

■ 論 文 ■

# 연속되는 터널의 도로교통용량 감소특성에 의한 터널보정계수 산정에 관한 연구

Estimation of Tunnel Factor from Capacity Reduction of Successive Tunnels

조 현 우

(한국도로공사 교통연구실 연구원)

장 명 순

(한양대학교 교통공학과 교수)

## 목 차

- I. 서론
  - II. 관련문헌 검토
  - III. 자료의 수집 및 검토
    - 1. 조사지점의 선정 및 특성
    - 2. 자료의 수집
    - 3. 자료의 정리
  - IV. 터널보정계수의 산정
    - 1. 중부고속도로
    - 2. 구마고속도로
    - 3. 보정계수의 종합 산정
  - V. 결론 및 건의
    - 1. 결론
    - 2. 건의
- 참고문헌

## 요 약

터널의 경우 도로교통용량이 일반구간에 비해 감소하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 연속되는 터널의 경우에 있어 도로교통용량감소에 대한 연구는 아직 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 고속도로의 2지점에서 연속되는 터널의 도로교통용량의 감소특성을 이용한 터널보정계수를 산정하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

(1) 터널을 통과하는 경우의 도로교통용량은 통과전보다 감소하는 것을 알 수 있으며, 연속되는 터널을 통과하는 경우 감소량은 이보다 큰 것으로 나타났다.

(2) 터널보정계수( $f_{tu}$ )를 도출한 결과 하나의 터널을 통과하는 경우의 터널보정계수( $f_{tu1}$ )는 0.95, 연속되는 터널을 통과하는 경우의 터널보정계수( $f_{tu2}$ )는 0.90으로 산정되었다.

## I. 서론

도로의 용량이란 도로용량편람<sup>1)</sup>에서 제시한 바와 같이 '주어진 도로 및 교통조건에서 도로나 차량의 일정구간 또는 지점을 승용차가 통행하리라 예상되는 시간당 최대교통류율'을 의미한다. 용량을 분석하는 목적은 도로의 계획 및 설계시에 계획도로의 차로수를 결정하고, 도로의 운영상태를 평가하여, 기존 도로의 개선방안을 수립하는 등 도로를 효율적으로 이용하고, 도로의 투자를 적절히 하는데 있다.

그동안 도로교통용량에 대해 다양한 연구가 이루어져 왔으며, 터널의 도로교통용량과 관련된 연구를 통해 일반적으로 터널에서의 도로교통용량은 감소하는 것으로 나타나 있다. 이는 터널부구간이 운전자의 심리변화와 함께 대부분 산악지형에 위치하여 있고 오르막구배와 동반되어 있으며, 선형의 변형이 심한 지형에 위치하고 있기 때문이다. 그러나 연속되는 터널을 통과할 때, 터널의 유입전과 유출후의 교통량을 비교하여 어떤 차이를 보이는지에 대해서는 연구는 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 연속된 터널을 통과한 후의 교통량이 하나의 터널을 통과한 후의 교통량에 비해 얼마만큼의 차이를 보이는지 국내의 현장자료를 바탕으로 분석하여, 터널의 보정계수를 산정함에 그 목적을 두고 있다. 따라서, 국내현장자료의 수집을 위해 연속된 터널간의 길이를 차량이 100km/h로 주행시 약 1분정도 이동할 수 있는 2km 이내로 제한하였다.

본 연구는 현장답사를 통한 조사지점에서 수집된 교통량 자료를 바탕으로 터널의 유출·입에 따른 교통량의 감소를 일반화하여 터널보정계수를 산정하는 과정으로 수행되었다.

## II. 관련문헌 검토

### 1. 도로교통용량

1994년 미국의 HCM<sup>2)</sup>에서는 이상적 조건하에서 고속도로의 도로교통용량을 4차로의 경우 2,200pcphpl, 6차로의 경우는 2,300pcphpl로 규정하고 있으며, 우리

나라의 경우 도로용량편람에서 이상적인 조건하에서 2,200승용차대수/시/차로으로 규정하고 있다.

Levinson, Golenberg, Howard<sup>3)</sup>는 미국의 Callahan 터널구간에 대해 교통관리를 하기 전과 후의 터널용량변화를 관찰하였다. 이 연구를 통해 교통관리전의 터널용량은 차로당 1,600~1,650vph를 보였으나, 터널 유입부의 도류화, 터널전방의 요금징수소 제거, 터널 출구의 개선 등을 통해 대략 차로당 200vehicles/hour 가 증가하였음을 보고하였다.

Weng과 Olszewski<sup>4)</sup>는 싱가포르에서 속도-교통량 관계를 통해 고속도로의 도로교통용량은 3000pcphpl, 터널에서의 도로교통용량은 2600pcphpl, 그리고 신호교차로에서의 도로교통용량은 1600~2500pcphpl로 제한하였다.

터널에서는 도로교통용량이 감소된다는 일부 보고는 있으나, 미국과 우리나라 공히 도로의 서비스 교통량을 산정시 터널에 대한 보정계수를 적용하지 않고 있다.

### 2. 터널구간에서의 운전자의 행태 및 교통특성

도로교통안전협회의 신용균, 이진호, 강수철<sup>5)</sup>은 주위 환경요인의 영향을 최소화 할 수 있는 터널을 선정하여 터널유입전 200m와 터널유입후의 운전자의 운전행동 및 생리반응을 평가하고 상호 비교하여 그 차이점을 제시하고자 하였다. 터널구간의 경우 터널구간에 유입한 후 운전자의 중추신경계 및 자율신경계가 터널유입전에 비해서 활성화 된 것으로 나타났다. 또한 터널내에서의 주행속도는 터널구간에 따라 다르나 터널구간 유입후부터 감속추세를 보이다가 터널 중간지점을 지나면서 완만한 속도의 상승을 보이면서 터널후반부에서 주행속도가 증가하는 추세를 보이는 결론이 도출되었다.

한국도로공사의 유경수, 이호병, 이기영<sup>6)</sup>은 터널이 속도 저하에 미치는 요소 및 그에 대한 영향정도를 분석하기 위해 고속도로상의 15개의 터널을 대상으로 개별 터널에 대한 속도, 교통량, 기하구조 등의 현장 조사를 실시하고 조사자료에 대한 선형회귀분석을 통해 터널부 지체요인을 분석하였다.

속도조사 결과 터널의 존재로 인한 속도감소는 단순한 오르막 구배 구간보다 더 큰 것으로 나타났으

며, 조사자료를 이용한 터널부 지체추정 모형의 개발을 통해 터널유입부의 교통속도감소는 터널진방 중단 구배 및 곡선반경 그리고 터널길이 등 3개요소에 의해 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

### III. 자료의 수집 및 정리

#### 1. 조사지점의 선정 및 특성

본 연구의 목적에 적합한 결과를 산출하기 위해서

먼저 평지부에 위치하거나 혹은 낮은 구배에 위치한 터널의 1차로를 대상으로 선정하였다. 또한 분석대상 구간에서 인터체인지 등에서의 연결로 교통류가 본선의 교통류에 영향이 가해지지 않도록 합류지점이나 분류지점의 영향권에서 벗어나는 지점을 선정하였다. 터널간의 길이 이외에 고려될 수 있는 다른 요소, 즉 터널의 길이 및 터널내부의 조도, 도로의 선형 등에 관한 요소는 조사지점의 선정 및 수치화에 있어 한계를 가져올 수 있기 때문에 본 연구에서는 제외하였다. 현장조사결과 <표 1>과 같이 2개노선에서 4개터널이 선정되었다.

<표 1> 조사대상지점

노선명	터널명	연장(m)		중단구배 (%)	구배시작점에서 터널입구까지의 거리	터널간길이 (m)	터널내부		차로수
		상행	하행				차선평폭	측방여유폭	
중부고속도로	중부2터널	236	252	0.3	344	1,100	3.75	1.24	편도 2차로
	중부3터널	378	369	1.5	1800				
구마고속도로	달성1터널	1387	1362	3.0	960	250	3.75	1.24	편도 2차로
	달성2터널	993	969	2.0	940				

각 조사지점별 특징을 살펴보면, 중부 2터널 하행선은 조사지점이 거의 평지에 가까우며, 터널의 길이도 252m로 비교적 짧고 직선형으로 터널의 출구가 보이는 기하구조를 보이고 있다. 중부 2터널 유입전까지 0.3%의 중단구배가 340m로 구성되어 교통류의 흐름에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

중부 2터널 상행선은 길이 236m의 직선형으로 하행선과 거의 비슷한 기하구조를 보이고 있으나, 상행선과는 달리 약한 내리막구배를 보이고 있다.

중부 3터널 하행선은 중단구배가 평지에 가까우며 터널의 길이도 369m로 비교적 짧지만, 터널내부에 곡선이 있어 교통류의 흐름에 영향을 줄 수 있다. 그러나 하행선의 경우 약한 내리막 경사로 이루어져 있어 중차량에 의한 교통류 흐름의 방해는 크지 않을 것으로 판단된다.

중부 3터널 상행선은 터널길이는 378m로 비교적 짧은 편이지만, 터널입구까지의 구간은 1.5%의 오르막 구배가 1,800m로 이루어져 있으며, 터널내부는 좌측으로의 커브가 존재한다.

달성 1터널 하행선의 경우 터널 전방에는 긴 구간에 걸쳐 오르막 구배를 보이고 있지만 조사지점은 거의 평지에 가깝다. 터널의 길이는 1,362m로 매우 길

지만, 터널의 출구가 보이는 직선형의 기하구조를 보이고 있다.

달성 1터널 상행선은 터널길이 1,387m의 매우 긴 직선형으로 하행선과 비슷한 기하구조를 보이고 있으나, 하행선과는 달리 약간의 하향구배를 보이고 있다.

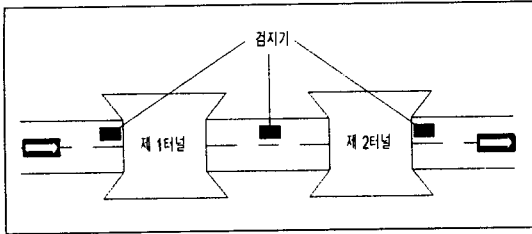
달성 2터널 하행선은 터널의 길이는 969m로 비교적 긴 편이고 조사지점의 중단구배는 평지에 가깝다. 터널내부에는 우측으로의 곡선이 있어 교통류의 흐름에 영향을 줄 수 있다. 그러나 하행선의 경우 내리막 경사를 보이고 있어 중단구배에 따른 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

달성 2터널 상행선의 경우 터널입구까지의 구간은 3%의 오르막 구배가 940m로 이루어져 있으며, 길이 993m인 터널내부에는 좌측으로의 곡선이 존재한다.

#### 2. 자료의 수집

연속되는 터널의 터널보정계수를 산정하기 위해서는 터널 전·후방에서 교통량 자료를 도출해야 한다. 이를 위해 조사지점 1차로에 검지기를 설치하여 교통량 자료를 수집하였다. 차종은 차량길이별로 승용차,

트럭, 대형트럭 및 버스(WB-40과 WB-50), WB-60, 차량길이 24m이상의 6종으로 수집되었다.



<그림 1> 검지기 설치 위치

### 3. 자료의 정리

터널 전·후방의 교통량을 파악해야 연속되는 터널에서의 교통량비율을 산출할 수 있으므로, 검지기를 PC와 연결하여 단위관측시간을 15분으로 정하여 고속도로상의 연속되는 터널의 전·후에 설치한 후 교통량자료를 각 지점별로 추출하였다. 여기서 단위 관측시간을 15분으로 정한 것은 용량은 15분 교통량을 시간당 교통량으로 환산하여 나타내기 때문인데, 이는 안정된 교통흐름을 유지할 수 있는 최소시간을 15분으로 보기 때문이다.

차종별 구성비는 중부고속도로의 경우 상행선은 대형차량(버스 및 트럭)이 8.7%를 점유하였고 하행선은 대형차량이 14%를 점유하였다.

## IV. 터널보정계수의 산정

현장자료를 기초로 조사지점의 교통량을 조합하여 연속되는 터널의 유·출입에 따른 교통량의 감소를 일반화하였다. 교통량의 조합은 각 조사지점별로 동일한 시간대에 통과한 교통량을 변수로 설정하여 조합하였다. 회귀분석을 통해 모형을 정립하고, 통계적으로 타당한지를 검증하였다.

### 1. 중부고속도로

중부고속도로 하행선의 경우 중부 2터널 유입전과 유출후, 중부 2터널 유출후와 중부 3터널 유출후, 그리고 중부 2터널 유입전과 중부 3터널 유출후 교통량의 조합(대/시, <그림 2, 3> 참조)을 통해 중부 2터널과 중부 3터널의 하행선에 대한 터널보정계수를 산정하였다. 상행선의 경우는 중부 3터널 유입전과 유출후, 중

<표 2> 중부고속도로 하행선 교통량 감소율

구 분		15분 관측교통량(대)	교통량감소율(%)	
			1개터널간	2개터널간
중부고속도로하행선	중부 2터널 유입전	491	-	-
	중부 2터널 유출후	469	4.5	-
	중부 3터널 유출후	458	2.4	6.7
중부고속도로상행선	중부 3터널 유입전	409	-	-
	중부 3터널 유출후	390	4.7	-
	중부 2터널 유출후	371	4.9	9.3

<표 3> 중부고속도로 조사지점별 터널보정계수의 산정

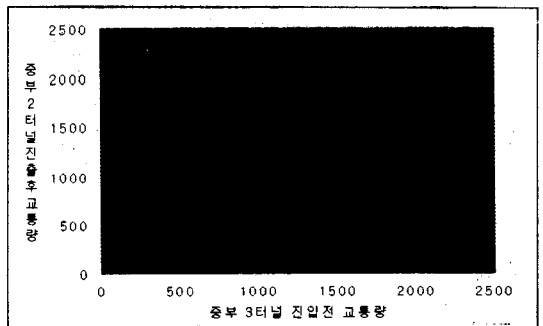
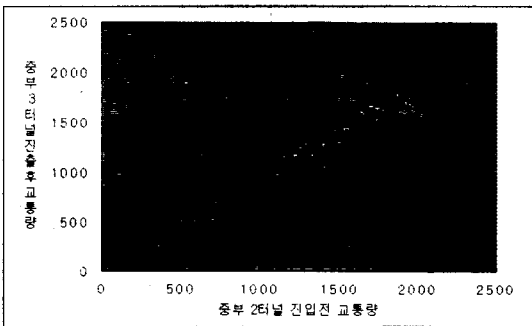
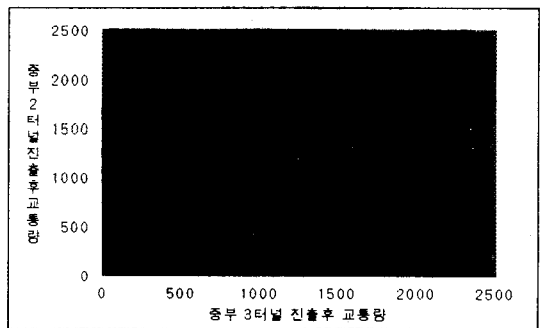
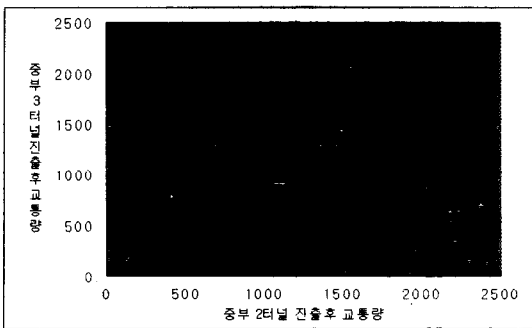
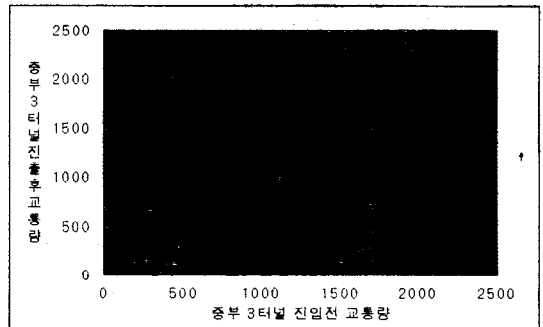
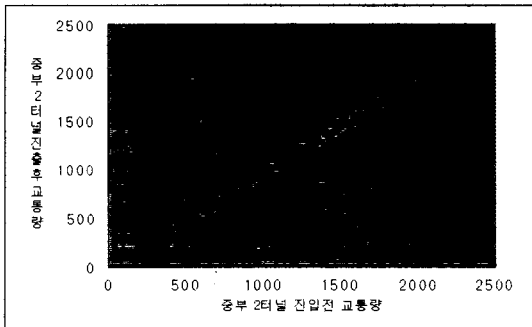
노 선 명		터널간거리	교통량 관계식 및 터널보정계수 <sup>(1)</sup>	R-square	15분교통량 표본수
중부고속도로	하행선	1,100m	$y=0.956766x$	0.9994	168
			$z=0.900058x$	0.9967	168
			$z=0.940806y$	0.9974	168
상행선	1,100m	$y=0.930970x$	0.9940	75	
		$z=0.882098x$	0.9834	75	
		$z=0.949826y$	0.9943	75	

주 (1) 터널보정계수는 교통량 관계식에서 상수(Coefficient)임.

- x : 첫번째 터널 유입전교통량(vphpl)
- y : 첫번째 터널 유출후교통량(vphpl)
- z : 두번째 터널 유출후교통량(vphpl)

부 3터널 유출후와 중부 2터널 유출후, 그리고 중부 3터널 유입전과 중부 2터널 유출후 교통량에 대해 분석하여(〈표 2〉 참조), 중부 3터널과 중부 2터널의 상행선에 대해 터널보정계수를 산정하였다.

각각의 조합에 대해 회귀분석을 하여 터널보정계수를 산정한 결과 〈표 3〉에 제시된 바와 같이 하나의 터널을 통과할 때의  $f_{t1}$ 은 0.93~0.96, 연속되는 터널을 통과하는 경우의  $f_{t2}$ 는 0.88~0.90으로 산정되었다.



〈그림 2〉 중부고속도로 하행선 터널 전·후의 교통량 관계도

〈그림 3〉 중부고속도로 상행선 터널 전·후의 교통량 관계도

## 2. 구마고속도로

구마고속도로 하행선의 경우 달성 1터널 유입전과 유출후, 달성 1터널 유출후와 달성 2터널 유출후, 그리고 달성 1터널 유입전과 달성 2터널 유출후 교통량의 조합(대/시, 〈그림 4, 5〉 참조)을 통해 달성 1터널

과 달성 2터널의 하행선에 대한 터널보정계수를 산정하였다. 그리고 상행선의 경우는 달성 2터널 유입전과 유출후, 달성 2터널 유출후와 달성 1터널 유출후, 그리고 달성 2터널 유입전과 달성 1터널 유출후 교통량에 대해 분석하여, 달성 2터널과 달성 1터널의 상행선에 대해 터널보정계수를 산정하였다.

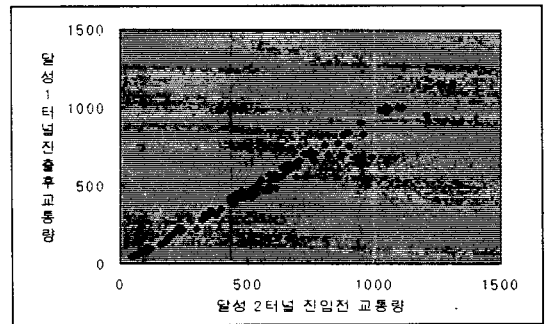
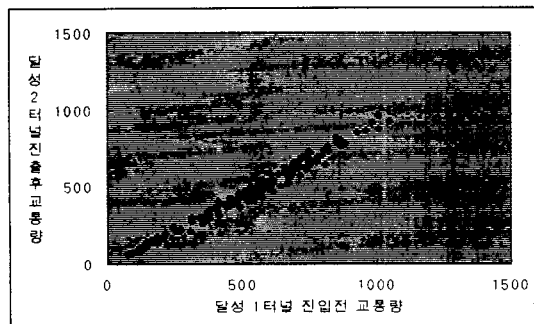
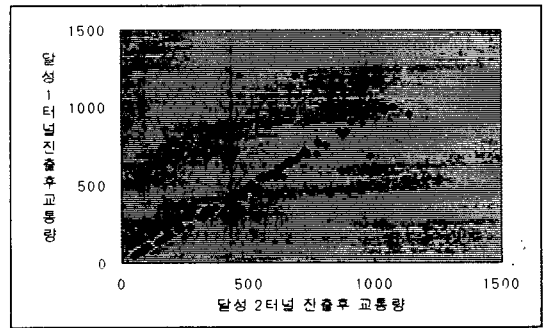
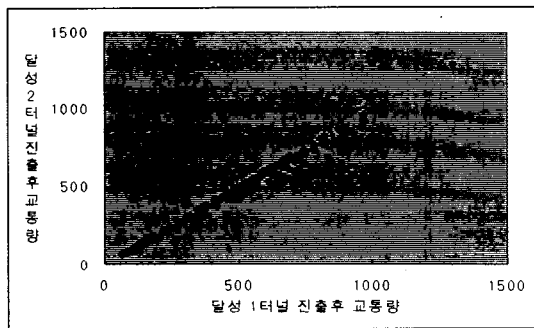
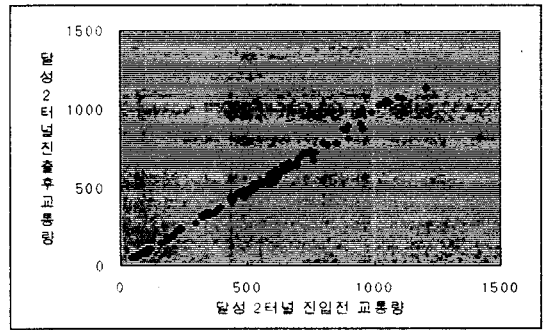
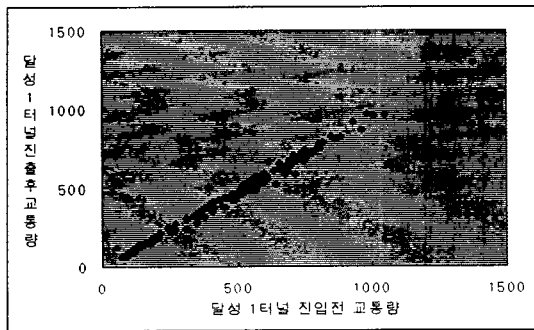
각각의 조합에 대해 회귀분석을 하여 터널보정계수를 산정한 결과 <표 4>에 제시된 바와 같이 하나의

터널을 통과할 때의  $f_{tu1}$ 은 0.94~0.96, 연속되는 터널을 통과하는 경우의  $f_{tu2}$ 는 0.89~0.91로 산정되었다.

<표 4> 구마고속도로 조사지점별 터널보정계수의 산정

노 선 명			터널간거리	교통량 관계식 및 터널보정계수(t)	R-square	15분교통량 표본수
구 마 고 속 도 로	하 행 선	달성 1터널 유입전과 달성 1터널 유출후	250m	$y=0.937336x$	0.9981	165
		달성 1터널 유입전과 달성 2터널 유출후		$z=0.890237x$	0.9964	165
		달성 1터널 유출후와 달성 2터널 유출후		$z=0.949651y$	0.9981	165
	상 행 선	달성 2터널 유입전과 달성 2터널 유출후	250m	$y=0.963165x$	0.9988	110
		달성 2터널 유입전과 달성 1터널 유출후		$z=0.913851x$	0.9970	110
		달성 2터널 유출후와 달성 1터널 유출후		$z=0.948621y$	0.9962	110

주 (1) 터널보정계수는 교통량 관계식에서 상수(Coefficient)임.  
 x : 첫번째 터널 유입전교통량(vphpl)  
 y : 첫번째 터널 유출후교통량(vphpl)  
 z : 두번째 터널 유출후교통량(vphpl)



<그림 4> 구마고속도로 하행선 터널 전·후의 교통량 관계도

<그림 5> 구마고속도로 상행선 터널 전·후의 교통량 관계도

### 3. 보정계수의 종합 산정

각각의 조사지점을 조합하여 터널보정계수를 도출한 결과, 하나의 터널을 통과하는 교통류는 터널에 의해 약 3.7~6.9%의 교통량 감소가 이루어져 평균 5.3%의 교통량이 감소하는 것으로 나타났으며, 짧은 구간에서 연속되는 터널을 통과하는 경우에는 약 8.6%~11.8%의 교통량 감소가 이루어져 평균 10.3%의 교통량이 감소하는 것으로 나타났다.

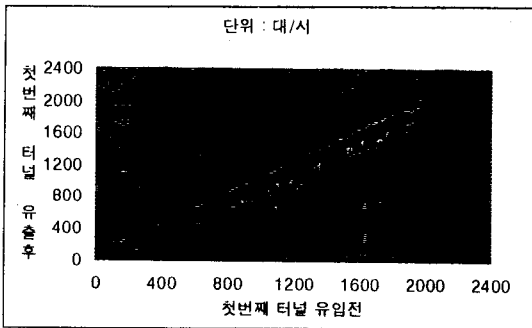
1개의 터널의 경우 유입전과 유출후의 8개(상행선 및 하행선 2, 독립터널 4개)의 교통량 자료를 종합 (<그림 6> 참조)하여 1개의 터널에 대한 터널계수를 분석한 결과 '터널 유출부교통량 = 0.95 · 터널 유입

부교통량'으로 나타나 <표 5>에서 나타난 바와 같이 1개의 독립 터널에 대한 터널보정계수( $f_{tu1}$ )는 0.95로 확인되었다.

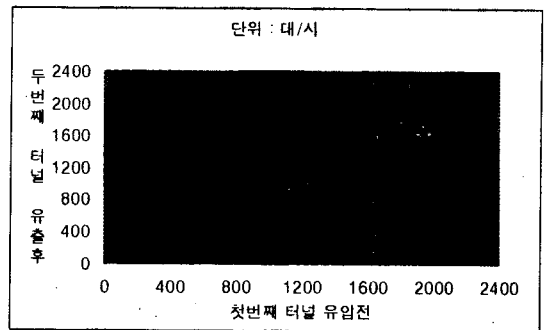
2개 터널의 경우 첫째 터널 유입전과 둘째 터널 유출후의 4개(상행선 및 하행선 2, 연속터널 2개)의 교통량 자료를 종합 (<그림 7> 참조)하여 연속된 터널에 대한 터널계수를 분석한 결과 '2개의 연속터널 유출부교통량 = 0.90 · 첫째 터널 유입전 교통량'으로 나타나 <표 5>에 나타난 바와 같이 2개의 연속 터널에 대한 터널보정계수( $f_{tu2}$ )는 0.90으로 확인되었다.

<표 5> 터널보정계수의 산정결과

구분	터널보정계수	R-square	표본수
1개의 독립된 터널	$f_{tu1} = 0.95$	0.9975	1036
2개의 연속된 터널	$f_{tu2} = 0.90$	0.9942	518



<그림 6> 1개 터널 통과시 터널 전·후의 교통량 관계도



<그림 7> 연속되는 2개 터널 통과시 터널 전·후의 교통량 관계도

## V. 결론 및 건의

### 1. 결론

연속된 터널을 통과한 후의 도로교통용량이 하나의 터널을 통과한 후의 교통량에 비해 얼마만큼의 차이를 보이는지, 중부고속도로내 중부 2, 3터널 및 구마고속도로내 달성 1, 2터널의 하행선 및 상행선 전·후방에서 측정된 교통량 자료를 바탕으로 분석한 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 각 지점별 교통량 및 도로교통용량을 살펴보면, 터널을 통과하는 경우의 도로교통용량은 통과전보다 감소하는 것을 알 수 있으며, 연속되는 터널을 통과하는 경우 감소량은 이보다 큰 것으로 나타났다.

(2) 각 조사지점의 교통량을 조합하여 터널의 유·

출입에 따른 교통량의 감소를 분석한 결과 1개의 터널을 통과 하는 경우의 터널보정계수( $f_{tu1}$ )는 0.95, 연속되는 터널을 통과하는 경우의 터널보정계수( $f_{tu2}$ )는 0.90으로 산정되었다.

### 2. 건의

첫째, 고속도로 터널부의 설계시 본 연구에서 산정된 터널보정계수를 고려한 설계서비스 교통량에 의해 차로수 등의 산정이 이루어져야 할 것이다.

둘째, 두 터널간 길이가 얼마이상이면 독립터널로 볼 것인가에 대한 연구가 이루어져야 할 것이며 또한 본 연구에서는 고려하지 못한 터널의 길이 및 내부구조, 도로의 선형, 구배 등에 관한 요소를 고려한 터널보정 계수 산정에 관한 연구가 추가로 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 대한교통학회, '건설교통부, 도로용량편람', 1992.
2. Highway Capacity Manual, Special Report 209, TRB, U.S.A., 1994.
3. H. S. Levinson, M. Golenberg and J. Howard, Callahan Tunnel Capacity Management , TRR 1005, pp.1~10, TRB, U.S.A., 1985.
4. T. Weng, P. Olszewski, Highway Capacity Reserch and Applications in Singapore., Proceeding of Second International Symposium on Highway Capacity, pp.147~156, 1994.
5. 신용균, 이건호, 강수철, 고속도로 기하구조가 운전자 운전행동에 미치는 영향, 도로교통안전협회, 1996. 12.
6. 유경수, 이호병, 이기영, 고속도로 교통지체구간 개선방안 연구, 한국도로공사, 1995. 12.
7. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정, 1990. 12.
8. K. Vergel, S. Morichi, and R. Sigua, International Comparison Study of Traffic Flow Characteristics of Basic Expressway Segments, Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol 2, No. 3, pp.863~880, 1997.