

비교그룹방법을 이용한 고속도로 추월차로형 오르막차로 안전성 연구

A Study on the Safety of Passing-type Climbing Lanes in Expressways using C-G Method

김봉수	Kim, Bong Soo	한국도로공사 화성지사 차장 (E-mail: bongsk@ex.co.kr)
김상구	Kim, Sang-Gu	전남대학교 물류교통학전공 교수 (E-mail: kimg66@naver.com)
윤일수	Yun, Ilsoo	정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 부교수 · 교신저자 (E-mail: ilsooyun@ajou.ac.kr)
오영태	Oh, Young-Tae	아주대학교 교통시스템공학과 교수 (E-mail: ytoh@ajou.ac.kr)
홍두표	Hong, Doo-Pyo	한국도로공사 기술심사처 처장 (E-mail: dphong@ex.co.kr)
이강훈	Lee, Kang-Hoon	한국도로공사 해외사업처 처장 (E-mail: leekh603@hanmail.net)

ABSTRACT

PURPOSES: Climbing lanes on expressways managed by the Korea Expressway Corporation (KEC) have been hot potatoes due to conflicts between slow-moving vehicles such as trucks and other vehicles at the merging section as well as the less popularity with the slow-moving vehicles. In order to resolve such problems, KEC has altered existing climbing lanes to passing-type climbing lanes in 1999. The new type of climbing lanes showed an apparent improvement in mobility. For example, the speeds of vehicles using both climbing lane and other lanes improved a lot. However, there has been no clear evidence about improved safety.

METHODS: This research effort was initiated to evaluate the safety of the new passing-type climbing lanes using the comparison-group(C-G) method based on three-year-long traffic accident data sets before and after the change, respectively.

RESULTS: The passing-type climbing lanes showed twice increased traffic accidents even though the traffic accidents on old type climbing lanes increased 1.1% during the same periods. In addition, in-depth study, the merging area of the passing-type climbing lanes was found out to be the weakest section where 43.8% traffic accidents out of total traffic accidents happened. It is noted that the merging area of the old type climbing showed only 25.0% traffic accidents.

CONCLUSIONS: The new passing-type climbing lanes were found to be weak in terms of safety when compared with the old type climbing lanes. Especially, the merging area should be improved to reduce the risk of traffic conflicts between slow-moving vehicles and other vehicles.

Keywords

climbing lane, before and after study, comparison group method(C-G Method), expressway, traffic accident

Corresponding Author : Yun, Ilsoo, Associate Professor
Department of Transportation System Engineering, Ajou University.
206, World cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 443-749, Korea
Tel : +82.31.219.3610 Fax : +82.31.215.7604
E-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Jan. 10, 2014 Revised Jan. 14, 2014 Accepted Jan. 27, 2014

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 국토의 70%가 산악지역으로 구성되어 있

기 때문에 기존 도로 또는 신설되는 대부분의 도로에 경사구간이 존재한다. 특히 고속도로의 경우 물류산업의 발달로 인해 대형차 혼입률이 크고 오르막 경사구간에

서 등판능력이 떨어지는 대형차가 저속으로 주행하게 됨으로써, 전체 교통류에 영향을 미치게 된다. 한국도로공사에서는 오르막 경사구간에 오르막차로(Climbing Lane)를 설치하여 저속차량과 고속차량을 공간적으로 분리시키고 있다.

현재 우리나라의 오르막차로 설치기준인 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」에 의하면, 오르막차로의 설치형식은 첫 번째 오르막차로를 주행차로에 변이구간으로 접속시키는 방법, 두 번째 오르막차로를 주행차로와 독립하여 접속시키는 방법, 세 번째 오르막차로를 주행차로와 연속하여 접속시키며 변이구간을 늘이고 종점부 합류구간의 차선을 삭제하는 방법(본 논문에서 “추월차로형 오르막차로”로 칭함)의 3 가지로 구분하고 있으며, 설치장소의 차로 수, 교통량 비(v/c), 종단경사, 중차량 구성비 등의 현장여건을 고려하여 선택하도록 하고 있다.

종래 오르막차로 설치·운영 시 사용되던 방법은 저속차량이 오르막차로(저속차로)로 차선을 바꾸도록 유도하여 오르막차로 종점 합류부에서 본선으로 합류하는 오르막차로를 주행차로에 변이구간으로 접속시키는 방법이다. 하지만 저속차량 운전자들이 오르막차로 이용을 기피하여 차로변경 없이 본선차로를 그대로 주행하고, 고속차량들이 오르막차로를 이용하여 추월을 시도하는 등의 문제점이 발생하는 경향이 있었다. 이로 인해 오르막차로 종점 합류부에서 저·고속차량이 상충되어 교통사고 위험을 내포하고 있으며 저속차량의 무리한 본선합류로 인해 주행차로의 용량이 저하되는 등의 문제점도 발생하였다.

이에 2008년도에 국토해양부(현 국토교통부), 경찰청, 한국도로공사 등 관계기관의 업무협의를 통하여 「도로이용의 효율성 제고를 위한 오르막차로 설치방법 개선(안)」을 수립하고, 시험운영을 통한 효과분석을 실시하여 2009년 5월에 「도로의 구조·시설기준에 관한 해설 및 지침」을 개정·시행하였다. 이렇게 마련된 오르막차로 개선안은 오르막차로를 주행차로와 연속하여 접속시키며 변이구간을 늘이고 종점부 합류구간의 차선을 삭제하는 방법으로 시·종점부 주행속도를 감안하여 변이구간 길이에 대한 설치기준을 늘리고, 저속자동차가 주행하던 차로를 그대로 이용하면 오르막차로로 자연스럽게 유도되도록 하였다(국토해양부, 2012).

신규 적용된 추월차로형 오르막차로의 확대 적용에 따른 용량증대효과 및 주행속도증가에 대한 통행비용 감소에 관련된 효과분석에 대한 연구는 진행되었다(이의준 등, 2010). 하지만 오르막차로 종점 합류구간의 차

선을 삭제하여 영업소 차로 합류방식과 동일하게 운영하는 방식 및 변이구간을 연장하여 설치하는 추월차로형 오르막차로방식이 교통안전 측면에서 교통사고 감소 효과에 얼마나 영향을 미치는 지에 대한 연구는 충분히 수행되지 못하였다.

본 연구는 2009년 신규 적용된 추월식 오르막차로의 설치 전·후의 교통사고 발생자료와 교통안전시설물 설치 효과 분석에 주로 사용되는 비교그룹방법(Comparison-Group Method)을 활용하여 추월차로형 오르막차로에 대한 교통안전성을 분석하는데 목적이 있다.

본 연구의 결과를 통하여 향후 오르막차로의 설치 형식 결정 및 설치 여부 검토에 다양하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 새로운 형식의 오르막차로 뿐만 아니라 기존에 설치·운영되고 있는 형식의 오르막차로에 대한 안전성을 검토해 봄으로써 위험성을 파악하고 개선방안을 제시하여 사고의 위험을 줄이는데 도움이 될 것으로 기대된다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 새로운 추월차로형 오르막차로가 설치된 2009년을 기준으로 전·후 각 3년간인 2006~2008년과 2010~2012년이며, 공간적 범위는 시간적 범위 동안 전국에서 운영 중이던 고속도로를 대상으로 하였다.

본 연구를 위한 절차는 첫 번째로 오르막차로 관련 설치기준, 규정 및 기존 연구들에 대한 고찰을 통하여 오르막차로 교통사고 발생 위험성 등 안전성에 대한 고찰을 실시하였다.

두 번째로 현재 고속도로에 설치·운영 중인 오르막차로 현황, 교통량, 기하구조, 중차량 계수 등의 기초자료를 수집하고, 분석대상구간인 추월차로형 오르막구간에 대한 교통사고 발생자료를 수집하였다.

세 번째로 교통안전시설물의 설치효과를 분석하는 방법론에 대한 기존 연구 고찰을 실시하여 비교그룹방법을 선정하였고, 분석대상구간과 유사한 사고 수, 구간길이 등을 나타내는 비교대상구간을 선정하여 교통사고 자료를 수집하였다.

마지막으로 분석대상구간과 비교대상구간의 교통사고 발생자료를 이용하여 비교그룹방법으로 추월차로형 오르막차로의 교통사고 위험도를 평가하였다.

2. 이론적 고찰

2.1. 오르막차로에 대한 고찰

2.1.1. 기존연구 고찰

김종표 등(1998)은 중부고속도로 오르막차로와 본선에 대한 현장 속도분포와 화물차량의 합류형태를 바탕으로 오르막차로를 이용하는 차량들의 합류부 종점에서부터 상류부 200m 지점까지의 합류특성 및 속도 분포를 마련하여 오르막차로의 설계기준을 검증하였다. 검증 결과 설계속도 기준을 세분화하여 100km/h 구간에는 화물차의 허용최저 속도를 70km/h로 함이 타당함을 주장하였으며, 설계속도 80km/h 구간에서의 화물차 허용최저속도는 60km/h로 규정한 것이 적정하며 설계속도 80km/h 미만의 구간에서 화물차의 최저허용속도를 설계속도에서 20km/h 감속을 한계속도 기준으로 사용하는 것이 적정한 것으로 확인하였다.

이종출 등(2005)은 교통량을 고려한 복합경사구간에 대한 오르막차로 설치에 관한 연구로서 도로용량편람에서 제시된 고속도로 기본구간 및 2차로도로에 대한 오르막 경사구간의 서비스수준을 분석하고, 교통량 분석에 따른 오르막차로의 설치 여부를 판단한 후 오르막차로의 시점과 종점의 위치를 결정하는 과정을 객체지향적인 Visual Basic을 이용하여 프로그래밍 하였다. 개발된 프로그램은 도로설계 시 오르막차로 설치여부 분석을 위한 전산화 프로그램으로 단일경사구간 뿐만 아니라 복합경사구간에서도 서비스수준을 분석할 수 있으며, 오르막차로 설치에 있어서 교통량을 중심으로 하는 서비스수준 분석을 고려하여 보다 효율적으로 오르막차로를 설치할 수 있도록 하였다.

김상윤 등(2006)은 고속도로 오르막차로에서 주행하는 화물차의 실제 주행특성을 조사하여 오르막차로설계에 사용되고 있는 오르막차로 성능곡선기술기의 확률적 변동성을 검토하였다. 전국 고속도로 총 57개 구간의 오르막차로 구간을 대상으로 화물차 추종차량의 속도계 측정을 통한 추종조사를 실시하였다. 속도는 오르막차로 진입 200m 상류부터 시작하여 오르막차로 종점 이후 화물차 속도가 80km/h가 될 때까지 추종차량의 속도를 측정하였다. 그 결과 실측된 감속곡선과 가속곡선은 관련 기준에서 제시하는 곡선보다 성능이 떨어지는 형태를 보였으며 설계 시 기대했던 트럭의 속도를 현재의 오르막차로 시점부와 종점부에서 얻으려면 오르막차로의 시점부에서는 16.19~67.94m의 길이 연장이, 오르막차로 종점부에서는 53.12~103.24m의 길이 연장이 필요한 것으로 주장하였다.

오홍운(2006)은 오르막차로 설계에 적용되는 단일화된 표준트럭의 중량/마력비 200lb/hp를 실제 트럭 구성비인 지역특성을 반영한 다양한 표준트럭의 중량/마력비의 적용에 대해 검토하였다. 각 지역별 자동차 등록 현황 및 지역별 공차율 및 구성비를 바탕으로 8톤 미만과 8톤 이상으로 양분하여 트럭의 중량/마력비 분석을 실시하였다. 연구결과 각 지역적 산업적 트럭의 다양성이나 실제 트럭 구성비를 고려하여 표준트럭의 중량/마력비를 180lb/hp, 200lb/hp, 220lb/hp로 다양화하여 적용할 것을 제안하였으며 이와 같이 다양한 표준트럭이 설계에 반영되면 오르막차로에서의 속도차 때문에 발생하는 추돌사고를 줄이고 특정지역에서 오르막차로 건설비를 줄일 수 있을 것으로 주장하였다.

이의준 등(2010)은 현재 적용하고 있는 오르막차로 설치기준이 운전자의 통행패턴이 고려되지 않아 이용률이 저조하고 합류부에 교통사고 발생 가능성이 있다고 보고 오르막 구간의 차선설치기준, 테이퍼 길이, 표지판 설치기준 등에 대한 연구를 수행하여 개선방안을 도출하였다. 새로 도출된 개선안은 오르막차로의 외측차로를 주행차로와 연속하여 접속시키고 종점부 합류구간의 차선을 삭제하여 접속하는 방법으로 영업소 차로 합류방식과 동일하여 운전자에 유리한 측면이 있으며, 변이구간의 길이도 충분히 연장하여 지속차량과 고속차량간의 상충에 의한 사고 위험 감소를 기대하였다. 시험시공 모니터링 조사결과 오르막차로 3차로 이용률이 7.5% 증가하였고 평균통행속도는 오르막차로 폐쇄 시를 대비 오르막차로 개선 시 8.2km/h(11.1%)가 향상되는 것으로 나타났다.

오홍운 등(2010)은 오르막차로 구간에서의 주행차량의 속도편차 증가와 교통사고 위험성 증가와의 상관관계를 제시하였다. 호남고속도로와 중앙고속도로의 오르막차로를 조사지점으로 하여, 오르막차로 시점 상류 100m지점, 종점 합류부, 그리고 오르막 종점 합류부 하류 200m 지점에서 각 차로별, 차종별 주행속도와 속도편차를 변동계수(COD)로 산출·조사하였다. 그 결과 조사지점인 오르막차로 시점 상류 100m 지점과 오르막 종점 합류부 하류 200m 지점이 오르막차로 종점 합류부보다 교통사고 발생위험이 높은 것으로 나타났으며, 그에 대한 개선대책으로 오르막차로 전방과 후방의 주행속도를 낮추는 방법과 오르막차로를 연장하는 방법을 제시하였다.

최운혁 등(2010)은 교통운영측면에서 교통량 및 화물차 구성비 증가에 따라 오르막차로 일시 폐쇄가 정체가

선에 어떠한 영향을 미치는지 중부내륙고속도로 낙동분기점 부근 오르막차로를 대상으로 사례분석을 실시하였다. 분석에서는 VISSIM을 시뮬레이션 툴로 선정하였고 교통운영변수로 교통량 비(v/c) 0.6~1.0, 종단경사 3~5%, 중차량 구성비 20~50% 범위를 단계화하여 설정하였으며, 오르막차로 설치에 따른 교통운영효과를 살펴보기 위해서 통행속도를 효과척도(MOE)로 선정하였다. 시뮬레이션 분석결과 오르막차로 병목현상으로 인한 혼잡을 막기 위해서는 교통량비가 0.8이고 중차량 비가 50%일 때 종단경사와 상관없이 폐쇄하는 것이 효과적이며 교통량비가 1.0일 경우에는 중차량 비, 종단경사와 상관없이 오르막차로를 폐쇄하는 것이 효과적으로 나타났다. 특히 일반적인 교통상황인 혼잡이 발생하지 않는 상황에서는 오르막차로 운영의 효과가 더 큰 것으로 나타나, 교통량 및 중차량 비의 변화에 따라 오르막차로의 탄력적 운영이 필요한 것으로 조사되었다.

고한검 등(2012)은 오르막구간에서의 교통상황에 맞추어 오르막차로를 탄력적으로 개방/폐쇄할 수 있는 동적차로운영기준의 필요성을 제시하고, 중부내륙고속도로 낙동분기점 마산방향 오르막차로구간을 분석대상으로 선정하고 교통량비와 중차량 구성비를 교통운영변수로 하여 VISSIM 시뮬레이션 분석을 시행하였다. 시뮬레이션 결과, 평균통행속도 50km/h를 오르막차로의 개방과 폐쇄를 결정하는 운영기준(임계통행속도)으로 선정하였으며 오르막차로를 탄력적으로 개방/폐쇄할 수 있는 동적차로운영방식이 단순한 개방 및 폐쇄 대안보다 통행속도가 높은 것으로 확인하였다. 또한, 통행시간 절감, 대기오염 및 온실가스 저감, 차량운영비 절감 등 사회경제적 편익에 대한 종합적인 분석결과에 있어서도 동적차로운영방식이 더욱 높은 편익을 보이는 것으로 나타났다.

2.1.2. 오르막차로의 개요

「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」 제26조에 의하면 종단구배가 5%(고속도로의 경우 3%)를 초과하는 구간에 필요하다고 인정하는 경우에 오르막차로를 설치하도록 규정하고 있다(국토해양부, 2012). 오르막 구간에서 속도 감소가 큰 대형차의 혼입률이 커 도로용량 감소가 예상되는 경우 도로용량, 경제성, 교통안전을 고려하여 오르막차로 설치 유의성을 검토하여야 한다.

오르막차로의 설치 시 허용 최저속도를 고려하는데 허용 최저속도로 주행하는 구간이 200m 이상인 경우

오르막차로를 설치하며 200~500m인 경우 최소 500m로 연장하여 설치한다. 이때 허용 최저속도는 Table 1과 같다.

Table 1. Permitted Lowest Speed by Design Speed

Design Speeds	Permitted Lowest Speeds
120km/h	65km/h at Start Points, 75km/h at End Points
100km/h~80km/h	60km/h
Below 80km/h	Design Speed -20km/h

오르막차로 설치방법에는 세 가지 종류가 있는데 첫 번째는 오르막차로를 주행차로에 변이구간으로 접속시키는 방법(이하, Type 1)이며 Fig. 1과 같다.

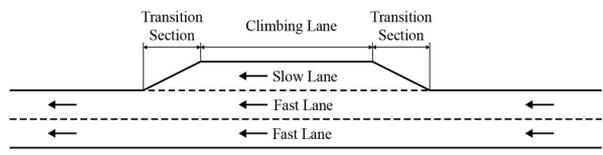


Fig. 1 Climbing Land Type 1

종래 오르막차로 설치 시 사용되던 방법으로 저속 자동차가 차로를 바꾸도록 유도하여 저속 자동차와 고속 자동차를 분리시키는 형태로, 속도가 낮은 자동차의 차로변경을 유도하는 것이어서 주행차로의 변이구간 접속부에 특별히 평면곡선을 설치하지 않아도 되며, 고속자동차의 연속된 주행을 확보할 수 있어 일방향 2차로 이상인 도로에 효과적이다.

하지만, 우리나라 운전자의 운전특성상 저속 자동차가 오르막차로 구간에서 본선차로를 그대로 주행함에 따라 교통지체가 발생하는 경향이 있으며, 이로 인하여 고속 자동차가 오르막차로를 이용한 앞지르기 등으로 교통사고를 야기하는 경우도 있다. 또한, 시·종점부 오르막차로 이용차량의 차로변경을 위한 변이구간 길이부족으로 저속차량과 고속차량간의 주행속도차로 인해 합류가 곤란한 단점이 있다.

두 번째는 오르막차로를 주행차로와 독립하여 접속시키는 방법(이하, Type 2)이며 Fig. 2와 같다.

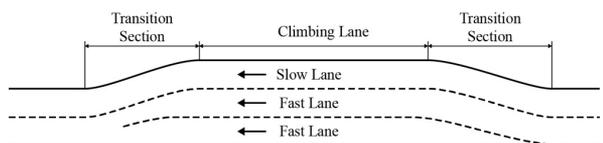


Fig. 2 Climbing Land Type 2

오르막차로 구간의 1차로 주행 승용차와 2차로를 주행하는 승용차 간의 속도 차이가 많이 나지 않음을 기본으로 하여 1차로 승용차와 2차로 승용차 간의 분·합류를 수행하는 오르막차로 설치방안이다.

마지막으로 세 번째는 오르막차로를 주행차로와 연속하여 접속시키며 변이구간을 늘이고 종점부 합류구간의 차선을 삭제하는 방법(이하, Passing-type)이며 Fig. 3과 같다.

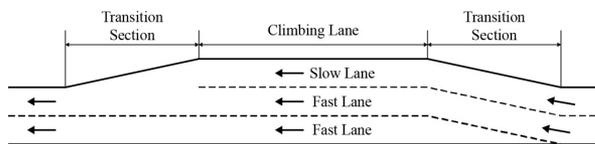


Fig. 3 Passing-type

이 방법은 저속자동차가 주행하던 차로를 그대로 이용하도록 하고 고속자동차가 변이구간을 통과하여 저속자동차를 앞지를 수 있도록 한 방법이다. 이 방법은 외측차로를 주행차로와 연속하여 접속시키는 방안으로 종점부 합류 구간의 차선을 삭제하고 시·종점부의 변이구간의 길이 및 접속방법을 변경하는 고속도로 영업소차로 합류방식과 동일한 방식이다. 또한 저속 차량의 오르막차로 이용률 저조로 인한 단점을 보완하여, 저속 차량이 자연스럽게 외측차로로 유도됨에 따라 본선부 지·정체 해소가 가능하여 도로용량 증대 및 서비스 수준 개선이 가능하다.

2.2. 효과분석 방법에 대한 고찰

2.2.1. 기존연구 고찰

이동민 등(2007)은 비교그룹방법(Before and After Study with Comparison Group 또는 Comparison-Group Method)을 이용하여 졸음운전 또는 운전자 부주의 등으로 인해 차량이 차도를 이탈할 경우 소음 및 진동을 통해 운전자의 주의를 환기시켜 차량이 원래의 차도로 복귀를 유도하기 위하여 설치된 길어깨-노면 요철포장의 교통사고 감소효과를 분석하였다. 연구의 대상구간은 서해안고속도로에 설치된 절삭형 노면요철포장 37개소로 한정하였으며, 대상기간은 시설 설치 전·후 각 2년의 교통사고 이력자료를 활용하였다. 연구결과 길어깨 도로요철포장을 설치한 도로는 설치하지 않은 도로에 비하여 차로이탈사고가 연간 2.43건 정도 감소하여, 해당시설이 교통사고 감소에 기여한 것으로 분석하였다.

윤일수 등(2011)은 2008년도에 통영-대전·중부선 등 고속도로 3개소에 설치된 무인구간 속도위반단속 시스템을 분석대상구간으로 하여 설치 전·후 각 1년의 교통사고 이력자료를 비교그룹방법을 이용하여 그 효과를 분석하였다. 분석결과 무인구간 속도위반단속 시스템 설치사업은 49.97%의 교통사고감소효과가 있었음을 확인하였다.

이동민 등(2011)은 교통안전시설물 설치 효과분석을 위해 전라북도 지방부 왕복 2차로 도로와 다차로 도로 구간의 2003~2008년의 경찰청 사고자료를 이용하여 낙석방지시설 설치, 미끄럼방지시설 설치 등 15개 유형의 교통안전개선사업에 대한 교통사고 감소효과를 단순사고건수법, 한쌍비교분석방법, 비교그룹방법을 적용하여 검토하였다. 그 결과 비교그룹방법이 단순사고건수법과 한쌍비교분석방법에서 발생할 수 있는 문제점을 보완하여 가장 타당한 분석결과가 도출되는 것으로 분석하였다.

권성근 등(2012)은 비교그룹방법을 이용하여 서울시 내에 시범 설치된 지그재그 노면표시 설치지점 28개소를 분석대상으로 선정하여 도로유형, 도로규모, 사고유형별로 체계적으로 그룹화하여 각 유형별 사고감소효과를 분석하였다. 대상기간은 시설 설치 전 2년의 교통사고 자료를 수집하여 1개년 자료로 보정하고 설치 후 1년간의 교통사고 자료를 활용하였다. 그 결과 지그재그 노면표시의 설치에 따른 전체구간의 사고감소 효과는 크지 않은 것으로 확인되었으며 단, 6차로 미만의 일반도로 및 어린이 보호구역에서 교통사고 감소효과가 있는 것으로 확인하였다.

2.2.2. 효과분석 방법론의 개요

비교그룹방법은 다수의 비교지점을 선정하여 분석하는 방법으로 교통사고변화의 일반적 추세와 외부변화요인에 의한 오류를 극복하기 위한 방법으로 이용된다. 비교그룹방법은 한 지점을 선택함으로써 발생할 수 있는 오류의 보완이 가능하다는 장점이 있으나, 평균으로의 회귀와 관련된 오차가 존재하고 유사한 특성을 가진 비교지점을 찾는 것이 어려운 문제점이 있다.

2.3. 기존연구의 시사점

기존 오르막차로와 관련된 연구들은 크게 도로조건과 교통운영조건에 관련된 검토가 주를 이루었다. 첫 번째는 오르막차로의 도로조건과 관련 설치기준 검토에 대한 내용이라 할 수 있으며, 오르막차로의 차선 설치기

준, 테이퍼 길이, 표지판 설치기준, 그리고 오르막차로 설계 시 검토되는 표준트럭의 중량/마력비와 최저허용 속도에 대한 내용이 이에 해당된다. 두 번째는 오르막차로 운영과 관련된 교통운영조건에 대한 연구로서 교통량집중에 따른 오르막차로 폐쇄시기를 결정하는 동적인 영기준과 교통량분석을 통한 해당구간의 서비스수준 평가에 대한 연구가 주를 이룬다고 할 수 있다. 이는 분리 및 합류 상충이 존재하고 고속차량과 저속차량의 속도 차이가 분명한 오르막차로의 교통운영조건을 감안해 볼 때, 해당 구간에 대한 교통사고 발생위험 등 교통안전성 평가에 대한 연구가 많이 부족하다는 것을 시사한다.

본 연구에서는 2009년 고속도로에 신규 설치·운영 후 중점 합류부에서의 교통사고 위험이 더 높아진 것 같다는 현장의 의견을 출발점으로 하여 “오르막차로를 주행차로와 연속하여 접속시키며 변이구간을 늘리고 중점부 합류구간의 차선을 삭제하는 방법”인 추월형 오르막차로 교통안전성에 대한 검토를 실시하였다. 교통안전성에 대한 평가를 위하여 비교그룹방법을 활용하였으며, 해당시설 설치 전·후의 각 3년간의 교통사고자료를 활용하였다.

3. 자료수집 및 정리

3.1. 추월차로형 오르막차로 현황

한국도로공사(2013) 자료에 따르면, 2009년 이후 우리나라 고속도로에 설치·운영되고 있는 추월차로형 오르막차로는 58개소 연장 119.01km에 달하고, 고속도로 전체 오르막차로 95개소 190.93km의 62.3%(연장 기준)에 해당하며 Table 2와 같다.

Table 2. Present Situation of Passing-type Climbing Lanes

Names of Expressways	Total (Mean)	Joongbu Line	Joongang Line	Honam Line	Youngdong Line	88 Line
# of Facilities	58	14	13	9	6	4
Length (km)	119.01 (2.05)	15.93	23.01	24.07	20.10	7.92
Names of Expressways	Dangjin-Sangjoo Line	Namhae Line	Iksan-Jangsu Line	Joongbu Naeryuk Line	Kyungbu Line	Daegu Pyohang Line
# of Facilities	3	3	2	2	1	1
Length (km)	5.93	3.80	5.90	5.17	3.38	3.80

3.2. 교통사고 자료

본 연구에서 분석된 교통사고 자료는 한국도로공사의 교통사고속보자료를 이용하였다. 교통사고속보자료에는 교통사고의 심각도에 따라 A, B, C, D급 사고로 구분하고 있다. 인명피해를 기준으로 한 교통사고 등급구분은 A급 사고는 사망 3명 이상 또는 사상 10명 이상 또는 부상 20명 이상의 경우이며, B급 사고는 사망 1명 이상 또는 부상 5명 이상의 경우이고, C급 사고는 부상 1명 이상이다. D급 사고는 A, B, C급을 제외한 사고를 포함한다.

분석대상구간은 2009년에 설치된 추월차로형 오르막 구간 총 58개소 중 양방향 4차로로 운영 중이며, 동일 연장의 비교대상구간 선정이 가능한 39개소로 한정하였다. 분석대상구간인 추월차로형 오르막구간 39개소에서 설치년도인 2009년도 이전인 2006~2008년 3년간 B급 사고 10건, C급 사고 34건, 총 44건의 교통사고가 발생하였으며, 설치년도 이후인 2010~2012년 3년간 B급 사고 5건, C급 사고 66건, 총 71건의 교통사고가 발생하였다.

동일한 방법으로 비교대상구간으로 선정된 39개 구간에 대하여 분석대상구간과 동일한 구간인 전·후 각 3년간의 교통사고 발생현황을 살펴본 결과, 설치년도 이전인 2006~2008년 3년간 A급 사고 2건, B급 사고 9건, C급 사고 57건, 총 68건의 교통사고가 발생하였으며, 설치년도 이후인 2010~2012년 3년간 B급 사고 9건, C급 사고 55건, 총 64건의 교통사고가 발생하였다. 비교대상구간을 선정한 방법은 다음 장에서 자세히 설명될 예정이다.

4. 추월차로형 오르막차로 사고감소효과 분석

4.1. 분석방법의 선정

본 연구에서 사전·사후 비교분석을 위해 비교그룹방법을 선정하여 분석을 진행하였다.

Hauer(1997)에 의해 처음 제시된 비교그룹방법은 실제 교통사고 건수와 사업이 실행되지 않았을 경우를 가정하여 추정된 교통사고 건수를 비교하는 방법이다. 비교그룹방법은 일대일비교방법의 단점인 교통사고변화의 일반적 추세와 외부변화요인에 의한 오류를 방지할 수 있다는 장점이 있지만 여전히 평균으로의 회귀라는 문제점은 극복하지 못한다(윤일수, 2011).

또한 분석대상도로와 유사한 특성을 가진 비교지점을

찾는 것이 쉽지 않다는 한계점이 있다. 하지만 비교그룹 방법은 여러 지점을 비교대상으로 선택하여 교통사고 감소효과를 비교함으로써 평가하고자 하는 사업효과에 다른 주변요인들에 의해서 사고의 변화가 발생할 수 있는 외적요인들의 변화를 고려하여 대상 사업의 효과만을 분석할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 비교그룹방법을 적용하기 위해 5단계 과정을 따르고 있다. 1단계에서 해당 추월차로형 오르막차로가 설치된 분석대상구간과 유사한 교통 및 도로 조건을 가지고 있는 비교대상 구간을 선정한다. 2단계에서는 비교대상구간의 시행 전·후의 교통사고 비율을 통해 분석대상 구간의 사업시행 후 사업이 시행되지 않았을 경우의 예측된 사고건수를 구한다. 3단계에서는 사후시점에서의 실제 사고건수와 예측된 사고건수에 대해 각 분산을 추정하고 이를 이용해 4단계에서 교통사고 감소건수 및 교통사고변화율을 구하게 된다. 5단계에서는 교통사고건수와 교통사고변화율에 대한 분산을 구한다. 여기서 '사전'이란 해당 추월차로형 오르막차로가 설치되기 이전의 분석기간을 말하며 '사후'란 설치 이후 분석기간을 말한다. 원칙적으로 사전 및 사후 분석기간은 동일하여야 한다.

본 연구에서는 2009년에 추월차로형 오르막차로가 설치된 구간들을 분석대상구간으로 선정하였으며 2006~2008년 구간과 2010~2012년 구간인 전후 각 3년을 사전 및 사후 분석기간으로 선정하였다. 각 단계에서 Eq. (1)을 사용하여 분석을 진행하였다(윤일수 등, 2011).

$$\begin{aligned}
 \hat{\lambda} &= N_{at} \\
 \hat{r}_c &= (N_{ac}/N_{bc}) / (1 + 1/N_{bc}) \simeq N_{ac}/N_{bc} \\
 \hat{\pi} &= \hat{r}_c \cdot N_{bt} \\
 \hat{\delta} &= \hat{\pi} - \hat{\lambda} \\
 \omega &= \frac{N_{bt} \cdot N_{ac}}{(N_{at} \cdot N_{bc}) \left(1 + \frac{1}{N_{at}} + \frac{1}{N_{bc}}\right)} \\
 \widehat{var}\{\hat{\pi}\} &= \hat{\pi}^2 \left[1/N_{bt} + 1/N_{bc} + 1/N_{ac} + \widehat{var}\{\omega\}\right] \\
 \hat{\theta} &= \frac{(\hat{\lambda}/\hat{\pi})}{\left(1 + \frac{\widehat{var}\{\hat{\pi}\}}{\hat{\pi}^2}\right)} \\
 \hat{\sigma}\{\hat{\delta}\} &= \sqrt{\widehat{var}\{\hat{\pi}\} + \widehat{var}\{\hat{\lambda}\}} \\
 \hat{\sigma}\{\hat{\theta}\} &= \frac{\hat{\theta} \sqrt{(\widehat{var}\{\hat{\lambda}\}/\hat{\lambda}^2) + (\widehat{var}\{\hat{\pi}\}/\hat{\pi}^2)}}{[1 + \widehat{var}\{\hat{\pi}\}/\hat{\pi}^2]} \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서,

- $\hat{\lambda}$, N_{at} : 분석대상구간의 사후 교통사고 건수
- \hat{r}_c : 비교대상도로의 사전 교통사고건수 대비 사후 교통사고건수 비
- N_{ac} : 비교대상구간의 사후 교통사고건수
- N_{bc} : 비교대상구간의 사전 교통사고건수
- N_{bt} : 분석대상구간의 사전 교통사고건수
- $\hat{\pi}$: 분석대상도로에서 사업이 시행되지 않았다는 가정 하에서 추정된 사후 교통사고건수
- ω : 승산비(odds ratio)
- $\hat{\delta}$: 교통사고 변화 건수
- $\hat{\theta}$: 교통사고 효율성 척도

보통 교통사고 변화 건수($\hat{\delta}$) 혹은 교통사고 효율성 척도($\hat{\theta}$)가 효과척도(measures of effectiveness)로 사용된다. 일반적으로 교통사고 변화 건수($\hat{\delta}$) > 0 또는 교통사고 효율성 척도($\hat{\theta}$) < 1 이면, 시행된 사업이 효과가 있는 것으로 결론 내릴 수 있다.

4.2. 분석대상 선정

본 연구에서는 Fig. 4에서 개략적으로 설명하는 바와 같이 오르막차로구간과 해당 오르막차로 종점 합류부의 교통사고 영향권으로 판단되는 하류부 200m 구간을 포함한 구간을 분석대상구간으로 정하였고, 분석대상구간 오르막차로 진입 전 500m 상류부부터 교통류 상류부 쪽으로 분석대상구간과의 동일연장에 해당되는 구간을 비교대상구간으로 정하였다.

- ① 분석대상구간 : 오르막차로 연장 + 200
- ② 비교대상구간 : 분석대상구간 상류부 500m 이격, 분석대상구간과 연장 동일

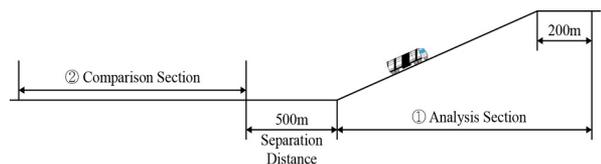


Fig. 4 Analysis Section and Comparison Section

비교대상구간 선정 시 비교대상구간 내에 IC, JC 등 유출입시설이 존재하는 경우를 분석대상구간에서 제외하여 설치·운영 중인 58개 추월차로형 오르막차로 중에서 19개소를 비교대상구간에서 제외하였고, 최종적

Table 3. Traffic Accidents at Analysis Sections

No.	Name of Expressways	Mileposts	2006 ~ 2008			2010 ~ 2012				
			Tot.	A	B	C	Tot.	A	B	C
Total	39	-	44	0	10	34	71	0	5	66
1	Joongbu	310.0-311.3	2	0	1	1	2	0	0	2
2	Joongbu	312.9-314.6	1	0	0	1	0	0	0	0
3	Youngdong	136.5-138.8	3	0	2	1	4	0	0	4
4	Youngdong	153.5-154.9	0	0	0	0	4	0	0	4
5	Youngdong	137.4-139.0	7	0	1	6	2	0	0	2
6	Youngdong	164.4-137.9	3	0	0	3	5	0	0	5
7	Youngdong	206.5-210.3	4	0	1	3	2	0	0	2
8	Joongang	255.9-258.2	0	0	0	0	2	0	0	2
9	Joongang	266.5-267.9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Joongang	289.0-290.3	0	0	0	0	1	0	0	1
11	Joongang	269.1-271.3	1	0	1	0	1	0	0	1
12	Joongang	289.2-290.6	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Joongang	298.4-300.8	3	0	0	3	7	0	0	7
14	Joongang	345.1-346.6	0	0	0	0	1	0	0	1
15	Honam	18.7-20.7	3	0	1	2	5	0	0	5
16	Honam	24.4-26.9	2	0	0	2	0	0	0	0
17	Honam	29.9-31.4	0	0	0	0	1	0	0	1
18	Honam	30.4-31.7	1	0	0	1	2	0	0	2
19	Joongbu	200.6-201.4	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Joongbu	199.4-199.9	0	0	0	0	1	0	0	1
21	Joongbu	193.6-195.0	1	0	0	1	2	0	0	2
22	Joongbu	193.0-193.8	0	0	0	0	1	0	0	1
23	Joongbu	173.0-174.7	1	0	0	1	1	0	0	1
24	Joongbu	174.1-175.9	0	0	0	0	0	0	0	0
25	Joongbu	159.6-161.3	1	0	0	1	6	0	1	5
26	Joongbu	155.0-157.9	2	0	0	2	1	0	0	1
27	Joongbu	142.3-143.2	0	0	0	0	2	0	1	1
28	Joongbu	139.4-140.1	1	0	0	1	0	0	0	0
29	Joongbu	137.9-139.1	1	0	0	1	1	0	1	0
30	Dangjin-Sangjoo	52.0-53.8	0	0	0	0	2	0	1	1
31	Dangjin-Sangjoo	57.0-60.4	0	0	0	0	2	0	0	2
32	Iksan-Jangsoo	19.5-21.1	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Iksan-Jangsoo	22.1-26.8	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Joongang	212.5-213.9	1	0	0	1	1	0	0	1
35	Joongang	234.8-238.2	0	0	0	0	1	0	0	1
36	Joongang	204.0-205.3	0	0	0	0	1	0	1	0
37	Joongbu Naeryuk	132.9-136.2	4	0	2	2	9	0	0	9
38	Namhae	0.5-2.0	1	0	1	0	1	0	0	1
39	Namhae	42.8-44.0	1	0	0	1	0	0	0	0

Table 4. Traffic Accidents at Comparison Sections

No.	Name of Expressways	Mileposts	2006 ~ 2008				2010 ~ 2012			
			Tot.	A	B	C	Tot.	A	B	C
Total	39	-	68	2	9	57	64	0	9	55
1	Joongbu	308.2-309.5	2	0	0	2	4	0	1	3
2	Joongbu	315.1-316.8	2	0	1	1	0	0	0	0
3	Youngdong	133.9-136.0	2	0	0	2	3	0	0	3
4	Youngdong	155.4-156.8	1	0	0	1	0	0	0	0
5	Youngdong	139.5-141.1	3	0	0	3	4	0	0	4
6	Youngdong	160.4-163.9	5	0	2	3	2	0	0	2
7	Youngdong	202.3-206.0	2	0	1	1	3	0	0	3
8	Joongang	253.1-255.4	1	0	0	1	0	0	0	0
9	Joongang	264.6-266.0	0	0	0	0	1	0	0	1
10	Joongang	287.2-288.5	2	0	0	2	0	0	0	0
11	Joongang	271.8-273.7	1	0	1	0	1	0	0	1
12	Joongang	291.1-292.3	3	0	0	3	2	0	0	2
13	Joongang	301.3-303.5	1	0	1	0	0	0	0	0
14	Joongang	343.3-344.6	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Honam	16.2-18.2	1	0	0	1	2	0	0	2
16	Honam	21.6-23.9	5	0	1	4	0	0	0	0
17	Honam	27.9-29.4	5	0	0	5	7	0	1	6
18	Honam	32.2-33.5	4	0	0	4	1	0	0	1
19	Joongbu	201.9-202.7	0	0	0	0	1	0	0	1
20	Joongbu	200.4-200.9	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Joongbu	191.8-193.1	2	0	0	2	0	0	0	0
22	Joongbu	191.6-192.5	2	0	0	2	0	0	0	0
23	Joongbu	170.8-172.5	3	0	1	2	1	0	0	1
24	Joongbu	176.4-178.2	0	0	0	0	2	0	1	1
25	Joongbu	161.8-163.5	1	0	0	1	1	0	0	1
26	Joongbu	158.4-161.3	1	0	0	1	6	0	1	5
27	Joongbu	140.9-141.8	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Joongbu	138.3-138.9	1	0	0	1	1	0	1	0
29	Joongbu	136.2-137.4	0	0	0	0	2	0	0	2
30	Dangjin-Sangjoo	54.3-56.1	0	0	0	0	2	0	0	2
31	Dangjin-Sangjoo	60.9-64.3	1	0	0	1	1	0	1	0
32	Iksan-Jangsoo	17.4-19.0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Iksan-Jangsoo	16.9-21.6	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Joongang	210.7-212.0	2	2	0	0	4	0	0	4
35	Joongang	230.8-234.3	1	0	0	1	4	0	0	4
36	Joongang	205.8-207.1	1	0	0	1	1	0	0	1
37	Joongbu Naeryuk	136.7-140.1	5	0	0	5	5	0	3	2
38	Namhae	2.5-4.0	6	0	1	5	0	0	0	0
39	Namhae	44.5-45.7	2	0	0	2	3	0	0	3

으로 양방향 4차로구간이 각 39개소의 분석대상구간과 비교대상구간을 선정하였다. Table 3 및 Table 4는 분석대상구간 및 비교대상구간의 교통사고 건수를 나타낸다.

분석대상구간 39개소의 2009년 전·후 각 3년간의 교통사고 발생건수를 살펴보면, 2009년 이후 3년간 교통사고가 이전 3년간 교통사고에 비하여 27건, 61.4%가 증가함을 볼 수 있다.

분석대상구간과 상응하는 비교대상구간 39개소의 각 3년간의 교통사고 발생건수를 살펴보면, 2009년 이후 3년간 교통사고가 이전 3년간 교통사고에 비하여 4건, 5.9%가 오히려 감소하였음을 볼 수 있다.

4.3. 교통안전성 분석

김정현 등(2008)이 제시하고 있는 비교그룹방법에 따라 분석한 결과 Table 5와 같은 결과를 도출하였다.

Table 5. Result of C-G Method

Variable	Value
No. of traffic accidents before the installation at analysis groups (N_{bt})	44
No. of traffic accidents after the installation at analysis groups (N_{at})	71
No. of traffic accidents before the installation at comparison groups (N_{bc})	68
No. of traffic accidents after the installation at comparison groups (N_{ac})	64
No. of actual traffic accidents after the installation at analysis groups with treatments ($\hat{\lambda}$)	71
No. of expected traffic accidents after the installation at analysis groups without treatments($\hat{\pi}$)	40.81
Difference in No. of traffic accidents ($\hat{\delta}$)	-30.2
Standard deviation of difference in No. of traffic accidents ($\hat{\sigma}[\hat{\delta}]$)	10.57
Traffic accidents efficiency index ($\hat{\theta}$)	1.30
Standard deviation of traffic accident efficiency index ($\hat{\sigma}[\hat{\theta}]$)	0.57
Traffic accident reduction rate	-73.97%

교통사고 효율성 척도($\hat{\theta}$)는 1보다 작을 경우 그 교통시설물을 설치함으로써 사고감소효과가 있음을 의미한다. 추월차로형 오르막차로에 대한 분석결과 교통사고 효율성 척도가 1.30으로 교통사고 위험성이 기존의 오르막차로 방식보다 증가한 것으로 분석되었다.

사고건수 측면에서 살펴보아도 2010~2012년 예측되는 사고건수는 40.81건인데 반해 실제 발생한 교통사고는 71건에 달하여 교통안전성이 저하된 것으로 분석되었다. 그에 따른 교통사고 감소율은 -73.97%를 보이고 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1. 결론

2009년 관련 기준의 변경에 따라 전국 고속도로에 설치·운영되고 있는 오르막차로를 주행차로와 연속하여 접속시키며 변이구간을 늘리고 종점부 합류구간의 차선을 삭제하는 방법의 오르막차로는 오르막차로의 이용률이 향상되어 오르막차로의 평균주행속도가 증가하는 것으로 나타나 아주 효율적인 오르막차로 형식으로 평가되고 있다. 하지만, 새로운 형식의 오르막차로가 도입된 지 4년이 되어가지만 주행차량의 속도편차 및 합류방식에 의한 간접적인 추정을 제외하고는 새로운 형식의 오르막차로에 대한 교통사고 발생 등 안전성에 대한 연구가 충분하지 않다. 따라서 본 연구에서는 전국 고속도로에 설치·운영되고 있는 추월차로형 오르막차로 구간들에 대하여 사전·사후비교분석방법을 이용하여 안전성 향상 여부를 살펴보았다.

본 연구에서는 사전·사후비교분석방법 중 상대적으로 적용이 용이하며 교통안전시설물의 설치에 따른 교통사고 감소효과에 빈번히 적용되어 온 비교그룹방법(Comparison Group Method)을 이용하여 추월차로형 오르막차로 구간의 안전성 향상 여부를 분석하였다.

추월차로형 오르막차로 구간의 안전성 향상 여부를 분석하기 위하여 분석대상구간 39개소에 대하여 2006~2008년, 2010~2012년 전·후 각 3년간의 교통사고 발생자료를 조사하였다. 아울러 분석대상구간과 상류부 500m 이격된 곳에 분석대상구간과 동일한 연장의 비교대상구간을 선정하였다.

분석결과를 살펴보면 교통사고 효율성 척도가 1.30으로 교통사고 위험성이 기존의 오르막차로 방식보다 증가한 것으로 분석되었다. 사고건수 측면에서 살펴보아도 2010~2012년 예측되는 사고건수는 40.81건인데 반해 실제 발생한 교통사고는 71건에 달하여 교통안전성이 저하된 것으로 분석되었다. 그에 따른 교통사고 감소율은 -73.97%를 보이고 있다. 이는 새로운 형식의 추월차로형 오르막차로가 기존 형식의 오르막차로 보다는 교통사고 측면에서 오히려 더 위험할 수도 있는 것으로

나타났다.

이러한 현상은 2009년에 대부분의 기존 오르막차로가 추월형 오르막차로로 변경되었으나, 고속도로 운전자들이 아직 새로운 오르막차로에 충분히 적응하지 못하고 있어 발생한 램프업(ramp up) 효과도 어느 정도 존재하는 것으로 판단된다. 따라서 추월형 오르막차로의 안전한 주행방법 등에 대한 지속적인 홍보 및 교육이 필요한 것으로 판단된다.

5.2. 향후 연구과제

본 연구에서 분석된 구간들은 전체 개소 및 연장에 비하여 사고건수가 많지 않아 오르막차로 전체구간에 대하여 단순히 사고발생이 얼마나 변동하였는지에 대해서만 분석하였다. 하지만 사고건수가 좀 더 확보될 수 있다면 오르막차로 중 가장 위험한 구간으로 인식되고 있는 오르막차로 종점 합류부에 집중하여 사고를 분석한다면 오르막차로 설치방식 개선에 따른 안전성 향상에 대한 더 정확한 분석이 가능할 것이다. 따라서 보다 정밀하고 차량의 구간별 거동을 확인할 수 있는 미시교통시물레이션모형 활용 또는 오르막차로 이용자 및 교통전문가 설문조사 등을 통해서 보다 세밀하고 체계적인 연구가 지속적으로 진행될 필요가 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(2012R1A1A1044620)입니다.

References

Choi, Y. et al., 2010. A Case Study on the Traffic Operational Guidance for Temporary Closure of Climbing Lane ; Focusing on Nakdong JC at Jungbunaeryuk Expressway, Korean Society of Road Engineers, Vol.12, No.4, pp.17-28.(최윤혁 등(2010). "오르막차로 일시 폐쇄를 위한 교통운영기준 사례연구(중부내륙고속도로 낙동JC를 중심으로), 한국도로학회 논문집 제12권 제4호, pp. 17-28.)

Hauer, E., 1997. Observational Before-After Studies in Road Safety, Pergamon/Elsevier Science Inc., Tarrytown, New York.

Kim, J. et al., 2008. Estimation of Accident Effectiveness Based Upon the Location of Traffic Signal Using C-G Method, Korean Society of Civil Engineers, Vol.28, No.6, pp.775-789.(김정현 등(2008). "C-G Method를 활용한 신호등 위치에 따른 교통사고 효과 분석", 대한토목학회논문집, 제 28 권, 제 6호, pp.775-789.)

Kim, J. and Chang, M., 1998. Design Speed Guideline of Climbing Lane Based on Merging Characteristics, Journal of Korean

Society of Transportation, Vol.16, No.2, pp.67-76.(김종표, 장명순(1998), "합류특성에 의한 오르막차로 설계속도기준 연구", 대한교통학회지 제16권 제2호, pp. 67-76.)

Kim, S. and Oh, H., 2006. A Study of Adjustment for Beginning & Ending Points of Climbing Lanes, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.24, No.5, pp.35-44.(김상윤, 오홍운(2006). "오르막차로 시·종점 위치의 보정에 관한 연구", 대한교통학회지 제24권 제5호, pp. 35-44.)

Korea Expressway Corporation, 2013. Year 2012 Expressway Operational Statistics, Korea Expressway Corporation.(한국도로공사(2013), 2012 도로업무통계, 한국도로공사.)

Ko, H., 2012. Evaluation of Dynamic Lane Allocation Method at Climbing Lane Section, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.30, No.1, pp.59-72.(고한검 등(2012). "통행속도에 기반한 오르막차로 동적 운영방안 평가", 대한교통학회지 제30권 제1호, pp. 59-72.)

Kwon, S. et al., 2012. Estimation of Traffic Accident Effectiveness of Zig-zag Marking Using a Comparison Group Method, International J. Highw. Engineering Vol. 14 No. 6, pp.149-158.(권성근 등(2012). "C-G Method를 이용한 지그재그 노면표시의 교통사고 감소효과분석", International J. Highw. Engineering, Vol. 14 No. 6, 149-158.)

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012. Explanation of Regulation about Structure of Road and Standard of Facilities, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, pp.301-319.(국토해양부(2012). 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설, 국토해양부.)

Lee, D. et al., 2007. A Safety Evaluation of Shoulder Rumble Strips on Freeway Using C-G Method, Korean Society of Road Engineers, Vol.9, No.2, pp.77-97.(이동민 등(2007). "C-G Method를 이용한 고속도로 노면요철 포장의 교통사고감소 효과분석", 한국도로학회 논문집, 제9권 2호, pp. 77-97.)

Lee, D. et al., 2011. Analysis of Effects from Traffic Safety Improvement on Roadways using C-G Method, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.29, No.3, pp.31-40.(이동민 등(2011). "비교그룹방법을 이용한 교통안전 시설물 설치 효과 분석", 대한교통학회지 제29권 제3호, pp. 31-40.)

Lee, E. et al., 2010. Effectiveness Analysis of Improved Passing Method Considering Traffic Pattern on Climbing Lane, Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol.12, No.2, pp. 91-97.(이의준 등(2010). "오르막차로 통행방법 개선에 따른 효과분석", 한국도로학회 논문집 제12권 제2호, pp. 91-97.)

Lee, J., 2005. Development of Detection Program for Climbing Lane on Highway, 2005 proceedings of Korean Society of Road Engineers, pp. 385-389.(이종출 등(2005). "도로의 오르막차로 검출 프로그램 개발", 한국도로학회 2005 학술발표논문집, pp. 385-389.)

Oh, H., 2006. A Study on Applicability of Diversified Truck

Weight-to-Power Ratios, Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol.8, No.1, pp.89-98.(오흥운(2006). “표준트럭의 차별적 적용 방안 연구”, 한국도로학회 논문집 제8권 1호, pp.89-98.)

Yun, I. et al., 2011. Study of the Effect of the Point-to-Point Speed

Enforcement System Using a Comparison-Group Method, Korean Society of Road Engineers, Vol.13, No.4, pp.177-185.(윤일수 등(2011). “비교그룹방법을 이용한 무인구간 속도위반단속시스템 설치 효과 분석”, 한국도로학회 논문집, 제13권 제4호, pp. 177-185.)