

■ 論 文 ■

우리 나라 일반국도의 화물차 성능 곡선 산출식 정립

Development of Truck Performance Curves for Upgrade on Highways

최재성

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

김영록

(한국건설기술연구원 연구원)

목 차

I. 서론	2. 경사지 진입속도 산출
1. 연구 배경 및 목적	3. 트럭에 작용하는 힘의 관계식
2. 연구 범위 및 접근방법	4. 오르막 한계속도 산출식 정립 및 매개변수 추정
II. 기존 연구 검토	5. 트럭 성능 곡선 산출식 정립
1. Willey, E. W.(1949)	IV. 검증
2. Huff와 Scrivner(1955)	1. 기존 연구 결과와의 비교
3. Archilla와 Fernandez(1996)	2. 현장조사 결과와의 비교
4. 유경수 등(1997)	V. 결론
III. 한국형 트럭 성능 곡선 산출식 정립	참고문헌
1. 대표트럭의 선정	

Key Words : 트럭 성능 곡선, 중량/마력비, 대표트럭, 경사지 진입속도, 오르막 한계속도

요 약

본 연구는 국내의 화물차(이하 트럭) 특성, 도로 조건과 주행 저항이 고려된 트럭 성능 곡선 산출식의 매개변수를 추정하기 위하여 수행되었다. 이를 위해 국내 대표트럭을 선정하고 경사지 진입속도를 산출하였다. 국내 대표트럭의 선정은 자동차 등록현황 자료를 토대로 하여 트럭 중량/마력비에 대한 누적 분포를 작성하고 이 중에서 주요 차종(적재 중량 11톤 이상)의 총중량은 과적 검문소 자료로 보정하여 이루어졌다. 경사지 진입속도는 도(道) 별 평지부 직선 구간을 한 곳씩 선정하여 4차로도로와 2차로도로에서 수집되는 자료를 분석하여 산출하였다. 트럭 성능 곡선 산출식을 정립하기 위해 오르막 한계속도(V_c) 산출식을 정리한 뒤 총중량(W), 엔진성능(P), 경사도(G)는 독립 변수로 k, f_{rc}, f_{rv}, ϕ 는 매개변수로 설정하였다. 현장조사를 통해서 오르막 한계속도에 도달한 트럭의 총중량과 엔진성능, 속도, 경사도 등의 자료를 수집하여 매개변수 산출에 이용하였다. 마지막으로 추정된 매개변수를 이용하여 트럭 성능 곡선을 도출하였다.

1. 서론

1. 연구 배경 및 목적

일반적으로 승용차 교통류에 트럭이 출현하게 되면 지체가 발생하기 마련이며 특히 상향 경사 도로 구간에서는 더욱 심해질 수 있다. 트럭 출현 시 발생하는 교통류 변화를 알아내는 것은 교통 운영이나 설계에서 대단히 중요하다. 국내에서 이 부문에 관련된 연구는 매우 적어 미국 등 외국에서 개발된 연구 결과를 그대로 사용하는 실정이다.

외국의 경우 1950년대부터 상향 경사구간의 트럭 주행속도를 산출해 내기 위한 많은 연구가 수행되었다. 미국에서는 AASHTO 도로설계기준인 A Policy on Geometric Design of Highways and Streets가 대표적이며 Highway Capacity Manual 정립 단계시에도 트럭의 승용차 환산계수를 산정하기 위해 트럭의 상향 경사구간 속도에 대해 많은 연구가 이루어졌다. 그 결과는 상향 경사구간에서 트럭 성능 곡선으로 요약되어 기본 설계 자료로 사용중이다.

본 연구의 목적은 우리 나라의 트럭 성능 특성과 일반국도의 기하구조 조건에 맞는 트럭 성능 곡선을 산출할 수 있는 수식(Gillespie, 1992 : Archilla 등, 1996)의 매개변수를 추정하는 것이다.

2. 연구 범위 및 접근 방법

1) 연구 범위

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

- 현장조사 대상지
 - 2차로도로 : 평균 상향 경사 4.7%
 - 4차로도로 : 평균 상향 경사 4.0%, 5.8%
- 현장 수집 자료
 - 트럭의 중량, 엔진성능
 - 중량/마력비 별 오르막 한계속도(Crawl Speed)¹⁾

- 트럭 성능 곡선 산출식 정립 시 고려된 요소

트럭의 속도에 영향을 미치는 요소들은 공기저항, (타이어의)회전저항, 중력(경사)저항이 고려되었으며 운전자의 심리 상태나 기어 변속에 따른 속도 변화는 고려하지 않았다.

2) 연구 접근 방법

본 연구에서는 상향 경사구간에서의 트럭 속도 변화를 예측하기 위하여 다음과 같은 접근 방법을 사용하였다.

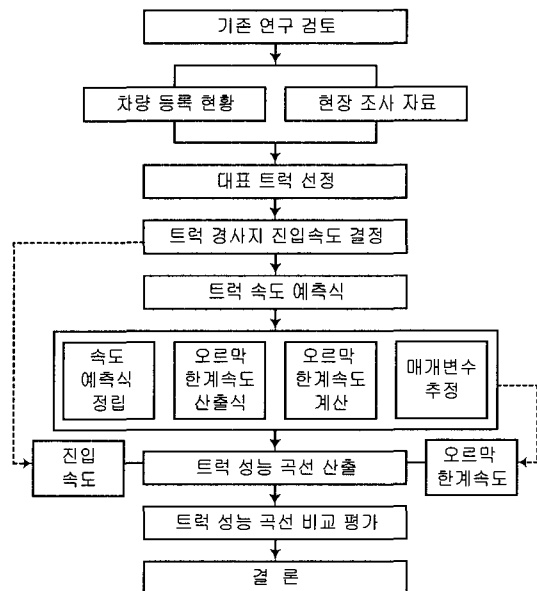
〈그림 1〉은 본 연구의 수행 과정도이다.

- 기존 연구 검토

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

- 대표트럭 선정

대표트럭은 국내 자동차 등록현황을 토대로 차량 제작 시 중량/마력비를 산출하고, 실제 도로 주행 트럭의 중량/마력비를 산출할 때 구분 기준이 되도록 한다.



〈그림 1〉 연구 수행 과정도

1) 일정한 경사의 오르막 차로에서 유지될 수 있는 최대 지속 속도를 말한다(TRB(1985)).

• 트럭의 경사지 진입속도 결정

경사지 진입속도는 트럭이 상향 경사구간에 진입하기 전에 가능한 한 많이 가속한다는 가정 하에 국내도(道)별로 한 지점씩을 선정, 수집된 현장조사 자료를 분석하여 결정한다.

• 트럭 성능 곡선 산출식 및 매개변수 산정

트럭 속도 변화에 영향을 미치는 여러 가지 영향요소 및 변수들을 통해 오르막 한계속도 산출식을 정립한 뒤 현장조사 자료를 이용하여 매개변수 값을 산정한다. 그 후 산정된 매개변수를 적용하여 트럭 성능 곡선을 산출한다.

• 트럭 성능 곡선 도출 결과의 비교 분석

본 연구에서 산출한 트럭 성능 곡선과 기존 연구결과 및 실제 도로 주행 트럭의 성능 곡선을 비교 평가한다.

II. 기존 연구 검토

1. Willey, E. W.(1949)

Willey는 트럭을 중량 대 브레이크 마력 값을 이용하여 네 가지 그룹으로 분류한 뒤, 비교적 성능이 떨어지는 3번째, 4번째 그룹을 대표트럭으로 선정하였다. 그는 경사지 진입속도, 진행 거리, 오르막 한계속도를 조사하여 1,000ft 당 속도 감속률을 계산한 후, 2%, 5%, 6%에 대한 트럭 성능 곡선을 작성하였고 3%, 4%, 7%에 대해서는 작성된 성능 곡선을 토대로 보간하여 완성하였다. 경사지 진입속도는 모든 경사도에 대해서 47mph를 적용하였다(Glennon 등, 1969).

2. Huff와 Scrivner(1955)

Huff 등은 Willey의 트럭 성능 곡선을 이용하여 좀 더 발전된 형태를 개발했는데 그는 주로 수식에 의해 트럭 성능 곡선을 도출하였다. 대표트럭의 중량/마력비 값은 391lb/hp를 사용하였으며, 이것이 Willey의 연구와 다른 점이다. 경사지 진입속도는 47mph로 동일하게 사용하였다(Glennon 등, 1969).

3. 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 회전시도로 면과의 마찰저항, 브레이크 마력 동력계수이다. 그가 사용한 대표트럭은 현장 통행 자료를 이용한 것으로 전체 아르헨티나 트럭 구성비 중 50, 85백분위수에 해당하는 136, 190kg/kw였으며 경사지 진입속도²⁾는 100km/h로 제시하였다. 추정된 매개변수와 선정된 대표트럭으로 트럭 성능 곡선을 제시하였다(Archilla 등, 1996).

4. 유경수 등(1997)

이는 최근 국내에서 발표된 연구로, 국내 자동차 등록현황표와 성능 제원표를 이용하여 90백분위수에 해당하는 90kg/kw(150lb/hp)의 값을 대표트럭으로 결정하였다. 대표트럭의 성능 곡선 도출을 위해 15톤 덤프 트럭의 적재량을 조정하여 대표트럭의 중량/마력비와 동일하게 맞추었고, 실제 경사지가 있는 고속도로를 주행하게 하여 국내 트럭 성능 곡선을 제시한 바 있다(유경수 등, 1997).

III. 한국형 트럭 성능 곡선 산출식 정립

1. 대표트럭의 선정

1) 선정 방법

국내의 대표트럭 선정은 언급한 방법대로 자동차 등록현황과 성능 제원 목록표를 이용하여 각 차종의 구성비를 산출한 뒤 과적 검문소 조사에 의해 주요 트럭의 총중량을 보정하고 이에 따라 최종 대표트럭을 결정했다.

2) 대표트럭 결정

우리 나라 자동차 등록현황에서는 <표 1>과 같이

2) Archilla 등(1996)은 트럭이 하향 2%경사에서 최대 속도를 낸다는 가정 하에 동일한 현장에서 수집한 자료를 이용하였다.

〈표 1〉 우리나라 자동차 등록현황 및 성능 제원표³⁾

차 종	적재정량 (kg)	총중량		엔진마력		중량/마력비		차량 대수	구성비 (%)
		kg	lb	kw	hp	kg/kw	lb/hp		
화물카고 1톤 이하	1,000	2,665	5,875	41	55	65	107	1,383,926	72.2
화물카고 3톤 이하	1,415	5,415	11,938	75	100	72	119	180,483	9.4
화물카고 5톤 미만	4,250	6,760	14,903	60	80	113	186	57,219	3.0
화물카고 8톤 미만	5,000	12,500	27,558	112	150	111	184	56,215	2.9
화물카고 10톤 미만	8,415	15,370	33,885	135	181	114	187	10,947	0.6
화물카고 12톤 미만	11,165	24,520	54,058	210	281	117	192	16,656	0.9
화물카고 12톤 이상	12,665	38,890	85,738	307	410	127	209	17,473	0.9
화물덤프 1톤 이하	1,000	2,880	6,349	46	62	62	102	13,129	0.7
화물덤프 5톤 미만	2,665	5,495	12,114	76	102	72	119	16,470	0.9
화물덤프 12톤 미만	8,165	15,490	34,150	136	182	114	188	6,410	0.3
화물덤프 12톤 이상	15,165	36,835	81,208	277	370	133	219	301	0.0
화물특수용도형(청소차)	11,500	9,925	21,881	76	102	130	215	11,445	0.6
화물특수용도형(노면청소차)	12,500	25,600	56,439	217	290	118	195	236	0.0
화물특수용도형(살수차)	12,050	25,355	55,898	254	340	100	164	747	0.0
화물특수용도형(소방차)	11,145	29,365	64,739	254	340	115	190	2,428	0.1
화물특수용도형(냉장, 냉동차)	9,850	10,070	22,201	76	102	132	218	43,577	2.3
화물특수용도형(곡물, 사료운반)	7,955	15,695	34,602	168	225	93	154	1,395	0.1
유조차(휘발유)	5,650	8,860	19,533	79	105	113	186	160	0.0
유조차(등유, 경유)	7,980	25,345	55,876	254	340	100	164	3,375	0.2
유조차(빙커C유)	11,500	32,380	71,386	277	370	117	193	26	0.0
유조차(기타)	11,500	32,310	71,232	277	370	117	193	7,761	0.4
탱크로리(식수, 음료)	7,500	20,920	46,121	217	290	96	159	24	0.0
탱크로리(압축가스)	12,000	31,990	70,526	266	355	120	199	507	0.0
탱크로리(화공약품)	9,500	26,230	57,828	254	340	103	170	31	0.0
탱크로리(기타)	9,500	26,260	57,894	239	320	110	181	13,054	0.7
화물특수용도형(기타)	8,000	23,500	51,809	254	340	92	152	43,372	2.3
구난차 5톤 이하	4,655	8,615	18,993	128	171	67	111	6,838	0.4
구난차 10톤 미만	4,655	10,285	22,675	128	171	80	133	73	0.0
구난차 10톤 이상	12,500	23,930	52,757	180	240	133	220	15	0.0
견인차 10톤 이상	12,250	25,950	57,210	254	340	102	168	21,252	1.1
특수작업형(고소작업차)	3,465	6,995	15,421	76	102	92	151	1,273	0.1
특수작업형(고가사다리소방차)	12,560	27,190	59,944	247	330	110	182	175	0.0
차량대수 합계								1,916,993	100

차종을 분류하고 있으나 이는 현실과 차이가 있다. 예를 들어, 화물 카고 12톤 이상의 항목은 12톤에서부터 25톤 트럭 이상이 포함되기 때문에 대표적인 중량/마력비 결정이 쉽지 않다. 본 연구에서는 〈표 1〉에서 분류된 차종 항목 중에서 중량/마력비 값이 가장

높은 트럭을 선정하여 등록현황 자료로 이용하였다.

〈표 2〉는 현장조사 결과와 등록현황과의 차이를 비교하고 있는데, 견인차 10톤 이상의 차종이 많은 차이를 보이고 있기 때문에 이를 등록현황 자료에 제 적용하였다. 현장 트럭의 중량/마력비를 반영한 국내 트럭의

3) 교통신문(2000. 7). 자동차 등록현황.. 한국 자동차 공업협회(1997). 한국의 자동차.

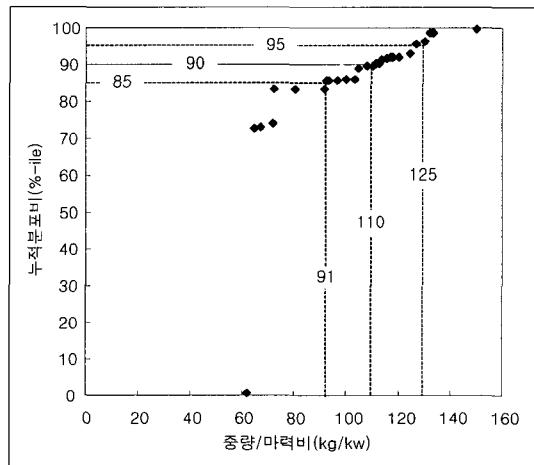
〈표 2〉 등록현황 대 현장조사 결과

항목	차중 구분	화물카고	화물카고	화물덤프	견인차
		12톤 미만	12톤 이상	12톤 이상	10톤 이상
총중량 (kg)	등록현황	24,520	38,890	36,835	25,950
	현장조사	22,642	32,622	33,099	38,644
엔진성능 (kw)	등록현황	210	307	277	254
	현장조사	239	276	289	258
중량/마력 (kg/kw)	등록현황	117	127	133	102
	현장조사	95	117	114	150

누적 분포 결과를 〈그림 2〉와 〈표 3〉에 나타내었다.

현재 국내 대표트럭은 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(2000)에서는 120kg/kw(200lb/hp)로, 한국도로용량편람(1992)에서는 고속도로 기본구간 120kg/kw(200lb/hp), 2차로도로 180kg/kw(300lb/hp)로 제시하고 있다.

또한 유경수 등(1997)은 대표트럭의 중량/마력비를 90kg/kw(150lb/hp)으로 하는 연구 결과를 발표하기도 했다. 이러한 연구 결과를 참고로, 본 연구에서는 85백분위 수 보다는 110kg/kw의 값을 나타내는 90백분위 수를 국내 표준 트럭으로 선정하였다.



〈그림 2〉 국내 트럭의 중량/마력비 누적 분포도

〈표 3〉 우리나라 대표트럭의 중량/마력비

누적 분포(백분위 수)		85	90	95
중량/마력	kg/kw	91	110	125
	lb/hp	150	180	210

2. 경사지 진입속도 산출

트럭이 상향 경사구간을 진입하게 되면 진입 전에 가속을 시작하여 그 탄력으로 경사지를 주행하려는 것이 일반적인 경향이다⁴⁾. 그러나 이 속도는 순간적으로 나타나는 것이기 때문에 현장조사가 쉽지 않다. 이에 본 연구에서는 트럭의 상향 경사지 진입속도를 산출하기 위해 평지부 직선 구간에서 나타나는 속도를 사용하였다.

1) 현장조사 지점 및 조사 방법

직선 구간 속도는 한국건설기술연구원의 일반국도 상시 교통량 조사지점에서 수집되는 자료를 이용하였다. 이 때 차두 간격 10초 이상⁵⁾인 트럭 만을 선별한 뒤 평균 이상의 속도를 보이는 교통류의 85백분위 수에 해당하는 속도를 산출하였다. 대상 조사 구간은 4차로도로였으며 5일 동안 수집된 자료를 이용하였다. 2차로도로 구간의 속도도 함께 분석하였으나 4차로도로보다 상대적으로 낮았기 때문에 분석결과를 제시하지 않았다.

2) 경사지 진입속도 결정

4차로도로의 속도 분석결과, 2차로 보다는 1차로 속도가 상대적으로 높았으며 자료 수집 위치와 속도 분석 결과는 〈표 4〉에 나타내었다. 이 결과에 따라 우리나라 상향 경사구간 진입 시 트럭 속도는 100km/h로 설정한다.

〈표 4〉 우리나라 트럭 경사지 진입속도 산출표

위 치	구 간 (편도 2차로)	노선	상행 1차로 (km/h)	하행 1차로 (km/h)	평균 (km/h)
경기	퇴계원-별내	43호선	94	96	95
충남	추부-금산	37호선	96	100	98
충북	남이-청원IC	17호선	93	91	91.5
경남	남지-마산	5호선	77	87.9	82.5
경북	점촌-예산	34호선	104.6	97	100.8
전남	나주-영암	27호선	96.8	93	94.9
전북	전주-소양	26호선	92	97.8	94.9
85백분위 수			97.6	98	98.3

주) 강원도(산악), 제주도(관광지)는 지역 특성상 제외 함

4) NCHRP 185(1978)에서는 다차로도로의 희망속도를 55mph로 Huff 등은 47mph, Archilla 등은 100km/h로 설정함.

5) 차두간격 10초 이상인 트럭 만을 대상으로 한 이유는 선형 차량(주요 트럭)의 교통류 영향을 배제하기 위함임.

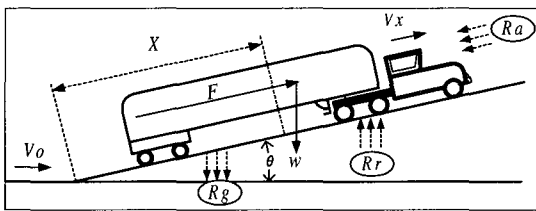
3. 트럭에 작용하는 힘의 관계식

트럭이 상향 경사지를 주행할 때 작용하는 힘의 종류와 관계식은 식(1)과 같으며 개념도는 <그림 3>에 도시했다.

$$F = ma + R_a + R_r + R_g \quad (1)$$

여기서,

- F : 트럭의 견인력(kg·중)
- m : 트럭의 질량(kg)
- a : 트럭의 가속도(m/s²)
- R_a : 공기저항(kg·중)
- R_r : 회전저항(kg·중)
- R_g : 경사저항(kg·중)



<그림 3> 트럭의 상향 경사 주행 개념도

1) 공기저항

본 연구에서 고려하는 공기저항은 트럭의 앞부분에만 작용하는 것으로 가정한다. 트럭 주행 시 작용하는 공기저항은 식(2)와 같다.

$$R_a = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A \cdot V_x^2 = kV_x^2 \quad (2)$$

여기서⁶⁾,

- ρ : 공기 밀도(1.2259kg/m³)
- C_D : 항력계수(0.5~0.8)
- A : 트럭 앞부분 단면적(5~8m²)
- V_x : 트럭의 진행방향 속도(m/s)

2) 회전저항

회전저항은 타이어 회전 시의 속도로 인해 노면에서 나타나는 마찰저항을 말한다.

$$R_r = f_r \cdot W = (f_{rc} + f_{rv} \cdot V_x) \cdot W \quad (3)$$

여기서,

- $f_r = f_{rc}$: 회전마찰계수
- f_{rv} : 속도에 대한 회전마찰계수
- W : 트럭의 중량(kg·중)

3) 중력저항

중력저항은 다음과 같다.

$$R_g = G \cdot W \quad (4)$$

여기서, G : 경사도(%/100)

4) 트럭의 견인력

트럭의 견인력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{\phi P}{V_x} \quad (5)$$

여기서,

- F : 트럭의 견인력(kg·중)
- P : 엔진 마력(kg·중·m/s²)
- ϕ : 동력 보정계수

식(1)에 식(2)~(5)를 대입하면 식(6)과 같다.

$$\frac{\phi P}{V_x} = ma + kV_x^2 + (f_{rc} + f_{rv}V_x)W + GW \quad (6)$$

4. 오르막 한계속도 산출식 정립 및 매개변수 추정

1) 오르막 한계속도 산출식

오르막 한계속도에 도달하면 가속도가 없으므로 식(6)에서 " $ma=0$ "이 된다. 이를 속도에 대해 정리하면 식(7)과 같다.

$$V_x^3 + \frac{f_{rv}W}{k} V_x^2 + \frac{(f_{rc} + G)W}{k} V_x - \frac{\phi P}{k} = 0 \quad (7)$$

6) 괄호 안의 값들은 각 변수들의 범위 값을 나타냄.

여기서, 식(7)의 해 V_x 가 오르막 한계속도가 된다.

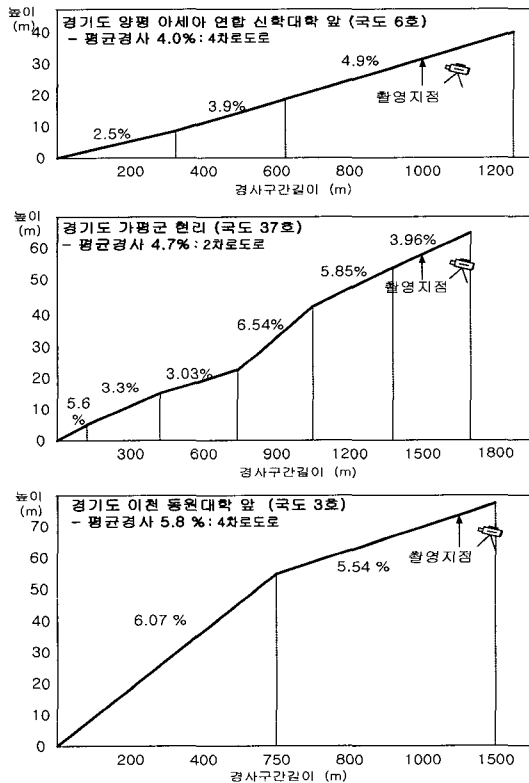
식(7)에서 $a = \frac{f_{rv}W}{k}$, $b = \frac{(f_{rc} + G)W}{k}$, $c = -\frac{\phi P}{k}$ 로 놓고 풀면 다음 해가 된다.

$$V_x(\text{Crawl Speed}) = \sqrt[3]{\frac{-q + \sqrt{q^2 + \frac{4}{27}p^3}}{2}} + \sqrt[3]{\frac{-q - \sqrt{q^2 + \frac{4}{27}p^3}}{2}} - \frac{a}{3} \quad (8)$$

여기서, $p = b - \frac{a^2}{3}$, $q = \frac{2}{27}a^3 - \frac{ba}{3} + c$

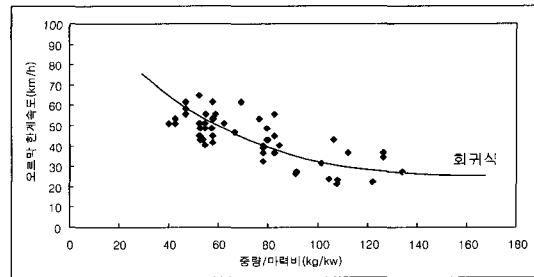
2) 매개변수 추정

전 절에서 정립한 오르막 한계속도 산출식에 포함된 매개변수를 추정하기 위해 <그림 4>와 같은 대상지에 서 현장조사를 실시하였다. 수집된 자료는 트럭의 총



<그림 4> 현장조사 대상지 종단면도

7) 육안 식별에 의한 자료 수집이므로 공차와 만차 만을 대상으로 함.



<그림 5> 매개변수 추정 과정 개념도

중량⁷⁾, 차종 별 엔진성능, 경사지 기하구조, 오르막 한계속도였다.

매개변수는 <그림 5>에서 도시한 회귀분석 개념을 이용하여 추정되었다. 매개변수 추정 시 k 값은, 이 값을 구성하는 요소들이 중앙값을 가진다고 가정하여 2.59kg/m ($\rho = 1.2259$, $C_D = 0.65$, $A = 6.5$)로 고정시켰다. 나머지 매개변수들에 대해 최적화를 수행한 결과, 추정된 계수 값은 다음과 같다.

$$k = 2.59, f_{rc} = 0.019, f_{rv} = 0.0006, \phi = 0.7108$$

<표 5>는 본 연구와 기존 연구 결과를 비교한 것이다.

<표 6>은 계산된 오르막속도가 현장 관측 값을 잘 반영하는 지를 알아보기 위해 통계적 검정을 실시한 결과를 나타내고 있다. <표 6>에서 분석된 결과를 보면, 오르막 한계속도 산출식에 의한 값이 현장속도를 잘 반영하며 합리적인 매개변수 추정이 이루어 졌다고 판단된다. 또한 평균속도 값도 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

<그림 6>에 도시된 점들은 관측된 중량/마력비와 오르막 한계속도와의 관계이며 실선은 추정된 매개변

<표 5> 각 연구에서 추정된 값들의 비교

구분	AASHTO	Watanatada ¹⁾	Archilla 등	본 연구
f_{rc} ²⁾	0.012	0.0139	0.01336	0.0190
f_{rv} ³⁾	-	-	0.0006	0.0006
ϕ	-	-	0.868	0.7108

주 : 1) Watanatada et. al.(1987), "The Highway Design and Maintenance Standard Model", Vol. 1: Description of the HDM-III Model. Johns Hopkins University, Baltimore.

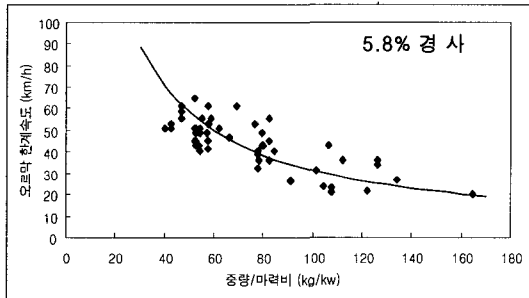
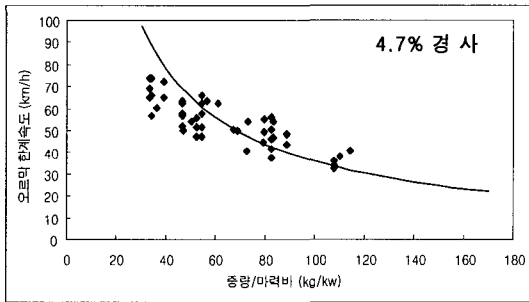
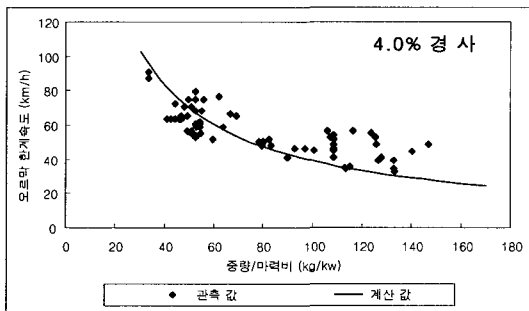
2) 도로 포장면에 대한 마찰계수로 추정된 값

3) 속도에 대한 마찰계수로 추정된 값

〈표 6〉 통계적 분석 결과(유의 수준 5%)

통계 값	항목	현장속도		계산속도	
	자료 수	172 개 ¹⁾		172 개	
	평균	51.61		51.96	
	분산	163.26		288.71	
분석 결과	검정	t-test		F-test	
		t 값	기각역	F 값	기각역
	오르막 한계속도	0.216	1.967	0.565	0.777

주 : 1) 세 지점에서 수집된 자료의 개수



〈그림 6〉 중량/마력비에 따른 오르막 한계속도 비교

수를 식(8)에 적용하여 계산한 결과이다. 계산은 15톤 덤프를 기준으로 차량 총중량을 25,000kg으로 고정시킨 뒤 엔진성능(kw)만을 변화시키면서 수행한 것이다. 계산 시 중량/마력비의 변화 범위는 관측 값의 범위에 따라 최소 30kg/kw~최대 170kg/kw로 설정하였다.

5. 트럭 성능 곡선 산출식 정립

1) 트럭의 가속 및 감속 예측식

식(6)에서 가속도 $a = \frac{dV_x}{dt}$ 로 정리하면 식(9)가 된다.

$$\frac{\phi P}{V_x} - kV_x^2 - (f_{rc} + f_{rv}V_x)W - GW = m \frac{dV_x}{dt} \quad (9)$$

식(9)를 속도에 대해 적분하면 식(10)이 된다. 식(10)으로 경사지 진입속도(V_1)에서부터 계산된 오르막 한계속도(V_2)까지 적분하면 트럭의 주행거리가 산출되고 트럭의 성능 곡선을 도출할 수 있다. 이때 V_1 에서 V_2 까지의 속도를 세분할수록 계산 회수는 많아지나 더욱 정밀한 트럭 성능 곡선을 산출할 수 있다. 또한, V_1 값은 100km/h가 아닌 다른 값을 적용할 수도 있다.

$$D = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m V_x^2}{\phi P - k V_x^3 - f_{rv} W V_x^2 - (f_{rc} + G) W V_x} dV_x \quad (10)$$

2) 트럭 성능 곡선 도출

본 연구에서 정립된 수식에 의해 산출된 오르막 한계속도는 〈표 7〉과 같다. 〈그림 7〉과 〈그림 8〉은 〈표 7〉의 결과와 연구의 앞 부분에서 결정된 경사지 진입속도(100km/h)를 이용하여 도출된 중량/마력비 91, 110kg/kw인 트럭의 성능 곡선을 나타낸다.

〈표 7〉 대표트럭의 경사도별 오르막 한계속도 (단위:km/h)

경사	W/P		경사	W/P	
	91 kg/kw	110 kg/kw		91 kg/kw	110 kg/kw
0%	78	69	5%	38	32
1%	67	58	6%	34	28
2%	57	49	7%	31	25
3%	49	41	8%	28	23
4%	43	36	9%	26	21

IV. 검증

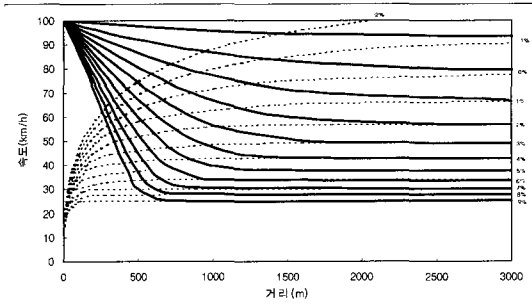
1. 기존 연구 결과와의 비교

본 연구에서 정립된 트럭 성능 곡선 산출식을 검증

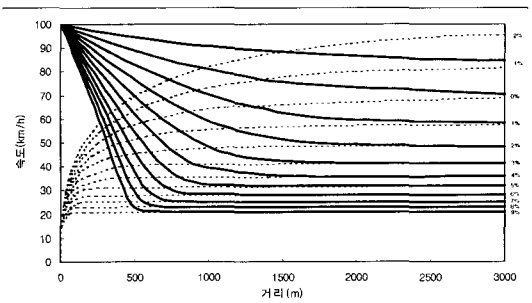
하기 위하여 USHCM에서 제시하는 경사도 별 오르막 한계속도 곡선과 비교하였다. 본 연구에서는 중량/마력비를 맞추기 위해 120kg/kw는 총중량 25톤에 엔진마력 212.6kw로, 180kg/kw는 총중량 39톤에 엔진마력 221kw로 적용하여 계산하였다.

〈그림 9〉는 USHCM 2000과 본 연구에서 산출한 경사도 별 오르막 한계속도를 비교한 것이다. 그림에서 보듯이 4%를 기준으로 경사가 완만할수록 30km/h 정도까지 속도 차이가 났으며 급할수록 8km/h 정도의 차이를 보이고 있다. 이러한 오르막 한계속도의 차이

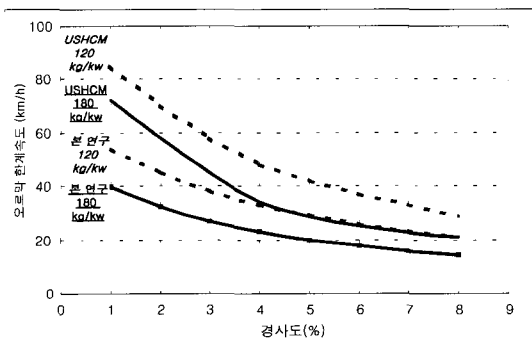
는 차량의 성능과 경사도에 의한 영향으로, 완경사 일수록 트럭 자체 성능의 영향이 지배적이며 급경사일수록 기하구조의 영향이 지배적이기 때문에 나타나는 것이라 볼 수 있다. 즉 완만한 경사(4%미만)에서는 트럭 성능의 영향으로 USHCM의 속도가 훨씬 높게 나타났으며 급경사일수록(4%이상) 기하 구조에 의한 영향으로 그 만큼 속도의 차이가 줄어든 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 매개변수 추정 시, 현장에서 수집한 트럭의 중량/마력비를 성능 제원표에 의해 산출했기 때문에 과적 차량 및 차령에 대한 고려가 없었다. 이와 같은 변수들이 영향을 미친 것으로 판단된다.



〈그림 7〉 트럭 성능 곡선 도출 결과(91kg/kw)



〈그림 8〉 트럭 성능 곡선 도출 결과(110kg/kw)

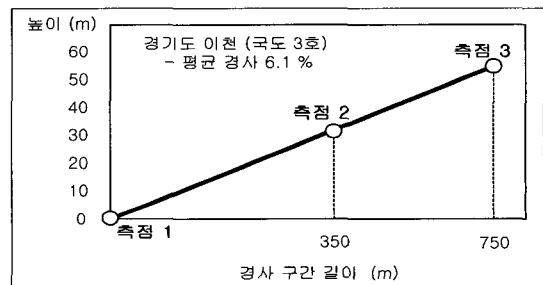
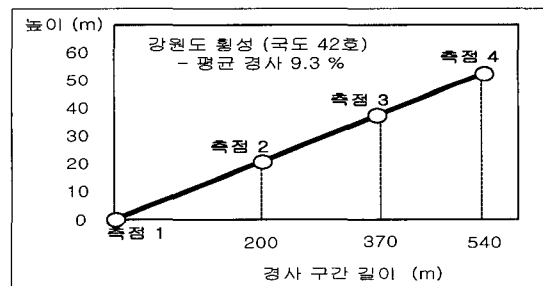


〈그림 9〉 USHCM(2000)대 본 연구의 경사도 별 오르막 한계속도

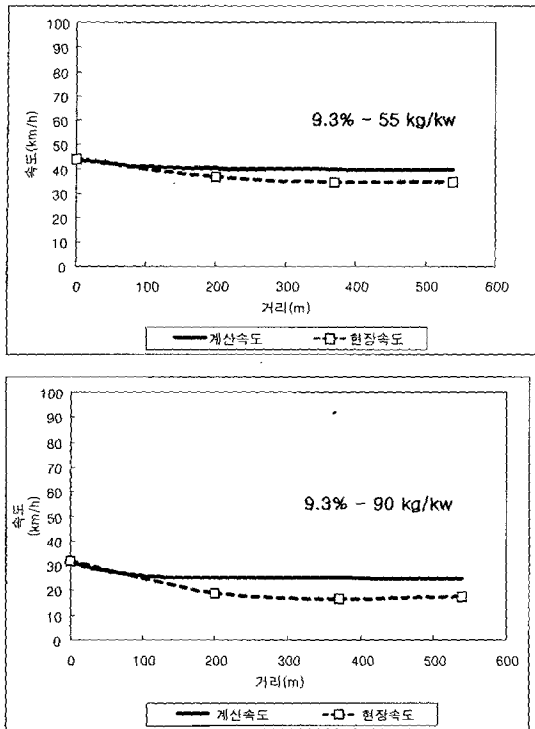
2. 현장조사 결과와의 비교

도출된 트럭 성능 곡선의 검증용 위해 〈그림 10〉과 같은 대상지에서 속도 조사를 수행하였으며 조사 대상트럭이 측점 1, 2, 3, 4를 통과할 때의 지점속도를 관측하였다. 관측된 대상 트럭의 중량/마력비를 본 연구에서 정립된 수식에 적용하여 오르막 한계속도를 산출하였다.

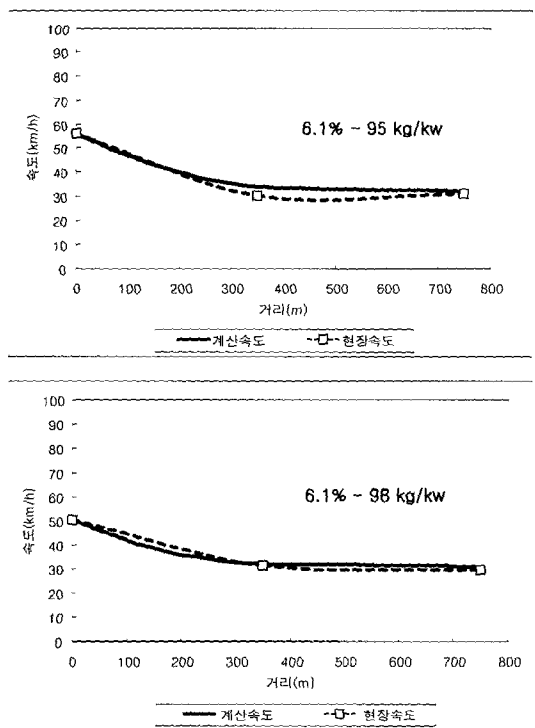
계산된 값과 현장 값(오르막 한계속도가 나타날 것으로 예상되는 측점 4에서의 속도)이 비슷한 트럭 두 대씩을 대상지 별로 선별하였다. 선별된 트럭의 현장 성능곡선과 계산된 성능곡선을 비교하였으며 결과물 〈그림 11〉과 〈그림 12〉에 나타내었다.



〈그림 10〉 검증자료 수집 대상지 기하구조



〈그림 11〉 본 연구의 계산속도 대 현장속도(9.3%)



〈그림 12〉 본 연구의 계산속도 대 현장속도(6.1%)

〈그림 11〉에서 계산에 적용된 트럭의 총중량은 25톤으로 고정시킨 후 엔진성능을 변화시켜 중량/마력비를 조정하였다. 9.3% 경사의 속도 차이는 55kg/kw의 중량/마력비를 가지는 트럭이 약 5km/h정도, 90kg/kw의 중량/마력비를 가지는 트럭이 약 7km/h정도로 나타났다.

〈그림 12〉는 경사도 6.1%에서의 속도 비교를 보여주고 있다. 9.3% 경사와는 달리 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 또한 95kg/kw와 98kg/kw의 중량/마력비를 가지는 두 트럭의 실제 현장속도를 보면, 95kg/kw 트럭의 속도가 약간 높게 나타나 현장자료의 신뢰성을 뒷받침하고 있다. 다만 95kg/kw트럭의 현장속도에서 두 번째 측정점(350m 지점)의 속도가 세 번째 측정점 보다 일시적으로 낮아지는 것을 볼 수 있는데 이는 기어 변속에 의한 영향인 것으로 판단된다.

V. 결론

우리 나라 일반국도의 트럭 성능 곡선 산출식을 정립하기 위해 진행된 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 국내 대표트럭의 중량/마력비는 110kg/kw였다.
- 트럭의 경사지 진입속도는 100km/h였다.
- 매개변수 값은 다음과 같이 추정되었다.
 $k=2.59, f_r=0.019, f_v=0.0006, \phi=0.7108$
- 국내 일반국도에서의 트럭 성능 곡선을 제시하였다(〈그림 7〉과 〈그림 8〉 참고).
- 추후 대표트럭의 중량/마력비와 경사지 진입속도가 달라져도 트럭 성능 곡선의 산출은 가능하다.

덧붙여 다음의 연구 과제를 제시한다.

- 대표트럭 선정 시 세분화 된 차량 등록현황 자료
- 실제 도로 주행 트럭의 총중량 계측 기법

참고문헌

1. 유경수·장명순·서영찬·박재범(1997), "한국형 트럭 성능 곡선 개발 연구", 대한교통학회지, 제15권 제4호, pp.21~34.
2. 한국도로공사(1995), "트럭 성능 조사 분석 연구" 한국도로공사 도로연구실.

3. A. D. St. John and D. R. Kobett(1978), "Grade Effects on Traffic Flow Stability and Capacity", NCHRP report 185.
4. Adrian Ricardo Archilla and Aristides Osvaldo Fernandez De Cieza(1996), "Truck Performance on Argentinean Highways", TRR 1555, TRB. pp.114~123.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials(1994), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, pp.227~240.
6. John C. Glennon and Charles A. Joyner, Jr.(1969), "Re-evaluation of Truck Climbing Characteristics for Use in Geometric Design", TTI and Texas Highway Department.
7. Thomas D. Gillespie(1986), "Methods for Predicting Truck Speed loss on Grades", FHWA.
8. Thomas D. Gillespie(1992), "Fundamentals of Vehicle Dynamics", Society of Automotive Engineers Inc. Chapter 3-4.
9. Transportation Research Board(2000), Highway Capacity Manual, SR-209. chapter 23, pp.28~30.

✉ 주 작 성 자 : 김영록

✉ 논문투고일 : 2001. 5. 15

논문심사일 : 2001. 7. 11 (1차)

2001. 8. 20 (2차)

2001. 11. 19 (3차)

심사판정일 : 2001. 11. 19