에는 후자가 선택된다(上飯坂 등, 1968). 그러나 현실적으로 노상을 주행하는 차량의 속도는 운전상의 이유에 의해 최고속도가 낮아지기 때문에 설계속도는 운전의 안전상 위험이 없는 최고속도에 근접한 값으로서 출현빈도가 높은 적당한 속도가 결정되며, 그밖에 교통량, 지황 등이 감안되어 일반도로는 40-120km/hr, 농어촌도로는 20-50km/hr 범위의 속도가 채택되고 있다(내무부, 1992).

이에 반해 산악지에 주로 개설되는 임도는 노선의 선형이 지형에 순응해야 하기 때문에 곡선반지름이 작은 곡선이 다수 포함될 뿐만 아니라 임도의 종단물매가 급한 구간이 출현할 가능성이 매우 높아서 타도로에 비해서 약간 낮은 20-40km/hr를 설계속도로 채택하고 있다(산림청, 1990).

따라서 본 연구는 임도의 기하구조가 차량의 주행속도에 미치는 영향 정도를 파악하고, 노면의 조건 및 노선선형에 따른 평균주행속도의 파악 뿐만 아니라 임도에서의 차량의 주행속도와 관련한 임도의 구조 개선에 대한 기초자료를 제공할 목적으로 수행되었다.

## 材料 및 方法

### 1. 연구대상 임도의 선정

실험구간은 측정하고자 하는 모든 선형조건이 존재하는 구간으로서 실험에 크게 위배되지 않는 적합한 구간을 대상으로 하였다.

임도설계서와 임도 설계 도면을 활용하여 노선 선형을 대표할 수 있고, 노면상태가 구분될 수 있는 지역을 선정하였다.

본 연구에서 선정된 임도의 개요는 표 1과 같다.

### 2. 실험차량의 선정

임도를 주행하는 차량은 소형자동차와 화물자동차로서 구별될 수 있다. 소형자동차는 작업자의 출퇴근이나 기타 수송에 사용되는 차량이며, 보통자동차와 세미트레일러 화물자동차는 목재의 실반출작업에 사용되는 자동차이다.

본 연구에 사용한 실험차량은 본 연구자가 사전조사에 의하여 국내 주요 항구(인천항, 부산

**Table 1.** General description of forest roads investigated.

| Location   | Construction year | Distance (km) | Condition of the road surface |
|--|-------------------|---------------|-------------------------------|
| Naemun-ri, Jungan-myon, Gongju-gun, Choongchungnam-do.                         | 1995              | 4.38          | medium                        |
| Naemun-ri, Jungan-myon, Gongju-gun, Choongchungnam-do.                         | 1992              | 5.68          | bad                           |
| Sanan-ri, Gunbuck-myon, Kumsan-gun, Choongchungnam-do.                         | 1992              | 3.26          | good                          |
| Yudeng-ri, Yungok-myon and Samkyo-ri, Jumoonjin-myon, Kangrung-si, Kangwon-do. | 1993              | 8.05          | bad                           |
| Samsan-ri, Haejung-ri and Hyangho-ri, Yungok-myon Kangrung-si, Kangwon-do.     | 1993              | 2.66          | medium                        |

항, 군산항 등)에서 목재운반에 가장 많이 사용되고 있는 차종을 조사한 결과를 토대로 11.5t 카고 트럭으로 선정하였으며, 이는 임도 설계시에 적용되는 설계차량인 보통자동차와 제원이 거의 일치하고 있다. 또한 11.5t 카고 트럭 보다 등급이 낮고 소형자동차에 가까운 2.5t 카고 트럭을 실험보조차량으로 사용하였다. 실질적으로 현재의 임도 구조가 이러한 차량이 자유롭게 통행하고 적재 주행할 수 있을지는 의문이지만 최소한 장래의 임도구조 계획은 이 실험차량의 제원을 토대로 해야 한다고 생각된다.

**3. 측정인자**

1) 노선 인자

본 연구의 목적에 부합되는 측정 인자들은 다음과 같은 방법으로 측정하였다.

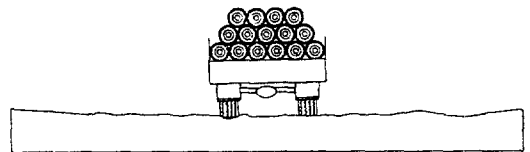
① 노면상태

노면의 굴곡정도는 노면요철측정기를 이용하여 측정하였으며, 측정한 결과에 따라 그림 1에서 보는 바와 같이 良好(good surface), 中(medium surface), 不良(bad surface)으로 나누었다.

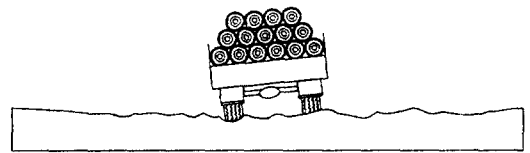
양호한 노면은 유지관리가 잘된 임도로서 비교적 평활하고 차량의 주행에 영향을 거의 주지 않는 노면이며, 횡단면을 기준으로 10cm 이하의 굴곡을 보이는 노면으로 하였다. 이에 반해 불량한 노면은 유지관리가 이루어지지 않아 rut(자동차 바퀴 등에 의해 움푹 패인 곳)가 심하게 발생되어서 차량의 주행에 현저한 영향을 끼치는 노면이며, 횡단면을 기준으로 20cm 이상의 굴곡이 출현한 노면으로 하였다.

이러한 노면상황의 판정 및 분류와 관련하여

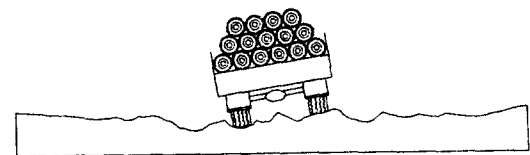
Groves 등(1987)에 따르면 임도의 노면상황에 따라 Primary road(good surface, few bends and very few adverse grades), Secondary road



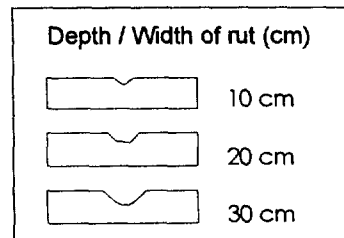
Class 1. Good surface(Very even ground, well-maintained surface)



Class 2. Medium surface(Somewhat uneven surface)



Class 3. Bad surface(Rough surface, very uneven surface)



**Fig. 1.** Classification of forest road surface

(modertely good to rough surface, many curves and/or some adverse grades), Tertiary road (Rough surface, many tight coners and sharp bends and/or steep gradients)로 분류하고 있고, 小林 등(1982), 小林과 靑野(1983)도 임도의 노면 지지력과 노면요철량에 의해 임도 노면을 양호, 보통, 불량으로 평가하는 방법을 제시하고 있다. 그리고 岩川(1965)은 차량의 진동가속도와 주행속도, 적재량, 타이어압, 곡선, 종단물매 등과의 관계를 이용하여 임도의 노면을 판정하는 방법을 제시하고 있다.

### ② 종단물매(%)

대상노선중 종단물매가 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18%이상(18, 20, 25, 30%)인 지점중 직선거리가 40m 이상이 되는 구간을 선정하여 Clinometer를 이용하여 종단물매를 측정하였다.

### ③ 노폭(m)

실계속도에 의하여 1급임도(유효노폭 4m), 2급임도(유효노폭 3m)로 구분하고 있으나 사실상 현에서의 노폭은 임도의 규격에 상관없이 매우 다양하므로 각 측정구간의 최소노폭, 최대노폭, 평균노폭을 줄자로 측정하였다.

### ④ 곡선반지름(m)

노선곡선부의 곡선반지름은 외쪽물매(편구배)와 함께 주행속도에 영향을 미친다. 여기에서는 외쪽물매를 고려하지 않은 곡률반지름을 10m 단위로 설계도상에서 구분하여 측정하였다.

### ⑤ 곡선길이(m)

곡선길이와 곡선반지름은 거의 같은 요인으로 작용할 수 있다. 하지만 같은 반경 내에서도 곡선길이의 차이에 의해 주행속도가 변할 수 있으므로 곡선반지름에 따른 곡선길이를 측정하였다.

### ⑥ 곡선부의 외쪽물매(%)

일반적으로 차량이 곡선부를 주행할 때 원심력에 의하여 차량이 바깥쪽으로 나가려는 힘이 생기므로 안전하고 쾌적한 주행을 위해서는 곡선부 노면의 바깥쪽을 안쪽보다 높게 하여 횡단면 전체에 적당한 물매를 주어야 한다. 이것을 외쪽물매(또는 편구배; Superelevatin)라고 한다. 안전을 고려하여 보통 필요이상으로 시공하는 것이 원칙이나 국내에서는 이에 대한 대비가 미흡한 실정이므로 곡선부의 외쪽물매를 측정하였다.

### ⑦ 합성물매

노면의 종단물매와 외쪽물매 또는 횡단물매를 합성한 물매를 합성물매라고 하는데, 급한 종단물매와 외쪽물매가 조합된 경우에는 노면에 보다 급한 합성물매가 생기게 된다. 이 경우에는 차량 운전상의 위험성이 있고 화물이 한쪽으로 기울며, 곡선저항에 따라 차량저항의 증대치가 생겨 부적당하게 된다.

합성물매의 제한은 원래 급물매 구간과 급곡선부가 겹치지 않도록 하기 위한 것으로 보통 곡선부의 종단물매와 곡선반지름에서 30을 뺀 값과의 합이 종단최급물매의 값보다 적어야 한다.

### ⑧ 절토비율

노면상에서의 절토비율은 노면의 상태에 크게 영향을 미치게 되는데, 일반적으로 절토비율이 클수록 노면은 견고하게 되며 보다 양호한 노면 상태를 유지할 수 있다. 절토비율은 횡단면을 기준으로 설계도면상에서 구하였다.

### ⑨ 기타

노면의 재료, 배수시설, 곡선의 개수, rut 정도, 노면건조상태, 임도시설위치, 적재량, 운전자의 경력, 날씨 등을 조사하였다.

## 2) 주행실험

답사를 통해 선정된 각 실험구간의 시점과 종점 및 각 구간의 측정대상 위치를 확정하고, 각 측정구간을 차량에서 쉽게 판독이 가능하도록 임도시면상에 라벨을 부착, 표시하였다.

주행속도의 측정과 분석은 다음과 같이 실시하였다.

- ① 주행거리를 정지시간을 제외하고 실제로 차량이 움직인 시간(주행시간)으로 나눈 값을 走行速度(running speed)로 한다.
- ② 주행속도의 측정은 각 실험구간의 노선 중심선을 기준으로 시점에서 종점까지의 통과 시간을 측정하여 평균속도를 계산한다.
- ③ 측정실험은 적재시(약 11.5톤 적재)와 비적재시를 구분하여 실시하고, 각 구간을 반복 측정하며, 지형의 미숙지로 인해 첫 주행시 발생하는 최저값을 제외한 나머지 값을 평균하여 분석하였다.

**結果 및 考察**

**1. 직선구간에서의 주행속도**

1) 설계속도와 주행속도와의 관계

설계속도는 일반적으로 도로의 구조면에서 본 경우에는 “차량의 주행에 영향을 미치는 도로의 물리적 형상을 상호 관련시키기 위하여 정해진 속도”로 정의할 수 있으며, 차량의 주행면에서 본 경우에는 “도로의 설계 요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건하에서 운전자가 도로의 어느 구간에서 쾌적성을 잃지 않고 유지할 수 있는 속도”로 정의된다(내무부, 1992). 설계속도는 도로의 기하구조를 결정하는 데 기본이 되는 속도로서, 곡선반지름, 외쪽물매, 시거와 같은 설계요소는 설계속도와 직접적인 요소를 가진다. 또한 설계속도는 선형을 설계하는 경우에 선형요소의 한계값 결정에 직접적인 의미를 가지는 것이므로 임도시설규정에서는 “임도설계의 기초가 되는 차량의 속도”로 정의하고 있다(산림청, 1990).

임도와 같이 교통량이 거의 없고 차량의 주행조건이 도로의 구조적인 조건만으로 지배되고 있는 경우에 평균적인 운전기술을 가진 운전자가 안전하고도 쾌적성을 잃지 않고 주행할 수 있는 속도가 설계속도가 되는 것이다. 그러나 운전자는 그 도로의 설계속도로 주행하는 것이 아니고 지형이나 연도상황 및 도로의 실제 선형 등에 따라서 자기의 주행속도를 선택하는 경향이 있다.

따라서 설계속도가 30km/hr인 도로라 하더라도 교통량이 적거나 직선부 또는 곡선반지름이 큰 곡선부에서는 30km/hr를 초과하는 속도라도 안전하게 주행할 수 있으며, 곡선반지름이 작거나 시거가 나쁜 구간에서는 30km/hr 보다 낮은 속도로 주행하는 것이 안전을 도모하는 길이 된다.

우리나라의 경우 지형의 복잡성 및 도로연변의 토지이용 문제 등으로 인해 소정의 설계속도를 장구간에 걸쳐 유지하려면 막대한 건설비가 소요될 뿐만 아니라 어느 특정구간 때문에 전 노선의 설계속도를 낮춘다는 것도 바람직하지 않으므로 단구간에서는 설계속도를 낮출 수도 있다. 또한 설계속도는 임도의 유지관리상 하나의 지표로 되는 바 임도 유지관리의 측면에서 설계속도보다 지나치게 낮은 주행속도를 보이지 않도록 유의할 필요가 있다.

임도시설규정에서는 설계속도를 1급 차도에서 30-40km/hr, 2급 차도에서 20-30km/hr로 규정하고 있으며, 미국의 AASHTO(American Association of State Highway Transportation Officials)와 우리나라의 농어촌도로에서는 주행속도가 설계속도의 70-90%가 되도록 권장하고 있고(내무부, 1992), 秦炳益(1982)은 주행속도가 설계속도의 85-100%에 해당하는 값을 제시하고 있다.

따라서 차량 주행상의 안전과 최소한의 쾌적성을 확보하기 위해서는 주행속도가 설계속도의 80% 이상이 되도록 노선의 설계, 시공 및 유지관리가 이루어져야 할 것으로 보인다.

2) 직선구간에서의 주행속도

본 연구에서 두 노선의 교각이 155°가 넘는 직선구간을 대상으로 주행속도를 측정할 결과는 표 2와 같다.

표 2에서 보는 바와 같이 직선부에서의 평균 주행속도는 11.5톤 화물트럭 비적재(空車)의 경우 25.9-10.5km/hr, 약 11.5톤의 목재를 적재(積車)한 경우 18.2-9.0km/hr의 값을 보여, 임도시설규정에서 설계속도를 비적재시 1급임도 40km/hr, 2급임도 30km/hr, 적재시 1급임도 30km/hr, 2급임도 20km/hr로 규정하고 있는 것과 비교해 볼 때, 본 연구의 결과는 노면 상태가 양

**Table 2.** Average running speed of cargo truck at the straight parts of forest road.

| Vehicle type         | Running speed of cargo truck by the condition of the road surface(km/hr) |           |                |          |             |          |
|----------------------|--|-----------|----------------|----------|-------------|----------|
|                      | Good surface   |           | Medium surface |          | Bad surface |          |
|                      | Empty  | Loaded    | Empty          | Loaded   | Empty       | Loaded   |
| 11.5 ton cargo truck | 25.9   | 18.2      | 16.3           | 11.3     | 10.5        | 9.0      |
| 2.5 ton cargo truck  | 19.8-44.8  | 11.7-30.2 | 8.3-34.6       | 6.8-24.0 | 4.7-19.1    | 4.5-17.5 |
|                      | 34.6   |           | 23.5           |          | 14.0        |          |
|                      | 20.9-63.8  |           | 11.6-45.4      |          | 6.6-26.7    |          |

호한 임도에서의 주행속도도 임도시설규정의 설계속도에 현저하게 미치지 못하는 값을 보이고 있다.

다만 2.5톤 화물트럭 비적재의 경우 34.6-14.0 km/hr의 값을 보여 비교적 설계속도의 값에 근접하고 있으므로, 현재의 임도시설은 보통자동차 또는 세미트레일러와 같은 대형 트럭이 주행하는데는 많은 어려움이 있다는 것을 의미한다.

그러나 全仁植(1994)에 의하면 덤프 트럭의 경우 1차선의 교대가 힘든 산간지 도로에서의 평균 주행속도는 적재 여부에 관계없이 10km/hr라고 제시한 것에 비추어 볼 때는 비록 차량이 다르지만 약간 상회한 값을 보이고 있다.

그리고 적재 여부에 따른 주행속의 측면에서 본다면 11.5톤 카고트럭의 경우 만재(약 11.5톤 적재) 하였을 때의 주행속도는 비적재시 주행속도의 약 70-85%에 달하는 값을 보여, 적재시의 주행속도는 약 15-30%의 속도감소를 가져오는 것으로 파악되었으며, Groves 등(1987)이 적재시의 주행속도는 비적재시의 주행속도에 비해 약 80-88%에 해당한다고 보고한 결과에 비해 약간 낮은 값을 보이고 있다. 특히 양호한 노면에서는 적재여부에 따른 속도감소가 30%에 달하고, 불량한 노면에서는 15%의 속도감소가 있는 것으로 미루어 볼 때 양호한 노면에서는 적재 여부가 속도감소에 영향을 끼치는 것으로 보이며, 불량한 노면에서는 적재 여부보다는 노면 상태가 더 큰 영향을 주어 적재 여부에 상관없이 낮은 값을 보이는 것으로 생각된다.

따라서 표 2에서 보는 바와 같이 가장 주행속도가 높다고 판단되는 양호한 노면의 직선부에서조차 평균 주행속도가 임도시설규정의 설계속도에 비해 비적재시는 약 65%, 적재시는 약 61%로 나타나 현저히 낮은 결과를 보이는 것에 비추어 볼 때 현재의 임도의 구조·규격은 주행속도의 측면에서 충분히 제 기능을 발휘하지 못하고 있으므로 좀 더 면밀한 검토가 요구된다.

**2. 임도의 구조인자가 주행속도에 미치는 영향**

임도의 여러가지 구조 인자 중에서 주행속도에 미치는 몇가지 주요 인자에 대하여 상관분석을 한 결과를 비적재시는 표 3에, 적재시는 표 4에 각각 나타내었다.

표 3과 4에서 보는 바와 같이 적재 여부에 상관없이 곡선반지름이 클수록, 곡선길이가 길수록, 합성물매가 작을수록, 종단물매가 작을수록 주행속도는 증가하는 것으로 나타났다.

이러한 구조 인자들은 임도시설규정에 맞도록 엄격하게 설계 및 시공에 적용하는 것이 차량이 주행속도를 높일 수 있는 지름길이 될 것으로 생각된다.

그리고 주행속도에 관계하는 여러 구조인자를 설명변수로 하여 주행속도와의 관계를 다중회귀 분석한 결과는 표 5 및 표 6과 같다.

표 5에서 보는 바와 같이 곡선반지름, 합성물매, 곡선길이, 종단물매가 공차의 주행속도 설명에 유의한 변수로 선택되었으며, 그 식은 다음과 같다.

**Table 3.** Correlation between the running speed of empty cargo truck and each variable measured on forest road.

| Variable      | Width of roadway | Longitudinal gradient | Cross gradient | Compound gradient | Radius of curve | Length of curve | Cutting ratio of roadway |
|---------------|------------------|-----------------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| Running Speed | 0.0209           | -0.2560               | -0.1351        | -0.2894           | 0.4664          | 0.2712          | -0.1518                  |
| Significance  | 0.7581           | 0.0001                | 0.0449         | 0.0001            | 0.0001          | 0.0001          | 0.0240                   |

**Table 4.** Correlation between the running speed of loaded cargo truck and each variable measured on forest road.

| Variable      | Width of roadway | Longitudinal gradient | Cross gradient | Compound gradient | Radius of curve | Length of curve | Cutting ratio of roadway |
|---------------|------------------|-----------------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| Running speed | 0.0199           | -0.2513               | -0.1347        | -0.2865           | 0.4498          | 0.2386          | -0.1774                  |
| Significance  | 0.7700           | 0.0002                | 0.0460         | 0.0001            | 0.0001          | 0.0004          | 0.0084                   |

**Table 5.** Multiple regression equation for running speed of empty cargo truck resulting from stepwise method.

| Variable              | Parameter estimate | Partial R <sup>2</sup> | Model R <sup>2</sup> | F      | Prob>F |
|-----------------------|--------------------|------------------------|----------------------|--------|--------|
| Constant              | 10.1133            |                        |                      | 387.22 | 0.0001 |
| Radius of curve       | 0.0871             | 0.2186                 | 0.2186               | 25.18  | 0.0001 |
| Compound gradient     | -0.0951            | 0.0816                 | 0.3002               | 10.82  | 0.0012 |
| Length of curve       | 0.0573             | 0.0757                 | 0.3759               | 4.04   | 0.0457 |
| Longitudinal gradient | -0.0488            | 0.0626                 | 0.4385               | 3.82   | 0.0519 |

**Table 6.** Multiple regression equation for running speed of loaded cargo truck resulting from stepwise method.

| Variable              | Parameter estimate | Partial R <sup>2</sup> | Model R <sup>2</sup> | F      | Prob>F |
|-----------------------|--------------------|------------------------|----------------------|--------|--------|
| Constant              | 7.1864             |                        |                      | 351.31 | 0.0001 |
| Radius of curve       | 0.0607             | 0.2034                 | 0.2034               | 22.00  | 0.0001 |
| Compound gradient     | -0.0687            | 0.0825                 | 0.2859               | 10.77  | 0.0012 |
| Length of curve       | 0.0428             | 0.0756                 | 0.3615               | 3.97   | 0.0475 |
| Longitudinal gradient | -0.0361            | 0.0621                 | 0.42369              | 3.58   | 0.0598 |

공차의 주행속도(km/hr)=  
 $10.1133 + 0.0871(\text{곡선반지름}) - 0.0951(\text{합성물매}) + 0.0573(\text{곡선길이}) - 0.0488(\text{종단물매})$

이 모델의 공차 주행속도에 대한 설명력은 약 44%이며, 각 인자의 상대적 기여도는 곡선반지름이 21.86%로 가장 크고, 합성물매(8.16%), 곡선길이(7.57%), 종단물매(6.26%)의 순으로 나타났다.

또한 표 6에서 보는 바와 같이 적차의 주행속도 설명에는 공차와 마찬가지로 곡선반지름, 합성물매, 곡선길이, 종단물매가 선택되었으며, 그 식은 다음과 같다.

적차의 주행속도(km/hr)=  
 $7.1864 + 0.0607(\text{곡선반지름}) - 0.0687(\text{합성물매}) + 0.0428(\text{곡선길이}) - 0.0361(\text{종단물매})$

이 모델의 적차 주행속도에 대한 설명력은 약 42%이며, 각 인자의 상대적 기여도는 공차의 경우와 마찬가지로 곡선반지름이 20.34%로 가장 크고, 합성물매(8.25%), 곡선길이 (7.56%), 종단물매(6.21%)의 순으로 나타났다.

한편, 김종윤 등(1994)이 노면침식량에 미치는 임도의 구조인자를 분석한 결과를 참조해 볼 때,

종단물매와 곡선반지름은 노면의 안정을 위해서 매우 중요한 요소이며, 차량의 주행속도에도 기여하는 바가 크다고 볼 수 있다.

따라서 주행속도의 설명에 기여하는 각 인자의 상대적 기여도를 미루어 볼 때 임도의 구조에 있어서 곡선부의 처리와 물매의 처리가 가장 중요한 요소인 것으로 파악되었으므로 임도의 설계 및 시공시 이 부분에 대해 특히 유의해야 될 것으로 생각된다.

### 3. 곡선반지름과 곡선길이가 주행속도에 미치는 영향

1) 곡선반지름, 곡선길이가 주행속도와의 관계 선형설계에 있어서 개개의 선형요소는 먼저 주행상의 안전성이 첫번째 조건이다. 차량이 도로의 곡선부에서도 직선부와 마찬가지로 안전하고 쾌적한 주행이 가능하도록 곡선부의 최소곡선반지름을 규정하고 있는 것이다.

이 최소곡선반지름은 도로의 곡선부를 주행하는 차량에 가해지는 원심력 등의 횡방향력이 타이어(tire)와 노면간의 마찰에 의해서 주어진 한도를 초과하지 않도록 한다는 취지와 주행쾌적도(riding comfort)의 良否를 고려해서 산정되고 있다(내무부, 1992; 산림청, 1988). 차량이 곡선부를 주행할 때에 생기는 위험을 원심력에 의하여

곡선부의 바깥쪽으로 미끄러지든가 전도하든가 하는 것인데, 그 한도는 차량의 주행속도와 도로의 곡선반지름이나 외쪽물매 및 노면의 마찰계수 등에 따라 좌우된다.

이러한 관점에서 임도시설규정에서는 횡방향 미끄럼에 대한 노면과 타이어간의 마찰계수(f)를 0.16으로 적용했을 때의 최소곡선반지름에 대한 규정치를 설계속도 40km/hr일 때 60m, 30km/hr일 때 30m, 20km/hr일 때 15m로 규정하고 있으며, 다만 특수한 지형에서의 최소곡선반지름을 설계속도가 40km/hr일 때 40m, 30km/hr일 때 20m, 20km/hr일 때 12m로 규정하고 있다. 그러나 본 조사 결과 최소곡선반지름이 10m이하인 곳도 다소 출현하고 있는 것에 비추어 볼 때, 임도 설계 및 시공에 있어서 지형상 상당히 여유있는 곡선반지름을 선택할 수 있음에도 불구하고 최소치에 가까운 곡선반지름을 적용하는 경향도 있어 실제의 임도에서는 곡선반지름이 아주 작은 구간도 일부 출현하게 되어 차량의 평균주행속도를 현저히 저하시키는 요인이 되고 있다.

앞서 서술한 바와 같이 곡선반지름은 차량의 주행속도에 미치는 영향이 가장 클뿐만 아니라 주행의 안전성 확보의 측면에서 더욱 세심한 주의가 요구된다.

한편 곡선반지름이 상당히 클 경우 원심가속도의 관점에서 볼 때 이론적으로는 비교적 짧은 곡선길이로서도 충분하지만 이와 같은 경우에도 노선의 교각이 작으면 운전자에게는 곡선길이 실제보다 짧게 보이고, 더구나 곡선반지름도 실제보다 작은 것으로 잘못 보기가 쉬워 속도의 저하를 초래하게 된다.

따라서 최소의 곡선길이는 운전자가 핸들조작에 곤란을 느끼지 않고, 교각이 작은 경우 곡선반지름이 실제보다 작게 보이는 착각을 막을 정도의 길이로 하면 되는데, 이때 운전자가 착각을 일으키는 한계노선교각을 AASHTO에서는 5°, RAL(Richtlinien fuer die Anlagen von Landstrassen; 독일 지방도 설계기준)에서는 6° 20'로 하고 있으며, 일본도로 구조령에서는 7°, 우리나라 농어촌 도로에서는 5°로 하고 있다(내무부, 1992).

현재의 임도시설규정에서는 최소곡선길이에 대한 제한규정이 없으나 농어촌 도로에서 운전자가 핸들 조작에 곤란을 느끼지 않는 최소곡선길이를

실제속도가 40km/hr일 때 44m, 30km/hr일 때 33m, 20km/hr일 때 22m로 규정하고 있으며, 노선교각과 곡선길이와의 관계를 통해서서는 설계속도가 40km/hr일 때 25m, 30km/hr일 때 20m, 20km/hr일 때 15m로 규정하고 있다.

이것과 관련하여 上飯坂 등(1968)은 차량의 주행속도에 영향을 미치는 인자로서 곡선길이는 곡선반지름과 밀접한 관계가 있으므로 최소곡선반지름의 규정으로도 충분하다고 밝히고 있다.

2) 곡선반지름이 주행속도에 미치는 영향

앞에서도 서술한 바와 같이 곡선반지름이 차량의 주행속도에 크게 영향을 미치고 있으므로 노면의 조건과 적재 여부에 따라 곡선반지름과 주행속도와의 관계를 그림 3 및 그림 4에 각각 나타내었다.

그림 2에서 보는 바와 같이 비적재시 공차의 주행속도는 노면 상태에 따라 아래와 같은 식으로 표현되었다.

양호한 노면 :

$$Y=6.4703 X^{0.2743} \quad (R^2=0.4307) \dots\dots\dots (4)$$

보통 노면 :

$$Y=6.5089 X^{0.1808} \quad (R^2=0.4520) \dots\dots\dots (5)$$

불량한 노면 :

$$Y=5.4122 X^{0.1327} \quad (R^2=0.3926) \dots\dots\dots (6)$$

여기서 Y : 공차의 주행속도(km/hr),

X : 곡선반지름(m)

그리고 그림 3에서 보는 바와 같이 적재시 적

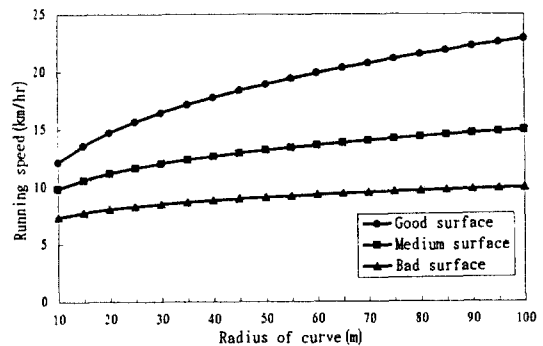


Fig. 2. Estimated running speed of empty cargo truck at the curve on the investigated forest roads.



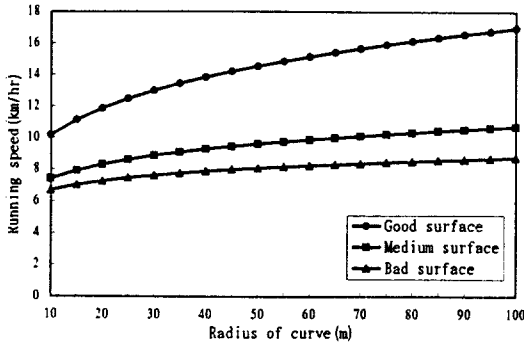


Fig. 3. Estimated running speed of loaded cargo truck at the curve on the investigated forest roads.

차의 주행속도는 노면 상태에 따라 아래와 같은 식으로 각각 표현되었다.

양호한 노면 :

$$Y = 6.0804 X^{0.2827} \quad (R^2 = 0.3824) \quad \dots\dots\dots (7)$$

보통 노면 :

$$Y = 5.1165 X^{0.1610} \quad (R^2 = 0.4066) \quad \dots\dots\dots (8)$$

불량한 노면 :

$$Y = 5.0842 X^{0.1183} \quad (R^2 = 0.4194) \quad \dots\dots\dots (9)$$

여기서 Y : 적차의 주행속도(km/hr),  
X : 곡선반지름(m)

양호한 노면에서의 주행속도는 동일한 곡선반지름에서 보통 또는 불량한 노면에 비하여 월등히 나은 주행속도를 보였으므로 임도의 설계 및 시공단계에서 뿐만 아니라 평소에도 노면의 양호한 상태를 유지할 수 있도록 철저히 하고도 즉각적인 유지·보수·관리 체계가 필요할 것으로 생각된다.

#### 4. 종단물매와 합성물매가 주행속도에 미치는 영향

##### 1) 종단물매와 합성물매의 중요성

도로를 설계하기 위해 결정된 설계속도는 도로를 구성하는 다양한 기하구조를 상호 연관시킨다. 이는 도로를 설계함에 있어서 같은 설계속도 구간에서는 도로의 형상을 일정하게 하며, 동일한 주행상태를 유지할 수 있도록 해야 하는 도로 설계의 근본적 개념을 만족시키기 위해서이다.

그러나 설계속도에 따라 일정하게 정해지는 도

로의 기하구조 요소 중 종단물매는 경사진 구간의 오르막 특성이 차량에 따라 크게 다르므로 모든 차량에 대해 경제적인 면에서 거의 불가능하다고 여겨진다(산림청, 1988).

이 때문에 종단물매의 일반치는 승용차에서는 대개 설계속도 정도, 보통자동차(화물트럭)에서는 설계속도의 약 50-80% 정도로서 오르막 길을 오를 수 있는 상태를 조건으로하여 정하고 있다.

화물 트럭의 경우 평균주행속도가 평지에서는 승용차와 거의 동일하나 오르막 구간에서는 승용차에 비하여 중량/마력의 비가 높으며 잉여마력이 적기 때문에 주행속도가 떨어지게 된다. 오르막 구간에서 트럭이 유지할 수 있는 최고 속도는 물매의 정도, 오르막 구간의 길이, 중력/마력의 비와 오르막 구간에 진입할 때의 속도에 크게 영향을 받으므로 종단물매 구간의 설계에서는 특히 트럭의 오르막 능력(등판능력) 및 특성을 감안하여야 한다.

이러한 관점에서 임도시설규정(산림청, 1990)에서는 설계속도가 40km/hr일 때 7%, 20km/hr일 때 9%로 규정하고 있으며, 특수한 지형에 대해서는 14%까지 허용하고 있다.

농어촌 도로도 임도와 거의 비슷한 수치이지만 미국내에서 통용되고 있는 AASHTO에서는 국지도로의 구릉지에서 설계속도가 20mph(32km/hr)일 때 구릉지에서는 11%까지, 산지에서는 16%까지 규정하고 있다.

특히 종단물매는 자연적인 조건하에서 노면침식에 가장 큰 영향을 미치는 인자일 뿐만 아니라(권태호, 1987; 김종윤과 노재후, 1981; 김종윤 등, 1994) 일단 임도가 개설된 이후에 종단물매를 변경하는 것은 거의 불가능하기 때문에 규정치를 벗어나는 일이 없도록 유념해야 할 것이다.

그리고 곡선부를 주행하는 차량은 원심력을 받게 되는데, 그 원심력은 반대방향으로 작용하는 노면의 외쪽물매 및 노면과 타이어와의 마찰력에 의하여 안정 주행을 계속할 수 있으며, 이 원심력에 의하여 곡선부의 바깥쪽으로 미끌어지고 顛倒하려고 하는 한계력은 자동차의 주행속도, 도로의 곡선반지름, 외쪽물매 및 노면과 타이어와의 마찰계수 등에 의해 좌우된다.

이러한 외쪽물매는 적설한냉의 정도가 격심한 지역은 최대 6%까지, 동절기의 빙설이 그다지 문제가 되지 않는 지역에는 최대 8%까지 규정하고

있으며, 이러한 최대값은 저속차인 화물 트럭이 화물을満載하고 운행하더라도 급한 외쪽물매에 의해 안전상의 문제가 발생치 않도록 하는데 있다.

한편 합성물매는 종단물매와 외쪽물매 또는 횡단물매를 합성한 것으로서 급한 종단물매와 외쪽물매가 합쳐진 경우에는 노면보다 급한 합성구배가 발생하여 차량 운전상의 위험과 적재된 화물의 편중 및 곡선저항에 의한 차량저항의 증대 등 바람직하지 못한 상황이 발생하게 된다. 그러므로 합성물매도 대개 12%이하로 제한하게 되고 부득이한 경우에도 15%이하로 규정하고 있다.

본 연구에서는 앞서서도 서술한 바와 같이 합성물매와 종단물매가 차량의 주행속도에 많은 영향을 끼치고 있으나 연구결과를 현장에서 적용성을 감안하여 종단물매를 중심으로 주행속도와와의 관계를 분석하였다.

2) 종단물매와 주행속도와의 관계

본 연구에서 노면의 조건과 적재여부에 따라 종단물매와 주행속도와의 관계를 그림 4 및 그림 5에 각각 나타내었다.

그림 4에서 보는 바와 같이 비적재시 공차의 주행속도는 노면 상태에 따라 아래와 같은 식으로 표현되었다.

양호한 노면 :

$$Y=24.5604 X^{-0.1221} \quad (R^2=0.2025) \quad \dots\dots\dots(10)$$

보통 노면 :

$$Y=15.8310 X^{-0.0802} \quad (R^2=0.2108) \quad \dots\dots\dots(11)$$

불량한 노면 :

$$Y= 9.0705 X^{-0.0996} \quad (R^2=0.1896) \quad \dots\dots\dots(12)$$

여기서 Y : 공차의 주행속도(km/hr),  
X : 종단물매(%)

식 (10)-(12)에서 보듯이 결정계수가 매우 낮게 나타난 것을 앞에서도 언급한 바와 같이 차량의 주행속도에 영향을 미치는 인자가 종단물매보다는 곡선반지름에 있다는 것을 간접적으로 시사하고 있다.

그리고 그림 5에서 보는 바와 같이 적재시 적차의 주행속도는 노면상태에 따라 아래와 같은 식으로 표현되었다.

양호한 노면 :

$$Y=17.6280 X^{-0.1416} \quad (R^2=0.1874) \quad \dots\dots\dots(13)$$

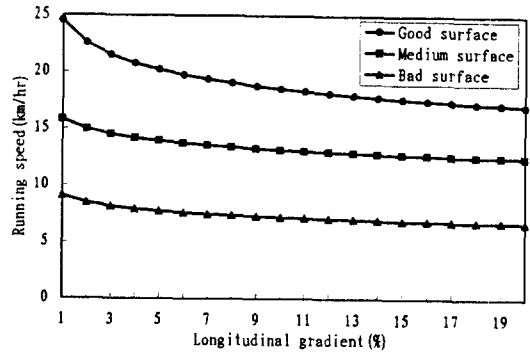


Fig. 4. Estimated running speed of empty cargo truck related to longitudinal gradient on the investigated forest roads.

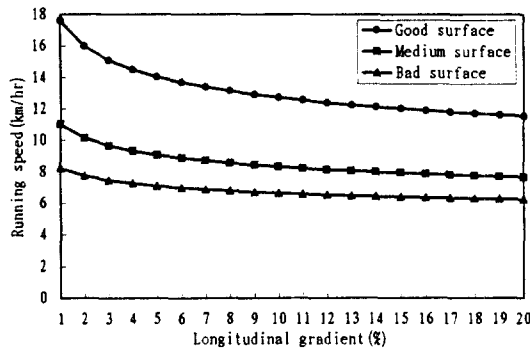


Fig. 5. Estimated running speed of loaded cargo truck related to longitudinal gradient on the investigated forest roads.

보통 노면 :

$$Y=11.0328 X^{-0.1211} \quad (R^2=0.2237) \quad \dots\dots\dots(14)$$

불량한 노면 :

$$Y= 8.2524 X^{-0.0927} \quad (R^2=0.2182) \quad \dots\dots\dots(15)$$

여기서 Y : 적차의 주행속도(km/hr),  
X : 종단물매(%)

적재시의 결정계수도 비적재시와 마찬가지로 매우 낮게 나타났으며, 내리막길에서는 차량의 주행속도와 내리막 물매는 유의성이 없는 것으로 나타나 차후에는 종단물매 뿐만 아니라 오르막과 내리막의 감속 및 가속에 대한 관계 및 동일한 종단물매 구간의 길이도 함께 검토되어야 할 것으로 생각된다.

이러한 종단물매의 제한길이는 트럭이 오르막 구간에 진입하여 허용된 최저 속도를 유지하며 주행할 수 있는 구간까지의 길이로서 설계된 오

르막 구간의 길이가 제한 길이를 초과하지 않도록 유의해야 할 것이다.

본 연구에서 제안한 임도의 몇가지 구조인자와 주행속도와의 관계를 이용하여 임도의 좋고 나쁨을 판정하는 기준을 마련하고 임도의 구조를 개선하는데 응용될 수 있을 뿐만 아니라 목재의 반출시간과 반출비용을 예측하는데 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

### 引用 文 獻

1. 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, 39p.
2. 金鍾閔·盧載厚, 1989. 林道被害 事例分析에 의한 限界勾配 推定에 關한 研究, 林業研究院研究報告 39 : 126-134.
3. 金鍾閔·鄭榮教·李峻雨, 1994. 被害豫防을 위한 林道の 構造改善, 林業研究院研究報告 50 : 136-150
4. 內務部, 1992. 농어촌도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 內務部, 서울, 805pp.
5. 山林廳, 1990. 林道施設規程, 山林廳, 서울, 71p.
6. 山林廳 林業研究院, 1988. 林道便覽, 山林廳, 서울, 1336pp.
7. 全仁植, 1994. 建設標準품셈, 建設研究社, 서울, 1-31pp.
8. 秦炳益, 1982. 道路工學, 創知社, 서울, 347pp.
9. 岩川 治, 1965. 林道路面の良否判定に關する研究(I)-車輛の振動加速度と測定諸條件との關係, 京都大 演習林報告 37 : 159-189.
10. 加藤誠平, 1952. 伐木運材經營法, 朝倉書店, 東京, 302pp.
11. 小林洋司·中村 宏·有森憲士, 1982. 林道路面良否の評價法に關する研究(I)-測定車による路面凹凸の評價法の檢討, 宇都宮大 演習林報告 18 : 17-32.
12. 小林洋司·青野正義, 1983. 林道路面良否の評價法に關する研究(II)-數量化理論による評價法の檢討, 宇都宮大 演習林報告 19 : 15-30.
13. 上飯板實·南方 康, 伊藤幸也, 1968. 林道の構造に關する研究, 日林誌 50(9) : 274-284.
14. Groves, K.W., G.J. Pearn and R.B. Cunningham, 1987. Predicting logging truck travel times and estimating costs of log haulage using models, Aust. For. 50(1) : 54-61.