

차량성능을 고려한 최대종단경사 합리화 연구

Theoretical Review of Highway Grades Considering Vehicle Performances

김 상 업

(서울시립대학교 박사과정)

최 재 성

(서울시립대학교 교수)

이 승 용

(서울시립대학교 석사과정)

목 차

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적
2. 연구의 범위와 방법

II. 국내외 지형상황과 최대종단경사 기준의 비교

1. 분석 방법
2. 지형상황과 최대종단경사 기준의 비교

III. 기존 연구 고찰

1. Huff & Scrivner (1955)
2. Archilla와 Fernandez (1996)
3. 유경수 등(1997)
4. 최재성 등 (2001)

IV. 시뮬레이션 입력변수 설정

1. 대표트럭의 선정
2. 진입속도의 결정
3. 최대 가속도의 산정

V. 시뮬레이션 분석결과

1. 입력 변수
2. 모형의 정산
3. 정산 결과
4. 차량 성능을 고려한 최대종단경사의 고찰

VI. 결론 및 향후연구과제

참 고 문 헌

I. 서 론

1. 연구배경 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 없

다. 다만, 설계속도의 범위가 넓어지고, 설계속도 제시값이 세분화되었을 뿐이다. 즉, 차량의 성능 향상을 고려한 최대종단경사 조정의 검토가 필요한 실정이다. 특히 국내의 지형은 산악지가 많고, 험준한 지역이 많으므로 실정에 맞도록 최대종단경사의 검토가 더욱 필요하다.

한편, 완만한 경사는 차량간 속도차가 작게 발생하지만, 큰 공사비가 필요하다. 반면에 급격한 경사는 차량간 속도차이는 발생하지만, 상대적으로 적은 공사비가 든다. 이러한 상황에서 도로 설계자는 최적의 종단경사를 결정하는 문제에 당면하게 된다.

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

Fucntional 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

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.

2. 연구의 범위와 방법

1) 연구 범위

본 연구에서는 직선부 상향 경사구간을 공간적 범위로 설정하여 다음과 같은 연구 범위 및 가정 하에서 진행하였다.

□ Simulation Data 구축

- Vissim : 평균 상향 경사 1%~12%

□ 국가별 GIS data 구축

- USGS data 활용

- 우리나라, 일본, 미국, 캐나다, 영국, 독일, 호주

□ 새로운 트럭 성능 곡선 산출

- 트럭의 속도에 영향을 미치는 요소들은 공기저항, 타이어의 구름저항, 등판저항이 고려되었으며 운전자의 심리 상태나 기어 변속에 따른 속도변화는 고려하지 않음

2) 연구의 수행방법

본 연구에서는 차량의 성능의 개선에 따른 최대 종단경사 적용기준의 적정성을 판단하기 위하여 새로운 트럭 성능 곡선 산출을 위한 연

구 방법을 설정한다.

<그림 1>은 본 연구의 수행 과정도 이다.

□ 기존 연구 고찰

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

□ 대표 트럭 선정

대표트럭은 국내 자동차 등록현황을 토대로 차량 제작 시 중량/마력비를 산출하여 한국의 대표 트럭을 산출한다.

□ 트럭의 경사지 진입속도 결정

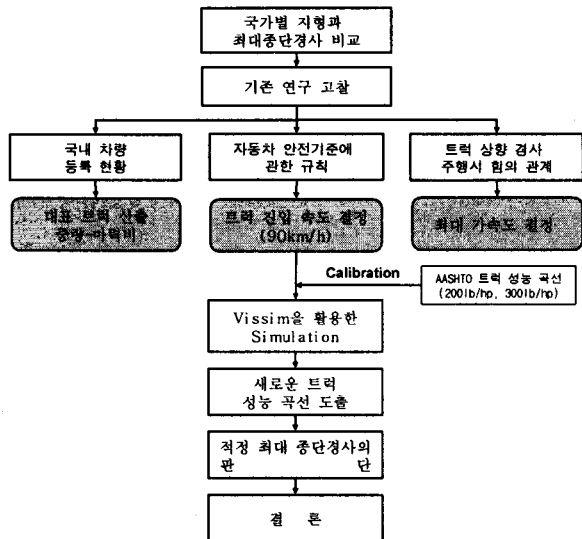
건설교통부령 "자동차 안전기준에 관한 규칙"(05.8.10) 제 54조 제 2항 1호 및 2호에서는 우리나라에서 화물자동차의 최대속도를 90km/h 정하고 있으므로 이 속도를 트럭의 경사지 진입속도로 한다.

□ 최대 가속도의 결정

화물차 성능곡선에서 큰 영향을 미치는 최대 가속도의 경우는 상향경사 주행시 힘의 작용에서 알 수 있는 견인력과 저항력 개념으로부터 주행속도별 최대 가속도를 산출한다.

□ 시뮬레이션

중량/마력비와 트럭의 진입속도, 최대 가속도를 바탕으로 Vissim을 활용한 시뮬레이션을 하였다. 모형의 정산을 위하여 AASHTO의 트럭 성능 곡선 (200lb/hp, 300lb/hp)를 활용하였다.



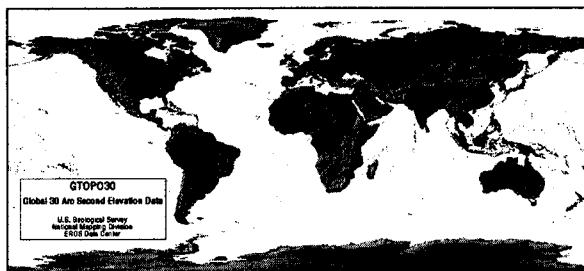
<그림 1> 본 연구의 수행 과정도

II. 국내외 지형상황과 최대종단경사 기준의 비교

세계 각국의 지형과 최대종단경사 적용기준을 비교하여 우리나라의 최대종단 경사 적용의 현황을 판단한다.

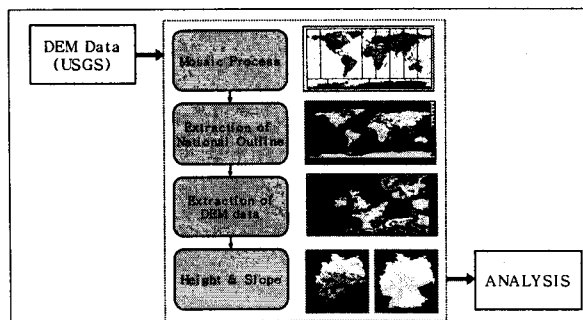
1. 분석 방법

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 달리 적용할 수 있다고 본 연구에서는 착안하였나 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.

<표 2> 국가별 지형 특성과 최대종단경사

경사도(%)	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			
표고(%)	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		0.1	0.0
2000m-3000m		0.4	7.7	0.7			
3000m 이상			0.7	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

III. 기존 연구 고찰

1. Huff & Scrivner (1955)

Huff등은 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. 지금 현재 우리나라 도로의 구조 시설기준에 관한 규칙이 설계 기준 트럭이 200lb/hp임을 고려한다면 Huff등의 연구는 이론적 검토에만 도움이 될 것이다.

2. Archilla와 Fernandez (1996)

Archilla등은 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 진입 속도는 100km/h로 제시하였다. 추정된 매개변수와 선정된 대표트럭을 이용하여 성능 곡선을 제시하였다. 본 연구에서는 트럭 구성비 산정하는 방법을 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. 대표트럭의 성능 곡선 도출을 위해 15ton 덤프 트럭의 적재량을 조정하여 대표트럭의 중량/마력비와 동일하게 맞추었고, 실제 경사지가 있는 고속도로를 주행하여 국내 트럭 성능 곡선을 제시하였다. 이 연구를 통하여 국내 트럭의 10년 전 성능을 알 수 있었다.

4. 최재성 등 (2001)

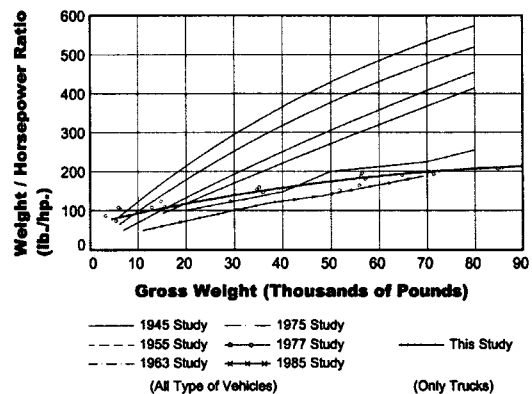
대표트럭의 선정은 자동차 등록현황과 현장 조사를 토대로 결정하였고 현장조사를 토대로 트럭 성능 곡선 산출식의 매개변수를 산출 하였다. 대표트럭을 180lb/hp로 정하였고 트럭의 진입속도는 100km/h로 산정하여 추정된 매개변수를 이용하여 트럭의 성능 곡선을 제시하였다. 본 연구에서는 이 연구에서 제시한 화물차 상향 주행시 저항력중 공기저항의 매개변수를 활용한다.

IV. 시뮬레이션 입력변수 설정

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



<그림 4> 차량의 성능 비교

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

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.

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

<표 3> 우리나라 자동차 등록현황 및 성능 제원표

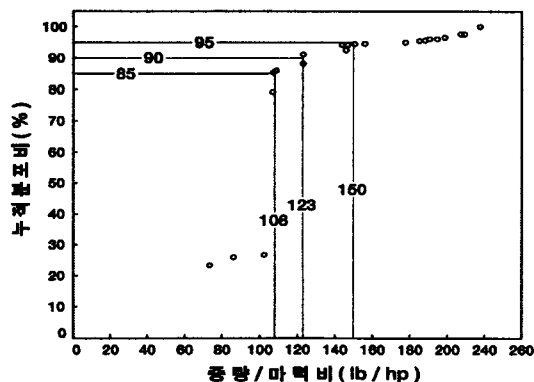
차종	차량 중량 (kg)	차량 총 중량		차량마력		중량/마력		차량대수 (대)	조사 차량	구성비 (%)	
		(kg)	(lb)	(kw)	(hp)	kg/kw	lb/HP				
픽업	765	1,445	3,186	28	37	52	86	83,580		2.70	
일반형 카고형	1t 이하	1,000	2,665	5,875	41	55	65	107	1,627,519	1t	52.50
	3t 이하	2,790	5,835	12,864	89	120	65	107	193,517	1.4t, 2.5t	6.24
	5t 미만	3,015	6,710	14,793	89	120	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	
화물 특수 용도 형	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>

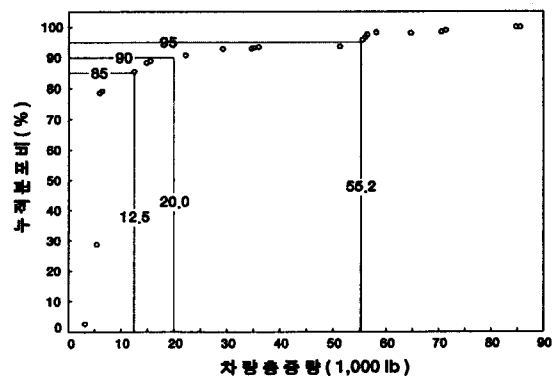
<표 4> 국내 대표트럭의 중량-마력비

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

한편, <그림 6>는 우리나라 대표 트럭의 총 중량을 알기 위한 것이다. 국내 트럭의 차량 총 중량 누적 분포도에서 알 수 있듯이 95백분위수인 차량 총중량은 25,000kg(55,200lb)이다. 따라서, 본 연구에서는 Simulation시 25,000kg를 대표 트럭으로 산정한다.



<그림 5> 국내 트럭의 중량-마력비 누적 분포도



<그림 6> 국내 트럭의 차량 총중량 누적 분포도

2. 진입속도의 결정

트럭이 상향 경사구간을 진입하게 되면 진입 전에 가속을 시작하여 그 탄력으로 경사지를 주행하려는 것이 일반적인 경향이다.²⁾ 그러나 이 속도는 순간적으로 나타나는 것이기 때문에 현장조사가 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 건설교통부령 “자동차 안전기준에 관한 규칙”(05.8.10) 제 54조 제 2항 1호 및 2호를 참고하여 최대속도를 90km/h로 규정하고 있어, 이 속도를 트럭의 경사지 진입속도로 정하였다.

<표 5> 자동차 안전기준에 관한 규칙 일부 개정령(05.8.10)

제54조 제2항 제1호및제2호 를 각각 다음과 같이 하고, 동조제3항제1호중 “100킬로미터”를 “110킬로미터”로 하며, 동항제2호중 “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)

3. 최대 가속도의 산정

트럭이 상향 경사지를 주행할 때 작용하는 힘의 종류와 관계는 수식(1)과 같으며 개념도는 <그림 7>과 같다.

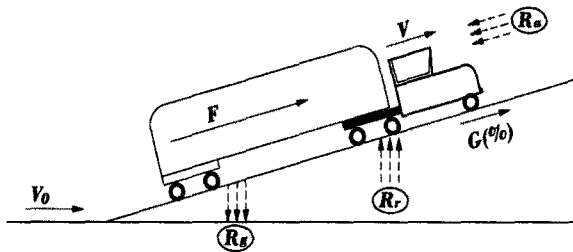
$$F = F_t - R \quad (1)$$

여기서,

F : 트럭에 작용하는 힘(kg · m/s²)

F_t : 트럭의 견인력(kg · m/s²)

R : 트럭에 작용하는 저항(kg · m/s²)



<그림 7> 트럭의 상향 경사 주행 개념도

1) 트럭의 견인력

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

럼 변환한다.

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

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 수식(3)과 같은 견인력을 발휘한다.

$$F_{max} = M_{ta}g\mu \quad (3)$$

여기서,

M_{ta} : 견인축이 부담하는 차량의 무게(kg)

μ : 타이어와 포장면의 마찰계수 (0.6)³⁾

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

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

2) 주행중 발생하는 저항

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

가. 공기 저항 (Air Resistance)

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

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

Pavement type	Rolling coefficients		Friction coefficients
	Pavement condition	C _r	
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

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

4) NCHRP, Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design, 2003, p.55

$$R_a = 1.1DC_D A V^2 \quad (5)$$

여기서,

D : 공기밀도 (lb/ft³)

C_D : 항력계수

A : 트럭 전면의 단면적 (ft²)

V : 트럭의 진행방향 속도 (mph)

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

$$R_a = k V^2 \quad (6)$$

여기서,

k : 매개변수 (2.59kg · m/s⁵)

V : 트럭의 진행방향 속도 (m/s)

나. 구름 저항 (Rolling Resistance)

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

$$R_r = C_r (c_1 V + c_2) \cdot \frac{W}{1,000} \quad (7)$$

여기서,

C_r : 차량과 노면의 저항계수 (1.25)

c₁, c₂ : 타이어의 구름 저항 계수(0.04375, 4.575)

W : 트럭의 중량(kg · m/s²)

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

$$\begin{aligned} R_{r1} &= 0.001(4.1 + 0.255V) \text{ for radial tire} \\ R_{r2} &= 0.001(5.3 + 0.044V) \text{ for mixed tire} \quad (8) \\ R_{r3} &= 0.001(6.6 + 0.046V) \text{ for bias tire} \end{aligned}$$

여기서,

V : 트럭의 진행방향 속도 (mph)

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

다. 등판 저항 (Gradient Resistance)

중력저항은 차량의 중량과 경사에 의하여 결정되며 수식(9)와 같다.

$$R_g = W \cdot G \quad (9)$$

여기서,

W : 트럭의 중량(kg · m/s²)

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

G : 경사도(m/100m)

3) 최대 가속도 산출

최대 가속도는 수식(10)에 의하여 산출할 수 있다.

$$a = \frac{F - R}{M} \quad (10)$$

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 수식 (10)에 의하여 시간의 변화에 따른 트럭의 최대 가속도를 산출한다. 시간의 변화에 따른 가속도를 산출하기 위하여 수식(10)을 수식(11)과 같은 형태로 변환할 수 있다.

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

여기서,

t_i = t₀ + iΔt i = 1, 2, ..., n

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

v(t_i) = v(t_{i-1}) + a(t_{i-1})Δt

x(t_i) = x(t_{i-1}) + v(t_{i-1})Δt

따라서, 수식 (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 6>은 미국 FHWA와 ASCE 연구에 나와 있는 트럭의 최대 가속도를 비교한 것이다.

<표 6> 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%

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

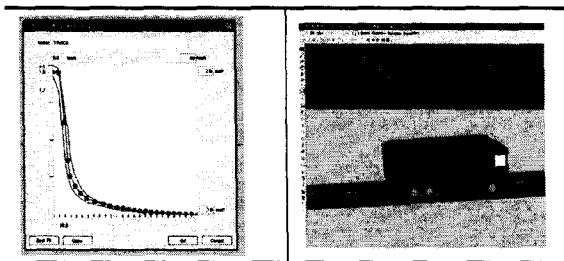
시간 (s)	속도 (km/h)	거리 (m)	가속도 (m/s ²)	견인력 (N)	경사도 (%)	저항력 (N)
1	0	0	1.9	58,800	5	11,161
2	6	2	1.9	58,800	5	11,171
3	13	5	1.9	58,800	5	11,199
4	20	11	1.2	40,296	5	11,246
5	24	17	0.9	33,212	5	11,283
6	27	25	0.7	29,321	5	11,317
7	30	33	0.6	26,748	5	11,347
8	32	42	0.5	24,881	5	11,375
9	34	51	0.5	23,445	5	11,401
10	35	61	0.4	22,298	5	11,426
11	37	71	0.4	21,355	5	11,449
12	38	82	0.4	20,562	5	11,471
13	40	93	0.3	19,885	5	11,492
14	41	104	0.3	19,298	5	11,512
15	42	116	0.3	18,784	5	11,531

V. 시뮬레이션 분석결과

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



<그림 8> 최대 가속도의 설정 및 Simulation

7) FHWA, Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software, 2004

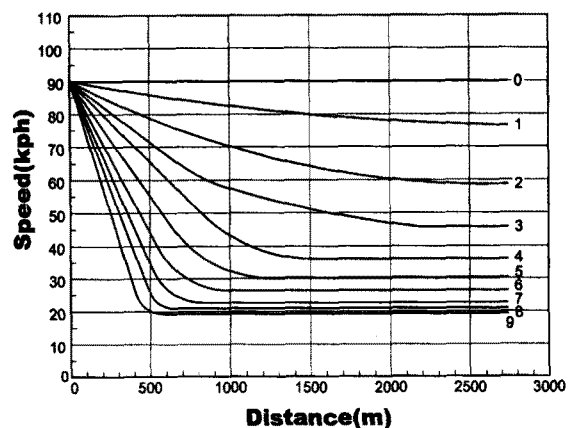
8) Hesham R. etc, Vehicle Dynamics Model For Predicting Maximum Truck Acceleration Levels, ASCE Vol.127, Iss. 5, 2001, p.418-p.425

입력변수

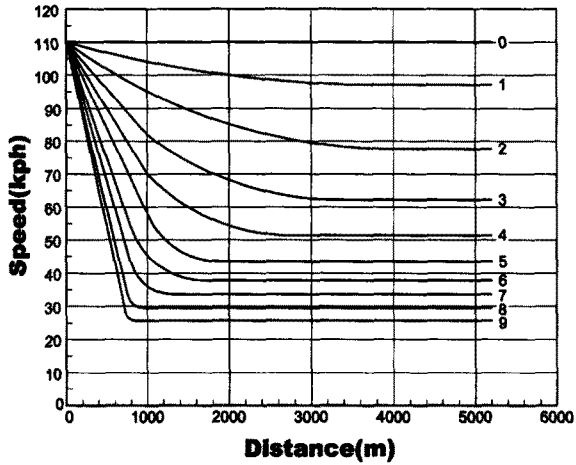
- 차량의 중량 : 25,000kg
- 진입속도 : 90km/h
- 중량-마력비 : 300lb/hp, 200lb/hp, 150lb/hp
- 경사도 : 1%~12%
- 최대가속도 : 경사도와 중량-마력비에 따른 산출값

2. 모형의 정산

본 연구에서는 Simulation의 결과의 현실성을 반영하기 위해 300lb/hp, 200lb/hp의 트럭을 대상으로 정산과정을 거쳤다. 두 가지 중량-마력비의 트럭을 이용하여 본 연구의 모형치를 정산한 이유는 AASHTO(1990, 2004)에서 각각 300lb/hp, 200lb/hp의 트럭 성능 곡선이 제시되어 있기 때문이다. <그림 9>과 <그림 10>은 각각 AASHTO(1990, 2004)의 트럭 성능 곡선이다.



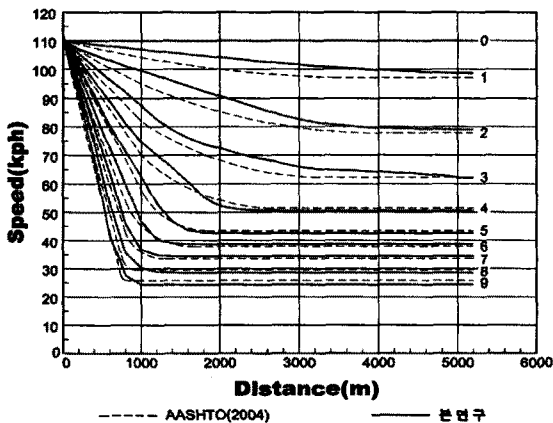
<그림 9> 트럭의 성능 곡선 (AASHTO_1990, 300lb/hp)



<그림 10> 트럭의 성능 곡선 (AASHTO_2004, 200lb/hp)

3. 정산 결과

<그림 11>은 AASHTO(2004)와 본 연구에서 출한 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 모형 속도가 높게 측정될 수 있다. 하지만, 종단경사 4%이상의 경우는 AASHTO(2004)와 비슷한 패턴을 보인다.

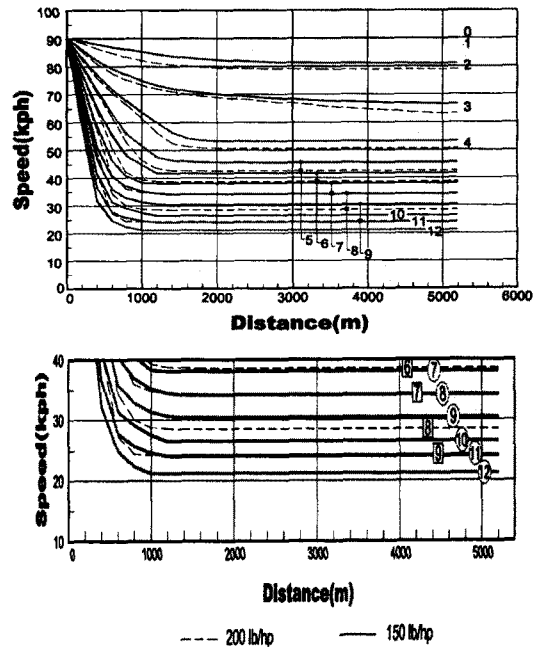


<그림 11> 정산 결과 (AASHTO_2004 Vs. 본연구)

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

4. 차량 성능을 고려한 최대종단경사의 고찰

<그림 12>는 현재 설계기준 차량인 200lb/hp와 본 연구의 대표트럭인 150lb/hp의 트럭 성능 곡선을 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이, 200lb/hp 성능의 트럭이 9% 경사와 경사길이에 따른 속도저하 수준을, 150lb/hp 성능의 트럭은 11% 경사와 그 이상의 경사길이에서 비슷한 양상을 보인다.



<그림 12> 트럭의 성능 곡선 (200lb/hp Vs. 150lb/hp)

본 연구에서는 <그림 12>의 결과에서 알 수 있듯이, 설계 기준 트럭이 150lb/hp 상향 조정된다면 최단 종단경사의 경우 1~2%정도 허용이 가능하다고 판단한다.

VI. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 차량의 성능의 개선과 도로 설계자가 당면한 결정의 문제를 인식하고 세계 각국의 지형과 최대종단경사 적용기준을 비교하여 우리나라의 최대종단경사의 적정성을 판단하였다. 또한, 새로운 트럭 성능 곡선을 산출하여 최대 종단 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 종단 경사 적용의 1~2% 여유값 확인

하지만, 본 연구에서 제시한 값은 기존문헌을 검토한 결과값이나 시뮬레이션 결과 값을 활용 하였으므로 현장조사를 통한 세부적인 검증이 필요하며 종단경사의 길이제한에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

< 참고 문 헌 >

1. 건설교통부(2000), "도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침", 건설교통부, p46-p48.
2. 유경수, 장명순, 서영찬, 박재범(1997), "한국형 트럭 성능 곡선 개발 연구", 대한교통학회지, 제15권 제4호, p.22-p.34.
3. 최재성, 김영록(2001), "우리나라 일반국도의 화물차 성능 곡선 산출식 정립", 대한교통학회지, 제19권, 제6호, p.119-p.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, p.114-p.123.
8. FHWA(2004), "Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation 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, p3418-p.425.
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, p.49-p.56.
13. Thomas D. Gillespie(1986), "Methods for Predicting Truck Speed loss on Grades", FHWA.