

임도 구조에 따른 대형 목재운송차량의 주행속도 분석

황진성¹ · 이관희² · 지병윤^{1*}

¹국립산림과학원 산림기술경영연구소, ²사방협회 연구조사처

Assessment of Running Speed of Large Logging Trucks on the Forest Road Structure

Jin-seong Hwang¹, Kwan-hee Lee² and Byoung-yun Ji^{1*}

¹Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science,
Pocheon 11187, Korea

²Department of Research and Investigation, Korean Association of Soil and Water Conservation,
Cheongju 28165, Korea

요약: 본 연구는 목재생산시대를 대비하여 점차 대형화되어 가는 목재운송차량의 원활한 통행을 위해 춘천·홍천 국유림 관리소 관내 간선임도 4개 노선 11.3 km를 대상으로 임도의 구조상태에 따른 대형 목재운송차량(25톤 규모)의 주행속도를 분석하였다. 임도의 평면선형에 따른 주행속도는 곡선구간이 평균 7.6 km/h로 평균 8.7 km/h인 직선구간보다 낮은 것으로 나타났으며, 전체적으로 간선임도 최저 설계속도인 20 km/h에 비해 직선구간의 경우 약 44%, 곡선구간의 경우 약 38% 수준인 것으로 나타나 최소한의 주행속도 확보를 위해 임도 구조개선이 필요한 것으로 나타났다. 종단기울기에 따른 주행속도는 최대 13%까지 주행속도에 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 직선구간 거리별로는 100 m 이상에서 주행속도가 증가하는 것으로 나타났다. 곡선구간의 시설위치별로는 능선부가 계곡부보다 6.2~9.3% 낮은 주행속도를 나타냈다. 진출입 각도 및 곡선반지름별 주행속도는 진출입 각도가 90° 미만, 곡선반지름 15m 미만일 때 가장 낮은 것으로 나타났으며, 곡선반지름 15m 미만일 때 확폭량 기준에 미달되는 구간이 50% 이상으로 충분한 확폭이 이루어지지 못한 것으로 나타났다.

Abstract: This study analyzed the running speed of logging trucks (25 tons), depending on the structural state of forest roads, on four main forest roads in the national forest management offices in Chuncheon and Hongcheon for trafficability. The speeds for the curved and straight sections were 7.6 km/h and 8.7 km/h, respectively, which were less than the designed speed (20 km/h). Thus, it would be necessary to improve the forest road's structure to fulfill minimum running speed. No significant difference was observed in the running speed by the longitudinal gradient up to 13%, while it was increased at more than 100 m by the distance in the straight section. By the facility's location in the curved section, the running speed was 6.2%~9.3% lower in a ridge than a valley. The running speed was lowest at the internal angles of <90° and at the curved radius of <15 m, respectively. When this radius was less than 15 m, the substandard sections for widening amounts were more than 50%; thus, sufficient widening was not achieved.

Key words: structure improvement, large logging trucks, running speed, transportation efficiency, forest road

서론

우리나라의 산림은 1970년대 조림시대를 지나 90년대 부터 산림자원의 육성시대로 전환하였고, 멀지 않아 목재

생산시대로 변화되어 갈 것이다. 오늘날 평균 임목축적은 ha당 평균 161,45 m³(KFS, 2020)으로 크게 증가하였기에 보다 가치있는 산림자원의 관리 및 목재수확시대를 대비한 체계적인 임도망 정비에 필요한 시기이다. 산림청에서는 전체산림에 대하여는 임도밀도를 7 m/ha, 목재생산림에 대하여는 25 m/ha를 목표로 단계별로 꾸준히 임도망을 확충해 나가고 있다. 이를 위하여 산림청은 제5차 임도기본계획('21-'30)을 수립하였고, 전체산림에는 5.5 m/ha, 목

* Corresponding author

E-mail: by83700@korea.kr

ORCID

Byoung-yun Ji  <https://orcid.org/0000-0001-7645-1981>

재생산림에는 9 m/ha 수준으로 확대할 계획이다. 이에 따라 시설량을 기 시설된 임도 23,060 km에 더하여 2030년까지 11,783 km를 추가 시설할 계획이며, 이중 시설량의 70% 수준인 8,248 km를 목재생산기지인 경제림에 집중하여 시설하게 된다.

본격적인 목재수확시대에는 대형차량으로 대량의 목재 운송이 가능해야 운송효율이 높게 되나, 우리나라와 같은 산악국가에서는 모든 임도를 대형차량이 통행할 수 있도록 시설하려면 임도 구조가 커져 산지훼손면적과 시설비용이 많아질 우려가 크다. 그러므로 벌채지에서 중토장까지는 임내작업차 또는 소형트럭을 이용하여 생산목재를 소운재하고, 중토장에서 공도까지는 대형차량을 이용하여 소비처까지 운송하는 것이 바람직하다. 목재생산자들을 대상으로 한 설문조사 결과, “가능하면 25톤 카고트럭을 이용하여 운송하고 싶다”라고 응답한 것은 대형트럭이 소형트럭에 비하여 운송효율이 높기 때문이다(NIFoS, 2020). 또한 운송효율을 높이기 위하여는 대량의 목재운송뿐만 아니라 주행속도가 어느 정도 뒷받침이 되어야 한다.

우리나라를 포함한 대부분의 국가의 임도 시설의 기준 설계속도는 최소 20~40 km/h로 정하고 있다(MOF, 2002; Nakata and Itaya, 2020). 그러나 국립산림과학원의 연구 결과, 우리나라 목재생산지에서의 목재운송 시 25톤 대형트럭의 주행속도는 약 10 km/h 정도(NIFoS, 2017)로 파악되고 있으며, 1996년에 실시한 11.5톤을 이용한 보통의 노면에서 주행속도 11.3 km/h로 나타난 주행시험 결과에도 못미치는 수준으로 나타났다(Lee, 1996a). 비록 차량의 규모 차이로 인한 결과라 할지라도 20년 이상이 경과했음에도 주행속도는 크게 개선된 것이 없다고 보여진다. 따라서 대형차량(25톤 규모)의 통행에 있어서 임도 구조의 어떠한 부분이 문제인지를 인식하고 문제가 있는

부분은 개선하여 주행속도가 증가되도록 구조개선을 실시하여 주어야 운송효율이 커져 운송비용을 절감할 수 있을 것이다.

임도의 구조형태에 따른 차량의 속도 변화를 분석한 기존 연구에서 종단기율기 11%를 기준으로 그 미만에서는 주행속도가 거의 영향을 미치지 않았으나, 그 이상에서는 주행속도가 급격히 저하되는 경향을 보이는 것으로 보고하고 있다(USDA, 1987; Jackson et al., 1987). 또한 임도의 노면상태에 따른 차량주행속도 변화를 연구한 결과에 따르면 불량구간에 비해 양호구간이 10 km/h의 속도가 증가하는 것으로 보고하고 있다(Akay, 2020). 또한 그밖에 평면선형의 변화에 따라 통행속도의 변화 및 속도지수를 제시하였다(Lee, 1996a; Lee, 1996b; Kamiizaka et al., 1968). 그러나 국내의 경우 다가올 목재생산시대를 대비하여 목재운송효율을 높일 수 있는 위한 연구는 미흡한 실정므로 대량 목재운송으로 고효율의 운송체계 마련을 위한 연구가 시급히 필요하다.

따라서 본 연구는 목재생산시대를 대비하여 임도의 구조상태가 대형차량(25톤 규모)의 주행속도에 미치는 영향을 분석하여 향후 목재운송효율을 증진시킬 수 있는 임도 구조개선 방법을 마련하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

연구대상지는 춘천·홍천 국유림 관리소 관내 간선임도 4개 노선 11.3 km를 대상으로 임도의 평면·종단 선형에 따른 대형 목재운송차량(25톤)의 주행속도를 측정하였으며, 연구대상지의 일반현황은 Table 1과 같다.

Table 1. Study site information.

Location		Const. year	distance (km)	Road width (m)	No. of curve	Radius of curve (m)	Longitudinal gradient (%)	Distance of straight (m)
Chuncheon-si	Bugwi-ri	1994	2.3	$\frac{3.1}{2.9\sim 3.6}$	28	$\frac{17.6}{11.5\sim 32.5}$	$\frac{4.3}{0\sim 12}$	$\frac{62.5}{25.0\sim 222.0}$
	Ohang-ri	2018~2019	3.5	$\frac{3.4}{3.0\sim 5.0}$	29	$\frac{24.8}{12.5\sim 45.1}$	$\frac{5.9}{1\sim 12}$	$\frac{83.5}{21.0\sim 480.1}$
Hongcheon-gun	Pungcheon-ri	1995	2.6	$\frac{3.0}{2.8\sim 3.5}$	27	$\frac{19.5}{11.1\sim 34.5}$	$\frac{4.3}{0\sim 8}$	$\frac{95.3}{21.4\sim 349.0}$
	Seongsan-ri	2015	2.9	$\frac{3.4}{3.0\sim 5.0}$	29	$\frac{24.9}{12.7\sim 44.1}$	$\frac{7.3}{2\sim 13}$	$\frac{89.6}{20.5\sim 256.2}$
Total			11.3	3.4	113	21.6	5.4	82.0



Figure 1. Timber transportation of large trucks on the forest road.

2. 주행차량

임도를 주행한 차량은 Figure 1과 같이 현재 목재수확작업시 최종 운송단계에서 가장 많이 활용되고 있는(NIFoS, 2020) 25톤 카고트럭에 목재(21.8톤)를 적재한 후 주행시험을 실시하였다. 차량의 제원은 전장 12.73 m, 전폭 2.49 m, 전고 3.35 m, 축거 8.26 m, 앞내민길이 1.58 m, 뒷내민거리 2.89 m, 최소회전반경 11.7 m이다.

3. 조사항목

임도의 구조조사 항목은 목재운송차량의 주행속도에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인자들로써 기존 주행속도 관련 연구들에서 고려되었던 노폭, 종단기울기, 곡선반지름, 진출입 각도(내각), 평면곡선개수, 직선구간 거리, 곡선부 시설 위치 등을 현지조사를 통하여 측정하였다(Kamiizaka et al., 1968; Lee, 1996a; NIFoS, 2017).

4. 주행속도 분석

목재운송차량의 주행속도는 Figure 2와 같이 운송트럭의 전면 영상취득장치(ITB_2000HD, iTRONICS)와 측면 영상취득장치(HERO4, GoPro)를 장착하였으며, Figure 3과 같이 임도 직선부와 곡선부의 시점(B.C)과 종점(E.C)에 기준선을 설치하여 측정점 간 통과시간을 촬영하여 구간별 통행시간과 사전에 측정된 구간별 거리를 통해 주행속도를 분석하였다.

5. 통계 분석

구조 요인별 주행속도의 통계분석은 평면선형, 종단기울기, 직선구간 거리, 곡선구간 시설위치·진출입 각도·곡선반지름 등을 대상으로 실시하였으며, SPSS 23.0(IBM Inc., Armonk, Ny, USA) 프로그램을 활용하였다. 평면선형 및 곡선구간 시설위치에 따른 유의성 검증은 t-검정으로, 그 외의 요인들은 분산분석(ANOVA) 후 Duncan 다중검정을 실시하였다($\alpha=0.05$).



Figure 2. Front and side camera.



Figure 3. Installation of check point.

결과 및 고찰

1. 평면선형에 따른 주행속도

임도의 평면선형에 따른 주행속도는 Table 2와 같으며, 직선구간은 「임도의 설계 및 시설기준」의 곡선 미설치 가능 구간을 적용하여 내각이 155° 이상인 곳을 직선구간으로 구분하였다. 분석 결과, 곡선구간이 직선구간보다 주행속도가 낮은 것으로 나타났으며, 오르막에서의 주행속도는 곡선구간 7.9 km/h, 직선구간 9.0 km/h, 내리막에서는 곡선구간 7.2 km/h, 직선구간 8.4 km/h로 곡선구간이 직선구간보다 오르막에서 12.2%, 내리막에서 14.3% 감소되는 것으로 나타났다.

Table 2. Running speed by horizontal alignment.

(Unit : km/h)

Horizontal alignment	Slope							
	Uphill				Downhill			
	Avg.	Min.	Max.	S.D.	Avg.	Min.	Max.	S.D.
Straight	9.0	5.4	18.4	2.4	8.4	5.1	15.1	1.6
Curve	7.9	2.0	16.6	2.7	7.2	1.6	12.1	2.4

Table 3. Running speed by distance of straight.

(Unit : km/h)

Distance of straight	Slope									
	Uphill					Downhill				
	Avg.	Min.	Max.	S.D.		Avg.	Min.	Max.	S.D.	
<50 m	8.8	6.5	18.4	2.0	A	8.1	5.1	11.0	1.4	A
50~100 m	8.8	5.7	13.3	2.1	A	8.0	5.6	11.8	1.6	A
100~150 m	9.9	7.4	16.5	2.8	A	9.1	7.0	11.4	1.5	AB
150 m≤	9.0	5.4	14.0	2.4	A	9.6	7.6	15.1	2.2	B

* Same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test (p=0.05).

Table 4. Running speed by facility location.

(Unit : km/h)

Facility location	Slope							
	Uphill				Downhill			
	Avg.	Min.	Max.	S.D.	Avg.	Min.	Max.	S.D.
Valley	8.1	1.8	14.8	2.2	7.5	1.8	11.2	2.2
Ridge	7.6	2.0	16.6	3.1	6.8	1.6	12.1	2.6

국외의 경우 운송트럭의 규모만으로 보았을 때 약 25톤을 적재한 트럭이 30.8~34.2 km/h(Lachini et al., 2018)의 주행속도로 목재운송이 이루어지고 있는 것으로 보고되었다. 국내의 선행연구와 비교하면 25년 전 주요 목재운송차량으로 사용되었던 11.5톤 카고트럭의 경우 보통 노면에서 직선구간은 11.3 km/h, 곡선구간에서는 본 연구대상지의 평균 곡선반지름인 약 22 m를 기준으로 곡선반지름 20 m일 때 8.9 km/h(Lee, 1996a)인 것으로 보고되어 있어 본 연구결과의 주행속도와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 「산림관리기반시설의 설계 및 시설기준」의 간선임도 최저 설계속도인 20 km/h에 비해 직선구간의 경우 약 44%, 곡선구간의 경우 약 38% 수준인 것으로 나타났다.

1) 직선구간 거리에 따른 주행속도

직선구간의 거리별 주행속도는 Table 3과 같으며, 오르막 경사에서는 50 m 미만과 50~100 m 구간에서 평균 8.8 km/h로 주행속도가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 100~150 m 구간이 평균 9.9 km/h로 주행속도가 가장 높은 것으로 나타났다. 내리막 경사에서는 50~100 m 구간이 평균 8.0 km/h로 가장 주행속도가 낮았으며, 150 m

이상에서는 주행속도가 평균 9.6 km/h로 가장 높게 나타나 전체적으로 직선구간의 거리가 길어질수록 운송속도가 증가하는 경향을 나타내었다.

오르막 등판시에는 직선거리가 길어지더라도 중량물인 목재를 싣고 있기에 가속이 많이 이루어지지 못하는 것으로 판단되며, 내리막의 경우 전체적으로 오르막보다 주행속도가 낮지만 직선거리 100 m 이상에서는 운전자가 충분히 가속 가능한 거리로 인지하기 때문에 주행속도의 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 이에 짧은 거리의 능선 돌출부나 계곡부 구간이 존재할 경우 주변 지형 등을 고려하여 선형개선이 가능하다면 최대한 직선화 해줌으로써 충분한 가시거리 및 가속 가능구간 확보로 운송효율을 높이는 방안의 마련이 필요할 것으로 사료된다.

2) 곡선구간 주행속도

(1) 시설위치

곡선구간의 시설위치에 따른 주행속도 분석결과는 Table 4와 같다. 오르막 경사에서는 계곡부의 주행속도가 평균 8.1 km/h, 능선부의 주행속도가 평균 7.6 km/h이었으며, 내리막 경사에서는 계곡부 평균 7.5 km/h, 능

Table 5. Running speed by internal angle.

(Unit : km/h)

Internal angle	Facility location	Slope									
		Uphill					Downhill				
		Avg.	Min.	Max.	S.D.		Avg.	Min.	Max.	S.D.	
<90°	Valley	4.8	1.8	6.9	1.8	A	3.8	1.8	6.7	2.0	A
	Ridge	6.2	2.0	9.0	3.2	A	7.5	5.1	9.9	2.3	A
90~135°	Valley	8.6	5.5	14.8	1.8	B	7.9	4.3	11.2	1.8	B
	Ridge	7.5	2.0	16.6	3.0	AB	6.6	1.6	12.1	2.6	A
135°≤	Valley	8.9	6.1	10.9	2.0	B	8.6	7.1	10.9	1.9	B
	Ridge	10.5	8.3	1.9	3.1	B	9.1	7.4	10.9	1.5	A

* Same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test (p=0.05).

Table 6. Running speed by radius of curve.

(Unit : km/h)

Radius of curve	Facility location	Slope									
		Uphill					Downhill				
		Avg.	Min.	Max.	S.D.		Avg.	Min.	Max.	S.D.	
<15 m	Valley	4.8	1.8	7.0	2.0	A	3.3	1.8	5.4	1.7	A
	Ridge	5.7	2.0	15.7	3.9	A	4.8	1.6	8.6	2.7	A
15~25 m	Valley	8.7	5.5	14.8	2.4	B	7.6	4.3	11.2	2.1	B
	Ridge	8.1	2.0	16.6	2.4	AB	7.3	2.0	12.1	2.3	B
25 m≤	Valley	8.5	5.8	10.9	1.3	B	8.3	5.3	10.9	1.5	B
	Ridge	10.7	8.3	14.9	3.6	B	8.9	7.4	10.9	1.8	B

* Same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test (p=0.05).

선부 평균 6.8 km/h로 전체적으로 능선부가 계곡부보다 6.2~9.3% 낮은 주행속도를 나타냈다.

(2) 진출입 각도(내각)

곡선구간의 진출입 각도별 주행속도는 계곡부의 경우 오르막과 내리막 경사 모두 진출입 각도가 90° 미만일 때 각각 평균 4.8 km/h, 평균 3.8 km/h로 가장 낮은 주행속도를 나타냈으며, 능선부의 경우에는 오르막에서 진출입 각도가 90° 미만일 때 평균 6.2 km/h, 내리막에서 진출입 각도가 90~135°일 때 평균 6.6 km/h로 가장 낮은 주행속도를 나타내 전체적으로는 진출입 각도가 커질수록 주행속도가 증가하는 경향을 나타냈다(Table 5).

(3) 곡선반지름

곡선반지름별 주행속도는 Table 6과 같으며, 계곡부의 경우 오르막과 내리막 모두 곡선반지름 15 m 미만에서 각각 평균 4.8 km/h, 평균 3.3 km/h, 능선부의 경우도 오르막과 내리막 모두 곡선반지름 15m 미만에서 각각 평균 5.7 km/h, 평균 4.8 km/h 로 가장 주행속도가 낮은 것으로 나타났다. 전체적으로 곡선반지름이 증가함에 따라 주행속도도 증가하는 경향을 나타내어 Lee(1996b)와 USDA(1987), Jackson et al.(1987)의 선행연구에서와 같이 곡선반지름과 주행속도는 양의 상관관계인 것으로 나

타났다. 하지만 선행연구에서는 곡선반지름이 10~50 m로 변화할 때 주행속도는 7~12 km/h로 곡선반지름이 15 m 이상인 구간에서는 본 연구의 결과와 비슷하였지만 곡선반지름 15 m 미만에서는 주행속도가 5.7 km/h 이하인 것으로 나타났다.

(4) 곡선구간의 확폭

곡선구간의 경우 Table 7과 같이 진출입 각도와 회전반경이 작을수록 차량회전시 후륜의 회전궤적이 전륜의 회전궤적보다 내측으로 들어오게 되는 특성을 고려하여 충분한 확폭이 필요하게 된다(NIFoS, 2017).

이에 곡선구간의 주행속도 저해 요인을 파악하기 위하여 위의 기준을 적용하여 계곡부와 능선부의 곡선반지름별 확폭량이 기준 미달인 구간의 비율을 분석한 결과는 Figure 4, Figure 5와 같으며, 계곡부와 능선부 모두 곡선반지름 15 m 미만일 때 확폭량 기준에 미달되는 구간이 각각 60.0%, 53.3%으로 곡선반지름이 작은 구간의 경우 절반이상의 구간에서 충분한 확폭이 이루어지지 못하여 통행에 저해가 발생하는 것으로 판단된다.

곡선구간의 경우 대형 목재운송차량의 운송효율 증진과 통행안전성을 높이기 위해서는 차량의 회전궤적을 고려하여 적용 가능한 최대한의 진출입 각도 및 곡선반지름을 적용해야 할 것이며, 이와 함께 충분한 확폭을 확보하여야

Table 7. Widening standards by radius of curve and internal angle.

Radius of curve	Internal angle		
	<90°	90~135°	135°≤
12 m	1.70	1.50	1.25
13 m	1.50		
14 m	1.25	1.00	1.00
15 m			
16 m	1.00	0.75	0.75
17 m			
18 m	0.75	0.50	0.50
19 m			
20 m	0.50	0.50	0.50
21 m			
22 m	0.50	0.50	0.50
23 m			
24 m	0.50	0.50	0.50
25 m			

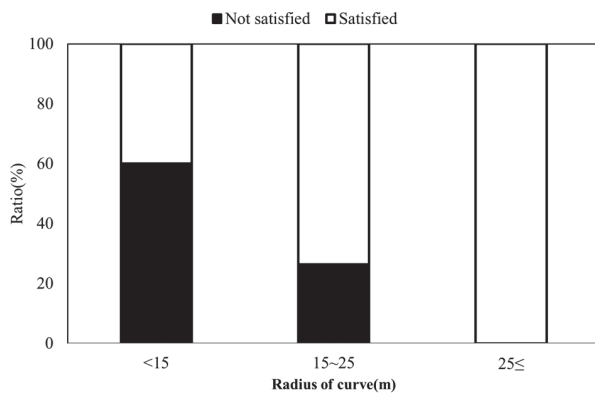


Figure 4. Satisfaction ratio of widening standards by radius of curve (Valley).

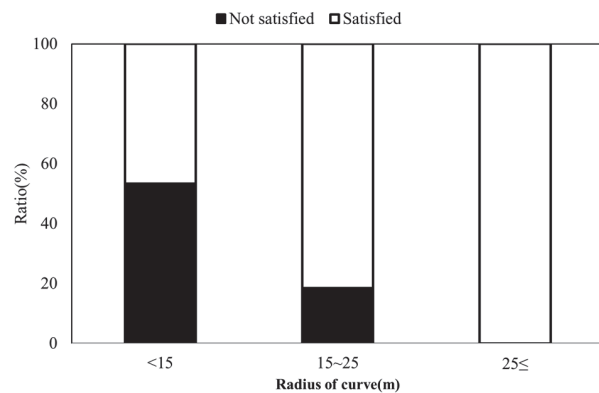


Figure 5. Satisfaction ratio of widening standards by radius of curve (Ridge).

할 것으로 판단된다. 이를 위해 능선부의 경우에는 외측 좌우사면에 절취토량을 성토하여 완화구간을 확보할 경우 사면붕괴 등이 우려되므로 산측으로 충분한 추가 절취로 완화구간을 확보하고, 계곡부의 경우에는 잉여 토량을 활용하여 대피소 및 기계화작업장 등을 시설한다면 교행 및 작업 등을 위한 공간 확보와 선형 개선 효과를 발휘할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 종단선형에 따른 주행속도

종단기울기에 따른 대형목재운송차량의 주행속도는 Table 8과 같다. 종단기울기별 주행속도는 전체적으로 5~10% 구간에서는 직선구간 평균 8.6~9.1 km/h, 곡선구간 평균 7.5~8.4 km/h로 가장 높은 속도를 나타냈으며 10% 이상에서는 직선구간 평균 7.9~8.7 km/h, 곡선구간 평균 7.9~8.7 km/h로 주행속도가 가장 낮은 것

로 나타나 전체적으로 종단기울기가 높아질수록 주행속도가 감소되는 경향을 나타내었다. 내리막 경사에서는 오르막 경사보다 직선구간은 평균 7.5%, 곡선구간에서는 평균 8.5%가 감소되는 것으로 나타났다. 이는 목재를 적재한 차량의 경우 상향구간에서는 등판을 위해 가속을, 하향구간에서는 안전을 위하여 속도를 저감하는 경향이 있는 것으로 사료된다.

3. 임도 구조별 주행속도의 통계분석

임도 구조에 따른 주행속도 차이의 유의성을 검증하기 위해 통계분석을 실시한 결과, t-검정을 실시한 평면선형과 곡선부 시설위치에서는 평면선형의 경우 직선부와 곡선부에서 유의수준 5% 이내에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며(Figure 6), 곡선부 시설위치별로는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났(Figure 7).

Table 8. Running speed by longitudinal gradient.

(Unit : km/h)

Longitudinal gradient	Horizontal alignment	Slope									
		Uphill					Downhill				
		Avg.	Min.	Max.	S.D.		Avg.	Min.	Max.	S.D.	
<5%	Straight	9.1	5.7	16.6	2.6	A	8.4	5.1	15.1	1.8	A
	Curve	7.7	2.0	16.6	3.4	A	7.0	1.6	11.2	2.4	A
5~10%	Straight	9.1	5.4	18.4	2.4	A	8.6	5.9	11.0	1.3	A
	Curve	8.4	2.2	12.3	1.9	A	7.5	2.0	12.1	2.6	A
10%≤	Straight	8.7	6.7	13.3	1.6	A	7.9	5.6	11.8	1.7	A
	Curve	7.1	2.0	8.6	1.7	A	6.7	2.7	9.7	2.1	A

* Same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test (p=0.05).

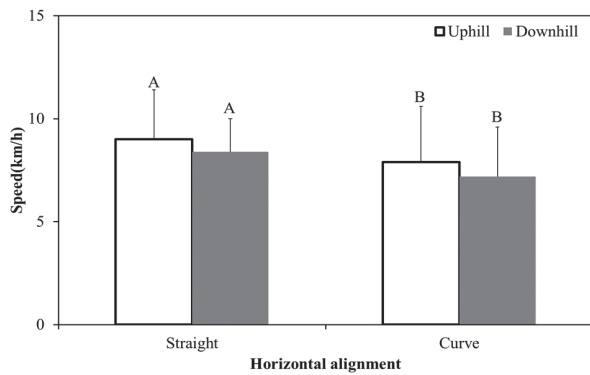


Figure 6. Running speed by horizontal alignment (P<0.05).

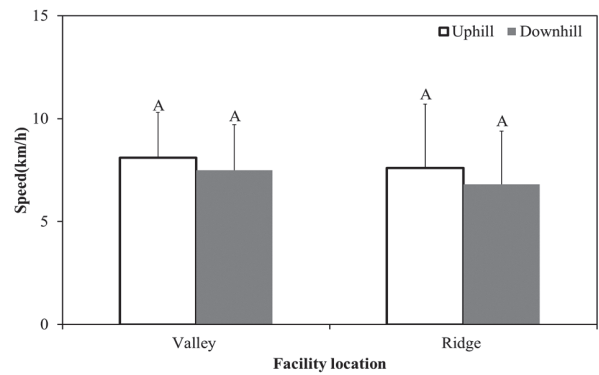


Figure 7. Running speed by facility location (P<0.05).

Table 9. One-way ANOVA for the running speed.

Forest road structure	Slope	Location, Alignment	DF	Sum of square	Mean square	F-value	Prob>F
Distance of straight	Uphill	-	3	9.079	3.026	0.633	0.596
	Downhill	-	3	23.014	7.671	3.129	0.031
Internal angle	Uphill	Valley	2	73.362	36.681	10.729	0.000
		Ridge	2	51.499	25.750	2.912	0.062
	Downhill	Valley	2	81.366	40.683	12.298	0.000
		Ridge	2	31.337	15.669	2.457	0.094
Radius of curve	Uphill	Valley	2	63.681	31.841	8.738	0.001
		Ridge	2	91.301	45.650	5.574	0.006
	Downhill	Valley	2	84.640	42.320	13.101	0.000
		Ridge	2	85.083	42.541	7.740	0.001
Longitudinal gradient	Uphill	Straight	2	1.643	0.821	0.145	0.866
		Curve	2	25.808	12.904	1.823	0.166
	Downhill	Straight	2	4.066	2.033	0.774	0.465
		Curve	2	8.665	4.332	0.723	0.488

직선구간 거리, 곡선부의 진출입 각도(내각) 및 반지름, 종단기울기별 분산분석 결과는 Table 9와 같으며, 직선구간 거리의 경우 오르막 경사에서의 직선구간 거리에 따른 주행

속도는 통계적으로 유의적 차이가 없는 것으로 나타났지만, 내리막 경사에서는 직선구간 거리에 따라 주행속도에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 내리막 경사에서 직선

구간 거리 100 m를 기준으로 주행속도의 차이가 있는 것으로 나타났다. 곡선부의 진출입 각도(내각)별로는 계곡부의 경우 90° 미만일 때와 90° 이상일 때의 주행속도의 유의적 차이가 있는 것으로 나타났으나 능선부에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 곡선반지름별 주행속도는 계곡부와 능선부 모두 곡선반지름에 따라 주행속도의 유의적 차이가 있는 것으로 나타났으며, 곡선반지름 15 m 미만일 때 주행속도는 다른 그룹인 것으로 나타났다. 종단기울기별 주행속도는 유의수준 5% 이내에서 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며, Jackson et al.(1987)과 USDA(1987)의 연구에서는 종단기울기가 11% 이상이 되면 급격하게 주행속도가 낮아지는 경향을 나타내 본 연구결과와는 다른 경향을 보였다. 이는 본 연구에서 조사된 최대 종단기울기는 13%로 기존 연구의 최대 종단기울기인 19%보다 완만한 종단기울기로 인해 종단기울기 10% 이상의 주행속도에서 큰 차이를 나타내지 않은 것으로 판단된다.

결론 및 제언

보다 가치있는 산림자원의 육성 및 관리와 본격적 목재수확시대를 대비하기 위해선 체계적인 임도망 정비가 필요한 시기이며, 점차 증대되어 가는 목재수확작업에서 생산 목재의 운송효율 증진을 위해 대형 목재운송차량이 원활하게 통행할 수 있도록 임도의 선형 개선이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 임도의 구조상태에 따른 대형 목재운송차량의 주행속도를 분석하여 통행의 저해요인을 파악하고 향후 임도 구조개선의 방향성을 검토하고자 하였다. 주행속도 분석결과, 평면선형에서는 직선구간의 경우 평균 8.4~9.0 km/h로 곡선구간보다 약 12~14%정도 높은 주행속도를 나타냈으며, 직선구간 거리에 따라서는 150 m 이상에서 9.6 km/h로 가장 높은 속도를 나타내 직선구간에서는 운전자가 충분히 가속 가능한 거리로 인지할 수 있도록 선형개선을 통하여 직선화 해줌으로써 충분한 가시거리 및 가속 가능한 구간의 확보가 필요한 것으로 나타났다. 곡선구간에서는 진출입 각도가 90° 미만일 때 평균 3.8~4.8 km/h, 곡선반지름 15m 미만에서 4.8~5.7 km/h로 가장 주행속도가 낮은 것으로 나타났으며, 계곡부와 능선부 모두 곡선반지름 15 m 미만일 때 확폭량 기준에 미달되는 구간이 약 50% 이상으로 통행에 저해가 발생하는 것으로 나타났다. 이에 곡선구간에서는 차량궤적 및 통행안전성 등을 고려하여 충분한 확폭을 확보하고 계곡부 기계화작업장 시설 등을 통해 곡선반지름 확대 및 완화구간을 확보하여 운송효율을 증진 시킬 수 있을 것으로 판단된다. 종단기울기의 경우 본 연구결과 및 선행연구들과 종합적으로 고려하였을 때 현 시설기준인 비포장 시 12%

이내로 시설해야하는 것으로 나타났다.

향후 시설기준에 부합하는 주행속도를 확보하기 위해서는 구조별 연계성, 노면 포장, 운전자의 심리 등 다양한 요인들에 대한 복합적인 검토와 연구들이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

References

Akay, A.E. 2020. Determination of the safest route for logging trucks based on road types and conditions. In Environmental Sciences Proceedings. Multidisciplinary Digital Publishing Institute 3(1): 5.

Jackson, R.K., Sessions, J. and Board, T.R. 1987. Logging truck speeds on curves and favorable grades of single-lane roads. Transportation Research Record 1106: 112-118.

Kamiizaka, M., Minamikata, Y. and Ito, K. 1968. Studies on the speed of motor vehicles affected by the geometrical design of the forest road. Journal of the Japanese Forestry Society 50(9): 274-284.

KFS (Korea Forest Service). 2020. Statistical yearbook of forestry. Daejeon, Korea. pp. 453.

Lachini, E., Fiedler, N., Silva, G., Pinheiro, C. and Carmo, F. 2018. Operational analysis of forestry transportation using self-loading trucks in a mountainous region. Floresta e Ambiente 25(4). <https://doi.org/10.1590/2179-8087.006015>

Lee, J.W. 1996a. Improvement of forest road construction related to the running speed of cargo truck. Journal of Korean Forest Society 85(3): 513-523.

Lee, J.W. 1996b. Speed index of logging truck in forest road. Korean Journal of Agricultural Science 23(1): 138-149.

MOF, BC. 2002. Forest road engineering guidebook. Forest Practices. Br., British Columbia Ministry of Forests., Victoria, BC Forest Practices Code of British Columbia Guidebook. pp. 66.

Nakata, C. and Itaya, A. 2020. Estimation of transportation distance and time between forests and a woody biomass power plant using a Web map service. Journal of The Japan Forest Engineering Society 35(4): 35-223.

NIFoS (National Institute of Forest Science). 2017. Study on systematic network and optimal structure of forest road for forest production infrastructure. Seoul, Korea. pp. 99.

NIFoS (National Institute of Forest Science). 2020. Annual report of NIFoS(II-3). 522-550.

USDA (United States Department of Agriculture). 1987. Engineering field notes, engineering technical information system 19: 13-20.