

통행속도 변화와 비용분석을 통한 터널부 길어깨 폭원의 적용에 관한 고찰

최영환 서영기술단 이사

제 1 장 연구배경

도로상에 위치한 터널은 고가의 비용이 소요되는 구조물로서 도로 건설 사업의 계획 및 설계 단계에서 이에 대한 건설비용과 운영 및 유지비용 등이 시설계획에 반영되어야 하며, 이러한 비용측면과 더불어 자칫 병목으로 작용할 수 있는 터널부의 소통 및 안전에 관련된 항목들이 비용과 함께 객관적으로 평가되어야 한다.

터널부의 차량 주행에 영향을 줄 수 있는 요인으로는 평면 및 종단, 종단구배, 터널구간의 곡선반경, 그리고 횡단구성(터널내부의 차로폭 및 측방여유폭 등)과 같은 설계요소를 비롯하여 터널부의 조명시설, 환기시설 등을 들 수 있으며, 횡단구성을 제외한 대부분의 요소들은 비교적 정량적인 설계기준이 제시되어 있는 실정이다.

일반적으로 터널의 횡단구성은 도로선형이나 공법 등과는 별도로 터널 단면 크기의 변화로

인해 전체적인 터널시공 비용에 영향을 주는 반면, 터널단면의 확장에 따른 시거확보 및 폐쇄감 해소로 터널주행시 운전자의 운전행태에 변화를 줄 수 있는 요인으로 작용하는 것으로 알려져 있다.

현재 고속도로 터널부의 경우, 한국도로공사의 설계부문 내부지침에 의거하여 차로수와 터널연장에 따라 일정한 길어깨 폭원 및 각종 시설에 대한 횡단구성요소 기준이 제시되어 있으나 국도와 같은 다차로 도로에 계획되는 터널의 경우 기존 건설의 관례에 따른 최소 규범 외에 이에 대한 특별한 설계기준이 없는 실정이다.

따라서, 고속도로 2개소와 국도 3개소의 터널을 분석대상으로 하여 터널 길어깨폭원 설정과 관련된 횡단구성이 교통류의 행태에 미치는 영향을 분석하고, 시설여건·교통여건 등과 연관하여 교통류 행태 및 용량측면 등을 종합한 적절한 터널부 횡단구성의 적용을 초점에 두고 작성하였다.

제 2 장 연구 내용

터널부에 대한 기존 연구는 아직까지 매우 미흡한 실정이나 고속도로 혹은 다차로도로의 터널부에서 일부의 용량이 감소된다는 점은 이미 일부 연구를 통해 지적된 바 있으나, 이에 대한 근본적인 원인을 구체적으로 제시한 연구는 미미한 실정이다.

터널부와 관련된 대부분의 연구는 운전자가 터널부에 인접하여 기본구간과는 다소 상이한 운전행태를 나타낸다는 점에 착안하고 있는데 이는 기본구간과 비교된 교통류 변화 혹은 그에 따른 용량감소 측면에서 국내외의 기존 연구 상에 일부 제시되고 있다.

그러나 단순한 터널구조물에 의한 영향이 아닌 터널내부의 길어깨를 비롯한 측방여유폭원 등 횡단구성요소가 교통류 혹은 통행안전에 미치는 영향과 같은 미시적인 연구의 경우 국외에 일부 제한된 연구자료가 있기는 하지만 사실상 미미한 실정이며, 본 연구의 근본 취지를 감안할 때 이에 대한 개념정립 및 객관적인 방법론의 구축이 요구된다.

따라서, 터널부와 관련된 기존 문헌을 개략적으로 고찰하여 분석의 방법론 구축에 활용하고자 하였으며, 이와 더불어 국내에 현존하는 터널에 대한 현황자료 조사 및 터널과 관련된 설계지침을 검토하였다.

또한 터널부 횡단구성요소의 차이에 의한 교통류행태의 변화를 보다 면밀히 파악하기 위하여 횡단구성 및 교통량조건, 그리고 도로등급이 서로 다른 여러 터널에 대하여 교통류 현장조사

를 수행하였으며, 여기서 얻어진 기초 자료를 활용하여 터널부 횡단구성의 차이에 대한 영향을 계량화하였다.

다양한 교통조건 및 시설조건에 대한 터널부 교통류 행태 자료를 토대로 각 조건에 적합한 터널부 횡단구성을 제시하였으며, 부가적으로 터널부 횡단구성에 따른 공사비의 증감을 개략적으로 추정하여 분석된 교통 효과와 더불어 검토하였으며, 이를 활용하여 시설에 대한 과다투자 여부를 방지토록 하는데 그 목적이 있다.

제 3 장 국내터널 횡단구성 지침

현재 국도 혹은 지방도와 같은 다차로도로상의 터널 횡단면 구성에 대한 명확한 규정은 미미한 실정이며 대부분 과거의 선례와 동일한 수준으로 차로폭원은 3.5m, 좌우 측방여유폭원은 1.0m 정도를 기준으로 하고 있다.

고속도로의 경우 과거 1.0m의 측방여유폭 기준에서 1996년 고속도로상의 터널부 설계에 대한 한국도로공사의 내부지침으로, 우측 측방여유폭을 일방향 2차로 터널의 경우 2.5m 이상, 일방향 3, 4차로 터널의 경우 1.0m 이상으로 설치할 것을 규정하고 있으며, 만약 터널부의 연장이 1,000m 이상인 경우 검사원을 위한 통로 및 비상주차대를 설치할 것을 규정하고 있다.

한편 2.5m의 길어깨폭원을 갖는 경우는 최근에 개통된 일부 터널에만 해당되며 아직까지 해당기준으로 설계, 운영되고 있는 경우는 극히 드문 것으로 나타났다.

구분	국 도	고 속 도 로	
	2차로 터널	2차로 터널	3차로 이상 터널
터널 단면			
	- 좌측 : 측방여유 1.0m - 우측 : 측방여유 1.0m	- 좌측 : 측방여유 1.0m - 우측 : 측방여유 2.5m	- 좌측 : 측방여유 1.0m - 우측 : 측방여유 1.0m
비고	연장 1km이상의 경우 검사원 통로 및 비상주차대 설치		

[그림 1] 국내도로 터널부 설계지침

제 4 장 교통류 현장조사

4.1 현장조사

교통류 조사를 위하여 현재 운영중인 고속도로 및 국도상의 터널을 대상으로 조사 대상지점을 선정하였으며, 이들은 도로등급, 터널연장 및 횡단구성, 그리고 교통량수준 등의 검토를 전제로 하였다.

상기와 같은 기준으로 고속도로의 터널부 2개소와 일반국도의 터널부 3개소를 대상터널로 선정하였으며, 이들 터널의 입구부와 출구부를 구분하여 총 10지점에 카메라를 설치하여 촬영하였다.

유사 설계수준에 위치한 터널을 분석대상으로 설정하여야 하나, 국도의 경우 기존 터널부의 대부분이 예전의 설계기준인 우측 길어깨폭원

1.0m로 개설되어 있어 길어깨폭원의 차별화가 불가능하며 따라서 길어깨폭원에 대한 동질적인 비교를 위하여 길어깨폭원이 상이한 고속도로상의 2개 터널을 선정하였다.

현재 길어깨폭원이 2.0m이상으로 설계되어 운영중인 경우는 극소수에 불과한데 본 분석에서는 이들 중 제2중부고속도로에 위치한 광지원 터널을 선정하였으며, 1.0m 길어깨폭원의 경우 영동고속도로의 마성터널을 비롯하여 국도상의 3개 터널을 조사하였다.

본 연구에서 터널부의 교통류분석을 위하여 실시한 현장조사의 기본개요는 다음과 같다.

- ① 조사일시 : 2003년 10월 28일, 29일, 30일 (3일간, 주간 5시간, 야간2시간)
- ② 조사대상 : 영동고속도로 마성터널, 중부고속도로 광지원터널, 국도19호선 밤재터널,

〈표 1〉 조사대상 터널의 기하구조

노선명		터널명	터널 폭원(m)	차로 폭원(m)	길어깨 폭 원(m)	차로수 (편도)	지역	터널 연장(m)
고속 도로	영동선	마성터널	9.98	7.2	1.0	2	경기	1,450
	제2중부선	광지원터널	11.15	7.2	2.2	2	경기	526
일반 국도	19호선	밤재터널	9.8	7.2	1.0	2	전남	1,410
	31호선	노루재터널	9.5	7.2	1.0	1	경북	1,700
	38호선	박달재터널	7.0	7.2	1.0	2	충북	1,965

주 : 노루재터널의 경우 양방향 2차로 터널임.

국도31호선 노루재터널, 국도38호선 박달재터널

- ③ 조사지점 : 터널의 입구 및 출구부(각 2개소)
- ④ 조사방법 : 영상검지 카메라를 이용한 현장 촬영
- ⑤ 조사내용 : 차종별 차로별 주행속도 및 교통량자료 등

선정된 조사대상 터널의 횡단구성내역과 주요 제원은 〈표 1〉과 같은데, 영동고속도로 마성터널과 일반국도상의 터널의 경우 차로부 좌우측의

측방 여유폭원은 약 1.0m로 구분되어 있으며, 최근 건설된 제2중부고속도로 광지원터널의 경우 차로 좌측에 1.0m, 우측에 2.2m의 길어깨폭원이 있는 것으로 조사되었다.

4.2 조사방법 및 자료화

상기 설정된 분석대상 터널에 대하여 터널의 입구부와 출구부를 대상으로 각 개별차량에 대한 주행장면을 촬영하여 기초자료를 취득하였으며, 현장 촬영의 기본 개념도는 다음[그림 2]와 같고 각 터널의 입구 및 출구부 상단에 영상검지



[그림 2] 터널부 촬영방법 및 조사지점 개념도

일련 번호	차종 구분	진입						진출					기준거리	속도
		시	분	초	frame	in point	시	분	초	frame	out point			
3	1	16	0	15	12	2	16	0	16	8	0	20	108	
4	1	16	0	31	8	1	16	0	32	3	0	20	113.4	
5	1	16	0	32	11	2	16	0	33	8	1	20	103.5	
6	1	16	0	33	10	1	16	0	34	6	2	20	112.9	
7	2	16	0	51	14	1	16	0	52	11	0	20	94.5	
8	1	16	0	56	7	2	16	0	57	5	0	20	91.4	
9	4	16	1	8	0	2	16	1	8	13	0	20	91.4	
10	1	16	1	32	10	0	16	1	33	8	0	20	83.1	
11	3	16	1	36	13	2	16	1	37	11	2	20	99.7	
12	3	16	1	44	10	2	16	1	45	7	1	20	103.5	
13	5	16	1	59	8	2	16	2	0	5	0	20	99	

[그림 3] 기초 검지자료 예시

용 카메라를 설치하여 촬영하였다.

촬영된 개별 차량 자료는 화면상의 검지기에서 차량의 진출입에 따라 검지된 자료를 토대로 통행량 및 주행속도가 환산되도록 프로그래밍하였으며, 차량검지 간격은 1초 단위를 총 15개 프레임으로 나누어 분석의 정밀도를 제고하였다.

이와 더불어 각 지점별로 모든 차량에 대한 속성자료를 화상검지기만을 통하여 검지하기에는 차량크기 및 중복 등에 따른 검지오류 등이 나타날 우려가 있으므로, 화상검지와는 별도로 수작업을 통한 교통량자료의 확인작업을 수행하였으며, 이를 이용하여 화상검지기의 결과를 검증하는 작업을 병행하였다.

이러한 방식으로 도출된 차량단위 개별 자료인 진출입시간 및 프레임, 그리고 검지기의 이격거리(20m)를 활용하여 해당 차량의 주행속도를 산정할 수 있으며, 개별 차량단위의 기초 검지자료를 예시하면 다음과 같다.

4.3 기초자료 종합검토

상기 제시된 각 조사지점에 대한 자료취득의 유효시간 및 조사 자료수, 그리고 중차량 구성비율은 다음과 같은데, 현장조사 후 촬영된 영상의 자료화 과정에서 발생한 오류를 보정하고자 오류가 발생한 시간대 및 일부 야간 시간대의 영상 검지자료는 분석자료에서 제외하였다.

조사된 개별 차량 자료는 수작업으로 실측된 교통량 자료와의 비교, 검증을 통하여 보정하였으며, 속도자료의 경우 검지기에서 나타난 비현실적인 자료는 실측자료와 비교를 통하여 보정하였다.

통행량 수준은 고속도로의 경우 시간당 평균 2,000대 내외의 통행량이 조사되었는데, 오전 및 오후 시간대를 선정하여 조사한 결과 실질 통행량 수준은 비교적 다양한 분포를 갖는 것으로 나타났으며, 국도의 경우 통행량 자체가 미미하여 거의 자유속도로 주행이 가능한 것으로 분석

〈표 2〉 조사지점별 평균통행속도 비교

구 분					분석시간 (분)	평균교통량 (대/시)	중차량비율 (%)
	합 계	소 형	중 형	대 형			
광지원터널	7,986	6,464	1,437	85	1,775	1,775	19.1
마성터널	9,603	7,724	1,445	434	2,134	2,134	19.6
박달재터널	1,750	1,352	226	172	389	389	22.7
노루재터널	1,628	1,357	232	39	407	407	16.7
밤재터널	1,586	1,359	180	47	397	397	14.3

되었다.

조사된 교통류 자료는 각 차량별 개별 자료를 각각 5분 단위로 집계하여 1시간 교통류 자료를 환산하였으며, 속도의 경우 5분단위 개별차량의 속도 평균치를 사용하였다.

1시간 단위로 집계된 교통류 자료는 모두 정체상태까지 도달하지 않은 안정류 상태로서 불안정류 교통류 자료는 조사된 전체 시간대에 대하여 관측되지 않았다.

교통류 환산결과 고속도로 터널부인 광지원터널 및 마성터널의 경우가 시간당 700~3,000대 수준으로 비교적 다양한 통행량 분포를 갖는 것으로 나타났으며, 국도구간의 경우 시간당 700대 미만의 적은 통행량 수준을 보이는 것으로 나타났다.

또한 각 조사지점의 중차량 구성비율은 고속도로의 경우 약 19%로 유사하며, 국도의 경우 14~22% 수준으로 다소 편차가 있는 것으로 분석되었다.

각 조사대상 터널의 입구 및 출구 지점별 교통

류 및 평균통행속도 자료를 이를 요약하여 제시하면 다음 〈표 2〉와 같다.

제 5 장 터널부 교통류 특성 분석

5.1 기본구간과 터널진입부 속도분포 비교

다양한 조건을 갖는 터널부에 대하여 교통류의 현장관측에 의한 분석을 통하여, 교통조건 및 시설조건에 따라 여러 카테고리 분류하여 주행속도 및 시설에 따른 속도변화를 추적분석 하였다.

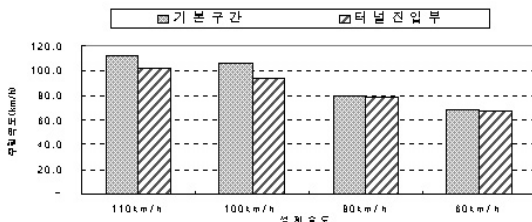
분석대상 터널별 진입부 속도변화 및 교통량-속도 관계를 평가한 결과 차량의 주행속도가 높은 고속도로의 경우 진출입구의 속도차이가 매우 큰 것을 알 수 있으며, 이러한 원인은 높은 속도로 주행시 운전자가 터널을 인식하는 진입부에서 시거불량 및 안전측면에서 감속행태를 보이기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 현상은 80km/h이하의 최대주행속도

〈표 3〉 조사지점별 평균통행속도 비교

(단위 : km/h)

구 분	기본구간	터널진입부	속도차이	비 고
광지원터널	112.1	102.7	9.4	설계속도 110km/h
마성터널	106.1	93.6	12.5	설계속도 100km/h
박달재터널	79.6	78.2	1.4	설계속도 80km/h
노루재터널	68.3	67.4	0.9	설계속도 60km/h
밤재터널	67.3	68.1	-0.9	설계속도 80km/h



[그림 4] 설계속도별 진출입부 속도차이

를 갖는 국도상의 터널에서는 터널 유입부에서의 감속 추이는 미소하게 나타나는 것으로 알 수 있으며, 결국 정상주행시 운전자가 어느 정도의 임계속도 이하에서는 터널부에서도 감속행태 없이 정상적으로 주행이 가능한 것으로 판단된다.

5.2 차로별 교통류 분석

터널에 대한 지점별 속도차이를 주행차로(2차로) 및 추월차로(1차로)를 구분하여 살펴보면 속도차이가 발생하는 설계속도 100km/h 이상의 도로의 경우 1차로가 상대적으로 2차로에 비하여 속도차이가 작은 것을 알 수 있으며, 이는 차

량주행시 기본구간에 비하여 상대적 좁아지는 우측 길어깨폭원의 영향을 2차로가 더욱 많이 받는데 기인한 결과로 판단된다.

한편 설계속도 80km/h인 국도상 터널의 경우 박달재터널에 대하여 차로별 속도분포를 검토하였는데, 두 차로에 대한 전체 자료에서도 변화가 없었듯이 차로별 교통류 자료에서도 기본구간과 터널유입부의 속도차이가 관측되지 않았으며, 결과적으로 터널부로 인한 통행속도 차이가 거의 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

차로별로 교통량-속도관계를 도식화해보면 모든 조사지점에 대하여 1차로의 통행속도가 동일 교통량 수준에서 전반적으로 2차로보다 높게 나타나는 것을 알 수 있는데, 이는 1차로가 추월차로이며 중차량 등 저속차량이 2차로로 주행하는데 기인한 결과로 판단된다.

차로별 교통량 자료의 경우 추월차로인 1차로의 통행비중이 2차로에 비하여 상대적으로 높은 것으로 나타났는데, 설계속도가 높은 고속도로의 경우 전체교통량의 약 55%, 국도의 경우 전

〈표 4〉 설계속도별 진출입부 차로별 속도차이

(단위 : km/h)

구 분		진입부속도	진출부속도	속도차이	비 고
광지원터널	1차로	114.4	108.7	5.7	설계속도 110km/h
	2차로	109.6	95.2	14.5	
마성터널	1차로	110.4	102.1	8.2	설계속도 100km/h
	2차로	101.3	83.3	18.0	
박달재터널	1차로	82.8	82.2	0.6	설계속도 80km/h
	2차로	74.9	73.5	1.4	

체교통량의 약 66% 수준이 추월차로인 1차로로 주행하는 것으로 분석되었다.

또한 통행량 규모가 적을수록 1차로의 통행비중이 커지는 것으로 분석되었으며, 이러한 원인은 터널부가 입지한 도로여건이 대부분 구배구간으로서 추월차로로 소형차량이 사전에 차로변경을 수행한 후 터널에 진입하는 행태를 보이고 통행량 규모가 적을수록 터널의 영향을 덜 받는 1차로의 주행비중이 높아지는데 기인한 결과로 판단된다.

속도차이의 경우 고속도로에서 각 차로별로도 기본구간과 터널유입부의 통행속도차이가 발생할 수 있으며, 설계속도 80km/h의 국도에서는 이러한 현상은 관측되지 않음을 알 수 있다.

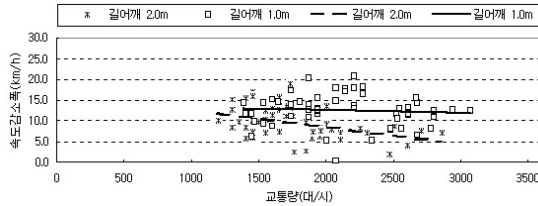
설계속도 110km/h인 광지원터널과 설계속도 100km/h인 마성터널의 경우 광지원터널의 설계속도가 더 높음에도 불구하고 마성터널의 속도차이가 미세하게 큰 것으로 나타나 그 원인에 대한 이들간의 세부적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

5.3 시설 및 교통여건에 따른 터널부 감속행태 분석

분석대상 터널별 진입부 속도변화 및 교통량-속도 관계를 평가한 결과 차량의 주행속도가 높은 고속도로의 경우 진출입부의 속도차이가 매우 큰 것을 알 수 있으며, 이러한 원인은 높은 속도로 주행시 운전자가 터널을 인식하는 진입부에서 시거불량 및 안전측면에서 감속행태를 보이기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 현상은 80km/h이하의 최대주행속도를 갖는 국도상의 터널에서는 거의 나타나지 않고 있다는 점에서 명확히 알 수 있으며, 결국 정상주행시 운전자가 어느 정도의 임계속도 이하에서는 터널부에서도 감속행태 없이 정상적으로 주행이 가능한 것으로 판단된다.

본 분석에서는 터널진입부에서의 속도감소의 원인과 터널부 길어깨폭원과의 관계에 대한 보다 명확한 분석을 위하여 도로등급이 유사하나 길어깨폭원이 다른 고속도로상의 두 터널을 대



[그림 5] 길어깨폭원별 교통량-속도감소폭 관계

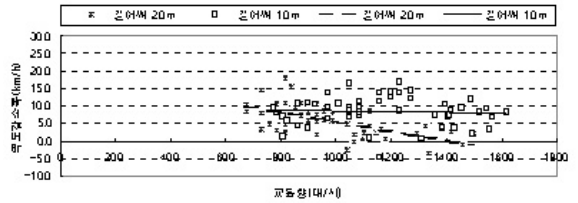
상으로 길어깨폭원에 대한 추가분석을 하였다.

즉 설계속도와 같은 시설조건과 교통량과 같은 교통조건이 유사한 경우의 자료비교를 통하여 터널부 길어깨폭원에 의한 실질적인 교통류행태변화를 모색하였으며, 이를 각 조건별로 구분하여 시설 및 교통조건에 따른 영향정도를 계량화하고자 하였다.

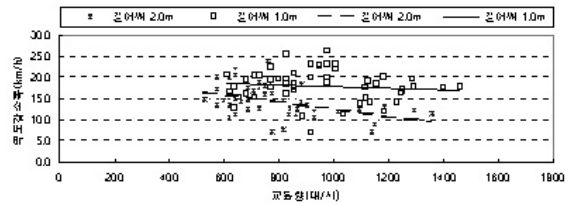
이는 앞서 검토한 바와 같이 설계속도 110km/h인 광지원터널보다 낮은 설계속도 100km/h를 갖는 마성터널이 터널입구부에서 미세하지만 상대적으로 큰 속도감소를 보이는 현상에 착안한 것으로서 이러한 영향이 두 터널 간 상이한 길어깨폭원에 의한 것인지의 여부를 파악하기 위한 것이다.

따라서, 설계속도 80km/h 이하의 국도에 대한 조사자료를 제외하고 설계속도 100km/h 이상 고속도로상의 두 터널을 대상으로 각 교통량 수준별, 차로별 통행속도 감소폭원을 비교하였으며, 이를 근거로 각 조건별로 통행속도의 감소가 발생하는 규모를 파악하였다.

기본구간과 터널진입부간의 속도차이를 교통량에 대하여 도식화한 결과는 다음[그림5]와 같다.



1차로의 교통량-속도감소폭 관계



2차로의 교통량-속도감소폭 관계

[그림 6] 길어깨폭원별 차로별 교통량-속도감소폭 관계

상기 그래프[그림5]에서 보듯이 교통량에 대한 속도감소폭은 길어깨폭원 1.0m의 경우가 전반적으로 높은 것으로 나타났는데, 이는 앞서 제시된 광지원터널과 마성터널간의 평균감소폭의 차이에 근거한 결과이다.

이를 교통량 수준에 대하여 살펴보면 두 개차로의 총 교통량이 시간당 약 1,700-1,800대 수준이하인 경우에는 길어깨폭원별 자료가 혼재되어 있음을 알 수 있으며, 해당 수준 이상인 경우 전반적으로 길어깨폭원 1.0m의 경우가 속도감소폭이 높게 나타남을 알 수 있다.

이러한 현상은 교통량 수준이 낮은 경우 상대적으로 통행속도 감소영향이 적은 1차로의 주행비중이 높는데 기인한 결과로 판단되며, 아주 낮은 통행량 수준에서는 높은 주행속도에 의한 터널부 감속영향은 발생하나 충분한 시거 확보 및

차간거리 확보로 인하여 길어깨폭원에 따른 속도감소폭의 차이는 발생하지 않는 것으로 판단된다. 이를 보다 세부적으로 살펴보기 위하여 각 차

〈표 5〉 교통량에 따른 길어깨폭원별 속도감소량의 차이

교통류율 (대/시)	길어깨 2.0m에서의 속도감소(A)			길어깨 1.0m에서의 속도감소(B)			속도감소폭의 차이 (B-A)		
	1차로	2차로	합계	1차로	2차로	합계	1차로	2차로	합계
450-550	-	15.1	-	-	-	-	-	-	-
550-650	-	15.9	-	-	16.9	-	-	1.0	-
650-750	8.9	15.8	-	-	17.7	-	-	1.9	-
750-850	8.7	13.9	-	6.1	19.7	-	-2.6	5.8	-
850-950	7.1	12.7	-	7.9	18.0	-	0.8	5.3	-
950-1050	6.4	12.1	-	10.2	20.4	-	3.8	8.3	-
1050-1150	2.7	9.5	-	7.5	15.4	-	4.8	5.9	-
1150-1250	2.0	13.1	10.1	10.3	16.2	-	8.3	3.1	-
1250-1350	0.9	12.3	12.1	9.0	17.8	-	8.1	5.4	-
1350-1450	2.5	11.5	9.8	6.5	17.7	10.9	4.0	6.2	1.1
1450-1550	0.5	-	10.7	8.1	17.8	11.2	7.6	-	0.5
1550-1650	-	-	10.8	6.0	-	11.9	-	-	1.1
1650-1750	-	-	12.2	-	-	14.3	-	-	2.1
1750-1850	-	-	11.7	-	-	14.6	-	-	2.9
1850-1950	-	-	7.5	-	-	13.6	-	-	6.1
1950-2050	-	-	8.4	-	-	12.1	-	-	3.7
2050-2150	-	-	6.5	-	-	13.5	-	-	7.0
2150-2250	-	-	-	-	-	15.7	-	-	-
2250-2350	-	-	7.6	-	-	13.2	-	-	5.7
2350-2450	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2450-2550	-	-	5.3	-	-	10.3	-	-	5.0
2550-2650	-	-	4.0	-	-	11.1	-	-	7.1
2650-2750	-	-	7.5	-	-	12.1	-	-	4.6
2750-2850	-	-	6.9	-	-	10.4	-	-	3.5
2850-2950	-	-	-	-	-	12.8	-	-	-
2950-3050	-	-	-	-	-	12.3	-	-	-

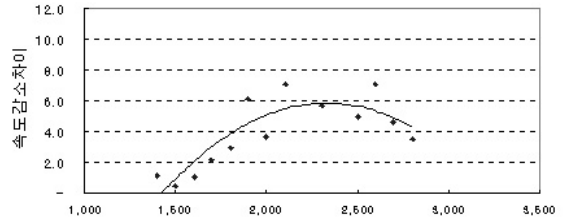
로별로 교통량에 대한 속도감소폭을 도식화하면 [그림6]과 같은데, 해당 자료에서도 상기 결과와 유사한 패턴을 파악할 수 있다.

즉, 1차로 및 2차로 모두 일정수준 이하의 낮은 교통량수준에서는 길어깨폭원에 따른 속도감소폭의 차이를 인지하기 어려우며, 이러한 임계 교통량은 약 600~700대/시/차로 수준을 경계로 나타나고 있다.

상기 검토결과를 종합해 볼 때 터널부의 속도감소 행태는 길어깨폭원에 따라 일부 발생할 수 있으나, 교통량 수준이 일정수준 이상인 경우에 이러한 현상이 일어나는 것으로 파악되었다.

추가적으로 통행량 수준이 일정수준을 초과하여 용량수준에 근접해 가는 경우 차간간격이 매우 규칙적으로 분포할 뿐만 아니라 전반적인 통행속도가 저감되어 터널부의 속도감소폭 자체가 감소하는 경향을 보일 것으로 판단되며, 따라서 터널부 길어깨 폭원에 의한 근본적인 속도감소 영향은 고속도로와 같이 매우 높은 주행속도를 갖는 터널부의 일정교통량 수준(차로당 약 800대/시 이상, 약 1400대/시 이하)에서 미약하나마 발생하는 것으로 분석되었다.

교통량수준에 따른 길어깨폭원별 속도감소폭의 차이에 대한 분석자료는 [표 5]과 같고, 이에 대한 변화패턴을 추세선을 활용하여 도식한 결과는 [그림7]과 같다.



[그림 7] 교통량에 대한 길어깨폭원별 속도감소폭의 차이

상기 자료를 활용하여 회귀분석을 통한 모형식을 구축한 결과는 다음과 같은데, 모형식의 형태는 교통량을 독립변수로 한 2차식의 형태로서 조정된 결정계수는 0.69, F값은 14.06으로서 모형식은 유의한 것으로 나타났다.

결과적으로 길어깨폭원에 의한 터널진입부의 속도감소 영향은 설계속도 100km/h 이상의 고속주행이 가능한 경우에만 발생하며, 일정 교통량수준의 영역에서 최대 6km/h 수준의 속도감소가 추가적으로 발생하는 것으로 나타나, 비교적 통행량이 많은 고속도로부 터널에서 길어깨폭원의 확폭이 다소 유리한 것으로 판단된다.

그러나 교통량이 일정수준을 넘어 지속적으로 증가함에 따라 속도감소폭의 차이는 감소하며, 용량수준에 인접하면 길어깨폭원에 의한 터널부 속도감소의 차이는 없어질 것으로 판단된다.

모 형 식

$$\text{속도감소차이} = -0.000007133 \text{ TIMES (교통량)}^2 + 0.033275 \text{ TIMES (교통량)} - 32.96656$$

adj. R ²	0.69	F	14.06
---------------------	------	---	-------

제 6 장 비용·편익의 분석

6.1 분석의 전제

본 분석의 평가는 통상적인 사업성 및 경제성 평가에 이용되는 비용/편익분석을 이용하며 이

를 위하여 각 항목별 비용 및 편익을 산정 한다.

분석 전제조건으로 국도 2차로터널 양측 2차로, 1m 길어깨폭원을 기준으로 하고 길어깨 폭원 2m 확폭한 횡단구성을 비교하게 되는데, 즉 국도 2차로 터널의 경우 B/C비가 “1”, NPV를 “0”으로 가정하고 설계원안과 비교된 상대적 비

〈표 6〉 건설비 비교

■ 터널연장 : L = 2,000m 기준

(단위 : 천원)

구 분		국도2차로터널		길어깨 확폭터널		
		2차로	2차로	2차로 (길어깨확폭)	2차로 (길어깨확폭)	
조 건						
길 어 깨		주행선:1.0m 추월선:1.0m	주행선:1.0m 추월선:1.0m	주행선:2.0m 추월선:1.0m	주행선:2.0m 추월선:1.0m	
공	목	굴착	9,417,560	9,256,907	12,695,090	12,478,143
		기타/부대		12,693,202		12,737,691
		포장		1,030,716		1,171,789
		소계		32,398,455		39,082,713
		총공사비		49,569,637		59,796,551
사	계	터널		4,523,163		2,418,263
		관리동		109,780		109,780
		소계		4,632,942		2,528,042
		총공사비		5,559,531		3,033,651
비	통 신	터널부		3,122,473		3,222,473
		사급자재		3,320,000		3,320,000
		수탁공사		64,100		64,100
		소계		6,506,573		6,606,573
		총공사비		7,131,068		7,251,068
	관리사무소		802,194		802,194	
	총공사비계		63,062,429		70,883,463	
증 감			-		7,821,034	

용 및 편익을 각 안별로 산정하여 이를 비교한 평가지표값으로 우위를 결정하게 된다.

비용 및 편익의 항목설정은 기본적으로 일반적인 경제성 분석에서의 적용항목을 기준으로 하되 터널부에 국한된 본 분석의 특수성과 자료 취득의 제한을 감안하여 일부항목에 대하여 선택적으로 반영하였다.

6.2 비용의 산정

일반적으로 도로부문의 비용/편익분석에 있어 비용항목의 경우 통상적으로 건설비와 운영관리비를 사용하도록 명시하고 있다.

도로사업에 적용되는 통상적인 유지관리비의 경우 도로 혹은 터널의 연장 및 차로수에 대하여 적용하게 되는데, 본 분석에서는 터널의 단면적의 차이로 반영되며 이 때의 동력비와 같은 운영관리비용을 개별적으로 산정하여 적용하였다.

본 분석에 적용된 사업비의 투입은 터널공사와 관련하여 초기년도부터 사업완료연도인 동일하게 투입하는 것으로 가정하였다.

6.3 편익의 산정

통상적으로 교통관련 투자사업을 시행함으로써 파생될 수 있는 편익의 경우 교통측면의 편익인 직접편익과 교통개선으로 인한 사회적 편익인 간접편익으로 구분할 수 있으며 이들 중 일부 계량가능 편익이 반영된다.

본 분석에서 기본적으로 편익에 반영할 수 있는 항목은 교통류의 소통향상으로 절감될 수 있

는 통행시간의 절감과 운행비용의 절감편익으로 이는 기존 경제성 분석의 항목과 동일하며, 또한 본 연구에서 추가할 수 있는 편익항목으로는 유고에 대한 처리시 절감되는 시간비용 등이 있는데, 앞서 언급한 바와 같이 유고와 관련된 경우는 고장차량, 유지보수, 그리고 교통사고를 들 수 있다. 교통사고와 고장차량에 대한 처리 및 정체해소까지의 절감 편익을 반영하였는데 이는 길어깨의 확폭 혹은 차로 확보 등으로 기존 차로 폐쇄의 규모를 줄일 수 있고 이로 인한 사고처리 전 용량이 확충될 것으로 예상되기 때문이다.

한편 유고사항중 하나인 유지보수의 경우 사실상 연간 2회 야간작업으로 이루어지므로 교통류에 미치는 영향이 매우 미미할 것으로 판단되어 분석의 항목에서 제외하였다.

1) 시간 절감 편익

통행자의 통행시간 절약에 따른 편익산출은 일반적으로 링크 또는 O-D 기반으로 수행되는데 총 통행시간을 이용하여 길어깨 확폭안의 총 통행시간차이를 산출한다. 분석 각 년도의 통행시간 절감편익(VOTS) 계산식은 다음과 같다.

$$VOTS = VOT_{\text{기본안}} - VOT_{\text{길어깨확폭안}}$$

$$\text{여기서, } VOT = \left\{ \sum_l \sum_{k=1}^3 (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl}) \right\} \times 365$$

T_{kl} = 수단별 링크 통행시간

P_k = 도로 수단별 시간가치

Q_{kl} = 수단별 링크 통행량

k = 수단(승용차, 버스, 화물차)

2) 운행비용 절감 편익

차량운행비용은 링크를 기반으로 하여 통행배정 작업의 결과로 산출된 링크의 주행속도와 교통량을 이용하여 주행속도에 따른 차량운행비 원단위를 적용하여 산출된다. 터널부의 차종별 교통량과 길이를 곱한 결과를 링크 평균속도에 기초한 차종별 차량운행비 원단위와 곱하여 개별 링크의 차량운행비를 산출한다.

물론 차종별 링크 주행속도는 상이한 것이 현실적이거나 현재의 통행배정 모형 하에서 이의 반영은 어려우므로 차량편의 산정을 위한 차종별 속도의 구분은 없는 것으로 전제한다. 따라서 분석 각 년도의 차량 운행비 절감 편익(VOCS)계산은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$VOCS = VOC_{\text{기본안}} - VOC_{\text{길어깨확폭안}}$$

$$\text{여기서, } VOC = \sum_{l} \sum_{k=1}^n (D_k \times VT_k \times 365)$$

D_{kl} = 링크의 차종별 대 · km

VT_k = 차종 k의 속도 v에서 운행비용

3) 교통사고 및 고장차량 발생시 지체 절감

본 분석 터널부 횡단구성의 차이로서 길어깨 폭원의 확충으로 설정되어 있으며 이는 터널내의 유고발생시 차로폐쇄정도에 따른 용량차이가 발생할 수 있다.

횡단구성 차이에 의한 사고발생률의 차이는 사실상 거의 없는 것으로 나타나 있으며, 이에 대한 근거자료를 취득하기는 불가능하다.

그러나 사고나 고장차량의 발생시점으로부터

처리되는 시점까지 유고발생지점의 용량은 크게 감소하게 되므로 이러한 병목현상으로 인한 차량지체가 발생하게 되는데, 이 때 길어깨의 추가 확보 혹은 차로의 추가 확보는 용량저하를 다소나마 줄일 수 있는 방안이라 사료된다.

유고로 인한 교통지체의 감소편익은 유고발생률과 유고처리시간, 그리고 교통량 및 처리중 용량을 고려하여 유고시의 상황과 총 지체를 도출할 수 있다.

이 때의 병목으로 인한 지체산정은 통상적인 대기행렬이론으로 접근이 가능한데, 발생한 평균지체 및 총지체의 산정과 관련하여 대기행렬이론의 적용을 위한 모형식을 살펴보면 다음과 같다.

$$D = \frac{t_r t_Q (\lambda - \mu_R)}{2}$$

여기에서, D = 유고로 인한 총 지체시간

t_r = 유고발생 시점으로부터 처리완료 시점까지의 방해시간

$$t_Q = \frac{t_R (\mu - \mu_R)}{\mu - \lambda} \text{ (대기행렬 지속시간)}$$

λ = 유고지점에 도착하는 평균도착율

μ_R = 유고지점에서의 서비스율

μ = 유고지점 상류부의 평균서비스율

편익산정결과 통행시간절감편익이 전체편익의 90%이상으로 대부분을 차지하고 있으며, 유고비용절감편익 및 운행비용절감편익은 발생규모가 미미한 것으로 나타났다.

4) 비용·편익의 분석 결과

본 분석은 절대적인 경제성 지표가 아닌 국도 2차로 터널에 대한 상대적인 비교로서만 분석결과에 의미를 부여할 수 있으며, 따라서 국도 2차로 터널의 비용/편익비를 “1”로 가정하고 이에 대한 상대적인 비교지표로 터널길어깨 확폭의 경우와 비교 분석하였다. 한편 경제성 분석을 위해서는 실제 자본의 기회비용(Opportunity Cost)을 적절히 반영하여 서로 다른 기간 중에 발생하는 비용과 편익을 비교할 수 있도록 적절한 할인율이 채택되어야 하는데, 본 분석에서는 도로 및 철도 등 공공투자사업부문에서 통상적

인 지침으로 사용되고 있는 “도로부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구, 한국개발연구원, 2002”에서 제안한 7.5%를 적용하였다.

경제성분석 결과를 요약하면 <표 7>과 같은데, 단순 길어깨 확폭으로 추가 건설비가 발생하는 터널 길어깨확폭 하는 경우 B/C=0.78로 경제적인 타당성 측면에서는 미흡한 것으로 나타났다.

분석결과 경제적 타당성 측면에서는 국도 2차 터널이 우수한 것으로 평가되는데, 이는 실질적으로 증액되는 공사비 규모에 비하여 본 분석에서 채택된 계량가능 편익의 발생규모가 미흡한 데 기인한 결과로 판단된다.


<표 7> 경제성 평가결과 요약

구 분		국도2차로터널	길어깨확폭터널
조 건		2차로	2차로 우측 길어깨확폭
길 어 깨		주행선:1.0m 추월선:1.0m	주행선:2.0m 추월선:1.0m
건설비 (백만원)	투입액	63,062	70,883
	증 감	-	7,821
유지운영비 (백만원/년)	투입액	157	92
	증 감	-	▼65
할인전편익 (백만원)	운행비용절감	-	235
	통행시간절감	-	11,875
	유고지체절감	-	549
	합계	-	13,955
경제성 분 석	B/C	1.0	0.78
	NPV(백만원)	0	-1,456
	IRR(%)	7.5	5.0

제 7 장 결론

본 연구에서는 국도터널의 적정 길어깨폭원 적용을 근본 목적으로 하며, 이를 위하여 터널부의 교통류 행태를 조사분석하여 시설조건 및 교통조건에 대한 적정 길어깨폭원의 기준을 마련하고자 하였다.

이에 대한 일련의 조사 및 분석에 의한 결과는 다음과 같다.

- 터널부의 교통류 행태변화를 파악하기 위하여 조건이 상이한 5개 터널의 입구부와 출구부의 교통류 자료를 조사하였으며, 이를 교통류율 및 평균통행속도로 환산하여 교통류 분석을 수행하였다.
- 설계속도별 속도감소의 경우 설계속도 100km/h 이상인 도로상의 터널의 경우 입구부를 기준으로 기본구간에 비하여 약 10km/h 내외의 속도감소를 보이는 것으로 나타났으며, 설계속도 80km/h이하 도로의 경우 속도감소 행태는 관측되지 않았다.
- 통행량이 적을수록 추월차로인 1차로의 통행비중이 높아지며, 1차로 주행시 터널에 의한 영향이 상대적으로 적은 것으로 나타났다.
- 교통량 변화에 따라서는 자유류 상태인 일정수준까지는 터널부 길어깨폭원에 따른 속도감소 차이가 발생하지 않는 것으로 분석되었으며, 교통량이 증가함에 따라 점차로 길어깨폭원에 의한 속도감소차이도 증가하다 일정 수준의 교통량에서 최대 5-6km/h의 차이를 보이고 다시 감소하는 행태를 보이는 것으로 분석되었다.
- 분석결과를 종합하면 터널부에서의 교통류 영향은 설계속도 100km/h이상 고속도로급의 높은 주행속도를 갖는 경우에만 속도감소가 발생하고 80km/h 이하의 설계속도를 갖는 국도도로에서는 그 영향이 미미하며, 교통량 수준에 따라서는 자유류 상태와 용량에 근접한 수준에서는 길어깨폭원의 영향이 미치지 않는 것으로 분석되었다.
- 경제성 분석결과 국도 2차로 터널이 경제적 타당성 측면에서 유리하며, 운전자의 쾌적도, 터널부 유지보수의 용이성 혹은 사고시 처리차량의 접근용이성과 같은 계량화가 불가능한 효과가 존재할 것으로 예견되어 그 우열을 정량화 하기는 어려울 것으로 판단된다.
- 비용/편익의 분석결과 평가기준의 계량화할 수 있는 항목에 대한 평가로서 사실상 운전자에 대한 통행의 쾌적도, 터널부 유지보수의 용이성 혹은 사고시의 처리차량의 접근용이성과 같은 계량화가 불가능한 편익이 존재할 것으로 판단되며 이는 비용측면과의 정량적인 비교와는 또 다른 차원에서 논해야 할 것으로 판단된다.
- 따라서, 도로수준 및 통행량 수준을 감안할 때 국도터널의 추가적인 길어깨 폭원 확폭은 경제적 측면에서 과다투자의 소지가 있는 가를 면밀히 분석하여야 하며, 소통측면 및 교통류의 원활한 흐름측면을 고려한 터널부 길어깨확폭 적용을 하여야 할 것으로 분석되었다. 

참 고 문 헌

- 1) Werner Brilon & Kerstin Lemke, Cross Section in Road Tunnels, Ruhr-University of Bochum, Germany
- 2) Finn H. Amundsen & Asbjern Hovd, Norwegian Road Tunnelling, Norwegian Soil and Rock Engineering Association, Norway
- 3) H. S. Levinson, M. Golenberg and J. Howard, Callahan Tunnel Capacity Management, TRR 1005, pp.1~10, TRB, 1985
- 4) T. Weng, and P. Olszewski, Highway Capacity Reaserch and Application in Singapore, Proceeding of Second International symposium on Highway Capacity, pp.147~156, 1994
- 5) Masaki Koshi, Capacity of Sags and Tunnels an Japanese Motorways, ITE Journal, 1992
- 6) Hong C. Chin, and Adolf D. May, Examination of the speed-Flow Relationship at the Caldecott Tunnel, TRB 1320.
- 7) Traffic Flow Fundamentals, Adolf D. May, Prentice Hall
- 8) 최준, 고속도로에서의 터널부 용량산정 및 교통류 특성 고찰, 공학석사학위논문, 서울대, 1993
- 9) 조현우, 장명순, 연속되는 터널의 도로교통용량 감소특성에 의한 터널보정계수 산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제16권 제3호, 1998
- 10) 장현봉, 장덕형, 터널부 교통류 특성 및 용량산정에 관한 연구, 대한교통학회지 제16권 제3호, 1998