

SMART Highway 오르막차로 설치 필요성 및 기준 연구

김상구¹ · 김영춘² · 심대영^{3*} · 이용문⁴ · 김종원⁴ · 김흥래⁴

¹ 전남대학교 물류교통학전공, ² 한국교통연구원 도로정책기술연구실,

³ 가톨릭관동대학교 건축학부, ⁴ 평화엔지니어링

Necessity of Climbing Lane on SMART Highway and its Design Guidelines

KIM, Sang Gu¹ · KIM, Young Chun² · SIM, Dae Young^{3*} · LEE, Yong Mun⁴ ·
KIM, Jong Won⁴ · KIM, Heung Rae⁴

¹ Department of Logistics and Transportation, Chonnam National University, Jeonnam 550-749, Korea

² Division for Highway Policy & Technology Research, Korea Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea

³ Division of Architecture, Catholic Kwandong University, Gangwon 210-701, Korea

⁴ Pyungwha Engineering Consultants, Gyeonggi 431-810, Korea

Abstract

This study aims to review whether climbing lane installment is needed by analyzing the impact that standard trucks have on traffic according to vertical alignment at SMART highway, and if climbing lanes are required to propose truck speed change curves based on slope length. We used VISSIM simulation model to obtain the speed change of the standard truck on uphill roads. The standard truck on climbing lanes was set for 100kg/kW (170lb/hp) with the entry speeds set and analyzed by 90, 100, and 110 km/h considering the future speed limit of trucks. The results of the research show that under SMART highway circumstance, the 1 and 2% vertical alignment is not needed at the climbing lane but 3% vertical alignment is necessary. In order to install the climbing lane at 3% vertical alignment, the speed change curve of truck depending on slope length of 90, 100, and 110km/h of entry speed is proposed.

본 연구는 SMART Highway에서 종단선형에 따른 표준트럭의 교통영향을 분석하여 오르막차로 설치 필요성을 검토하고 오르막차로 필요 시 경사길이에 따른 속도변화 곡선을 구하여 제시하는 것을 목적으로 한다. SMART Highway는 미래 고속도로이므로 표준트럭의 실제 주행실험이 불가능하여 VISSIM 시뮬레이션 모형을 이용하여 오르막구간에서 표준트럭의 속도변화를 구하였다. 오르막차로의 표준트럭은 100kg/kW(170lb/hp)로 결정하고 진입속도는 장래 여건을 고려하여 90, 100, 110km/h로 설정하였다. 본 연구결과는 SMART Highway 환경하에서 종단선형 1, 2%에서 오르막차로는 필요하지 않고 3%의 오르막구간에서만 설치 필요성이 있음을 제시하였다. 3% 종단선형에서 오르막차로를 설치하기 위해 진입속도 90, 100, 110km/h에서 경사길이에 따른 트럭의 속도변화 곡선을 제시하였고 오르막차로 설치 위치도 제시하였다.

Keywords

climbing lane, entry speed, SMART highway, speed change curve, standard truck
오르막차로, 진입속도, 스마트하이웨이, 속도변화곡선, 표준트럭

* : Corresponding Author
sdyng@kd.ac.kr, Phone: +82-33-649-7518, Fax: +82-33-642-3359

Received 21 July 2014, Accepted 17 September 2014

© Korean Society of Transportation
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

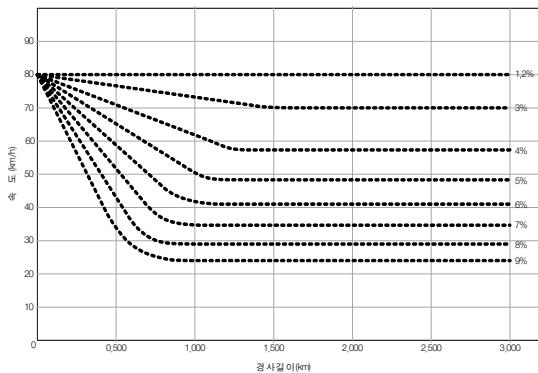
서론

1. 연구의 배경 및 목적

IT의 급속한 발전, 지능형 자동차 산업의 가속화 등에 따라 빠르고, 안전하고 편안한 이동에 대한 욕구는 증대되고 있으나 국내 도로기술은 최대 설계속도 120km/h 수준에 머무르고 있다. 반면 미국, 독일, 일본과 같은 교통선진국에서 이미 운영 중인 초고속도로의 설계속도는 130-160km/h로 더 높은 수준이다. 따라서 도로기술력의 획기적인 진보 계기 마련을 위해 현 수준보다 한 차원 높은 목표를 「지능화를 고려한 고속환경(설계속도 140km/h)」으로 설정하고 도로 서비스의 질을 높이는 기반 환경 조성을 위한 스마트하이웨이 선형설계에 대한 연구가 진행 중에 있다.

이에 따라 SMART Highway 사업단에서는 설계속도 140km/h로 하는 SMART Highway에 관한 다양한 설계기준을 연구 중에 있으며 종단선형은 평지에서 최대 2%, 산지에서 최대 3%를 고려하고 있다. 이러한 종단선형을 가진 고속도로 오르막구간에서 저속차량인 트럭으로 인해 주변 고속차량들이 영향을 받는지에 대한 검토가 필요하다.

본 연구는 초고속 주행상태에서 안전성, 쾌적성, 이동성을 보장할 수 있는 SMART Highway에서 종단선형에 따른 표준트럭의 오르막 성능평가와 교통영향을 분석하여 오르막차로 설치 필요성을 검토하는 것을 1차적인 목적으로 하고 오르막차로 필요 시 경사길이에 따른 속도변화 곡선을 구하여 제시하는 것을 목적으로 한다.



Source: Ministry of Land Infrastructure and Transport (2013), Rules on Guidelines of Structures and Facilities of Roads (Partial Revision).

Figure 1. Speed-distance curves for deceleration of a truck of 100 kg/kW (170 lb/hp)

2. 연구의 범위

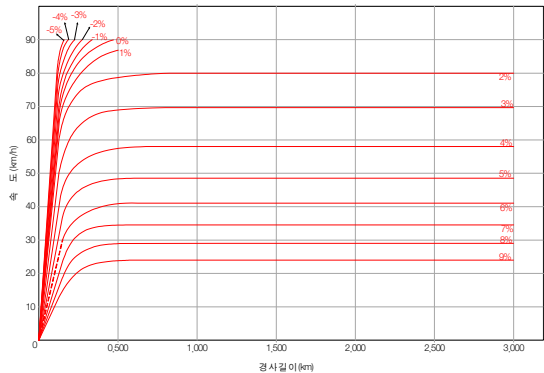
본 연구는 설계속도 140km/h를 목표로 하여 초고속 주행시에 변화가 예상되는 종단선형 구성요소 중 오르막차로를 연구범위로 한다. 설계속도 140km/h를 적용하였을 경우 오르막차로 구간에서 표준트럭의 성능을 나타낼 수 있는 시뮬레이션 모형을 검증한 후 표준트럭의 감속 성능곡선을 작성하고 교통류에 미치는 영향을 분석하여 SMART Highway에 오르막차로 필요성을 검토하는 것을 내용적 범위로 한다.

오르막차로 관련 문헌 검토

1. 오르막차로 설계기준

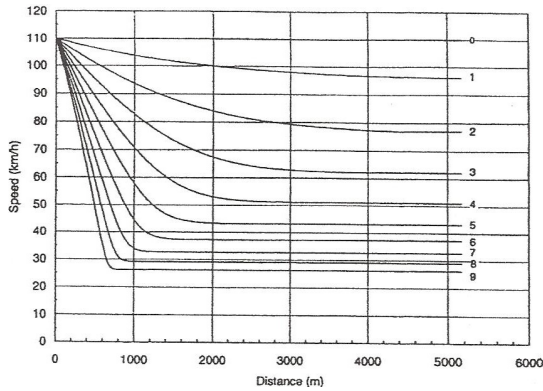
Ministry of Land Infrastructure and Transport(2013)에서는 종단경사가 있는 구간에서 자동차의 오르막 능력 등을 검토하여 필요하다고 인정되는 경우에는 오르막차로를 설치해야 하며 다만, 설계속도가 시속 40킬로미터 이하인 경우에는 오르막차로를 설치하지 아니할 수 있다. 오르막차로 설치 시 유의사항으로는 도로용량, 경제성, 교통안전 등에 대한 내용이 포함되어 있으며 오르막차로 설치기준을 제시하고 있다.

또한, 오르막차로 설치구간의 전제조건은 대형자동차의 오르막 성능 중량/마력비 100kg/kW(170lb/hp)를 표준으로 하며, 진입속도는 설계속도가 80km/h 이상인 경우 모두 80km/h로 하고 대형자동차의 허용 최저속도는 설계속도 80-100km/h 인 경우 60km/h, 설계속도 80km/h 미만인 경우 (설계속도 -20)km/h를 유지하도록 하고 있다.



Source: Ministry of Land Infrastructure and Transport (2013), Rules on Guidelines of Structures and Facilities of Roads (Partial Revision).

Figure 2. Speed-distance curves for acceleration of a truck of 100 kg/kW (170 lb/hp)

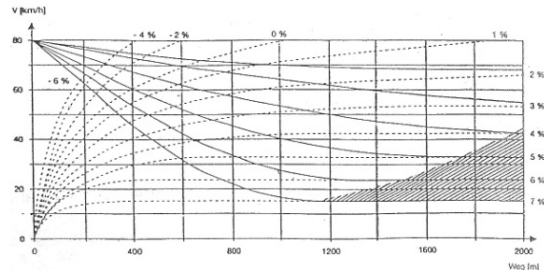


Source: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. **Figure 3.** Speed-distance curves for deceleration of a truck of 120 kg/kW (200 lb/hp)

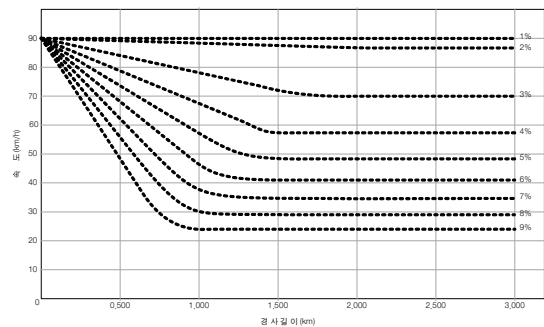
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2013)에서는 대형차와 같은 단위 중량당 마력 수가 작은 차량은 종단경사가 급한 오르막구간에서 속도가 뚜렷하게 떨어지며, 교통량이 많은 경우에는 다른 차량들이 저속차량을 앞지르기할 수 없으므로 저속차량의 뒤를 따르게 된다고 기술하고 있다. 그 결과 용량이 감소되고, 경우에 따라서는 오르막구간에서 무리한 앞지르기를 시도함으로써 교통사고의 원인이 되기도 하므로 오르막구간에서 저속차량과 성능이 좋은 차량을 분리하여 통행시키기 위하여 설치하는 부가차로를 오르막차로라 정의하고 있고 오르막차로의 길이는 속도-경사도를 이용하여 적정길이를 산정하도록 하고 있다.

AASHTO(2004)에서 표준트럭의 중량/마력비는 120kg/kW로 적용하고 오르막차로 시점부는 트럭의 주행속도와 도로상의 모든 차량의 평균 주행속도와의 속도 차이가 15km/h 이상 발생하는 지점이 오르막차로의 시점부이다. 오르막차로 종점부는 상향경사 정점 너머 다른 차량과의 속도 차이를 15km/h 이내로 줄일 수 있는 지점까지 연장시키고 트럭이 다른 차량과의 간섭 없이 주행차로로 돌아올 수 있는 지점까지를 오르막차로로 설치한다. Figure 3은 120kg/kW 트럭의 오르막 구간 감속 곡선을 나타내고 있고 여기서 오르막 구간 초기 진입 속도는 110km/h로 설정하여 제시하고 있다.

독일 도로시설 규정인 RAS에서는 표준트럭에 대한 정의는 없고, 중차량의 정의만 제시되어 있는데, 여기서 중차량은 중량 3.5톤 이상의 트럭, 버스, 견인차가 해당된다. 독일에서는 이 기준을 오르막 성능 곡선 도출의 표준차량으로 정의하고 있다. Figure 4는 독일에서 사용



Source: Translated Book of RAS in Germany **Figure 4.** Truck performance curves in Germany



Source: Korea Institute of Construction Technology, The Korea Transport Institute (2011), Revision and Complement Research of Highway Capacity Manual (Final Report).

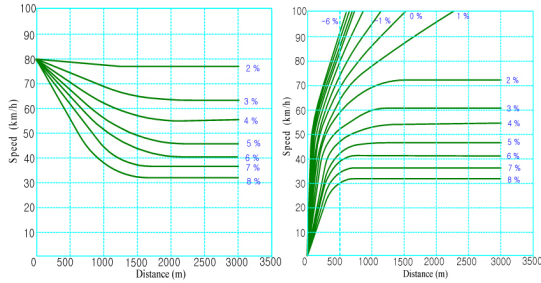
Figure 5. Speed-distance curves for a truck of 100 kg/kW (170lb/hp) at entry of 90 km/h

하고 있는 중차량의 오르막 성능 곡선을 나타낸 것으로서 정지상태에서 가속곡선은 하향 5%, 4%, 2%, 0-7%까지, 감속곡선은 80km/h에서부터 2-7%까지 그려져 있고 오르막차로 설치 시 이 성능곡선을 기준으로 하여 속도차이가 많이 나는 구간에 설치하도록 되어 있다.

2. 오르막차로 관련 연구

KICT and KOTI(2011)에서는 도로용량편람 수정 및 보완연구를 수행하면서 오르막차로 설치 관련 기준을 제시하고 있다. 여기서 대표트럭의 총중량/엔진성능은 100kg/kW≒170lb/hp로 제시하고 진입속도는 도로교통법 시행규칙상의 제한속도를 고려하여 90, 80, 60km/h로 우선 선정하고, 추가로 70km/h까지 포함하였으며 트럭의 오르막구간 주행 실험을 통해 우리나라 트럭의 감속곡선을 진입속도별로 제시하였다.

또한, 진입속도 90km/h일 때 1% 상향 경사구간은 평지로 간주되고, 80km/h일때는 2%까지 평지로, 70 km/h와 60km/h일때는 3%까지 평지처럼 진입속도가 오르막 한계속도에 해당된다고 제시하고 있다.



Source: Yoo K. S., Jang M. S., Seo Y. C., Park J. B. (1997), A Study on Development of Korean Truck Performance Curves, J. Korean Soc. Transp., 15(4), 21-34.

Figure 6. Truck performance curves (90kg/kW)

Table 1. Ratio of kg/kW by percentiles

percentile	85%-tile	90%-tile	95%-tile
Weight-to-kg/kW	91	110	127
Power Ratios lb/hp	150	180	210

Source: Kim Y. R. (2001), A Study on Development of Korean Truck Performance Curves, University of Seoul.

Yoo K. S. et al.(1997)은 우리나라 자동차 등록현황을 토대로 하여 대표트럭을 90kg/kW (150lb/hp)로 제시하고 진입 속도는 80km/h로 실제 도로를 주행하게 하여 오르막구간에서 트럭 성능 곡선을 제시하였다.

Kim Y. R.(2001)은 오르막구간 주행성능 곡선을 제시하였는데 자동차 등록현황 자료를 이용하여 대표트럭을 선정하고 국내 현장조사 자료를 활용하여 트럭의 오르막 주행 속도 예측식을 추정한 후 오르막 주행성능 곡선을 도출하였다. 그의 연구에서 대표트럭의 중량/마력비는 85%, 90%, 95% 백분위 수에 따라 각각 91kg/kW, 110kg/kW, 127kg/kW로 제시하고 있다.

표준트럭 및 진입속도 결정

1. 표준트럭 검토

본 연구에서는 오르막차로 설치기준을 연구하기 위해 우선 표준트럭과 진입속도에 관한 기존 연구결과를 살펴 보았다. 표준트럭은 중량/마력비에 따라 선정되고 전체 트럭의 중량/마력비는 우리나라 자동차 등록현황 자료에 의해 총중량 및 적재 총중량과 엔진성능 자료를 이용하여 중량/마력비 누적 분포도를 작성하고 통계적으로 분석하여 국내 트럭의 중량/마력비를 도출하고 있다는 것을 기존 연구를 통해서 알 수 있다.

기존 연구를 토대로 표준트럭의 중량/마력비의 기준을 Table 2에 제시하였으며, 이 표에 의하면 표준트럭

Table 2. Review on weight to power ratios of standard truck

Existing Studies	weight to power ratios (kg/kW)
MOLIT (2013)	100
KHCM (2013)	100
KIM S. Y. et al. (2007)	66(85%-ile), 75(90%-ile), 91(95%-ile)
Oh H. W. (2006)	100-138
AASHTO (2004)	120
KIM Y. R. (2001)	91(85%-ile), 110(90%-ile), 127(95%-ile)
US HCM (2000)	120
Yoo K. S. et al. (1997)	90
Archilla and Fernandez (1995)	190
Japanese Road Association (1983)	135

은 과거에 비해 자동차 관련 기술 산업의 발달과 함께 그 성능이 향상되고 있음을 알 수 있으며, 또한 각 연구의 조사방법이나 연구 진행 과정 등을 볼 때, 표준트럭 성능 값의 차이가 발생함을 알 수 있다.

본 연구에서는 트럭의 오르막구간 주행실험을 통해 얻어진 가장 최신 연구결과를 활용하고자 하며 표준트럭의 중량/마력비를 100kg/kW(170lb/hp)로 결정하여 연구를 수행하고자 한다.

2. 진입속도 검토

트럭의 오르막구간 진입속도는 트럭의 오르막 구간 주행성능 곡선을 작성할 때 가장 기본이 되는 요소이다. 그러나, 일반적으로 트럭이 상향의 종단 경사 구간을 진입하게 될 경우, 오르막 구간을 좀 더 쉽게 주행하기 위하여 최대한의 가속을 하고, 그 탄력을 이용하려는 것이 일반적인 경향이다.

따라서, 트럭의 오르막구간 진입속도를 최고 제한속도로 설정하는 것이 바람직하다고 알려져 있으며 제한속도를 살펴보고자 국내 도로교통법 시행규칙에서 제시하고 있는 제한속도를 나타내면 Table 3과 같다.

고속도로는 2차로인 경우, 차중에 상관없이 최고 80km/h, 최저 40km/h로 규정하고 있다. 4차로 이상의 도로에서는 승용차와 화물차 등을 구분하여 제한속도를 제시하고 있는데, 일반적으로 승용차는 최고 100km/h, 최저 50km/h이며, 화물차 등은 최고속도를 80km/h로 제한하고 있다. 그러나, 경찰청장이 원활한 소통을 위해 필요하다고 인정하여 지정·고시한 노선 또는 구간은 최고 120km/h 이내에서 정할 수 있으며 이때 최저 제한속도는 60km/h로 해야 하고, 이 경우 화물차 등은 최고속도를 90km/h로 제한할 수 있다.

Table 3. Speed limits of roadway types (unit: km/h)

roadway	lane veh.	2 lanes in both directions		4 lanes and more in both directions	
		auto	truck etc	auto	truck etc
general road		≤ 60		≤ 80	
motorway		none		90-30(min.)	
Expressway		80-40(min.)		100-50(min.)	80
				120-60(min.)	90

Source: The National Assembly of the Republic of Korea (2014), Enforcement Rule of the Road Traffic Act, No. 76

Table 4. Assumption of truck speed limit on SMART highways

Classification	current criteria		SMART
Design Speed	100km/h	120km/h	140km/h
Speed Limit	Max. 80km/h	Max. 90km/h	Max. 100km/h

우리나라 도로종류별 · 차로수별 차종별 제한속도를 검토한 결과, 화물차의 제한속도는 최고 60, 80, 90km/h로 제한하고 있음을 알 수 있다.

장래 SMART Highway의 설계속도 140km/h에서는 화물차의 제한속도가 상향될 것으로 가정할 수 있으며 현행 기준인 설계속도 100km/h일 때 최고속도 80km/h, 120km/h일 때 최고속도 90km/h인 점을 감안할 때 설계속도 140km/h일 때는 같은 속도 증가폭을 적용하면 최고속도가 100km/h까지도 상향될 가능성이 높다.

본 연구에서는 스마트하이웨이 환경인 설계속도 140km/h를 기준으로 볼 때, 기존 화물차의 최고속도인 90km/h를 적용하거나 동일한 속도 증가폭을 적용한 최고속도 100km/h이거나 표준트럭이 가지고 있는 최고속도 성능 한계 등 가장 높은 제한 최고속도인 110km/h 등 화물차의 최고속도를 90, 100, 110km/h 등 3가지로 다양하게 구분하여 연구하고자 한다.

따라서, 본 연구에서 적용할 트럭의 진입속도는 최고 제한속도를 초과할 수 없으므로 오르막구간의 트럭 진입속도를 90km/h, 100km/h, 110km/h 등 3가지 Case로 가정하여 분석함으로써 장래 발생할 수 있는 다양한 상황에 관해 적용할 수 있도록 시뮬레이션 하였다.

표준트럭의 속도변화 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 수행계획

1) 시뮬레이션 모형 및 네트워크

본 연구에서 사용할 시뮬레이션 모형은 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM, PARAMICS, AIMSUM

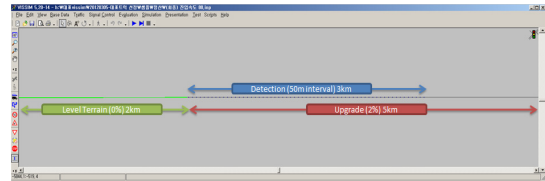


Figure 7. Network for truck performance curves

등이 있으나, 실제 고속도로 기하구조와 차량의 성능 등을 개별적으로 구현할 수 있는 VISSIM을 선택하여 시뮬레이션 데이터를 생성하고자 한다. 시뮬레이션을 수행하여 표준트럭의 성능곡선을 도출하기 위해서는 네트워크 구축, 차량설정, Data 수집을 위한 검지기 설치, 수집자료 선정 등의 기본항목들을 설정하여야 한다.

시뮬레이션을 수행할 네트워크는 크게 트럭 성능곡선용과 교통영향 분석용 등 2가지로 구분하여 구축하였다.

우선 트럭 성능곡선용 네트워크는 고속도로 1차로 기준으로 총 연장 7km로 평지구간(종단경사 0%) 2km, 오르막구간(종단경사 1%, 2%, 3%) 5km를 구축하였다.

시뮬레이션에서 적용한 화물차의 주행차량은 총 중량 25,400kg, 엔진성능 254kw, 총중량/엔진성능 100kg/kW(170lb/hp)의 표준트럭 성능을 적용하였다.

오르막구간의 트럭 성능곡선을 도출하기 위해서 오르막구간 시점부터 3km지점까지 50m 간격으로 총 61개의 검지기를 설치하였으며 설치된 검지기를 통해 지점별 속도자료를 수집하였다.

트럭 성능곡선을 도출하기 위해 시뮬레이션에 적용될 차중구성비 및 교통량은 표준트럭 1대로 설정하였다. 시뮬레이션을 수행하는 목적이 SMART Highway의 오르막차로에 대한 성능곡선을 도출하기 위함이기 때문에 다른 차종은 고려하지 않고 표준트럭만을 고려하여 성능곡선을 도출하였다.

2) 표준트럭 정산

VISSIM 시뮬레이션을 이용하여 SMART Highway의 오르막차로에 대한 감속성능곡선을 도출하기 위해서는 시뮬레이션 상에서 구현되는 트럭의 성능이 실제 표준트럭의 성능과 같도록 트럭 성능에 대한 정산을 수행해야 한다.

실제 도로를 주행하는 표준트럭의 성능자료는 "KICT and KOTI(2011, 이하 『도로용량편람 개정보고서』)"에 제시되어 있는 실제 표준트럭의 주행속도 자료를 활용하였다.

『도로용량편람 개정보고서』에는 표준트럭 성능 170lb/hp, 진입속도 60km/h, 70km/h, 80km/h, 90km/h의 오르막차로 성능곡선이 제시되어 있다.

본 연구에서는 설계속도 140km/h의 SMART Highway에서 표준트럭의 오르막차로 성능곡선을 도출해야 하므로 기존 트럭 성능곡선 자료 중 진입속도가 가장 높은 자료를 활용하여 표준트럭을 정산하는 것이 바람직할 것으로 판단하였다. 따라서, SMART Highway의 오르막차로 성능곡선을 도출하기 위한 정산자료로 『도로용량편람 개정보고서』의 표준트럭 성능 170lb/hp, 진입속도 90km/h의 오르막차로 성능곡선을 활용하고자 한다.

시뮬레이션 상의 표준트럭 성능과 『도로용량편람 개정보고서』의 표준트럭 성능을 정산하기 위해서 『도로용량편람 개정보고서』 상의 감속성능곡선과 동일한 조건으로 다음 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다.

- 오르막차로 진입속도 : 90km/h
- 종단경사 : 1%, 2%, 3%

시뮬레이션 트럭의 성능을 정산하기 위한 VISSIM 파라미터는 트럭속도에 따른 가속 성능 그래프로 그래프 기울기 조정을 통해서 시뮬레이션 상의 트럭 성능을 정산하였다.

표준트럭 성능정산 결과는 『도로용량편람 개정보고서』의 표준트럭 감속성능 곡선과 시뮬레이션에서 도출된 감속성능 곡선에 대해서 통계적 기법인 T-Test를 이용하여 유의성 검증을 수행하였다.

『도로용량편람 개정보고서』의 감속 성능곡선 그래프를 이용하여 경사길이에 따른 속도 데이터 61개를 생성하여 시뮬레이션 검지기 자료 61개 속도데이터와의 동일여부를 판단하기 위하여 속도데이터에 대한 T-Test 검증을 다음과 같이 실시하였다.

- 귀무가설(H₀)은 “『도로용량편람 개정보고서』의 트럭속도 데이터와 시뮬레이션의 트럭속도 데이터는 같다”이며, 유의수준(α)은 5%에서 검정을 실시하였다.

자유도(d.f)는 60일 때 유의수준 0.05의 T 기준값은 ±2.0003으로 진입속도 90km/h일 때 종단경사 2%, 3%의 T통계량이 1.604869, -0.5777로 T 기준값 범위 안에 포함되므로 귀무가설을 기각할 수 없다.

Table 5. T-test statistics of simulation data

grades	T table value	T-stat.	avg speed (km/h)		crawl speed (km/h)	
			observe d data	this study	observe d data	this study
1%		-	90	90	-	-
2%	+ 2.0003	1.60487	87.9	87.6	86.8	86.5
3%	- 2.0003	-0.5777	75.6	76.2	69.9	70.3

종단경사 1%는 『도로용량편람 개정보고서』의 속도데이터와 시뮬레이션의 속도데이터가 모두 90km/h로 변화 없으므로 유의성 검증을 수행하지 않았다.

『도로용량편람 개정보고서』와 시뮬레이션 61개 데이터의 평균속도 차이는 0.3-0.6km/h로 나타났으며 종단경사 3%일 때 가장 큰 속도차이(0.6km/h)를 보였다.

『도로용량편람 개정보고서』와 시뮬레이션의 오르막한계속도 차이는 0.3-0.4km/h로 나타났으며 종단경사 3%일 때 가장 큰 속도차이(0.4km/h)를 보였다.

2. 경사길이에 따른 속도변화 곡선

1) 시나리오 설정

기존 오르막차로 구간에서 적용되는 진입속도 80km/h는 설계속도 80-100km/h일 때의 진입속도이므로 SMART Highway의 성능곡선에 적용될 진입속도는 80km/h보다 높아야 할 것으로 생각되고 이러한 진입속도 결정은 장차 Smart Highway에서 적용된 화물차 제한속도와 매우 밀접한 관계를 가질 것이다.

본 연구는 장래 Smart Highway의 설계조건을 고려하여 화물차 진입속도를 다양하게 검토하였고 진입속도와 더불어 종단경사에 따른 트럭의 속도변화 곡선을 도출할 시나리오를 설정하였다.

앞에서 표준트럭에 적용할 수 있는 가능한 오르막차로 진입속도는 화물차의 제한 최고속도를 고려하여 90km/h, 100km/h, 110km/h로 가정하였고 종단경사는 1%, 2%, 3%로 설정하였다.

Table 6. Scenarios of truck performance curves

scenario	entry speed	grade
1	1-1	100km/h
	1-2	1%
	1-2	2%
2	2-1	110km/h
	2-2	1%
	2-2	2%
	2-3	3%

진입속도 중 90km/h는 『도로용량편람 개정보고서』에서 실제 표준트럭을 실험주행하여 트럭의 성능곡선을 얻은 결과이므로 본 연구에서는 시뮬레이션 수행을 제외하였고 진입속도 100km/h, 110km/h와 종단경사 1%, 2%, 3%를 가지고 시나리오를 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다.

2) 종단경사 별 속도변화 곡선

본 연구에서는 진입속도 90km/h일 때 표준트럭 성능이 정산된 시뮬레이션을 이용하여 진입속도 100km/h, 110km/h와 종단경사 1%, 2%, 3%의 오르막차로에서 트럭의 감속성능곡선을 도출하였다.

진입속도 100km/h일 때 종단경사 1%의 오르막 한계속도는 116km/h이며 한계속도 발생위치는 오르막 구간 시점으로부터 2.8km 지점으로 산출되었고, 이 때 표준트럭의 속도감속은 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

진입속도 100km/h일 때 종단경사 2%의 오르막 한계속도는 87km/h이며 한계속도가 발생하는 위치는 오르막 구간 시점으로부터 2.2km 지점으로 산출되었고, 3%의 경우 오르막 한계속도는 70km/h, 한계속도 발생

위치는 1.9km로 산출되었다.

진입속도 110km/h일 때 각 종단경사별 한계속도는 100km/h일 때와 동일하고, 한계속도가 발생하는 위치는 1%에서 오르막구간 시점으로부터 3.0km, 2%에서 2.4m, 3%에서 2.1km로 산출되었다.

종단경사 1%의 진입속도별 감속곡선을 비교한 결과, 진입속도 90km/h, 100km/h, 110km/h 모두 한계속도 116km/h보다 낮으므로 오르막구간에서 속도감속은 나타나지 않는 것으로 분석되었다.

종단경사 2%의 진입속도별 감속곡선을 비교한 결과, 진입속도 90km/h, 100km/h, 110km/h 모두 한계속도 87km/h보다 높으므로 오르막구간에서 속도감속이 발생하였으며, 진입속도 90km/h는 오르막 시점으로부터 2km, 진입속도 100km/h는 2.2km, 진입속도 110km/h는 2.4km까지 감속한 후 오르막 한계속도를 유지하는 것으로 분석되었다.

종단경사 3%의 진입속도별 감속곡선을 비교한 결과,

Table 7. Crawl speeds and locations by scenarios

scenario	entry speed	crawl speed (km/h)			location at crawl speed (km)		
		1%	2%	3%	1%	2%	3%
1	100km/h	116	87	70	2.8	2.2	1.9
2	110km/h	116	87	70	3.0	2.4	2.1

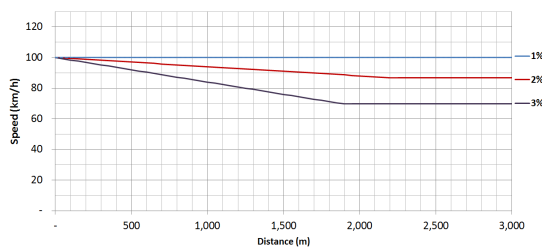


Figure 8. Truck speed changes at entry speed of 100km/h

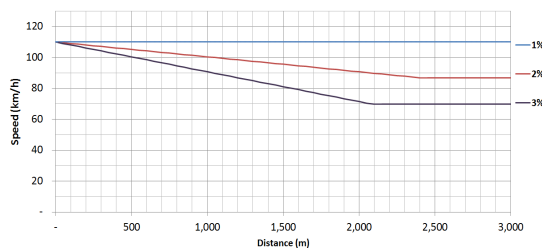


Figure 9. Truck speed changes at entry speed of 110km/h

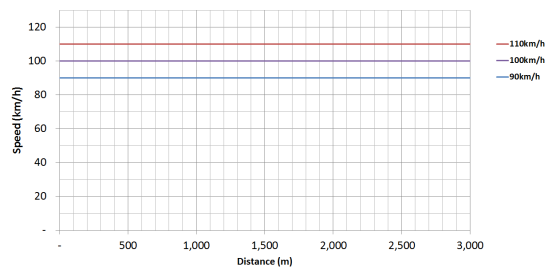


Figure 10. Truck speed changes by entry speeds at 1%

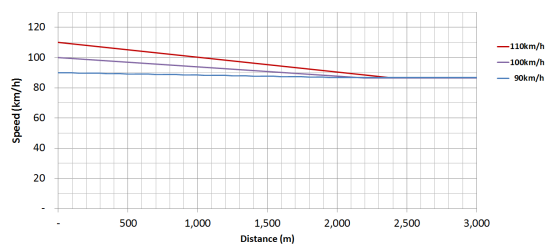


Figure 11. Truck speed changes by entry speeds at 2%

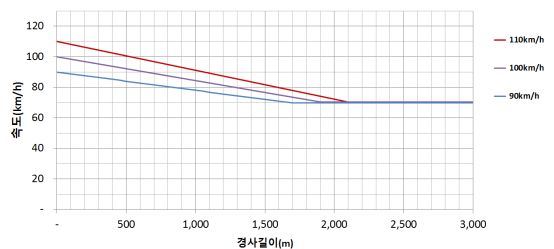


Figure 12. Truck speed changes by entry speeds at 3%

진입속도 90km/h, 100km/h, 110km/h 모두 한계속도 70km/h보다 높으므로 오르막구간에서 속도감속이 발생하였고, 진입속도 90km/h는 오르막 시점으로부터 1.7km, 진입속도 100km/h는 1.9km, 진입속도 110km/h는 2.1km까지 감속한 후 한계속도를 유지하는 것으로 분석되었다.

표준트럭의 교통영향 분석

1. 시뮬레이션 기본 설정

본 연구에서는 Smart Highway 조건하에서 종단경사 구간으로 인한 표준트럭이 주변 승용차 교통류에 미치는 영향 분석을 통해 오르막차로의 필요성을 검토하고자 한다.

앞에서 시뮬레이션 수행 시 표준트럭의 성능을 정산하였으므로 정산된 표준트럭을 가지고 교통류에 미치는 영향을 분석하였고, 표준트럭이 평지구간을 주행할 때 승용차 속도와 오르막구간을 주행할 때 승용차속도 비교를 통해 표준트럭이 다른 교통류에 미치는 영향 정도를 판단하였다.

시뮬레이션을 이용하여 교통영향분석을 수행하기 위해서는 분석방향에 적합한 네트워크 구축, 차량설정, 차종비율, 속도분포, 교통량, 자료수집을 위한 검지기 설치, 수집자료 선정 등의 기본항목들을 다시 설정하여야 한다.

시뮬레이션을 수행할 네트워크는 고속도로 2차로 기준, 총 연장 9km로 오르막구간 진입 전 평지구간(종단

경사 0%) 3km, 종단경사 2% 오르막구간 3km, 종단경사 1% 오르막구간 1km, 오르막구간 통과 후 평지구간 1km를 구축하였다.

검지기는 오르막구간 진입 전 평지구간(종단경사 0%) 50m 간격으로 61개 설치(3km), 종단경사 2% 오르막구간 50m간격으로 61개 설치(3km), 종단경사 1% 오르막구간 50m 간격으로 20개 설치(1km), 오르막구간 통과 후 평지구간 50m 간격으로 20개 설치(1km)를 구축하였다.

차종비율은 2013년 전국 고속도로 평균 차종구성비인 승용차 88.1%, 표준트럭 화물차 11.9%를 적용하였다. 이는 표준트럭 결정시 전체 화물차 중 85%-tile에 해당되는 트럭으로 정하였고 이는 15톤 트럭이나 15톤 카고에 해당되어 고속도로 차종 분류 상 대형차 4종에 해당되나 가장 나쁜 경우(worst case)를 감안하여 3, 4, 5종을 모두 포함하여 화물차 구성비를 구하였다.

차종별 속도분포는 승용차의 경우 속도 범위는 100-140km/h, 평균통행속도는 120km/h로 설정하였으며 표준트럭은 진입속도별로 시나리오에 따라 속도분포 없이 90km/h, 100km/h, 110km/h로 동일하게 적용하였다. 효과적도는 평균통행속도로 선정하였으며 시뮬레이션 네트워크에 있는 각 구간에 설치된 검지기를 통해서 평균통행속도자료를 수집하였다.

2. 시뮬레이션 시나리오 설정

오르막구간에서 표준트럭이 교통류에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 승용차와 표준트럭이 평지구간을 주행할 경우(시나리오 1)와 오르막구간(2%)을 주행할 경우(시나리오 2)를 비교하여야 하며, 또한 교통상황이 변화하는 조건을 고려하여 분석을 수행하여야 한다.

교통상황에 영향을 주는 항목으로는 표준트럭의 오르막차로 진입속도, 교통량수준 등이 있으며 2가지 항목을 고려하여 교통영향분석 시뮬레이션 시나리오를 설정하였다.

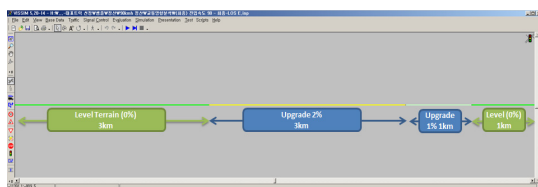


Figure 13. Network for traffic impact of truck

Table 8. Vehicle data traveled on expressways

classification	small car		medium car		large car		light small car	sum
	1-type	2-type	3-type	4-type	5-type	6-type		
total	3,356,730	170,044	204,923	113,194	177,849	162,793	4,185,533	
2012	1,640,519	86,393	99,689	54,421	86,850	79,089	2,046,961	
composition(%)	80.1	4.2	4.9	2.7	4.2	3.9	100.0	
2013	1,716,211	83,651	105,235	58,773	91,000	83,704	2,138,573	
composition(%)	80.3	3.9	4.9	2.7	4.3	3.9	100.0	

Source: Korea Expressway Corporation's Homepage(www.ex.co.kr)

Table 9. Analysis scenarios by level of service

scenario	entry speed	LOS	volume (direc. 2-lane)
scenario 1 (level terrain)	1-1-1	LOS C	max. 2,832
	1-1-2		avg. 2,504
	1-1-3		min. 2,172
	1-1-4	LOS D	max. 3,586
	1-1-5		avg. 3,210
	1-1-6		min. 2,834
	1-1-7	LOS E	max. 4,342
	1-1-8		avg. 3,966
	1-1-9		min. 3,588
	1-2-1	LOS C	max. 2,832
	1-2-2		avg. 2,504
	1-2-3		min. 2,172
	1-2-4	LOS D	max. 3,586
	1-2-5		avg. 3,210
	1-2-6		min. 2,834
	1-2-7	LOS E	max. 4,342
	1-2-8		avg. 3,966
	1-2-9		min. 3,588
1-3-1	LOS C	max. 2,832	
1-3-2		avg. 2,504	
1-3-3		min. 2,172	
1-3-4	LOS D	max. 3,586	
1-3-5		avg. 3,210	
1-3-6		min. 2,834	
1-3-7	LOS E	max. 4,342	
1-3-8		avg. 3,966	
1-3-9		min. 3,588	
scenario 2 (upgrade 2%)	2-1-1	LOS C	max. 2,832
	2-1-2		avg. 2,504
	2-1-3		min. 2,172
	2-1-4	LOS D	max. 3,586
	2-1-5		avg. 3,210
	2-1-6		min. 2,834
	2-1-7	LOS E	max. 4,342
	2-1-8		avg. 3,966
	2-1-9		min. 3,588
	2-2-1	LOS C	max. 2,832
	2-2-2		avg. 2,504
	2-2-3		min. 2,172
	2-2-4	LOS D	max. 3,586
	2-2-5		avg. 3,210
	2-2-6		min. 2,834
	2-2-7	LOS E	max. 4,342
	2-2-8		avg. 3,966
	2-2-9		min. 3,588
2-3-1	LOS C	max. 2,832	
2-3-2		avg. 2,504	
2-3-3		min. 2,172	
2-3-4	LOS D	max. 3,586	
2-3-5		avg. 3,210	
2-3-6		min. 2,834	
2-3-7	LOS E	max. 4,342	
2-3-8		avg. 3,966	
2-3-9		min. 3,588	

오르막차로 진입속도는 트럭 성능곡선 도출 시 적용한 90km/h, 100km/h, 110km/h 등 3가지로 구분하고 교통량 수준은 고속도로의 설계서비스수준에 해당되는 LOS C, D와 교통류 상황이 가장 나쁜 경우(worst case)인 LOS E의 최대, 평균, 최소 교통량으로 9가지로 구분하여 총 54가지 시나리오를 설정하였다.

차량설정은 승용차와 표준트럭으로 설정하였으며 교통량은 Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2013)의 도로용량편람에 있는 고속도로 기본구간 서비스수준에 따라 시나리오별로 다르게 적용하였다.

3. 시뮬레이션 분석결과

1) 평균통행속도 차이비교

(1) 시나리오 1(평지구간)

표준트럭 진입속도가 90km/h일 경우 평지구간의 승용차 평균통행속도는 교통량 수준에 따라 101.8-110.1 km/h로 분석되었으며 LOS C의 최소 교통량 수준일 때 110.1km/h로 가장 높게 나타났으며 LOS E 수준일 때 101.8km/h로 가장 낮은 것으로 분석되었다.

표준트럭 진입속도 100km/h일 경우 평지구간의 승용차 평균통행속도는 교통량 수준에 따라 105-111.9 km/h로 분석되었으며 LOS C의 최소 교통량 수준일 때 111.9km/h로 가장 높게 나타났으며 LOS E 수준일 때 105km/h로 가장 낮은 것으로 나타났다.

표준트럭 진입속도 110km/h일 경우 평지구간의 승용차 평균통행속도는 교통량 수준에 따라 109.6-114.2 km/h로 분석되었으며 LOS C의 최소 교통량 수준일 때 114.2km/h로 가장 높게 나타났으며 LOS E 수준일 때 109.6km/h로 가장 낮은 것으로 나타났다.

평지구간의 승용차 통행속도는 모두 100km/h 이상으로 나타났으며 표준트럭 진입속도에 따라 최대 약 8km/h 미만의 속도차이를 보이는 것으로 분석되었다.

평지구간의 표준트럭 통행속도는 표준트럭 진입속도와 비슷한 수준의 통행속도를 보여서 속도 감소가 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

(2) 시나리오 2(2% 오르막구간)

표준트럭 진입속도 90km/h일 경우 오르막구간의 승용차 평균통행속도는 교통량 수준에 따라 94.4-108.8 km/h로 분석되었으며 LOS C의 최소 교통량 수준일 때 108.8km/h로 가장 높게 나타났으며 LOS E 수준일 때 94.4km/h로 가장 낮은 것으로 나타났다.

표준트럭 진입속도 100km/h일 경우 오르막구간의 승용차 평균통행속도는 교통량 수준에 따라 98.4-110.7 km/h로 분석되었으며 LOS C의 최소 교통량 수준일 때 110.7km/h로 가장 높게 나타났으며 LOS E의 최대 교통량 수준일 때 98.4km/h로 가장 낮은 것으로 나타났다.

표준트럭 진입속도 110km/h일 경우 오르막구간의 승용차 평균통행속도는 교통량수준에 따라 103.7-112.8 km/h로 분석되었으며 LOS C의 최소 교통량 수준일 때 112.8km/h로 가장 높게 나타났으며 LOS E의 최대 교통량 수준일 때 103.7km/h로 가장 낮은 것으로 나타났다.

오르막구간의 승용차 통행속도는 모두 94.4km/h 이상으로 나타났으며 표준트럭 진입속도에 따라 최대 약 10km/h 미만의 속도차이를 보이는 것으로 분석되었다.

(3) 시나리오 비교

승용차 통행속도는 오르막구간이 평지구간보다 평균 3.5km/h 정도 낮은 것으로 분석되었으며, 가장 큰 속도차를 보인 시나리오는 진입속도 90km/h, LOS E 최대 교통량(1-1-7, 2-1-7)으로 오르막구간의 표준트럭으로 인해 7.4km/h의 속도감소가 이루어진 것으로 나타났다.

오르막구간의 표준트럭 통행속도는 진입속도 및 교통량 수준에 따라 78.9-94.9km/h로 나타났고, 진입속도 110km/h의 LOS C 최소교통량일 때 94.9 km/h로 가장 높은 것으로 분석되었으며 진입속도 90km/h의 LOS E 최대교통량일 때 78.9km/h로 가장 낮은 것으로 분석되었다.

표준트럭의 통행속도는 오르막구간이 평지구간보다 평균 10km/h 낮은 것으로 분석되었다.

2) 평균통행속도 차이 유의성 검증

시뮬레이션 결과를 통해 승용차 통행속도는 오르막구간이 평지구간보다 평균 3.5km/h 낮은 것을 알 수 있었으며, 가장 큰 속도차를 보인 시나리오는 진입속도 90km/h, LOS E 최대 교통량(1-1-7, 2-1-7)으로 오르막구간의 표준트럭으로 인해 7.4km/h의 속도감소가 이루어진 것을 알 수 있다.

그러나 위의 경우는 최악의 시나리오일 때 발생하는 속도차이이며 7.4km/h의 속도차이가 발생하는 것만으로 전체 교통류에 영향을 미친다고 판단하기에는 다소 무리가 있다.

Table 10. Simulation performance results by scenarios

scenario	entry speed	LOS	volume (direc. 2-lane)	avg. speed		
				auto	truck	
scenario 1 (level terrain)	1-1-1	LOS	max. 2,832	105.1	89.9	
	1-1-2	C	avg. 2,504	107.5	89.9	
	1-1-3		min. 2,172	110.1	89.9	
	1-1-4	90 km/h	LOS	max. 3,586	103.5	89.7
	1-1-5		D	avg. 3,210	103.5	89.7
	1-1-6		min. 2,834	106.9	89.8	
	1-1-7	LOS	max. 4,342	101.8	89.7	
	1-1-8	E	avg. 3,966	102.0	89.3	
	1-1-9		min. 3,588	102.8	89.6	
	1-2-1	LOS	max. 2,832	109.8	99.9	
	1-2-2	C	avg. 2,504	110.8	99.9	
	1-2-3		min. 2,172	111.9	99.8	
	1-2-4	100 km/h	LOS	max. 3,586	108.0	99.6
	1-2-5		D	avg. 3,210	108.1	99.8
	1-2-6		min. 2,834	110.4	99.8	
	1-2-7	LOS	max. 4,342	105.0	98.5	
	1-2-8	E	avg. 3,966	106.3	99.3	
	1-2-9		min. 3,588	107.9	99.7	
1-3-1	LOS	max. 2,832	112.7	108.4		
1-3-2	C	avg. 2,504	113.1	108.5		
1-3-3		min. 2,172	114.2	109.1		
1-3-4	110 km/h	LOS	max. 3,586	111.0	107.3	
1-3-5		D	avg. 3,210	111.7	108.1	
1-3-6		min. 2,834	112.5	108.5		
1-3-7	LOS	max. 4,342	109.6	107.7		
1-3-8	E	avg. 3,966	110.1	107.1		
1-3-9		min. 3,588	111.0	107.8		
scenario 2 (upgrade 2%)	2-1-1	LOS	max. 2,832	103.5	86.7	
	2-1-2	C	avg. 2,504	105.9	87.1	
	2-1-3		min. 2,172	108.8	86.9	
	2-1-4	90 km/h	LOS	max. 3,586	100.5	84.4
	2-1-5		D	avg. 3,210	100.4	85.8
	2-1-6		min. 2,834	104.8	86.5	
	2-1-7	LOS	max. 4,342	94.4	78.9	
	2-1-8	E	avg. 3,966	94.7	79.6	
	2-1-9		min. 3,588	99.7	84.3	
	2-2-1	LOS	max. 2,832	107.1	90.8	
	2-2-2	C	avg. 2,504	109.1	91.0	
	2-2-3		min. 2,172	110.7	90.8	
	2-2-4	100 km/h	LOS	max. 3,586	104.4	89.5
	2-2-5		D	avg. 3,210	104.7	90.2
	2-2-6		min. 2,834	107.4	90.8	
	2-2-7	LOS	max. 4,342	98.4	82.6	
	2-2-8	E	avg. 3,966	101.0	88.0	
	2-2-9		min. 3,588	104.2	89.6	
2-3-1	LOS	max. 2,832	110.1	94.3		
2-3-2	C	avg. 2,504	111.0	94.7		
2-3-3		min. 2,172	112.8	94.9		
2-3-4	110 km/h	LOS	max. 3,586	107.1	93.0	
2-3-5		D	avg. 3,210	108.0	93.9	
2-3-6		min. 2,834	109.8	94.4		
2-3-7	LOS	max. 4,342	103.7	91.9		
2-3-8	E	avg. 3,966	104.7	92.5		
2-3-9		min. 3,588	107.1	93.2		

Table 11. Significant test results of simulation data

scenario level	2%	entry speed	LOS	volume (direc. 2-lane)	χ^2 value	χ^2 table value
1-1-1	2-1-1	90 km/h	LOS C	max.	2,832	1.64135
1-1-2	2-1-2			avg.	2,504	1.78174
1-1-3	2-1-3			min.	2,172	0.99868
1-1-4	2-1-4		LOS D	max.	3,586	5.95363
1-1-5	2-1-5			avg.	3,210	6.28963
1-1-6	2-1-6			min.	2,834	2.78035
1-1-7	2-1-7		LOS E	max.	4,342	40.6879
1-1-8	2-1-8			avg.	3,966	26.8283
1-1-9	2-1-9			min.	3,588	6.53906
1-2-1	2-2-1	100 km/h	LOS C	max.	2,832	4.68236
1-2-2	2-2-2			avg.	2,504	1.83871
1-2-3	2-2-3			min.	2,172	0.82233
1-2-4	2-2-4		LOS D	max.	3,586	9.144
1-2-5	2-2-5			avg.	3,210	7.52563
1-2-6	2-2-6			min.	2,834	5.97948
1-2-7	2-2-7		LOS E	max.	4,342	30.7648
1-2-8	2-2-8			avg.	3,966	20.3993
1-2-9	2-2-9			min.	3,588	8.84881
1-3-1	2-3-1	110 km/h	LOS C	max.	2,832	4.71216
1-3-2	2-3-2			avg.	2,504	2.91433
1-3-3	2-3-3			min.	2,172	1.4389
1-3-4	2-3-4		LOS D	max.	3,586	10.6185
1-3-5	2-3-5			avg.	3,210	9.90274
1-3-6	2-3-6			min.	2,834	4.925
1-3-7	2-3-7		LOS E	max.	4,342	23.7555
1-3-8	2-3-8			avg.	3,966	20.945
1-3-9	2-3-9			min.	3,588	11.217

79.0819

본 연구에서는 평지구간과 종단경사 2%의 오르막구간 시뮬레이션 결과를 이용하여 통계적 검증을 통해 속도차이 영향을 판단하고자 한다.

평지구간의 승용차 평균통행속도와 종단경사 2%의 오르막구간의 승용차 평균 통행속도의 차이가 있는지를 통계적으로 검증하기 위해서 χ^2 -test를 통해 유의성검증을 수행하였다.

귀무가설(H_0)은 “평지구간의 승용차 평균통행속도와 종단경사 2%의 오르막구간의 승용차 평균통행속도는 같다”이며, 유의수준(α)은 5%에서 검정을 실시하였다.

자유도(d.f)는 60일 때 유의수준 0.05의 χ^2 기준값은 79.0819로 27개 시나리오 모두 χ^2 기준값보다 작은 0.8233-40.6879의 χ^2 값 산출되어 귀무가설을 채택하여 유의수준 5%에서 귀무가설을 기각할 수 없다.

따라서, 승용차 평균통행속도는 오르막구간에서 트럭의 영향으로 속도가 떨어지지 않으며 트럭에 의한 교통 영향은 없다고 할 수 있다.

Table 12. Possible design criteria of climbing lane on SMART highways

classification	current criteria	SMART
design speed	100km/h	120km/h
max. speed limit	80km/h	90km/h
entry speed	80km/h	80km/h
min. allowable speed	60km/h	Begin Pt.
		End Pt.
		End Pt.
speed reduction	- 20km/h	15km/h

오르막차로 설치 필요성

1. 표준트럭 성능차이

Smart Highway 설계조건하에서 오르막차로 설치 필요성에 대한 검토는 오르막구간에서 표준트럭의 가속 성능 한계로 인한 속도감소와 표준트럭이 주변 교통류에 미치는 영향 등 2가지로 접근할 수 있다.

첫 번째 표준트럭의 성능차이로 인한 영향으로 오르막차로가 필요한 경우, 오르막차로 설치 기준에 따르면 설계속도 80-100km/h에서는 트럭의 허용 최저속도를 60km/h로, 설계속도 120km/h에서 허용 최저속도를 65km/h로 제시하고 있고 더 높은 설계속도에서의 트럭 허용 최저속도는 제시되어 있지 않다.

현행 설계기준을 토대로 Smart Highway의 설계조건하에서 트럭의 최고 제한속도와 표준트럭의 진입속도를 합리적으로 가정하면 Table 12에서 보는 바와 같이 트럭 최고 제한속도 100km/h, 표준트럭 진입속도 90-100 km/h 정도로 추정할 수 있다.

또한, 현행 오르막차로 설계기준이 설계속도 100km/h에서 트럭의 허용 최저속도를 60km/h로, 설계속도 120km/h에서 허용 최저속도를 65km/h로 정하고 있는 점을 감안할 때, Smart Highway의 설계속도 140km/h일 때는 허용 최저속도의 증가폭을 감안하면 70-75km/h 정도 수치로 추정할 수 있다.

1) 종단경사 1%

본 연구에서는 트럭의 진입속도 90km/h일 때 종단경사 1%에서 최저속도가 90km/h 이상으로서 속도 감소가 발생하지 않는 것으로 제시하였다. 이는 종단경사 1% 오르막구간에서 속도는 떨어지지 않고 오히려 가속을 할 수 있는 것을 의미하고 오르막차로 설치를 위한 허

Table 13. Min. speeds and speed reduction by entry speed at 1, 2, and 3% grades

truck entry speed	min. speed (km/h)			speed reduction (km/h)		
	1%	2%	3%	1%	2%	3%
90km/h	≥90	87	70	0	3	20
100km/h	≥100	87	70	0	13	30
110km/h	≥110	87	70	0	23	40

Note: Shadow sections indicate not to satisfy design criteria.

용 최저속도와 속도 감소폭 기준을 모두 만족하는 것으로 오르막차로의 설치 필요성은 없다고 판단된다.

2) 종단경사 2%

트럭의 진입속도 90km/h일 때 종단 경사 2%에서는 최저속도가 87km/h로서 속도 감소폭이 3km/h 정도 발생하는 것으로 나타났다. 이는 Smart Highway에서 추정된 오르막차로 허용 최저속도 75km/h보다 12km/h가 높은 수치이고 속도 감소폭 측면에서도 속도 감소폭 기준값인 15km/h 감소보다 적어서 오르막구간에서 트럭의 성능저하로 인한 오르막차로의 설치 필요성은 없다고 판단된다.

3) 종단경사 3%

종단경사 3% 오르막 구간에서는 진입속도 90km/h일 때 최저속도가 70km/h로서 허용 최저속도인 75km/h를 만족하지 못하고 속도 감소폭도 20km/h로서 속도 감소폭 기준인 -15km/h를 상회하여 오르막차로 설치가 필요한 것으로 판단된다.

2. 표준트럭의 교통영향 정도

본 연구에서는 종단경사 2% 이하의 오르막구간에서 표준트럭의 성능저하로 인해서 주변 교통류에 영향을 미칠 가능성을 살펴보고자 교통영향 분석을 수행하였다. 종단경사 3% 오르막구간에서는 표준트럭의 성능차이로 오르막차로가 이미 필요한 것으로 판단되어 트럭의 성능차이로 인한 교통영향 분석을 수행하지 않았다.

표준트럭의 교통영향분석을 토대로 정리해보면, 2% 오르막구간의 승용차 평균통행속도가 평지구간의 승용차 평균통행속도보다 평균적으로 3.5km/h 낮은 것으로 분석되었다.

또한, 승용차 평균통행속도는 평지구간과 오르막구간에서 속도차이가 발생하기는 하지만 χ^2 -test를 통해 통

Table 14. Comparison of average travel speed between level and 2% grade

vehicle type	differences of avg. travel speed (km/h)		
	min.	max.	average
auto	1.2	7.4	3.5
truck	2.8	15.9	10.0

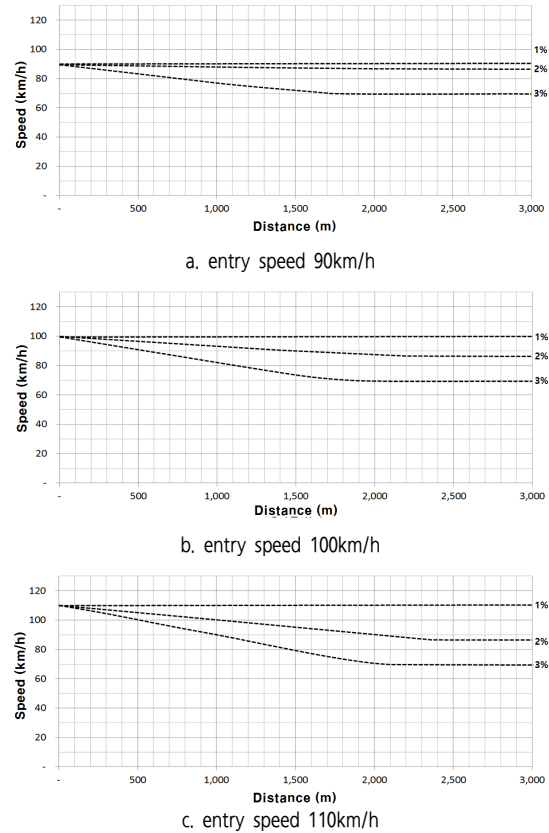


Figure 14. Truck decelerating performance curves(1-3%)

계적으로 유의한 속도차이가 아니라는 분석결과도 제시하였다.

이러한 분석결과는 2% 이하 오르막구간에서 트럭의 성능저하가 승용차와 같은 고속교통의 차량흐름에 영향을 준다고 볼 수 없고 교통영향 측면에서도 오르막차로 설치 필요성이 없다는 것을 나타내고 있다.

오르막차로 설치 기준

1. 표준트럭의 감속성능 곡선

종단경사 3% 오르막구간의 경우, 트럭의 속도 감소로 인하여 오르막차로 설치가 필요하고 오르막차로 설치

를 위해서는 트럭의 감속성능 곡선이 제시되어야 한다. 오르막차로 설치하는 이러한 트럭의 감속성능 곡선을 이용하여 설계기준에 해당되는 시점과 종점을 결정하는 과정으로 이루어진다.

본 연구에서는 진입속도 90km/h일 때 표준트럭 성능이 정산된 시뮬레이션을 이용하여 진입속도 90km/h, 100km/h, 110km/h와 종단경사 1%, 2%, 3%의 오르막차로에서 트럭의 감속성능곡선을 도출하였다.

시뮬레이션을 이용하여 각 진입속도별 경사길이에 따른 트럭의 속도변화를 나타내었고 속도 변화곡선의 변곡점부분(오르막 한계속도와 한계속도 발생위치 지점)을 자연스럽게 곡선 처리하여 최종적으로 트럭의 감속성능 곡선을 도출하였다.

2. 오르막차로 설치기준

본 연구에서는 오르막차로 설치가 필요한 경사구간 3%와 트럭 진입속도 90km/h를 기준으로 허용 최저속도 75km/h와 속도감소폭 -15km/h의 오르막차로 설치기준에 해당되는 발생위치를 기준으로 제시하고자 한다.

경사구간 3% 오르막구간에서 허용 최저속도에 해당

되는 발생위치는 오르막구간 시점부에서 트럭 속도가 감소하다가 1,200m 지점에서 75km/h의 속도를 나타내므로 이 지점이 오르막차로 설치 시작지점에 해당된다. 그리고 이후 구간부터 오르막 한계속도인 70km/h가 발생하는 1,700m까지 속도가 계속 낮아지게 된다(Table 15 참조). 또한, 속도감소폭 -15km/h가 발생하는 위치는 허용 최저속도와 동일하게 75km/h에 해당되는 지점이므로 오르막구간 시점부에서 1,200m에서 발생한다.

결론

본 연구에서는 Smart Highway 설계속도 140km/h 조건하에서 시뮬레이션 방법을 이용하여 1-3% 종단경사와 진입속도 90, 100, 110km/h에 따른 표준트럭의 속도변화를 살펴보았다.

표준트럭의 최저속도는 1% 경사구간에서 진입속도를 상회하고 2% 경사구간에서는 87km/h로서 속도 감소는 약간 발생하나 오르막차로 설치조건에 해당되는 허용 최저속도(75km/h)를 모두 상회하고 속도 감소폭 기준(-15km/h)도 만족하는 것으로 분석되었다.

그러나, 3% 경사구간에서는 표준트럭의 최저속도와 속도 감소가 허용 최저속도와 속도 감소폭 기준을 모두 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.

경사구간 2% 이하의 오르막구간에서 표준트럭의 속도저하로 고속교통류에 미치는 영향을 시뮬레이션 분석한 결과, 오르막구간에서 트럭의 성능저하로 인해 승용차와 같은 고속차량에 미치는 속도차이는 통계적으로 유

Table 15. Locations installing climbing lane

entry speed	location of allowable speed of 75km/h(m)			location of speed reduction of -15km/h(m)		
	1%	2%	3%	1%	2%	3%
90km/h	x	x	1,200	x	x	1,200
100km/h	x	x	1,410	x	x	840
110km/h	x	x	1,700	x	1,500	750

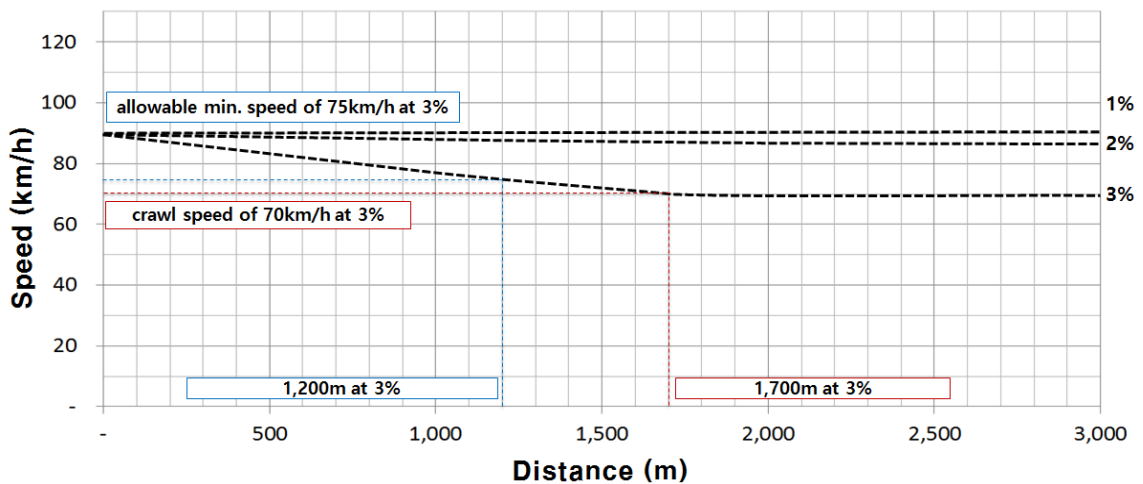


Figure 15. Location for installment of climbing lane at 3% grade (entry speed of 90km/h)

의하지 않는 것으로 도출되었다.

따라서, Smart Highway 설계조건하에서 오르막구간의 트럭 성능차이와 주변 고속교통류 영향 측면에서 검토한 결과, 2% 이하의 경사구간에서 오르막차로는 설치할 필요성이 없는 것으로 판단되고, 3% 경사구간에서는 트럭의 성능차이로 인한 속도 감소가 설계기준치를 만족하지 못하므로 오르막차로 설치가 필요한 것으로 판단된다.

3%의 오르막구간에서 적용할 설치기준을 마련하고자 본 연구에서는 진입속도 90km/h일 때 표준트럭 성능이 정상된 시물레이션을 이용하여 진입속도 90km/h, 100 km/h, 110km/h와 종단경사 1%, 2%, 3%의 오르막차로에서 트럭의 감속성능곡선을 제시하였고 진입속도별 오르막차로 설치가 필요한 발생 위치도 분석하여 나타내었다.

본 연구결과는 Smart Highway가 미래 초고속도로이므로 현 시점에서 트럭의 진입속도, 허용 최저속도, 속도감소폭 등 여러 가지 기준들을 정확하게 결정하기가 어렵고 단지 합리적인 가정 하에서 분석된 결과라는 한계를 가지고 있다. 그러나, Smart Highway 설계요소 중 오르막차로의 설치기준을 검토하고 연구하였다는데 의의가 있고 향후 좀 더 Smart Highway에 대한 현실적인 기준들이 정해지면 새로운 오르막차로 설치기준에 대한 연구와 기준정립이 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant from Construction Technology Innovation Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean Government (SMART Highway Project(07 Technology Innovation A-01)).

REFERENCES

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
 Archilla A. R., Fernandez A. O. (1995), Truck Performance on Argentinean Highways, TRR 1555, TRB, 114-123.
 Japanese Road Association (1983), Translated Book of

Interpretation and Application of Road Facilities.
 Kim S. Y., Choi J. S., Lee S. Y., Han H. K. (2007), Theoretical Review of Highway Grades Considering Vehicle Performances, J. Korean Soc. Transp., 25(5), Korean Society of Transportation, 79-90.
 Kim Y. R. (2001), A Study on Development of Korean Truck Performance Curves, University of Seoul.
 Korea Institute of Construction Technology, The Korea Transport Institute (2011), Revision and Complement Research of Highway Capacity Manual (Final Report).
 Ministry of Land Infrastructure and Transport (2013), Rules on Guidelines of Structures and Facilities of Roads (Partial Revision).
 Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2013), Highway Capacity Manual.
 Oh H. W. (2006), A Study on Applicability of Diversified Truck Weight-to-Power Ratios, J. Korean Soc. Road Engineers, 8(1), 89-98.
 The National Assembly of the Republic of Korea (2014), Enforcement Rule of the Road Traffic Act, No. 76.
 Translated Book of RAS in Germany
 Transportation Research Board(2000), Highway Capacity Manual, Special Report 209 3rd Edition, National Research Council: Washington, D.C.
 Yoo K. S., Jang M. S., Seo Y. C., Park J. B. (1997), A Study on Development of Korean Truck Performance Curves, J. Korean Soc. Transp., 15(4), Korean Society of Transportation, 21-34.

- ☞ 주 작성자 : 김상구
- ☞ 교신저자 : 심대영
- ☞ 논문투고일 : 2014. 7. 21
- ☞ 논문심사일 : 2014. 8. 14 (1차)
2014. 9. 17 (2차)
- ☞ 심사판정일 : 2014. 9. 17
- ☞ 반론접수기한 : 2015. 2. 28
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필