

■ 論 文 ■

터널부 교통류 특성 및 용량산정에 관한 연구

Analyzing traffic characteristics and estimating capacities for typical tunnel sections

장 현 봉

(목원대학교 도시공학과 교수)

장 덕 형

(관동대학교 교통공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
 - II. 터널부 교통류 일반특성
 - III. 조사 방법
 - IV. 교통류 특성 및 용량 분석
 - 1. 교통량-속도 관계
 - 2. 교통량-밀도 관계
 - 3. 속도-밀도 관계
 - 4. 속도-밀도 관계 모형 정립
 - 5. 분석결과 비교
 - V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

요 약

도로망 전체구간의 소통 장애와 안전을 저해하는 요소 중의 하나로 터널구간을 들 수 있다. 특히 산악과 구릉 지형이 많은 우리나라의 도로설계에서 터널에 관한 교통특성이 중시되어야하지만 이에 대한 국내외의 기준이 명확히 정립되어있지 못하다. 이러한 과제를 해결하기 위한 기초적인 시도로 본 논문에서는 영상처리기법에 의하여 양방 2차로와 4차로의 도로에 포함된 터널부에 대하여 기본적인 교통특성을 조사분석하였다. 양방 2차로에서는 용량이 1,500대/시로 기본구간에 비하여 약 6%의 감소를 보이며, 4차로의 경우는 용량이 2,000대/시로 기본구간에 비하여 약 10%의 감소를 보였다. 한편 교통밀도와 속도와의 관계에 있어서는 양방 2차로의 경우 Underwood와 Edie의 모형이 그리고, 양방 4차로의 경우 Underwood의 모형이 비교적 설명력이 높은 것으로 나타났다.

본 연구는 1994년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비 지원을 받아 수행되었음.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

터널은 일반도로에 비하여 많은 건설비가 소요되지만 산악과 구릉 등 장애물이 많은 지역에서는 통행시간과 비용을 절감하는 효과가 크므로 우리나라의 경우에 그 건설의 타당성이 높다고 볼 수 있다. 최근 급속한 차량증가로 인하여 교통혼잡이 심화되고 있으며 특히 터널주변에서의 교통체증과 안전저해 등이 그 요인의 하나로 작용하고 있다. 이러한 현상은 터널부가 갖는 측방여유의 협소, 터널 내·외부간의 조명도의 차이 등 운영 및 설계 상의 기준이 적절하게 정립되어 있지 않으므로 터널구간을 일반구간과 같은 설계개념으로 접근하는 데서 기인한다고 볼 수 있다.

일례로 도로설계의 여러 요소 중 차로폭과 차로수는 수요와 용량의 대비를 통하여 결정되어야 하겠으나 우리나라의 경우 터널부에서의 용량기준이 제대로 정립되지 않은 관계로 일반구간에서와 같은 기준을 사용하고 있는 실정이다.

종래에는 일반 도로구간 설계에 있어서도 교통특성이 우리나라의 경우와 상이한 미국의 기준¹⁾이 사용되어 왔으나 최근 우리나라의 도로용량편람²⁾이 연구·발간됨으로써 이러한 폐단이 수정되었다. 그러나 여기서도 터널부에 대한 부분은 다루이지 않고 있다. 산지가 산재되어 있는 우리나라의 여건상 도시지역이나 지역간 도로 공히 터널의 효율적인 설계와 관리가 전체도로망의 소통과 안전도모에 많은 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 몇몇 터널구간에 대한 용량, 교통량, 속도, 밀도 등 교통류 특성을 조사하여 일반도로구간과 비교·분석함으로써 터널부 계획에 이를 참고하도록 하며, 향후 본격적인 터널부 교통류 특성 규명의 기초적인 연구를 수행하는데 본 논문의 목적이 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 논문에서는 터널을 포함하고 있는 여러 유형의 도로 중에서 고속도로의 터널 구간을 중점적으로 분석하였는데 이는 고속도로가 도시내 혹은 여타 지방도로에 비해 신호 또는 여러 가지 제약으로부터 방해받지 않는 연속적인 교통흐름을 나타내며 고속도로상의 터널부에 대한 분석이 터널부 용량에 중요한 기초가 될 것으로 판단되었기 때문이다.

조사는 다양한 교통량 상태가 관측될 것으로 예상되는 고속도로 4차로 및 2차로 구간의 터널들에 대하여 실시되었다. 조사시간으로는 하계 휴가철 주말 시간대 및 평시 주말 시간대로 선정하여 조사를 수행하였으며 자세한 내용은 조사방법에 제시되어 있다. 조사대상 터널구간들에 대하여 현지에서의 교통류 특성 조사를 실시하였으며 조사 방법은 터널별로 주간 시간대를 중심으로 교통류 특성을 VTR 화면에 녹화하여 이를 실험실내에서 재생하여 분석하였다. 분석기법으로는 영상처리기법(Image Processing)을 도입하여 매 차량마다 속도, 점유시간, 비점유시간을 측정했으며 여기서 점유율과 밀도, 교통량을 산정하였다. 이 과정에서 영상처리기법에 의한 교통특성치를 실측치에 일치시키기 위하여 다수의 보정작업을 거쳤다.

II. 터널부 교통류 일반특성

터널부의 차량 움직임과 지체에 이르는 일반적인 과정을 보면, 터널 입구 부근에서는 속도 저하 현상이 나타나지만, 차량 행렬 중 선두차의 저속주행에 대해 추종차는 잠시 시간을 두고 반응하므로 감속도가 크게 나타나며, 차량 행렬의 후미 차량은 감속도가 더욱 커진다. 또한, 선두차가 감속하지 않아도 터널내에서는 차량간의 거리를 길게 잡기 위해서 유사한 상태의 감속이 생기게 된다. 고속도로에서는 평면선형, 종단선형 등의 영향으로 인해 주행속도와 차두간격이 곳에 따라 변하는데 터널 구간에서는 자연 지체현상(bottle neck)이 자주 발생하므로 터널부의 변

1) TRB(1994), "Highway Capacity Manual", Special Report 209.

2) 건설부(1992), 도로용량편람.

화량은 크다.3)

특히 이러한 터널 입구부근에서 속도저하와 차량 간의 거리증대를 일으키는 요인은 다음과 같다.

- 1) 터널 입구 직전에서는 입구가 블랙홀(Black hole)처럼 보여 진입시 긴장감이 고조된다.
- 2) 터널 입구에서는 어두움에 대한 적응이 늦어지므로 잠깐동안 주행에 필요한 정보 획득이 불안정한 상태가 된다.
- 3) 측벽 및 천장 등으로 인한 압박감, 폐쇄감 때문에 심리적으로 불안정한 상태가 된다.
- 4) 일정한 간격으로 설치된 조명 기구로 인해 주변 시야의 조도가 변한다.
- 5) 저압 나트륨 램프의 영향으로 거리감이 저하된다.
- 6) 노면폭, 시계, 측방여유폭이 밝은 부분에 비해 좁아지며 압박감이 생긴다.

한편 터널부 용량에 대한 국내의 연구는 거의 없는 실정이며 도로용량 연구의 선두주자격인 미국의 경우도 그 필요성이 크게 부각되지 못하여 이렇다할 연구는 찾아보기 힘든 실정이다. 일본의 경우 고보토크, 오츠키 및 니혼자카의 편도 2차로 터널부에서 실측을 통한 용량치의 산출이 이루어진 바 있는데 조사구간들의 터널 길이는 최소 200m 최대 500m의 구간 길이에서 구배는 3.2% 이하의 평지부인 경우 2차로당 2,200대/시간에서 3,000대/시간까지 도로조건에 따라 다소 상이한 결과치를 갖는 것으로 연구된 바 있다.4)

미국에서는 Caldecott 터널에 대한 연구가 있으며 자료수집은 터널 출구로부터 60m 떨어진 지점에서 감지기를 이용해 조사하였다. 차로수는 2차로이며 노면폭 차로보다는 중앙차로에서 교통량 및 속도가 높게 나타났다. 관측된 최대교통량은 수집된 시간 간격(2분, 15분, 1시간)과 차로에 따라서 차이가 있으나 HCM에서 제시한 2,000(pcp/hpl), JHK에서 제시한 2,200(pcp/hpl)을 넘는 2,300(pcp/hpl)으로 산출되었으며 이때의 속도는 80km/시로 나타났다. 또한 속도와 교통량의 관계를 보면 낮은 교통류에서는 속도는 교통량과 무관하며 높은 교통류에서는 선형으로 감소

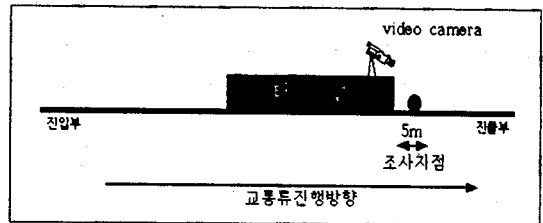
하는 추세를 보이고 교통량이 100대/시 증가할 때마다 약 1.18km/시의 속도가 감소하는 것으로 보고된 바 있다.5)

III. 조사 방법

본 연구에서는 영상처리기법(Image Processing)을 통하여 교통류 특성을 분석했다. 이를 위하여 Video 촬영을 통한 자료조사를 실시하였다.

조사는 경부고속도로의 대전터널, 옥천터널, 영동터널, 중부고속도로의 중부 4터널, 동해고속도로의 동해 1, 2터널, 대전시내의 대덕터널을 대상으로 수주간에 걸쳐 실시되었다. 이 중에서 옥천터널, 영동터널, 중부 4터널, 동해 1터널, 대덕터널은 혼잡상태의 교통상태가 이뤄졌으나 이는 주로 전방의 교통 증가에 따른 충격파에 의한 영향으로서 터널자체의 특성을 반영하기 어렵다는 판단하에 이들 자료를 분석에서 제외하였다. 따라서 본 논문의 분석은 경부고속도로의 대전터널과 동해고속도로의 동해 2터널의 자료를 중심으로 이뤄졌다.

본 조사에 앞서 Video Camera의 설치장소 파악을 위하여 한국도로공사의 협조를 얻어 사전에 답사를 수행하였다. Video Camera의 설치는 상·하행 교통류의 포착이 명확하고 인접 차로와의 혼란방지 및 Image Processing기법의 분석을 용이하게 하기 위하여 터널 상단에 설치하였으며 동해터널은 진입부에서 그리고 대전터널은 진출부에서 촬영이 이뤄졌다(<그림 1> 참조).



<그림 1> 교통량 및 속도조사 방법

3) 飯尾廣美의 2인(1993), "터널부의 노면폭과 주행특성", 고속도로와 자동차 VOL. 34. 2.

4) Masaki Koshi(1992), Capacity of sags and tunnels an Japanese Motorways, ITE Journal.

5) Hoong C. Chin and Adolf D. May(1992), Examination of the Speed-Flow Relationship at the Caldecott Tunnel, TRR 1320.

이렇게 하여 설치된 Video Camera를 통하여 동해 고속도로의 동해2터널에 대해서는 년중 교통량 집중이 가장 큰 하계 휴가철기간 중 특히 주말기간인 1995년 8월 5일(토요일) 및 8월 6일(일요일)의 양일간에 걸쳐 주간 시간대(오전 7:00~오후 18:00)를 중심으로 자료수집을 진행하였으며 경부고속도로의 대전터널에 대해서는 주말기간인 1997년 11월 15일(토요일) 및 16일(일요일)에 걸쳐 자료를 수집하였다.

한편 각 조사지점별 도로조건은 설계도면을 입수하여 확인한 바 동해 2터널이 종단선형에 있어 구배가 커 저속차량에 의한 속도감소가 일단 클 것으로 판단된다(표 1) 참조.

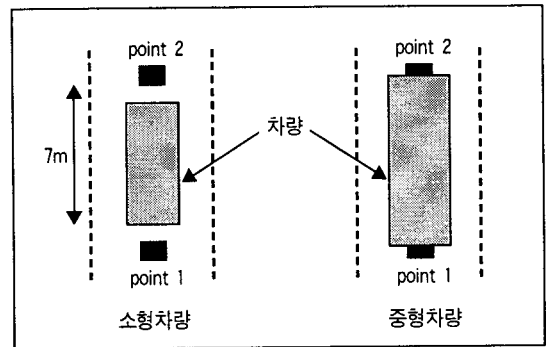
〈표 1〉 조사지점별 도로조건

구분	위치(km)	종단선형(%)	곡선반경(m)	연장(m)
동해 2터널	강릉기점 142	+6.5	1,500	449
대전터널	서울기점 1536	-3.0	0	465

본 연구에서는 각 조사지점에서 촬영한 비디오 테이프를 화면에 재생시킨 후 영상처리기법(Image Processing)을 사용하여 개개 차량에 대한 차종구분(대형·소형), 속도, 차두시간 등을 구하였다. 이를 설명하면 다음과 같다.

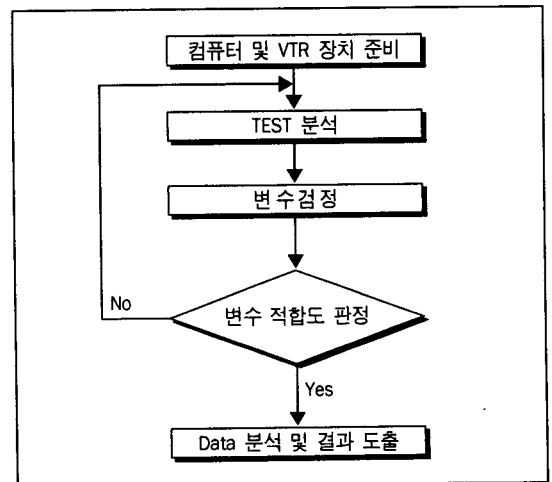
일반적으로 컴퓨터는 모든 정보를 디지털로만 취급할 수 있으므로 우선 촬영한 비디오 테이프의 아날로그 방식의 정보를 디지털로 변환시키는 것이 필요한데, 이것은 이러한 기능을 수행하는 화상처리 보드를 컴퓨터내에 장착시킴으로서 가능하다. 이러한 과정을 거쳐 컴퓨터 화면상에 비디오 촬영화상이 나타나면 화면상의 차로부에 두 지점을 선택하여 교통량 측정과 속도 및 기타 자료의 산출근거로 삼는다. 화면상의 비디오 정보는 각각의 pixel에 "grey level"이라는 속성을 갖고 저장되는데 Image Processing Program은 차로의 "grey level"이 다르다는 점을 이용하여 저장된 지점의 "grey level"이 변하는 순간 차량이 지나간 것으로 인지하게 된다. 또한 차로부의 두 지점을 선정하여 차량들이 이 지점을 통과할 때의 시간 및 지점간의 거리를 이용하여 차두시간 및 속도 분석이 이루어진다. 교통량을 pcu 단위로 나타내기 위해서는 중차량의 비율이 파악되어야 하는데 영상처리기법(Image Processing)에서는 소형차량의 길이와

중차량의 길이를 미리 결정하여 두 지점간의 거리와 일치시키고 차량통과시 두 지점 사이를 차량의 "grey level"이 완전히 덮을 때에 중차량으로 인식하게 된다. 본 분석에서는 교통량 측정시 차종구분을 위하여 우리나라 소형차량의 길이가 대부분 7m 이내에 포함되는 것을 고려하여 소형차량의 길이를 7m 미만으로, 중차량의 길이를 7m 이상으로 간주하고 두 지점간의 거리를 7m로 설정하여 중차량을 구분하였으며 이를 그림으로 나타내면 〈그림 2〉와 같다.



〈그림 2〉 차종구분의 원리

이상의 방법에 따라 동해 2터널과 대전터널에 대한 자료분석을 수행하였으며 개별차량에 대한 자료를 15분 간격의 시간대별로 1차 정리하고 이를 토대로 1시간 단위의 교통유출로 환산하여 교통량, 속도 및 밀도간의 상호관계를 정립하였다. 그 분석과정을 보면 〈그림 3〉과 같다.



〈그림 3〉 영상처리기법에 의한 교통류 분석과정

영상처리기법(Image Processing)으로 얻은 속도값의 결과를 확인하기 위하여 보정과정(calibration)이 요구된다. 이를 위하여 같은 지점에서 Video Camera로 촬영한 시간 중 15분간에 대하여 동시에 Radar Speed Meter를 이용하여 차량 전수의 속도조사를 수행하였다. 영상처리기법(Image Processing)으로 얻은 속도값은 구간평균속도이며 Radar Speed Meter를 이용하여 얻은 결과는 지점평균속도이기 때문에 이 둘간의 관계를 감안하여 영상처리에 의하여 추정된 값과 실측치를 일치시키는데 이용하였다. 시간평균속도와 공간평균속도 사이의 관계는 다음과 같다.

$$\bar{\mu}_t = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{n} \quad (1)$$

$$\bar{\mu}_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i/n} = \frac{1}{1/n \sum_{i=1}^n t_i} \quad (2)$$

$$\bar{\mu}_t = \bar{\mu}_s + \frac{\sigma_s^2}{\bar{\mu}_s} \quad (3)$$

$$\bar{\mu}_s = \bar{\mu}_t - \frac{\sigma_t^2}{\bar{\mu}_t} \quad (4)$$

$$\text{단, } \sigma_t^2 = \frac{1}{n-1} \sum (\mu_i - \bar{\mu}_s)^2$$

여기서, $\bar{\mu}_t$: 시간평균속도(km/시간)

$\bar{\mu}_s$: 공간평균속도(km/시간)

μ_i : 차량 i 의 속도

n : 관측수

σ_s^2, σ_t^2 : 각각 시간평균속도와 공간평균속도에 대한 분산

여기서 Rader speed meter를 통하여 실측된 시간평균속도에서 ($\sigma_s^2 / \bar{\mu}_t$)만큼 뺀 값과 영상처리기법에 의한 값이 일치되도록 하기 위하여 영상위의 두 검지선간의 거리를 변화시키면서 검지선간의 거리가 실제도로공간에서의 7m와 일치되도록 수차에 걸쳐 보정작업을 수행하였다.

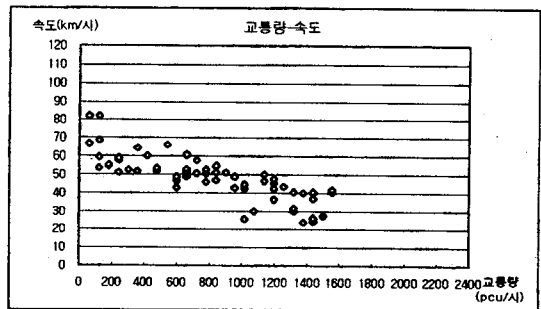
IV. 교통류 특성 및 용량 분석

1. 교통량-속도 관계

전술한 방법에 따라 동해 2터널과 대전터널에 대해 해당시간동안 전 차량의 전수조사를 실시하여 각각 15분 간격 66개, 5분 간격 33개의 집단으로 취합한 자료군을 1시간 단위의 교통류율로 환산하여 정리한 교통량-속도 관계는 <그림 4(a), (b)>와 같다.

1) 동해 2터널

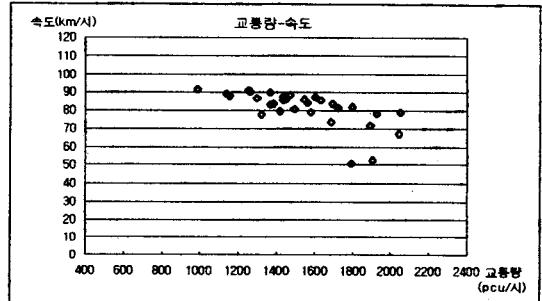
양방 2차로인 동해 2터널의 경우, 대체로 교통량이 증가함에 따라 속도가 감소하는 일반적인 교통량-속도 관계를 만족하는 것으로 나타나며 자유교통류 속도는 약 80km/시에서 형성되고 최대 교통량은 1,500대/시 수준인 것으로 분석되었다. 이 때의 평균 속도는 41.3km/시 정도로 자유교통류 상태의 속도의 절반 수준이다.



<그림 4(a)> 터널부에서의 교통량-속도관계 (동해 2터널)

2) 대전터널

양방 4차로인 대전터널의 교통량-속도 관계 역시 최대교통량까지는 교통량이 증가함에 따라 속도가 감소하는 전형적인 관계를 보이고 있으며 최대교통량은 약 2,000대/시이고 이때의 속도는 대체로 70km/시의 수준이다.

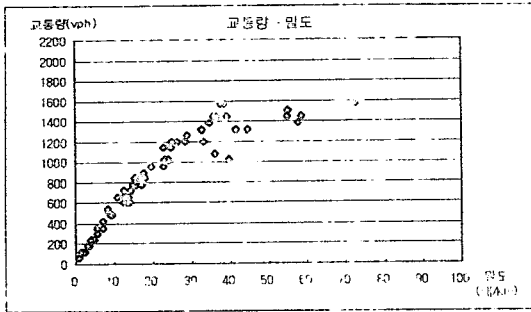


<그림 4(b)> 터널부에서의 교통량-속도관계 (대전터널)

2. 교통량-밀도 관계

1) 동해 2터널

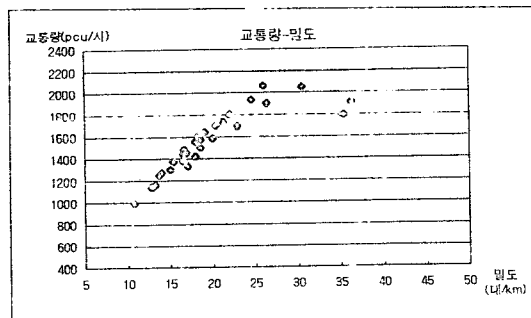
양방 2차로인 동해 2터널에서 교통량-밀도의 관계는 자유 교통류 영역에서는 포물선의 형태를 취하고 있으며 혼잡교통류 영역인 오른쪽 끝 부분에서는 비교적 평탄한 모양을 띠고 있다. 최대 교통량(또는 용량)은 1,500대/시이며 최적 밀도는 약 40대/km를 보이는 것으로 분석되었다.



〈그림 5(a)〉 터널부에서의 교통량-밀도관계 (동해 2터널)

2) 대전터널

양방 4차로인 대전터널의 경우, 자유교통류영역에서는 직선형태를 취하다가 교통량이 증가함에 따라 속도가 저하되는 포물선의 형태를 취하고 있으며 혼잡교통류영역에서는 대체로 완만한 하향경사를 보이고 있다. 최대교통량(또는 용량)은 약 2,000대/시이고 최적밀도는 약 30대/km에서 발생하는 것으로 보인다.

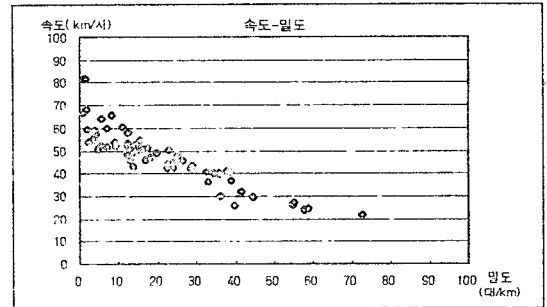


〈그림 5(b)〉 터널부에서의 교통량-밀도관계 (대전터널)

3. 속도-밀도 관계

1) 동해 2터널

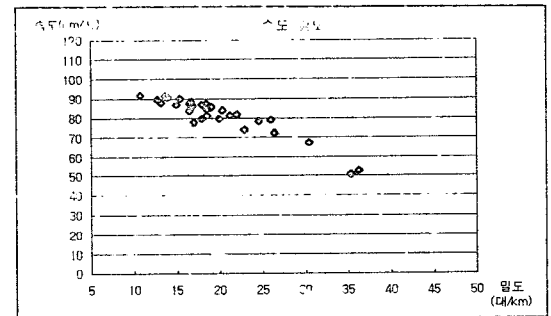
양방 2차로인 동해 2터널의 속도-밀도의 관계를 보면 밀도가 증가하면 속도는 선형적으로 감소하는 관계를 보이고 있으며 자유 교통류 속도는 약 80km/시에서 나타났고 72대/km의 밀도에서 20km 내외의 속도를 보이는 것으로 분석되었다.



〈그림 6(a)〉 터널부에서의 속도-밀도 관계 (동해 2터널)

2) 대전터널

양방 4차로인 대전터널의 속도-밀도관계 또한 일정한 형태의 패턴을 보이며 밀도가 증가할수록 속도가 감소하는 선형의 관계를 보이는 것으로 분석되었다. 이 경우 자유교통류속도는 약 100km/시에서 나타났다.



〈그림 6(b)〉 터널부에서의 속도-밀도 관계 (대전터널)

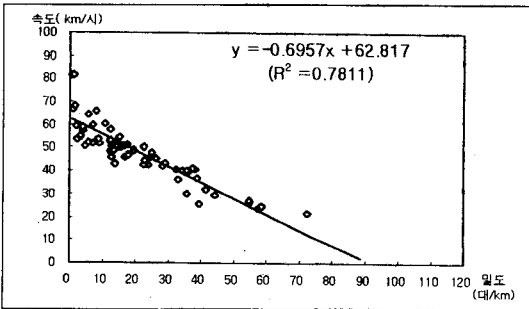
4. 속도-밀도 관계 모형 정립

1) 단일모형(Single-regime models)

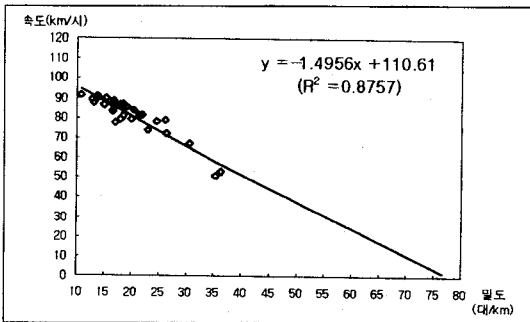
(1) 직선모형

속도-밀도 모형에는 Greenshields, Greenberg, Underwood 등의 모형이 있으며 모든 영역을 만족시

키기는 어렵지만 선형모형인 Greenshields의 모형이 사용하기에 간단하고 연속교통류의 형태를 비교적 용이하게 파악할 수 있으며 넓은 범위에 걸쳐 관측치와 만족스러운 적합성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 속도-밀도의 회귀분석을 이용하여 Greenshields의 직선식에 적용한 결과는 <그림 7(a), (b)>와 같다.



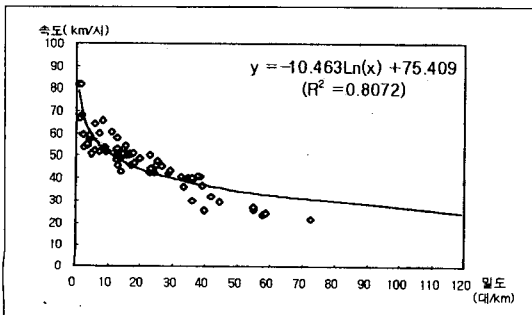
<그림 7(a)> 속도-밀도 관계 (직선식 : 동해 2터널)



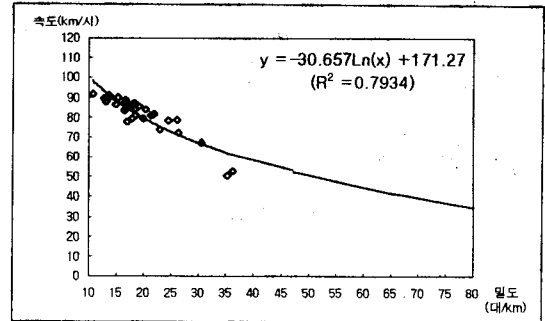
<그림 7(b)> 속도-밀도 관계 (직선식 : 대전터널)

(2) 지수모형

Greenberg의 속도-밀도 관계모형에 조사자료를 적용한 결과는 <그림 8(a), (b)>와 같다.

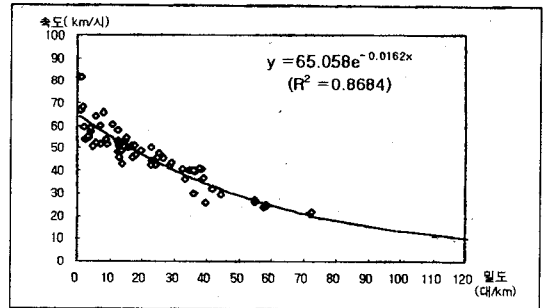


<그림 8(a)> 속도-밀도 관계 (Greenberg식 : 동해 2터널)

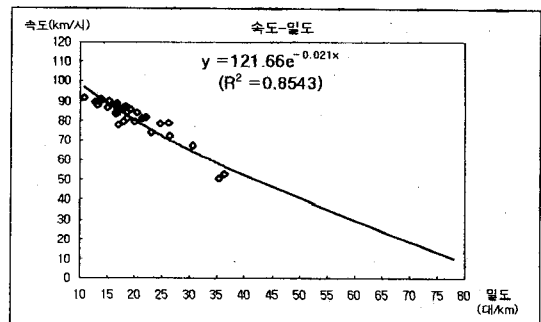


<그림 8(b)> 속도-밀도 관계 (Greenberg식 : 대전터널)

Underwood는 Greenberg의 모형을 수정한 다음과 같은 모형을 제시하였으며, Underwood의 모형을 이용하여 속도-밀도의 관계를 나타낸 결과는 <그림 9(a), (b)>와 같다.



<그림 9(a)> 속도-밀도 관계 (Underwood식 : 동해 2터널)

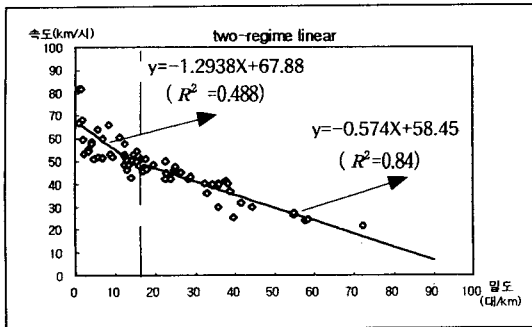


<그림 9(b)> 속도-밀도 관계 (Underwood식 : 대전터널)

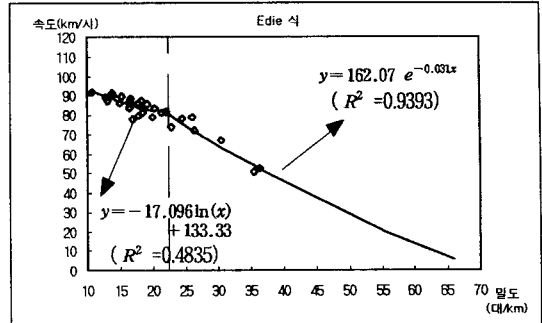
2) 이중모형(Two-regime models)

(1) 이중선형모형(Two-regime linear models)

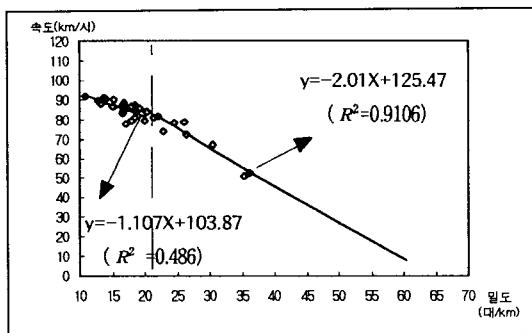
이중선형모형을 이용하여 속도-밀도 관계를 나타낸 결과는 <그림 10(a), (b)>와 같다.



〈그림 10(a)〉 속도-밀도 관계 (이중선형식 : 동해 2터널)



〈그림 11(b)〉 속도-밀도 관계 (Edie 식 : 대전 터널)



〈그림 10(b)〉 속도-밀도 관계 (이중선형식 : 대전 터널)

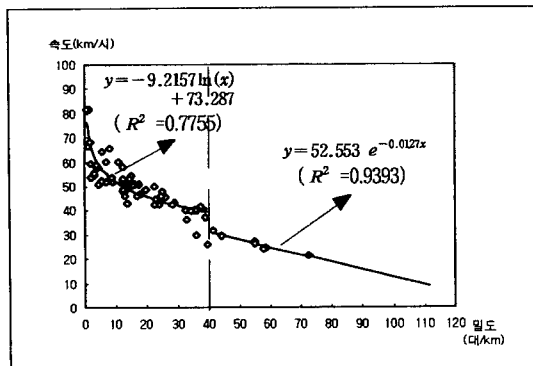
이상에서 제기한 각각의 모형을 비교하면 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉 속도-밀도 관계 모형의 비교

적용 모형	기본식	동해 2터널	대전 터널
Greenshields	$u = u_f [1 - (\frac{k}{k_f})]$	$y = -0.6657x + 62.817$ $R^2 = 0.7811$	$y = -1.496x + 110.61$ $R^2 = 0.8757$
Greenberg	$u = u_m \cdot \ln(\frac{k_f}{k})$	$y = -10.463 \ln(x) + 75.409$ $R^2 = 0.8072$	$y = -30.657 \ln(x) + 171.27$ $R^2 = 0.7934$
Underwood	$u = u_f e^{-bk}$	$y = 65.058 e^{-0.0112x}$ $R^2 = 0.8684$	$y = 121.66 e^{-0.021x}$ $R^2 = 0.8543$
Two-regime Linear	두 개의 Greenshields 모형	$y = -1.2938x + 67.88$ ($R^2 = 0.488$) $y = -0.574x + 58.45$ ($R^2 = 0.84$)	$y = -1.107x + 103.87$ ($R^2 = 0.486$) $y = -2.01x + 125.47$ ($R^2 = 0.9106$)
Edie	Greenberg와 Underwood의 모형 복합	$y = -9.2157 \ln(x) + 73.287$ ($R^2 = 0.7755$) $y = 52.553 e^{-0.012x}$ ($R^2 = 0.9393$)	$y = -17.096 \ln(x) + 133.33$ ($R^2 = 0.4835$) $y = 162.07 e^{-0.031x}$ ($R^2 = 0.9058$)

(2) Edie모형

Underwood와 Greenberg 모형의 장점을 택하여 개발한 Edie의 모형에 속도-밀도 관계를 나타낸 결과는 〈그림 11(a), (b)〉와 같다.



〈그림 11(a)〉 속도-밀도 관계 (Edie 식 : 동해 2터널)

이상에서 볼 때 양방 2차로인 동해 2터널의 경우는 단일모형으로서 Underwood 모형의 설명력이 높고 이중모형으로는 Edie 모형의 설명력이 높은 것으로 나타났다. 한편 양방 4차로인 대전터널의 경우는 단일모형으로서 역시 Underwood 모형이, 그리고 이중모형으로는 Edie의 모형이 설명력이 높은 것으로 나타났다.

5. 분석결과비교

관측된 속도 교통량 자료를 도로용량편람(건설부, 1992)의 기준과 비교하되 터널부에 대한 속도-교통량 곡선에 대한 기준 자료가 거의 없기 때문에 고속도로

기본구간에 대한 속도-교통량곡선과 비교하였다. 중차량에 대한 승용차환산계수는 도로용량편람(건설부, 1992)의 고속도로 기본구간의 평탄지 중차량에 대한 적용치인 1.5pcu를 적용하였다.

분석결과 도출된 속도-교통량곡선은 도로용량편람과 대체로 유사한 형태를 보이지만 다소의 차이를 보이고 있으며 그 이유는 터널 자체에 의한 영향 및 조사 상황에 대한 차이 때문인 것으로 보여진다.

1) 동해 2터널

동해 2터널의 교통량-속도 및 고속도로 기본구간에 대한 곡선은 <그림 12(a)>와 같다. 그림에 제시된 바와 같이 도로용량편람의 기준과 본 연구 조사의 곡선간에는 약 6%의 용량감소가 발생한다. 조사된 상황과 도로조건이 서로 같다고 가정하면 터널의 영향으로 인하여 최대교통량이 감소하는 것으로 볼 수 있다.

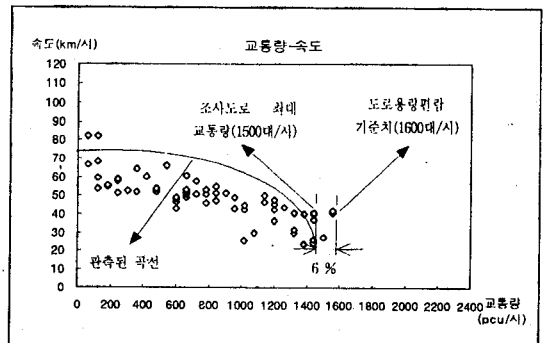
2) 대전터널

대전터널의 교통량-속도곡선과 설계속도 100 km/시에서의 고속도로 기본구간에 대한 도로용량편람(건설부, 1992)의 기준을 비교하면 <그림 12(b)>와 같다. 그림에 제시된 바와 같이 두 곡선간에는 약 10%의 용량감소가 발생한다. 이것은 조사된 상황과 도로조건이 같다고 가정할 때에 터널자체의 영향으로 인하여 최대교통량이 감소하는 것으로 볼 수 있다.

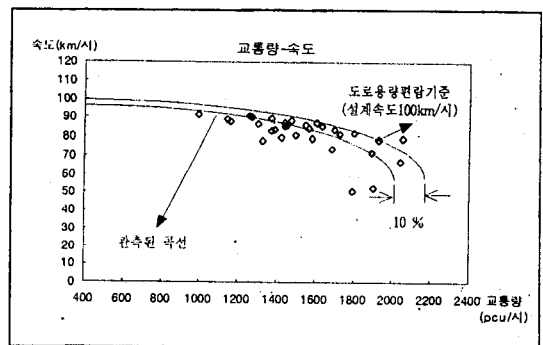
대전터널을 중심으로 하여 이 결과를 터널이 아닌 기본구간과 비교하면 조사지점의 구배는 약 3%이내의 하향구배로 용량감소에 증대한 영향을 미치지 않으며, 터널구간의 차로폭 및 측방여유폭은 각각 3.6m, 1m로 도로용량편람(건설부, 1992)의 차선폭 및 측방여유폭에 대한 보정계수를 적용할 때 fw=0.98로서 이상적인 경우에 비하여 2%의 용량감소가 산정된다. 이렇게 볼 때, 본 터널부에서 10%의 용량감소 중에서 2% 정도는 터널의 측방여유 등에 의한 감소분이

며 나머지 8%정도가 터널에 의한 감소분으로 추정되며 터널부에서 이러한 용량감소와 속도저하가 일어나는 이유에 대해서는 교통심리학적 측면에서 터널구간이 주는 미지의 위험에 대한 심리적 영향으로 보는 관점이 있다.⁶⁾ 한편, 본 논문의 범위에서 이러한 터널부의 용량감소에 대한 정밀한 원인을 밝히는 데에는 한계가 있다.

여기서 비교적 적은 규모의 용량감소가 발생하는 것은 대전터널의 선형 및 도로조건이 양호하기 때문이며 운전자들 또한 충분한 안전거리를 확보하지 않고 짧은 차두간격으로 통행을 하기 때문인 것으로 보여진다.



<그림 12(a)> 동해 2터널의 교통량-속도 곡선 비교



<그림 12(b)> 대전터널의 교통량-속도 곡선 비교

6) 신용균, 이진호, 강수철(1997), 도로 기하구조와 운전행동과의 관계, 교통안전연구논집 제16권, p.74.

"터널구간 주행시 과속자들은 터널 진입전 100m지점부터 지속적인 속도저하를 보이다가 터널 진입 후 약 40m지점에서 최저속도를 그리고 100m가 지난 지점부터 서서히 가속을 보였다. 운전자들은 터널진입 후 40m지점까지 경계태세를 하다가 이후 터널상황에서의 속도행동을 결정하는 것으로 판단된다. 특히 총 4회의 브레이크 조작행동이 있었는데 아마도 터널구간에서의 빈번한 브레이크 사용은 미지의 위험에 대한 대비태세를 의미한다고 할지라도 터널 주변에서의 속도 변산과 교통류에 영향을 미칠 것으로 판단된다".

V. 결론 및 향후 연구과제

첫째, 터널부의 용량을 보면 양방 2차로(동해2터널)의 경우 1,500대/시로서 기존의 도로용량편람의 2차선도로(양방향기준)의 1,600대/시보다 약 6%가 감소한 것으로 나타났다. 그리고 양방 4차로(대전터널)의 경우는 2,000대/시로서 도로용량편람의 고속도로 기본구간의 용량인 2,200대/시보다 약 10% 감소한 결과를 보이며, 여기서 터널부의 차로폭 및 측방여유의 영향을 제외하면 약 8% 정도의 감소가 추정된다.

둘째, 속도와 밀도간의 관계에서 양방 2차로의 경우는 Underwood와 Edie의 모형이, 양방 4차로의 경우는 Underwood의 모형의 적합도가 높은 것으로 나타났다.

본 논문의 결과에서도 나타나듯이 도로의 기본구간에 비하여 터널부의 용량감소 현상은 분명하며 도로망 전체의 소통증진과 안전유지를 위해서는 이러한 특성이 터널부 설계(차로수, 차로폭, 측방여유폭 등)에 반영되어야 한다.

본 논문의 한계상 보다 광범위한 터널들에 대한 조사가 수행되지 못하였으므로 이를 기초로 하여 향후 차로수, 구배, 설계속도, 곡선반경을 비롯한 다양한 도로 및 교통 환경별로 터널부 교통특성에 관한 연구가 진행될 필요가 있다.

참고문헌

<국 내>

1. 건설부(1992), 도로용량편람.

2. 신용균, 이건호, 강수철(1997), "도로 기하구조와 운전행동과의 관계", 교통안전연구논집 제16권, p.74.
3. 유경수(1995), "고속도로 교통지체구간 개선방안 연구", 한국도로공사 연구 보고서 95-23-3.
4. 조춘일(1995), "고속도로지체현상연구", 한국도로기술대학원, 석사학위논문.
5. 최 준(1993), "고속도로에서의 터널부 용량산정 및 교통류 특성 고찰", 서울대학교 공학석사학위논문.

<국 외>

6. 나가세끼, 히사노부(1993), "터널조명이 교통흐름에 미치는 영향", 일본도로공단시험연구소, VOL. 30.
7. 飯尾廣美의 2인(1993), "터널부의 노면폭과 주행특성", 고속도로와 자동차 VOL. 34. 2.
8. Adolf D. May(1990), Traffic Flow Fundamentals, PRENTICE-HALL.
9. D.L. Gerlough and M.J. Huber(1975), Traffic Flow Theory, TRB Special Report 165.
10. Hoong C. Chin and Adolf D. May(1992), "Examination of the Speed-Flow Relationship at the Caldecott Tunnel", TRR 1320.
11. Masaki Koshi(1992), "Capacity of sags and tunnels an japanese Motorways", ITE Journal.
12. Public Roads Administration(1990), "Norwegian Design Guide of Road Tunnels".
13. TRB(1992), Highway Capacity Manual, Special Report 209.