



고속도로 터널부 속도감소 요인 분석에 관한 연구

이 기 영 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

이 호 병 단국대학교 사회과학부 교수

요 지

본 연구는 먼저 심리적 측면에서 터널존재 자체가 감속요인으로 작용하는지를 살펴보고 다음으로 기하구조적인 측면에서 터널전방 감속요인을 분석하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, t-검정 분석결과 터널의 존재여부 자체가 운전자의 주행속도에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이때 터널로 인한 감속영향의 평균치는 5.13km/h로 나타났다. 그리하여 터널관련 교통분석시 기존의 타 교통시설에서 분석된 연구결과를 그대로 이용하는 데는 다소의 무리가 따른다는 것을 알 수 있다.

둘째, 이런 맥락에서 터널전방 감속요인에 대해 기하구조적인 측면에서 살펴보았다. 이를 위해 터널입구 지점과 터널전방 오르막시점 전 지점간의 속도차 SD를 종속변수로, 기하구조와 관련된 5개의 변수를 독립변수 후보로 하여 Stepwise 회귀분석 결과, 0.05 유의 수준에서 독립변수로 터널전방 곡선반경의 역수인 R과 종단구배 2%이상 구간에 대한 종단구배길이 GL이 선정되었다. 이 때 회귀식은 $SD = 5.314 + 6.493R + 4.362GL$ ($R^2 = 0.814$)로 추정되었다. 이때 입력변수의 범위는 SD가 2.58~29.77km/h, R이 0~3.33(1/km), GL이 0~1.83km이다.

셋째, 고려대상 변수간에 Pearson 상관관계계수를 분석한 결과 SD와의 상관관계 정도에 있어서 R이 0.827(P값=0.000)로 가장 높고, 다음이 터널전방 노면폭 W로 0.494(p값=0.073)이며, 그 다음이 터널전방 종단구배 G로 0.356(p값=0.212)으로 나타났다. 특히 최종 Stepwise 회귀분석 결과에서 종속변수 R 이외에 GL이 추가된 것은 전술한 상관관계계수 분석결과에도 불구하고 W, G의 순으로 R과의 상관관계계수가 상대적으로 높게 나타나므로 종속변수간의 공선성(collinearity) 문제가 크게 작용한 데 따른 결과라고 볼 수 있다.

1. 서론

우리 나라의 지형특성상 도로구간에 따라서는 도로의 구조형식으로 터널의 채택이 불가피한 경우가 드물지 않다. 이는 자동차의 주행 편의 향상에 도움이 될 뿐만 아니라 자연경관의 보전 차원에서도 중요한 역할을 수행하고 있다. 특히, 터널은 일반적인 도로구조형식에 비해 건설비 및 유지관리비가 더 많이 소요되므로 합리적인 터널의 계획과 설계가 강조된다고 하겠다. 이런 맥락에서 터널부에 대한 감속요인에 대한 검토가 필요하다.

터널부에서의 교통감속유발 요소로는 크게 운전자 심리적 요인, 터널주변 기하구조 요인 그리고 터널시설물 자체의 요인으로 구분될 수 있다. 먼저 운전자 심리적 요인을 살펴보면, 터널부에서 운전자는 터널전방에서 터널입구가 블랙홀처럼 보임으로 인해 진입시 긴장감이 고조되고, 터널진입 후에는 폐쇄적인 터널내부환경으로 인해 심리적으로 불안정한 상태가 되며, 터널내부의 조도적응에도 시간이 필요하게되므로 주행능력이 저하된다. 다음으로 터널주변 기하구조와 관련하여 감속을 유발하는 요소로는 종단구배, 평면선형, 노면폭, 오르막차선설치 유무 등을 들 수 있으며, 터널시설물 자체의 요인으로는 터널의 길이, 터널내부 차선폭 및 노면폭, 조도 등을 들 수 있다.

지금까지 터널부와 관련한 연구는 타 교통분야에 비해 그리 많지 않았다. 터널부와 관련한 기존연구를 살펴보면 국외의 경우 Chin 등(1992)의 터널부에서의 차로별 교통량 및 속도

의 차이에 대한 연구가 있었으며, 일본의 경우 飯尾廣美 등(1993)에 의해 터널 노면폭이 터널 교통흐름에 미치는 영향을 분석한 바 있으며, Masaki Koshi(1992)에 의해 터널부의 용량에 대한 연구가 있었으며, 국내의 경우 조현우·장명순(1998)에 의해 연속되는 터널의 도로 교통용량 감소특성에 의한 터널보정계수 산정에 대한 연구가 있었으며, 장현봉·장덕형(1998)에 의해 터널부 용량산정에 의한 연구가 있었다.

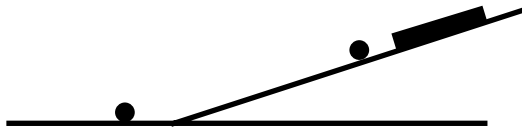
본 연구는 고속도로에 소재한 14개 터널에 대해 먼저 심리적인 측면에서 터널의 존재 자체가 운전자에게 감속요인으로 작용하는지에 대해 분석한 후 이 결과를 토대로 터널 및 터널주변의 기하구조적인 측면에서 터널전방의 교통속도 저하에 미치는 요소 및 그에 대한 영향도를 분석함으로써 고속도로 터널부 설계에 도움이 되고자 하였다.

2. 자료수집방법

본 연구를 위해 경부고속도로, 중부고속도로, 영동고속도로, 신갈-안산고속도로, 서울외곽순환고속도로상에 위치한 총 14개 터널부와 이와 유사한 기하구조를 가지면서 터널없는 구간에 대해 교통조사를 실시하여 교통자료를 수집하였다. 본 연구의 수행을 위해 선정한 터널은 경부고속도로상의 대전터널, 대덕터널, 옥천터널, 영동터널, 황간터널, 중부고속도로상의 중부1터널, 중부2터널, 중부3터널, 중부4터널, 영동고속도로상의 강릉터널, 양지터널, 마성터널, 신갈-안산고속도로상의 반월터널 그리고 서울외곽순환

고속도로상의 광암터널이다.

본 연구는 터널 전방의 교통속도 저하에 미치는 요소를 분석하기 위해 [그림 1]과 같이 터널 각각에 대해 터널입구로부터 약 50m 이내의 지점과 터널전방의 오르막시점전으로 기하구조가 양호한 지점을 교통조사지점으로 선정하였다. 물론 두 지점에서의 교통특성은 동일해야 한다. <표 1>은 터널부 시설에 대한 조사결과를 보여주고 있다.



[그림 1] 교통조사지점 위치도

본 연구의 교통조사방법을 살펴보면, 교통량 조사의 경우는 조사원을 배치하여 수행하였고 속도조사의 경우는 스피드건을 이용하여 수행하였으며, 아울러 조사결과와 보완을 위해 비디오 카메라를 촬영하였다. 교통조사시간은 5분을 기본단위로 연속해서 조사결과를 기입토록 하였다.

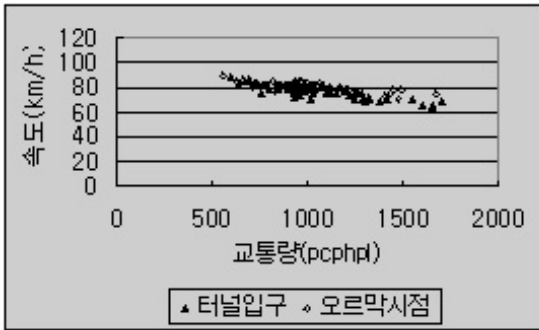
본 연구의 교통조사결과인 각 터널별 터널입구 및 터널전방 오르막시점전 지점에서의 교통량-속도 관계도는 [그림 2]~[그림 15]에서 보는 바와 같으며, 조사지점별로 표본수는 45~65개 범위내에 있다. 그림에서 보듯이 터널입구와 터널전방 오르막시점전 지점간의 속도차가 크게 나타나는 터널로는 2.0% 이상의 종단구배를 가

<표 1> 터널부 시설에 대한 조사결과

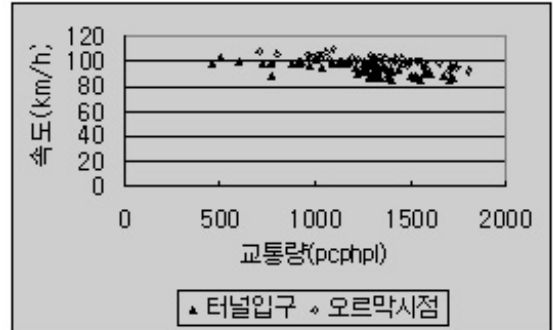
터널명	터널전방 종단구배(%)	터널전방 종단구배길이(m)	터널전방 곡선반경(m)	터널전방 노면폭(m)	터널길이 (m)
중부1	2.54	450	직선	2.7	300
중부2	0.30	340	직선	2.7	252
중부3	1.52	1,800	2,100	2.7	378
중부4	1.47	1,300	4,830	3.2	475
반월	3.50	1,830	직선	3.6	358
광암	2.10	1,500	직선	3.6	743
대전	3.00	400	직선	2.4	465
대덕	3.00	130	300	3.4	240
옥천	2.20	400	400	4.3	505
영동	3.00	1,400	직선	3.4	475
황간	2.70	300	직선	3.1	160
마성	0.60	920	직선	3.2	1,450
강창	0.90	1,200	15,000	4.1	329
양지	1.00	300	직선	3.7	642

지면서 곡선반경이 400m 이하인 경부고속도로 상의 대덕터널과 옥천터널 그리고 길이가

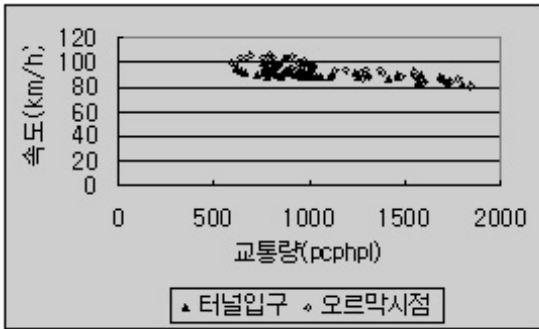
1,400m에 이르는 3%의 종단구배를 지닌 영동터널로 나타났다.



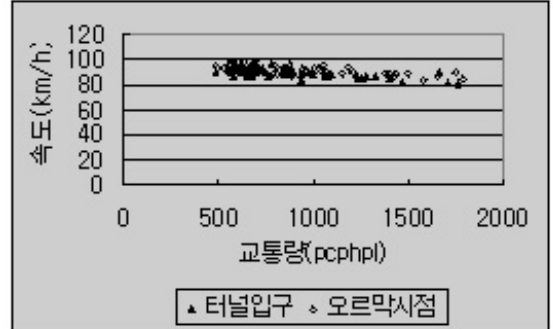
[그림 2] 중부1터널 전방 교통량-속도 관계도



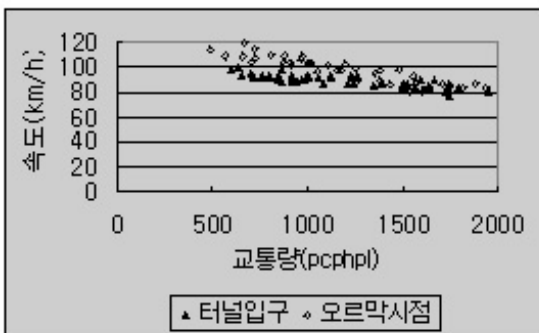
[그림 3] 중부2터널 전방 교통량-속도 관계도



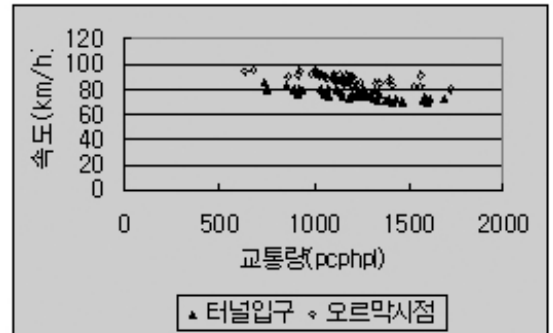
[그림 4] 중부3터널 전방 교통량-속도 관계도



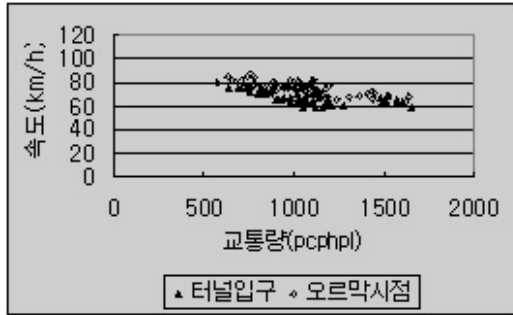
[그림 5] 중부4터널 전방 교통량-속도 관계도



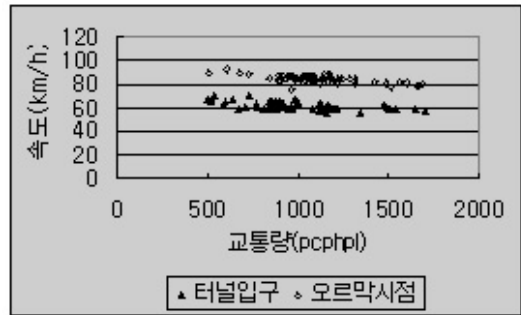
[그림 6] 반월터널 전방 교통량-속도 관계도



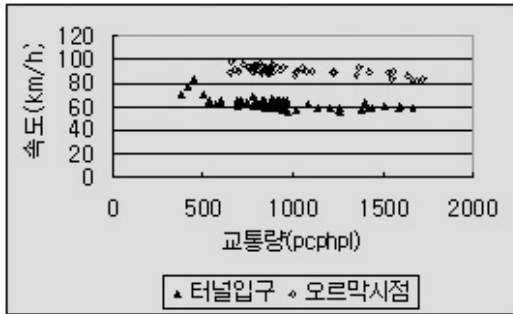
[그림 7] 광암터널 전방 교통량-속도 관계도



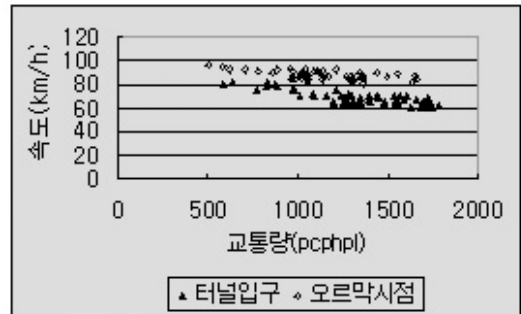
[그림 8] 대전터널 전방 교통량-속도 관계도



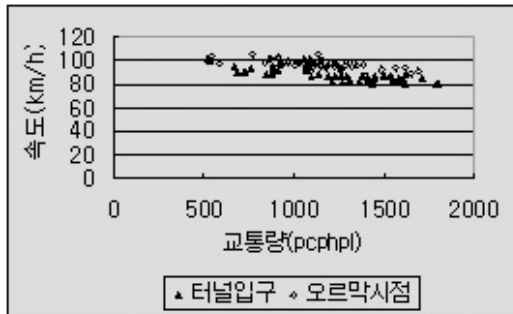
[그림 9] 대덕터널 전방 교통량-속도 관계도



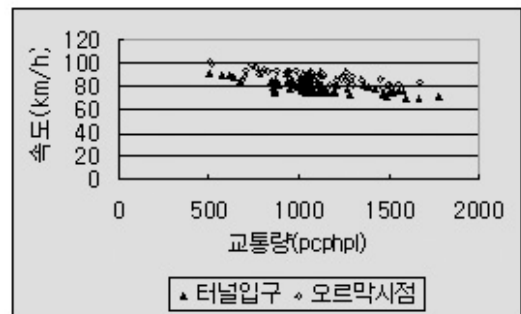
[그림 10] 옥천터널 전방 교통량-속도 관계도



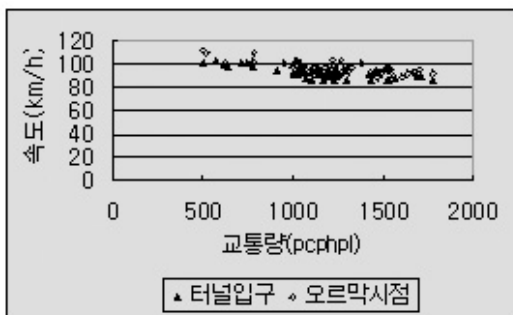
[그림 11] 영동터널 전방 교통량-속도 관계도



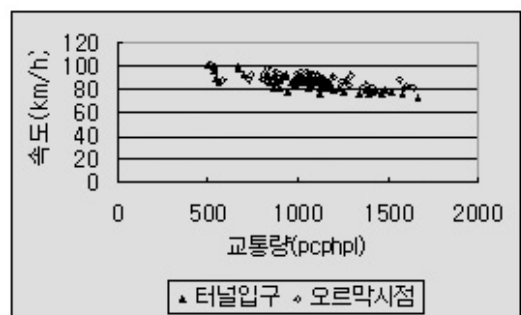
[그림 12] 황간터널 전방 교통량-속도 관계도



[그림 13] 마성터널 전방 교통량-속도 관계도



[그림 14] 강청터널 전방 교통량-속도 관계도



[그림 15] 양지터널 전방 교통량-속도 관계도

3. 감속요인 분석

3.1 심리적인 측면

기존 교통시설의 결과를 터널분석시 그대로 사용할 수 있을 것인지 아니면 터널부에 고유한 특성이 존재하여 터널부에 대한 별도의 연구결과가 필요한지를 살펴볼 필요가 있다.

이를 위해서는 우선 터널의 존재여부 자체가 운전자의 심리적인 불안전성을 변화시켜 주행속도에 통계적으로 유의미한 차이를 보이는지를 분석하여야 한다. 이와 관련하여 본 연구는 총분석대상터널 14개를 전방에 매우 양호한 기하구조를 가진 터널(4개 터널)과 그렇지 않은 터널(10개 터널)로 구분하여 전방에 양호하지 못한 기하구조를 가진 터널에 대해서는 이들 각각에 대응하여 기하구조가 유사하면서 터널이 존재하지 않는 구간을 별도로 선정하여 후 각각의 쌍에 대해 교통조사를 통해 수집한 해당구간별 시점부와 종점부간의 속도차 자료들을 토대로 t-검정을 수행하였으며, 전방에 매우 양호한 기하구조를 가진 터널의 경우는 터널입구 지점과 터널전방 기하구조가 양호한 지점에서 조사한 교통속도 자료를 토대로 t-검정 분석을 수행하여 터널의 존재 유무에 따른 감속영향 유무를 평가하고자 하였다. 이때 양호 기하구조수준의 판단기준은 건교부의 도로용량편람(1992)의 평지기준인 0~2% 종단구배의 중간치인 종단구배 1%이 하이면서 곡선반경이 15,000m이상을 지닌 구간으로 설정하였다. <표 2>는 전방에 양호하지 못한 기하구조를 가진 터널과 그에 유사한 기하구조를 가진 구간에 대한 기하구조관련 내용을 나타내고 있다.

터널의 존재 유무에 따른 감속영향 유무를 평가하고자 수행한 t-검정분석결과는 <표 3>에서 보는 바와 같다.

표에서 기하구조가 비양호한 경우의 t-검정은 각각의 터널에 대해 해당터널과 유사한 기하구조를 지닌 터널없는 구간과 쌍을 이뤄 조사대상구간의 시점부와 종점부간 교통속도차의 자료들을 토대로 수행하였으며, 반면에 기하구조가 양호한 경우의 t-검정은 해당터널 전방의 기하구조가 매우 양호하므로 이와 유사한 기하구조를 가진 구간과의 비교분석을 하는 대신에 해당터널의 입구와 터널전방 매우 경미한 오르막의 시작점 전의 지점에 대한 교통속도 조사자료를 토대로 수행하였다.

표에서 보듯이 t-검정을 수행한 결과 터널의 존재 자체가 운전자의 주행속도에 통계적으로 유의미한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

여기서 터널존재에 따른 감속영향의 범위는 2.26~6.90km/h를 보였으며, 그 평균치는 5.13km/h로 분석되었다.

3.2 기하구조적인 측면

3.2.1 분석모형

상기분석결과에서 보았듯이 터널존재 자체로 인한 심리적인 측면에서의 감속요인이 있으므로, 터널관련 교통분석시 기존의 타 교통시설에 대해 분석된 연구결과를 그대로 이용하는 데는 다소 무리가 따른다는 사실을 시사한다고 하겠다. 따라

서 본 절에서는 터널입구와 터널전방 오르막시점 전 기하구조가 양호한 지점간의 교통속도차의 결정에 어떤 요소들에 의해 어느 정도의 영향을 받는지를 분석하기로 한다. 이를 위해 다음과 같은 다중선형회귀모형식이 이용되었다.

$$y_i = a_0 + a_1 x1_i + a_2 x2_i + \dots + a_n x n_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

여기서 i : 관측자료

y_i : 종속변수

$x n_i$: n번째 독립변수

a_n : n번째 회귀계수

ε_i : 오차항으로 서로 독립인 $N(0, \sigma^2)$ 확률변수.

터널입구 지점과 터널전방 오르막시점전으로 기하구조가 양호한 지점간의 교통속도차(SD)에 대한 다중회귀분석은 독립변수 후보로 터널전방 종단구배(G), 종단구배 2%¹⁾이상 구간에 대한 종

〈표 2〉 전방에 양호치 못한 기하구조를 가진 터널과 이와 유사한 기하구조를 가진 터널없는 구간에 대한 기하구조관련 자료

터널의 기하구조				터널없는 유사 기하구조 구간의 기하구조			
터널명	종단구배 (%)	종단구배 길이(m)	곡선반경 (m)	구간위치(이정)	종단구배 (%)	종단구배 길이(m)	곡선반경 (m)
중부1	2.54	450	직선	경부선 (410.41~410.86km)	2.50	450	직선
중부3	1.52	1,800	2,100	서울외곽선 (23.39~24.90km)	1.80	1,510	직선
중부4	1.47	1,300	4,830	서울외곽선 (23.39~24.69km)	1.80	1,300	직선
반월	3.50	1,830	직선	영동선 (34.06~35.89km)	3.50	1,830	직선
광암	2.10	1,500	직선	호남선 (115.47~116.97km)	2.20	1,500	직선
대전	3.00	400	직선	동해선 (14.00~14.40km)	2.80	400	직선
대덕	3.00	130	300	구마선 (21.56~21.69km)	2.90	130	300
옥천	2.20	400	400	중부선 (117.01~117.41km)	2.00	400	500
영동	3.00	1,400	직선	중부선 (29.0~30.4km)	3.00	1,400	직선
황간	2.70	300	직선	동해선 (14.00~14.30km)	2.80	300	직선

1) 건설부, 도로용량편람(1992)의 구릉지 기준인 2~5%의 종단구배를 토대로 설정했음.

〈표 3〉 조사대상 그룹별 해당구간의 시점부와 종점부간 교통속도차에 대한 t-검정 결과

기하 구조 수준	조 사 대 상		표본수	평균 (km/h)	표준편차 (km/h)	t값	p값	속도차 (km/h)
비 양 호	중부1터널/ 유사구간	중부1터널	15	3.98	2.03	3.03	0.0049	2.26
		경부선(410.41~410.86km)	18	1.72	2.21			
	중부3터널/ 유사구간	중부3터널	24	7.43	2.90	6.42	0.0000	5.87
		서울외곽선(23.39~24.90km)	21	1.56	3.23			
	중부4터널/ 유사구간	중부4터널	13	4.69	3.53	2.08	0.0471	2.81
		서울외곽선(23.39~24.69km)	16	1.88	3.68			
	반월터널/ 유사구간	반월터널	18	13.78	3.63	2.34	0.0258	4.12
		영동선(34.06~35.89km)	22	9.66	7.22			
	광암터널/ 유사구간	광암터널	12	12.18	3.99	5.21	0.0000	6.66
		호남선(115.47~116.97km)	17	5.52	2.91			
	대전터널/ 유사구간	대전터널	15	8.08	4.60	4.04	0.0004	6.01
		동해선(14.00~14.40km)	14	2.07	3.26			
	대덕터널/ 유사구간	대덕터널	18	23.83	2.84	3.05	0.0065	5.52
		구마선(21.56~21.69km)	16	18.31	6.73			
	옥천터널/ 유사구간	옥천터널	19	28.59	5.23	4.53	0.0001	6.90
		중부선(117.01~117.41km)	21	21.69	4.42			
	영동터널/ 유사구간	영동터널	11	12.99	5.01	2.66	0.0142	4.60
		중부선(29.0~30.4km)	13	8.39	3.44			
황간터널/ 유사구간	황간터널	11	7.55	3.51	3.94	0.0006	5.50	
	동해선(14.00~14.30km)	15	2.05	3.52				
양 호	마성터널	터널입구	36	81.98	2.28	-11.32	0.0000	6.78
		오르막시점전 지점	31	88.76	2.62			
	강청터널	터널입구	18	93.53	3.35	-5.24	0.0000	6.41
		오르막시점전 지점	15	99.94	3.67			
	양지터널	터널입구	30	86.00	3.85	-4.92	0.0000	4.04
		오르막시점전 지점	36	90.04	2.82			
	중부2터널	터널입구	15	97.49	3.06	-3.57	0.0014	4.36
		오르막시점전 지점	14	101.85	3.50			

주: 본 분석은 건설부, 도로용량편람(1992)에서의 고속도로 기본구간 서비스수준 B(안정교통류)에 속하는 교통자료를 토대로 분석한 결과임.

단구배길이(GL), 터널전방 곡선반경의 역수(R), 터널전방 노면폭(W), 터널전방에서 터널출구가 보이는지 여부(U) 등을 고려하여 수행하였다. 또한 상기분석을 위해 입력되는 조사대상 터널에 대한 터널입구 지점과 터널전방 오르막시점전으로 기하구조가 양호한 지점에 대한 교통속도값은 교통속도를 종속변수로 그리고 교통량을 독립변수로 하는 단순선형회귀모형식에 의해 분석하였다.

한편, 본 연구에서 다루어지는 변수들간의 상관관계를 분석하기 위해 다음과 같은 Pearson 상관관계계수를 분석하였다.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (2)$$

여기서 r : 상관관계계수

i : 관측자료

n : 표본수

\bar{x}, \bar{y} : 변수 x, y 에 대한 각각의 평균값

s_x, s_y : 변수 x, y 에 대한 각각의 표준편차

3.2.2 터널별 교통량-속도 분석

조사대상 터널에 대한 터널입구와 터널전방 오르막시점전 지점에 대한 속도를 산출하기 위해 터널부 교통조사 결과를 토대로 각 지점별로 교통속도를 종속변수로 그리고 교통량을 독립변수로 하여 단순선형회귀분석을 수행한 결과는 <표 4>와 같다.

표에서 보듯이 R^2 의 범위는 0.325~0.835로 나타났다. 또한 [그림 9]~[그림 11]에서 보았듯

이 터널전방 기하구조가 불량하여 터널입구 지점과 오르막시점전 지점과의 교통속도차가 크게 나타나고 있는 대덕터널, 옥천터널, 영동터널에 대한 회귀분석 결과를 타 터널과 비교해 보면 대덕터널과 옥천터널의 경우는 터널입구 지점 분석에 있어서 상수값이 가장 낮은 반면 영동터널의 경우는 이들 두 터널에 비해 상대적으로 조금 높게 나타났으나 직선의 기울기에 있어서는 타 터널에 비해 상대적으로 가파르게 나타나고 있는 특징을 보여주고 있다.

식(1)의 다중선형회귀식을 이용하여 터널전방 감속요인을 분석하기 위해 필요한 터널입구 지점과 터널전방 오르막시점전 지점에 대한 교통속도의 산출은 교통조사 범위내에서 안정교통류에 속하며 표본수가 비교적 많은 영역인 서비스 수준 B에서의 서비스교통량인 1,150pcphpl²⁾

3.2.3 종합분석

식(1)의 다중선형회귀분석에 사용되는 입력변수의 범위는 <표 5>에서 보는 바와 같다. 터널입구 지점과 터널전방 오르막시점전 지점간의 속도차 SD를 종속변수로, G, GL, R, W, U를 독립변수 후보로, F값에 의한 각 변수의 유의도와 변수간 공선성(collinearity) 등을 고려하는 Stepwise 회귀분석을 수행한 결과는 <표 6>과 같다.

그 결과에서 보듯이 종속변수 SD에 대해 0.05 유의수준에서 독립변수로 R과 GL이 선정되었으며, 이 때 상수값은 5.314(p값=0.002),

2) 이는 건설부, 도로용량편람(1992)의 고속도로 기본구간에 대한 기준임

독립변수 R값에 대한 회귀계수값은 6.493(p값=0.000), 독립변수 GL에 대한 회귀계수값은 4.362(p값=0.019)로 나타났으며, R²는 0.814로 산출되었다. 이상의 분석에 대해 입력변수의 범

위는 <표 4>에서 보듯이 SD는 2.58~29.77km/h, R은 0~3.33(1/km), GL은 0~1.83km이다.

식(2)의 Pearson 상관관계계수를 분석한 결과는 <표 7>에 나타난 바와 같다. 표에서 보듯

<표 4> 조사대상 터널에 대한 교통속도-교통량 관계 회귀분석 결과

터널명	분석지점	매개변수 추정치		R ²
		a ₀	a ₁	
중부1터널	터널입구	94.49	-0.017	0.702
	오르막시점전	90.94	-0.010	0.551
중부2터널	터널입구	108.23	-0.013	0.553
	오르막시점전	113.11	-0.010	0.414
중부3터널	터널입구	97.41	-0.007	0.514
	오르막시점전	114.28	-0.017	0.816
중부4터널	터널입구	95.37	-0.007	0.472
	오르막시점전	97.95	-0.007	0.481
반월터널	터널입구	101.57	-0.011	0.696
	오르막시점전	127.24	-0.025	0.835
광암터널	터널입구	90.81	-0.013	0.613
	오르막시점전	102.89	-0.013	0.400
대전터널	터널입구	82.00	-0.014	0.398
	오르막시점전	92.40	-0.016	0.561
대덕터널	터널입구	68.63	-0.007	0.398
	오르막시점전	94.17	-0.009	0.450
옥천터널	터널입구	71.18	-0.010	0.347
	오르막시점전	98.65	-0.008	0.472
영동터널	터널입구	89.99	-0.015	0.574
	오르막시점전	96.66	-0.008	0.325
황간터널	터널입구	100.43	-0.011	0.666
	오르막시점전	108.15	-0.010	0.455
마성터널	터널입구	94.18	-0.014	0.644
	오르막시점전	105.24	-0.016	0.646
강창터널	터널입구	106.26	-0.012	0.580
	오르막시점전	113.16	-0.013	0.633
양지터널	터널입구	104.80	-0.019	0.696
	오르막시점전	102.19	-0.012	0.474

〈표 5〉 다중선형회귀분석을 위한 입력변수의 범위

변수명	변수의 설명	최소값	최대값
SD	S1과 S2의 속도차(km/h)	2.58	29.97
G	터널전방 종단구배(%)	0.30	3.50
GL	종단구배 2%이상 구간에 대한 종단구배길이(km)	0.00	1.83
R	터널전방 곡선반경의 역수(1/km)	0.00	3.33
W	터널전방 노면폭(m)	2.40	4.30
U ^{*)}	터널전방에서 터널출구가 보이는지 여부	0.00	1.00

주 *) 변수 U에서 터널전방에서 터널출구가 보이면 0, 안보이면 1로 입력함.

〈표 6〉 터널입구 지점과 터널전방 오르막시점 전 지점간의 교통속도차 결정을 위한 Stepwise Regression 분석결과

	변수	매개변수치	F값		p값		R ²
Step 1	Intercept	7.570	33.14	26.03	0.0001	0.0003	0.684
	R	5.969	26.03		0.0003		
Step 2	Intercept	5.314	15.84	23.99	0.0022	0.0001	0.814
	R	6.493	45.90		0.0001		
	GL	4.362	7.61		0.0186		

〈표 7〉 Pearson 상관관계수의 분석결과

		SD	G	GL	R	W	U
SD	상관계수	1.000	0.356	0.188	0.827	0.493	0.202
	P-value	0.000	0.212	0.520	0.000	0.073	0.487
G	상관계수	0.356	1.000	0.642	0.222	-0.036	-0.152
	P-value	0.212	0.000	0.013	0.446	0.903	0.605
GL	상관계수	0.188	0.642	1.000	-0.198	0.199	0.130
	P-value	0.520	0.013	0.000	0.497	0.495	0.657
R	상관계수	0.827	0.222	-0.198	1.000	0.363	0.057
	P-value	0.000	0.446	0.497	0.000	0.202	0.846
W	상관계수	0.494	-0.036	0.199	0.363	1.000	0.175
	P-value	0.073	0.903	0.495	0.202	0.000	0.550
U	상관계수	0.203	-0.152	0.130	0.057	0.175	1.000
	P-value	0.487	0.605	0.657	0.846	0.550	0.000

이 터널입구 지점과 터널전방 오르막시점전 지점간의 교통속도차 SD와의 상관관계 정도에 있어서 터널전방 곡선반경의 역수 R이 0.827(p값=0.000)로 가장 높고 다음이 터널전방 노면폭 W가 0.494(p값=0.073)이며, 그 다음으로는 터널전방 종단구배 G가 0.356(p값=0.212), 2.5톤 이상 트럭구성비 TP가 0.341(p값=0.233)으로 나타났다. 또한 종속변수 SD와의 상관관계계수가 가장 높은 것으로 나타난 독립변수 후보 R이 고려대상의 타 독립변수 후보와의 상관관계계수는 PT가 가장 높은 0.477(p값=0.084), 다음이 W로 0.363(p값=0.202)이며, 그 다음이 G로 0.222(p값=0.446)를 보였으며, 이러한 종속변수 후보간의 공선성(collinearity) 문제는 전술한 Stepwise 회귀분석시에 종속변수로 1단계에서 R이 선정된 후 2단계에서 GL이 추가된 원인이 된다고 하겠다.

4. 결론

본 연구는 지금까지 터널전방의 감속요인과 이들의 감속영향도를 분석하였다. 이상의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.


첫째, 조사대상별 교통측정지점 그룹간 교통속도에 대한 t-검정을 수행한 결과, 터널의 존재 여부 자체가 운전자의 주행속도에 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이 때 터널 존재에 따른 감속영향의 범위는 2.26~6.90km/h를 보였으며, 그 평균치는 5.13km/h로 분석되었다. 따라서 이상과 같이

터널의 존재 자체로 인한 심리적 측면에서의 감속요인이 있으므로 터널관련 교통분석시 기존의 타 교통시설에서 분석된 연구결과를 그대로 이용하는 것은 다소 무리가 따른다는 점을 시사한다고 하겠다.

둘째, 터널입구 지점과 오르막시점전 지점간의 교통속도차 SD를 종속변수로, G, GL, R, W, U를 독립변수 후보로 선정하여 Stepwise 회귀분석을 수행한 결과에 의하면 0.05 유의수준에서 독립변수로 R과 GL이 선정되었으며, 이 때 상수값은 5.314(p값=0.002), 독립변수 R값에 대한 회귀계수값은 6.493(p값=0.000), 독립변수 GL에 대한 회귀계수값은 4.362(p값=0.019)로 나타났으며, R²는 0.814로 산출되었다. 이 때 입력변수의 범위는 SD가 2.58~29.77km/h, R이 0~3.33(1/km), GL이 0~1.83km였다.

셋째, 변수간 Pearson 상관관계계수를 분석한 결과를 보면 터널입구 지점과 터널전방 오르막시점전 지점간의 교통속도차 SD와의 상관관계 정도에 있어서 터널전방 곡선반경의 역수 R이 0.827(p값=0.000)로 가장 높고 다음이 터널전방 노면폭 W가 0.494(p값=0.073)이며, 그 다음으로는 터널전방 종단구배 G가 0.356(p값=0.212)으로 나타났다. 또한 종속변수 SD와의 상관관계계수가 가장 높은 것으로 나타난 독립변수 후보 R이 고려대상의 타 독립변수 후보와의 상관관계계수는 W가 가장 높은 0.363(p값=0.202)이며, 다음이 G로 0.222(p값=0.446)를

보였으며, 이러한 결과로 볼 때 전술한 Stepwise 회귀분석시에 종속변수로 1단계에서 R이 선정된 후 2단계에서 GL이 추가된 것은 종속변수 후보간의 공선성(collinearity) 문제가 크게 작용한 결과로 사료된다.

넷째, 이상의 연구결과가 고속도로 터널부 설계측면에서 일조할 것으로 사료되지만 연구의 범위가 국내 터널의 일부를 대상으로 한 것이므로 연구대상터널에 한정된 결과일 가능성을 배제하기는 어렵다고 하겠다. 

참 고 문 헌

1. 건설부(1992), 도로용량편람.
2. 장현봉, 장덕형(1998), 터널부 교통류 특성 및 용량산정에 관한 연구, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제16권 제3호(통권 40호).
3. 조현우, 장명순(1998), 연속되는 터널의 도로교통량 감소특성에 의한 터널보정계수 산정에 관한 연구, 대한교통학회지. 대한교통학회, 제16권 제3호(통권 40호).
4. 한국도로공사(1995), 고속도로 교통지체구간 개선방안 연구.
5. 한국도로공사(1995), 고속도로 터널설계 실무 자료집.
6. 飯尾廣美 등(1993), 터널부의 노건폭과 주행특성, 고속도로와 자동차, Vol. 34.2, 일본.
7. Allen, B. L., Hall, F. L. and Gunter, M. A.(1985), Another Look at Identifying Speed-Flow Relationship on Freeways, Transportation Research Record, Vol. 1005.
8. Chin, Hoong C. and May, Adolf D.(1992), Examination of the Speed-Flow Relationship at the Caldecott Tunnel, Transportation Research Record, Vol. 1320.
9. Hurdle, V. F. and P. L. Datte(1983), Speed and Flows on an Urban Freeway: Some Measurement and a Hypothesis, Transportation Research Record, Vol. 905.
10. Koshi, Masaki(1992), Capacity of Sags and Tunnels on Japanese Motorways, ITE Journal.