Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Vol. 34, No. 1: 203-211/ February, 2014
DOI: http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2014.34.1.0203

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Transportation Engineering **교통공학**

교통안전 특성을 고려한 장대터널 적정길이 제시

김중효* · 이정환** · 권성대*** · 하동익****
Kim, Joong-Hyo*, Lee, Jeong-Hwan**, Kwon, Sung Dae***, Ha, Dong ik****

Suggestion on the Optimal Length of Long Tunnels Considering Traffic Safety Characteristics

ABSTRACT

Tunnel reduces travel time as and it is essential facilities for the eco-friendly road construction. In recent years, It has been accelerating the tunnel construction to provide a higher level of traffic service but a driver driving in the narrow and dark tunnel takes characteristically psychological anxiety and the restriction of the sight. Moreover, A driver passing through more than 1,000m long tunnel, as to pass inside the monotonous form of the tunnel for a long time can cause drowsiness and increase the driver load. This driver load can degrade road-holding of the inside of the long tunnel highly and pose a high risk of accidents. Accordingly, In this study is to present the proper length of the Tunnel, considering the characteristics of traffic accident. For this, this study is that the long tunnel that affects traffic safety traffic safety variables are selected and classified.

Traffic safety variables are classified in detail as a variable of the traffic accident and velocity one, the applicable variables the number of the traffic accident, the ratio of the traffic accident, driving velocity, the individual vehicle velocity etc. Traffic safety variables are categorized as more than a pole length of the tunnel in order to examine its impact on correlation analysis. The results indicate significant results in traffic accidents in accordance with traffic accidents, traffic safety, selects the variable was Variable depending on the length of the tunnel traffic safety point of significantly increasing the possibility of an accident can be seen as a high point. And the point of the Distribution of selected variables in order to create a traffic safety was a significant increase in traffic safety variables was set at critical intervals. Before reaching the critical point and the corresponding length of the long tunnel was set at the proper length. In this study, the optimum length of the proposed long tunnel through the long tunnel that occur in the future to contribute to reducing traffic accidents would be able to be determined.

Key words : Long tunnel, Traffic safety, Traffic accident, Design consistency, Correlation analysis

초 록

터널은 이동시간을 최소화 시킬 뿐만 아니라 친환경적인 도로건설을 위한 필수적인 시설물이라 하겠다. 최근에는 보다 높은 서비스수준의 제공을 위하여 터널 건설이 가속화 되고 있다. 그러나 터널을 주행하는 운전자는 좁고 어두운 터널의 특성상 심리적 불안감과 시야의 제약을 받게 된다. 더욱이 1,000m 이상의 장대터널을 통과하는 운전자는 단조로운 형태의 터널 내부를 장시간 통과함에 따라 졸음 등이 발생할 수 있으며, 보다 큰 심리적 압박감을 느껴 운전자 부하가 가중되게 된다. 이러한 운전자 부하는 장대터널 내부의 주행안전성을 크게 저하시키며 높은 사고위험성을 내포시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 장대터널 교통안전 특성을 고려하여 장대터널의 적정길이를 제시하고자 한다.

이를 위해 본 연구에서는 장대터널의 교통안전에 영향을 미치는 교통안전변수를 분류하고 선정하였다. 교통안전변수는 교통사고변수와 속도변수로 분류하며, 해당 변수는 교통사고건수, 교통사고율, 주행속도, 개별차량 주행속도 차 등으로 세부적인 분류를 하였다. 이상과 같이 분류된

* 정회원 · 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원 (ccacca-1@hanmail.net)
** 정회원 · 교신저자 · 전남대학교 공업기술연구소 선임연구원 (**Corresponding Author** · Chonnam National University · spiceljh@hanmail.net)
*** 전남대학교 일반대학원 토목공학과 공학박사 (rnjs0124@jnu.ac.kr)
**** 서울대학교 건설환경종합연구소 연구교수 (diha@dreamwiz.com)

Received June 3, 2013/ **revised** July 8, 2013/ **accepted** December 27, 2013

Copyright ⓒ 2014 by the Korean Society of Civil Engineers
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.

교통안전변수가 장대터널길이에 미치는 영향을 검토하기 위하여 상관관계분석을 실시하였다. 분석결과 교통사고율이 유의한 결과를 나타냄에 따라 교통사고율을 교통안전변수로 선정하였다. 터널 길이에 따라 교통안전변수가 큰 폭으로 증가하는 지점은 사고발생가능성이 높은 지점으로 볼 수 있다. 따라서 해당 지점을 선정하기 위해 교통안전변수의 분포표를 작성하였으며, 교통안전변수가 크게 증가하는 구간을 임계점으로 설정하였다. 그리고 해당 임계점에 도달하기 이전의 길이를 장대터널의 적정길이로 설정하였다. 본 연구에서 제시한 장대터널의 적정길이를 통해 향후 장대터널에서 발생하는 교통사고 감소에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

검색어 : 장대터널, 교통안전, 교통사고, 설계일관성, 상관관계분석

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

도로는 다양한 구조물로 구성되어 있는데 그 중 대표적인 시설물이 교량과 터널이다. 특히 터널은 이동시간을 최소화 시킬 뿐 아니라, 70%이상이 산지 및 구릉지로 구성되어 있는 우리나라의 친환경적인 도로건설을 위한 필수적인 시설물이라 하겠다. 최근에는 보다 높은 서비스수준 제공을 위해 터널 건설이 가속화 되고 있다.

이러한 장점에도 불구하고 터널이 운전자에게 미치는 효과는 긍정적이라고만 보기 어렵다. 터널을 주행하는 운전자는 좁고 어두운 터널의 특성상 심리적 불안감과 시야의 제약을 받게 된다. 더욱이 1,000m 이상의 장대터널을 통과하는 운전자는 단조로운 형태의 터널 내부를 장시간 통과함에 따라 졸음 등이 발생할 수 있으며, 보다 큰 심리적 압박을 받아 운전자 부하가 가중되게 된다. 이러한 운전자 부하는 장대터널 내부의 주행안전성을 크게 저하시키며 높은 사고위험성을 내포시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 장대터널 교통안전과 관련된 변수의 특성을 고려하여 장대터널의 적정길이를 제시하고자 한다.

본 연구에서 제시한 장대터널의 적정길이를 통해 향후 건설되는 장대터널에서 발생하는 교통사고 감소에 이바지 할 수 있을 것으로 기대한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 터널에서 발생한 교통사고 및 주행속도, 교통량, 기하구조 등의 자료를 수집하여 터널 길이와 교통사고의 상관관계를 검토한 후 터널 길이에 따라 사고가 급증하는 지점을 선정함으로써 교통안전을 고려한 장대터널의 적정길이를 제시하고자 한다. 본 연구를 위한 연구수행과정은 다음과 같다(Fig. 1).

1.3 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 도로조건과 교통조건이 유사한 서울외곽순환도로 북부구간에 밀집되어 있는 장대터널을 대상으로 하였다. 대상터널은 편도4차선 터널로써 불암산터널, 수락산터널, 사패산터널, 노고산1터널이다.

분석을 위해 교통사고, 교통량, 기하구조 등의 자료를 수집하였다. 특히 해당 자료는 2008~2011년의 4년간 자료를 수집하였다.

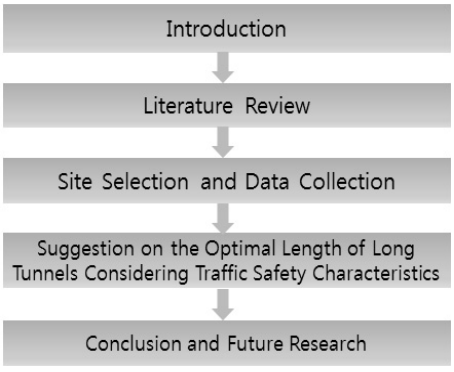

Fig. 1. Flowchart of Research

2. 기존 연구문헌 고찰

교통안전측면을 고려한 장대터널 적정길이 제시를 위해 터널 안전측면과 관련된 기존 연구문헌을 검토하였다.

Kang (2001)은 대전-통영간 고속도로 육십령터널(3,170m)공사 시 발견된 일제 강점기 철도터널 작업갱을 활용하는 "젯트팬+환기팬(축류팬)+패철도 사갱이용 송배기 방식"과 "전기 집진기부착 종류식 방식"을 비교 검토하여 장대터널 내에서 발생하는 교통사고를 분석하고 비상, 재난 발생 시 대피장소, 피난통로를 확보할 수 있도록 하여 터널환기와 교통사고 재난을 고려한 방안을 제시하였다.

Kim and Noh et al. (2007) 등은 장대터널의 내벽디자인, 교통안전시설, 교통관리시설에 따른 운전자 특성을 분석하기 위해 시뮬레이터를 이용하여 가상도로주행시험을 실시하였다. 주행속도와 안구운동을 측정함으로써 운전자에게 안전감을 주는 요소를 도출하였다.

Kim et al. (2000) 등은 중부고속도로 터널구간을 주행하는 운전자의 시지각(Visual Angle) 변화를 측정하였다. 터널 입구 전 1,000m에서 터널 출구 후 500m 까지 운전자 주행행태 실험을 실시한 결과, 주행속도는 실험 시점에서 1,100m 지점에서 주행속도는 시점보다 10% 감소하였다가 지속적으로 증가하는 것으로 분석되었다. 그리고 터널 내부에서의 시각행태는 터널 외부보다 좌우,

상하폭 모두 매우 축소되고, 우측 도는 좌측으로 시각행태가 편중되는 것으로 분석되었다.

Ryu et al. (2011) 등은 장대터널 기본 설계안에 대한 운전자 주행안정성을 평가하기 위해 실험자 19명을 대상으로 차량 시뮬레이터를 활용하여 차량속도, 가·감속페달 및 조향휠 조작, 차량편측위치 등에 대해 분석하였다. 이를 통해 장대터널의 위험구간을 선정하고 개선방안을 제시하였다.

Park et al. (2007) 등은 차량 시뮬레이터를 이용한 장대터널의 내부디자인(청록색, 황녹색, 2km 색변화, 무변화), LED램프 시선유도시설, 거리정보(VMS) 설치조건에 따른 운전자 측면에서의 안전성 분석을 실시하였다. 그 결과 내부디자인은 청록색이며 무변화 조건과 2km 색변화 조건에서는 부정적인 반응을 보였다. 장대터널 설계시 내벽디자인은 청록 조건이며, 교통안전시설로 LED램프가 설치되어 있으며, 교통관리시설로 터널의 거리를 제공하는 VMS가 설치된 터널을 제시할 수 있다. 이러한 조건이 수행된 터널은 운전자에게 더욱 안정된 주행을 제공할 수 있을 것이다.

Shin et al. (1996) 등은 터널구간 주행시 피실험자들은 터널 진입 전 100m 지점에서부터 지속적인 속도저하를 나타내고 터널 진입 후 40m 지점에서 최저속도를 나타내고, 그 후 100m를 주행한 지점부터 서서히 가속하여 원래의 주행속도를 유지하는 것으로 보고한 시험결과가 있다.

Wang et al. (2010) 등은 운전자의 감성공학을 이용한 터널내부 경관을 분석한 결과, LED 시선유도시설 설치시, 조도가 높을수록, 측방여유폭이 넓을수록 안전성이 증가하는 것으로 분석되었다.

Lee and Lee (2004) 등은 고속도로 터널부 구간 진입 전·후의 속도감소 요인을 비교하기 위하여 다양한 정량적 변수(종단구배, 구배길이, 곡선반경)을 활용하였다. 상관성분석결과, 곡선반경(0.827), 노견 폭(0.494), 종단구배(0.356)의 순서로 속도 감소에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

Lee et al. (2008) 등은 터널 입구부의 안전시설물의 형태와 우측방여유폭의 변화에 따라 운전자가 작게 되는 부담감이나 위압감을 분석하였다. 그 결과 우측방여유폭이 차이가 작은 경우 운전자가 갖는 부담이 경감되어 터널내부의 길어깨 및 측방여유폭을 확보해야함을 제시하였다. 그리고 Lane Placement 분석결과, 곡선반경이 작은 경우 차량의 편향주행 비율이 높아져 옆 차로를 주행하는 차량에 영향이 미칠 가능성이 커지므로 터널 입구부에서의 곡선방경은 크게 설계되어야 한다는 결론을 제시하였다.

Lee (2002) 등은 둔내터널(3.3km)의 속도자료를 활용하여 일반터널과 장대터널의 속도변화 폭을 비교하였으며, 장대터널의 속도변화가 큰 것으로 나타났다. 또한, 속도가 가장 높은 지점은 일반터널의 경우 입구, 장대터널의 경우 입구로부터 약 1.6km 지점이후 급격한 속도 증가를 보이며, 2.0km 이후에는 터널 진입전 속도를 회복하는 것으로 나타나 속도를 활용한 장대터널의 정의로 활용할 수 있다고 하였다.

Akamatsu (2003) 등은 터널내부 주행이 운전자의 주행속도에 미치는 영향을 연구하기 위해, 실험자를 대상으로 주행중 가속패달 조작에 관한 연구를 수행하였다. 연구결과 터널 진출입시 가속패달 조작이 적음을 확인하였다.

Amundsen (1992) 등은 터널길이가 증가함에 따라 문제점이 증가한다고 언급하였고, 설문조사를 통해 터널 길이가 길어짐에 따라 운전자는 위험상황에 보다 많이 노출된다는 결론을 도출하였다.

Martens (2000) 등은 터널내부 비상차로 유무가 운전자의 운전행동에 미치는 영향을 연구하기 위해, 실험자를 대상으로 차량시뮬레이터를 활용하여 연구를 수행하였다. 연구결과 터널의 가장 바깥쪽 차로 주행시 일반도로에 비해 더 왼쪽으로 치우치게 운전하였고 비상차로가 없는 경우 그러한 운전행동이 더 심하게 나타남을 확인하였다.

3. 자료수집 및 현장조사

3.1 조사지점 선정

본 연구 수행을 위해 도로조건과 교통조건이 유사한 지역에 터널이 밀집되어 있는 서울외곽순환도로 북부구간을 선정하였다.

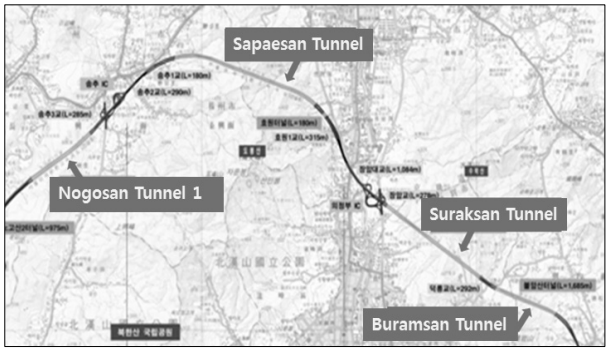

Fig. 2. Map of the Research Section

Table 1. Selected Tunnels

Tunnel Name	Direction	Length(m)
Buramsan Tunnel	Ilsan	1,685
	Toegyewon	1,685
Suraksan Tunnel	Ilsan	2,950
	Toegyewon	2,950
Sapaesan Tunnel	Ilsan	3,971
	Toegyewon	3,971
Nogosan Tunnel 1	Ilsan	2,197
	Toegyewon	2,197

해당 구간에 밀집되어 있는 장대터널은 불암산터널, 수락산터널, 사패산터널, 노고산1터널이며 일산방향, 퇴계원방향 양방향을 모두 연구의 대상으로 선정하였다. 대상구간 현황 및 선정대상 터널현황은 다음과 같다(Fig. 2 and Table 1).

3.2 교통사고자료 수집

교통사고 특성을 고려하여 장대터널의 적정길이를 제시하기 위해 교통사고자료를 수집하였다. 교통사고자료는 서울고속도로주식회사에서 2008년~2011년의 4년간 교통사고 자료를 제공받아 활용하였다(Table 2).

3.3 교통량 및 주행속도자료 수집

교통사고율을 산정하기 위해 해당구간의 교통량 자료를 수집하였다. 또한 속도가 교통사고에 밀접한 영향을 미침에 따라 주행속도자료도 수집하였다. 교통량 및 주행속도자료 역시 서울고속도로주식회사에서 제공받아 활용하였다(Table 3).

Table 2. Traffic Accident List

Tunnel Name	Direction	Length(m)	Number of Accident
Buramsan Tunnel	Ilsan	100	2
Buramsan Tunnel	Ilsan	200	2
Buramsan Tunnel	Ilsan	300	2
		:	
Nogosan Tunnel 1	Toegyewon	100	3
Nogosan Tunnel 1	Toegyewon	200	1
Nogosan Tunnel 1	Toegyewon	300	0
		:	

Table 3. List of Traffic Volume and Vehicle Speed

Tunnel Name	Direction	Tunnel Length (m)	Running Speed (kph)	Traffic (vph)
Buramsan Tunnel	Ilsan	100	100	1,555
Buramsan Tunnel	Ilsan	200	100	1,555
Buramsan Tunnel	Ilsan	300	100	1,555
		:		
Nogosan Tunnel 1	Toegye -won	100	103	1,535
Nogosan Tunnel 1	Toegye -won	200	103	1,535
Nogosan Tunnel 1	Toegye -won	300	103	1,535
		:		

3.4 기하구조자료 수집

터널길이가 교통사고에 미치는 영향을 분석하기 위해 터널의 기하구조가 직선에 가깝고 종단선형의 영향이 거의 없는 터널을 대상으로 하였다. 따라서 각 터널의 기하구조 자료를 수집하여 터널의 기하구조여건을 확인하였다. 기하구조여건은 횡단구성과 평면선형, 종단선형으로 구분하여 확인하였다.

본 연구대상의 모든 터널은 차로수는 모두 4차로로 동일하였으며, 차로폭 3.5m 및 길어깨폭 0.5m로 일정하였다. 평면선형은 거의 직선에 가까운 형태였으며, 종단선형도 거의 평지에 가까운 이상적인 형태의 기하구조형태를 갖추고 있었다(Tables 4 and 5).

Table 4. Cross-Section Composition

Tunnel Name	Direction	Length (m)	Number of Lane	Lane Width (m)	Shoulder Width(m)
Buramsan Tunnel	Ilsan	100	4	3.5	0.5
Buramsan Tunnel	Ilsan	200	4	3.5	0.5
Buramsan Tunnel	Ilsan	300	4	3.5	0.5
		:			
Nogosan Tunnel 1	Toegye -won	100	4	3.5	0.5
Nogosan Tunnel 1	Toegye -won	200	4	3.5	0.5
Nogosan Tunnel 1	Toegye -won	300	4	3.5	0.5
		:			

Table 5. List of Horizontal and Vertical Alignment

Tunnel Name	Direction	Tunnel Length (m)	Grade (%)
Buramsan Tunnel	Ilsan	100	0.87%
Buramsan Tunnel	Ilsan	200	0.87%
Buramsan Tunnel	Ilsan	300	0.87%
		:	
Nogosan Tunnel 1	Toegye-won	100	0.80%
Nogosan Tunnel 1	Toegye-won	200	0.80%
Nogosan Tunnel 1	Toegye-won	300	0.80%
		:	

3.5 안전시설물 설치현황

각종 안전시설물이 교통사고 감소에 영향을 미칠 수 있으므로, 터널구간의 교통안전시설물 설치여부를 검토하였다.

본 연구 대상의 모든 터널은 동일한 형태와 간격의 시선유도표지만 설치되어 있었으며 특이한 안전시설물을 찾아보기는 어려웠다. 조명시설의 설치현황 역시 양호한 수준을 나타내고 있었다.

4. 교통안전을 고려한 장대터널 적정길이 제시

4.1 교통안전을 고려한 장대터널 적정길이 제시절차

본 연구의 대상지점은 기하구조와 교통안전시설물이 매우 양호한 수준이어서 기하구조관련변수와 교통안전시설물관련변수는 변수설정에 어려움이 있었습니다. 그러나 장대터널의 교통안전변수를 선정 시 교통사고변수만 활용하여도 적절하나, 설계일관성측면까지 고려하고자 속도변수까지 활용하였습니다. 이에 교통안전을 고려한 장대터널 적정길이 제시를 위한 절차는 다음과 같다(Fig. 3).

교통안전을 고려한 장대터널 적정길이 제시를 위해 첫째, 장대터널 길이와 교통안전변수의 상관관계 분석을 실시하였다. 교통안전변수는 널리 활용되는 교통안전의 척도인 교통사고관련 변수와 속도관련 변수이다. 이상과 같은 교통안전 변수는 장대터널 길이와 상관관계 분석을 통해 상관관계가 밀접한 변수만 선정한다.

둘째, 장대터널 길이에 따른 교통안전변수 특성분석을 실시한다. 상관관계 분석을 통해 선정된 교통안전변수를 터널 길이에 따라 분포표를 작성한다. 작성된 분포표를 토대로 교통안전변수가 급증한 지점을 임계점으로 제시한다.

마지막으로 제시된 임계점을 고려하여 적정길이를 제시하게 된다.

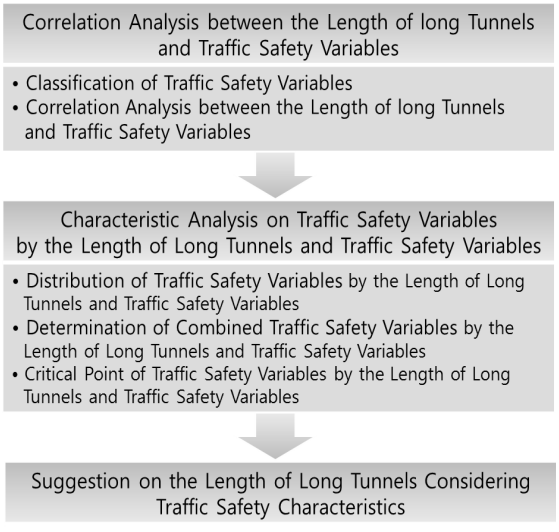

Fig. 3. Methodology

4.2 장대터널 길이와 교통안전변수의 상관관계 분석

4.2.1 교통안전변수 분류

장대터널 길이와 교통안전변수의 상관관계 분석에 앞서 변수를 설정한다. 교통안전변수는 교통사고관련 변수와 교통안전에 밀접한 영향을 미치는 속도관련 변수로 구분된다.

교통사고관련변수는 교통사고건수, 교통사고율로 다시 한번 구분되며, 속도관련변수는 주행속도, 개별차량 당 주행속도 차로 구분된다. 변수의 구분은 Table 6과 같다.

교통사고건수와 주행속도는 수집한 자료를 토대로 입력하였으며, 교통사고율과 개별차량당 주행속도차는 수집한 자료를 토대로 산정하였다. 교통사고율과 개별차량당 주행속도차 산정식은 다음과 같다.

$$AR = \frac{\text{교통사고건수} \times 1{,}000{,}000}{365 \times \text{연수} \times \text{일평균교통량} \times \text{도로구간길이}} \quad (1)$$

· AR: 교통사고율

$$\Delta V_{85} = V_{85i} - V_{85i-1} \quad (2)$$

· ΔV_{85}: 개별차량 주행속도 차
· V_{85i}: i지점 차량 주행속도
· V_{85i-1}: $i-1$지점 차량 주행속도

Table 6. Traffic Safety Variables

Classification	Variables about Traffic Accident	Variables about Speed
Detailed Variable	Number of Traffic Accident Traffic Accident Rate	Running Speed Individual Vehicle Running-Speed Difference

Table 7. Traffic Safety Variables at Selected Tunnels

Tunnel Name	Direction	Tunnel Length (m)	Running Speed (kph)	Individual Vehicle Running Speed Difference (kph)	Number of Traffic Accident	Traffic Accident Rate (case/million cars·km)
Buramsan Tunnel	Ilsan	100	100	5.09	2	0.36
Buramsan Tunnel	Ilsan	200	100	5.09	2	0.32
Buramsan Tunnel	Ilsan	300	100	5.09	2	0.36
Buramsan Tunnel	Ilsan	400	100	5.09	1	0.27
:						

이상과 같이 정리된 주행속도, 개별차량 주행속도차, 교통사고건수, 교통사고율 등의 교통안전 변수 자료는 다음 Table 7과 같다.

4.2.2 장대터널 길이와 교통안전변수의 상관관계 분석

장대터널의 교통안전과 유의한 변수를 선정하기위해 앞서 분류한 교통안전변수와 장대터널길이에 대하여 상관관계분석을 실시하였다. 분석의 기본개념을 다음 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

상관관계분석을 위해 통계프로그램 SPSS 12.0을 활용하였다. 장대터널길이와 교통안전변수의 상관관계 분석결과는 Table 8과 같이 나타났다.

터널길이에 따른 교통안전변수 분석결과 교통사고건수와 주행속도는 유의한 관계를 찾아보기 어려웠으나, 교통사고율과 주행속도차는 0.01수준에서 유의한 결과를 나타냈다. 교통사고율의 경우 양의 관계를 나타냄에 따라 터널길이가 길어질수록 교통사고율도 높아진다고 할 수 있다. 주행속도차의 경우는 음의 관계를 나타냈다. 일반적으로 개별차량의 주행속도차가 클수록 교통안전에 불리하다고 할 수 있는데 장대터널의 경우는 터널의 길이가 길어질수록 속도편차가 적어졌다. 따라서 장대터널의 교통안전변수로는 부적절하다고 판단하여 제외하였다. 따라서 장대터널 교통안전변수는 교통사고율로 선정하였다.

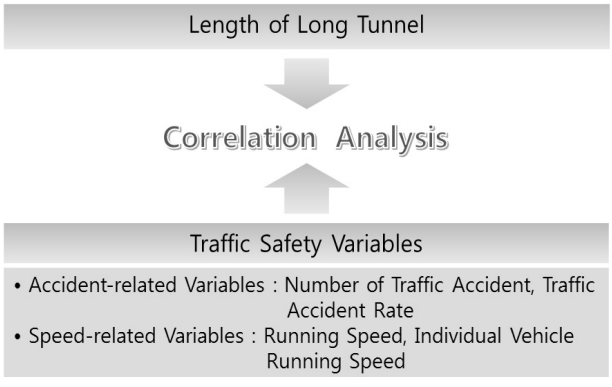

Fig. 4. Concept of Analysis

Table 8. Results of Correlation Analysis

Classification		Number of Traffic Accident	Traffic Accident Rate	Running Speed	Running Speed Difference
Tunnel Length	Pearson Correlation	.076	.408(**)	.091	-.511(**)
	Sig. (2-tailed)	.259	.000	.173	.000
	N	224	224	224	224

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

4.3 장대터널 길이에 따른 교통안전변수 특성분석

4.3.1 장대터널 길이에 따른 교통안전변수 분포표 제시

앞서 실시한 상관관계 분석결과에 따라 교통안전변수를 교통사고율로 선정하였다. 교통안전변수가 급증하는 구간, 즉 임계점에서는 교통사고위험이 크게 높아지는 구간으로 판단할 수 있다. 따라서 교통안전변수 임계점을 선정함으로써 교통안전을 고려한 장대터널의 적정길이를 제시할 수 있다. 이를 위해 장대터널 길이에 따라 교통사고율의 분포표를 작성하였다. 교통사고율 분포는 모두 조금씩의 차이를 나타내고 있었지만 일반적으로 터널 진입부에서 사고발생율이 높다가 터널내부로 진입할수록 감소하였다. 그리고 터널에서 주행길이가 점점 길어짐에 따라 교통사고율이 증가함을 확인할 수 있었다. 교통사고율 분포표 및 분포도는 다음과 같다(Table

Table 9. Distribution Table of the Traffic Accident Ratio

Tunnel Length (m)	Buramsan Tunnel		Suraksan Tunnel		Sapaesan Tunnel		Nogosan Tunnel 1	
	Ilsan - bound	Toegye won - bound	Ilsan - bound	Toegye won - bound	Toegye won - bound	Toegye won - bound	Toegye won - bound	Toegye won - bound
100	0.36	0.72	0.19	0.39	0.19	0.25	0.42	0.24
200	0.32	0.73	0.15	0.39	0.16	0.25	0.40	0.19
300	0.36	0.69	0.27	0.36	0.19	0.29	0.40	0.22
400	0.27	0.48	0.32	0.32	0.19	0.31	0.36	0.20
500	0.25	0.32	0.30	0.25	0.21	0.31	0.34	0.17
				:				

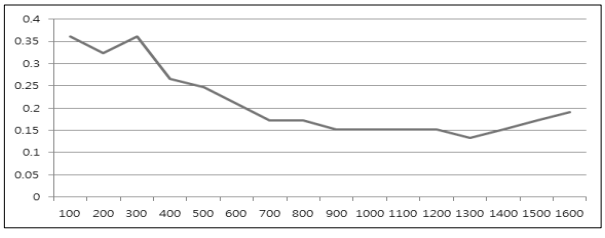

Fig. 5. Distribution of Traffic Accident Ratio (Buramsan Tunnel, Ilsan-bound)

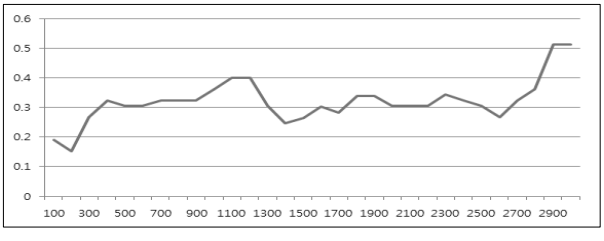

Fig. 6. Distribution of Traffic Accident Ratio (Suraksan Tunnel, Ilsan-bound)

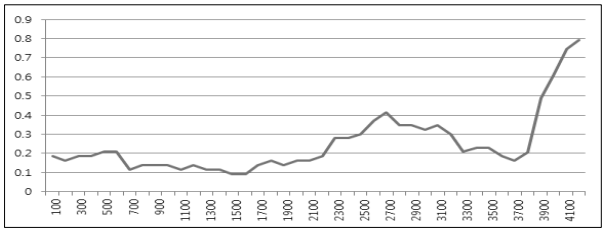

Fig. 7. Distribution of Traffic Accident Ratio (Sapaesan Tunnel, Ilsan-bound)

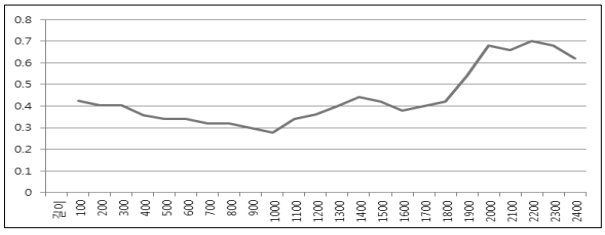

Fig. 8. Distribution of Traffic Accident Ratio (Nogosan Tunnel 1, Ilsan-bound)

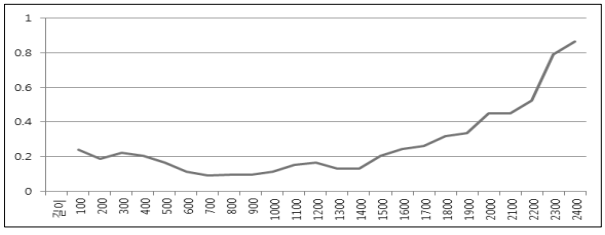

Fig. 9. Distribution of Traffic Accident Ratio (Nogosan Tunnel 1, Toegyewon-bound)

9 and Figs. 5~12).

4.3.2 장대터널 길이에 따른 통합 교통안전변수 산정

교통안전변수 분포표를 통해 장대터널의 적정길이를 산정하기 위해서는 교통안전변수 임계점을 넘지 않는 범위에서 장대터널 적정길이를 제시해야 할 것이다.

따라서 장대터널의 임계점을 제시하기 위해 각 터널별 교통사고율의 분포표를 검토한 결과 공통적인 임계점을 발견하기 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 모든 터널의 교통안전변수를 평균하여 임계점을 제시하고자 하였다. 본 연구의 모든 대상 터널의 교통안전변수를 평균한 결과 Table 10 and Fig. 13과 같이 나타낼 수 있었다.

이상의 통합 교통안전변수 분포도에서 나타나는 바와 같이 터널 진입 후 400m지점부터는 사고위험이 감소함을 알 수 있다. 그러나 2,300m, 2,700m지점에서 크게 증가하고 3,800m지점 이후부터는 사고위험이 급증함을 확인할 수 있다.

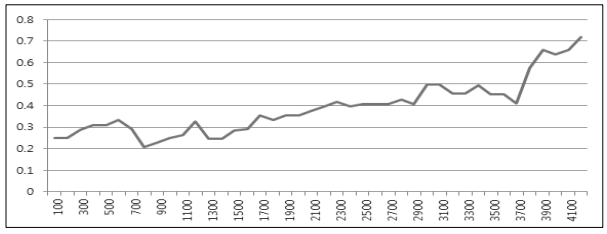

Fig. 10. Distribution of Traffic Accident Ratio (Sapaesan Tunnel, Toegyewon-bound)

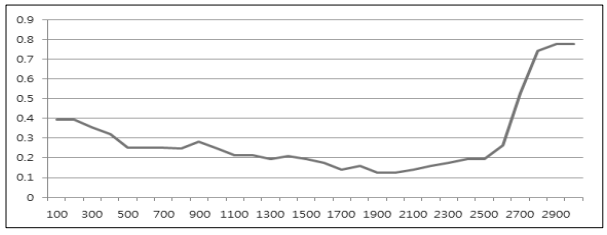

Fig. 11. Distribution of Traffic Accident Ratio (Suraksan Tunnel, Toegyewon-bound)

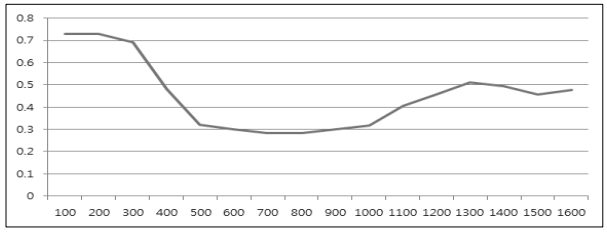

Fig. 12. Distribution of Traffic Accident Ratio (Buramsan Tunnel, Toegyewon-bound)

Table 10. Combined Traffic Safety Variables

Classification	Combined Traffic Safety Variables (case/million cars·km)
100	0.35
200	0.32
300	0.35
400	0.31
500	0.27
:	

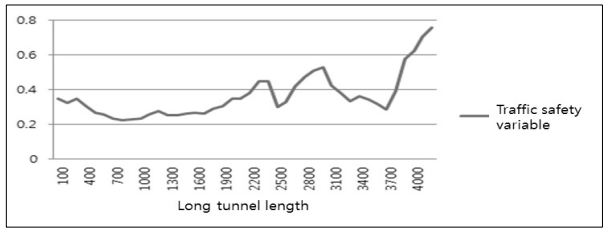

Fig. 13. Distribution of Combined Traffic Safety Variable

Table 11. Combined Safety Variables

Classification	Percentage Change of Combined Traffic Safety Variables (%)
100	0
200	-6.33
300	7.05
400	-11.85
500	-12.37
:	

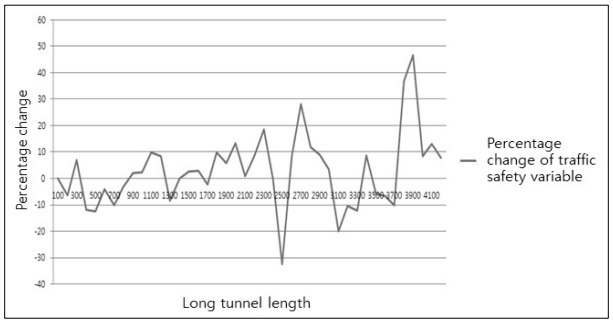

Fig. 14. Variation of Combined Traffic Safety Variables

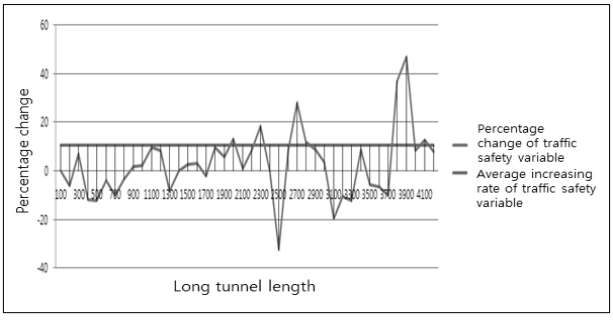

Fig. 15. Variation of Combined Traffic Safety Variables and The Average Increasing Rate

4.3.3 장대터널 길이에 따른 통합 교통안전변수 임계점 제시

장대터널 길이에 따른 통합 교통안전변수 임계점을 선정하는데 있어서 교통안전변수가 큰폭으로 증가하는 지점을 선정한다. 이를 위해 통합 교통안전변수의 증감율을 산정하였다. 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다(Table 11 and Fig. 14).

이상에서 나타난 바와 같이 통합 교통안전변수 증감율은 일부구간에서 증가하는 것으로 나타났으나 대상 지점을 모두 임계점으로 설정하기에는 다소 무리가 있다. 따라서 큰 폭으로 증가하는 지점을 대상으로 임계점으로 지정하고자 한다.

본 연구에서는 장대터널의 통합 교통안전변수 임계점을 통합 교통안전변수 증감율에서 증가분만 고려하여 평균 증가율을 제시하고, 해당 증가율보다 큰 폭으로 증가하는 지점으로 선정한다.

Table 12. Critical Point of Traffic Safety Variables

Classification	Length of Long Tunnel(m)
Critical Point of Traffic Accident Variables	2,000
	2,300
	2,700
	3,800

Table 13. The Optimal Length of Long Tunnels

Classification	Length of Long Tunnel(m)
Optimal Length of Long Tunnels	1,000 ~ 2,000
	2,100 ~ 2,200
	2,400 ~ 2,600
	3,000 ~ 3,700

이를 위해 통합 교통안전변수의 증가분만을 선정하여 평균하여 통합 교통안전변수 평균 증가율을 산정하였다. 산정 결과 통합 교통안전변수의 평균 증가율은 10.53으로 나타났다. 이상의 과정에서 산정한 통합교통안전변수 증감율과 통합 교통안전변수 평균증가율을 그림으로 나타내면 다음과 같다(Fig. 15).

그림에서 나타난 바와 같이 통합교통안전변수 평균증가율보다 증감율이 크게 나타나는 지점은 2,000m, 2,300m, 2,700m, 3,800m이다. 따라서 본 연구에서는 해당지점을 교통사고변수 임계점으로 선정한다(Table 12).

4.4 교통안전을 고려한 장대터널 적정길이 제시

교통안전을 고려한 장대터널 적정길이는 해당 임계점에 도달하기 이전 지점으로 선정하는 것이 교통안전측면에서 적절할 것으로 판단된다.

따라서 교통사고변수 임계점에 도달하기 전의 교통안전을 고려한 장대터널의 적정길이는 임계점인 2,000m, 2,300m, 2,700m, 3,800m지점에 도달하기 이전의 범위로 설정할 수 있다. 따라서 적정길이는 2,100이하, 2,400~2,600m, 3,000~3,700m로 설정할 수 있다. 이를 표로 나타내면 Table 13과 같다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1 결 론

본 연구에서는 장대터널 교통안전과 관련된 변수의 특성을 고려하여 장대터널의 적정길이를 제시하였다.

장대터널 적정길이 제시를 위해 첫째, 장대터널 길이와 교통안전변수의 상관관계 분석을 실시하였다. 교통안전변수는 널리 활용되는 교통안전의 척도인 교통사고관련 변수와 속도관련 변수를 활용

하였다. 분석결과 장대터널 길이와 상관관계가 밀접한 교통안전변수는 교통사고율로 나타났으며, 이를 교통안전변수로 선정한다. 둘째, 장대터널 길이에 따른 교통안전변수 특성분석을 실시하였다. 상관관계 분석을 통해 선정된 교통안전변수를 터널 길이에 따라 분포표를 작성하여 공통된 임계점을 발견하기 어려워 통합 교통안전변수를 산정하고 통합 교통안전변수와 통합교통안전변수 평균증가율의 비교를 통해 교통안전변수가 급증한 지점을 선정하여 임계점으로 제시하였다. 마지막으로 제시된 임계점을 고려하여 적정길이를 제시하게 하였다.

본 연구에서 제시한 장대터널의 적정길이를 통해 향후 건설되는 장대터널에서 발생하는 교통사고 감소에 이바지 할 수 있을 것으로 기대한다.

5.2 향후 연구과제

본 연구는 시간적·공간적 한계 등으로 인하여 연구의 범위가 제한된 바, 이를 보완하기 위하여 다음과 같이 향후 연구내용을 제안하고자 한다.

첫째, 본 연구에서 활용된 터널의 표본수가 다소 부족하다고 할 수 있다. 따라서 향후 보다 많은 터널을 대상으로 하여 보다 대표성 있는 수치가 제시되어야 할 것이다.

둘째, 본 연구에서 활용된 터널의 최대길이는 약 4,000m로써 그 이상의 터널에 대한 적정길이를 제시하지 못한다. 따라서 더 긴 장대터널에 대한 연구가 보완되어야 할 것이다.

셋째, 본 연구에서 활용된 터널은 4차선의 터널이다. 향후에는 2차선, 3차선 등 다양한 차로수의 터널에 대한 연구도 추가되어야 할 것이다.

넷째, 졸음으로 인한 사고 관련하여 졸음발생지점에 대한 적정길이 산정에 대한 연구가 추가되어야 할 것이다.

References

Akamatsu, M., Imachou, N., Sasaki, Y., Ushiro-Oka, H., Hamanaka, T., Sakauchi, Y. and Onuk, M. (2003). “Simulator study on driver's behavior while driving through a tunnel in rolling area.” *Proc. of the Driving Simulation Conference*, M.I.

Amundsen, F. H. (1992) “Driver behavior in norwegian road tunnels.” *Toward a Deeper Understanding. Directorate of Public Roads*, Oslo.

Kang, N. W. (2001). “Yuksimnyeong tunnel ventilation using disused railroad inclined shaft.” *Korean Tunneling Association*, Vol. 2001, No. 5, pp. 111-136.

Kim, J. H., Kim, H. Y., Keum, K. J. and Kim M. S. (2000). “A study on the driver visual behavior on highway tunnel section.” *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 20, No. 3-D, pp. 273-282.

Kim, J. M. and Noh, K. S. (2007). “Drivers' behavior on long tunnel using driving simulator.” *2007 Journal of the Korean Society of Road Engineers*.

Lee, H. S. (2002). *A study on the speed variation characteristics in tunnel section of the expressway*, Master’s Thesis, Kwandong University.

Lee, J. H., Kim, J. W., Kim, D. S. and Lee, S. B. (2008). “A Study on safety improvement of safety devices at entrance of expressway tunnels.” *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 10, No. 4, pp. 235-245.

Lee, K. Y. and Lee, H. B. (2004). “A study on the speed reduction factor in expressway tunnel section.” *Korea Road & Transportation Association*, Vol. 97.

Martens, M. H., Tonrors, J. and Kaptein, M. A. (2000). *Effects of emergengy lane, exits and entries and wall pattern in tennels on driving behavior: Driving simulator studies*, Safety Standards for Road Design and Redesign, SAFESTAR Project.

Ministry of Land (2008). *Explanation and guidelines on the standards of road structure and facilities* (in Korean).

Ministry of Land (2008). *Highway design manual* (in Korean).

Park, H. J., Hwang, K. J. and Shin, H. J. (2007). “A study on driver's characteristics in long tunnel using driving simulator.” *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 26, No. 2, pp. 89-102.

Ryu, J. B., Shin, Y. K., Park, S. J. and Han, J. H. (2011). “The simulator study on driving safety while driving through the longitudinal tunnel.” *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 13, No. 1, pp. 149-156.

Shin, Y. K and et al. (1996). “The influence of geometric design of motorway on driver’s driving behaviour.” *Road Traffic Authority*, 96-13-286.

Wang, Y. W., Keum, K. J., Son, S. N., Yoo, J. S. (2010). “A study on development evaluation modeling internal landscape in tunnel considering human sensitivity engineering.” *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol. 12, No. 1, pp. 9-20.