

■ 論 文 ■

오르막차로 시·종점 위치의 보정에 관한 연구

A Study of Adjustment for Beginning & Ending Points of Climbing Lanes

김 상 윤

(한국도로공사 도로교통기술원 연구원)

오 흥 운

(한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원)

목 차

I. 서론	속도추종조사
1. 연구의 배경	3. 성능곡선과 관측값 기울기 비교분석
2. 연구의 수행방법	4. 오르막차로 시·종점 위치의 적합성 평가
II. 조사 및 분석	III. 결론
1. 보간법에 의한 화물차 성능 곡선 산출	참고문헌
2. 화물차 모델과 계층 조사 및	

Key Words : 표준트럭, 중량/마력비, 화물차성능곡선, 화물차 속도, 오르막차로
 Standard Truck, Weight/Power Ratio, Vehicle Performance Curve, Vehicle Speed, Climbing Lane

요 약

여러 나라에서 다양한 감속/가속 성능 곡선이 사용되어지고 있다. 이 성능곡선은 많은 경우에 결정론적 곡선으로서 오르막차로 설계에 사용되어지고 있다. 이 곡선은 실제 운행 중인 트럭이 표준트럭처럼 이상적인 성능을 보인다는 가정 하에 기준화되었고 또한 적용되어지고 있음을 염두 해 둘 필요가 있다. 그러나 많은 경우에 자동차의 노화 혹은 운전자의 가속등판에 대한 무관심으로 오르막화물차는 차량의 성능만큼 혹은 표준트럭의 성능만큼 주행하지 못하게 된다.

본 논문은 이러한 오르막차로에서 주행하는 화물차의 실제 주행특성을 조사하여 오르막차로설계에 사용되고 있는 오르막차로 성능곡선기울기의 확률적 변동성을 검토하였다. 이를 위해 고속도로 요금소에서 계층기를 통과한 트럭의 차종 및 모델조사를 통해 중량/마력비를 산출하였다. 그리고 동일차량을 오르막차로 까지 추종하였다. 오르막차로에서는 동일차량의 추종을 통해 속도를 조사하였다. 또한 그동안 사용되어졌던 각종 감속/가속 성능곡선을 이용하여 180, 200, 220 lb/hp 의 세 가지로 구분하고 실제 이에 상응하는 관측된 85%ile 성능곡선의 특성을 비교하였다.

고속도로를 대상으로 한 오르막경사에서의 화물차 추종조사결과 실측된 감속곡선과 가속곡선은 관련기준에서 제시하는 곡선보다 성능이 떨어지는 형태를 보여주었다. 결론적으로 설계 시 기대했던 트럭의 속도를 현재의 오르막차로 시점부와 종점부에서 얻으려면 오르막차로의 시점부에서는 16.19~67.94m의 길이 연장이 필요하며, 오르막차로 종점부에서는 53.12 ~ 103.24m의 길이 연장이 필요한 것으로 나타났다.

Acceleration and deceleration curves have been used for design purposes worldwide. The curve in design level has been regarded as an single deterministic curve to be used for design of climb lanes. It should be noted that the curve was originally made using ideal driving truck and that the curve is applied during design based on the assumption of no difference between ideal and real driving conditions. However, observations show that aged vehicles and lazy behaving drivers may make lower performance of vehicles than the ideal performance.

The present paper provides the results of truck speeds at climbing lanes then probabilistic variation of acceleration and deceleration curves. For these purposes, a study about identification of vehicle makers, and weights for trucks at freeway toll gates and then observation of vehicle-following speed were performed. The 85 %ile results obtained were compared with the deterministic performance curves of 180, 200, and 220 lb/hp.

It was identified that the performance of 85 %ile results obtained from vehicle-following-speed observations were lower than one from deterministic performance curves. From these results, it may be concluded that at the beginning point of climbing lanes additional 16.19~67.94m is necessary and that at the end point of climbing lanes 53.12~103.24m of extension is necessary.

1. 서론

1. 연구의 배경

오르막차로 감속/가속곡선에 관한 연구는 수많은 나라에서 지속적으로 수행되고 있다.

Truck Performance on Argentinean Highways (1995년)에서는 현장조사를 통한 트럭의 성능 곡선을 도출하였다. 구체적으로 공기저항, 회전저항, 중력저항을 고려한 트럭의 속도 예측식 산출하였다. 이러한 속도 예측식을 사용하여 312 lb/hp의 트럭 성능 곡선 산출하였다.

한국도로공사 화물차 성능 조사 분석 연구(1996년)에서는 국내 지형과 화물차 특성에 맞는 가감속 성능곡선을 개발하고자 하였다. 영동선과 중앙선에 대상지를 선정하여 100m 단위 속도조사를 하였다. 대상 차종은 3~5년 식의 15톤 덤프트럭 3대를 선정(150 lb/hp)하였으며, 운전자에게 가감속에 대한 교육을 실시하고 각각 3회씩 가감속 조사를 수행하였다. 이렇게 조사된 2.78%, 5.3%, 7.3% -5.3%, -2.78%, -0.85%, 0.85%, 2.78%, 5.3%, 7.3%의 가감속 패턴으로부터 보간법을 이용하여 150 lb/hp의 성능곡선 산출하였다.

우리나라 화물차 성능 곡선 산출식 정립에 관한 연구(2001년)에서도 트럭 성능 곡선이 산출되었다. 여기서도 공기저항, 회전저항, 중력저항, 트럭의 견인력 등을 고려하여 매개변수 추정 및 오르막 한계속도를 산출

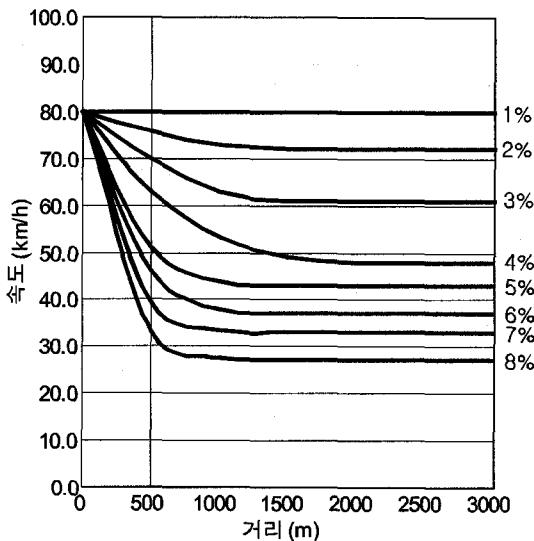
하고 트럭의 가속 및 감속 곡선 산출식을 정립하였다. 이를 통해 150 lb/hp와 180 lb/hp의 트럭 성능 곡선을 산출하였다.

이렇게 완성된 가감속 성능곡선은 공통적으로 이론적 곡선으로서 운전자의 최대운전능력, 역학적 조건에서 자동차의 최대능력, 기타 이상적인 조건에서의 능력으로 정의 될 수 있다. 가감속 성능곡선을 이용하여 각국에서는 각국 실정에 맞는 곡선을 정하여 오르막차로 설계에 사용하고 있다.

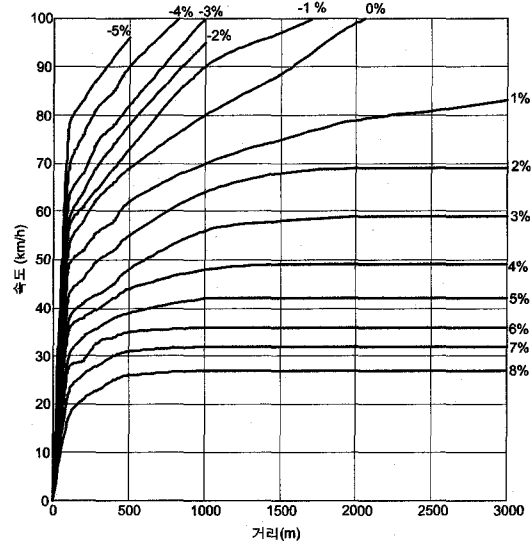
우리나라의 경우 "도로의 구조시설기준에 관한 규칙"에서 오르막차로 설계 시 표준트럭의 성능을 200 lb/hp로 적용하고 있다. 이러한 표준트럭의 성능은 오르막차로 설계 시 매우 중요한 역할을 하고 있다. <그림 1>과 <그림 2>는 우리나라 화물차 성능 곡선을 표현한 것이다.

일본의 경우 "도로구조령"에서 표준트럭의 성능을 225 lb/hp로 적용하고 있다. 미국의 경우 "AASHTO"에서 표준트럭의 성능을 300 lb/hp를 사용해왔으나 최근에 200 lb/hp로 바꾸어 사용하고 있다. 호주는 275 lb/hp, 독일 370 lb/hp, 헝가리 282 lb/hp, 아일랜드 279 lb/hp, 스웨덴 306 lb/hp, 스위스 220 lb/hp를 사용하는 것으로 알려져 있다

그 동안의 연구는 표준트럭의 연구와 적용에 중요한 문제를 제시해주고 있다. 그것은 결정론적 표준트럭 곡선의 유의성 혹은 유효성에 관한 문제이다. 즉 표준트럭곡선을 '결정론적(deterministic)으로 간주할 것인가' 혹은 '다양한 확률적 (probabilistic) 해로 간주할 것인가'에 관한



<그림 1> 우리나라 표준트럭 감속곡선(200 lb/hp)



<그림 2> 우리나라 표준트럭 가속곡선(200 lb/hp)

문제이다. J. Taux (2003)는 불확실성 문제에서 결정론적해법과 확률적 해법의 차이를 이렇게 표현하였다. 결정론적 해법은 간단한 적용이 쉽고 다수의 사람들과 의사결정자들에게 편리하다. 그러나 불확실성이 정의되어 있지 않고 안전치(safety-oriented) 값을 알 수가 없는 단점이 있다. 그래서 통계적 분포만 주어진다면 확률적 해법이 훨씬 지식활동에 적합하다고 정의하고 있다.

표준트럭곡선을 결정론적으로 정의할 경우 적용이 쉽고 설계 시 편리하게 사용할 수 있는 장점을 갖게 된다. 그러나 실제의 불확실성 즉, 실제 다양한 모델과 연식을 가진 동일 트럭이 똑 같은 성능을 보여줄 수 있느냐의 문제가 있다. 또한 표준트럭과 동일 성능의 트럭이라도 운전자가 차량의 성능을 최대한 발휘하여 운전할 수 있는가의 문제가 있다. 따라서 표준트럭에 의한 설계는 안전치(safety-oriented) 값의 반영에 관한 한계점이 발생하게 되며, 설계 시 이에 대해 보정이 필요하다.

2. 연구의 수행방법

우리나라와 각국에서는 여러 가지 표준트럭 감속/가속 성능곡선이 사용되어지고 있다. 이 성능곡선은 많은 경우에 결정론적 기준으로서 오르막차로 설계에 사용되어지고 있다. 그러나 이 곡선은 실제 운행 중인 표준트럭이 오르막경사 주행 시 최대가속을 한다는 가정 하에 기준화되었고, 또한 적용되어지고 있다. 그러나 많은 경우에 자동차의 노화나 운전자의 가속등판에 대한 무관심으로 오르막화물차는 차량의 성능만큼 혹은 표준트럭의 성능만큼 주행하지 못하게 된다.

본 논문은 고속도로를 대상으로 이러한 오르막차로에서 주행하는 화물차의 실제 주행특성을 조사하여 오르막차로설계에 사용되고 있는 오르막차로 성능곡선기울기의 확률적 변동성을 검토하였다. 이를 위해 고속도로 요금소에서 계중기를 통과한 트럭의 차중 및 모델조사를 통해 중량/마력비를 산출하고 오르막차로에서 추종을 통해 속도를 조사하였다.

본 연구에서는 그동안 사용되어졌던 각종 표준트럭의 감속/가속 성능곡선을 이용하여 180 lb/hp, 200 lb/hp, 220 lb/hp 의 세 가지로 구분하였다. 또한 실제 이에 상응하는 관측된 85 %ile 성능곡선과의 특성을 비교하였다. 비교를 통해 현재 운행되고 있는 차량을 기준으로 오르막차로 시점 및 종점 위치의 적합성과 보정 가능성을 검토하고자 하였다.

중량 마력비는 180 lb/hp, 200 lb/hp, 220 lb/hp의 세 가지로 구분하였다. 그 이유는 한국도로공사 (2005)의 연구에서 이들 값이 우리나라 고속도로 현장에서 관측한 화물차 중량마력비의 85%ile에 해당하는 값에 근사하기 때문이다. 세부적으로 아래와 같이 연구를 수행하였다.

- 1) 보간법에 의한 화물차 성능곡선 산출
(180 lb/hp, 220 lb/hp의 감속/가속 곡선 도출)
- 2) 요금소에서 화물차 모델 조사와 계중 조사를 통한 트럭 중량/마력비 조사
- 3) 조사된 차량의 추적을 통한 오르막차로에서 추종 속도추정
- 4) 성능곡선과 관측값 기울기 비교 분석
- 5) 현재 운행되고 있는 차량을 기준으로 오르막차로 시점 및 종점 위치의 적합성 및 보정 가능성 검토

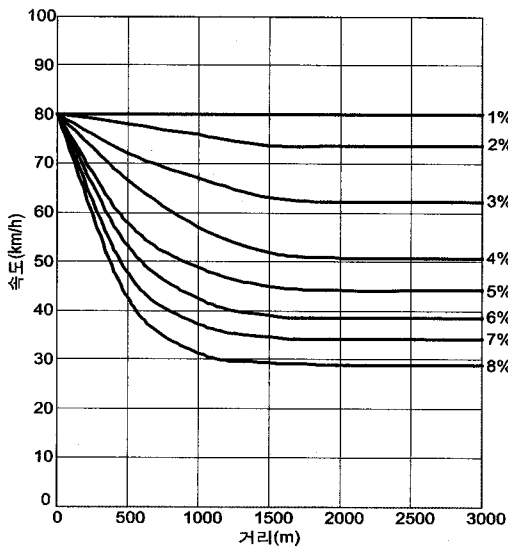
II. 조사 및 분석

1. 보간법에 의한 화물차 성능 곡선 산출

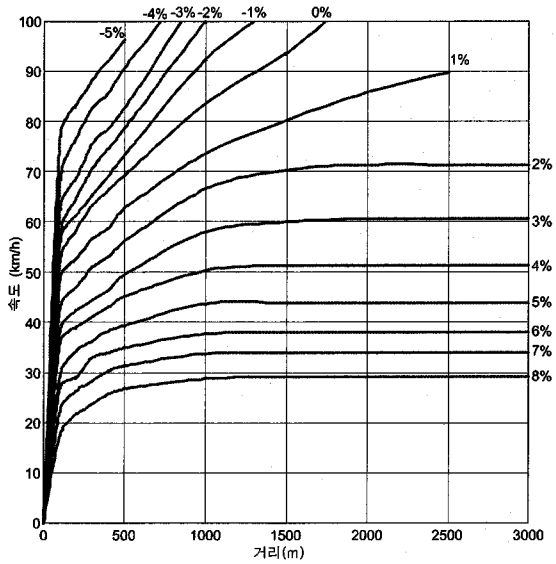
국내외의 화물차 성능 곡선을 이용한 보간법으로 180 lb/hp와 220 lb/hp의 화물차 성능곡선식을 산출하였다. 180 lb/hp 성능곡선식을 위하여 한국도로공사(1995)가 제시한 150 lb/hp 곡선과 도로시설기준에 관한 규칙(건설교통부, 2000)에서 표준트럭으로 사용하고 있는 200 lb/hp를 사용하였다. 보간법으로 산출한 180 lb/hp 감속/가속 곡선은 <그림 3>, <그림 4>와 같다.

화물차 성능곡선을 산출하는 방법은 여러 가지가 있다. 대표적인 경우가 그동안의 발표된 곡선을 사용하여 재생산하는 방법(보간법)과 Lan(2003)의 연구처럼 계산식을 이용하여 제시하는 방법이 있으나 계산식을 이용하는 방법의 경우 계산 입력변수의 적용에 따라 여러 가지 다른 성능곡선이 나올 가능성이 많고 도로시설기준에 관한 규칙(건설교통부, 2000)과 상이한 결과가 나올 가능성이 많다. 따라서 본 연구에서는 직접 계산식을 사용하지 않았다.

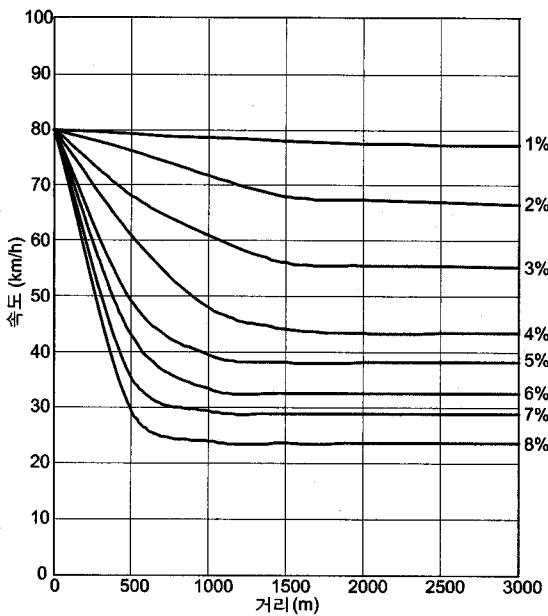
220 lb/hp 성능곡선 산출에서는 현재 200 lb/hp 기준과 일본 도로구조령의 표준트럭 225 lb/hp 및 구 도로시설기준에 관한 규칙 300 lb/hp를 고려하여 보간 하였다. 보간법으로 산출한 220 lb/hp 감속/가속 곡선은 <그림 5>, <그림 6>과 같다.



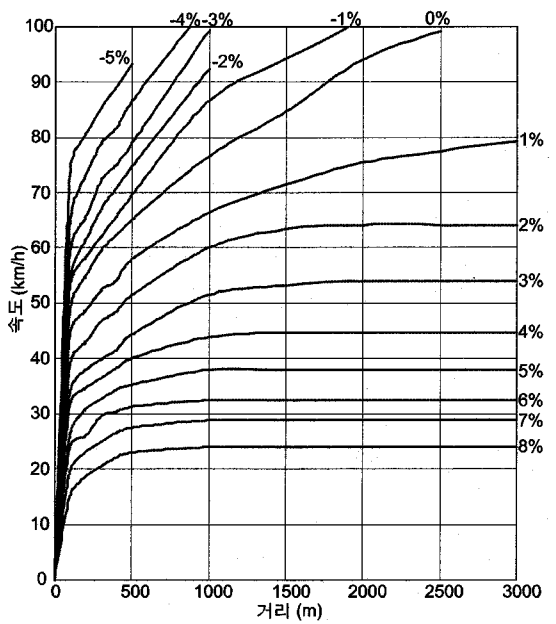
〈그림 3〉 180 lb/hp 감속곡선



〈그림 4〉 180 lb/hp 가속곡선



〈그림 5〉 220 lb/hp 감속곡선



〈그림 6〉 220 lb/hp 가속곡선

2. 화물차 모델과 계종 조사 및 속도추종조사

속도 추종 조사 이전에 고속도로지리도형정보시스템 (HGIS)을 이용하여 전국 고속도로의 오르막차로 구간 이점 및 경사를 목록으로 작성하였다.

속도 추종 조사는 전국 고속도로 총 57개 구간의 오르막차로 구간을 대상으로 수행 되었다. 오르막차로 구간은

중부고속도로 24개소, 남해고속도로 2개소, 호남고속도로 10개소, 88고속도로 19개소, 경부고속도로 1개소, 중앙고속도로 1개소로 선정하였다. 특히 88고속도로는 7~8%의 높은 오르막 경사 조사를 위해 수행되었다. 모든 속도조사 구간은 허용최저속도(60km/h) 이하 주행 구간이 500m 이상을 만족하여 오르막차로가 설치된 곳을 대상으로 하였다. 조사 대상구간의 제한속도는 약 80

~ 110km/h로 차이가 있으나, 표준트럭과 유사한 중량/마력비를 지닌 화물차의 최고 주행속도는 유사할 것으로 사료되어 모두 80km/h로 가정하였다.

속도측정방법은 화물차 추종차량의 속도계 측정을 통해 이루어졌다. 먼저 고속도로 요금소에서 화물차 중량/마력비 측정 및 면접조사 후, 목록에 포함된 오르막차로 구간을 운행하는 차량에 한해서 조사차량으로 추종하여 속도를 측정하였다.

면접조사 시 특별히 운행방법에 대해 요청을 하지 않았고, 추종조사를 할 것임을 통지하였다. 추종조사 시 화물차인 앞차와의 등거리를 유지하기위해 자동 거리측정기를 이용하여 등거리를 유지하였다. 요금소에서 화물차 모델조사 및 계중조사는 <그림 7>과 같이 수행하였다.

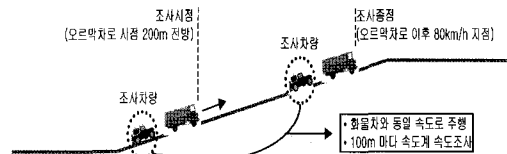
오르막구간에서 속도 측정범위는 오르막차로 구간 전·후를 포함하였다. 오르막차로 진입 200m 상류부터 시작하여 오르막차로 종점이후 화물차 속도가 80km/h가 될 때까지 추종차량의 속도를 측정하였다. 오르막차로 종점이후 속도조사는 내리막 경사에서의 속도변화를 관측하기 위해 실시되었다.

속도측정은 추종차량의 GPS를 이용하여 100m 단위로 수행되었다. 측정된 속도자료를 도면상의 100m

단위 경사, 측정된 중량/마력비, 속도변화에 따른 감속과 가속으로 구분하여 정리하였다.

속도 조사는 트럭의 자유등판속도가 유지될 때에 한하여 실시하였다. 속도추종조사 시 전후 측면 주변교통에 의해 등판속도에 방해를 받는 경우가 있었다. 또한 운전자가 원인을 브레이크 감속을 하는 경우가 있었다. 이런 경우는 모두 측정 데이터에서 제외하였다.

데이터 수집개수가 제한될 수밖에 없었으며, 그 이유는 다음과 같았다. 첫째 변수항목 특히 해당 중량/마력비를 만족하는 차량을 선별하기가 쉽지 않았다. 둘째는 주행 중 인적 측정 능력의 제한 때문이었다. 측정에 사용된 변수 항목을 열거해보면 다음과 같다. 중량/마력비, 100m 마다 평균 경사, 100m 구간 시점 및 종점 속도이다. 적정 중량/마력비에 해당하는 차량을 찾는 작업은 많은 시간을 필요로 하였다. 측정능력의 제한은 측정 시 각자의 역할이 업무 분장 상 매우 시간 집약적으로 이루어졌기 때문이다. 차량 1대에 총 3명이 1개조로 측정을 하였다. 연구자1은 등간격유지 추종운행 운전을 하였다. 연구자 2는 100m 단위로 GPS 측정기 기록 확인 및 작성을 하였다. 100m 주행에는 10초정도가 소요되었다. 연구자 3은 주변기하구조, 이정표 등을 이용한 도면과의 비교로 경사확인을 하였다. 이와 같은 이유로 측정 데이터 개수가 제한되게 되었다. <그림 8>은 속도 추종조사를 개괄적으로 표현한 자료이다.



<그림 8> 속도 추종 조사 방법



<그림 7> 요금소에서의 화물차 모델 및 계중 조사

3. 성능곡선과 관측값 기울기 비교분석

기울기 값은 속도변화/거리변화로 산출하였으며, 다음의 두 가지로 구분하여 분석하였다. 첫째로 관측된 자료를 이용하여 속도변화/거리변화를 산출하였다. 이는 화물차 모델조사, 계중조사 속도추종조사의 과정을 거쳐 조사한 자료를 이용하였다.

둘째로 오르막성능곡선을 이용하여 속도변화/거리변화를 산출하였다. 오르막 성능곡선은 180 lb/hp, 200

lb/hp, 220 lb/hp를 사용하였다

구체적인 기울기 비교방안은 아래와 같다. 현장자료의 구간별 85%ile 기울기와 화물차성능곡선의 구간별 평균 기울기를 비교하였다. 현장자료의 기울기는 안전을 고려한 통계적 수치로 85%ile 값을 적용하여 사용하였다. 성능곡선의 기울기는 보간법으로 산출된 180 lb/hp와 220 lb/hp, 현재 표준트럭의 200 lb/hp를 사용하여 산출하였다.

기울기 산출 및 비교를 위해 현장 조사된 100m 단위 속도자료를 각 경사와 감속/가속, 화물차 중량/마력비 별로 구분하여 정리하였다. 그 다음 조사된 100m 단위 시점속도(속도 1)를 오르막성능곡선의 해당 중량/마력비 경사에 <그림 9>와 같이 매칭 시켰다. 100m 단위 시점속도(속도 1)와 종점속도(속도 2)를 이용하여 기울기 값 산출하였다.

<표 1> 85 %ile 관측 기울기와 성능곡선 기울기의 비교

구분	관측기울기 85% <성능곡선기울기>		통계변수			
	샘플수	비율	총샘플수	비율 분석 z값	p-값	
1	감속	16	100.0%	16	4.0	0.00
	가속	21	72.4%	29	2.4	0.01
	소계	37	82.2%	45	4.3	0.00
0	감속	3	100.0%	3	1.73	0.04
	가속	1	33.3%	3	-0.57	0.70
	소계	4	66.7%	6	0.82	0.20
2	감속	9	100.0%	9	3.0	0.00
	가속	10	71.4%	14	1.60	0.05
	소계	19	82.6%	23	3.12	0.00
감속계		28	100.0%	28	5.29	0.00
가속계		32	69.6%	46	2.66	0.00
총계		60	81.1%	74	5.35	0.00

났다. 180 lb/hp, 220 lb/hp 가속곡선의 경우 경사 7%~-5% 까지 현장조사 기울기 값이 더 작게 나타났다. 이를 표로 요약하면 <표 2> 85 %ile 관측 기울기와 성능곡선 기울기의 비교와 같다.

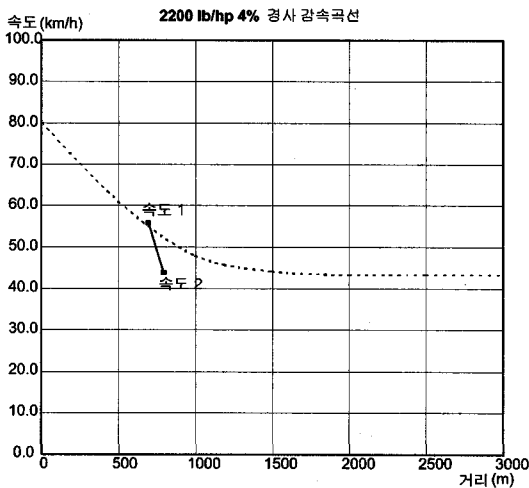
속도 기울기 값 비교 결과를 요약하면 현장조사 결과 화물차량들은 화물차 성능곡선과 가감속 행태가 다르게 나타남을 관찰할 수 있었다.

구체적으로 감속곡선의 경우 현장의 속도기울기가 성능곡선의 기울기보다 더 작게 나타나는 경향을 보이고 있다. 특히 180 lb/hp에서 100.0% 작게, 200 lb/hp에서 100.0% 작게, 220 lb/hp 에서도 100.0% 작게 나와서 관측값의 속도기울기가 절대적으로 작게 나왔다. 여기서 작다는 의미는 음부호 (-)의 문제 때문에 경사가 더 급하다는 의미로 해석하면 된다. 따라서 100% 경우 즉 모든 경우에 있어 감속곡선 보다 더 성능이 낮은 형태로 트럭의 오르막 특성이 나타난다고 얘기할 수 있다.

그러므로 이러한 점을 고려하면 현재의 오르막 차로 설치하는 현재의 시점보다 상류에 설치되는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

가속곡선의 경우, 현장의 속도기울기가 성능곡선의 기울기보다 더 작은 것으로 나타났다. 여기서 기울기는 양부호 (+)로 작다는 것은 경사가 상대적으로 완만하다는 것으로 해석하면 된다. 180 lb/hp 경우엔 72.4%가 더 작게, 200 lb/hp 경우엔 33.3%가 더 작게, 220 lb/hp의 경우엔 71.4%가 더 작게 나타났다. 200 lb/hp의 경우 감속, 가속 각각 샘플수가 3개 밖에 되지 않아 분석의 한계가 있었다.

그러나 180 lb/hp, 220 lb/hp에서는 최소한 71.4%



<그림 9> 속도 기울기값 비교분석 방법 예시도

그리고 현장조사 85%ile 기울기 값과 오르막성능곡선의 평균 기울기 값을 비교 분석하였다. 기울기 값의 비교는 감속과 가속곡선을 대상으로 각 경사별, 구간별, 중량/마력비별로 구분하여 수행되었다. <표 1>은 180 lb/hp, 200 lb/hp, 220 lb/hp에서의 감속곡선 기울기값 비교분석 결과 사례를 나타낸다.

<표 1> 감속곡선 사례 (관측값 85%ile과 성능곡선 값과의 비교)와 같이 감속곡선과 가속곡선 사례에 대하여 다양한 비교를 하였다. 180 lb/hp~220 lb/hp 감속곡선의 경우 경사 7%~1%에서 통계분석이 가능한 구간 모두 현장조사의 85%ile 기울기 값이 더 작게 나타

〈표 2〉 감속곡선 사례 (관측값 85%ile과 성능곡선값과의 비교)

경사	거리	속도기울기(Δ속도/Δ거리)값 비교								
		180 lb/hp			200 lb/hp			220 lb/hp		
		샘플수	관측 85%ile값	성능곡선 값	샘플수	관측 85%ile값	성능곡선 값	샘플수	관측 85%ile값	성능곡선 값
7%	0~500	3	-0.065	-0.065	1	-	-0.081	0	-	-0.089
	500~1,000	1	-	-0.021	2	-	-0.012	0	-	-0.012
	1,000~1,500	2	-0.042	-0.005	0	-	-0.001	0	-	-0.001
	1,500~2,000	0	-	-0.001	0	-	0.000	0	-	0.000
	2,000~2,500	0	-	0.000	0	-	0.000	0	-	0.000
	2,500~3,000	3	-0.013	0.000	1	-	0.000	0	-	0.000
6%	0~500	2	-0.062	-0.054	0	-	-0.068	1	-	-0.074
	500~1,000	4	-0.115	-0.022	0	-	-0.016	1	-	-0.019
	1,000~1,500	1	-	-0.007	0	-	-0.002	0	-	-0.002
	1,500~2,000	0	-	-0.001	0	-	0.000	0	-	0.000
	2,000~2,500	0	-	0.000	0	-	0.000	0	-	0.000
	2,500~3,000	0	-	0.000	3	-0.049	0.000	2	-0.022	0.000
5%	0~500	10	-0.069	-0.044	0	-	-0.058	7	-0.067	-0.062
	500~1,000	2	-0.106	-0.018	1	-	-0.014	7	-0.053	-0.019
	1,000~1,500	2	-0.096	-0.008	0	-	-0.002	1	-	-0.003
	1,500~2,000	0	-	-0.002	0	-	0.000	0	-	0.000
	2,000~2,500	0	-	0.000	0	-	0.000	0	-	0.000
	2,500~3,000	1	-	0.000	0	-	0.000	20	-0.030	0.000
4%	0~500	1	-	-0.027	2	-0.052	-0.034	1	-	-0.038
	500~1,000	3	-0.030	-0.019	1	-	-0.020	2	-0.143	-0.026
	1,000~1,500	1	-	-0.010	0	-	-0.008	0	-	-0.008
	1,500~2,000	1	-	-0.002	0	-	-0.002	0	-	-0.002
	2,000~2,500	0	-	0.000	0	-	0.000	0	-	0.000
	2,500~3,000	3	-0.090	0.000	0	-	0.000	0	-	0.000
3%	0~500	5	-0.050	-0.016	2	-0.032	-0.020	3	-0.071	-0.024
	500~1,000	0	-	-0.010	0	-	-0.010	4	-0.033	-0.014
	1,000~1,500	2	-0.022	-0.008	0	-	-0.008	0	-	-0.010
	1,500~2,000	0	-	-0.002	0	-	0.000	0	-	-0.001
	2,000~2,500	0	-	0.000	0	-	0.000	0	-	0.000
	2,500~3,000	1	-	0.000	2	-	0.000	1	-	0.000
2%	0~500	7	-0.075	-0.004	0	-	-0.004	0	-	-0.008
	500~1,000	3	-0.101	-0.004	0	-	-0.006	0	-	-0.009
	1,000~1,500	0	-	-0.004	0	-	-0.006	0	-	-0.008
	1,500~2,000	0	-	0.000	0	-	0.000	0	-	-0.001
	2,000~2,500	0	-	0.000	0	-	0.000	0	-	-0.001
	2,500~3,000	6	-0.044	0.000	1	-	0.000	1	-	-0.001
1%	0~500	3	-0.019	0.000	0	-	0.000	2	-0.096	-0.002
	500~1,000	0	-	0.000	0	-	0.000	0	-	-0.001
	1,000~1,500	1	-	0.000	0	-	0.000	0	-	-0.001
	1,500~2,000	0	-	0.000	0	-	0.000	0	-	-0.001
	2,000~2,500	0	-	0.000	0	-	0.000	0	-	-0.001
	2,500~3,000	0	-	0.000	0	-	0.000	6	-0.057	0.000

경우 이상이 가속곡선보다 성능이 낮은 형태로 오르막 특성이 보여 진다고 얘기할 수 있다. 즉, 현장에서의 속도 증가가 성능곡선의 속도증가 보다 더 작게 나타나게 된다. 이러한 점을 고려할 때 현재의 오르막차로 종점 부는 하류부로 연장 설치할 필요가 있다.

4. 오르막차로 시·종점 위치의 적합성 평가

관찰된 85%ile 값을 기준으로 실제 화물차 주행성을 고려한 오르막차로 시점 및 종점의 보정 소요길이를 계산 및 검토하였다.

계산방법은 먼저 오르막성능곡선을 이용하여 60 km/h로 감소 소요거리와 회복소요거리를 산출한다. 이후 관측조사 85%ile 자료로 산출된 그래프를 이용하여 60km/h로 감소 소요거리와 회복 소요거리를 산출한다. 즉 감속곡선의 경우 최고속도에서 60km/h로 감소되는 거리를 산출하며, 가속곡선의 경우 최저속도에서 60km/h에 도달하는 거리를 산출한다. 최종적으로 관측조사 결과의 85%ile과 오르막성능곡선의 60 km/h 도달거리를 비교하면 된다.

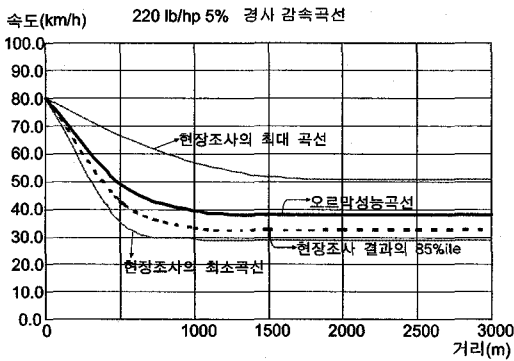
〈그림 10〉은 오르막성능곡선과 관측 85%ile 곡선 비교 예시도이며, 〈그림 11〉은 60km/h로 감소 소요 길이를 계산 예시도이다.

감속곡선에서 80km/h → 60km/h로 감소 소요길이 차이 분석결과는 〈표 3〉과 같다. 180 lb/hp 인 경우 관측 85%ile곡선과 오르막성능곡선의 60km/h로 감소 소요 길이는 -1.52~179.80m의 차이가 발생하였다. 이는 평균 67.94m의 차이가 발생하는 것이다. 이 경우 관측된 화물차 주행성능을 감안할 때 오르막차로 길이를 평균

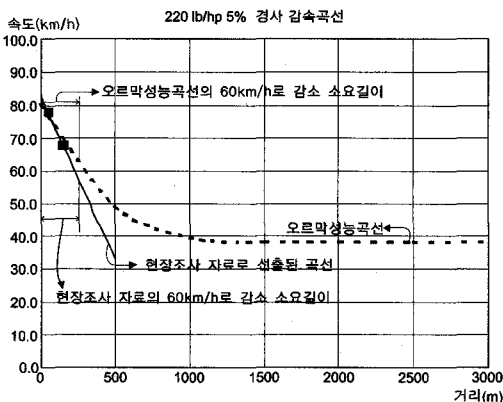
67.94m 상류로 이동시키는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 200 lb/hp인 경우 관측 85%ile곡선과 오르막성능곡선의 60km/h로 감소 소요길이는 44.22~74.66m의 차이가 발생하였다. 이는 평균 59.44m의 차이가 발생하는 것이다. 이 경우 관측된 화물차 주행성능을 감안할 때 오르막차로의 길이를 평균 59.44m 상류로 이동시키는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 220 lb/hp인 경우 관측 85%ile곡선과 오르막성능곡선의 60km/h로 감소 소요길이는 -44.56~76.95m의 차이가 발생하였다. 이는 평균 16.19m의 차이가 발생하는 것이다. 이 경우 관측된 화물차 주행성능을 감안할 때 오르막차로의 길이를 평균 16.19m 상류로 이동시키는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

〈표 3〉 60km/h로 감소 소요길이 차 분석결과(감속곡선)

구분	거리 차 범위	거리 차 평균
180 lb/hp	-1.52 ~ 179.80m	67.94m
200 lb/hp	44.22 ~ 76.95m	59.44m
220 lb/hp	-44.56 ~ 76.95m	16.19m



〈그림 10〉 성능곡선과 관측 85%ile 곡선 비교 예시도



〈그림 11〉 60km/h로 감소 소요길이 계산 예시도

가속곡선 0km/h→60km/h로 회복 소요길이 차이 분석결과는 〈표 4〉와 같다. 180 lb/hp 인 경우 관측 85%ile곡선과 가속 성능곡선의 60km/h로 회복 소요 길이는 -183.74~31.90m의 차이가 발생하였다. 이는 평균 53.12m의 차이가 발생하는 것이다. 이 경우 관측된 화물차 주행성능을 감안할 때 오르막차로 종점부의 길이를 평균 53.12m 연장 이동시키는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 200 lb/hp의 경우는 현장 조사 자료 샘플수가 적어 분석이 불가하였다. 220 lb/hp인 경우 관측 85%ile곡선과 가속 성능곡선의 60km/h로 회복 소요길이는 -130.30~-88.06m의 차이가 발생하였다. 이는 평균 103.24m의 차이가 발생하는 것이다. 이 경우 관측된 화물차 주행성능을 감안할 때 오르막차로 종점부의 길이를 평균 103.24m 연장 이동시키는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

〈표 4〉 60km/h로 회복 소요길이 차 분석결과(가속곡선)

구분	거리 차 범위	거리 차 평균
180 lb/hp	-183.74 ~ 31.90m	-53.12m
200 lb/hp	-	-
220 lb/hp	-130.30 ~ -88.06m	-103.24m

III. 결론

오르막차로 설계와 관련된 중요한 이슈 중 하나는 표

준트럭 성능곡선의 유의성 혹은 유효성에 관한 문제이다. 이와 관련하여 표준트럭 성능곡선을 '결정론적(deterministic) 해로 간주할 것인가, 혹은 다양한 확률적(probabilistic) 해로 간주할 것인가'가 하나의 중요한 논점대상이다. 그동안 통계학자들은 불확실성(uncertainty)을 다루는 문제 해법에서 표준 결정론적 해법과 확률적 해법의 차이를 이렇게 표현하였다. 결정론적 해법은 간단한 적용이 쉽고 다수의 사람들과 의사 결정자들에게 편리하다. 그러나 불확실성이 정의되어 있지 않고, 안전치(safety-oriented) 값을 알 수 없는 문제점이 있다. 그래서 통계적 분포만 주어진다면 확률적 해법이 훨씬 지식활동에 적합하다고 정의하고 있다.

표준트럭 성능곡선을 결정론적으로 정의했을 경우 적용이 쉽고 설계 시 편리하게 사용할 수 있는 장점을 갖게 된다. 그러나 실제의 불확실성 즉, 실제 다양한 모델과 연식을 가진 동일 트럭이 똑같은 성능을 보여줄 수 있는지의 불확실성 문제가 발생한다. 또한 표준트럭과 동일 성능의 트럭이라도 운전자가 차량의 성능을 최대한 발휘하여 운전할 수 있는 가의 문제가 있다. 따라서 표준트럭에 의한 설계는 안전치(safety-oriented) 값의 반영에 관한 한계점이 발생하게 되며, 설계 시 이에 대해 보정이 필요하게 된다.

본 논문은 오르막차로에서 주행하는 화물차의 실제 주행특성을 조사하여, 현재 오르막차로설계에 사용되고 있는 결정론적 표준트럭 감속/가속 성능곡선기술기의 확률적 변동성을 검토하였다. 이를 위해 고속도로 요금소에서 계측기를 통과한 트럭의 차종 및 모델조사를 통해 중량/마력비를 산출하고, 오르막차로에서 추종을 통한 속도 조사 결과로 확률적 변동치를 검토하였다.

본 연구에서는 그동안 사용되어졌던 각종 표준트럭의 감속/가속 성능곡선을 이용하여 180 lb/hp, 200 lb/hp, 220 lb/hp 의 세 가지로 구분하였다. 그리고 이 세 가지 성능곡선과 상응하는 판측된 85%ile 값의 특성을 비교하였다.

오르막차로 상·하류 구간에서의 화물차 추종조사결과 실측된 감속 곡선과 가속 곡선은 관련기준에서 제시하는 곡선보다 성능이 떨어지는 형태를 대체적으로 보여주었다. 결론적으로 설계 시 기대했던 트럭의 속도를 현재의 오르막차로 시점부와 종점부에서 얻으려면, 오르막차로 길이의 연장이 필요함을 제시하였다. 오르막차로의 시점부의 경우 16.19 ~ 67.94m의 길이 연장이 필요하며, 오르막차로 종점부의 경우 53.12 ~

103.24m의 길이 연장이 필요함을 제시할 수 있었다.

본 연구에서 제시하는 것은 그동안 사용된 기준에 대한 보완으로 간주될 수 있다. 따라서 그동안 방법론을 존중하며 추후 시종점부의 부분적인 보완으로 오르막차로 안전과 효율을 높이고자 하는 것이다.

본 연구를 통해 이제까지 오르막차로 설계에 사용되어 온 결정론적 곡선형태의 오르막차로 설계에 관한 문제점을 제시하였다. 따라서 현재의 설계방법에 대한 현상적 문제의 개선책을 제시하였다. 그러나 현재 오르막차로 설계의 여러 가지 한계점 즉, 결정론적 확률적 설계방식에 대한 체계적 혹은 원론적 대응방안에 대하여서는 제시하지 않았다.

오르막차로 연구자들의 주요 관심시슈는 성능곡선 계산식을 산출하는 것이어 왔다. 그러나 성능곡선 산출식은 일종의 모델링으로서 결국 현장 관찰 자료를 통해서 그 유효성을 평가 받는다는 점과 다양한 결과 곡선에 대한 최적합성 평가가 필요하다는 점에서 그 한계가 있다. 본 연구는 성능곡선 계산식과 관련한 문제와 관련된 논점과는 다른 현재 관련 기준이 정하고 있는 표준곡선을 중심으로 시종점부의 문제점을 비교한 것으로 성능곡선 계산식 산출과는 다른 방향임을 명확히 하고자 한다.

또한 과거의 연구에서처럼 거시분석을 통해 "적합한 중량/마력비"를 찾아내는 것과도 차이가 있다. 즉, 미시적인 속도측정을 통해 성능곡선의 시종점부의 속도 차 문제를 분석하는데 초점을 맞추었다. 따라서 이와 관련된 제반 오르막차로 관련 이슈들은 본 논문에서 다루지 않았고 추후 연구로서 함이 바람직하다고 생각된다.

또한 본 연구를 통해 기존의 오르막차로 기준을 사용함에 있어 시종점부 해석에서 더 명확성을 제시해줄 수 있을 것으로 추정되나 전면적 확률적 해석방법의 도입은 설계의 간편성측면에서 바람직하지 않을 수도 있음을 제시하고자한다.

참고문헌

1. 유경수, 장명순 외, 한국도로공사(1996), 화물차 성능 조사 분석 연구.
2. 건설교통부(2000), 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침.
3. 최재성, 김영록(2001), 우리나라 일반국도의 화물차 성능 곡선 산출식 정립, 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.119~129.

4. 사단법인 일본도로협회(2003), 도로구조령.
5. 오홍운, 이현석 외(2005) 한국도로공사, 고속도로 구간별 용량검토를 통한 오르막 설치기준 검토.
6. A. D. St. John, and D. W. Harwood(1991), Safety Considerations for Truck Climbing Lanes on Rural Highways, Transportation Research Record 1303.
7. R. Lamm, B. Psarianos, T. Mailaender, McGRAW-HILL(1999), Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook.
8. AASHTO, FHWA (2001), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
9. D. W. Harwood, D. J. Torbic, K. R. Richard, W. R. Richard and L. Elefteriadou, (2003). Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design, NCHRP Report 505.
10. J. Taux(2003), Modeling Uncertainty: Realism vs Conservatism in Radiological Performance Assessment, (http://www.neptuneandco.com/~jtauxe/ngwa03/Tauxe_et_al_NGWA_2003_files/frame.htm).
11. C. Lan and M. Menendez, Journal of Transportation(July/August 2003), Truck Speed Profile Models for Critical Length of Grade.

✉ 주 작 성 자 : 김상윤

✉ 교 신 저 자 : 오홍운

✉ 논문투고일 : 2006. 3. 29

✉ 논문심사일 : 2006. 5. 2 (1차)

2006. 6. 30 (2차)

2006. 7. 10 (3차)

✉ 심사판정일 : 2006. 7. 10

✉ 반론접수기한 : 2006. 12. 31