

■ 論 文 ■

### 연속터널구간에서 터널간격에 따른 속도변화특성에 관한 연구

A Study on the Speed Variation Characteristics According to  
Tunnel Intervals in the Continuous Tunnel Conditions

정 흥 근

((주)다산이엔씨 도로부 이사)

서 승 환

((주)동성엔지니어링 부사장)

원 제 무

(한양대학교 도시대학원 교수)

#### 목 차

- I. 서론
  - 1. 연구의 배경 및 목적
  - 2. 연구의 범위 및 방법
- II. 관련문헌검토
  - 1. 터널부 교통류 일반특성
  - 2. 터널구간에서의 운전자의 행태
  - 3. 터널구간에서의 도로 교통용량
  - 4. 터널구간에서의 시각변화
  - 5. 고속도로 터널구간에서의 사고현황 검토
  - 6. 터널구간에서의 주행속도와 시지각 변화
- III. 자료의 수집 및 정리
  - 1. 조사지점의 선정 및 특성
- 2. 조사지점의 자료조사
- IV. 분석결과
  - 1. 독립터널에서의 속도변화 분석
  - 2. 연속터널에서의 속도변화 분석
  - 3. 연속터널에서의 터널간격별 속도변화 분석
  - 4. 연속터널에서의 속도변화가 없는 터널간격 산출
- V. 결론 및 향후 연구과제
  - 1. 결론
  - 2. 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 독립터널, 연속터널, 암순응, 터널간거리(터널간격), 터널길이

#### 요 약

본 논문은 중앙고속도로 급대2터널~치악1터널 구간의 연속터널을 대상으로 하였다. 독립터널과 연속터널 구간에서 교통량에 의한 속도간섭 없이 자유속도로 주행할 때 터널구간에서의 속도변화를 살펴보고 이러한 속도변화를 고려한 터널간 이격거리 산출에 중점을 두었으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 독립된 터널에서 터널 전방 1km지점과 터널부(진입전·후지점)와의 속도변화 및 속도감소량은 평균 7.1km/hr(6.9%)로 나타났으며 연속터널구간에서도 터널진입부에서 평균 2.7km/hr(2.9%)의 속도가 감소하나, 터널진출부에서의 속도변화는 -3.6km/hr(-3.8%)의 속도감소에서 +4.1km/hr(+4.7%)의 속도증가까지 불규칙적으로 나타났다.

둘째, 연속터널에서는 터널간격이 짧을 경우는(조사대상 터널간 거리중 392m까지) 속도가 감소하고 터널간격이 길 경우에는(조사대상 터널간 거리중 782m부터) 속도가 증가하는 것으로 분석되었다.

셋째, 조사결과를 다중회귀분석을 이용하여 연속터널에서 속도변화가 없는 터널간 거리를 산정한 결과, 터널간 이격거리는 732m로 산정되었으며 이러한 거리는 연속터널간을 주행시 속도분포가 거의 균등화되어 교통상의 안정류를 가질 수 있는 것으로 분석되었다.

## 1. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 2000년 12월 31일 현재 전국의 터널<sup>1)</sup>은(상·하행) 391개소에 달하며 이중 고속도로 터널은 168개소로서 43.0%, 국도터널은 101개소(25.8%) 특별광역시도 터널은 76개소(19.4%), 지방도 터널은 25개소(6.4%), 시도터널은 21개소(5.4%)이다. 이중 고속도로 터널은 연장이 98,511km로서 고속도로 전체연장 2,040km중 4.8%에 해당된다.

국도의 70%가 산지 및 구릉지로 구성된 우리나라의 지형특성으로 인해 고속도로는 물론 간선기능 도로의 산지통과시의 노선계획은 지역생활권 및 농지의 보전, 자연 환경보호, 통행비용 절감 등을 위하여 터널의 설치가 필요하게 된다.

터널설치 구간은 산지우회 통과구간 보다는 평면 및 종단선형이 좋고 자연환경 보전차원에서는 유리하나, 주간운전시 일반도로에 비해 낮은 조명도 및 협소한 측방여유, 운전자가 느끼는 폐쇄감, 압박감 등 정상적인 기분구간보다 불리한 심리적 요인에 따른 운전상의 근본적 문제점을 내포하고 있고 이로 인하여 교통사고 유발가능성 및 사고발생시 처리의 어려움, 터널구간내의 차로변경 불허로 인한 평균 주행속도저하 등을 유발할 수 있다.

현재 우리나라의 신설고속도로 계획시 환경친화적인 도로건설 방안의 하나로 터널이 계속 증가되는 추세에 있고 노선선정시 독립터널외에 연속되는 터널이 상대적으로 증가되고 있어 연속터널 구간에서 터널간격에 따른 주행속도 변화특성의 연구는 매우 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다.

기 선행된 연구자료의 대부분은 연속터널의 적정간격에 대한 연구가 전무한 실정이며 독립터널의 교통류 특성 및 용량감소, 지체 구간분석(종단경사영향) 등에 한정되어 있어 본 연구에서는 고속도로의 연속되는 터널구간을 선정하여 통과 차량의 주행속도 특성을 조사하고 속도변화와 터널간 거리의 상관관계를 분석하여 연속터널간의 간격기준을 제시함으로써 향후 도로안전에 기여할 수 있는 도로터널계획을 위한

기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

#### 1) 연구의 범위

본 연구에서는 터널이 위치하는 도로의 여러 유형 중 고속도로상의 터널분석을 중심으로 하였다. 이는 도시내 혹은 여타 국도, 지방도에 비해 고속도로가 신호 또는 여러 가지 제약조건으로 방해받지 않는 연속적인 교통흐름 입을 감안할 때 고속도로상의 터널 부가 순수한 터널의 영향만으로서 속도변화상태를 찾아낼 수 있기 때문이다.

따라서, 조사대상 구간을 현재 운영중인 고속도로상의 연속터널 중 중앙고속도로 S.T192.5K~196.3K(L=3.8km)구간의 금대2터널, 금대1터널, 치악4터널, 치악3터널, 치악2터널의 대구방향과(연속터널 5개소) 치악1터널, 치악2터널, 치악3터널, 치악4터널, 금대1터널, 금대2터널의 원주방향(연속터널 6개소)등으로 나누어 선정하고 연속통과구간 내에서 터널통과전(진입부), 터널통과후(진출부)지점을 조사지점으로 선정하였다.

조사대상 구간의 터널연장은 147~328m 범위로 매우 짧고, 터널내부 구간의 속도변화와 터널의 진출입부의 조도차의 영향은 극히 작으므로 단순히 진입과 진출이 반복되는 짧은 터널구간에서 자유속도가 유지되고 터널영향의 변화만을 받을 수 있는 시간적·공간적 범위로 국한시켰다.

#### 2) 연구의 방법

본 연구는 분석대상 구간으로 선정된 구간의 교통량자료, 터널간 간격 등을 고려하여 현장조사를 통한 주행속도의 자료를 수집하고 유효표본수의 결과를 토대로 분석을 시행한다. 분석방법은 터널간 거리와 터널내 선형(곡선반경)을 변수로 하고 다중회귀분석을 통하여 모형화 한다. 터널간 적정간격 제시를 위한 비교대안으로서 속도변화를 종속변수로 선정한 결과와 터널간 거리를 종속변수로 선정한 결과 중 적합성을 고려하여 연속터널 주행시 속도분포의 균등화가 가능하고 교통상의 안정류를 나타낼 수 있는 터널간 거리를 도출하는 과정으로 진행된다.

1) 건설교통부, '도로업무편람', 2001.

## II. 관련문헌 검토

### 1. 터널부 교통류 일반특성

도로 일반구간 에서 정상적으로 주행중인 차량이 터널부 접근시 측방여유폭 및 터널에 대한 운전자의 심리적인 요인 등에 의해 속도저하 및 용량감소 현상으로 차량의 지체를 유발하게 된다.

특히, 이러한 터널 입구 부근에서 속도저하와 차량간의 거리증대를 일으키는 요인을 살펴보면 다음과 같다.

- 터널입구 직전에서는 입구가 블랙홀(Black Hole) 처럼 보여 진입시 긴장감이 고조된다
- 터널입구 에서는 어두움에 대한 적응이 늦어지므로 잠깐동안 주행에 필요한 정보획득이 불안정한 상태가 된다.
- 측벽 및 천장 등으로 인한 압박감, 폐쇄감 때문에 심리적으로 불안한 상태가 된다
- 일정한 간격으로 설치된 조명기구로 인해 주변 시야의 조도가 변한다.
- 노면폭, 시계, 측방여유폭이 밝은 부분에 비해 좁아지며 압박감이 생긴다.
- 운전자의 중추신경계 및 자율신경계가 터널 유입전에 비해서 활성화됨으로 인한 속도저하가 발생한다.<sup>2)</sup>

### 2. 터널구간에서의 운전자의 행태<sup>2)</sup>

고속도로 기하구조가 운전자 운전행동에 미치는 영향의 연구에서는 고속도로의 기하 구조적인 특징은 주행중인 운전자에게 영향을 미칠수 있는, 즉 운전행동을 결정하는 중요한 요인 중에 하나이다.

주위 환경영향 요인을 최소화 할 수 있는 터널을

선정하여 터널유입전 200m와 터널유입후의 운전자의 행동 및 생리반응 등을 평가하고 상호 비교하여 그 차이점을 제시하고자 하였다.

터널구간의 경우 터널구간에 유입한 후 운전자의 중추신경계 및 자율신경계가 터널유입전에 비해서 활성화된 것으로 나타났다.

또한, 터널내 에서의 주행속도는 터널구간에 따라 다르나 터널구간 유입후부터 감속추세를 보이다가 터널중간지점을 지나면서 완만한 속도의 상승을 보이면서 터널후반부 에서 주행속도가 증가하는 추세를 보이는 결론이 도출되었다.

### 3. 터널구간에서의 도로교통용량

Levinson, Golenberg, Howard<sup>3)</sup>는 미국의 Callahan 터널구간에 대해 교통관리를 하기전과 후의 터널용량 변화를 관찰하였다.

이 연구를 통해 교통관리전 의 터널용량은 차로당 1,600~1,650vph를 보였으나, 터널 유입부의 도류화, 터널전방의 요금징수소 제거, 터널출구의 개선 등을 통해 대략 차로당 200vph가 증가하였음을 보고하였다. 터널에서는 도로교통용량이 감소된다는 일부 보고는 있으나, 미국과 우리나라는 도로의 서비스 교통량 산정시 터널에 대한 보정계수를 적용하지 않고 있다.

국내 연구 결과<sup>4)</sup>에 의하면 독립된 터널에서는 기존 차로용량 2,200pcphpl에 비해 4.2%로 감소된 2,108pcphpl로 조사·분석되었으며 연속터널의 경우 용량은 2,079pcphpl로 5.5%로 감소하는 것으로 연구되어 독립터널보다 용량의 감소폭이 좀더 큰 것으로 연구되었다.

이러한 용량감소 요인으로는 터널내·외부간 조도차, 경사 등의 물리적인 요인과 운전자가 느끼는 심리적인 요인이 작용한 것으로 분석하고 있다.

2) 신용균·이건호·강수철, '고속도로 기하구조가 운전자 운전행동에 미치는 영향', 도로교통 안전협회, 1996.

① 뇌파(EEG:Electro-encephalo-graphy)는 터널진입시 서파인 델타파( $\delta$ )는 감소하고 각성과 관련이 있는 베타파( $\beta$ )는 증가하는 것으로 나타나 각성상태에 들어가는 것으로 나타남.

② 피부전기활동(GSR:Galvanic Skin Response)은 최소 피부저항값과 최고 피부저항값 모두 약간 감소하는 것으로 나타남.

③ 심장활동(ECG:Electro-cardio-graphy)은 터널 마지막 지점에서 심장활동이 빨라지고 중반에서는 심장활동이 약간 느려지는 것으로 나타났다. 이는 자율신경계의 변화로 예측할수 있음.

④ 호흡활동(RSP:Respiration)은 깊은 호흡 이후 불규칙적인 호흡의 형태를 보이다 안정의 상태로 돌아온다. 1회 평균 호흡활동의 변화로 중추 신경계의 활성화를 예측할 수 있음.

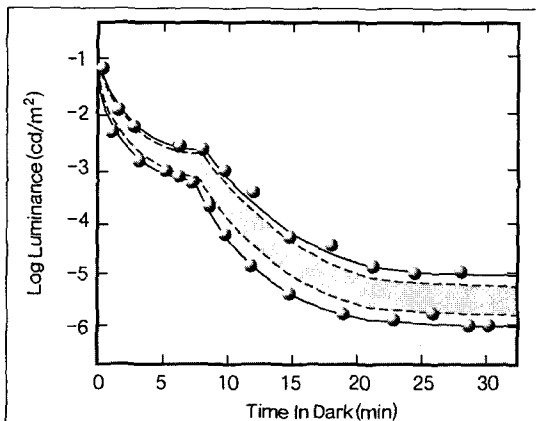
3) Levinson, Golenberg, Howard 'Callahan Tunnel Capacity Management', TRR, TRB USA, 1985.

4) 이재호, '국도상 터널구간의 교통류 특성 및 용량산정에 관한 연구', 한양대 석사논문, 2000.

#### 4. 터널구간에서의 시각변화

밝은 장소에서 어두운 곳으로 들어가서 눈이 익숙해져서 시력을 회복하는 것을 암순응<sup>5)</sup>(Dark adaptation)이라고 한다.

암순응에 걸리는 시간은 명순응보다는 길고 완전한 암순응에는 30분 혹은 그 이상 걸리기도 한다. 따라서 급격한 명암 반응의 변화는 순응에 장애를 일으킨다. 또한 어두운 곳에서 밝은 곳으로 나올 때 빠른시간의 밝기에 순응하는 시력을 명순응<sup>5)</sup>(Light adaptation)이라 하며, 시간은 약 30~40초가 소요된다. 터널간격의 측면에서 볼 때 명순응에 걸리는 시간은 수초의 시간에 불과하므로 그 영향은 미미하며 암순응 또한 급격한 암순응이 최초 2~3분에 일어나므로 본 연구 대상구간의 시각변화는 짧은터널이 반복되어 암순응과 명순응의 영향은 크지 않은 것으로 보인다.



〈그림 1〉 시간변화에 따른 암순응 변화<sup>6)</sup>

#### 5. 고속도로 터널구간에서의 사고현황 검토

터널구간의 경우 기본구간과 비교시 사고율<sup>7)</sup>의 관점에서 더욱 위험하다고 단정적으로 말할 수는 없지만, V/C가 높은 경우, 즉 V/C=0.67 이상인 경우에는 터널 구간이 기본 구간보다 사고발생 가능성이 높은 것으

〈표 1〉 고속도로 터널부에서의 교통사고 현황<sup>8)</sup>

구 분		98년				99년			
		중부	강원	호남	경남	중부	강원	호남	경남
터널 (개소)	독립	14	8	10	8	14	8	10	8
	연속	4	10	5	4	4	10	5	4
	계	18	18	15	12	18	18	15	12
사고 건수	독립	12	6	1	-	8	7	2	4
	연속	-	5	3	2	-	6	3	2
	계	12	11	4	2	8	13	5	6

〈표 2〉 고속도로의 장소별 사고건수<sup>8)</sup>

구 분	비율 99	사고건수(건)			인명피해(명)		
		98	99	증감율	98	99	증감율
계	100	4,364	3,797	△13.0	4,150	3,063	△13.2
본 선	84.1	3,717	3,192	△14.1	3,675	3,248	△11.6
IC	5.5	215	209	△2.8	135	92	△31.9
TG	5.3	215	201	△6.5	109	75	△31.2
교 량	1.8	83	68	△18.1	92	68	△26.1
터 널	0.9	29	35	20.7	33	48	45.5
정류장	0.6	34	23	△32.3	48	23	△52.1
본선진출부	0.7	32	26	△18.8	23	16	△30.4
비상활주로	0.5	20	20	-	27	40	△25.9
휴게소	0.58	16	22	37.5	7	13	85.7
평면교차로	0.02	3	1	△16.7	1	-	△100

※ 본선의 사고는 84.1%를 차지하며 IC, TG, 교량등은 사고건수가 감소 하였으나 터널 및 휴게소 사고증가가 두드러짐.

로 분석되었고, V/C가 0.5~0.8구간에서는 기본구간과 터널구간의 사고율이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

고속도로 터널에서의 사고현황을 비교한 결과, 〈표 1〉과 같이 전반적으로 독립터널과 연속터널의 사고 건수는 비슷한 것으로 조사되었다. 또한 고속도로의 장소별 사고 건수는 〈표 2〉와 같다.

#### 6. 터널구간에서의 주행속도와 시지각 변화<sup>9)</sup>

명지대학교 김호영은 중부고속도로 중부4터널(터널 L=490m, 종단경사1.47%, 곡선반경4,830m)을 대

5) 윤동호·이상욱·최역, '안과학 : 명순응과 암순응', pp.66~67.

6) 1차 급격한 암순응은 최초 2~3분에 일어나며 완전한 순응은 30분이상 소요된다.

7) 오철·장재남·장명순, '고속도로 시설물 구간의 교통혼잡도와 사고율의 관계분석(신갈-안산 고속도로를 중심으로)', 대한교통학회지, 제17권 제2호, 1999. 6.

8) 한국도로공사, '고속도로 교통사고 통계를 (90~99년 실적)토대로 재정리, 2000. 4.

9) 김호영·금기정, '고속도로 터널구간에서의 운전자 시각행태 분석에 관한 연구', 명지대학교 공학석사학위 논문, 1999. 12.

〈표 3〉 주행속도변화(피실험자 1, 2, 3의 평균)

지점(m)	주행속도(km/h)	속도변화율(%)
터널미확인(0m)	107	0
터널확인(500m)	109	2
터널진입전(900m)	100	-7
터널내부(1,100m)	96	-10
터널진출시(1,500m)	103	-4
터널진출후(1,600m)	105	-2
터널진출후(1,700m)	108	1

주) 주행속도의 변화율은 0m지점의 주행속도에 대한 변화율임.

상으로 실험차량을 이용한 주행속도 조사와 TALK EYE를 이용하여 운전자의 시각행태 분석을 시행하였으며, 주행속도의 조사내용은 〈표 3〉과 같다. 평균 주행속도 변화는 피 실험자가 터널 미확인 구간에서는 주행속도가 일정하며 터널확인 가능한 500m 지점에서 부터는 속도가 완만히 감속 추세를 보이다가, 터널내부 구간인 1,100m 지점에서 주행속도가 최저가 되고 1,200m지점을 지나면서 속도가 완만히 상승하였고 터널진출 후 1,600m 지점에서 부터는 터널 미확인 구간인 주행속도로 회복되는 것으로 분석되었다.

시각행태의 분석결과는 교통류를 변화시키는 요인을 기하학적인 요인(종단경사, 곡선반경, 터널길이, 터널내부의 차로폭 및 측방여유폭)과 Human factor 영향 즉, 운전자의 시각행태의 변화도 영향을 미친다고 하였다.

첫째, 고속도로 터널구간에서는 터널진입 후 200m 사이에서 주행속도, 좌·우 주시영역 폭, 동체속도가 최저가 된다.

둘째, 고속도로 터널구간에서 나타나는 조도의 변화, 측방여유폭의 감소, 암순응 등의 과소 부하(Under Load)는 좌우 주시영역폭을 좁아지게 하고 동체속도를 감소하게 하며, 이것은 운전자의 운전수행 능력을 저하시켜 주행속도를 감소시킨다.

셋째, 고속도로 터널구간 곡선부에서는 운전자는 곡선부 내측 보다는 중앙이나 외측을 주시하는 것으로 파악되었다. 이러한 고속도로 터널구간에서의 주행속도 감소는 과소부하로 인한 생리반응의 감소이므로 이를 해결하기 위해서는 운전자 인지 조도의 개선, 터널내부의 측방 여유폭 확보, 터널입구의 크기 확대가 필요한 것으로 제시하였다.

### III. 자료의 수집 및 정리

#### 1. 조사지점의 선정 및 특성

본 연구의 목적에 적합한 결과를 산출하기 위해서는 우선 〈표 4〉와 같이 현재 운영중인 고속도로에서 연속터널의 설치 현황을 조사하였다.

연속터널 대상구간 중에서 교통량이 비교적 적고 종단 및 평면선형이 비교적 양호하여 자유속도로 주행하는 시간대가 많은 중앙고속도로상의 금대터널~치악터널구간 (왕복11개소 터널)을 대상으로 선정하였다.

대상구간은 남원주IC~신림IC(L=18.6km) 구간사이에 위치한 터널로 상·하행선 편도2차로(왕복4차로)로 운영되고 있다.

본 구간의 주요특징으로서는 종단경사가 2.8%로 전 터널구간이 일정하며, 터널내에서의 평면선형(곡선반경)은 차악1터널이 R=700m으로 다소 좋지 않은 선형을 나타내고 있으나 대부분의 터널은 R=1,000m을 넘어서 도로여건은 나쁘지 않아 도로여건에 의한 주행속도의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

#### 2. 조사지점의 자료 조사

##### 1) 속도조사 과정보 및 방법

본 조사에서는 차량의 회차구간이 비교적 짧은(남원주~신림간, L=18.6km)점을 이용, 4대의 차량을 이용하여 타 차량의 영향을 받지 않고 자유속도로 주행하는 차량을 대상으로, 그 차량과 동일한 속도로 주행함으로써 조사대상차량의 각 지점별 속도를 조사하는 방법을 이용하였다.

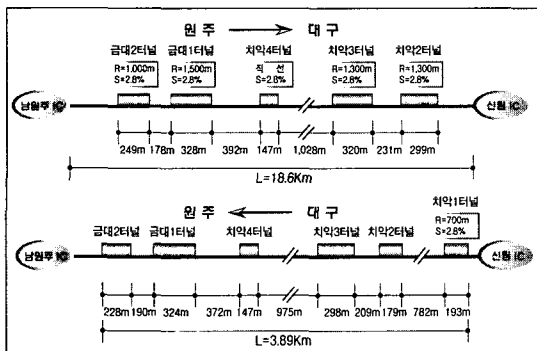
본 조사방법은 과다한 장비나 인력을 투입하지 않는 장점을 가진 반면 조사치의 오차(본 연구에서는 1~5km/h로 파악함)가 다른 조사에 비해 다소 크며, 적정 표본수를 얻는데 다소 시간이 걸리는 단점을 가지고 있는 것으로 분석되었다.

##### 2) 적정 표본수 선정

본 조사에서는 보다 정확한 조사결과를 얻기 위해 조사 시간대의 전체 교통량을 이용, 통계적 기법을 이용하여 적정 표본수를 선정하였다.

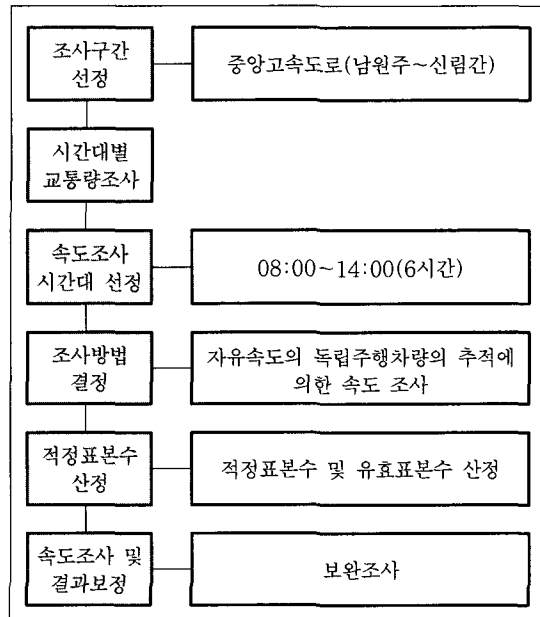
〈표 4〉 고속도로상의 연속터널 설치현황

노선별	터널명	위치 (km)	연장(m)		준공년도	터널간 거리(km)	행정구역
			상행	하행			
구마고속도로	달성1터널	18.67	1,387	1,362	1995.11	0.27	경북달성
	달성1터널	20.30	993	969	"		"
중부고속도로	중부2터널	13.4	236	252	1987.11	1.07	경기광주
	중부3터널	14.8	378	369	"		"
서해안고속도로	무안1터널	330.99	480	480	1998.10	1.2	전남무안
	무안2터널	332.67	310	320	"	1.0	"
	무안3터널	334.03	280	280	"	0.3	"
	무안4터널	334.7	280	310	"		"
	순산터널	29.7	684	627	1996.12	0.82	경기화성
팔곡터널	31.2	351	336	"	"		
대전-진주 고속도로	독산터널	157.81	445	470	1996.12	0.15	경남진주
	신울터널	158.40	230	225	"		"
영동고속도로	진부2터널	154.10	185	203	1999.11	0.82	강원대관령
	진부3터널	155.10	604	599	"		"
중앙고속도로	금대2터널	196.2	228	249	1995.9	0.19	강원제천
	금대1터널	195.7	324	328	"	0.37	"
	치악4터널	195.2	147	147	"	0.98	"
	치악3터널	193.9	298	320	"		"
	치악2터널	193.5	179	299	"	0.21	"
	치악1터널	192.5	193	-	"	0.78	"



〈그림 2〉 조사대상 연속터널 도로여건도 (중앙고속도로 원주↔대구)

식(1)에 의거 95%의 신뢰수준에 정밀도를 1.0km/h로 할 경우 조사시간대의 교통량을 기준으로 각 지점별 적정 표본수는 50개 전후로 산출되었으나 신뢰할 수 없는 조사자료의 소거 등을 고려하여 본 조사에서는 유효 표본수가 적정 표본수를 상회할 수 있도록 각 지점별로 123개의 표본조사를 실시하였다. 적정 표본수 산정 결과, 전 지점에서의 표본수는 10~116



주) 실험차량의 속도계기판은 최소단위가 5-10km/h로 조사자의 개인차이 및 신뢰정도등을 고려 한계범위 1~5km/h로 감안하였음.

〈그림 3〉 속도조사 과정도

개로 조사량 123대를 초과하지 않는 것으로 산출되었다.

$$n = \frac{(z/d)^2 \times s^2 + 1}{(1/N)(z/d)^2 \times s^2 + 1} \quad (1)$$

여기서,

n : 표본수

z : 신뢰도(95% 신뢰수준)

N : 모집단의수(조사시간대 교통량 2,480대/편도 × 4일 = 9,920대)

s : 표준편차

d : 정밀도(2km/h)

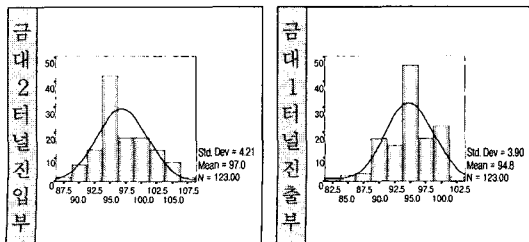
### 3) 속도분포 및 유효표본수 산정

유효표본의 범위는 각 조사지점에서 조사된 123개의 조사자료중 분포도를 작성하여 각 분포도에서 표준편차 범위내의 조사자료를 유효표본으로 하였다.

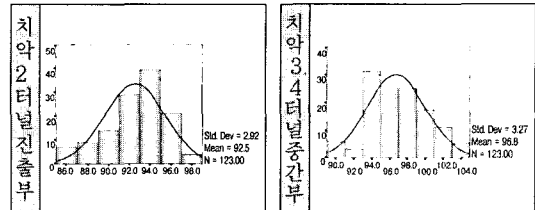
유효표본 산정결과, 각 지점별 유효표본수는 평균 95개(72~107개)로 각 지점의 조사량 123개의 77.2%로 나타났으며, 전체 교통량 대비 유효표본수의 비율

〈표 5〉 각 지점별 유효 표본분석

조사 지점	모집단의수 (교통량(A))	표준 편차 (km/h)	조사 표본수 (B,개)	적정 표본수 (C,개)	유효 표본수 (D,개)	표본비율(%)		
						B/A	D/B	D/A
원주 → 대구방면								
금대2터널 진입부	9,920	4.2	123	69	78	1.2	63.4	0.8
금대1터널 진출부	9,920	3.9	123	59	77	1.2	62.6	0.8
대구 → 원주방면								
치악2터널 진출부	9,920	2.9	123	34	83	1.2	67.5	0.8
치악3,4터널 중간부	9,920	3.3	123	42	94	1.2	76.4	0.9



〈그림 4〉 각 지점별 조사자료 분포도(원주→대구방향)



〈그림 5〉 각 지점별 조사자료 분포도(대구→원주방향)

은 0.7~1.1%로 평균 0.9%로 분석되었다.

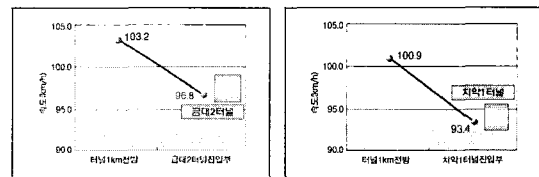
각 지점(샘플)의 조사자료 분포도 및 표본오차는 〈그림 4〉, 〈그림 5〉와 같다.

## N. 분석결과

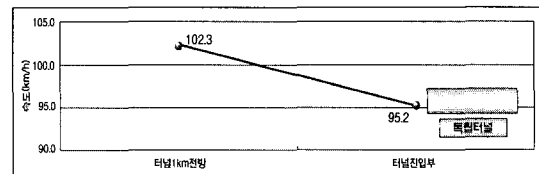
### 1. 독립터널에서의 속도변화 분석

독립터널 앞에서의 속도변화는 〈그림 7〉과 같이 터널전 일반구간의 평균속도가 102.3km/h인데 비해 터널진입부의 평균속도는 95.2km/h로 7.1km/h(6.9% 감소)의 속도가 감소하는 것으로 조사되었다.

운전자가 주행중 터널과 마주하게 되면 심리적으로 장애물로 인식하여 속도를 저하시키는 바, 본 연구에서 조사·분석한 결과, 〈표 6〉과 같이 평균적으로 6.9%의 속도저하가 발생하는 것으로 분석되었다.



〈그림 6〉 독립터널 진입부에서의 속도변화도



〈그림 7〉 독립터널 앞에서의 속도변화도(조사지점평균)

### 2. 연속터널에서의 속도변화 분석

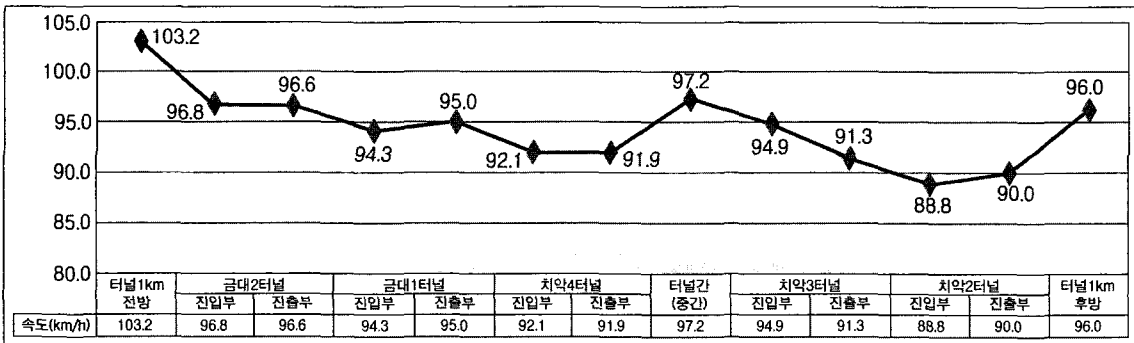
#### 1) 중앙고속도로(원주→대구방향 : 금대2터널→치악2터널)

3개이상 연속터널 구간에서의 속도변화 조사결

〈표 6〉 터널 진입부에서의 평균속도저하

구분	터널 1km전방에서의 평균속도(km/h)	첫번째터널 진입부에서의 평균속도(km/h)	속도감소량 (km/h)	감소비율 (%)
금대2터널	103.2	96.8	6.4	6.2%
치악1터널	100.9	93.4	7.5	7.5%
평균	102.3	95.2	7.1	6.9%

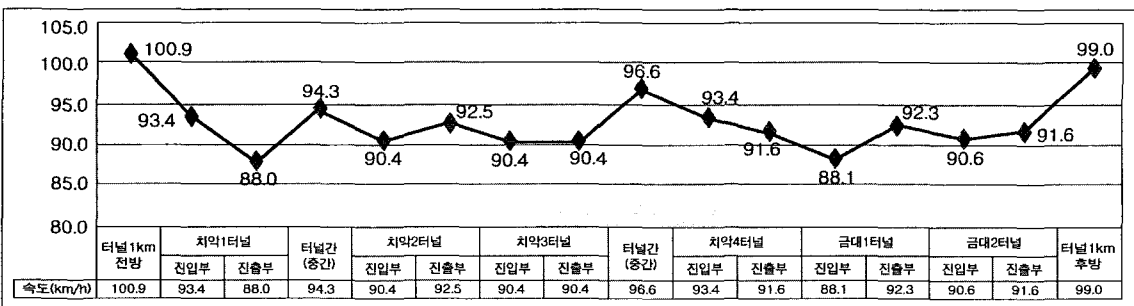
주) 고속도로에서 주변교통량에 의해 간섭받지 않는 자유속도 상태임.



〈그림 8〉 연속터널구간에서의 속도변화도(금대2터널→치악2터널)

〈표 7〉 연속터널구간에서의 속도변화(금대2터널→치악2터널)

구분	터널 1km 전방	금대2터널		금대1터널		치악4터널		터널간 (중간)	치악3터널		치악2터널		터널 1km 후방
		진입부	진출부	진입부	진출부	진입부	진출부		진입부	진출부	진입부	진출부	
속도(km/h)	103.2	96.8	96.6	94.3	95.0	92.1	91.9	97.2	94.9	91.3	88.8	90.0	96.0
속도차(km/h)	-	-6.4	-0.2	-2.4	0.8	-3.0	-0.2	5.3	-2.3	-3.6	-2.5	1.2	6.0



〈그림 9〉 연속터널구간에서의 속도변화도(치악1터널→금대2터널)

〈표 8〉 연속터널구간에서의 속도변화(치악1터널→금대2터널)

구분	터널 1km 전방	치악1터널		터널간 (중간)	치악2터널		치악3터널		터널간 (중간)	치악4터널		금대1터널		금대2터널		터널 1km 후방
		진입부	진출부		진입부	진출부	진입부	진출부		진입부	진출부	진입부	진출부	진입부	진출부	
속도(km/h)	100.9	93.4	88.0	94.3	90.4	92.5	90.4	90.4	96.6	93.4	91.6	88.1	92.3	90.6	91.6	99.0
속도차(km/h)	-	-7.5	-5.4	6.3	-3.9	2.1	-2.1	-0.1	6.3	-3.2	-1.8	-3.5	4.1	-1.7	1.0	7.4

과, 〈그림 8〉, 〈표 7〉과 같이 터널진입부에서는 2.3~6.4km/h의 속도가 감소하는 것으로 나타났다.

2) 중앙고속도로(대구→원주방향: 치악1터널→금대2터널)  
치악1→금대2터널간 연속터널구간에서의 속도변화 조사결과는 〈그림 9〉, 〈표 8〉과 같이 터널진입부



에서 1.7~7.5km/h의 속도가 감소하는 것으로 나타났다.

3) 분석결과

연속터널에서의 속도변화는 터널 자체에 의한 속도 변화와 더불어 터널의 기하구조 및 연장, 도로의 선형, 시거등 터널을 포함한 도로조건과 교통량 및 중차량의 구성비등 교통여건에 따라 속도증감의 폭은 다소 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.

연속터널 구간에서의 속도변화 분석결과, 전체적으로 첫 번째 터널의 진입부에서는 속도감소, 터널내부에서는 터널거리에 따라 다소 다르게 나타나지만 일반적으로 속도가 증가하는 것으로 나타났으며, 터널간 거리에 따라 일정거리를 기준으로 터널간 거리가 짧을 경우 속도가 감소하며 긴 경우에는 오히려 속도가 증가하는 것으로 분석되었다.

3. 연속터널에서의 터널간격별 속도변화 분석

1) 터널길이에 따른 속도변화 분석

첫 번째 터널 진입부에서의 속도감소 결과는 독립 터널에서 살펴보았으며 <표 9>는 터널길이에 따른 속도변화를 분석한 것이다. 분석결과, 장대터널이 아닌 일반적으로 1km이하의 터널에서는 터널길이에 따른 속도변화에 대한 일정한 규칙성을 가지지 않는 것으로 분석되었다. 이는 터널의 길이 보다는 치약1터널의 분석 결과와 같이 도로의 선형 등 기하구조와 터널구간에서 개별운전자의 행태가 터널내에서의 속도 변화에 더 큰 영향으로 작용하는 것으로 나타났다.

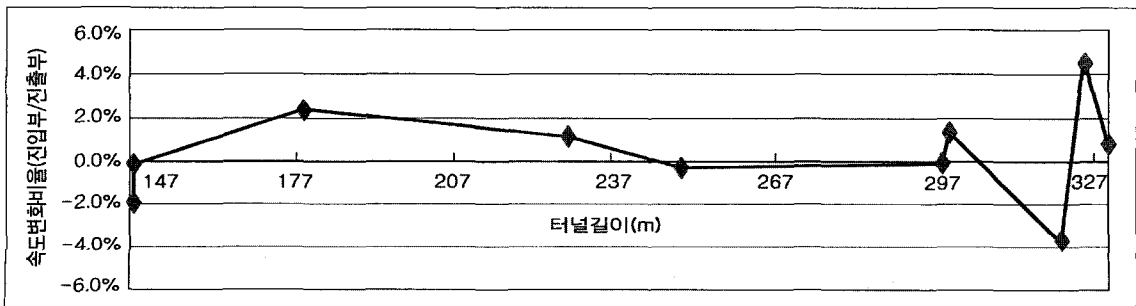
2) 터널간 거리에 따른 속도변화 분석

터널간 거리에 따른 속도변화는 <표 10>과 같이 터널간 거리가 392m까지는 속도감소의 폭은 커지나

<표 9> 연속터널구간에서의 터널길이에 따른 속도변화

터널명	방향	터널내곡선반경(m)	터널길이(m)	진입부속도(km/h)	진출부속도(km/h)	속도증감(km/h)	증감율(%)
치약4터널	대구→원주	직선	147	93.4	91.6	-1.8	-2.0
치약4터널	원주→대구	직선	147	92.1	91.9	-0.2	-0.2
치약2터널	대구→원주	1,300	179	90.4	92.5	2.1	2.3
금대2터널	대구→원주	1,000	228	90.6	91.6	1.0	1.1
금대2터널	원주→대구	1,000	249	96.8	96.6	-0.2	-0.2
치약3터널	대구→원주	1,300	298	90.4	90.4	-0.1	-0.1
치약2터널	원주→대구	1,300	299	88.8	90.0	1.2	1.3
치약3터널	원주→대구	1,300	320	94.9	91.3	-3.6	-3.8
금대1터널	대구→원주	1,500	324	88.1	92.3	4.1	4.7
금대1터널	원주→대구	1,500	328	94.3	95.0	0.8	0.8
평균	-	-	251.9	92.0	92.3	0.33	0.40

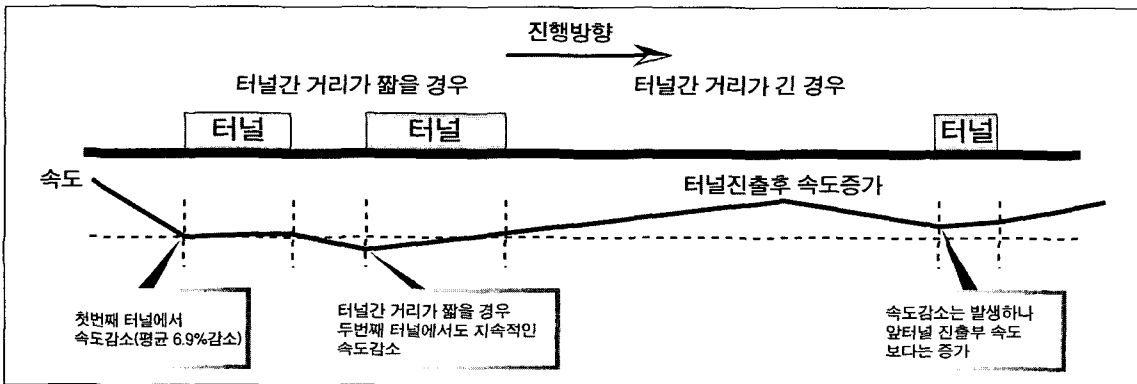
주) 평균값에서 치약1터널은 대상구간중 곡선반경(R=700m)이 제일작아 제외하였음.



<그림 10> 연속터널구간에서 터널길이에 따른 속도변화

〈표 10〉 연속터널구간에서의 터널간 거리(터널간격)에 따른 속도변화

진출부터널	진입부터널	진출부 터널내 곡선반경(m)	터널간거리 (m)	진출부속도 (km/h)	진입부속도 (km/h)	속도변화 (km/h)	증감율 (%)
금대2터널	금대1터널	1,000	178	96.6	94.3	-2.4	-2.4
금대1터널	금대2터널	1,500	190	92.3	90.6	-1.7	-1.8
치악2터널	치악3터널	1,300	209	92.5	90.4	-2.1	-2.2
치악3터널	치악2터널	1,300	231	91.3	88.8	-2.5	-2.7
치악4터널	금대1터널	직선	372	91.6	88.1	-3.5	-3.8
금대1터널	치악4터널	1,500	392	95.0	92.1	-3.0	-3.1
치악1터널	치악2터널	700	782	88.0	90.4	2.4	2.7
치악3터널	치악4터널	1,300	975	90.4	93.4	3.1	3.4
치악4터널	치악3터널	직선	1,028	91.9	94.9	3.0	3.3



〈그림 11〉 연속터널구간에서 속도변화도

782m부터는 오히려 속도가 증가하는 것으로 분석되었다.

이는 터널간 거리가 어느 정도 이상이 되면 터널사이에서 차량이 첫 번째 터널에서 감소된 속도를 회복한 다음, 두 번째 터널을 직면하게 됨으로 인해 연속터널로서의 영향이 저감되는 것으로 분석된다.

연속터널 구간에서의 속도변화를 개략도로 나타내면 〈그림 11〉과 같다.

4. 연속터널에서의 속도변화가 없는 터널간격 산출

터널과 터널간격의 속도변화에 영향을 미치는 물리적 요인들로는 터널내 및 터널과 터널간격의 중단경사, 선형, 터널간거리 등이 있으나 본 연구 조사대상터널의 경우 전체 터널구간의 중단경사가 동일하며, 터널사이의 선형도 직선으로 형성되어 있어 터널간격의 속도변화에 영향을 미치는 요인은 터널내의 선형(곡

선반경)과 터널간 거리로 압축된다.

그러므로 본 연구에서는 터널간거리와 진출부터널내 곡선반경이 터널간 속도변화에 미치는 영향을 분석하고 속도변화가 없는 터널간 거리를 산출하기 위해 SPSS Program을 이용, 다중회귀분석을 실시하였다.

1) 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)

터널간거리에 따른 속도변화, 터널간거리 및 터널내 선형(곡선반경)을 변수로 하여 〈표 11〉과 같이 다중회귀분석(Multiple regression analysis)을 시행한 바, 속도변화를 종속변수로 하고 터널간 거리와 터널내 선형을 독립변수로 했을 때 F값은 통계적으로 유의한 것으로 판단되며, 결정계수( $R^2$ )는 0.90으로 높은 설명력을 갖는 것으로 나타났으나 터널내 선형의 t값이 90% 신뢰 수준에서 다소 유의하지 않는 것으로 분석되었다. 터널간 거리를 종속변수로 하고 속

〈표 11〉 다중회귀분석결과

속도 변화를 종속 변수로 했을 때	분석모형	(S/D) = -3.992 + 7.905E-03(T/D) - 1.83E-04(R)			
	구 분	계수	t값	F값	R <sup>2</sup>
	상 수	-3.992	-6.540	26.887	0.900
	터널간 거리	7.905E-03	7.309		
	터널내 곡선반경	-1.83E-04	-1.887		
터널간 거리를 종속 변수로 했을 때	분석모형	(T/D) = 493.340 + 113.731(S/D) + 0.02384(R)			
	구 분	계수	t값	F값	R <sup>2</sup>
	상 수	493.340	8.978	30.472	0.910
	속도변화	113.731	7.309		
	터널내 곡선반경	0.02384	2.170		

주) (S/D) : 터널간거리에 따른 속도차이, (T/D) : 터널간 거리, (R) : 터널내 평면곡선반경

도변화와 터널내선형을 독립변수로 했을때는 F값 및 t값이 90% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 결정계수(R<sup>2</sup>)도 0.91로 높은 설명력을 갖는 것으로 분석되었다.

2) 속도변화가 없는 터널간격 산출

다중회귀분석 에서 설정된 모형으로 연속터널에서 속도의 변화가 없이 정속주행이 일어나는 터널간 거리 산출은 다음을 전제로 하였다.

- 터널내 평면선형이 직선일 때  
: 곡선반경 10,000m를 직선으로 함<sup>10)</sup>
- 터널간(앞터널의 진출부와 뒷터널의 진입부간) 속도 차이가 없을 때  
: 첫 번째터널 진출부 속도 - 두 번째터널 진입부 속도 = 0km/h

위의 전제로 연속터널에서 속도변화가 없이 정속주행이 일어나는 터널간 거리를 산출한 결과, 〈표 12〉와 같이 속도변화를 종속변수로 했을때는 737m, 터널간거리를 종속변수로 했을때는 732m로 분석되었으나 모형의 적합성을 고려할 때 터널간 거리를 종속변수로 한 모형에서 산출된 결과인 732m가 적합한 것으로 판단된다.

〈표 12〉 속도변화가 없는 터널간격 산출 결과

속도변화를 종속변수로 했을 경우 산출 결과	터널간거리를 종속변수로 했을 경우 산출 결과
737m	732m

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 독립된 터널과 연속터널 구간에서 교통량에 의한 속도간섭 없이 자유속도로 주행할 때 터널 구간에서의 속도변화를 살펴보고 이러한 속도변화를 고려한 터널간 이격거리 산출에 중점을 두었다. 이를 위해 중앙고속도로상의 남원주IC~신림IC(L=18.6km) 구간상의 금대1,2터널,치약1~4터널등 6개소(왕복11개소) 연속터널을 대상으로 각 지점별 123개의 속도 표본을 조사하였다.

각 지점에서의 조사결과를 분석하여, 독립된 터널에서의 속도변화와 연속터널에서 터널간 거리와 속도변화를 고려한 회귀분석으로 속도변화가 거의 없는(정속주행) 터널간격을 도출하는데 중점을 두었으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 독립된 터널에서 터널 전방 1km지점과 터널부(진입전·후지점)와의 속도변화및 감소량은 평균 7.1km/h(6.9%)로 나타났으며 연속터널구간에서도 터널 진입부에서 평균 2.7km/h(2.9%)의 속도가 감소하나, 터널진출부 에서의 속도변화는 -3.6km/h(-3.8%)의 속도감소에서 +4.1km/h(+4.7%)의 속도증가까지 불규칙적으로 나타났다.

둘째, 연속터널에서는 터널간격이 짧을 경우는(조사 대상 터널간거리 중 392m까지)속도가 감소하고 터널간격이 길 경우에는(조사대상 터널간 거리중 782m부터)속도가 증가하는 것으로 분석되었다.

10) 건설교통부, '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침', 1999, p.210.

독립터널에서의 속도 감소는 관련문헌 검토에서 살펴본바와 같이 터널 진입부에서는 운전자의 심리적 상태(압박감, 폐쇄감등으로 인한 심리적 긴장), 터널입구에서의 어둠에 대한 정보 획득 등으로 속도가 저하되며, 연속터널에서의 터널간 이격거리에 따른 속도변화는 터널을 통과한 주행차량이 다음 터널의 인식정도(즉, 터널간 간격에 대한 인식)에 따라 속도가 변화되는 것으로 분석되었다.

조사결과를 다중회귀분석을 이용하여 연속터널에서 속도변화가 없는 터널간 거리를 산정한 결과, 터널간 이격거리는 732m로 산정 되었으며 이러한 거리는 연속터널간을 주행시 속도분포가 거의 균등화되어 교통상의 안정류를 가질 수 있는 거리로 판단된다.

## 2. 향후 연구과제

본 연구에서는 주행속도조사 분석을 통해 터널간 거리에 따른 주행속도의 변화특성을 다중회귀분석에 의하여 산출하였다.

그러나 본 연구에서 수행한 조사대상 터널은 중앙고속도로의 급대 2터널~치악1터널로 한정되었으므로 향후 조사대상 터널수의 확대와 속도변화에 영향을 미치는 다양한 변수들을 고려한 정량적인 분석이 이루어져야 할 것이다. 본 연구에 있어서 향후 고려되어야 할 연구과제로는 첫째, 터널거리가 500m이상인 구간을 포함하는 대상지역의 확대와 다양한 Data의 구축으로 합리적이고 체계적인 추가 분석이 이루어져야 한다.

둘째, 도로의 기하구조요소(도로의 중단경사, 편경사, 폭원) 등이 추가로 고려된 분석이 시행되어야겠다.

셋째, 독립터널과 연속터널의 사고분석 Data의 구축으로 모형정립을 통한 분석이 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 飯尾廣美 외 2인(1993), "터널부의 노면폭과 주행 특성", 고속도로와 자동차 Vol.34. No.2, p.131.
2. 이재호(2000), "국도상 터널구간의 교통류특성 및 용량산정에 관한 연구", 한양대학교 공학석사 학위논문.
3. 윤동호·이상욱·최억(1995), "안과학", 일조각, pp.66~67.
4. 한국도로공사(1994), "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets".
5. 건설교통부(1999), "도로의 구조·시설 기준에 관한규칙 해설 및 지침". p.210.
6. 최준(1993), "고속도로에서의 터널부 용량산정 및 교통류특성 고찰", 서울대학교 공학석사 학위논문.
7. 장현봉·장덕형(1998), "터널부 교통류특성 및 용량산정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제16권 제3호, 대한교통학회, pp.15~24.
8. 조현우·장명순(1998), "연속되는 터널의 도로교통용량 감소특성에 의한 터널보정계수 산정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제16권 제3호, 대한교통학회, pp.7~14.
9. 유경수·정봉조·김영호(1995), "고속도로 교통사고 특성 및 감소대책에 관한 연구", 한국도로공사.
10. 김호영(1999), "고속도로 터널구간에서의 운전자 시각행태 분석에 관한 연구", 명지대학교 공학석사 학위논문.
11. 오철·장재남·장명순(1999), "고속도로 시설물구간의 교통혼잡도와 사고율의 관계분석(신갈-안산 고속도로를 중심으로)", 대한교통학회지, 제17권 제2호, 대한교통학회, pp.21~27.
12. 신용균·이건호·강수철(1996), "고속도로 기하구조가 운전자 운전행동에 미치는 영향", 도로교통안전협회.
13. 남궁문·서승환(1996), "주행속도 및 시각밀도에 대한 운전자의 인지특성", 원광대학교 석사 학위논문.
14. Levinson, Golenberg Howard(1985), "Callahan Tunnel Capacity Management TRR1005" TRB U.S.A.
15. Data of Hecht,S.and Mandlebaum, J.(1939), "The relationship between vitamin A and dark adaptation", JAMA 112:1910-1916.
16. TRB(1994), "Highway Capacity Manual", Special Report 209.

✉ 주 작 성 자 : 정충근

✉ 논문투고일 : 2001. 12. 19

논문심사일 : 2002. 2. 7 (1차)

2002. 3. 4 (2차)

심사판정일 : 2002. 3. 4

✉ 반론접수기간 : 2002. 8. 30