creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공기업정책학 석사 학위논문

고속도로 터널 내 차로변경이 교통흐름에 미치는 영향 연구

2022년 8월

서울대학교 행정대학원

공기업정책학과

안 호 찬

고속도로 터널 내 차로변경이 교통흐름에 미치는 영향 연구

지도교수 김 윤 지

이 논문을 공기업정책학과 석사 학위논문으로
제출함
2022년 3월

서울대학교 행정대학원
공기업정책학과
안 호 찬

안호찬의 석사 학위논문을 인준함
2022년 6월

위 원 장 _____ 엄 석 진 (인)

부위원장 _____ 최 종 원 (인)

위 원 _____ 김 윤 지 (인)

국문초록

본 연구는 고속도로 터널 내 차로변경이 교통흐름에 미치는 영향을 분석하여 현재 혼용해서 운용중인 차로변경 허용/금지에 대한 앞으로의 정책 추진방향에 대한 논의를 하는데 목적이 있다.

우리나라는 국토의 70%가 산악지로 이루어져 있어 도로를 건설하면 불가피하게 터널을 설치하여야 하고, 이에 따라 터널의 개소수가 증가하고 있고 장대화되고 있는 추세이다. 터널 내 차로변경이 불가하게 실선으로 운영되어 왔으나 2016년부터 장대터널 및 터널연속구간에 주행성 향상 측면에서 터널 내 차로변경을 허용해주고 있다. 그러나 사고가 많이 발생하는 터널은 터널 내 차로변경 적발시스템을 설치하여 차로변경을 강력하게 제재하고 있는 실정이다. 이런 정책은 운전자들에게 혼란을 야기할 수 있다. 그래서 두 가지 정책이 통행속도와 교통사고 발생률에 어떠한 영향을 미치는지 실증적인 효과 분석을 시행하였다.

먼저 일반적인 터널 내 차로변경을 허용하면 통행속도는 증가하지 않으며, 교통사고 발생률에도 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 차로변경은 허용하면 통행속도가 증가하는 결과로 이어져야 하지만 해당구간에 적용되어 있는 구간단속 카메라의 영향과 함께 운전자들의 인지도 등에 기인한다고 할 수 있겠다. 그리고 터널 내 차로변경 허용은 교통사고 발생률에는 영향을 미치지 못했으며, 교통사고에 큰 연관성이 없음을 입증하는 결과라고 할

수 있겠다. 이러한 결과 및 외국의 사례를 토대로 일반적인 터널의 경우 터널 내 차로변경 허용 정책을 적극적으로 추진하여 고속도로 주행환경을 개선할 필요가 있어 보인다.

다음으로 교통사고가 많이 발생하는 터널 내 차로변경 금지 단속은 통행속도에 영향을 미치지 않으며, 교통사고 발생률을 감소시키는 것으로 나타났다. 터널 내 통행속도는 차로변경 금지보다 터널연장, 교통량, 종단경사에 의한 영향이 있는 것으로 나타났으며, 교통사고 발생률을 낮추기 위해서는 터널 내 차로변경 금지 단속이 효과가 있다고 할 수 있겠다. 이러한 결과에 따라 교통사고가 많이 발생하는 터널에 한정적으로 터널 내 차로변경 금지 단속 정책도 지속적으로 추진할 필요가 있다.

따라서 본 연구의 결과를 정리하면 고속도로 터널에 차로변경 허용 정책을 우선적으로 검토하여 적용하고, 운영 중 교통사고가 많이 발생하는 터널에 한정적으로 차로변경 금지 단속 정책을 추진하는 것이 적절해 보인다.

주요어 : 고속도로, 터널, 차로변경, 교통사고, 통행속도,

학 번 : 2020 - 29073

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1

제 1 절 연구의 목적 및 필요성 ····· 1

제 2 절 연구의 범위 및 방법 ····· 5

제 2 장 이론적 배경 및 선행연구 검토 ····· 6

제 1 절 이론적 배경 ····· 6

1. 관련법규 ····· 6

2. 국내 터널 내 차로변경 허용사례 ····· 10

3. 국외 터널 내 차로변경 허용사례 ····· 11

4. 터널 내 차로변경 적발시스템(지능형 CCTV) ····· 13

제 2 절 선행연구 검토 ····· 14

1. 터널구간 차로변경 관련 ····· 14

2. 터널구간 교통류 영향요인 관련 ····· 16

3. 터널구간 교통류 특성 관련 ····· 17

가) 교통량(용량) 터널구간 교통류 특성 관련 ····· 17

나) 속도 ····· 18

제 3 절 선행연구의 시사점 및 본 연구와의 차별성 ····· 20

제 3 장 연구설계 및 분석방법 ····· 21

제 1 절 연구의 가설 및 분석의 틀 ····· 21

제 2 절 변수의 개념적 정의와 조작화 ····· 23
1. 독립변수 ····· 23
2. 종속변수 ····· 23
3. 통제변수 ····· 24
제 3 절 자료의 수집 및 분석방법 ····· 27
1. 자료의 수집 ····· 27
2. 분석방법 ····· 29

제 4 장 연구결과 ····· 30
제 1 절 통계적 방법 ····· 30
1. 기술통계 및 정규성 분석 ····· 30
2. 상관관계 분석 ····· 34
제 2 절 가설 검증 ····· 37
1. 연구모형 1 ····· 37
2. 연구모형 2 ····· 41

제 5 장 결 론 ····· 44
제 1 절 연구결과 요약 ····· 44
제 2 절 정책적 시사점 ····· 46
제 3 절 연구의 한계 ····· 48

참고문헌 ····· 50

Abstract ····· 52

표 목 차

[표1-1] 고속도로 터널 연속구간 차로변경 허용구간 ····· 3
[표2-1] 앞지르기와 차로변경(진로변경)의 개념 ····· 6
[표2-2] 차로에 따른 통행차의 기준 ····· 7
[표2-3] 고속도로 터널 내 진로변경 허용 기준 ····· 8
[표2-4] 국가별 터널 내 차로변경 기준 ····· 9
[표2-5] 터널 입출구 차로변경 허용 예시 ····· 10
[표2-6] 터널 내 차로변경 허용 터널 현황 ····· 11
[표2-7] 세계 10대 장대터널의 차선운용 유형 ····· 12
[표2-8] 세계 주요 지하고속도로 차선운용 유형 ····· 12
[표2-9] 터널내 차로변경 적발시스템 운영 현황 ····· 14
[표2-10] 기존 선행연구와 본 연구 비교표 ····· 20
[표3-1] 변수명 및 측정단위 ····· 26
[표3-2] 연구대상 터널수 ····· 28
[표4-1] 터널 내 차로변경 허용 기술통계 ····· 31
[표4-2] 터널 내 차로변경 금지 기술통계 ····· 33
[표4-3] 터널 내 차로변경 허용과 통행속도, 교통사고발생률 변수의 상관관계 분석 ····· 35
[표4-4] 터널 내 차로변경 금지와 통행속도, 교통사고발생률 변수의 상관관계 분석 ····· 36
[표4-5] 터널 내 차로변경 허용이 통행속도에 미치는 영향 ···· 37
[표4-6] 터널 내 차로변경 허용이 교통사고발생률에 미치는 영향 ··· 39
[표4-7] 터널 내 차로변경 금지 단속이 통행속도에 미치는 영향 ··· 41
[표4-8] 터널 내 차로변경 금지 단속이 교통사고발생률에 미치는 영향 ···· 43

그 림 목 차

[그림2-1] 터널 내 차로변경 적발 시스템 개요 ····· 13

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 목적 및 필요성

산악지로 인해 우회하는 도로의 설치가 어렵거나 설치가 가능하더라도 선형이 급격하게 변화하여 주행안전성에 영향을 줄 수 있는 구간에 터널을 설치하고 있다.

우리나라의 도로 터널현황을 보면 2020년말 기준 2,742개소, 2,157km로 2011년말 기준 1,465개소, 1,053km에 비해 1,277개소, 1,104km가 더 늘어난 것이다. 지난 10년 동안 터널이 약 7.2%이상씩 증가하여 전체적으로 터널의 개소와 연장이 약 2배 증가하였다. 이러한 터널의 증가추세는 앞으로도 지속될 것으로 보인다. 또한, 최장대터널 현황을 보면 2020년말 기준 인제양양터널(11km)이 2011년말 기준 죽령터널(4.6km)보다 6.4km 더 길어졌다.

터널 증가의 원인은 우리나라가 국토의 70%가 산지로 이루어져 있어 지형적인 특성상 터널의 설치가 불가피하다는 점이다. 또한 최근에는 환경훼손 최소화, 통행시간 절감, 주행쾌적성 향상, 터널시공 기술의 발달 등으로 터널은 더욱 증가하고 터널 연장도 점점 장대화 되어가고 있다.

현재 국내터널에서는 일부구간을 제외하고 도로교통법 제22조 제3항에 의거하여 원칙적으로 차로변경을 금지하고 있다. 또한, 경찰청의 『교통노면표시 설치관리 매뉴얼』에 의해 터널에서 차로변경을 제한(금지)하고 있으며, 최근 고속도로 터널의 경우에 차로폭, 길어깨폭, 조명에 대해 허용 기준을 충족하고 구간 속도위반 단속 장비를 설치할 경우에 한하여

진로변경을 허용해 주고 있다. 하지만 운전자들의 다수는 터널 내 차로변경 허용여부에 대해 잘 인지하지 못하고 있으며 그에 따라 차로변경이 금지된 터널 내에서의 위반율 또한 높은 실정이다.

그에 따라 한국도로공사에서는 고속도로 터널 내 교통사고가 많이 발생하는 터널의 경우 터널 내 차로변경에 대하여 터널 지능형 CCTV를 설치하여 차로변경을 단속할 수 있는 터널 차로변경 적발시스템을 구축하여 운영함으로써 터널 내에서 발생할 수 있는 교통사고 발생을 줄이려고 노력하고 있다. 남해선 창원1터널, 중부내륙선 상주터널, 중앙선 다부터널, 영동선 둔내터널에 설치하여 운영하고 있다.

그러나 터널 내 차로변경 금지는 저속차량이 존재할 경우 후미의 고속차량이 차로변경을 할 수 없어 저속차량을 추종해야 하므로 도로용량 및 통행속도가 감소할 가능성이 높다. 이러한 영향은 터널연장이 길어질수록 추종시간이 더욱 더 길어져 더 크게 영향을 미칠 것이다. 현재 터널은 지속적으로 장대화 되어가는 추세이기 때문에 이러한 영향은 더욱 심각해 질 수밖에 없다고 보여진다.

그래서 한국도로공사는 최근 건설되는 고속도로가 산악지 등을 통과함에 따라 구조물 비율(전체 연장의 60~70%가 터널, 교량)이 높아지고 터널 연속구간이 증가하는 추세임에 따라 고속도로 터널 내 차로변경 허용을 추진하고 있다. 관련 기준에서도 공학적인 판단에 따라 터널 내에서 차로변경을 허용할 수 있기 때문에 경찰청과 협의를 통해 2016년말부터 일정기준 이상인 고속도로 터널 연속구간에 대하여 터널 내 차로변경을 시범적으로 허용해주고 있다.

[표1-1] 고속도로 터널 연속구간 차로변경 허용구간

노선명	차로변경 허용구간 (일방향기준)	터널연장/개소 (일방향기준)	개통시기
상주영덕선	10.8km	7.5km / 7개소	2016.12
서울양양선	13.7km	13.6km / 2개소	2017.06
부산외곽순환선	10.5km	7.1km / 1개소	2018.02

가장 먼저 개통하여 공용 중인 상주영덕고속도로 구간에 대해서는 시범운영에 대한 효과분석을 시행한 연구가 있다. 연구 결과에 따르면 터널 내 차로변경은 선행차량의 저속주행에 의해 발생하였으며, 차로변경 회수는 실선 및 점선구간에 큰 차이를 보이지 않았다. 3개 노선의 일부 구간에 대해 차로변경을 허용 운영한지 3~5년 정도 경과하였음에도 해당 구간에 큰 이슈가 될 만한 문제가 발생하지 않은 것을 보면 터널 내 차로변경을 허용해도 큰 문제가 없을 것으로 보인다. 관련 기준이 개정되었기에 앞으로 신설될 고속도로에는 이전보다 수월하게 장대터널이나 터널 연속구간에는 차로변경 허용을 위한 경찰청 협의가 수월해 질 전망이다.

따라서, 현재 고속도로 터널에 대해서는 교통사고가 많이 발생하는 터널에 지능형 CCTV를 설치하여 스마트 차로변경 단속을 시행하는 『차로변경 금지』와 장대터널 및 터널 연속구간에 대해 터널 내 차로변경을 허용하는 『차로변경 허용』정책이 혼합되어 운영되고 있다. 더불어 차로변경이 금지되어 있지만 대부분 터널이 차로변경에 대한 강력한 규제가 없어 운전자들이 자연스럽게 차로변경을 하고 있는 실정이다. 그렇기 때문에 운전자들은 터널 내 차로변경 정책에 대해 혼란을 가져올 수밖에

없다.

본 연구에서는 고속도로 터널 내 차로변경 허용과 금지터널의 교통사고 발생률 및 통행속도를 실증적으로 비교 분석하여 현재 시행되는 두 가지 정책에 대한 적정성 및 시행효과에 대해 살펴보고 앞으로 터널 내 차로변경 정책 추진방향에 대한 시사점을 알아보고자 한다.

제 2 절 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 터널 내 차로변경 관련법규(지침)와 차로변경, 교통류 영향요인 및 교통류 특성(교통량, 속도) 관련된 선행연구를 분석하여 터널 내 차로변경이 교통흐름(통행속도 및 교통사고 발생률)에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 먼저 본 연구의 적용대상은 한국도로공사에서 관리하고 있는 고속도로 터널로 공간적 범위를 제한하고자 한다. 고속도로 터널의 경우 일부노선이나 구간을 제외하고는 대부분 제한속도가 100km/h로 동일하며, 현재 터널 내 차로변경을 금지하는 터널, 차로변경을 허용하는 터널이 공존하고 있어 차로변경에 따른 교통흐름의 영향 비교·분석할 수 있다. 데이터는 한국도로공사 관리시스템을 통해 수집하고 있는 데이터를 활용할 예정이다.

고속도로 터널에서 차로변경 금지 및 허용에 따른 효과를 분석하고자 터널 비교구간을 선정하여 연구가설을 설정하고 수집된 데이터로 회귀분석을 실시하여 연구가설을 검증할 예정이다. 이를 통해 연구의 결과 및 시사점, 연구의 한계에 대해 제시할 예정이다.

제 2 장 이론적 배경 및 선행연구 검토

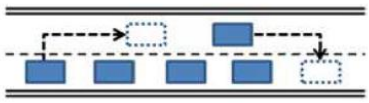
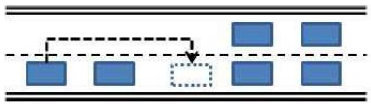
제 1 절 이론적 배경

1. 관련법규

터널 내의 차량의 통행방법과 관련된 법률은 『도로교통법』이 있으며, 교통노면표시와 관련해서는 경찰청의 『교통노면표시 설치·관리 매뉴얼』이 있다.

『도로교통법』에 따르면 터널 내에서 앞지르기를 금지(도로교통법 제22조 제3항)하고 있지만, 차로변경을 직접적으로 금지하는 조항은 없다. 1962~1980년까지는 도로교통법 내에 터널 내 앞지르기 금지 조항이 없었지만, 1980년 개정을 통해 앞지르기 금지 장소로 '터널 내'가 추가되었다. 원칙적으로 차로변경과 앞지르기는 다른 개념을 가지고 있다. 차로변경이란 차량이 진행중인 차로를 바꾸는 것(ex : 2차로→1차로)을 말하는 것이고, 앞지르기란 차의 운전자가 앞서가는 다른 차의 옆을 지나서 그 차의 앞으로 나아가는 것(ex : 2차로→1차로→2차로)을 의미하기 때문이다.

[표2-1] 앞지르기와 차로변경(진로변경)의 개념

구 분	차로변경(진로변경)	앞지르기
개념도		
정 의	차가 진행 중인 차로를 변경하는 것	차의 운전자가 앞서가는 다른 차의 옆을 지나서 그 차의 앞으로 나가는 것
근 거	교통노면표시 설치·관리 매뉴얼	도로교통법 제2조 및 21조

또한, 『도로교통법』시행규칙 제16조와 제39조에는 고속도로에서 차로별로 통행할 수 있는 차종을 정하고 있는데 이를 '지정차로제'라고 한다. 하지만 터널 내에서는 앞지르기(차로변경) 금지와 지정차로제를 동시에 지키지 못하게 된다. 실선만을 준수할 경우 차로변경이 불가하여 고속으로 주행하는 승용차량과 저속으로 주행하는 중차량들이 서로 혼재하여 불안정한 교통흐름을 만들어 교통사고를 유발하게 될 것이고, 지정차로만을 준수할 경우 1차로(앞지르기 차로)를 이용하지 못하게 되어 교통용량 감소에 따른 비효율이 발생할 수 있기 때문이다.

[표2-2] 차로에 따른 통행차의 기준

구분		차로구분	통행할 수 있는 차종
고속도로	편도 2차로	1차로	앞지르기를 하려는 모든 자동차 (다만, 부득이하게 80km/h미만으로 통행할 수밖에 없는 경우에는 앞지르기를 하는 경우가 아니라도 통행할 수 있음)
		2차로	모든 자동차
	편도 3차로 이상	1차로	앞지르기를 하려는 승용자동차 및 앞지르기를 하려는 경형・소형・중형 승합자동차 (다만, 부득이하게 80km/h미만으로 통행할 수밖에 없는 경우에는 앞지르기를 하는 경우가 아니라도 통행할 수 있음)
		왼쪽차로	승용자동차 및 경형・소형・중형 승합자동차
		오른쪽차로	대형 승합자동차, 화물자동차, 특수자동차, 건설기계

경찰청(2020)의 『교통노면표시 설치·관리 매뉴얼』에서는 차로변경 제한을 차선과 진로변경제한선을 통해 제시하고 있다. 차선은 차로를 변경할 수 없는 백색실선과 동일방향의 교통에 주의하면서 차로변경을 할 수 있는 백색점선으로 구분한다. 백색실선은 진로변경제한선이라 하며, 교량, 곡선구간, 오르막길 정상부분, 터널 내에서는 진로변경을 제한하는

차선을 설치하되, 진로변경이 필요하다고 인정되는 곳은 공학적 판단에 따르도록 하고 있다. 특히, 고속도로 내 터널에서는 차로폭 등의 기준을 충족하는 경우 진로변경을 허용하는 차선을 설치할 수 있으며, 이 경우 주행안전성 확보를 위하여 구간 속도위반 단속장비를 설치하여야 한다고 규정되어 있다. 이는 최근 한국도로공사에서 경찰청 협의를 통해 차로변경을 시범적으로 허용하면서 기준을 개정(19년 3월)한 것이다.

[표2-3] 고속도로 터널 내 진로변경 허용 기준

차로 폭	길어깨 폭		조명
	좌측	우측	
3.6m 이상	1.0m 이상	2.5m 이상	KS 터널조명기준 (KS C 3703)

* 자료 : 교통노면표시 설치·관리 매뉴얼(2020)

미국, 일본, 유럽 등 대부분의 국가에서는 터널에서 차로변경을 기본적으로 허용하고 있다. 관련 법규에서 차로변경이 불가능한 상황과 장소에 대해서 규정하고 있지만 터널 및 교량 등 특정구조물을 차로변경이 불가능한 장소로 설정하지는 않고 있다. 미국은 백색점선을 원칙으로 하여 차로변경을 할 수 있도록 하고 있으며, 특별히 주의할 필요가 있는 구간에 대하여 필요시 차로변경을 제한할 수 있는 백색 실선을 사용할 수 있도록 되어 있다. 일본은 양방향 2차로일 경우를 제외하고 차로변경이 가능하다. 프랑스, 네델란드, 독일 등은 터널 내 차로변경 금지하는 규정은 없고 차량정차 금지 또는 안전거리 확보만 규정하고 있다.

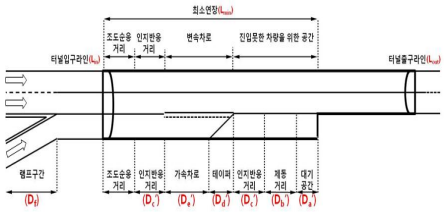
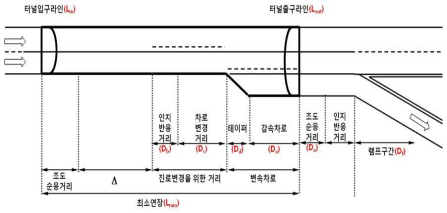
[표2-4] 국가별 터널 내 차로변경 기준

국가	관련법/규정/매뉴얼	터널 내 차로변경	비고
한 국	도로교통법	규정없음	앞지르기 금지
	교통노면표시 설치·관리 매뉴얼	금 지	공학적 판단에 따라 허용 가능
미 국	MUTCD	규정없음	교량·터널 등에 백색실선 설치 가능
일 본	도로교통법	규정없음	차량통행대 없는 (양방향2차로 등) 터널은 추월 금지
프랑스	CODE DE LA ROUTE	규정없음	터널 내 안전거리 확보
호 주	Australian Road Rules	규정없음	터널 내 차량정차 금지
네델란드	Road Traffic Signs and Regulations in the Netherlands	규정없음	터널 내 차량정차 금지
독 일	Straßenverkehrsgesetz (StVG)	규정없음	-

2. 국내 터널 내 차로변경 허용사례

우리나라 고속도로에서는 대부분의 터널에서 차산을 실선으로 운영하고 있으나, 일부 터널의 입출구 부근에서 차로변경이 용이하도록 점선차선을 운영하고 있다. 이는 국토교통부(2013)의 『도로의 구조시설에 관한 규칙 해설』에 나와 있는 터널 입·출구와 고속도로 인터체인지 변이구간 사이에 일정거리를 이격해야 된다는 규정을 지키기 위해서 불가피하게 설치하는 형태이다. 이런 형태의 차로변경 허용은 2000년대 초반부터 시작하여 현재까지 계속되어 오고 있다.

[표2-5] 터널 입출구 차로변경 허용 예시

터널 입구부 차로변경	터널 출구부 차로변경
	

* 자료 : 도로의 구조시설 기준에 관한 규칙 해설(2013)

그리고 터널 내 차로변경 허용은 고속도로에 터널 연속구간이 발생한 2016년부터 터널 내 차로변경 금지시 통행속도 저하 등의 문제를 개선하고자 경찰청 협의를 거쳐 차로변경을 허용하고 있다. 현재 일방향 10개소, 양방향 20개소의 터널이 운영중에 있다.

[표2-6] 터널 내 차로변경 허용 터널 현황

노선명	터널명	터널연장(km)	방향	차로(편도)	운영시기
상주영덕선	지품8터널	0.14	양방향	2	2016.12~
	지품9터널	0.34	양방향	2	2016.12~
	지품10터널	0.44	양방향	2	2016.12~
	달산1터널	0.66	양방향	2	2016.12~
	달산2터널	1.63	양방향	2	2016.12~
	달산3터널	1.39	양방향	2	2016.12~
	영덕터널	2.84	양방향	2	2016.12~
서울양양선	기린6터널	2.67	양방향	2	2017.06~
	인제양양터널	10.96	양방향	2	2017.06~
부산외곽순환선	금정산터널	7.11	양방향	2	2018.02~

3. 해외 터널 내 차로변경 허용사례

국외 고속도로 터널 및 지하고속도로는 대부분 차로변경을 허용하고 있다. 대부분 국가에서 터널 및 지하고속도로의 차선을 점선을 원칙으로 운용하고 있다. 일방향 2차로 이상의 세계 10대 장대터널에서의 차선은 중국 산시성과 대만의 일부 터널을 제외하고는 대부분 점선으로 운용되고 있다.

[표2-7] 세계 10대 장대터널의 차선운용 유형

순위	터널명	연장(km)	국가 및 지역	건설연도	차선유형
1	Yamate	18.20	일본	2007, 2015	점선
2	Zhongnanshan	18.04	중국 산시성	2007	실선
3	Xishan	13.65	중국 산시성	2012	실선
4	Hongtiguan	13.12	중국 산시성	2013	실선
5	Hsuehshan	12.94	대만	2006	이중실선
6	Maijishan	12.29	중국 간슈	2009	점선
7	Gudvangen	11.43	노르웨이	1991	점선
8	Baojiashan	11.19	중국 산시성	2009	실선
9	Kanetsu	11.06	일본	1985, 1991	점선
10	Gran Sasso d' Italia	10.18	이탈리아	1984	점선

* 자료 : 위키피디아(http://en.wikipedia.org)

또한, 미국 보스톤의 Big Dig, 프랑스 파리의 A86, 스페인 마드리드의 M30 등 주요 지하고속도로에서는 차선을 점선으로 운용하여 차로변경을 허용하고 있다.

[표2-8] 세계 주요 지하고속도로 차선운용 유형

구조물명	연장(km)	국가	건설연도	차선유형
Big Dig	12.0	미국	2006	점선
A86 West Beltway	17.5	프랑스	2010	점선
M30	55.7	스페인	2007	점선
¢resund Drogden Tunnel	4.0	스웨덴-덴마크	2000	점선
동경 중앙 환상선	20.7	일본	2013	점선
KPE Road Tunnel	9.0	싱가폴	2008	점선

* 자료 : 위키피디아(http://en.wikipedia.org), 유튜브(www.youtube.com)

4. 터널 내 차로변경 적발시스템(지능형 CCTV)

한국도로공사는 터널 내 차로변경 등으로 인하여 교통사고가 많이 발생하는 터널에 대하여 차로변경을 단속하기 위하여 2016년부터 터널 내 지능형 CCTV를 설치하여 운영하고 있다. 터널 내 차로변경은 두 가지 형태로 진행되고 있는데 첫 번째는 터널 내 지능형 CCTV에 의한 방법이다. 기존의 1개차로의 차량번호만 인식한 CCTV에서 2개 차로의 차량번호를 동시에 인식하여 변경사실을 즉시 감지하는 지능형 CCTV를 설치하는 것이다. 두 번째는 터널 입·출구에서 차량이 들어올 때와 나갈 때의 차로를 비교해서 차로변경을 적발하는 것이다.

[그림2-1] 터널 내 차로변경 적발(지능형 CCTV)시스템 개요

터널 내 차로변경은 도로공사에서 관리하는 터널 중에서도 사고가 많은 터널에 대해서만 적용중이며 현재 적용현황은 방향별 4개소로 총 8개소이다.

[표2-9] 터널내 차로변경 적발시스템 운영 현황

노선명	터널명	터널연장(km)	방향	차로(편도)	운영시기
남해선	창원1터널	2.57	양방향	2	2016.12~
중부내륙선	상주터널	1.69	양방향	2	2017.12~
중앙선	다부터널	1.08	양방향	2	2019.06~
영동선	둔내터널	3.30	양방향	2	

제 2 절 선행연구 검토

1. 터널구간 차로변경 관련

유호인(2007)은 터널과 교량으로 연결된 구조물 연속구간에서 차로변경을 허용할 것을 제안하였으며, 차로변경 허용 시의 필요조건으로 구조적 측면, 안전적 측면, 운전자 편의 측면에 대해서 기준을 제시하였다. 또한 관련 규정의 개정을 위해 차로변경을 허용할 경우의 효과분석을 위해 7.3㎞의 연속된 구조물 구간 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 차로변경을 전면 허용할 경우 서비스수준(LOS)에 따라 총 3~14시간·대 통행시간 절감, 2~6km/h 평균 통행속도 개선효과가 나타난다고 제시하였다.

박재영(2011)은 터널 내 차로변경을 허용의 근거를 마련하기 위해 터널구간과 일반구간으로 구분하여 교통사고율 및 차로변경율을 조사·분석하고, 변속차로의 설치 유형 및 방안을 제시하였다. 연구 결과에 따르면, 터널구간 사고율은 0.02건/백만차량·Km로 일반구간 0.04건/백만차량·Km보다 낮았으며, 차로변경율은 터널구간 23%, 일반구간은 24%로 거의 차

이가 없는 결과를 도출하였다. 그리고 변속차로 설치시 설계요소의 조합 및 전제조건을 고려하여 3개의 설치유형(감속차로 2개, 가속차로 1개)을 설정하고 전면허용 및 부분허용안으로 구분하여 제시하였다.

김상구 외(2012)는 터널연장별 차로변경에 따른 터널구간 교통류 특성을 분석하였는데 고속도로 터널을 대상으로 터널연장, 차로수, 차종구성, 서비스수준별 차로변경 금지/허용을 서로 조합하여 시나리오를 설정하고 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 분석결과 모든 시나리오에서 차로변경을 허용할 경우 평균 통행속도가 증가하는 것으로 나타났으며, 중차량이 포함된 혼합교통류일 때 더 큰 효과를 보였다. 차로변경 금지의 경우 터널연장이 증가할수록 통행속도가 감소하였다.

백승걸(2017)은 우리나라 터널 및 교량에서의 차로변경 금지의 문제점과 차로변경 허용 필요성에 대한 관련현황과 상세한 이유를 제시하였다. 또한 이를 실증하기 위해 경찰청과 한국도로공사는 2016년 12월 개통한 상주영덕고속도로 전체 연장 107.6km 중 10.8km를 차로변경(점선) 시범구간으로 운영하고 그 효과를 분석하였다. 시범운영 구간에 대한 효과분석 결과 실선과 점선운용 구간의 차로변경율, 교통특징, 교통사고간의 차이가 크지 않아 터널 및 교량에서의 차로변경 허용을 확대해도 큰 문제가 없을 것으로 예상되었다. 또한, 설문조사 결과 대다수의 운전자들이 터널 내 차로변경에 허용된 구간을 자연스럽게 주행하였음에도 그 사실을 인지하지 못하였고 위험한 상황이 없었음에도 차로변경 허용(점선) 운용에는 반대하였다. 이러한 것은 터널 내 차로변경이 위험하다는 고정관념에 기인한 것으로 보여진다. 따라서 터널 내 차로변경 허용은 일정수준의 시설조건을 갖춘 고속도로 터널부터 허용하는 것이 필요하며, 점선 운용에 대한 지속적인 홍보가 필요하다고 제시하였다.

2. 터널구간 교통류 영향요인 관련

김호영(1999)은 중부고속도로 터널구간에 대하여 시지각 변화를 측정하여 터널 내부의 주시 영역폭(상·하/좌·우) 변화에 따른 주행속도 변화를 분석하였다. 분석결과에 따르면 조도의 변화, 측방 여유폭의 감소, 암순응 등이 운전자의 운전수행능력을 저하시켜 주행속도의 감소시킨다는 결과를 도출하였다. 주행속도의 변화는 터널이 보이기 시작하면 점차 감소추세를 보이다가 터널 진입 후 100m시점에 최저 주행속도를 나타냈으며 이후 상승하여 터널을 진출한 이후 이전 주행속도로 회복하는 것으로 확인하였다.

이윤미(2006)는 고속도로 일반부와 터널부의 속도 차이가 발생하는 요인 분석을 위해 터널과 관련된 다양한 변수들을 크기, 안전성, 시인성, 종단구배의 4가지 성분으로 구분하여 회귀분석을 실시하였다. 분석결과, 크기에 해당하는 측방여유폭, 안전성에 해당하는 시선유도시설 등, 시인성에 해당하는 조명색 등이 영향을 미치는 요인으로 분석되었으며, 이들 요인 중에서도 차로수가 가장 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

조병찬(2010)은 중부내륙 고속도로상 10개 터널을 대상으로 자유속도로 주행할 때 터널구간 속도변화를 살펴보고, 이러한 속도변화에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 터널내부 주행속도는 최대 6~7㎞/h(7.4%) 범위 내에서 증감하였으며, 이는 터널 종단경사, 길어깨 폭원, 진·출입부 조도에 의하여 영향을 받는다는 결과를 도출하였다. 터널 종단경사, 길어깨 폭원 및 진출부 조도가 클수록 터널 진출입부 간의 속도 차는 적어지는 것으로 나타났으며, 터널 진입부의 조도가 클수록 터널 진출입부 간의 속도 차는 커지는 것으로 나타났다.

3. 터널구간 교통류 특성 관련

가) 교통량(용량)

조현우 등(1997)은 터널을 통과 후 도로의 용량이 통과 전에 비해 적어지는 점을 발견하고, 연속되는 터널에서는 그 감소량이 이보다 크다는 점을 발견하였다. 연구를 통해서 1개의 독립터널에서 5%, 2개의 연속터널에서 10% 용량 감소가 발생하여 터널보정계수를 독립터널 0.95, 2개 연속터널은 0.90으로 제시하였다.

장현봉·장덕형(1998)은 터널 입구부근에서 속도저하와 용량감소의 원인을 터널 입구 직전에서 입구가 블랙홀처럼 보여 진입시 긴장감이 고조되고, 시각적 순응이 늦어져 주행에 필요한 정보획득이 불안정한 상태가 되므로 운전자는 압박감, 폐쇄감 때문에 심리적으로 불안정한 상태가 된다고 분석하였다. 또한, 영상처리기법을 통하여 2차로, 4차로 터널에 대하여 용량을 분석하였는데, 2차로에서는 교통용량이 1,500대/시로 일반구간에 비해 약 6% 정도 감소하였으며, 4차로의 경우는 2,000대시로 약 8%정도의 터널 용량 감소가 발생한다고 제시하였다.

이범규(1998)는 영동고속도로 마성터널에서 수행된 연구에서 터널의 유출부보다 유입부에서 속도저하 및 용량 감소 현상이 더 크며, 고속도로 기본구간의 용량과 비교하면 유입부는 용량이 5%, 유출부는 3% 정도 감소되는 것으로 분석하였다.

장현봉 등(2000)은 4차로 고속도로 터널을 대상으로 영상처리기법을 활용하여 교통류 특성 및 용량을 분석하였다. 터널구간 용량은 일반구간에 비해 약 12% 감소한다는 결과를 도출하였으며, 이는 터널구간의 자체적인 문제에 의한 감소분이라 하였다.

이재호(2000)는 독립된 터널에서는 기존 차로용량 2,200pcphpl에 비해 4.2% 감소된 2,108pcphpl으로분석하였으며, 연속터널의 경우 용량은 2,079pcphpl으로 5.5% 감소하여 독립터널보다 연속터널부가 용량 감소폭이 좀 더 큰 것으로 제시하였다.

조승현(2001)은 서울시에 위치한 5개의 터널을 대상으로 터널구간에서 감소하는 관측교통량의 차이를 비교분석하였다. 분석결과, 일반구간에 비하여 터널구간에서 평균 3.7% 정도 교통류율이 감소하는 것으로 분석되었다.

Weng와 Olszewski(1994)는 싱가폴에서는 속도-교통량 관계를 통해 고속도로의 교통용량은 3,000pcphpl로 정의하고 있으며, 터널구간 용량감소 연구를 통해 터널에서의 교통용량은 2,600pcphpl을 제시하여 터널구간 용량이 일반구간보다 감소하는 것으로 분석하였다.

Levinson 등(1995)은 미국 Callahan 터널 교통관리 전·후의 터널 용량변화를 관찰한 결과, 교통관리전 터널 용량이 1,600 ~ 1,650대/시를 보였으나 터널유입부의 도류화, 요금징수소 제거, 터널출구의 개선 등을 통해 차로당 200대/시가 증가하는 것으로 제시하였다.

나) 속도

유경수 등(1995)는 터널 입구부의 속도는 터널 존재자체의 영향에 의해서 결정될 소지가 높으며, 오르막 구간의 터널의 존재로 인한 속도 감속의 정도는 단순한 오르막구배 구간보다 더 큰 것으로 분석하였으며, 터널 진입부의 속도 감소는 터널전방 종단구배, 곡선반경, 터널 연장에 의해 가장 크게 영향을 받음을 증명하였다. 연구에서 속도는 종단구배 1% 증가 시 9.13㎞/h, 터널길이 100m 증가 시 1.78㎞/h가 감소하며, 교통량 1,550pcphpl 기준으로 속도는 종단구배 1% 증가 시 9.87㎞/h, 터널길

이 100m 증가 시 1.70㎞/h가 감소한다고 제시하였다.

신용균 등(1996)은 주행실험을 통해 터널구간 속도 변화에 대해 제시하였다. 터널 내 주행속도는 터널 유입 후 감소하다가 터널 중간부를 지나면서 완만하게 상승하는 것으로 분석하였다.

정충근 등(2002)은 중앙고속도로의 금대2터널-치악1터널 구간의 연속터널을 대상으로 분석한 결과, 독립터널의 터널 진입부에서 속도는 평균적으로6.9%(7.1km/h) 감소하고, 연속터널의 진입부에서도 평균 2.9% 속도 감소가 있는 것으로 분석하였다. 또한 독립터널에서의 속도 감소는 터널 진입부에서의 운전자의 심리적 상태, 터널 입구에서의 어둠에 대한 정보 획득 등으로 속도가 저하되면, 연속터널에서의 터널 간 이격거리에 따른 속도 변화는 터널을 통과한 주행차량이 다음 터널의 인식정도에 따라 속도가 변화됨을 분석하였다.

이화선(2002)은 영동고속도로 둔내터널과 대관령 4터널의 구간별 속도 변화를 조사했는데, 터널의 중간부까지는 속도가 감소하다가 그 이후에는 속도가 회복하는 특성이 있음을 제시하였다.

May(1990)는 터널이 일반구간보다 교통량, 속도는 감소하고 밀도는 증가함을 제시하였다. 교통량은 1,750veh/hr/lane에서 1,350veh/hr/lane로 감소하고, 속도는 45mile/hr에서 25mile/hr로 감소하였다. 이와 반대로 밀도는 40~50veh/mile/lane에서 50~60veh/mile/lane으로 증가함을 제시하였다.

Koshi(1992)는 터널 용량은 터널길이, 구배 등 도로조건에 따라 2차로당 2,200~3,000대/시까지로 나타나며, 터널구간은 용량 병목구간으로 편도 2차로 도로에서 약 4,000대/시가 기대되는 반면 터널 용량은 2,200~2,700대/시 범위에서 관측되어 용량감소가 발생함을 제시하였다. 또한, 터널부 속도변화는 주야간, 차로에 따라 약간 차이가 있으나 터널 입구 부근에서는 공통적으로 속도저하 현상이 발생한다고 주장하였다.

제 3 절 선행연구의 시사점 및 본 연구와의 차별성

기존 선행연구의 결과를 종합해보면 터널구간은 일반구간에 비해 교통용량이 감소하게 되는데 독립구간보다 연속구간일 경우 용량감소 폭이 상대적으로 크게 나타났다. 그리고 터널구간에서 주행속도도 감소하였는데 터널을 진입하면서 주행속도가 일시적으로 감소했다가 점차 증가되는 추세를 보였다. 이러한 터널의 교통류에 영향을 주는 요인들 살펴보면 조도의 변화, 여유폭의 감소, 암순응, 종단경사 등이 영향을 미친다고 할 수 있다. 이에 따라 터널 내 차로변경 허용할 경우를 시뮬레이션하면 주행속도가 증가하여 통행시간 절감효과를 가져올 수 있다고 하였다. 그리고 차로변경 허용 시범운영구간의 자료를 분석하여 터널 내 차로변경 허용을 시행해도 문제가 없는 것으로 나타났다.

본 연구와 기존연구와의 차별성은 기존 차로변경으로 인한 주행속도 증가효과가 시뮬레이션(VISSIM) 프로그램에 의한 결과로 나온 반면 본 연구에서는 실제 주행속도 데이터(VDS)를 분석하여 터널 내 차로변경 허용이 주행속도에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 결과를 도출하고자 한다. 또한, 기존 터널 내 교통사고가 일반구간과 비교하여 큰 차이가 나지 않는 결과를 도출하였는데 본 연구에서는 차로변경 허용터널과 금지터널을 비교하여 차로변경이 교통사고에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

[표2-10] 기존 선행연구와 본 연구 비교표

주행속도	기존연구	시뮬레이션 프로그램을 활용한 차로변경시 주행속도 증감 확인
	본 연구	실제 주행속도 데이터를 활용한 차로변경시 주행속도 증감 확인
교통사고 발생율	기존연구	터널구간과 일반구간 비교
	본 연구	터널 차로변경 허용구간과 금지구간 비교

제 3 장 연구설계 및 분석방법

제 1 절 연구의 가설 및 분석의 틀

본 연구는 선행연구를 바탕으로 고속도로 터널 내 차로변경에 따른 교통흐름에 미치는 영향에 대한 실증적으로 분석하고자 한다.

유호인(2007)이 터널 내 차로변경을 허용할 경우 주행속도가 증가함을 시뮬레이션을 통해 추정하였는데 선행연구를 바탕으로 고속도로 터널 내 차로변경 허용이 통행속도 향상에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 “가설 1”을 설정하였다. 그리고 백승걸(2017)의 선행연구에서 운전자들은 자신이 터널 내 차로변경에 허용된 구간을 자연스럽게 주행하였음에도 그 사실을 인지하지 못하였고 위험한 상황이 없었음에도 차로변경 허용(점선) 운용에는 반대하는 설문조사를 시행하였다. 이것은 운전자들이 아직도 터널 내 차로변경은 위험하다는 인식을 가져온 것에 기인한다고 보여진다. “가설 2”를 통해 이 부분을 알아보고자 한다. 이것을 통해 터널 내 차로변경 허용에 대한 효과를 알아볼 수 있을 것이다.

다음으로 터널 내 차로변경 금지 정책에 대한 효과를 분석할 것이다. 이것은 터널 내 차로변경 금지를 스마트 차로변경 적발시스템으로 단속하고 있는 터널을 대상으로 살펴보고자 한다. 먼저 선행연구에서 나타나듯이 터널은 교통용량이 감소하게 되므로 차로변경 금지를 단속하게 되면 통행속도는 더욱 감소할 것으로 보여지기 때문에 “가설 3”을 설정하였다. 그리고 현재 터널 내 스마트 차로변경 적발시스템의 도입 배경이 교통사고가 많이 발생하는 터널 위주로 선정하여 교통사고 발생 감소 효과를 보겠다는 것이므로 “가설 4”를 설정하여 이를 알아보고자 한다.

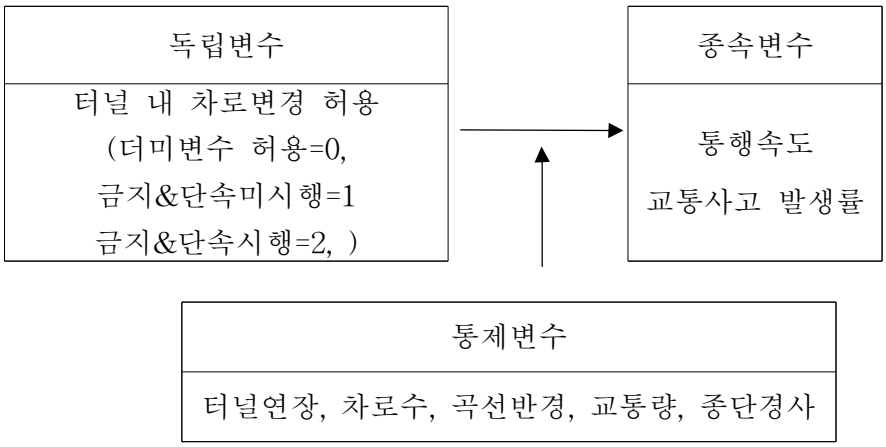
가설 1. 터널 내 차로변경 허용은 통행속도를 증가시킬 것이다.

가설 2. 터널 내 차로변경 허용은 교통사고 발생률을 증가시킬 것이다.

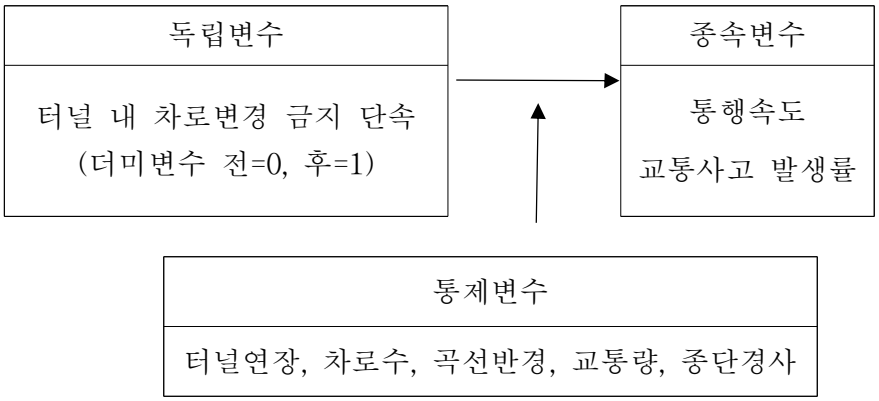
가설 3. 터널 내 차로변경 금지 단속은 통행속도를 감소시킬 것이다.

가설 4. 터널 내 차로변경 금지 단속은 교통사고 발생률을 감소시킬 것이다.

<연구 모형 1>



<연구 모형 2>



제 2 절 변수의 개념적 정의와 조작화

1. 독립변수 : 차로변경 허용/금지

본 연구는 터널 내 차로변경 허용/금지가 교통흐름에 미치는 영향을 실증적으로 분석하기 위해 터널 내 차로변경 허용/금지를 독립변수로 설정하였다.

첫 번째 연구모형은 전체 터널을 세 가지의 유형(차로변경 허용, 차로변경은 금지하나 미단속, 차로변경을 금지하고 단속)으로 더미변수를 사용하여 비교할 예정이며, 두 번째 연구모형은 현재 단속을 시행하고 있는 터널에 대하여 단속 시행 전과 후를 더미변수로 사용하여 비교할 예정이다.

2. 종속변수 : 통행속도, 교통사고 발생률

고속도로 터널 내 차로변경이 교통흐름에 미치는 영향을 분석하기 위하여 첫 번째 연구모형은 최근 3개년(2019~2021년) 통행속도 교통사고 자료를 활용할 것이고, 두 번째 연구모형은 최근 11년간(2010~2021) 통행속도 및 교통사고 자료를 활용할 것이다.

3. 통제변수

독립변수인 터널 내 차로변경 허용여부와 종속변수인 터널 내 차량의 통행속도 및 교통사고 발생률에 대한 인과관계 검증의 타당성을 확보하기 위해서는 제3의 변수를 적절하게 통제하여야 한다. 김상구외(2012)의 연구에 의하면 터널 내 통행속도는 터널연장, 차로수, 서비스수준, 차종구성으로 나뉘어진 모든 시나리오에서 차로변경을 허용할 경우 통행속도가 증가하였다.

한편, 유경수 등(1995)의 연구에 의하면 터널연장 및 종단경사가 증가할수록 터널에서의 통행속도는 감소한다는 연구결과를 도출하였다.

따라서, 선행연구를 고려한 주요 영향요인인 터널연장, 차로수, 교통량, 종단경사를 통제변수로 사용하여 분석하였다.

가) 터널연장

터널연장은 터널의 입구부터 출구까지의 길이를 말하는 것으로써, 일반적으로 고속도로 터널은 병렬터널(쌍굴) 형태로 만들어지기 때문에 동일한 이름의 터널이라도 지형여건이나 평면선형에 따라 방향별로 터널연장이 다를 수 있다. 본 연구에서는 터널 내 통행속도 등을 살펴보기 위한 것이므로 1km이상의 장대터널을 대상으로 한다.

나) 차로수

차로는 자동차와 같은 차량이 한 줄로 도로의 정해진 부분을 통행하는 것을 의미하며 일반적인 고속도로는 편도 2차로이다. 고속도로 터널의 경우 2~4차로까지 있다.

다) 교통량

교통량이란 단위시간(일, 시간, 15분, 5분 등)에 어떤 지점을 통과하는 차량의 대수를 말하며, 교통량이 늘어날수록 차량들간 간섭이 심해져 차로변경을 가져오게 된다. 본 연구에서는 한국도로공사에서 매년 시행하는 고속도로 교통량 조사 자료를 활용하기로 한다

라) 종단경사

종단경사는 도로노면의 가로방향 경사를 말하며 양의 종단경사가 있는 구간을 오르막구간, 음의 종단경사가 있으면 내리막구간이라고 한다. 이러한 오르막구간은 대형차량의 속도저하를 가져와 다른차량의 주행을 방해하고 교통혼란을 야기하고, 교통지체 등으로 이어져 교통용량을 저하시키는 요인이 된다. 또한, 정상 주행차량과 저속 주행차량의 속도차이 증가로 차로변경이나 앞지르기가 늘어나 교통사고의 요인이 되기도 한다.

마) 곡선반경

곡선반경은 곡선구간에서 도로의 커브의 정도를 나타내는 수치를 말하며, 반지름값으로 나타낸다. 곡선반경이 0이면 직선선형을 말하며, 곡선반경이 작을수록 커브가 심하고, 곡선반경이 클수록 커브가 완만하다.

[표3-1] 변수명 및 측정단위

구 분	변 수 명	측정단위
독립변수	터널 내 차로변경 허용	허용=0, 금지&단속○=1, 금지&단속×=2
	터널 내 차로변경 금지 단속	전=0, 후=1
종속변수	주행속도	km/h
	교통사고 발생률	건/대·km
통제변수	터널연장	km
	차로수	개수
	교통량	대
	종단경사	%
	곡선반경	m

제 3 절 자료의 수집 및 분석 방법

1. 자료의 수집

한국도로공사가 관리하고 있는 고속도로 터널은 총 1,059개소이다. 이 터널에서 먼저 제한속도가 100km/h가 아닌 구간은 대상에서 제외할 것이다. 주행속도를 비교분석하기 위해서는 제한속도가 동일해야만 하는데 현재 운영중인 차로변경 금지 터널과 차로변경 허용터널의 제한속도가 100km/h이기 때문이다. 그리고 두 번째로는 터널연장이 1km이상의 터널 데이터만 확보할 예정이다. 본 연구의 취지를 보면 터널 내 통행속도 등을 살펴볼 예정이므로 장대터널이라고 하는 1km이상 터널을 대상으로 한다.

그리고 터널은 3개 형태로 분류할 수 있다. 첫 번째는 일반적인 경우로 차로변경이 금지되어 있지만 특별한 단속이 없는 터널이다. 이 터널의 경우 운전자들도 차로변경 인지가 낮고, 차로변경을 잘 지키지 않는 것으로 알려져 있다. 두 번째는 터널 내 교통사고가 많아 스마트 과속적발 시스템(지능형 CCTV)을 구축하여 단속을 시행하는 터널이다. 교통사고 다발 구간이기 때문에 터널 전방에 단속에 대한 홍보가 강화되어 있고 터널 내부에서 여러 종류의 안전시설들이 보강되어 있다. 세 번째는 최근에 건설되어 터널 연속구간 또는 장대터널 구간으로 터널 내 차로변경이 허용된 터널이다. 이 구간은 터널 내 차로변경이 가능한지만 구간단속카메라가 설치되어 있어 과속이 제한속도 이상의 과속이 힘든 구간이다.

이제 앞에서 언급했던 가설 검증을 위해 데이터를 수집해야 한다. 가설검증을 위해서는 터널 차로변경 허용과 금지에 교통사고 발생률 및 통

행속도에 미치는 영향을 분석하기 위한 자료를 수집하여야 한다.

따라서, 연구에 필요한 자료는 두 가지로 분류할 수 있는데 교통사고, 통행속도에 대한 데이터이다. 각각의 자료는 다음과 같은 방법으로 수집할 예정이다.

교통사고에 대한 자료는 한국도로공사 유지관리시스템의 사고속보자료를 활용할 예정이다. 이 시스템을 통해 2010년부터 고속도로에서 발생한 모든 사고 데이터를 확보 후 발생지점이 터널인 자료만 추출할 계획이다.

다음으로 통행속도에 관한 자료는 한국도로공사 고속도로 차량검지시스템(VDS, Vehicle Detection System)에서 생성되는 교통자료를 수집할 예정이다. 차량검지시스템은 도로 일정지점에 차량의 존재나 교통량, 속도, 점유율, 차량길이 등의 교통상황에 대한 자료를 수집하기 위해 설치한 장치이다. 한국도로공사가 관리하는 1,059개의 터널 중에 총 112개의 터널 내에 차량검지기가 설치되어 실시간으로 데이터를 수집하고 있다. 차로변경 허용효과를 분석(연구모형1)하기 위한 데이터는 VDS가 설치된 1km이상 터널의 최근 3개년(2019~2021년) 통행속도 자료 및 교통사고 발생자료이고, 차로변경 금지효과를 분석(연구모형2)하기 위한 데이터는 해당터널의 최근 11년간(2010~2021년) 통행속도 자료 및 교통사고 발생자료를 수집할 예정이다. 수집내용은 방향별 통행속도, 교통사고 발생수 등이 될 것이다. 터널 연장연장 기준(1km이상 터널) 및 통행속도 측정자료는 VDS 설치터널을 확인한 연구대상(터널)수는 다음과 같다

[표3-2] 연구대상 터널수

구분	내 용	대상수
1	차로변경 제한하나 단속은 시행하지 않는 1km이상 터널	54개소
2	차로변경을 제한하며 CCTV단속을 시행하는 1km이상 터널	8개소
3	차로변경을 허용하는 1km이상 터널	10개소

2. 분석방법

통계적 분석 중 회귀분석은 종속변수(Y)에 영향을 미친다고 추정되는 독립변수(X)의 영향의 크기를 검증할 때 회귀계수를 가지고 그 효과를 추정할 수 있다. 또한, 회귀분석은 독립변수와 종속변수가 등간척도 또는 비율척도일 때 주로 사용되는 방법이다. 하지만, 독립변수가 명목척도일 때는 더미변수를 만들어 회귀분석방법을 사용할 수 있다. 본 연구에서는 더미변수를 이용하여 교통사고 발생률, 통행속도에 대한 회귀분석을 실시하였다. 또한, 회귀분석을 실시하기 전 기술통계분석과 상관관계분석(Correlation Analysis)을 사용하여, 변수의 특성과 및 변수와의 관계를 살펴보았다.

본 연구의 실증분석은 모두 유의수준 $p<.05$에서 검증하였으며, 통계처리는 SPSSWIN 25.0 프로그램을 사용하여 분석하였다.

제 4 장 연구결과

제 1 절 통계적 방법

1. 기술통계 및 정규성 분석

1) 연구모형1

터널 내 차로변경 허용에 대한 영향을 분석하기 위하여 72개 터널의 최근 3개년간(2019~2021) 교통사고 발생률, 통행속도, 및 교통량 자료와 터널 기하구조(연장, 종단경사, 차로수, 곡선반경)와 관련된 자료의 기술통계를 살펴보았다.

(1) 종속변수 : 교통사고 발생률, 통행속도

교통사고 발생률은 최소 0건/대·km, 최대 .0244건/대·km, 평균 .0019건/대·km로 나타났으며, 통행속도는 최소 16.63km/h, 최대 109.31km/h, 평균 66.1990km/h으로 나타났다.

(2) 통제변수 : 연장, 종단경사, 차로수, 곡선반경, 교통량

터널 연장은 최소 1.04km, 최대 10.965km, 평균 2.1897km로 나타났으며, 종단경사는 최소 -3%, 최대 3.1%, 평균 .2408%로 나타났으며, 차로수는 최소 2차로, 최대 3차로, 평균 2.0694차로이며, 곡선반경은 최소 0m,

최대 8,200m, 평균 2,399.014m이며, 교통량은 최소 3,989대, 최대 36,082대, 평균 12,803.9259대로 나타났다.

[표4-1] 터널 내 차로변경 허용 기술통계

구 분	관측치	평균	최소값	최대값	표준편차	왜도	첨도
연장	216	2.1897	1.04	10.965	1.65324	1.564	3.789
종단경사	216	.2408	-3	3.1	1.47934	-.078	-.413
차로수	216	2.0694	2	3	0.25480	1.411	.726
곡선반경	216	2,399.014	0	8,200	1,950.4937	.765	.482
교통량	216	12,803.93	3,989	36,082	6,951.9088	.949	1.281
교통사고 발생률	216	.0019	0	.0244	0.00371	-.239	.564
통행속도	210	66.1990	16.63	109.31	26.27893	-.290	-1.170

(3) 정규성 분석

관련변수에 대하여, 일변량 정규성과 다변량 정규성 모두 검토하였으며 정규성 항목 중 왜도와 첨도를 통해 파악하였다. 왜도는 자료의 대칭성 정도를 나타낸 것으로 평균에 대한 대칭적 정규분포와는 달리 양의 왜도는 자료가 평균 좌측에 몰려있고, 음의 왜도는 평균의 우측에 몰려있어 평균에 대한 비대칭적 분포를 이룬다(김대업, 2008)[1]. 첨도는 정규분포곡선의 분포중간이나 꼬리에 있는 점수 비율의 상대정도를 의미한다. 음의 왜도는 꼬리에 너무 많은 사례가 몰려있거나 중간에 적은 사례가 있는 경우를 말하며, 반대로 양의 첨도는 자료가 평균 부근에 많이

1) 구조방정식 모형분석 김대업 지음 / 학현사 / 2008년 3월

몰려 있는 것을 말한다(배병렬, 2011)[2]. 왜도는 절대값 2이상, 첨도는 절대값 7이상일 경우 자료 정규성에 문제가 있는 것으로 판단한다.

이 연구모형의 응답자료 정규성 검토결과 일변량 정규성 가정에는 왜도의 경우에 -.290~1.564, 첨도의 경우에 -1.170~3.789으로 문제가 없는 것으로 나타났다.

2) 연구모형2

터널 내 차로변경 금지에 대한 영향을 분석하기 위하여 8개 터널의 최근 11년간(2010~2021) 교통사고 발생률, 통행속도, 및 교통량 자료와 터널 기하구조(연장, 종단경사, 차로수, 곡선반경)와 관련된 자료의 기술통계를 살펴보았다.

(1) 종속변수 : 교통사고 발생률, 통행속도

교통사고 발생률은 최소 0건/대·km, 최대 .02987건/대·km, 평균 .002442건/대·km로 나타났으며, 통행속도는 최소 64.85km/h, 최대 96.07km/h, 평균 80.91km/h으로 나타났다.

(2) 통제변수 : 연장, 종단경사, 차로수, 곡선반경, 교통량

터널 연장은 최소 1.041km, 최대 3.3km, 평균 2.1413km로 나타났으며, 종단경사는 최소 -1.51%, 최대 3.1%, 평균 1.0974%로 나타났으며, 차로수는 2차로로 동일했으며, 곡선반경은 최소 0m, 최대 1,658m, 평균

2) AMOS 19 구조방정식 모델링: 원리와 실제, 배병렬 지음 | 청람 | 2011년 06월 20일 출간

473.375m이며, 교통량은 최소 11,557대, 최대 38,469대, 평균 25,943.71889대로 나타났다.

(3) 정규성 분석

이 연구모형의 응답자료 정규성 검토결과 일변량 정규성 가정에는 왜도의 경우에 -.394~1.525, 첨도의 경우에 -1.487~1.520으로 문제가 없는 것으로 나타났다.

[표4-2] 터널 내 차로변경 금지 기술통계

구 분	관측치	평균	최소값	최대값	표준편차	왜도	첨도
연장	192	2.1413	1.041	3.3	.85879	.094	-1.487
종단경사	192	1.0974	-1.51	3.1	1.48931	-.185	-.870
차로수	192	2.0000	2	2	.00000	.	.
곡선반경	192	473.3750	0	1,658	686.62927	.974	-.881
교통량	192	25,943.71	11,557	38,469	7,077.0131	-.394	-1.082
교통사고 발생률	192	.002442	0	.0299	.0039568	1.525	1.520
통행속도	89	80.91	64.85	96.07	7.754	.188	-.914

2. 상관관계 분석

회귀분석에 앞서 변수들 간의 관계를 분석하기 위해 상관계수를 분석하였다.

먼저, 터널 내 차로변경 허용과 통제변수, 통행속도, 교통사고 발생률 변수의 상관관계 분석을 실시한 결과 먼저, 교통사고 발생률의 경우 차로 수 r=.184(p<.01), 교통량 r=.169(p<.05)의 경우 유의한 정(+)의 상관관계를 보였다. 그리고 통행속도의 경우는 종단경사 r=-.301(p<.01), 차로수 r=-.186(p<.01), 곡선반경 r=-.142(p<.05), 차로변경 허용 r=-.192(p<.01)에서 유의한 부(-)의 상관관계를 보였다. 여기서 차로변경을 허용할수록 통행속도가 낮아지는 결과도 보여주게 되는데 차로변경 허용터널의 경우 구간 속도위반 단속장비로 인해 차로변경 허용이 통행속도 상승으로 이어지지 않는 결과를 보여준다고 할 수 있겠다.

다음으로 터널 내 차로변경 금지와 통제변수, 통행속도, 교통사고 발생률 변수의 상관관계 분석을 실시한 결과, 교통사고 발생률의 경우 터널 연장 r=-.146(p<.05), 차로변경 금지 r=-.157(p<.05)는 유의한 부(-)의 상관관계를 보였다. 통행속도의 경우 곡선반경 r=.527(p<.001)에 유의한 정(+)의 상관관계를 보였고, 교통량 r=-.370(p<.01)에 유의한 부(-)의 상관관계를 보였다. 여기서 차로변경 금지 터널의 경우 교통사고 발생률도 감소하는 유의미한 결과를 보여주고 있는데 회귀분석을 통해 다시 확인해 보도록 하겠다.

[표4-3] 터널 내 차로변경 허용과 통행속도, 교통사고발생률 변수의 상관관계 분석

구 분		연장	종단경사	차로수	곡선반경	차로변경 허용	교통량	교통사고 발생률	통행속도
연장	r	1							
	p								
종단경사	r	-.081	1						
	p	.235							
차로수	r	-.105	.178**	1					
	p	.125	.009						
곡선반경	r	.396**	-.116	-.090	1				
	p	.000	.090	.189					
차로변경 허용	r	-.294**	.176**	.015	-.317**	1			
	p	.000	.010	.824	.000				
교통량	r	-.018	.181**	.124	-.207**	.620**	1		
	p	.790	.008	.068	.002	.000			
교통사고 발생률	**r**	**-.018**	**.035**	**.184****	**-.088**	**.105**	**.169***	**1**	
	p	**.797**	**.612**	**.007**	**.197**	**.125**	**.013**		
통행속도	**r**	**.039**	**-.301****	**-.186****	**-.142***	**-.192****	**-.024**	**-.033**	**1**
	p	**.576**	**.000**	**.007**	**.040**	**.005**	**.725**	**.631**	

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

[표4-4] 터널 내 차로변경 금지와 통행속도, 교통사고발생률 변수의 상관관계 분석

구 분		연장	종단경사	곡선반경	차로변경 금지	교통량	교통사고 발생률	통행속도
연장	r	1						
	p							
종단경사	r	-.785**	1					
	p	.000						
곡선반경	r	-.464**	.212**	1				
	p	.000	.003					
차로변경금지	r	.016	-.076	.036	1			
	p	.823	.296	.622				
교통량	r	-.381**	.003	.356**	.190**	1		
	p	.000	.964	.000	.008			
교통사고 발생률	**r**	**-.146***	**.130**	**-.018**	**-.157***	**.052**	**1**	
	p	**.043**	**.072**	**.799**	**.029**	**.473**		
통행속도	**r**	**-.178**	**.183**	**.527****	**-.105**	**-.370****	**-.078**	**1**
	p	**.096**	**.086**	**.000**	**.327**	**.000**	**.465**	

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

제 2 절 가설검증

1. 연구모형 1

1) 가설1의 검증

가설 1. 터널 내 차로변경 허용은 통행속도를 증가시킬 것이다.

[표4-5] 터널 내 차로변경 허용이 통행속도에 미치는 영향

Model	Beta	t	Sig.	VIF
(Constant)		7.314	.000	
연장	-.084	-1.207	.229	1.171
차로수	-.167	-2.502*	.013	1.079
교통량	.203	2.494*	.013	1.600
종단경사	-.266	-4.013***	.000	1.060
차로변경 허용	-.287	-3.415***	.001	1.712
R제곱(수정)	.158(.137)			
F(p)	7.651*** (.000)			

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

터널 내 차로변경 허용이 통행속도에 미치는 영향을 살펴보면, 변수간 다중공선성을 진단하기 위하여 분산팽창계수(VIF : variable inflation factor)와 허용치(tolerance)를 살펴보았으며, 일반적으로 분산팽창계수가

10이상이거나 허용치가 0.1보다 작으면 다중공선성의 문제가 있다고 판단하게 된다. 본 분석에서 변수들의 VIF값은 1.060~1.712으로 모두 10 이하였고, 허용치는 0.1보다 크게 나타나 다중공선성의 문제는 발생하지 않는 것으로 볼 수 있다.

회귀분석 결과 회귀모형은 통계적으로 유의하게 나타났으며(F=7.651, p<.001), 회귀식의 설명력은 15.8%로 나타났다. 통제변수를 살펴보면 차로수 β=-.167(p<.05), 종단경사 β=-.266(p<.001)에 대해 유의한 부(-)의 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서, 차로수와 종단경사의 경우 통행속도가 낮아지는 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 교통량 β=.203(p<.05)은 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것을 알 수 있고, 교통량은 통행속도가 높아지는 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 독립변수(차로변경 허용)에 대해서는 β=-.287(p<.05)로 유의한 부(-)의 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 차로변경을 허용하면 상대적으로 통행속도는 낮아지는 것을 알 수 있다. 따라서, '가설 1. 터널 내 차로변경 허용은 통행속도를 증가시킬 것이다.' 의 경우 가설이 기각되었음을 알 수 있다.

다른 선행 연구에서는 터널 내 차로변경을 허용할 경우 통행속도가 증가하는 결과를 보여줬지만 실증자료는 차로변경 허용할 경우 통행속도는 낮아지는 결과를 보여주었다. 이는 선행연구의 시뮬레이션과 다르게 실증자료는 터널 내 차로변경 허용시 구간 속도단속 장비를 설치함으로서 나타난 결과로 보여진다. 선행연구에서 보듯이 터널 내 차로변경이 통행속도 상승을 가져오게 되므로 터널 통행의 안전성을 확보하기 위하여 불가피하게 구간 속도단속 장비를 설치한 결과라고 할 수 있겠다.

2) 가설2의 검증

가설 2. 터널 내 차로변경 허용은 교통사고 발생률을 증가시킬 것이다.

[표4-6] 터널 내 차로변경 허용이 교통사고발생률에 미치는 영향

Model	Beta	t	Sig.	VIF
(Constant)		-1.942	.054	
연장	.008	.109	.913	1.015
차로수	.172	2.478*	.014	1.051
교통량	.137	1.538	.126	1.043
종단경사	-.024	-.348	.728	1.065
차로변경 허용	.024	.256	.798	
R제곱(수정)	.056(.034)			
F(p)	2.506* (.031)			

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

본 분석에서의 VIF값은 1.015~1.065로 다중공선성 문제는 발생하지 않는다는 것을 볼 수 있다. 터널 내 차로변경 허용이 교통사고발생률에 미치는 영향을 살펴보면, 회귀모형은 통계적으로 유의하게 나타났으며 (F=2.506, p<.05), 회귀식의 설명력은 5.6%로 나타났다.

통제변수를 살펴보면 차로수 β=.172(p<.05)에 대해 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서, 차로수가 증가하면 교통사고 발생

률이 높아지는 것을 알 수 있다. 차로변경을 허용해 줄 때 차로수가 많을수록 차로변경의 기회는 많아지게 되고 이로 인해 교통사고가 발생할 확률도 늘어나게 된다고 할 수 있겠다. 독립변수(차로변경 허용)에 대해서는 유의한 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 차로변경을 허용이 상대적으로 교통사고 발생률에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 따라서, '가설 2. 터널 내 차로변경 허용은 교통사고 발생률을 증가시킬 것이다.' 의 경우 가설이 기각되었음을 알 수 있다.

이로 인해 터널 내 차로변경을 허용할 경우 교통사고 발생 위험이 올라가지 않는다는 실증결과를 도출했다고 할 수 있다.

2. 연구모형 2

1) 가설3의 검증

가설 3. 터널 내 차로변경 금지 단속은 통행속도를 감소시킬 것이다.

[표4-7] 터널 내 차로변경 금지 단속이 통행속도에 미치는 영향

Model	Beta	t	Sig.	VIF
(Constant)		18.003	.000	
연장	-.702	-4.182***	.000	3.465
교통량	-.669	-5.669***	.000	1.714
종단경사	-.309	-2.051*	.043	2.786
차로변경 금지 단속	-.010	-.109	.914	1.103
R제곱(수정)	.317(.284)			
F(p)	9.733*** (.000)			

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$,

본 분석에서의 VIF값은 1.103~3.465로 다중공선성 문제는 발생하지 않는다는 것을 볼 수 있다. 터널 내 차로변경 금지 단속은 통행속도를 감소시킬 것인지를 살펴보면, 회귀모형은 통계적으로 유의하게 나타났으며 (F=9.733, p<.001), 회귀식의 설명력은 31.7%로 나타났다.

통제변수 연장 β=-.702(p<.001), 교통량 β=-.669(p<.001), 종단경사 β

=-.309(p<.05)의 경우 통행속도에 유의한 영향을 부(-)의 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 터널 연장이 길어지고, 교통량이 많아지고, 종단경사가 많아지면, 통행속도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과은 우리가 일반적으로 알고 있는 내용과 동일한 결과가 나왔다고 할 수 있겠다. 독립변수(차로변경 금지 단속)에 대해서 유의한 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 따라서, '가설 3. 터널 내 차로변경 금지 단속은 통행속도를 감소시킬 것이다.'의 경우 가설이 기각되었음을 알 수 있다.

터널 내 차로변경 금지단속은 터널의 통행속도 감소에는 유의한 영향을 미치지 않았다. 이는 터널 내 통행속도는 차로변경 허용, 금지보다는 터널 연장, 교통량, 종단경사 등 터널의 기하구조에 의한 영향을 많이 받는다고 볼 수 있다.

2) 가설4의 검증

가설 4. 터널 내 차로변경 금지 단속은 교통사고 발생률을 감소시킬 것이다.

본 분석에서의 VIF값은 1.048~4.178로 다중공선성 문제는 발생하지 않는다는 것을 볼 수 있다. 터널 내 차로변경 금지 단속이 교통사고발생률에 미치는 영향을 살펴보면, 회귀모형은 통계적으로 유의하게 나타났으며(F=2.506, p<.05), 회귀식의 설명력은 15.6%로 나타났다.

독립변수(차로변경 금지 단속)에 대해서는 β=-.162로 유의한 부(-)의 영향을 미치는 것을 알 수 있다.(p>.05). 즉, 터널 내 차로변경 금지 단속이 교통사고 발생률을 낮추는 것을 알 수 있다. 따라서 '가설 4. 터널

내 차로변경 금지 단속은 교통사고 발생률을 감소시킬 것이다.' 의 경우 가설이 채택되었음을 알 수 있다.

일반적으로 교통사고가 많이 발생하는 터널의 경우 터널 내 차로변경 단속을 시행하면 교통사고 발생률이 감소하는 결과를 가져왔다.

[표4-8] 터널 내 차로변경 금지 단속이 교통사고발생률에 미치는 영향

Model	Beta	t	Sig.	VIF
(Constant)		.978	.329	
연장	-.081	-.553	.581	4.178
교통량	.052	.565	.573	1.655
종단경사	.054	.405	.686	3.558
차로변경 금지 단속	-.162	-2.211*	.028	1.048
R제곱(수정)	.156(.034)			
F(p)	2.506* (.031)			

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

제 5 장 결 론

제 1 절 연구결과 요약

본 연구는 고속도로 터널 내 차로변경 허용/금지정책이 통행속도, 교통사고 발생률에 유의미한 영향을 미치는지를 알아보는 것이고, 현재 시행되고 있는 두 가지 정책에 대한 적정성과 시행효과에 대해 살펴보고 앞으로 터널 내 차로변경 정책 추진방향에 대한 시사점을 도출하는 것을 목적으로 하였다.

구체적인 연구문제는 다음과 같은데, 첫째는 '터널 내 차로변경 허용은 통행속도 및 교통사고 발생률을 증가시킬 것인가?'를 검증하기 위해 터널 내 차로변경 허용터널과 금지터널의 데이터를 수집하고 분석을 진행하였으며, 둘째는 '터널 내 차로변경 금지 단속은 통행속도 및 교통사고 발생률을 감소시킬 것인가? 라는 연구문제를 검증하기 위해 터널 내 차로변경 금지 단속터널의 정책 시행 전 · 후의 데이터를 수집하여 분석을 진행하였다.

연구의 목적을 달성하기 위해 터널 내 차로변경 관련하여 도로교통법과 교통노면표시 설치·관리 매뉴얼(경찰청)을 검토하였으며, 국내와 해외의 터널 내 차로변경 허용사례 및 지능형 CCTV를 활용한 터널 내 차로변경 금지 단속 시행사례도 함께 알아보았다. 또한 선행연구를 통하여

터널 내 차로변경 허용/금지에 대한 효과를 언급한 내용들은 있었으나, 실증 분석을 통한 연구 진행사례는 거의 없었기에 연구가설을 도출하여 실증 분석을 진행하였다.

터널 내 차로변경 허용 정책을 분석하기 위해 최근 3개년(2019~2021) 1km이상 터널의 통행속도, 교통사고 발생률을 종속변수로 설정하고, 차로변경 허용여부를 더미변수로 사용하였으며, 선행연구를 참고하여 통제변수로는 터널연장, 차로수, 교통량, 종단경사, 곡선반경을 사용하였다.

실증분석을 통해 얻은 결과를 요약하면, 첫째 터널 내 차로변경을 허용하면 통행속도는 증가하지 않으며, 교통사고 발생률에도 영향을 미치지 않는다. 선행연구에서 터널 내 차로변경을 허용에 대한 시뮬레이션 결과는 통행속도가 증가하는 결과가 나왔으나, 실증분석에서는 통행속도가 증가하지 않았다. 이는 터널 내 차로변경 허용을 하기 위해 경찰청 협의시 터널 내 차로변경 해당구간에 구간 속도단속 장비를 설치하게 함으로써 통행속도를 제어하고 있기 때문으로 풀이된다. 더불어 터널 내 차로변경에 대한 단속이 거의 없는 실정이기 때문에 운전자들이 터널 내 차로변경이 금지되었음에도 자유롭게 변경하기 때문으로 추측할 수 있다. 다음으로 터널 내 차로변경 허용이 교통사고 발생률에도 영향을 주지 못했는데 이는 선행연구에서 볼 수 있듯이 터널 내 차로변경 허용 교통사고와 큰 연관성이 없다는 것을 입증한 결과라고 할 수 있다.

둘째, 터널 내 차로변경 금지 단속은 통행속도에 영향을 미치지 않지만, 교통사고 발생률은 감소시키는 유의미한 결과를 나왔다. 터널 내 차

량의 통행속도는 여러 변수들이 영향을 끼치기 마련이다. 선행연구의 결과와 동일하게 터널연장, 교통량, 종단경사가 많아지면 터널 내 통행속도는 감소하는 결과를 보여줬으나, 터널 내 차로변경 금지 단속 시행여부는 통행속도에 영향을 미치지 못하는 결과를 나타내고 있다. 이를 통해 터널 내 통행속도는 차로변경 여부보다는 터널의 기하구조에 의한 영향을 받는다고 할 수 있겠다. 다음으로 터널 내 차로변경 금지단속을 시행할 경우 교통사고 발생률을 감소시키는 결과를 보여줬다. 이는 일반적인 터널과 다르게 교통사고가 많이 발생하는 터널에서는 차로변경 금지단속 시행하고 그것을 터널 진입 전 홍보를 하게 되면 터널 내 교통사고 발생률을 낮추는데 기여할 수 있다는 것을 알려준다.

제 2 절 정책적 시사점

본 연구는 고속도로 터널 내 차로변경 허용 정책과 금지 단속 정책이 혼재되어 운영되고 있는 것에 대해 이러한 정책의 영향이 교통흐름(통행속도, 교통사고 발생률)에 어떠한 영향을 미치고 있는지를 실증적으로 분석함으로써 정책의 적정성을 알 수 있다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

먼저, 현재 장대터널 구간 및 터널연속구간에 시행되고 있는 터널 내 차로변경 허용 정책은 적정한 것으로 보여진다. 터널 내 차로변경 허용은 통행속도를 증가시킨다는 선행연구(시뮬레이션 결과)를 실증하지는 못했지만 이는 터널 내 통행속도에 지배적인 영향을 줄 수 있는 구간 속도 단속장비의 설치로 인한 결과라고 할 수 있기 때문이다. 또한, 일반

적인 터널의 경우 터널 내 차로변경 허용을 하더라도 교통사고 발생률과는 큰 연관성이 없기 때문이다. 일반적으로 운전자들이 막연하게 생각하는 터널 내 차로변경이 위험하다는 것은 어쩌면 편견일 수 있고 우리나라도 타 외국처럼 터널 내 차로변경 허용을 적극적으로 추진해서 고속도로(터널) 이용자들에게 최상의 통행환경을 만들어 주는 것이 적절해 보인다.

다음으로 교통사고가 많이 발생하고 있는 터널의 경우 터널 내 차로변경 금지단속 정책도 선별적으로 추진될 필요가 있어 보인다. 연구 결과에서 볼 수 있듯이 터널 내 통행속도에 영향을 미치지 않지만, 국민의 생명과 재산에 영향을 미치는 교통사고 발생을 낮춰주는 결과를 가져왔기 때문이다. 다만 이 정책의 경우 단속과 제재를 통한 것이기 때문에 교통사고가 많이 발생하는 터널에 한정적으로 적용될 필요가 있어 보인다.

정책은 한 번 수립 · 시행되면 쉽게 바꿀 수 없을 뿐만 아니라 국민의 삶과 질에 큰 영향을 끼치기 때문에 신중한 검토 및 접근이 필요하다고 생각된다. 터널 내 차로변경 허용 / 금지정책도 수많은 정책의 일부분에 불과할 수 있지만 우리가 고속도로를 이용하면서 무의식 중에 접하는 정책이라고 할 수 있다. 본 연구에서 정책적 시사점은 고속도로 터널에 차로변경 허용 정책을 우선적으로 검토하여 적용하고, 운영 중 불가피하게 교통사고 발생하는 터널은 금지 단속 정책을 적용하는 방향으로 터널 내 차로변경 정책이 적용될 필요가 있어 보인다.

제 3 절 연구의 한계

본 연구는 고속도로 터널 내 차로변경 허용 및 금지 단속을 독립변수로 하여 교통흐름(통행속도, 교통사고 발생률)에 어떠한 영향을 주는지를 실증적으로 분석을 시행하였다. 결과는 일반적인 터널의 경우 터널 내 차로변경 허용이 우선적으로 필요하고 교통사고가 많이 발생하는 터널의 경우 터널 내 차로변경 금지 단속으로 교통사고 발생을 막는 방향으로 정책을 추진해야 한다는 결과와 시사점을 도출하였음에도 불구하고 다음과 같은 연구수행의 한계를 가지고 있다.

첫째, 터널 내 차로변경 허용 효과 분석의 경우 준실험 설계가 가능한 동일 터널에서 차로변경 허용 전 · 후의 데이터를 확보할 수가 없었다. 터널 내 차로변경 허용 정책은 고속도로 공용 중인 터널에 시행하는 것이 아니라 새롭게 개통하는 신설 고속도로에 한정하여 적용되고 있는 정책이기 때문이다. 터널 내 통행속도, 교통사고 발생률에 영향을 미치는 변수는 터널연장, 종단경사, 교통량 등 많은 것이 있을 수 있는 데 이러한 변수들에 영향을 배제할 수가 없었다. 공용중인 터널에도 차로변경 허용이 된다면 이러한 데이터를 확보하여 신뢰성 높은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

둘째, 분석대상의 터널 수의 차이가 발생했다. 정책의 시행이 2016년 말부터 시행되었기 때문에 일반적인 터널에 비해 상대적으로 독립변수의 터널의 개소수가 적고 축적된 데이터도 적었다. 또한, 터널내 차로변경

금지 단속은 최근 11년간의 데이터로 분석을 시행하였으나, 분석대상 8개 터널 중 4개 터널이 정책시행이 약 2년밖에 되지 않아 자료 분석에 한계가 있었다. 이는 향후 정책 대상 터널이 늘어나고 시간이 지나게 되면 많은 데이터를 확보하여 분석에 대한 신뢰성을 높일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 국토교통부(2020), “도로 교량 및 터널현황 조서”
2. 국토교통부(2013), “도로의 구조시설 기준에 관한 규칙 해설”
3. 경찰청(2020), “교통노면표시 설치·관리 매뉴얼”
4. 한국도로공사, “고속도로 터널 및 교량 차선운용 개선연구”
5. 백승걸, 한음, 윤일수, 김상구(2017), 고속도로 터널 및 교량에서의 차로변경 허용 필요성과 시범운영 효과, 교통기술과 정책 제14권 제3호 pp.63-71
6. 김상구, 홍길성(2012), “고속도로 터널 내 차로변경에 따른 교통류 특성 분석 연구”, 교통연구 19(2) pp.45-60
7. 조현우(1997), “연속되는 터널의 도로교통용량 감소특성에 의한 터널 보정계수 산정에 관한 연구”, 대한교통학회지 제16권 제3호, pp.7-14.
8. 장현봉, 장덕형(1998), “터널부 교통류 특성 및 용량산정에 관한 연구”, 대한교통학회 제16권 제3호 pp.15-24
9. 이범규(1998), “터널구간이 교통류 특성에 미치는 영향 분석”, 목원대학교 석사학위논문
10. 김호영(2000), “고속도로 터널구간에서의 운전자 시각행태 분석에 관한 연구”, 명지대학교 석사학위논문
11. 장현봉, 이범규(2000), “4차로 고속도로 터널구간의 교통류 특성에 관한 연구”, 건축도시환경연구지 제8권 pp.93-104
12. 이재호(2000), “국도상 터널구간의 교통류 특성 및 용량 산정에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위논문

13. 조승현(2001), “간선도로 터널구간에서의 관측교통량 감소에 관한 연구”, 명지대학교 석사학위논문
14. 정충근, 서승환, 원제무(2002), “연속터널구간에서 터널간격에 따른 속도변화 특성에 관한 연구”, 대한교통학회지 제20권 제2호 pp.47-58
15. 이화선(2002), “고속도로 터널부 속도 변화에 관한 연구”, 관동대학교 석사학위논문
16. 이윤미(2006), “고속도로에서 터널부 속도차이에 영향을 미치는 요인에 관한 연구”, 명지대학교 석사학위논문
17. 유호인(2007), “교량 및 터널구간 차로운영 설계기준”, 아주대학교 석사학위논문
18. 조병찬(2010), “터널내 속도변화에 영향을 미치는 요인에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위논문
19. 박재영(2011), “터널 내 차로변경 허용 및 변속차로 설치방안에 관한 연구”, 서울시립대학교 석사학위논문
20. Adolf D. May(1991), “Examination of the Speed-Flow Relationship at the Caldecott Tunnel“.
21. Masaki Koshi, Masao Kuwahara and irokazu Akahane(1992), “Capacity of Sags and Tunnels on Japanese Motorways”, ITE Journal pp.17-22
22. T. Weng, P. Olszewski(1994), “Highway Capacity Reserch and Applications in Singapore”, Proceeding of Second International Symposium on Highway Capacity, pp.147-156
23. H. S. Levinson, M. Goldenberg and J. Howard(1995), “Callahan Tunnel Capacity Management”, TRR Vol 1005 pp.1-10

Abstract

A Study on the Effect of Road Changes on Traffic Flow in Highway Tunnel

Ahn Ho Chan

Master of Public Enterprise Policy

The Graduate School

Seoul National University

The purpose of this study is to analyze the effect of lane change in highway tunnels on traffic flow and to discuss the future direction of lane change policy that is currently being mixed and operated.

In Korea, 70% of the country's land is made up of mountainous areas, so tunnels must be installed when roads are built, and accordingly, the number of tunnels is increasing and increasing.

Although solid lines have been operated to prevent lane changes in the tunnel, they have been allowed to change lanes in the tunnel in terms of improving mileage in the pole tunnel and continuous sections of the tunnel since 2016. However, in tunnels where many accidents occur, a lane change detection system is installed in the tunnel to strongly crack down on lane changes. This policy can cause

confusion for drivers. Therefore, an empirical effect analysis was conducted on how the two policies affect the traffic speed and the incidence of traffic accidents.

First, it was found that allowing a lane change in a general tunnel does not increase the traffic speed and does not affect the rate of traffic accidents. This is due to the influence of the section speed control camera applied to the section and the recognition of drivers, although allowing lane changes should lead to an increase in traffic speed. In addition, the permission to change lanes in the tunnel did not affect the rate of traffic accidents, and it can be said to be a result of proving that there is no significant connection to traffic accidents. Based on these results and foreign cases, in the case of general tunnels, it is necessary to improve the highway driving environment by actively promoting the policy to allow lane change in tunnels.

Next, it was found that the crackdown on prohibiting lane changes in tunnels where traffic accidents occur a lot does not affect the speed of traffic and reduces the rate of traffic accidents. he speed of traffic in the tunnel was found to be affected by tunnel extension, traffic volume, and longitudinal slope rather than prohibiting lane change, and it can be said that the crackdown on lane change in the tunnel is effective to reduce the rate of traffic accidents. According to these results, it is necessary to continuously implement a policy to prohibit lane change in tunnels only for tunnels where many traffic accidents occur.

Therefore, summarizing the results of this study, it seems appropriate to first review and apply the policy to allow lane change in highway tunnels, and to implement a policy to restrict lane change to tunnels where traffic accidents occur frequently during operation.

Finally, once the policy is established and implemented, it cannot be easily changed, and it has a great influence on the lives and quality of the people, so it is considered necessary to take a careful approach and review.

keywords : Highway, Tunnel, Road Changes, Traffic Accident, Traffic Speed
Student Number : 2020-29073