

로짓모형을 이용한 고속도로 장대터널 교통사고 특성분석에 관한 연구

A Study on the Traffic Accident Characteristics Analysis in Expressway Longitudinal Tunnel using a Logit Model

서임기* · 박제진** · 안병호*** · 이준영****

Im-ki, Seo · Je-Jin, Park · Byung-Ho, Ahn, Nam · Jun-Young, Lee

Abstract

Longitudinal tunnels are defined as tunnels with length of over 1km. Because of Korea's topographical conditions and as safety measures for linear design, many tunnels are inevitably being constructed in Korea. The number of longitudinal tunnels constructed on expressways amounted to 104 as of the end of 2010 with a total length of 192km. Given the increasing demand for tunnels and the increasing length of tunnels, a safety evaluation of longitudinal tunnels needs to be conducted. As such, this study selected design elements, transportation environment and delineation system as elements to check and tried to determine factors influencing road crashes. For this, tunnels have been classified based on history of crashes; ones with crashes and ones without crashes and statistically meaningful explanatory variables were selected. By using these variables, a logit model was development in order to better grasp the factors that directly and strongly influence crashes. The result, related to crashes as well as the analysis were utility tunnel interior materials of driving lane and passing lane, which are related to driver's visibility, lateral width widening to consolidate space in a tunnel, and annual average daily traffic (AADT) per lane. These results may be used in the future as analysis indicators when drawing up plans to prevent crashes in longitudinal tunnels.

Keywords : longitudinal tunnel, utility tunnel interior material, delineation system, design factor of longitudinal tunnel

요 지

장대터널은 터널연장이 1km 이상인 터널로 정의한다. 우리나라의 지형적 조건과 안전한 선형설계를 위한 방편으로 터널구간이 불가피하게 많이 건설되고 있는 실정이다. 고속도로에 건설된 장대터널은 2010년 말 104개소, 총 연장 192km로 터널의 수요증가와 더불어 터널구간 또한 장대화 되고 있어 장대터널에 대한 안전성 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 장대터널을 구성하고 있는 설계요소, 교통환경, 시선유도시설 등의 요인을 선정하여 교통사고 영향요인을 도출하고자 한다. 이를 위해 교통사고가 발생한 터널과 발생하지 않은 터널로 구분하여 통계적으로 유의한 설명변수를 선정하였다. 통계적으로 유의한 설명변수를 이용하여 교통사고에 더 직접적으로 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해 로짓모형을 구축하였다. 분석결과, 운전자의 시인성 관련 요인인 주행차로 및 추월차로의 공동구 내장재 시설과 터널의 공간 확보를 위한 측방여유폭, 차로당 연평균일교통량 요인이 교통사고와 관련이 있는 것으로 분석되었다. 이러한 연구결과는 향후 장대터널 내 교통사고 예방대책을 수립하는 분석지표로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 장대터널, 공동구 내장재, 시선유도시설, 장대터널 구성요소

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 1970년대 경부고속도로의 개통 이후 급속한 경제발전을 이루면서 도로망의 급격한 증가를 보여 왔다. 경제발전과 함께 도로망은 지속적으로 증가하고 있지만, 우리나라 국토의 약 70%가 산지 및 구릉지로 이루어져 있어

고속도로의 안전한 선형설계를 위해 터널구간이 불가피하게 많이 건설되고 있는 실정이다. 고속도로에 건설된 터널은 2005년 354개소에서 2010년 말 557개소로 증가하였으며, 총 연장 또한 436km에 달하고 있다. 터널의 수요 증가와 더불어 터널의 연장 또한 장대화 추세를 보이고 있다.

터널은 일반구간과 달리 터널 진입 전·후 조도차이로 인한 암반응과 명반응, 진입 전 장애물 인식, 터널 내에서의

*정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 박사후연구원 (E-mail : seoimki79@ex.co.kr)

**정회원 · 교신저자 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (E-mail : jjpark@ex.co.kr)

*** (주)상아엔지니어링 이사 (E-mail : dongkangg@naver.com)

****정회원 · 허누리건설(주) 부사장 (E-mail : jylee1205@hanmail.net)

운전자 심리적 변화 등 다양한 주행행태가 발생되고 있다. 특히, 터널구간 내의 주행환경은 폐쇄적이고 어두워 운전자의 시인성 저하로 인하여 심리적 불안감을 증대시켜 집중력을 떨어뜨림으로써 사고의 위험성을 내포하고 있는 도로구간이다.

Amundsen(1992)은 긴 터널에서 운전한다는 것은 운전자의 시인성 불량과 심리적 불안정으로 인해 일반구간 보다 위험성이 높다고 제기하였다. 이러한 문제로 인해 터널 내의 교통사고는 지속적으로 발생되고 있으므로 교통사고의 영향요인 도출 및 개선이 시급하다.

이에 본 연구의 공간적 범위를 한국도로공사에서 관리하고 있는 장대터널(1,000m 이상) 104개소 중 주행(우측)·추월(좌측)차로 공동구 설치높이가 20cm 이하로 내장재 설치가 불가능한 터널 8개소를 제외한 96개소를 대상으로 하였다. 그리고 교통사고 자료는 2008~2010년 최근 3년간 장대터널 내벽과 충돌한 사고자료를 활용하여 통계분석을 실시하였다. 교통사고에 영향을 미치는 주요 요인으로 터널을 구성하고 있는 설계요소, 안전시설, 교통환경 등을 설명변수로 선정하였다. 이러한 요인들이 교통사고 발생에 어느 정도의 영향을 미치는지와 어떤 요인이 더 직접적인지 등 교통사고 발생에 영향을 미치는 관계를 규명하기 위해 로짓모형(Logit model)을 구축하였다. 구축된 로짓모형을 통해 장대터널 내에서 운전자가 안전하고 쾌적한 주행을 할 수 있도록 효율적인 교통안전관리계획 수립을 위한 기틀을 마련하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

터널을 주행하는 운전자는 터널 입구가 블랙홀처럼 보여 진입 시 긴장감이 고조되고, 터널진입 후에는 폐쇄적인 터널 내부 환경과 조도 적응으로 인한 심리적 불안정 현상이 발생된다. 이처럼 터널에서의 주행환경은 일반 도로구간에 비해서 운전자의 심리적 기대가 달리 나타나고 있어 보다 안전하고 쾌적한 주행환경을 조성하는 것이 무엇보다 중요하다. 이에 본 연구에서는 고속도로 장대터널 내에서 내벽과 충돌한 교통사고를 중심으로 교통사고에 영향을 미치는 주요 요인을 제시하고자 한다. 이를 위해 한국도로공사에서 관리하는 고속도로 상의 장대터널 96개소를 대상으로 하였으며, 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

첫째, 국내의 고속도로 터널부 관련 선행 연구들을 토대로 선행 연구의 한계점을 도출하고, 기존 연구와의 차별성을 제시한다.

둘째, 연구대상 터널 96개소에서 발생한 교통사고(2008~2010년) 자료를 이용하여 교통사고가 발생한 터널과 발생하지 않은 터널을 각각 더미화(0 or 1)하였다. 교통사고와 관련된 요인을 규명하기 위해 터널을 구성하고 있는 설계요소, 안전시설, 교통환경 등을 선정하여 교통사고 특성을 분석하였다.

셋째, 다양한 설명변수 요인 중에서 교통사고와 관련된 요인이 무엇인지를 파악하기 위하여 평균치 검정(t-test)을 실시하고 유의한 설명변수를 채택하였다.

넷째, 평균치 검정을 통해 채택된 설명변수를 이용하여 어떤 요인이 더 직접적으로 영향을 미치는지를 파악하기 위해 로짓모형(Logit model)을 구축하였다. 이를 통해 교통사고와

관련된 주요 요인을 제시함으로써 향후 장대터널 내에서 교통사고 예방대책을 수립하는데 있어 판단지표로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

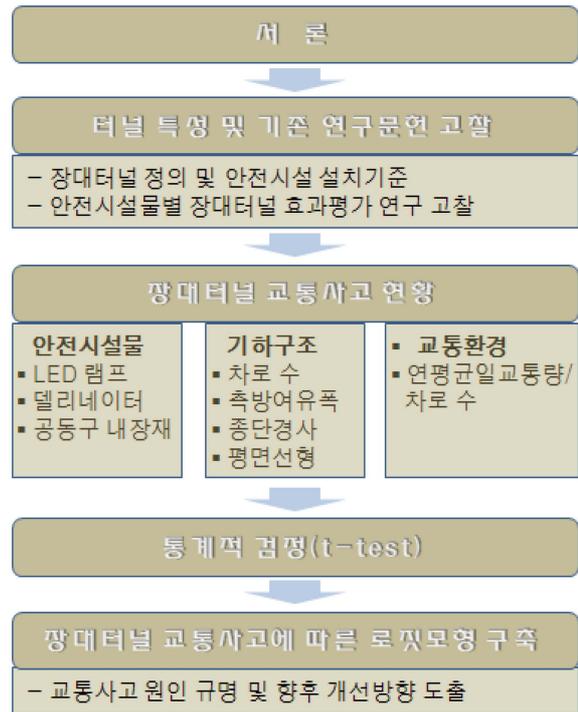


그림 1. 연구수행 흐름도

2. 터널 특성 및 기존 연구문헌 고찰

2.1 터널의 구성요소 및 설치기준

장대터널은 연장 1km 이상의 터널을 말하는 것으로 최근 들어 도로의 직선화, 고속화로 인하여 터널에서의 안전성이 매우 중요하게 인식되고 있다. 즉, 고속도로의 터널은 단순히 자동차의 이동통로 역할을 수행하는 공간만이 아니라 쾌적한 주행, 교통안전, 방재 등 보다 고도의 서비스를 요구한다. 특히, 터널구간에서 교통사고, 화재, 차량 결함 등 예측할 수 없는 돌발상황이 발생할 경우 폐쇄된 공간을 작업차량이 접근하여 처리하는데 많은 어려움이 있는 실정이다. 이러한 문제점들을 해소하기 위해 장대터널의 경우 터널마다 별도의 관리시스템 운영으로 실시간 모니터링을 통해 터널의 안전성을 확보하고 있다. 터널을 구성하는 횡단면 구성요

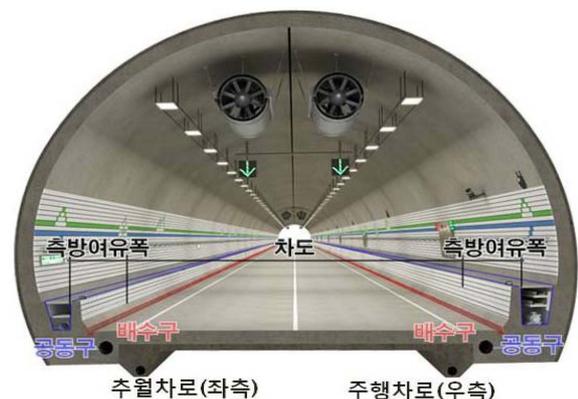


그림 2. 터널단면의 구성요소

소는 그림 2과 같이 공동구, 배수구, 측방여유폭, 차도로 구분할 수 있으며, 도로의 규격에 따른 건축한계를 만족시켜야 한다. 터널 내부에서 운전자에서 쾌적한 주행환경을 제공하기 위한 구성요소는 환기, 방재, 조명, 내장재, 배수, 표지판 등이며, 감시원의 터널보수 점검을 위한 설치공간도 확보해야 한다.

터널의 안전, 방재, 기타 부대시설의 효율적인 운영관리를 위해 터널등급에 따라 설치기준을 적용하고 있다. 그리고 터널등급의 구분은 방재등급을 제외한 별도의 등급 기준이 없으며, 방재등급은 연장기준등급과 교통량 등 터널의 제반 위험인자를 고려한 위험도지수 기준등급으로 구분된다. 안전시설, 기타 부대시설 등 제반시설은 대부분 터널의 연장에 따른 설치기준을 적용하고 있으므로 방재등급 중 연장기준으로 이를 적용할 수 있다. 터널연장을 기준으로 하는 방재등급은 표 1과 같이 총 4등급으로 구분할 수 있으며, 장대터널은 1km 이상으로 건설된 터널로 방재기준은 2등급 이상 등급에 포함된다.

표 1. 터널연장기준 방재등급 구분

등급	터널 연장 (L)
1 등급	$L \geq 3,000$
2 등급	$1,000m \leq L < 3,000m$
3 등급	$500m \leq L < 1,000m$
4 등급	$L < 500m$

주) 터널위험도가 2를 초과하는 터널의 경우 터널방재등급 1단계 상향

터널의 주행환경은 시인성 불량, 주행공간 협소 등 일반구간에 비해 운전자의 심리적 불안감으로 불안정한 주행태도가 발생되고 있는 구간이다. 따라서 운전자의 안전을 확보하고 사전에 교통사고를 예방하기 위한 안전시설기준은 표 2와 같다.

표 2. 터널 안전시설 설치기준

안전시설	설치기준
터널진입 차단시설	• 2등급 이상 터널 전방 100m 지점 설치 • 3등급 이하 터널은 단계적 설치
시선유도등 (LED)	• 3등급 이상 터널 내 30m 간격 설치 • 색상은 주행로 백색, 주월로 황색
텔리네이터	• 4등급 이하 터널 내 최대 50m 간격 적용
노면요철포장	• 주행축 길어깨폭 2.5m 이상 터널 적용
터널입구부 안전시설	• 전 터널 입구 PC방호벽(H=1.27m) 설치 • 전 터널 입구 전방 주행축 길어깨 200~300m 노면요철포장 설치
포장 그루빙	• 전 터널 입·출구부 종방향 그루빙 설치
구조물 도색	• 터널입구 갱문부 적용
시선유도표지	• 터널내부 연속 설치(최대 50m)
표지병	• 양방향 터널 중앙선 설치 • 일방향 터널의 경우 터널선형 등에 의해 노면 표시 보완 필요시 설치
차단막 설치	• 터널입구 전방에 긴급상황시 차량정지 유도용 설치 가능

2.2 기존 연구문헌 고찰

터널 관련 선행 연구는 용량, 주행속도, 조명, 운전자 주행

행태, 안전시설에 관한 연구들이 대부분이며, 이와 관련된 국내·외 연구내용은 다음과 같다.

터널부에서의 도로교통용량과 관련된 연구로 유경수(1995), Levinson Golenberg(1995), 이재호(1997)는 터널구간은 기본 구간과 달리 운전자 심리, 기하구조 불량, 터널 자체의 요인이 상호 복합적으로 발생하여 속도저하로 인한 지정체가 유발되고, 이로 인해 교통용량이 감소함을 제시하였다.

주행속도 변화 특성에 관한 연구로 정춘근(2004), 이기영(2006), 이윤미(2006)는 주행속도에 영향을 미치는 주요 요인을 파악하는 연구를 수행하였다. 연구결과, 곡선반경, 노면폭, 종단경사, 차로 수와 같은 기하구조 요인이 속도 감소에 영향을 미친다고 제시하였다.

운전자 주행특성에 관한 연구로 박형진(2006, 2007), 왕이완(2010)은 장대터널 내부 경관변화에 따른 운전자의 감성적 측면을 고려한 안전성 연구를 수행하였다. 연구결과, LED 시선유도시설 설치시, 조도가 높을수록, 측방여유폭이 넓을수록 터널 내에서 안전성이 증가함을 제시하였다. 그리고 김주현(2000)은 터널 내부에서의 운전자 시각행태를 현장 실험한 결과 터널 외부보다 좌·우, 상·하 폭 모두 시야 폭이 좁게 형성됨을 제시하였다.

터널 횡단면 구성요소에 관한 연구로 Blaauw, G J.(1974, 1982), 권오섭(2004)은 측방여유폭 변화에 따른 운전자 주행행태 연구결과, 측방여유폭이 운전자의 심리적 현상에 영향을 미치고 있으며, 측방여유폭원을 2.0m 이상 확충하는 것이 가장 적절하다고 제시하였다.

이상의 연구들을 살펴본 결과, 몇 개의 터널구간을 표본으로 하여 이용차량의 주행속도, 용량을 현장조사 하거나 시뮬레이터를 통해 안전시설물 설치여부에 따른 효과를 평가하고 있다. 이로 인해 터널구간의 주행행태 및 교통흐름은 파악하고 있지만, 교통사고와의 관련성은 아직 규명되지 않고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 고속도로에 설치된 96개소의 장대터널을 대상으로 교통사고와의 관련성을 파악하는 연구를 수행하고자 한다. 이를 위해 터널을 구성하고 있는 설계요소, 시선유도시설, 교통환경 등의 요인을 이용하여 교통사고에 미치는 영향 정도를 파악할 수 있다는 관점에서 기존 연구와의 차별성을 지니고 있다고 볼 수 있다.

3. 장대터널 교통사고 현황

3.1 장대터널 안전시설물 설치현황

터널구간에서 운전자의 주행성 확보를 위한 시인성 관련 시설로는 자체발광과 재귀반사 시설로 구분할 수 있다. 즉 조명, LED 램프는 자체발광 시설이며, 공동구 및 라이닝 내장재, 텔리네이터는 자동차의 라이트를 통해 재귀반사로 터널의 조도 향상 및 도로의 선형을 운전자가 인지할 수 있도록 제시하는 시설이다. 터널 벽체의 시인성 확보를 위한 공동구 내장재 설치현황은 표 3에 나타내었다. 공동구 내장재 형식은 내오염 도장과 내벽 타일이 있으며, 공동구 높이가 20cm 미만으로 내장재 설치가 불가능한 터널을 기타로 제시하였다. 기타의 경우 측방여유폭이 50cm 미만으로 공동구 내장재가 설치된 것으로 가정하여 효과분석을 실시하였다.

따라서 공동구가 설치된 터널은 78개소로 운전자의 시인성을 확보하는데 도움이 되고 있다. 그리고 공동구 내장재가 주행차로 및 추월차로에 설치되지 않은 터널은 14개소이며, 추월차로 미설치 4개소로 총 18개소가 미설치된 것으로 조사되었다.

표 3. 장대터널 공동구 내장재 설치현황

내장재설치(개소)				내장재미설치(개소)			
소계	타일	내오염도장	기타	소계	주행선	추월선	주·추월선
78	56	10	12	18	-	4	14



내벽 타일



내오염도장

터널 내에서 운전자의 주행동선에 대한 시인성 향상을 위한 시선유도시설로는 텔리네이터와 시선유도등(LED 램프)이 있다. 2010년 기준 장대터널에 설치된 현황을 보면, 표 4와 같이 주행차로와 추월차로가 동일한 형식에 시선유도시설을 설치하고 있으며, 텔리네이터 61개소, 시선유도등 35개소가 설치운영 중에 있는 것으로 나타났다.

표 4. 시선유도시설 설치현황

구분	주행차로 (설치/미설치)	추월차로 (설치/미설치)
텔리네이터 (개소)	61/35	61/35
시선유도등 (개소)	35/61	35/61



텔리네이터



시선유도시설(LED 램프)

기존 연구에서 터널부의 종단선형 및 평면선형으로 인한 속도 감소의 주요 요인으로 제시하고 있어 본 연구에서도 장대터널의 종단경사 및 평면선형에 대한 현황을 파악하였다. 그 결과, 표 5와 같이 터널 내부에서의 장대터널 종단경사는 모두 $\pm 3\%$ 범위에 포함되도록 설치되어 있으며, $\pm 2\%$ 범위가 84.4%로 주행속도 및 용량적인 측면을 고려하여 가능한 평탄하게 설치하고 있는 것으로 나타났다.

또한, 평면선형은 1,000m 이상일 경우 직선과 비슷하다고 평가하고 있으며, 국내 고속도로에 건설된 장대터널(96개소)은 모두 1,000m 이상으로 조사되었다. 따라서 장대터널에서의 종단경사는 $\pm 2\%$ 이하, 평면선형은 1,000m 이상으로 굴곡이 없는 직선 선형의 기하구조 조건을 지니고 있는 것으로 나타났다.

표 5. 도로 기하구조 설치현황

종단경사			평면선형		
경사도 (%)	빈도 (개소)	비율 (%)	곡선반경 (m)	빈도 (개소)	비율 (%)
2~3	10	10.4	1,000 이하	0	0.0
1~2	21	21.8	1,000~2,000	10	10.4
0~1	30	31.3	2,000~3,000	13	13.5
-1~0	18	18.8	3,000~4,000	15	15.6
-2~-1	12	12.5	4,000~5,000	4	4.2
-2~-3	5	5.2	5,000 이상	54	56.3

3.2 교통사고 현황분석

고속도로 장대터널에서 발생한 최근 2008~2010년 3년간 교통사고는 총 27건이고, 인명피해는 부상 11명, 사망 2명이 발생하였다. 그리고, 교통사고가 1건 이상 발생한 장대터널은 17개소로 교통사고 발생 터널과 교통사고가 발생하지 않은 터널로 나누어 명목척도(0 또는 1)로 분류하여 장대터널의 교통사고 특성을 분석하였다(표 6 참조).

표 6. 장대터널 교통사고 현황

총 장대터널	총사고	부상자	사망자	사고 터널
96개소	27건	11명	2명	17개소

주) 한국도로공사 Hiportal 자료, 2011.

한국도로공사 사고속보자료, 2008~2010.

장대터널 공동구 내장재 설치여부에 따른 사고율을 분석한 결과는 표 7에 제시하였다. 내장재 미설치 터널의 사고율(38.9%)이 내장재 설치(12.8%)시 보다 약 3.0배 가량 높은 것으로 분석되었다. 공동구 내장재는 터널 내부의 조명 및 자동차 라이트에 의한 재귀반사를 통해 터널 벽체의 시인성이 확보됨으로써 교통사고율이 낮게 발생하는 것으로 판단된다.

표 7. 내장재 유무 및 종류에 따른 교통사고 현황

구분	내장재 미설치	내장재 설치
사고 터널개소/터널개소	7/18	10/78
사고율(%)	38.9	12.8

장대터널의 시선유도시설 설치는 텔리네이터와 시선유도등(LED 램프)으로 구분할 수 있으며, 텔리네이터 61개소, 시선유도등 35개소 터널에 설치되어 공존 설치가 아닌 단독으로 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 그리고 표 8과 같이 시선유도시설 설치 터널의 사고율은 텔리네이터 설치 터널 18.0%, 시선유도등 설치 터널 17.1%로 비슷한 경향을 보이는 것으로 분석되었다.

표 8. 시선유도시설에 따른 교통사고 현황

구분	텔리네이터		시선유도등(LED)	
	미설치	설치	미설치	설치
사고 터널개소/ 터널개소	6/35 (17.1%)	11/61 (18.0%)	11/61 (18.0%)	6/35 (17.1%)

3.3 변수의 정의

장대터널에서 발생한 교통사고는 주로 어떤 요인과 영향이 있는지를 파악하기 위해 관련성이 있을 것으로 판단되는 변수를 선정하여 표 9에 나타내었다.

종속변수는 장대터널에서 교통사고가 발생한 터널과 발생하지 않은 터널로 구분하였으며, 설명변수는 크게 터널 설계요소, 시선유도시설, 교통환경 요인으로 구성하였다. 터널 설계요소는 차로 수, 측방여유폭, 종단경사, 평면선형으로 구분된다. 터널구간에서의 종단경사와 측방여유폭은 기존 연구에서도 주행속도 및 운전자 심리적 현상에 밀접한 관계가 존재하고 있음을 제시하고 있어 교통사고와의 연관성을 파악하고자 한다.

장대터널 내에서 운전자의 시선을 유도하는 시설은 텔리네이터, 시선유도등(LED 램프), 공동구 내장재 설치로 구분하였다. 텔리네이터와 LED 램프는 터널 주행동선을 운전자가 용이하게 인지할 수 있도록 도와주는 안전시설이다. 그리고 공동구는 터널 좌·우측에 75cm 높이로 설치하여 전선 및 전화케이블 등을 함께 수용하기 위한 시설물이며, 터널 관리시 관리자가 안전하게 이동할 수 있도록 하는 이동통로의 기능도 갖추고 있다. 공동구가 없는 경우 라이닝의 내벽 타일 및 내오염 도장을 통해 운전자로 하여금 터널 벽체의 시인성을 확보하고 있다. 하지만, 공동구가 설치되어 있는 경우 공동구 내벽에 타일 및 내오염 도장 설치와 관련된 기준이 없어 설치와 미설치된 터널로 이분화하여 운영되고 있는 실정이다. 따라서 공동구 내장재 설치 여부에 따른 터널 내벽과 충돌하는 교통사고 저감에 도움이 되고 있는지를 파악

표 9. 변수의 정의

변수명		정의
종속 변수	교통사고	장대터널 교통사고 발생 여부
설명 변수	설계요소	① 차로 수 ② 측방여유폭 ③ 종단경사 ④ 평면선형
	시선유도시설	주행차로 및 추월차로 설치여부 ① 텔리네이터 ② LED 램프 ③ 공동구 내장재 설치 여부
	교통환경	2010년 연평균일교통량/차로 수

하기 위해 설명변수로 선정하였다.

또한, 터널의 교통흐름 및 환경에 관련이 있을 것으로 판단되는 교통량 자료를 이용하였다. 교통량 자료는 2010년 연평균일교통량(AADT)을 이용하였으며, 터널의 규모에 따라 교통량이 달리 나타나므로, 차로 수당 일평균교통량으로 전환하여 분석하였다. 따라서 본 연구에 이용된 변수는 총 17개이며, 이들 변수를 더미형식으로 변환하여 평균치 검정(t-test)을 실시하였다.

3.4 장대터널 교통사고 통계적 검정(t-test)

종속변수는 장대터널에서 교통사고가 발생하지 않은 터널 0, 교통사고가 발생한 터널을 1로 처리하여 명목척도로 분류하였다. 그리고 터널을 구성하고 있는 도로요인과 시선유도 시설 등을 설명변수로 하여 통계적 검정(평균치 검정: t-test)을 실시하였다. 검정통계량 추론에 앞서 귀무가설(H_0)과 대립가설(H_1) 설정하면 다음과 같다.

표 10. 장대터널 교통사고에 따른 평균치 검정(T-test)

구분		평균	표준편차	t-value	p-value	
종단경사	1 : 상향경사	0.25	0.434	-2.376*	0.020	
	0 : 하향경사	0.06	0.236			
평면선형	1 : 2km 이상	0.20	0.404	-1.727	0.088	
	0 : 2km 이하	0.00	0.000			
차로당 AADT	1 : 10,000대 이하	0.15	0.363	2.294*	0.024	
	2 : 10,000대 이상	0.35	0.484			
측방여유폭	1 : 2m 이상	0.11	0.323	2.052*	0.043	
	0 : 2m 이하	0.30	0.460			
차로 수	1 : 3차로 이상	0.50	0.516	-2.172*	0.032	
	0 : 2차로 이하	0.24	0.429			
주행차로	공동구 내장재	1 : 설 치	0.13	0.343	2.743**	0.007
		0 : 미설치	0.43	0.514		
	텔리네이터	1 : 설 치	0.25	0.434	-0.510	0.611
		0 : 미설치	0.20	0.406		
	LED램프	1 : 설 치	0.20	0.406	0.510	0.611
		0 : 미설치	0.25	0.434		
추월차로	공동구 내장재	1 : 설 치	0.13	0.336	2.681**	0.009
		0 : 미설치	0.39	0.502		
	텔리네이터	1 : 설 치	0.25	0.434	-0.510	0.611
		0 : 미설치	0.20	0.406		
	LED램프	1 : 설 치	0.20	0.406	0.510	0.611
		0 : 미설치	0.25	0.434		

*: 유의수준 95%에서 유의, **: 유의수준 99%에서 유의

H_0 = 두 집단의 교통사고 차이는 없다. ($\mu_1 = \mu_2$)
 H_1 = 두 집단의 교통사고 차이는 있다. ($\mu_1 < \mu_2$)

여기서, μ_1 : 교통사고가 발생하지 않은 장대터널
 μ_2 : 교통사고가 발생한 장대터널

t 분포표에서 신뢰도 95% ($\alpha = 0.05$), 자유도 $(n-1)$ 95%일 때 $t_{(critical)}$ 는 1.987으로 $t_{(critical)} < t_{(interior material)}$ 일 경우 H_0 를 기각하고 H_1 을 채택하게 된다. 교통사고에 따른 유의성 검정을 실시한 결과, 표 10과 같이 종단경사, 측방여유폭, 차로 수, 연평균일교통량(AADT), 주행차로 및 추월차로 공동구 내장재 변수가 유의수준 95%일 때 Critical t-value(1.987)보다 높게 분석되어 의미있는 변수로 선정되었다. 따라서 고속도로 장대터널에서 발생하는 사고위험 요인을 분석하기 위한 최종적인 설명변수로 채택하였다.

4. 모형의 구축 및 해석

4.1 로짓모형

선택(종속변수) 주체는 몇 가지 한정된 대안 중에서 한 가지 대안을 선택하게 된다. 이 때 대안선택의 결과를 나타내는 지표를 “질적 종속변수” 또는 “이산적 선택변수”라고 한다. 선택대안이 두 가지만 있는 이분적 선택의 경우 질적 종속변수는 오직 두 가지 값만 갖게 된다. 일반적으로 어떤 대안이 선택되면 1이라는 값을 부여하고, 선택되지 않으면 0이라는 값을 부여한다. 따라서 본 모형의 선택대안은 장대터널에서의 교통사고 발생과 발생하지 않은 터널 2가지 선택 대안으로 이산적 설명변수를 가지고 있다.

로짓모형은 개인 혹은 의사결정단위들이 주어진 선택대안들 중에서 어느 하나를 선택할 때 그의 효용을 극대화하도록 한다. 즉, 효용극대화 원리에 의하여 선택행위를 한다는 데 근거하고 있다. 만약 개인 q 가 선택할 수 있는 대안들이 i, j 가 주어져 있고 개인 q 가 그 중에서 대안 i 를 선택했다면 $U_i > U_j$ 이기 때문에 i 를 선택한다고 볼 수 있다. 단, 여기서 U_i 는 q 가 i 를 선택함으로써 얻는 효용을 나타낸다. 여기서 효용함수는 다음과 같이 두 부분으로 나누어진다고 가정할 수 있으며 식 (1)와 같다.

$$U_i = V_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

여기서, U_i : 선택대안 i 를 선택할 때의 효용

V_i : 대표적 효용(Representative utility)

ε_i : 확률적 효용(Random component of utility)

즉, 선택대안이 i, j 중 대안 i 를 선택한 개인 q 의 효용은 식 (2)과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$P(i) = P(U_{iq} > U_{jq})_{(j \neq i)}$$

$$P(i) = P(V_{iq} + \varepsilon_{iq} > V_{jq} + \varepsilon_{jq})_{(j \neq i)}$$

$$P(i) = P(V_{iq} - V_{jq} > \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq})_{(j \neq i)} \quad (2)$$

여기서, q 가 대안 i 를 선택할 확률을 보면, $P_{iq} = P[\varepsilon_{jq} < V_{iq} - V_{jq} + \varepsilon_{iq} (j \neq i)]$ 이고, ε_{iq} 가 와이불(Weibull) 확률분포를 이룬다고 가정하여 정리하면 로짓모형 식 (3)이 성립된다.

$$P_i = \frac{\exp U_i}{\sum_{j=1}^J \exp U_j} \quad (3)$$

여기서, J 는 선택가능한 대안의 수 $i=1, 2 \dots J$

즉, 로짓모형은 개인이 질적 선택행위에서 어느 한 사상을 선택할 확률과 개인이 가지고 있는 특성변수의 관계가 로지스틱 누적분포함수로 주어진다고 가정하는 모형이다.

본 연구에서의 전국 고속도로 상에 설치되어 있는 장대터널을 연구대상으로 한정하였으며, 모형의 선택대안은 이산적 변수를 가지고 있어 이항 로짓모형을 사용하고자 한다. 즉, 2가지의 대안 중 선택주체를 교통사고가 발생한 장대터널로 정의하고 터널 설계요소, 시선유도시설, 교통환경 등 다양한 설명변수와의 관계를 모형화한다.

로짓모형 식 (3)를 더 단순화하면 1, 2의 두 대안이 존재할 경우, 대안 2에 설명변수를 대입하게 되면 $U_1=0$ 이고, $U_2 = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p + b$ 로 표현된다. 따라서 대안 2를 선택할 확률은 식 (4)와 같다.

$$P_2 = \frac{\exp(U_2)}{\exp(U_1) + \exp(U_2)} = \frac{\exp(U_2)}{1 + \exp(U_2)}$$

$$P_2 = \frac{\exp(a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p + b)}{1 + \exp(a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p + b)} \quad (4)$$

구축된 로짓모형은 일반적으로 우도비(ρ^2 : Likelihood Ratio Index)를 이용하여 모형의 설명력을 판단할 수 있으며 식 (5)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)} \quad (5)$$

이는 추정계수에 의해 우도비가 어느 정도 향상하는가를 표시하는 지표로서 0과 1의 사이의 값을 가지며, 일반적으로 0.2~0.4사이의 값이면 상당히 양호한 설명력을 갖는다고 알려져 있다.

4.2 모형구축 결과

고속도로 장대터널 내에서 교통사고에 미치는 영향 요인을 규명하기 위해 앞절에서 평균치 검정을 통해 유의수준 95%에서 유의한 설명변수를 채택하여 로짓모형을 구축한 결과는 표 11과 같다. 로짓모형은 산정된 계수를 판단기준으로 하여 추정계수의 부호조건, 추정계수의 유의성(t 값의 크기), 우도비(ρ^2)에 의해 모형의 적합성을 판단한다. 그리고 우도비가 0.2~0.4 범위에 있으면 양호한 설명력을 가지고 있다고 볼 수 있으며, 만약 우도비가 0.4 이상이면 설명변수 간에 다중공선성 존재여부를 검토해야 한다. 본 모형의 우도비(ρ^2)가 0.264로 양호한 설명력을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 장대터널 교통사고에 대한 로짓모형을 해석하면 다음과 같다.

터널 설계요소와 관련된 변수 중에서 장대터널 교통사고와 관련된 변수는 종단경사와 측방여유폭이 유의수준 5%에서 유의한 것으로 분석되었다. 종단경사는 부(-), 측방여유폭은 부(-)의 부호조건으로 종단경사는 하향경사이고, 측방여유폭이 2m 이하일 경우에 교통사고의 위험이 있는 것으로 나타났다.

표 11. 장대터널 교통사고에 따른 로짓모형 구축

구분		계수	t-값	p-값
상수		3.125	3.302	0.001**
터널 설계 요소	중단경사 (0:하향경사, 1:상향경사)	-2.364	-2.787	0.005**
	측방여유폭 (0:2m 이하, 1:2m 이상)	-1.027	-2.770	0.006**
	차로 수 (0:2차로 이하, 1:3차로 이상)	0.623	1.754	0.079
교통 환경	차로당 연평균일교통량(AADT) (0:10,000대 이하, 1:10,000대 이상)	1.120	2.452	0.014*
시선 유도 시설	주행차로 공동구 내장재 (0:미설치, 1:설치)	-1.356	-1.715	0.086
	추월차로 공동구 내장재 (0:미설치, 1:설치)	-1.938	-2.300	0.021*
$L(0)=-199.626$		$L(\beta) = -128.163$		
$\rho^2 = 0.357$		$\bar{\rho}^2 = 0.322$		

*: 유의수준 95%에서 유의, **: 유의수준 99%에서 유의

교통환경 요인인 차로당 연평균일교통량(AADT)이 유의수준 5%에서 유의한 것으로 분석되었다. 차로당 연평균일교통량이 정(+)의 부호로 차로당 10,000대 이상일 경우에 교통사고의 위험이 있는 것으로 분석되었다.

시선유도시설인 주행차로 및 추월차로의 공동구 내장재 설치가 유의수준 5%에서 유의한 것으로 분석되었다. 주행차로 및 추월차로 공동구 내장재 변수는 부(-)의 부호로 주행차로 및 추월차로의 내장재가 미설치된 장대터널에서 교통사고의 위험이 있는 것으로 분석되어 이에 대한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후과제

5.1 결론

본 연구에서는 고속도로 장대터널에서 교통사고가 발생한 터널과 발생하지 않은 터널을 명목 척도화하고, 이와 연관된 주요 요인과의 관계를 규명하기 위해 로짓모형을 구축하였다. 구축된 모형을 통해 시사하는 정책적 견해를 해석하면 다음과 같다.

장대터널의 설계요소에서 교통사고와 관련된 요인은 중단경사, 측방여유폭 요인이 교통사고와 영향이 있는 것으로 분석되었다. 중단경사의 경우 부호조건이 부(-)의 부호로 중단경사가 하향일 때 교통사고와 관련성이 있었다. 이는 상향경사보다 하향경사의 기하구조 조건을 지니고 있을 때 높은 주행속도로 주행함으로써 벽면과 충돌하는 시간이 짧아짐으로 인해 사고가 많이 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 장대터널 구간의 중단선형은 하향경사보다 상향경사로 건설하여 교통안전에 기여할 필요성이 있다. 단, 순방향 상향경사를 확보할 경우 역방향은 하향경사가 되므로, 가급적 장대터널 구간에서는 중단경사를 최소화할 필요가 있을 것으로 판단된다.

측방여유폭은 부(-)의 부호로 측방여유폭이 2m 이하일 경우에 교통사고의 위험이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 교통사고를 예방하기 위해서는 최소 측방여유폭은 2m 이상 건

설하는 것이 적합하다고 판단된다. 이는 기존연구에서 제시한 결과와 같으며, 운전자가 터널 벽체와의 충돌 및 심리적 불안정 해소를 위한 최소한의 측방여유폭 확보가 필요하다고 판단된다.

교통환경 요인의 차로당 연평균 일교통량은 정(+)의 부호로 10,000대 이상일 경우에 교통사고가 많이 발생한 것으로 분석되었다. 이는 교통량이 많을 경우에 운전자들의 주행행동은 감속 및 가속을 반복적으로 수행하기 때문에 교통량이 적을 경우보다 집중을 필요로 한다. 이로 인해 운전자들의 인지 판단횟수가 증가하고 판단착오 또한 증가함으로써 교통사고 발생 위험에 많이 노출된다고 볼 수 있다.

시선유도시설 중 장대터널 공동구 내장재 요인이 교통사고와 밀접한 관련이 있는 것으로 분석되었다. 주행차로 및 추월차로의 공동구 내장재 설치 부(-)의 부호로 내장재가 미설치된 장대터널에서 교통사고의 위험이 있는 것으로 나타났다. 이는 터널의 조명과 주행차량의 라이트가 공동구에 설치된 타일 및 내오염도장이 빛을 반사하여 터널 내의 조도 향상으로 운전자에게 시야를 확보해 주는 역할을 한다. 따라서 운전자로 하여금 터널 벽체와의 충돌을 회피할 수 있는 충분한 거리를 사전에 인지함으로써 교통사고 예방에 도움이 되는 것으로 볼 수 있다.

이상의 연구결과를 종합해 보면, 장대터널의 교통사고는 운전자의 시인성 및 공간 확보를 위한 요인이 교통사고와 관련이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구결과는 향후 장대터널에서의 교통사고 예방대책을 수립하는데 있어 중요한 판단지표로 활용이 가능할 것이다.

5.2 향후 연구과제

본 연구 결과는 우리나라의 지형적 조건 및 안전한 선형설계를 위해 장대터널은 지속적으로 증가하기 때문에 그 의미는 더욱 크다고 볼 수 있다. 장대터널은 1km 이상으로 길이를 한정하여 말하고 있지만, 국내에 건설된 장대터널은 다양한 연장을 지니고 있다. 따라서 장대터널 연장에 따른 교통사고의 특성 분석이 필요하다. 그리고 장대터널에 안전시설 및 정보제공 등 다양한 교통사고 예방시설을 설치할 경우 어느 위치를 중점적으로 개선해야 하는가 등의 문제점이 발생할 수 있다. 이를 보완하기 위해 장대터널 구간 중 교통사고 발생위치별로 터널을 세분화하여 교통사고 특성을 분석할 필요가 있다. 마지막으로 본 연구는 터널 구성요인 및 시선유도시설 등 물리적 요인만을 고려한 연구로 사고원인을 명확하게 파악하지 못하는 한계점을 가지고 있다. 따라서 사고원인, 사고유형, 날씨, 운전자 속성 등을 종합적으로 고려한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 국토해양부(2009) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙.
- 권오섭(2004) 터널부 횡단구성에 따른 교통류 특성 및 효과분석. 석사학위논문, 중앙대학교.
- 김주현·김호영·금기정·김명수(2000) 고속도로 터널구간에서의 운전자 시각행태 변화에 관한 연구. 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제20권 제3-D호.
- 박형진·박재범(2006) 터널구간 LED램프 설치에 따른 운전행태

연구. **대한인간공학회 추계학술대회 논문집**, 대한인간공학회.
 박형진·황경주·신현주(2007) 시뮬레이터를 이용한 장대터널 내에서의 운전자 특성연구. **대한인간공학회지**, 대한인간공학회, 제26권 제2호.
 왕이완·금기정·손승녀·유재상(2010) 감성공학을 고려한 터널 내부경관 평가모형개발. **한국도로학회 논문집**, 한국도로학회, 제12권 제1호.
 유경수(1995) **고속도로 교통지체 구간 개선방안 연구 터널구간 및 틀게이트를 중심으로 한 교통특성조사 분석**. 연구보고서, 한국도로공사.
 이기영·이호병(2004) 고속도로에서의 터널부 속도감소요인 분석에 관한 연구. **도로교통**, 제97호.
 이윤미(2006) **고속도로에서의 터널부 속도차이에 영향을 미치는 요인에 관한 연구**. 석사학위논문, 명지대학교.
 이재호(2000) **국도상 터널구간의 교통특성 및 용량산정에 관한 연구**. 석사학위논문, 한양대학교.

정춘근(2002) 연속터널구간에서 터널간격에 따른 속도변화 특성에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제4권 2호.
 한국도로공사(2009) **도로설계요령**.
 Blaauw, G.J. and Leebeek (1974) *Verkeersvoorzieningen bij het aquaduct in Rijksweg 4*[Traffic management at the aqueduct in Highway 4] (Memo IZF June 1974), Soesterberg: The Netherlands: TNO Institute for perception.
 Blaauw, G.J. and Van der Horst, A.R.A. (1982) *Lateral positioning behaviour of car drivers near tunnels - Final Report*(Report IZF 1982 C-30). Soesterberg: The Netherlands: TNO Institute for Perception.
 Levinson Golenberg and Howard (1995) *Callahan Tunnel Capacity Management*. TRR, TRB USA.

(접수일: 2012.5.30/심사일: 2012.6.16/심사완료일: 2012.8.2)