한국도로학회 논문집
第10券4號 2008年 12月
pp. 235 ~ 245

터널 입구부 안전시설물 안전성 증대방안 연구

A Study on Safety Improvement of Safety Devices at Entrance of Expressway Tunnels

이 점 호* 김 장 욱** 김 덕 수*** 이 수 범****
Lee, Jeom Ho Kim, Jang Wook Kim, Deok Soo Lee, Soo Beom

Abstract

Since rapidly increase of tunnel with increasing of expressway, the study on safety improvement of safety device at entrance of expressway tunnels is necessary. The existence of tunnel occurs more speed reduction than an upward slope by itself, the collision accident of tunnel entrance causes heavier damage than that of general accident on the road. So, many kinds of safety devices such as poly-ethylene barrier, guard-rail are placed on the road side. But these devices affect the drivers as an obstacle. Although there are various safety devices that are placed at tunnel entrance, this study is related to following 2-cases. One is that the poly-ethylene barrier is placed and the other is that a safety devices is not placed. The reason that these two cases are selected, is that poly-ethylene barrier is usually placed at many tunnel entraces and safety devices can affect the drivers as an obstacle. This study is related to the difference of right-hand side clearance between inside tunnel and outside tunnel, too. The average difference observed car speed and VDS(vehicle detect system) speed nearby the tunnel is analysed. Through the statistical analysis of the average difference, this study suggests an alternatives on safety improvement of safety devices at entrance of expressway tunnels. It is concluded that the small difference of right-hand side clearance is desirable to drivers when a poly-ethylene barrier is placed. And when the difference of right-hand side clearance is large, no safety devices is desirable, and when the difference of right-hand side clearance is small, poly-ethylene barrier should be placed to improve safety.

Keywords : road safety estimation, tunnel, lane placement

요 지

본 연구에서는 도로의 증가와 더불어 급속히 증가하고 있는 터널에서 차량이 터널에 진입할 때의 속도편차를 분석하여 터널 입구부의 안전성을 증진할 수 있는 방안에 대하여 연구하였다. 터널의 존재는 운전자에게 그 자체만으로서 단순한 오르막 경사보다 더 큰 속도 감소를 유발하며, 터널 입구부에서 발생하는 차량 충돌사고는 다른 도로구간에서 발생하는 사고와 비교해 볼 때 피해가 더 크다. 따라서 사고로 인한 피해를 경감시키기 위해 터널 입구부에 PE방호벽이나 가드레일 등의 안전시설을 설치하고 있지만, 운전자에게 이것은 또 다른 장애물로 인식될 수 있다. 터널 입구부에 설치되어 있는 안전시설물의 형태는 크게 PE방호벽, 가드레일, PE 드럼 등이 있으나, 본 연구에서는 고속도로 터널 입구에 일반적으로 가장 많이 설치되어 있는 PE방호벽과 운전자에게 장애물로 인식될 수 있는 이러한 안전시설물이 설치되어 있지 않은 경우로 크게 구분하였다. 또한 터널 내부로 진입할 때 갓길을 포함 우측방여유폭의 차이가 큰 경우와 작은 경우로 구분하였다. 4가지 형태의 터널 입구부에서의 차량속도와 일반도로구간에서의 VDS(차량검지체계)로 수집된 속도의 차이를 분석에 사용하였다. 통계적 검증을 통하여 안전시설물 설치 형태와 우측방여유폭의 차이에 따른 각 Case별 유의성을 검토하여 터널 입구부 안전성 증진을 위한 대안을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 도로안전성평가, 터널, 편향주행

* 정회원 · 전북도시경영연구원 연구위원
** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 연구교수
*** 비회원 · 한양대학교 교통공학과 박사과정
**** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 1970년대 경부고속도로 개통 이후 급속한 경제발전을 이루면서, 도로망의 급속한 증가를 보여 왔다. 1978년 14개소였던 터널 현황이 2008년 말에는 450개, 총 연장은 336km에 달하게 되었다. 최근 개통되는 노선의 경우, 지형적 여건에 의해 터널을 많이 포함하고 있으며, 이러한 터널은 기하구조적인 측면(종단경사, 터널부 전방의 곡선반경, 터널길이, 터널내부의 차선폭과 측방여유폭)과 운전자 행태의 변화로 인해 일반도로 구간과는 다른 운전행태를 유발한다. 운전자 행태의 변화는 교통사고로 이어지게 되며 지난 2001~2005년동안 5년간 터널갱문부에서의 충돌사고현황을 보면, 총 96건에 사망 18명 부상 63명으로 충돌사고 1건당 0.84명의 사상률을 보이고 있다.

고속으로 주행하는 고속도로 상에서 갑작스러운 장애물의 출현은 운전자로 하여금 심한 긴장감과 압박감을 유발하게 된다. 운전경력이 많은 능숙한 운전자는 침착하게 몇 초 안되는 짧은 시간동안 적절한 대응방안을 판단하여 대처함으로써 교통사고 또는 다른 위험요소를 피해 나갈 수 있겠지만, 초보운전자 및 고령운전자와 같이 인지반응시간이 다소 오래 소요되는 운전자에게는 교통사고를 유발할 수 있는 큰 요인이 된다. 터널의 경우, 많은 운전자들은 터널 입구가 블랙홀처럼 보여 진입시 긴장감이 고조되며, 터널입구에서의 어두움에 대한 적응이 늦어지게 되어 잠깐동안 주행에 필요한 정보획득이 불완전한 상태가 됨에 따라 장애물을 인지하였을 때와 유사한 반응을 보이게 된다. 따라서 터널은 그 존재 자체만으로도 운전자에게 긴장감과 압박감을 유발하게 되며, 터널 입구부에 설치되어 있는 각종 안전시설(PE드럼, 가드레일 등)은 안전성 증진을 위해 설치되어 있지만, 운전자 입장에서는 한 가지 형태의 장애물로 인지하게 되어 운전자에게 스트레스를 유발하고 운전자들은 자신의 의지와 상관없이 무의식적으로 그에 대한 반응을 나타내게 된다.

차량의 성능이 향상되어 빠른 가속력과 우수한 제동력을 가진 차량이 늘어나면서 차량간 상대속도 차이가 증가하고 이에 따라 운전자의 행태변화도 빨라져야 하지만 운전자의 반응속도는 차량의 성능에 따라 변화를 보일 수 없는 것이 현실이다. 또한 차량의 성능향상에 따라 고속도로의 제한속도를 110km/h로 상향조정한 노선이 상용되고 있고, 곡선반경 및 편경사 등을 이용하여 곡선부에 진입하면서 감속하고, 곡선부를 진출하면서 가속하는 행태의 변화를 최소화함으로서 안전성을 증진시키고 있는 실정이다.

이와 같이 차량의 성능향상을 비롯하여 여러 가지 도로주행여건이 변화하고 있지만, 터널에 대한 안전대책은 큰 변화가 없는 것이 현실이다. 따라서 터널 입구부에서 운전자의 운전행태에 영향을 미치는 여러 가지 인자 중에서 현실적으로 대안제시가 가능한 인자에 대한 연구를 통해 터널 입구부의 안전성 증진을 위한 대안을 제시하는 것은 의미가 있을 것으로 판단한다.

1.2 연구의 범위 및 목적

본 연구에서는 고속주행이라는 위험요소가 상존하고 있는 고속도로 터널 입구부를 1) 터널 입구부에 설치되어 있는 안전시설의 형태가 PE방호벽인 경우와 안전시설물이 설치되어 있지 않은 미설치의 경우, 2) 우측방여유폭의 변화가 큰 경우와 적은 경우로 구분하였다. 이러한 도로환경여건의 변화가 차량이 주행할 때 차로 상에서 한 쪽 방향으로 치우쳐 주행하게 하는 특성을 함께 고려하였다.

본 연구의 목적은 각기 다른 터널입구부의 안전시설형태와 우측방여유폭에 따라 운전자가 가·감속하는 행태와 차로 상에서 차량의 치우쳐 주행하는 운전행태를 분석하여 운전자들이 주행 중 느낄 수 있는 스트레스를 좀 더 경감시켜 안전성을 증진할 수 있도록 터널 입구부에서의 안전시설물 설치방안을

제시하고자 한다.

표 1. 연구대상 분류

우측방여유폭 / 안전시설형태	변화가 큰 경우 (1.5m 이상)	변화가 적은 경우 (0.8m 이하)
PE방호벽	Case 1	Case 2
미설치	Case 3	Case 4

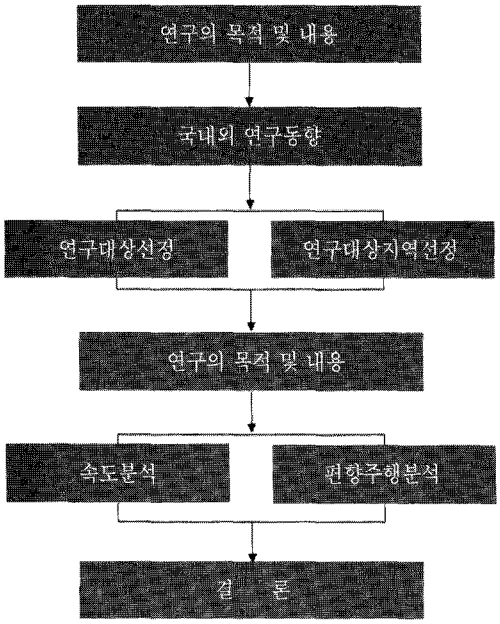


그림 1. 연구 흐름도

2. 기존연구 고찰

2.1 터널부 교통류 일반특성

일반적인 도로구간에서 정상적으로 주행중인 차량이 터널부에 접근할 때 터널구간의 기하구조 측면(종단경사, 터널 전방의 곡선반경, 터널길이, 터널내부의 전체 차선폭, 터널내의 조도 등)과 같은 터널에 대한 운전자의 심리적인 요인 등에 의해 속도저하 및 용량감소 현상으로 차량의 지체를 유발하게 된다.

터널입구 부근에서 속도저하 및 용량감소 현상을 일으키는 요인을 살펴보면 다음과 같다.

- 터널입구 직전에서는 입구가 블랙홀(Black Hole)처럼 보여 진입시 긴장감이 고조된다.
- 터널입구에서는 어두움에 대한 적응이 늦어지므로 잠깐동안 주행에 필요한 정보획득이 불안전한 상태가 된다.
- 측벽 및 천장 등으로 인한 압박감, 폐쇄감 때문에 심리적으로 불안한 상태가 된다.
- 일정한 간격으로 설치된 조명기구로 인해 주변시야의 조도가 변한다.
- 노견폭, 시계, 측방여유폭이 밝은 부분에 비해 좁아지며 압박감이 생긴다.
- 전자의 중추신경계 및 자율신경계가 터널 유입전에 비해서 활성화됨으로 인한 속도저하가 발생한다.

2.2 터널구간에서의 운전자 행태

고속도로를 주행중인 운전자에게 터널은 그 자체만으로도 일종의 장애물로 인식되어 운전자의 행태에 많은 영향을 미치게 된다. 이와 관련된 연구들을 살펴보면 다음과 같다.

유경수 외 2인(1995)은 터널이 속도저하에 미치는 요소 및 그에 대한 영향 정도를 분석하였는데 터널의 존재로 인한 속도감소는 단순한 오르막 경사 구간보다 더 큰 것으로 나타났다. 그리고 현장조사 자료를 이용한 터널부 지체추정 모형의 개발을 통해 터널 유입부의 통행속도 감소는 터널 전방 종단경사 및 곡선반경 그리고 터널길이의 3개 요소에 의해 가장 크게 영향을 받는 것으로 분석하였다.

김호영(1999)은 고속도로 터널구간에서 시각정보 분석장치(TALK EYE)를 이용하여 운전자의 시각행태 분석을 통하여 터널구간에서의 주행속도 감소가 과소부하로 인한 생리반응의 감소라고 판단하여 이를 해결하기 위해 운전자 인지 조도의 개선, 터널내

부의 측방 여유폭 확보, 터널입구의 크기 확대가 필요한 것으로 제시하였다.

2.3 터널 진입전 운전자 행태 특성 분석

홍승표 외 3인(2006)은 고속도로 터널 진입부 운전자 반응특성을 분석하였는데 터널 진입전 200m 지점과 터널입구에서의 운전자 반응 값을 나타내는 β파의 수치를 보면 진입전 200m 지점에서 21.28에서 터널 입구에서는 25.48로 19.7%의 증가를 보여 운전자들이 더 많은 긴장감과 압박감을 느끼는 것으로 나타났으며, 이 차이는 통계적으로 유의한 것으로 분석하였다. 김주영 외 2인(2005)은 터널 입구부(터널전방의 차로변경 금지표지가 있는 지점부터 터널입구까지) 약 200m 구간에서 운전자의 시각적 반응과 주행속도에 관한 분석을 통해 터널입구부에서 운전자의 반응수준 및 주행속도가 모두 증가하는 것으로 분석하였다.

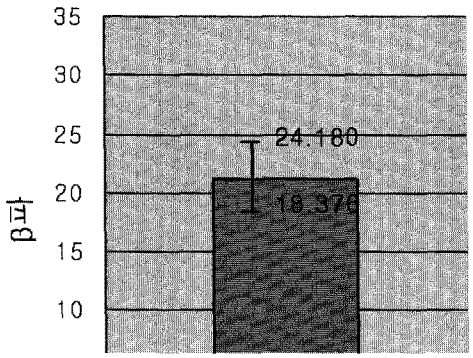


그림 2. 터널진입전 200m지점과 입구에서의 β파

2.4 속도의 분산(편차)와 교통사고의 관계

이점호 외 2인(2000)은 평면곡선부의 자유속도변화와 교통사고에 대한 영향분석에서 곡선반경별 최저속도와 최저속도가 나타나는 위치를 분석하였고, 해당 도로구간의 교통사고 자료를 비교·분석하여 평면곡선 내의 속도변화와 교통사고 발생간의 관계를 규명하였다.

그 결과, 곡선부에서의 속도변화폭이 클수록 교통사고위험성이 크고, 실제 교통사고 발생건수도 높은 것으로 나타났다. 그림 3은 9개의 조사지점 중 곡선반경이 150m, 250m, 300m인 평면곡선에서 교통사고건수-자유속도궤적변화 관계와 함께 전체 교통사고건수와 자유속도에 의한 교통사고 감소를 보여주고 있다. 진입부 속도에 비해 속도감소가 가장 큰 지점에서 교통사고가 많았고, 교통사고건수가 높은 지점에서는 속도의 분산정도도 크게 나타났다.

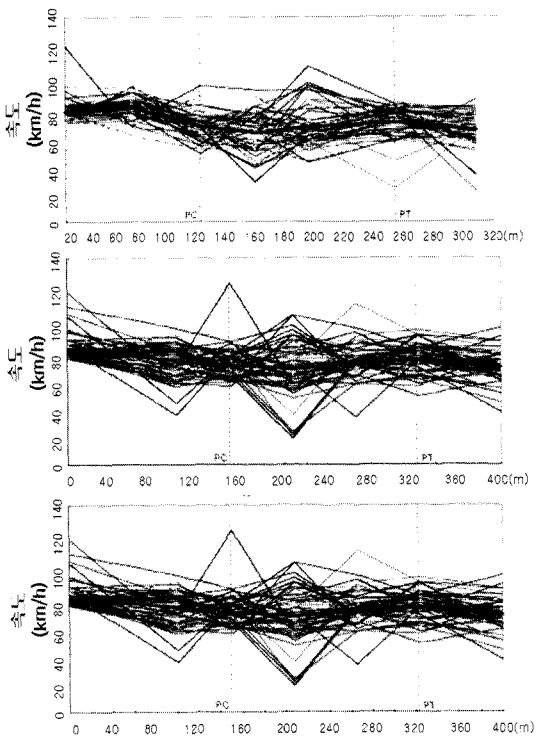


그림 3. 곡선반경별 사고건수와 자유속도변화

2.5 도로기하구조와 교통사고위험과의 관계

차량의 주행속도는 종단선형의 특성에 의해 영향을 받는다. 트럭과 버스는 특히 속도가 확연히 떨어

지는 오르막길 경사도의 영향을 받으며 긴 내리막길에서 가파른 종단경사가 있을 경우, 고속으로 달리는 무거운 차량이 제동을 한다면 평지에서 보다 감속도가 떨어져서 더 긴 제동거리를 갖게 되며 사고위험이 커질 수 있다. 표 2의 Pucher에 인용된 Bitzl(1966)의 조사를 보면, 독일의 2차로 도로에서 종단경사와 사고율 사이의 비례관계가 입증되었으며, 독일의 고속도로에서 행한 연구를 보면 6%~8%의 종단경사에서 2%이하의 종단경사보다 4배 이상 교통사고가 일어난다고 지적했다.

표 2. Bitzl의 연구(독일의 고속도로)

경 사(%)	사고율(1억대·km)
0~2	46.5
2~4	67.2
4~6	190.0
6~8	210.5

Krebs와 Kloeckner(1977)는 독일의 2차로 지방도로에서 발생한 교통사고 자료를 분석하였는데 약 6% 종단경사까지는 교통사고율이 경미하게 증가하나 6% 이상의 종단경사에서는 교통사고율이 급격히 증가함을 밝혔다. 즉 5% 종단경사까지는 교통사고율에 특별한 영향을 미치지 못함이 밝혀졌다. 최근 미국에서 이루어진 연구에서 보면 내리막길과 오르막길에서 교통량이 같다고 가정하면 내리막길에서의 교통사고율이 오르막길에서 보다 더 높다. 이는 표 3에서도 알 수 있는 사실이다.

표 3. 교통사고빈도와 교통사고심각도간의 관계

Vertical alignment	Number of accidents	Percent of total accidents	Percent injured	Percent killed
Level	2001	34.6	53.6	4.7
Upgrade	943	16.3	55.6	3.9
Downgrade	1533	26.5	58.4	5.1
Up on crest	373	6.5	59.5	6.0
Down on crest	461	8.0	62.6	5.9
Up on sag	258	4.5	57.8	6.3
Down on sag	211	3.7	61.7	6.8
Total known	5780	100.0		
Total unknown	2192			
Total	7972			

2.6 속도와 사고위험과의 관계

Marie taylor(2000)는 200~300개의 도로를 조사하여 수많은 차량의 속도를 측정했다. 이 연구의 목적은 차량속도를 관찰하여, Database상에서 특정구간의 도로에서 교통사고빈도와 교통사고와의 관계를 찾는 것이었다. 속도와 교통사고와의 관계를 분석한 결과 속도가 증가함에 따라 교통사고빈도가 급격하게 증가한 것을 밝혀내고 있다.

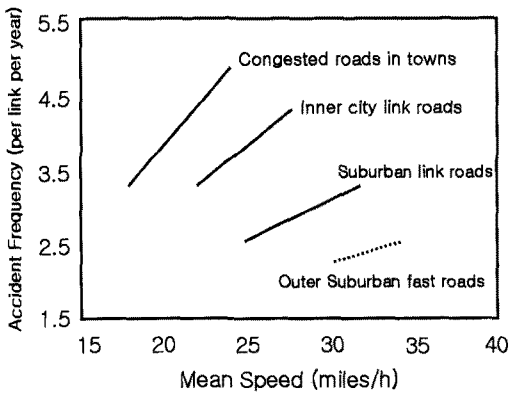


그림 4. 속도와 사고빈도와의 관계

교통전문가마다 조금씩 다른 견해의 차이가 있지만 일반적으로 속도가 교통사고의 원인 중 가장 중요한 요인인 것으로 알려져 있다. 1964년 Solomon의 연구를 필두로 2001년 Frank Navin의 연구에 이르기까지 도로상의 교통사고의 원인을 규명하기 위해 많은 연구를 해오고 있다. 최근까지 진행된 연구들은 안전하게 도로를 운영하기 위해서 차량들의 속도분산을 최소화시켜주는 것이 효과적이라는 주장이 가장 큰 설득력을 얻고 있다. 표 4는 기존 사례연구들을 통한 속도와 교통사고와의 관계를 정의한 것이다.

표 4. 기존 연구의 주요 연구내용

연구자	연구내용	결과
Solomon (1964)	속도의 분산에 따른 교통사고와의 관계를 정의	평균속도보다 높거나 낮은 경우 높은 사고 위험의 원인이 됨
Australia Study	교통사고 직전속도와 평균속도를 이용 (MSMAC이용)	평균속도 60km/h 이상에서는 위험도가 지수적으로 증가함
Saskatchewan Rural Highways	평균차량속도, 속도 분산, 사고비율간의 선형회귀 분석	평균속도 1km/h 감소 →부상사고 7% 감소
U.K. Experience (EURO모형)	평균속도와 속도 차이가 사고빈도에 미치는 영향을 분석	평균속도 1km/h 감소 →교통사고빈도 2.6%감소
Nordic Road Experience	제한속도를 (110km/h→90km/h)로 낮추어 분석함	부상사고 27% 감소 사망사고 21% 감소
Frank Navin(2001)	교통사고건수와 사망건수에 관한 예측식 개발	운행속도의 분산을 줄이는 것이 사고 발생을 최소화함

3. 연구방법

3.1 연구대상의 설정

고속도로 터널 입구부에는 PE방호벽, PC방호벽, 가드레일, 콘크리트 방호벽, 옹벽 등의 다양한 안전시설물이 설치되어 있고, 터널 내부에는 유고상황 발생시 비상차량의 통행을 위하여 길어깨가 확보되어 있다. 본 연구에서는 현재 고속도로 터널 입구부에 가장 많이 설치되어 있는 PE방호벽과 이러한 안전시설물이 설치되어 있지 않은 미설치로 크게 구분하고, 각 분류별로 길어깨를 포함한 우측방여유폭의 변화가 큰 경우(1.5m 이상)과 변화가 적은 경우(0.8m 이하)로 구분하여 분석하였다.

표 5. 연구대상 분류

안전시설형태	우측방여유폭 차이	연구대상
PE방호벽	변화가 큰 경우(1.5m 이상)	Case 1
	변화가 적은 경우(0.8m 이하)	Case 2
미설치	변화가 큰 경우(1.5m 이상)	Case 3
	변화가 적은 경우(0.8m 이하)	Case 4

3.2 연구대상지역 선정

분석대상은 모두 편도 2차로 터널로서 기하구조(종단경사, 곡선반경)에 의한 영향을 최소화하기 위하여 종단경사 2% 미만, 곡선반경 2,000m 이상인 터널을 대상으로 실시하였다.

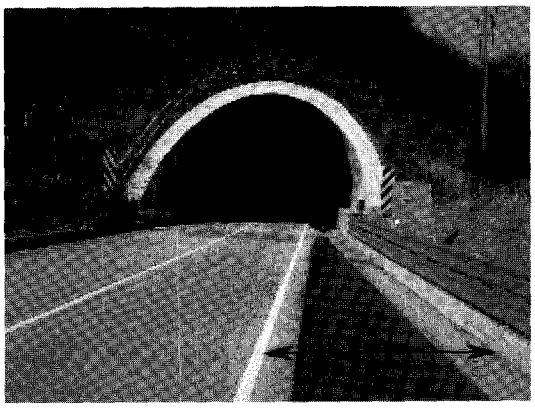


그림 5. 터널 진입전과 터널내부의 우측방여유폭 차이

선행차량에 의해 영향을 받지 않는 개별차량의 속도를 이용하기 위하여 교통량이 많지 않은 주말에 교통량이 집중되지 않는 방향의 터널을 선택하여 조사를 실시하였다.

표 6. 연구대상 터널 안전시설물 형태 및 우측방여유폭

연구대상	터널명 (방향)	안전시설물 형태	우측방여유폭(m)		우측방여유폭 차이 (m) (A-B)	조사시간
			중부2터널 (하남)	터널내부 (B)		
Case1	중부2터널 (하남)	PE 방호벽	2.70	0.88	대 (1.82)	4.20(일) 08:10~09:10
Case2	하번천터널 (하남)		3.01	2.28	소 (0.73)	4.20(일) 10:30~11:30
Case3	불정터널 (마산)	미설치	3.95	2.23	대 (1.72)	4.19(토) 13:15~14:15
Case4	진남터널 (마산)		3.00	2.28	소 (0.72)	4.19(토) 11:30~12:30

연구대상 터널의 기하구조현황은 표 7과 같다.

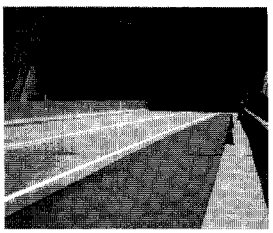
표 7. 연구대상 터널 기하구조 현황

연 구 대 상	터널명 (방향)	노선명	이정 (km)	연장 (m)	차로 수	종단 경사 (%)	곡선 반경 (m)
Case1	중부2터널 (하남)	35호선 중부선	351.6	252	2	0.76	3,000
Case2	하번천터널 (하남)	37호선 제2중부선	350.2	445	2	1.0	2,100
Case3	불정터널 (마산)	45호선 중부내륙선	173.8	194	2	1.9	4,500
Case4	진남터널 (마산)	45호선 중부내륙선	176.7	992	2	0.5	6,900

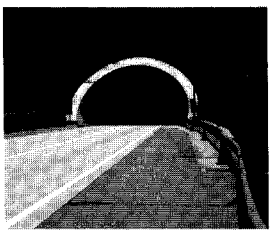
연구대상 터널 입구의 안전시설물 설치형태와 입구부 전경은 그림 6과 같다.

Case 1〔중부2터널(하남)〕

Case 2〔하번천터널(하남)〕



Case 1〔불정터널(마산)〕



Case 1〔진남터널(마산)〕

그림 6. 터널 입구부 안전시설물 설치현황 및 전경

3.3 자료수집 및 분석방법

가. 속도자료

대상 터널 입구부 상단에 비디오 영상녹화기를 설치하였으며 정확한 거리 자료의 수집을 위하여 길어깨 우측단에 5개의 러버콘(Rubber Cone)을 20m 등간격으로 설치하여 1시간동안 현장자료를 수집하였다. 시간자료는 영상재생기(Premier 2.0)에서 제시하는 1/30초 단위의 프레임 단위 값을 사용하였다. 터널 입구부에서 나타나는 통행특성의 일관성있는 분석을 위하여 2가지 형태(PE방호벽, 미설치)의 안전시설물과 우측방여유폭의 변화에 의해 영향을 받는 2차로를 통과하는 승용차(승합차 포함)만을 대상으로 하였으며, 분석구간에서 차로변경을 하는 차량은 분석대상에서 제외하였다. 각 지점에서의 통과시간을 측정하여 단위구간길이(20m)를 두 측정지점간 통행시간으로 나누어 속도자료를 수집하였으며, 인접 VDS (Vehicle Detect System ; 이하 VDS)에서 측정된 동일날짜의 동일시간대 VDS 속도자료와 편차를 해당 터널 속도자료의 수로 나누어 속도의 평균편차를 산출하였다.

$$\text{평균속도편차} = \frac{|\text{속도측정값} - \text{터널인접VDS의 동일시간대 평균속도}|}{\text{해당터널 속도자료의 수}}$$

터널 입구부 형상 및 기타 여러 가지 환경요인에 의한 요소를 배제하기는 어려우므로 20m 간격의 4개 구간 중에서 평균속도편차가 가장 큰 구간을 분석대상으로 하였다.

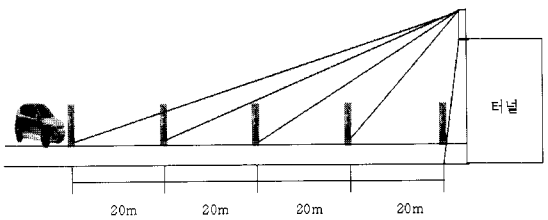


그림 7. 속도자료 수집

나. 편향주행(Lane Placement)[1)]

2차로를 주행하는 차량이 우측편에 설치되어 있는

1) 편향주행(Lane Placement) : 차로의 중심에서 차량의 중심이 어느 한 쪽으로 치우쳐 주행하는 행태

안전시설물(PE방호벽, 가드레일, 미설치)과 우측방여유폭이 변화하는 정도에 따라 차로의 중심에서 벗어나 좌측으로 치우쳐 주행하게 되는데 이러한 차량의 행태는 1차로를 주행하는 차량과 차량간의 폭이 좁아져 1차로를 주행하는 차량에 영향을 미치고, 심한 경우 측면 충돌사고로 이어질 가능성이 있다. 따라서 이러한 행태를 보이는 차량의 비율을 통해 안전시설물과 우측방여유폭의 변화가 운전자들이 운전을 하는데 있어 운전자에게 긴장감과 압박감을 유발하는 요인으로서 작용하는지 여부를 분석해 보았다.

$$Lane\ Placement[\text{비율}] = \frac{\text{편향주행하는 차량대수}}{\text{해당터널 관측차량대수}}$$

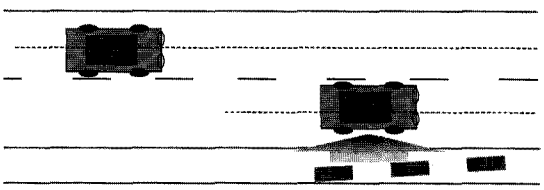


그림 8. 속도자료 수집

4. 자료 분석 결과

4.1 속도자료 분석

가. 속도와 평균속도편차

각 차량의 측정된 속도와 대상 터널인접 VDS에서 동일날짜의 동일시간대 평균통행속도를 구하여 평균속도편차를 구한 값이 표 8과 같이 나타났다.

PE방호벽이 설치되어 있는 Case 1과 Case 2 경우에 관측차량과 VDS의 평균속도 편차를 살펴보면, Case 1은 17.42, Case 2는 12.62로 Case 2가 작게 나타났다. 또한 안전시설물이 설치되어 있지 않은 Case 3과 Case 4의 경우에 관측차량과 VDS의 평균속도 편차를 살펴보면 Case 3은 13.48, Case 4는 14.84로 Case 3이 작게 나타났다.

우측방여유폭 차이가 큰 Case 1과 Case 3의 관측차량과 VDS의 평균속도 편차를 살펴보면 Case 1은 17.42, Case 3은 13.48로 Case 3이 작게 나타난다. 또한 우측방여유폭 차이가 작은 Case 2와 Case 4의 관측차량과 VDS의 평균속도편차의 경우, Case 2는 12.62, Case 4는 14.84로 Case2가 작게 나타났다.

관측된 전체 차량의 평균속도를 보면 Case 3(96.88 km/h)<Case 2(96.93 km/h)<Case 4(103.68 km/h)<Case 1(120.42 km/h)의 순서로 크게 나타났으며, 반면에 VDS 평균속도와 평균속도 편차는 Case 2(12.62)<Case 3(13.48)<Case 4(14.84)<Case 1(17.42)의 순서로 동일하게 나타났다. 즉 단순히 평균속도가 크기 때문에 평균속도편차가 크게 나타난 것이 아니라, 안전시설물의 설치유무와 우측방여유폭의 변화와 같은 영향요소에 의해 평균속도편차가 새로운 양상으로 나타난 것이다.

표 8. 관측차량과 터널 인접 VDS 평균속도의 평균편차

연구대상	안전시설형태	우측방여유폭차이 (m) (A-B)	관측차량대수 (관측속도값 개수)	관측차량평균속도 (km/h)	터널인접 VDS평균속도 (km/h)	관측차량과 VDS의 평균속도 편차
Case1	PE 방호벽	대 1.82m	155대	120.42	113.0	17.42
Case2		소 0.73m	200대	96.93	103.8	12.62
Case3	미설치	대 1.72m	181대	96.88	104.3	13.48
Case4		소 0.72m	199대	103.68	111.0	14.84

나. 통계적 검증

본 연구에서는 터널 입구부에 PE방호벽이 설치되어 있는 경우와 안전시설물이 설치되어 있지 않은 경우, 그리고 우측방여유폭의 변화가 크거나 작은 경우에 대하여 관측차량과 VDS의 평균속도편차를 비교

하여 안전성 측면에서 우수한 방안을 제시하고자 한다. 그러나 관측차량과 VDS의 평균속도편차의 차이가 크지 않고, 각 Case의 평균속도편차 차이에 대한 유의성 검증을 통하여 서로 유의하다는 것을 나타내고자 한다.

이를 위하여 본 연구에서는 통계패키지인 SPSS 12.0을 이용하여 안전시설물 설치 형태에 따른 Case 1, 2와 3, 4 그리고 우측방여유폭 차이에 따른 Case 1, 3과 2, 4에 대한 비교를 독립 t-test를 통하여 수행하였다. 각 Case별 평균속도편차에 대한 통계량을 표 9에 제시하였다.

각 Case별 평균속도편차에 대한 비교를 위하여 안전시설물 설치유무와 우측방여유폭 차이에 따라 2개의 Case를 짝을 지어 독립검정 t-test를 수행하였으며, 분석결과는 표 10과 같다. 분석결과, 95% 신뢰수준에서 Case 1-2, Case 1-3, Case 2-4는 서로 유의한 것으로 나타났으나 Case 3-4는 두 Case간의 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 9. 각 Case별 평균속도편차의 통계량

구분	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Case1	155	17.4207	15.50783	1.24562
Case2	200	12.6185	8.21993	0.58124
Case3	181	13.4833	9.65853	0.71791
Case4	199	14.8431	9.90741	0.70232

4.2 편향주행(Lane Placement) 분석

각 터널에서 편향주행 차량의 비율을 조사한 결과는 표 11과 같이 나타났다.

표 10. 각 Case별 평균속도편차에 대한 독립검정 t-test 결과

구분				t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Case1	Equal Variances assumed	35.117	.000	3.753	353	.000	4.80226	1.27972	2.28543	7.31908
Case2	Equal Variances not assumed			3.494	220.283	.001	4.80226	1.37456	2.09330	7.51122
Case3	Equal Variances assumed	.689	.407	-1.352	378	.177	-1.35977	1.00553	-3.33690	.61736
Case4	Equal Variances not assumed			-1.354	376.175	.177	-1.35977	1.00432	-3.33454	.61501
Case1	Equal Variances assumed	19.519	.000	2.834	334	.005	3.93739	1.38929	1.20452	6.67025
Case3	Equal Variances not assumed			2.739	249.729	.007	3.93739	1.43769	1.10583	6.76894
Case2	Equal Variances assumed	7.013	.008	-2.441	397	.015	-2.22464	.91122	-4.01605	-.43323
Case4	Equal Variances not assumed			-2.440	383.235	.015	-2.22464	.91164	-4.01708	-.43220

표 11. 편향주행 차량 비율

연 구 대 상	안전시설 형태	우측방 여유폭 차이(m) (A-B)	조사대상 차량대수	Lane Placement [비율]	곡선반경
Case1	PE방호벽	대 (1.82)	152	138[90.8%] (③)	3,000 (③)
Case2		소 (0.73)	199	187[94.0%] (④)	2,100 (④)
Case3	미설치	대 (1.72)	181	121[66.9%] (②)	4,500 (②)
Case4		소 (0.72)	199	128[64.3%] (①)	6,900 (①)

( )안의 숫자는 Case별 순위를 나타냄.

Lane Placement비율은 Case4<Case2<Case3<Case1의 순서로 평균속도편차와는 다른 양상을 보였으며, 이는 곡선반경의 크기와 동일한 순으로 나타났다. 즉 Lane Placement는 터널 입구부에 설치되어 있는 안전시설물이나 우측방여유폭의 변화에 의한 영향보다는 곡선반경에 따라 차량에 작용하는 원심력에 의해 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1 결 론

본 연구에서는 시간이 지나면서 계속 증가하고 있는 터널의 현황에 맞추어 터널입구부에 설치되어 있는 안전시설물의 형태와 우측방여유폭의 변화에 따라 운전자가 갖게 되는 부담감이나 위압감을 분석하여 터널입구부 안전시설물의 안전성을 증진할 수 있는 대안을 제시하기 위하여 터널입구부에서 차량의 속도변화를 분석하고, 차량의 주행에 영향을 미치는 여러 요소에 의해 나타나는 Lane Placement 비율을 비교·분석하였다. 다음은 본 연구를 통하여 터널 입구부 안전성 증진을 위하여 제시하는 대안이다.

- PE방호벽이 설치되어 있는 경우 우측방여유폭의 차이가 작은 경우 운전자가 갖게 되는 부담감이나 위압감이 경감될 수 있으므로, 터널 설계 및 시공 단계에서부터 터널내부의 길어깨 및 측방여유폭을 확보해야 할 것이다.
- 우측방여유폭의 차이가 큰 경우 안전시설물이 설치되어 있지 않는 것이 바람직하며, 우측방여유폭의 차이가 작은 경우에는 PE방호벽을 설치하는 것이 안전측면에서 유리하다. 이 결과를 감안해 볼 때, PE방호벽이 설치된다는 것은 운전자 입장에서 PE방호벽 자체가 장애물로 인식되기 때문에 교통사고의 심각성을 경감시키는 효과는 있지만, 교통사고의 건수를 경감시키는 측면에서 보면 역효과가 나타난다. 우측방여유폭 차이가 작은 경우 고속주행을 하는 운전자의 입장에서 PE방호벽을 설치하여 터널 단면 안으로 자연스럽게 유도를 하는 것이 바람직하다.
- Lane Placement 분석결과, 곡선반경이 작은 경우, 차량의 편향주행 비율이 높아져 옆 차로를 주행하는 차량에 영향을 미칠 가능성이 커지기 때문에 터널 입구부에서는 곡선반경이 커야 하며, 곡선반경을 확보하기 어려운 경우 터널 입구부와 충분한 거리를 두고 직선에 가깝게 차량이 주행할 수 있도록 선형계획을 하는 노력이 필요할 것이다.

5.2 향후 연구과제

이번 연구에서는 2차로를 주행하는 차량의 우측에 설치되어 있는 안전시설물과 우측방여유폭의 변화에 따른 운전자의 행태변화를 중심으로 분석해 보았다. 2차로를 주행하는 차량의 운전자는 차량의 우측에 설치되어 있는 안전시설물과 우측방여유폭에 의해 영향을 많이 받겠지만, 1차로를 주행하는 운전자는 좌측방여유폭에 의해 영향을 많이 받게 된다. 일반적으로 좌측방여유폭은 우측방여유폭에 비해 협소하고, 중차량 혼입률이 적어 고속 주행하는 차량이 많다. 따라서 터널 입구부에서 터널 진입전의 좌측방여유폭과 터널

진입후 터널 내부의 좌측방여유폭의 변화에 의해 운전자들이 느끼는 긴장감이나 압박감 또한 클 것으로 사료되며, 이에 대한 분석도 터널 입구부에서의 안전성 증진을 위한 향후 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

김주영, 박지현, 이정윤 (2005), "터널구간에서의 운전자 반응과 차량주행 특성에 관한 고찰", 한국도로교통협회지(도로교통 100호), pp.48-63

김주영, 홍승표, 이정윤 (2006), "터널구간에서의 운전자 반응과 차량주행 특성에 관한 고찰", 한국도로교통협회 협회지(도로교통 106호), pp.30-41

김주현, 김호영, 금기정, 김명수 (2000), "고속도로 터널구간에서의 운전자 시각행태 변화에 관한 연구", 대한토목학회, 제20권 제3-D호, pp.273-282

김준현, 김진태, 장명순, 문영준 (2002), "모의실험 전산모형을 위한 도심고속도로 합류부 간격수락행태모형 개발", 대한교통학회지 제20권 제6호 통권64호, pp.115-128

김호영 (1999), "고속도로 터널구간에서의 운전자 시각행태 분석에 관한 연구", 명지대학교 공학석사 학위논문

신용균, 이건호, 강수철 (1996), "고속도로 기하구조가 운전자 운전행동에 미치는 영향", 도로교통안전협회

신용균 (1997), "도로기하구조와 운전행동과의 관계", 교통안전연구논집(1997 제16집), pp.65-75

유경수, 이호병, 이기영 (1995), "고속도로 교통지체구간 개선방안 연구", 한국도로공사

이점호, 이동민, 최재성 (2000), "평면곡선부의 속도 및 교통사고 영향분석연구", 대한교통학회지, 제18권 제1호, pp.35-43

홍승표, 장명순, 오철, 김주영 (2006), "고속도로 터널 진입부 운전자 반응특성에 관한 연구", 대한교통학회 학술발표회 논문집, pp.694-700

Bitzl, F. (1966), "The Influehce of Road-Characteristics on Traffic Safety", *Research Road Construction and Road Traffic laws(Zeitschriftfuer Verkehrsrecht)*, vol. 11, pp 233-238, Germany

FHWA(1978), "*Hanbook of Highway Safety Design and Operating Practices*"

Krebs, H.G. and J.H. Kloeckner(1977), "Investigations of Effect of Highway and Traffic Conditions Outside Built-up Areas on Accident Rates", *Research Road Construction and Road Traffic Technique (Forschung Strassenbau und strasse nverkehrstechnik), Minister of Transportation*, vol.223, pp. 1-63, Germany

Pucher, R(1963), "Methods to Increase Safety in Traffic", *Research Works from Road Engineering, New Sequence*, vol.56. Germany

Ruediger Lamm(1999), "*Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*"

Taylor M (2001), "The speeds of vehicles involved in fatal accidents", *Traffic Engineering & Control*, Vol 43, No 2. pp.44-48

접 수 일 : 2008. 8. 11
심 사 일 : 2008. 8. 11
심사완료일 : 2008. 9. 23