

■ 論 文 ■

차량성능을 고려한 최대종단경사 합리화 연구

Theoretical Review of Highway Grades Considering Vehicle Performances

김 상 업

(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

최 재 성

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

이 승 용

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

한 형 관

((주)한맥기술 전문)

목 차

- | | |
|--|---|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구배경 및 목적 2. 연구의 범위와 방법 <p>II. 국내외 지형상황과 최대종단경사 기준의 비교</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 분석 방법 2. 지형상황과 최대종단경사 기준의 비교 <p>III. 기존 연구 고찰</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Huff와 Scrivner (1955) 2. Archilla와 Fernandez (1996) 3. 유경수 등(1997) 4. 최재성 등 (2001) | <p>IV. 대표트럭 선정 및 최대가속도 산출</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 대표트럭의 선정 2. 진입속도의 결정 3. 최대 가속도의 산출 <p>V. 새로운 트럭 성능 곡선 정립</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 입력 변수 2. 모형의 정산 3. 정산 결과 4. 차량 성능을 고려한 최대종단경사의 고찰 <p>VI. 결론 및 향후연구과제
참고문헌</p> |
|--|---|

Key Words : 중량-마력비, 종단경사, 트럭성능곡선, 대표트럭, 경사지 진입속도
Weight-Horsepower Ratio, Vertical Grade, Truck Performance Curve, Representative Truck, Entrance Speed

요 약

도로의 최대종단경사는 차량의 등판능력에 좌우된다. 과거에 비해 차량의 성능이 좋아질수록 도로의 최대종단경사는 조정될 수 있다. 하지만, 미국(AASHTO, 1990, 2004)에서는 설계기준트럭이 300lb/hp에서 200lb/hp로 성능이 상승했음에도 불구하고, 적용되는 최대 종단경사는 거의 변화가 없다. 따라서, 현재 차량의 성능을 고려한 최대종단경사의 검토 및 조정의 검토가 필요한 실정이다. 특히 국내의 지형은 산악지가 많고, 험준한 지역이 많으므로 실정에 맞도록 최대종단경사의 검토가 필요하다.

본 연구에서는 차량의 성능의 개선과 도로 설계자가 당면한 결정의 문제를 인식하고 세계 각국의 지형과 최대종단경사 적용기준을 비교하여 우리나라의 최대종단경사의 적정성을 확인한다. 또한, 교통시뮬레이션 프로그램을 이용하여 차량의 성능향상에 따른 새로운 트럭 성능곡선을 토대로 최대종단경사를 판단한 결과 1~2% 정도 종단경사 완화가 가능한 것으로 판단한다.

In determining vertical grades in highway alignment design, engineers usually consider heavy vehicle performances on the upgrade. Heavy vehicles usually experience speed reduction on the upgrade and with recent years weight/horsepower improvements for heavy vehicles the speed reduction shows some change. However, in spite of the weight to horsepower improvements for the design vehicles from 300lb/HP to 200lb/HP in the AASHTO, there was no change in the maximum vertical grades. Therefore, a review of the maximum vertical grade reflecting existing heavy vehicle performances is required. In particular, in South Korea where highways pass through lots of mountaineous terrain, the maximum vertical grades must be reviewed throughly.

In this study the amount of heavy vehicle performances during past decades were investigated and their expected impacts on highway vertical alignment designs were subsequently analyzed. A worldwide terrain analysis and international design standards were compared to set South Korean vertical grade standards. Traffic flow simulation Vissim was utilized to simulate vehicular flows on the upgrade and new truck performance curves on the grades were developed. Based on the new curve, it was decided that 1~2% increase of the maximum vertical grades could be allowed.

본 연구는 친환경,지능형 도로설계 기술개발 연구단(건설핵심D05-01)을 통하여 지원된 건설교통부 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도로 건설시 여러 설계제원 중에서 최대종단경사는 노선을 주행하는 승용차와 화물차간의 속도차이를 내는 주요 요인이다. 도로의 최대종단경사는 차량의 등판능력에 따라 좌우된다. 따라서, 과거에 비해 차량의 성능이 좋아졌기 때문에 도로의 최대종단경사는 조정되어야 한다. 하지만, <표 1>에서와 같이 설계 기준 트럭이 300lb/hp에서 200lb/hp로 성능이 상승했음에도 불구하고, 최대 종단경사는 거의 변화가 없다. 다만, 설계속도의 범위가 넓어지고, 설계속도 제시값이 세분화되었을 뿐이다. 이런 점을 고려할 때, 차량의 성능 향상을 고려한 최대종단경사 조정의 검토가 필요한 실정이다. 특히 국내의 지형은 산악지가 많고, 험준한 지역이 많으므로 실정에 맞도록 최대종단경사의 검토가 더욱 필요하다.

본 연구에서는 차량의 성능의 개선과 도로 설계자가 당면한 결정의 문제를 인식하고 세계 각국의 지형과 최대종단경사 적용기준을 비교하여 우리나라의 최대종단경사의 적용의 현황을 분석한다. 또한, 교통시뮬레이션 프로그램을 이용하여 차량의 성능에 따른 적정 최대종단경사의 적정성을 판단한다.

본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 2007년 3월 기준 한국의 대표트럭의 성능과 중량을 선정한다.

- 선정된 대표트럭의 오르막에서의 새로운 트럭성능 곡선을 산출한다.
- 새로운 트럭성능 곡선을 토대로 최대종단경사 적용의 완화 정도를 확인한다.

2. 연구의 범위와 방법

1) 연구 범위

본 연구에서는 다음과 같은 연구범위를 갖는다.

(1) 시간적 범위

- 대표트럭 선정 : 2007년 3월 기준
- 현장조사 자료 : 2006년

(2) 공간적 범위

- 우리나라 일반국도 4차로 도로 (진입속도의 결정)
- 직선부 상향 경사구간 (시뮬레이션 네트워크 설정)

(3) 내용적 범위

- 국내의 지형상황과 최대종단경사 적용치의 비교
- 대표 트럭의 선정
- 오르막경사에서의 트럭의 힘의 관계를 토대로 최대 가속도의 산정
- 새로운 트럭의 성능 곡선 도출 및 최대종단경사 적용의 완화정도 산출

2) 연구의 수행방법

본 연구에서는 차량의 성능의 개선에 따른 최대 종단

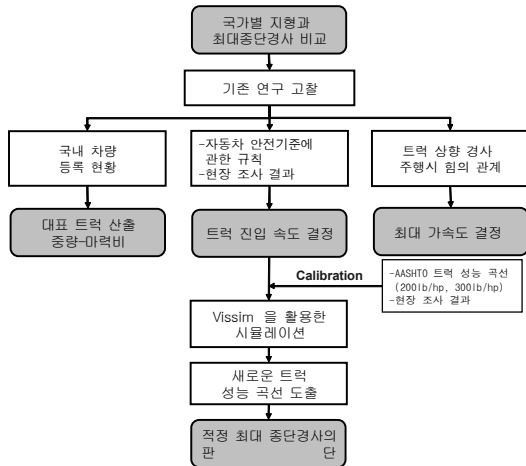
<표 1> 최대 종단경사의 비교(AASHTO_1990, AASHTO_2004, MOCT_2000)

Functional Classification		Maximum Grade for Design Speed in Mountainous Area											
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
AASHTO (1990)	Freeway	-	-	-	-	-	-	6	-	6	5	-	-
	Arterial	-	-	-	-	8	-	7	-	6	5	-	-
	Collector		12	-	10	10	-	9	-	8	6	-	-
	Local		16	-	14	12	-	10	-	-	-	-	-
AASHTO (2004)	Freeway	-	-	-	-	-	-	6	6	6	5	-	-
	Arterial	-	-	-	-	8	7	7	6	6	5	5	5
	Collector	-	12	11	10	10	10	9	9	8	-	-	-
	Local	17	16	15	14	13	12	10	10	-	-	-	-
MOCT (2000)	Freeway	-	-	-	-	-	-	6	6	5	5	4	-
	Arterial	-	-	9	8	8	7	7	6	6	-	-	-
	Collector	-	12	11	10	10	10	9	-	-	-	-	-
	Local	16	16	15	14	13	-	-	-	-	-	-	-

주 : AASHTO(1990) 설계기준 트럭 : 300lb/hp (180kg/kW), AASHTO(2004) 설계기준트럭 : 200lb/hp (120kg/kW)
 자료 : AASHTO, "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", 1990, p.423, p.472, p.496, p.585
 AASHTO, "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets"-Fifth Edition, 2004, p.382, p.423, p.446, p.506
 건설교통부, "도로의 구조시설에 관한 규칙", 2000, p.178

경사 적용기준의 적정성을 판단하기 위하여 새로운 트럭 성능 곡선 산출을 위한 다음과 같은 연구 방법을 설정한다.

〈그림 1〉은 본 연구의 수행 과정도 이다.



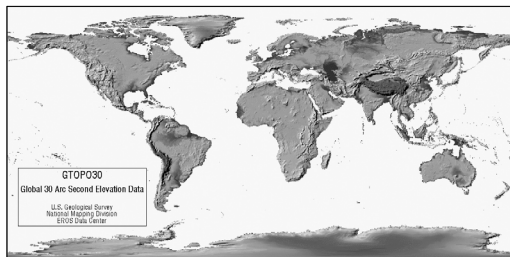
〈그림 1〉 본 연구의 수행 과정도

II. 국내외 지형상황과 최대종단경사 기준의 비교

본 연구에서는 세계 각국의 지형과 최대종단경사 적용기준을 비교하여 우리나라의 최대종단 경사 적용의 현황을 판단했다.

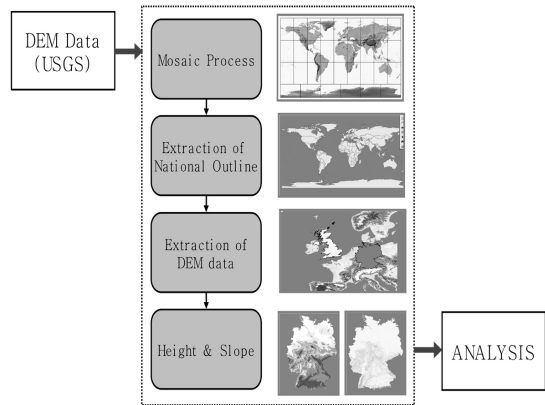
1. 분석 방법

본 연구에서의 분석방법은 〈그림 2〉 과 같이 미국 USGS (U.S Geological Survey)에서 제공하는 DEM (Digital Elevation Model)자료를 바탕으로 국가별 고도와 경사도를 분석하였다.



〈그림 2〉 USGS 제공하는 DEM

〈그림 3〉은 분석과정을 도식화 한 것이다.



〈그림 3〉 데이터 분석 과정

2. 지형상황과 최대종단경사 기준의 비교

〈표 2〉는 국가별 경사도와 고도 분포를 나타낸 것이다. 국가별로 지형상황에 따라 최대 종단 경사는 다르게 적용할 수 있다고 본 연구에서는 착안하였으나 간선도로급의 설계속도 60km/h를 기준으로 적용하는 최대 종단 경사를 비교 하였을 때 최대 종단경사는 7~10% 범위로 거의 비슷하였다. 이 결과는 설계 기준 트럭이 200lb/hp로 국가별로 상이하지 않기 때문이라고 판단한다.

III. 기존 연구 고찰

본 연구에서는 기존의 연구 결과를 검토하여 트럭 주행 특성을 이해하고, 트럭 성능 곡선 산출 과정을 분석하여 새로운 트럭 성능 곡선 산출을 위한 연구 방법을 설정한다.

1. Huff와 Scrivner (1955)

Huff 등은 발전된 형태의 트럭 성능 곡선을 개발했는데 그는 주로 수식에 의해 트럭 성능 곡선을 도출하였다. 대표트럭의 중량/마력비 값은 391lb/hp를 사용하였고 진입속도는 75km/h를 적용하였다(11). 지금 현재 우리나라 도로의 구조 시설기준에 관한 규칙이 설계 기준 트럭이 200lb/hp임을 고려한다면 Huff 등의 연구는 이론적 검토에만 도움이 될 것이다.

〈표 2〉 국가별 지형 특성과 최대종단경사

경사도(°) \ 구성비(%)	한국	일본	미국	캐나다	영국	독일	호주
0~1도	20.9	19.9	56.3	55.4	52.2	59.2	85.0
1~3도	31.6	28.0	23.5	22.4	32.2	30.3	10.7
3~5도	20.3	18.7	8.0	8.4	9.6	7.2	2.5
5~10도	22.4	24.6	8.7	8.9	5.3	2.6	1.4
10~15도	4.6	7.1	2.6	3.0	0.7	0.4	0.2
15~20도	0.3	1.5	0.7	1.2	0.1	0.2	0.1
20~30도	0.0	0.2	0.2	0.6	0.0	0.1	0.0
30도 이상	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
고도(m) \ 구성비(%)	한국	일본	미국	캐나다	영국	독일	호주
0~20m	10.0	6.4	3.7	2.9	6.9	10.3	2.0
20~50m	9.7	6.7	3.2	3.7	10.8	14.4	3.0
50~100m	13.2	14.2	5.1	5.5	29.1	15.6	10.8
100~200m	20.1	14.9	9.6	16.4	26.6	11.1	20.3
200~300m	14.5	12.0	11.8	14.3	9.3	10.1	20.5
300~500m	17.0	17.7	17.0	26.4	13.6	24.2	27.3
500~700m	8.4	11.4	8.0	12.1	3.2	10.2	13.1
700~1000m	5.9	9.2	9.3	7.8	0.5	3.4	2.5
1000~1500m	1.3	5.5	13.2	6.9	0.0	0.7	0.4
1500~2000m	0.0	1.5	10.7	3.2	0.0	0.1	0.0
2000m~3000m	0.0	0.4	7.7	0.7	0.0	0.0	0.0
3000m 이상	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
평균경사(°)	3.8	4.5	2.2	2.5	1.8	1.5	0.9
평균고도(m)	199.1	205.2	165.1	244.7	162.9	217.5	279.0
최대종단경사(%)	8	7	8	7	8	8	10

2. Archilla와 Fernandez (1996)

Archilla 등은 트럭의 주행 시 작용하는 힘에 관련된 요소들을 식으로 정리하고 식에 포함된 매개변수의 추정을 위해 현장조사를 실시하였다. 이를 통하여 아르헨티나의 일반국도 조건에 맞는 트럭 성능 곡선 산출식을 정립하였다. 이 산출식에서 추정된 매개변수와 관련된 변수들은 공기저항, 타이어의 회전시 도로면과의 마찰저항, 브레이크 마력 동력계수이다. 그가 사용한 대표트럭은 현장 통행 자료를 이용한 것으로 전체 아르헨티나 트럭 구성비 중 50, 85%에 해당하는 224lb/hp, 312lb/hp였으며 경사지 진입속도는 100km/h로 제시하였다. 추정된 매개변수와 선정된 대표트럭을 이용하여 성능 곡선을 제시하였다⁷⁾. 본 연구에서는 트럭 구성비 산정하는 방법이 이 연구에서 활용 하였다.

3. 유경수 등(1997)

이 연구에서는 국내 자동차 등록현황표와 성능 제원표를 이용하여 90백분위 수에 해당하는 90kg/kw (150lb/hp)의 값을 대표트럭으로 결정하였다. 대표트

럭의 성능 곡선 도출을 위해 15ton 덤프 트럭의 적재량을 조정하여 대표트럭의 중량/마력비와 동일하게 맞추었고, 실제 경사지가 있는 고속도로를 주행하여 국내 트럭 성능 곡선을 제시하였다²⁾. 이 연구를 통하여 국내 트럭의 10년 전 성능을 알 수 있었다.

4. 최재성 등 (2001)

대표트럭의 선정을 자동차 등록현황과 현장조사를 토대로 결정하였고 현장조사를 토대로 트럭 성능 곡선 산출식의 매개변수를 산출 하였다. 대표트럭을 180lb/hp로 정하였고 트럭의 진입속도는 100km/h로 선정하여 추정된 매개변수를 이용하여 트럭의 성능 곡선을 제시하였다³⁾. 본 연구에서는 이 연구에서 제시한 화물차 상향주행시 저항력중 공기저항의 매개변수를 활용한다.

IV. 대표트럭의 선정 및 최대가속도 산출

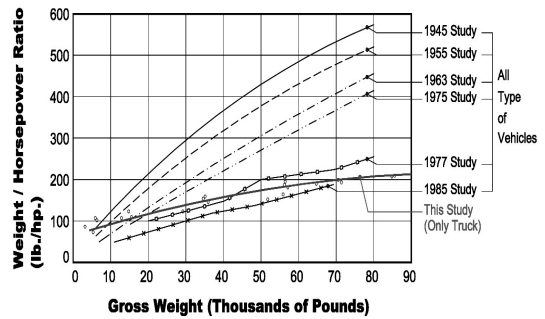
본 연구에서는 국내 자동차 등록현황과 차량의 제원표를 활용하여 우리나라의 대표트럭을 산출한다. 또한, 화물

차 성능곡선에서 큰 영향을 미치는 최대가속도를 오르막 경사 주행시 트럭의 힘의 작용의 관계를 통하여 산출하도록 한다.

1. 대표트럭의 선정

국내의 대표트럭 선정은 <표 3>와 같이 건설교통부에서 제공하는 자동차 등록현황(2007년 3월)에 입각하여 대표트럭을 결정한다. 본 연구에서는 현장조사에 의한 보정은 생략하였고 현재 등록된 화물차의 차종 구성비와 현재 우리나라의 화물차의 대부분을 공급하고 있는 현대 및 대우 상용차의 제원표를 토대로 대표트럭의 중량-마력비를 산출하였다. 조사차량 중 중량-마력비 값이 가장 높은 트럭을 선정하여 대표 트럭 성능의 여유를 확보한다.

<그림 4>는 AASHTO_1990¹⁾에서 제시하고 있는 연도에 따른 화물차를 포함한 차량의 중량-마력 비의 경향과 본 연구에서 제시하는 트럭을 함께 나타낸 것이다. 여



<그림 4> 차량의 성능 비교

기에서 우리나라와 미국은 1980년 중반 이후부터 차량의 중량-마력비가 200lb/hp수준에 도달한 것을 알 수 있다.

현재 국내 대표트럭은 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(2000)에서는 200lb/hp로, 미국의 AASHTO와 같이 동일하게 적용하고 있다.

<표 3> 우리나라 자동차 등록현황 및 성능 제원표

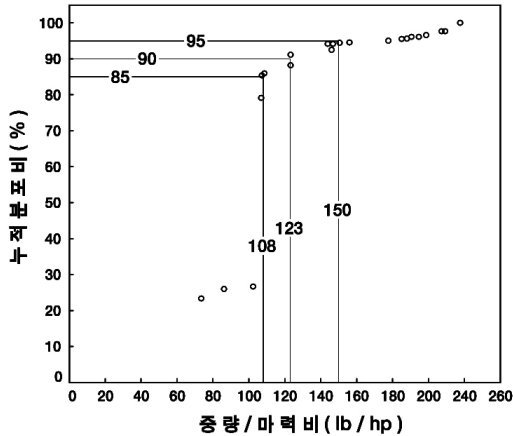
차종	차량 중량 (kg)	차량 총 중량		차량마력		중량/마력		차량대수 (대)	조사 차량	구성비 (%)		
		(kg)	(lb)	(kw)	(hp)	kg/kw	lb/Hp					
일반형	픽업	765	1,445	3,186	28	37	52	86	83,580	1t	2.70	
	카고형	1t 이하	1,000	2,665	5,875	41	55	65	107	1,627,519	1t	52.50
		3t 이하	2,790	5,835	12,864	89	120	65	107	193,517	1.4t, 2.5t	6.24
		5t 미만	3,015	6,710	14,793	89	120	75	123	91,610	3.5t, 4t, 4.5t	2.95
		8t 미만	6,100	13,240	29,189	177	237	75	123	69,592	5t, 5.5t, 7t	2.24
		10t 미만	7,305	15,935	35,131	165	221	97	159	9,885	8t, 8.5t, 9.5t	0.32
		12t 미만	9,780	25,910	57,122	236	316	110	181	14,997	11t, 11.5t	0.48
12t 이상	13,340	38,470	84,812	305	409	126	207	32,975	12t, 14t, 16t, 19t, 19.5t, 25t	1.06		
덤프형	1t 이하	1,000	2,880	6,349	46	62	62	102	19,191	1t	0.62	
	5t 미만	3,545	7,045	15,532	107	143	66	109	17,805	2.5t	0.57	
	12t 미만	8,170	16,300	35,935	183	246	89	146	6,577	8t, 8.5t	0.21	
	12t 이상	13,700	38,810	85,561	305	409	127	209	382	15t	0.01	
밴형	1,000	2,430	5,357	54	73	45	73	724,075		23.36		
화물특수용도형	청소차	11,500	25,500	56,218	224	300	114	187	17,118		0.55	
	노면청소차	12,500	25,600	56,438	216	290	118	195	707		0.02	
	살수차	12,050	25,355	55,898	254	340	100	164	846		0.03	
	소방차	11,145	29,365	64,739	254	340	116	190	3,501		0.11	
	냉장, 냉동차	9,850	10,070	22,201	76	102	132	218	72,271		2.33	
	곡물, 사료운반	7,955	15,695	34,602	168	225	94	154	1,277		0.04	
	유조차	11,500	32,380	71,386	276	370	117	193	14,861		0.48	
	탱크로리	12,000	31,990	70,526	265	355	121	199	12,382		0.40	
	화물특수용도용(기타)	8,000	23,500	51,809	254	340	93	152	85,569		2.76	
합계								3,100,237		100.00		

자료 : 건설교통부, 차종별 자동차 등록현황, 2007.3
 현대자동차, <http://www.hyundai-motor.com/>
 대우자동차, <http://www.tata-daewoo.com/ver3/intro.html>

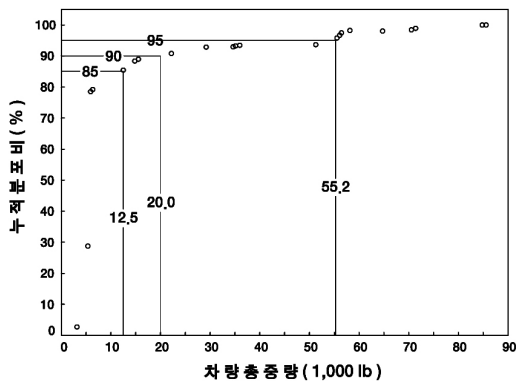
1) AASHTO, "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", 1990, p.232

〈표 4〉 국내 대표트럭의 중량-마력비

누적분포(백분위수)		85	90	95
중량/마력	kg/kW	66	75	91
	lb/hp	108	123	150



〈그림 5〉 국내 트럭의 중량-마력비 누적 분포도



〈그림 6〉 국내 트럭의 차량 총중량 누적 분포도

또한 유경수 등(1997)은 대표트럭의 중량-마력비를 150lb/hp으로 하는 연구결과를 발표하였고, 최재성 등(2001)은 180lb/hp로 선정하였다. 이러한 연구 결과를 참고로 본 연구에서는 95백분위 수인 150lb/hp를 국내 표준 트럭으로 선정하였다.

한편, 〈그림 6〉은 우리나라 대표 트럭의 총중량을 알기 위한 것이다. 국내 트럭의 차량 총중량 누적 분포도에서 알 수 있듯이 95백분위수인 차량 총중량은 25,000kg(55,200lb)이다. 따라서, 본 연구에서는 Simulation

시 25,000kg를 대표 트럭으로 선정하고 시뮬레이션 시 대표트럭의 중량으로 입력한다.

2. 진입속도의 결정

트럭이 상향 경사구간을 진입하게 되면 진입 전에 가속을 시작하여 그 탄력으로 경사지를 주행하려는 것이 일반적인 경향이다²⁾. 그러나 이 속도는 순간적으로 나타나는 것이기 때문에 현장조사가 쉽지 않다. 이에 본 연구에서는 현장조사 결과와 건설교통부령 “자동차 안전기준에 관한 규칙”(05.8.10)에 규정하고 있는 최대속도와 현장조사 결과를 토대로 트럭의 경사지 진입속도로 정하였다.

1) 현장조사 결과

트럭의 오르막 경사 진입속도를 산출하기 위해 평지부 직선구간의 나타내는 속도를 활용하였다. 직선구간의 속도는 한국건설기술연구원의 일반국도 상시 교통량조사지점에서 수집되는 자료를 이용하였다. 〈표 5〉는 차량간 주행속도에 미치는 영향을 최소화 할 수 있는 비침투 시간대를 시간적 범위로 하여 양방향 4차로를 대상으로 나타낸 결과이다.

〈표 5〉 트럭 경사지 진입속도 현장조사 결과

행정 구역	구간	노선	1차로 (km/h)	2차로 (km/h)	평균 (km/h)
경기	남양주-별내	43호선	91	89	90
강원	원주-문막	42호선	92	88	90
충북	청원-남이	17호선	88	86	87
충남	금산-추부	37호선	95	91	93
경북	안동-풍산	34호선	95	85	95
경남	마산-내서	5호선	82	72	78
전북	임실-관촌	17호선	93	87	90
전남	고흥-풍양	27호선	92	88	90
85백분위 수			93.3	89.8	92.1

2) 자동차 안전기준에 관한 규칙

건설교통부령 “자동차 안전기준에 관한 규칙”(05.8.10) 제54조 제2항 1호 및 2호를 참고하여 최대속도를 90km/h로 규정하고 있다.

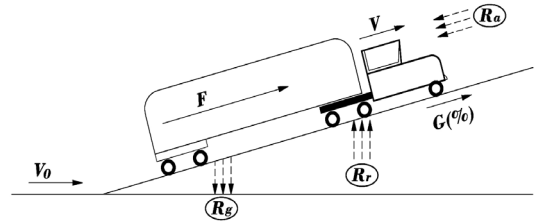
본 연구에서는 이러한 “자동차 안전기준에 관한 규칙”의 제시되어 있는 트럭의 최대속도와 트럭의 현장조사 속도 결과를 토대로 트럭의 경사지 진입속도를 90km/h로 정하였다.

2) NCHRP(1978)에서는 다차로도로의 회망속도를 55mph로 Huff 등은 47mph, Archilla 등과 최재성 등은 100km/h로 설정

〈표 6〉 자동차 안전기준에 관한 규칙 일부 개정령(05.8.10)

제54조 제2항 제1호및제2호 를 각각 다음과 같이 하고, 동 조제3항제1호중 "100킬로미터"를 "110킬로미터"로 하며, 동 항제2호중 "80킬로미터"를 "90킬로미터"로 한다.

1. 차량총중량이 10톤 이상인 승합자동차
2. 차량총중량이 16톤 이상 또는 최대적재량이 8톤 이상인 화물자동차 및 특수자동차(피견인차를 연결한 경우에는 연결한 견인자동차를 포함한다)



〈그림 7〉 트럭의 상향 경사 주행 개념도

3. 최대 가속도의 산출

트럭이 상향 경사지를 주행할 때 작용하는 힘의 종류와 관계는 식(1)과 같으며 개념도는 〈그림 7〉과 같다.

$$F = F_t - R \tag{1}$$

여기서, F : 트럭에 작용하는 힘(kg · m/s²)
 Ft : 트럭의 견인력(kg · m/s²)
 R : 트럭에 작용하는 저항(kg · m/s²)

1) 트럭의 견인력

트럭의 견인력은 식(2)와 같이 나타 낼 수 있다. 본 연구에서는 중량-마력비를 고려하는 트럭의 견인력을 나타내는 수식이므로 우항처럼 변환한다.

$$F_t = \eta \frac{P}{V} = \eta \frac{mg}{(W/P)V} \tag{2}$$

여기서, η : 동력 효율 계수
 m : 트럭의 질량(kg)
 W/P : 중량/마력비
 P : 엔진 마력(kg · 중 · m/s²)
 V : 트럭의 속도(m/s)

위의 수식은 차량이 주행 중 트럭의 견인력을 나타낸 수식이고, 차량이 정지한 상태에서 움직일때는 식(3)과 같은 견인력을 발휘한다.

$$F_{max} = M_{ta} g \mu \tag{3}$$

여기서, Mta : 견인축이 부담하는 차량의 무게(kg)
 μ : 타이어와 포장면의 마찰계수 (0.6)³⁾

따라서, 트럭에 작용하는 힘을 하나의 수식으로 표현하면 식(4)와 같다.

3) Fitch, J.W., Motor Truck Engineering Handbook, Society of Automotive Engineer, 4th Edition, 1994

Pavement type	Rolling coefficients		Friction coefficients
	Pavement condition	Cr	
Concrete	Excellent	1.00	0.80
	Good	1.50	0.70
	Poor	2.00	0.60
Asphalt	Good	1.25	0.60
	Fair	1.75	0.50
	Poor	2.25	0.40
Macadam	Good	1.50	0.55
	Fair	2.25	0.45
	Poor	3.75	0.35
Cobbles	Ordinary	5.50	0.50
	Poor	8.50	0.40
Snow	2"	2.50	0.20
	4"	3.75	0.15
Dirt	Smooth	2.50	0.30
	Sandy	3.75	0.20
Sand	Level soft	6.0~15.0	0.15
	Dume	16.0~30.0	0.10

$$F = \min(F_t, F_{\max}) \tag{4}$$

W : 트럭의 중량(kg · m/s²)

2) 주행중 발생하는 저항

트럭이 주행할 때 발생하는 저항의 힘은 크게 공기저항, 구름저항, 등판저항으로 나눌 수 있다.

(1) 공기 저항 (Air Resistance)

공기저항에 관련한 국내의 많은 연구가 있다. 최근, NCHRP⁴⁾에서는 공기저항에 관련한 모형식을 식(5)와 같이 제시하고 있다.

$$R_a = 1.1DC_DAV^2 \tag{5}$$

여기서, D : 공기밀도 (lb/ft³)
 CD : 항력계수
 A : 트럭 전면의 단면적 (ft²)
 V : 트럭의 진행방향 속도 (mph)

본 연구에서는 국내의 최재성 등(2001)이 제시한 식(6)의 공기 저항력을 사용한다.

$$R_a = kV^2 \tag{6}$$

여기서, k : 매개변수 (2.59kg · kg/m)⁵⁾
 V : 트럭의 진행방향 속도 (m/s)

(2) 구름 저항 (Rolling Resistance)

구름저항은 타이어 회전 시의 속도로 인해 노면에서 나타나는 마찰저항을 의미한다. 식(7)은 구름저항을 나타낸 것이다.

$$R_r = C_r(c_1V + c_2) \cdot \frac{W}{1,000} \tag{7}$$

여기서, C_r : 차량과 노면의 저항계수 (1.25)
 c₁, c₂ : 타이어의 구름 저항 계수 (0.04375, 4.575)

한편, 최근, NCHRP⁶⁾에서도 회전저항에 대한 경험식을 식(8)과 같이 제시하고 있다.

$$\begin{aligned} R_{r,1} &= 0.001(4.1+0.255V) \text{ for radial tire} \\ R_{r,2} &= 0.001(5.3+0.044V) \text{ for mixed tire} \\ R_{r,3} &= 0.001(6.6+0.046V) \text{ for bias tire} \end{aligned} \tag{8}$$

여기서, V : 트럭의 진행방향 속도 (mph)

본 연구에서는 Fitch(1994)가 제안한 식(7)에 의한 값을 활용한다.

(3) 등판 저항 (Gradient Resistance)

중력저항은 차량의 중량과 경사에 의하여 결정되며 식(9)와 같다.

$$R_g = W \cdot G \tag{9}$$

여기서, W : 트럭의 중량(kg · m/s²)
 G : 경사도(m/100m)

3) 최대 가속도 산출

최대 가속도는 식(10)에 의하여 산출 할 수 있다.

$$a = \frac{F-R}{M} \tag{10}$$

여기서, a : 최대 가속도 (m/s²)
 F : 트럭의 견인력 (N=kg · m/s²)
 R : 주행중 발생하는 저항 (N=kg · m/s²)
 M : 트럭의 질량(kg)

본 연구에서는 식(10)에 의하여 시간의 변화에 따른 트럭의 최대 가속도를 산출한다. 시간의 변화에 따른 가속도를 산출하기 위하여 식(10)을 식(11)과 같은 형태로 변환 할 수 있다.

4) NCHRP, Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design, 2003, p.55
 5) 최재성 등, 우리나라 일반국도의 화물차 성능 곡선 산출식 정립, 대한교통학회지, 2001, p.125
 6) NCHRP, Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design, 2003, p.54

〈표 7〉 최대 가속도 계산의 예 (25,000kg, 5%, 150lb/hp)

시간 (s)	거리 (m)	가속도 (m/s ²)	견인력 (N)	경사도 (%)	저항력 (N)
1	0	1.9	58,800	5	11,161
2	2	1.9	58,800	5	11,171
3	5	1.9	58,800	5	11,199
4	11	1.2	40,296	5	11,246
5	17	0.9	33,212	5	11,283
6	25	0.7	29,321	5	11,317
7	33	0.6	26,748	5	11,347
8	42	0.5	24,881	5	11,375
9	51	0.5	23,445	5	11,401
10	61	0.4	22,298	5	11,426
11	71	0.4	21,355	5	11,449
12	82	0.4	20,562	5	11,471
13	93	0.3	19,885	5	11,492
14	104	0.3	19,298	5	11,512
15	116	0.3	18,784	5	11,531

〈표 8〉 타 연구와의 비교 (최대가속도)

구분	최대가속도 (m/s ²)	중량-마력비 (lb/hp)	비고
FHWA ⁷⁾	1.2	300	속도변화 없음 경사 : 0%
ASCE ⁸⁾	1.6	200	속도변화 있음 경사 : 6%
본 연구	1.9	150	속도변화 있음 경사 : 5%

$$a(t_i) = \frac{F(t_i) - R(t_i)}{M} \quad (11)$$

여기서, $t_i = t_0 + i\Delta t \quad i = 1, 2, \dots, n$

$$\begin{cases} \dot{v}(t_i) \\ \dot{x}(t_i) \end{cases} = \begin{cases} a(t_i) \\ v(t_i) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} v(t_i) &= v(t_{i-1}) + a(t_{i-1})\Delta t \\ x(t_i) &= x(t_{i-1}) + v(t_{i-1})\Delta t \end{aligned}$$

따라서, 식 (11)를 이용하여 중량-마력비와 차량의 무게(kg) 그리고 경사를 고려한 화물차의 최대 가속도를 구할 수 있다.

〈표 7〉은 본 연구에서 제시한 대표트럭의 중량-마력비 150lb/hp, 중량을 25,000kg, 경사도를 5%로 했을

때 최대 가속도를 결정한 예이다.

본 연구에서 제시한 대표트럭의 최대가속도를 적정성을 판단하기 타 연구에서 제시한 것을 비교할 필요가 있다. 〈표 8〉은 미국 FHWA와 ASCE 연구에 나와 있는 트럭의 최대 가속도를 비교한 것이다.

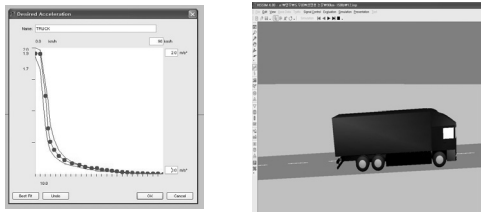
V. 새로운 트럭 성능 곡선 정립

본 연구에서는 IV장에서 산출한 입력변수를 토대로 Micro-Simulation 프로그램인 Vissim을 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그리하여 차량의 성능의 개선(200lb/hp → 150lb/hp)를 고려한 우리나라의 최대중단경사의 적정성을 판단하고자 한다.

1. 입력 변수

차량의 중량, 진입속도, 중량-마력비, 경사도 그리고 최대가속도값을 변화시켜 화물차가 경사와 중량-마력비에 따라 속도의 변화가 어떻게 되는 지 알아보기 위함이다. 〈그림 8〉은 Vissim상에서 가속도의 설정과 시뮬레이션을 나타낸 것이다.

7) FHWA, Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software, 2004
 8) Hesham R. etc, Vehicle Dynamics Model For Predicting Maximum Truck Acceleration Levels, ASCE Vol.127, Iss. 5, 2001, p.418-p.425

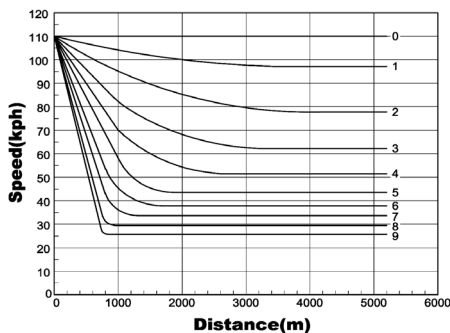
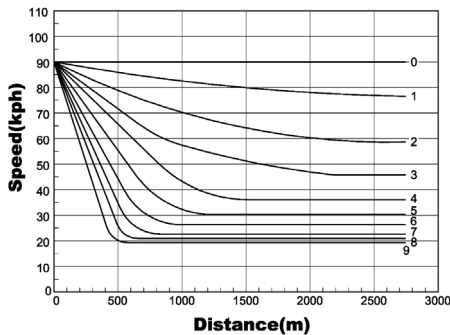


〈그림 8〉 최대 가속도의 설정 및 Simulation

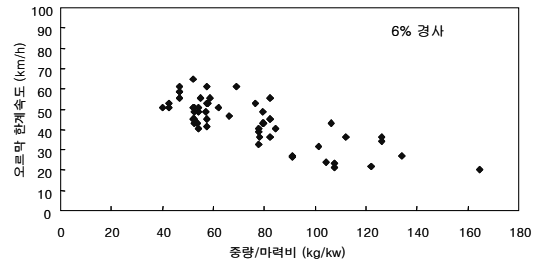
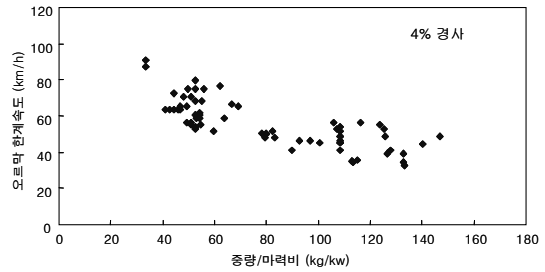
입력변수	
- 차량의 중량	: 25,000kg
- 진입속도	: 90km/h
- 중량-마력비	: 300lb/hp, 200lb/hp, 150lb/hp
- 경사도	: 1%~12%
- 최대가속도	: 경사도와 중량-마력비에 따른 산출값

2. 모형의 정산

본 연구에서는 시뮬레이션 결과의 현실성을 반영하기 위해 AASHTO에서 제시하고 있는 300lb/hp, 200lb/hp의 설계기준트럭의 트럭성능 곡선과 최재성 등(2001 연구9)에서 제시하고 있는 현장조사 한 결과를 토대로 정산을



〈그림 9〉 트럭의 성능 곡선 (AASHTO)_200lb/HP & 300lb/HP



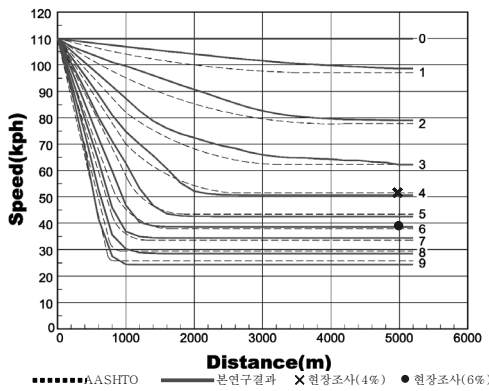
〈그림 10〉 중량/마력비에 따른 오르막 한계속도

실시하였다. 현장조사가 현실상 어려운 가운데서, 본 연구에서는 AASHTO(1990, 2004)에서 각각 300lb/hp, 200lb/hp의 트럭 성능 곡선을 활용하였고, 본 연구에서도 출된 결과값에 대하여 검증이 가능한 현장조사로 최재성 등(2001) 연구의 현장조사 데이터가 활용이 가능하다고 판단하였다. 〈그림 9〉는 각각 AASHTO(1990, 2004)의 트럭 성능 곡선이고 〈그림 10〉은 종단경사 4%와 6%에서 차량성능에 따라 나타난 오르막 한계속도를 나타낸 것이다.

3. 정산 결과

〈그림 11〉는 AASHTO(2004)와 현장조사 결과를 본 연구에서 산출한 경사도별 트럭의 성능곡선을 비교한 것이다. 그림에서 보듯이 종단경사 1~4%의 경우는 본 연구에서 제시한 값은 AASHTO(2004)에 비하여 완만하게 속도가 떨어짐을 알 수 있다. 즉, 완만한 경사(4% 미만)에서는 본 연구의 모형속도가 높게 측정될 수 있고 4.6%정도의 오차율을 보인다. 하지만, 종단경사 4%이상의 경우는 AASHTO(2004)와 유사한 패턴을 보인다. 또한 트럭이 4%와 6% 경사 주행시 200lb/HP 오르막 한계속도 현장조사 결과와 일치하는 결과를 보인다.

9) 최재성 등, 우리나라 일반국도의 화물차 성능 곡선 산출식 정립, 대한교통학회지, 2001, p.127

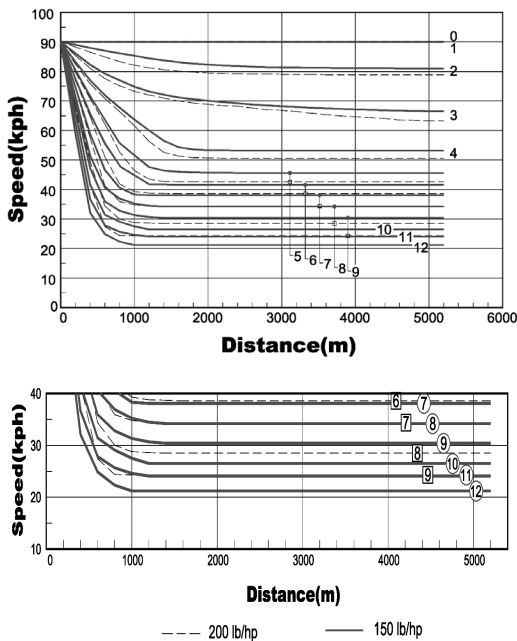


〈그림 11〉 정산 결과 (AASHTO_2004 & 현장조사 & 본연구)

본 연구에서는 이러한 정산 결과를 바탕으로 중량-마력비가 150lb/hp인 국내 대표 트럭의 성능 곡선을 도출할 수 있다.

4. 차량 성능을 고려한 최대중단경사의 고찰

〈그림 12〉는 현재 설계기준 차량인 200lb/hp와 본 연구의 대표트럭인 150lb/hp의 트럭 성능 곡선을 나타



〈그림 12〉 트럭의 성능 곡선 (200lb/hp Vs. 150lb/hp)

낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이, 200lb/hp 성능의 트럭이 9% 경사와 경사길이에 따른 속도저하 수준을, 150lb/hp 성능의 트럭은 11% 경사와 그 이상의 경사 길이에서 비슷한 양상을 보인다.

본 연구에서는 〈그림 12〉의 결과에서 알 수 있듯이, 설계 기준 트럭이 150lb/hp 상향 조정 된다면 최대 중단경사의 경우 1~2%정도 중단경사 완화가 가능한 것으로 판단한다.

Ⅵ. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 차량의 성능의 개선과 도로 설계자가 당면한 결정의 문제를 인식하고 세계 각국의 지형과 최대중단경사 적용기준을 비교하여 우리나라의 최대중단경사의 적정성을 판단하였다. 또한, 새로운 트럭 성능 곡선을 산출하여 최대 중단 경사의 여유 정도를 확인하였다. 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 내렸다.

- 대표트럭의 중량-마력비는 150lb/hp로 산정
- 트럭의 진입속도는 90km/h로 가정
- 트럭의 상향 경사지에서의 힘의 작용의 분석에 따른 최대가속도 산정
- 국내 트럭(150lb/hp) 성능 곡선을 제시
- 최대 중단 경사 적용의 1~2% 여유값 확인

본 연구에서 도출한 결과는 최대 중단 경사와 오르막 차로 설치 등과 같은 설계기준들을 차량 성능 개선에 따른 세부적인 연구의 필요성을 제기한다. 하지만, 본 연구에서 제시한 값들에 대한 세부적인 현장조사에 따른 검증이 이루어져야 할 것이며 중단경사의 길이제한과 내리막 차로에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침”, 건설교통부, pp.46~48.
2. 유경수, 장명순, 서영찬, 박재범(1997), “한국형 트럭 성능 곡선 개발 연구”, 대한교통학회지, 제15권 제4호, 대한교통학회, pp.22~34.
3. 최재성, 김영록(2001), “우리나라 일반국도의 화물차 성능 곡선 산출식 정립”, 대한교통학회지, 제

- 19권, 제6호, pp.119~129.
4. 한국도로공사(1995), "트럭 성능 조사 분석 연구", 한국도로공사 도로연구실.
 5. AASHTO(1990), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C.
 6. AASHTO(2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C.
 7. Adrian Ricardo Archilla and Aristides Osvaldo Fernandez De Cieza(1996), "Truck Performance on Argentinean Highways", TRR1555, TRB, pp.114~123.
 8. FHWA(2004), "Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Micro-simulation Modeling Software", FHWA.
 9. Fitch, J.W.(1994), "Motor Truck Engineering Handbook", Society of Automotive Engineer, 4th Edition.
 10. Hesham R., Ivana L., Sergio J. D., Jose Reynaldo S. and Michel V. A.(2001), "Vehicle Dynamics Model For Predicting Maximum Truck Acceleration Levels", ASCE Vol. 127 Iss.5, pp.3418~425.(저자확인하기)
 11. Huff.T.S. and F.H.Scrivener(1955), "Simplified Climbing Lane Design Theory and Road Test Results", Bulletin 104, Highway Research Board.
 12. NCHRP(2003), "Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design", TRB, pp.49~56.
 13. Thomas D. Gillespie(1986), "Methods for Predicting Truck Speed loss on Grades", FHWA.

✉ 주 작성 자 : 김상엽
 ✉ 교 신 저 자 : 최재성
 ✉ 논문투고일 : 2007. 5. 19
 ✉ 논문심사일 : 2007. 6. 17 (1차)
 2007. 7. 31 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2007. 7. 31
 ✉ 반론접수기한 : 2008. 2. 29