

# 상시교통량 조사자료를 이용한 통행저항함수 추정에 관한 연구

A Study on the Travel Impedance Functions using permanent traffic monitoring data

김병기 (한국건설기술연구원, 연구원)      한대철 (한국건설기술연구원, 연구원)      강원의 (한국건설기술연구원, 수석연구원)      백남철 (한국건설기술연구원, 선임연구원)

Key Words : 교통량 조사, 통행저항 함수

## 목 차

- I. 서론
- II. 선행연구고찰
  - 1. 국내의 통행저항함수 연구
- III. 자료의 수집 및 특성 분석
  - 1. 자료의 수집
  - 2. 유효자료의 선정
- IV. 통행저항함수의 추정
  - 1. BPR 모형의 추정
  - 2. BPR모형의 파라미터 추정결과
  - 3. 추정모형의 적합도 검증
- V. 결론 및 향후과제

## I. 서론

속도 또는 통행시간은 어떤 도로나 도로망의 운영특성을 나타내는 대표적인 지표중의 하나이다. 일반적으로 교통량이 증가함에 따라 통행저항, 즉 지체나 통행시간이 증가하게 되는데, 이러한 교통량과 통행저항과의 관계를 나타내는 것이 통행저항함수(Travel Impedance Function)이다.

교통 흐름은 도로의 기하구조, 교통수요, 운전자 특성, 차량의 성능 등에 제약을 받는다. 각 나라마다 주어진 여건에 따라 독특한 통행저항함수를 갖게 된다. 국가 간은 물론 지역 간과 도로의 기능에 따라 상이한 양상을 보인다. 따라서 외국의 교통체계를 기초로 정립된 통행저항함수 모형을 우리 실정에 그대로 적용하기에는 무리가 있음에도 우리 나라에서는 주로 외국에서 개발한 통행저항함수를 사용해 왔다. 주어진 도로와 교통의 환경여건에서 통행비용의 변화를 반영할 수 있는 정확한 통행저항함수를 정립하는 것이 필요하다.

국도 상에 설치되어 있는 상시 교통량 조사 장비를 이용하여 실시간적이고 실제적인 교통량-속도 관계 자료로부터 정확하고 실증적인 통행저항함수를 구할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 도로설계편람에서 제시한 국도 기능분류에 따라 국도 I 4차로 도로의 도로 기하구조, 교통 특성 및 주변 환경 등을 반영하는 통행저항함수를 추정하고자 한다.

## II. 선행연구고찰

“국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구(건설교통부, 1999)”

에 따르면 국도의 기능별 분류는 아래와 같다.

국도 I은 전국장기간선망(7×9)을 보완하며, 교통수요가 높아 매우 양호한 시설수준을 요하는 교통축으로 주로 장거리 통행을 담당하며 권역간 중심도시를 연결하고 국도의 간선축을 형성하는 국도로 정의한다.

국도 II는 교통수요가 비교적 높아 보통 수준의 시설을 요하는 교통축으로 장거리 통행비율이 국도 I에 비해서 낮고 광역 도시 주변의 주요 도시를 연결하는 구간으로, 4차로 이상의 도로확장이 필요한 국도를 의미한다.

국도 III은 통과교통량의 비율이 낮거나 고속도로 인접구간 또는 관광성격의 도로로서 앞에서 지정한 국도 I, 국도 II를 연계·보완하며 고속도로와 국도의 연계성을 제고하는 구간으로, 통과교통량의 비율이 적고 지역내 통행을 주로 담당하는 국도를 의미한다.

위의 기준에 따라 국도 구간별 기능분류가 이루어 졌으며, 본 연구에서는 국도 I의 4차로도로를 대상으로 하고 있다.

### 1. 국내의 통행저항함수 연구

이의은(1986)은 부산-울산간 국도와 지방도를 분석대상으로 BPR식의 파라미터를 도출하였는데  $\alpha=0.3$ ,  $\beta=2$ 에서 통행의 실상황을 잘 모사하는 것으로 제시하였다.

최기주(1986)는 서울의 신시가지인 영동지역을 대상으로 BPR, Smock과 Davidson 함수의 적합도를 검정하였는데 도시 부 가로에서는 Davidson식이 우수하며, 이 때 파라미터 J값이 0.09 임을 제시하였다.

서선덕(1990)은 처음으로 우리나라 전국 도로망에서 BPR

도로용량함수의 파라미터 산출을 시도하였다. 여러 가지 초기 값과 용량에 대하여 계산한 결과 중에서, 서비스수준 D일 때  $\alpha = 2.72$ ,  $\beta = 6$ 이 우리나라의 도로망에 가장 적합한 값이라고 제시하였다.

주정열(1993)은 분석대상을 전국 규모의 지역간 도로망과 도시 가로망으로 구분하고 지역간은 고속도로, 국도, 지방도별로, 도시내는 간선도로, 보조간선도로, 차로별(1-3)로 세분하여 BPR식과 Davidson식의 파라미터를 검증하였다. 이 연구에서는 BPR식이 전반적으로 모든 차로에서 통행 행태를 잘 묘사하고 Davidson식은 도시부 3차로 도로의 통행 행태를 잘 나타내는 것으로 분석하고 있다.

장덕형(1993)은 O-D자료를 사용하여 고속도로 통행의 지체함수 산출을 시도하였다. 1992년 우리나라에서 제정된 도로용량편람에 근거하여 도로용량을 산출하고 고속도로에서 관측된 속도 등의 자료를 활용하여 BPR식의 파라미터를 검증하였는데 서비스수준 C일 때  $\alpha = 0.17$ ,  $\beta = 1.5$ 이고, 서비스수준 D일 때  $\alpha = 0.37$ ,  $\beta = 2.3$ 이며, 서비스수준 E일 때  $\alpha = 0.58$ ,  $\beta = 2.4$ 를 제시하였다.

강호익(1996)은 고속도로 교통관리시스템의 차량검지 시스템에서 수집된 자료와 전국 국도에 설치된 상시 교통량 조사장비에서 수집된 자료를 이용하여 BPR식의 파라미터를 정산하였는데 고속도로 8차로는  $\alpha = 0.77$ ,  $\beta = 1.2$ 이고, 4차로는  $\alpha = 0.48$ ,  $\beta = 1.91$ 이며, 국도 4차로는  $\alpha = 0.93$ ,  $\beta = 1.8$ 이고, 2차로는  $\alpha = 1.3$ ,  $\beta = 2.3$ 을 제시하였다.

### III. 자료의 수집 및 특성 분석

#### 1. 자료의 수집

본 연구에서는 전국의 국도 상에 설치·운영중인 상시 교통량 조사 지점의 자료를 수집하였다. 추석특송기간을 포함하는 2002년 9월 13일 ~ 2002년 9월 23일의 11일간 자료를 사용하였다. 본 수집자료는 5분 간격으로 방향별, 차종별로 교통량, 속도, 점유율이 포함되어 있다.

분석대상 구간은 국도 I 4차로 도로의 상시 교통량 조사구간으로 다음 <표 1>과 같다.

#### 2. 유효자료의 선정

수집된 자료에는 오차자료가 포함되기도 하였는데 이는 검지부의 결함, 제어부의 결함, 통신불량 등이 대부분이다. 자료의 유효화 과정에서 다음의 경우에 해당하는 자료는 이상치로 규정하여 사용하지 않았다.

- 차종별 5분 교통량 > 0 인데, 차종별 5분 평균속도 = 0 인 경우
- 차로별 5분 교통량이 300대 이상인 경우
- 이상적인 조건에서의 용량 2,000pcphpl를 적용했을 때 V/C가 1.0 이상인 경우

<표 1> 분석 대상 구간

호 선	구 간 명	방향
일반국도 3호선	곤지암~광주시	상행
일반국도 3호선	광주시~성남시	상행
일반국도 3호선	이천IC~이천시	상행
일반국도46호선	화도읍~담내리	상행
		하행
일반국도46호선	남양주시~화도읍	상행
		하행
일반국도 6호선	남양주시~팔당댐	상행
		하행
일반국도 6호선	팔당댐~양평읍	상행
		하행
일반국도48호선	김포시~김포IC	상행
		하행
일반국도17호선	창원IC~남원면	상행
	관촌면~전주시	상행
일반국도 2호선	진전면-마산시	하행
일반국도 7호선	부산시-용상읍	하행
일반국도36호선	내수읍-증평읍	하행

### IV. 통행저항함수의 추정

본 장에서는 국도 I 4차로 도로의 통행저항함수를 수리함수 방법 중에서 보편적으로 가장 많이 사용되는 BPR 모형의 파라미터를 추정하고자 한다.

$$T = T_0(1 + \alpha(V/C)^\beta)$$

#### 1. BPR 모형의 추정

BPR식의 파라미터인  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 추정하기 위해 최소자승법을 사용하여 추정하였다.

- 1) BPR식을 선형모형으로 변형(양변에 log를 취함) 하였다.

$$\log(T/T_0 - 1) = \log \alpha + \beta \log(V/C)$$

- 2) 교통량-속도 자료를 이용하기 위해  $T/T_0 \rightarrow U_f/U$  (여기서,  $U_f$ 는 자유속도)로 변환하였다.

$$\log(U_f/U - 1) = \log \alpha + \beta \log(V/C)$$

- 3) 자유속도의 선정

도로설계편람에 제시된 국도 I의 설계속도는 80kph이고, 도로용량편람에 제시된 설계속도는 90kph, 100kph이다. 본 연구에서는 이상치 등을 제거하고 관측된 속도(최소값 36kph, 최대값 91kph)를 모두 포함하며 도로용량편람의 설계속도를 반영하는 95kph를 자유속도로 선정하여 분석에 사용하고자 한다.

4) 용량 산출

우리 나라의 교통 특성상 최대 관찰교통량은 추석, 설날특송기간에 포함되어 나타나는 경향이 있으며, 따라서, 본 연구의 분석자료는 추석 특송기간을 포함하여 수집된 자료이므로, 최대 관찰교통량을 구간용량으로 가정하여 적용하였다.

<표 2> 최대관찰교통량과 용량

호 선	구간명	방향	최대 관찰 교통 량 (pcph)	용 량 (pcph)
3호선	곤지암~광주시	상행	2,599	2,560
3호선	광주시~성남시	상행	3,461	3,470
3호선	이천IC~이천시	상행	1,838	1,840
46호선	화도읍~답내리	상행	1,922	1,930
		하행	2,083	2,090
46호선	남양주시~화도읍	상행	3,070	3,080
		하행	2,674	2,680
6호선	남양주시~팔당댐	상행	3,125	3,130
		하행	2,438	2,440
6호선	팔당댐~양평읍	상행	2,779	2,780
		하행	2,882	2,890
48호선	김포시~김포IC	상행	3,922	3,930
		하행	3,734	3,740
17호선	창원IC~남원면	상행	2,335	2,340
		관촌면~전주시	상행	2,899
2호선	진전면-마산시	하행	3,202	3,210
7호선	부산시-웅상읍	하행	2,983	2,990
36호선	내수읍-증평읍	하행	2,474	2,480

5) 중차량 보정계수

위와 같이 용량과 교통량을 승용차 환산대수로 나타내기 위해서는 중차량 보정계수를 적용하여야 하는데 중차량 보정을 위해서는 중차량 형태, 혼합율, 지형 등을 고려해야 한다. 본 연구에서 적용한 중차량 보정계수는 다음 <표 3>와 같다.

<표 3> 국도 I 4차로도로 승용차 환산계수

차종 구분	평지
중형(2.5톤 이상 트럭, 버스) (2, 3, 5, 6, 7, 8종)	1.5
대형(세미 트레일러 또는 풀 트레일러) (9, 10, 11종)	2.0

자료 : 건설교통부, "2001년 도로 교통량 통계연보", "도로용량편람 2001"

2. BPR모형의 파라미터 추정결과

최소 자승법을 통해 BPR모형의 파라미터를 추정한 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> BPR 모형의 파라미터

호 선	구간명	방향	a	β	R <sup>2</sup>
3호선	곤지암~광주시	상행	1.18	0.53	0.80
3호선	광주시~성남시	상행	0.75	0.91	0.85
3호선	이천IC~이천시	상행	0.77	0.60	0.76
46호선	화도읍~답내리	상행	0.92	0.76	0.67
		하행	0.87	0.62	0.70
46호선	남양주시~화도읍	상행	0.97	0.53	0.81
		하행	1.22	0.46	0.73
6호선	남양주시~팔당댐	상행	0.66	0.47	0.70
		하행	0.58	0.55	0.57
6호선	팔당댐~양평읍	상행	0.71	0.47	0.65
		하행	0.62	0.55	0.69
48호선	김포시~김포IC	상행	1.22	0.80	0.88
		하행	0.88	0.57	0.85
17호선	창원IC~남원면	상행	0.72	0.70	0.72
		관촌면~전주시	상행	0.45	0.61
2호선	진전면-마산시	하행	0.49	0.51	0.46
7호선	부산시-웅상읍	하행	0.57	0.34	0.72
36호선	내수읍-증평읍	하행	0.80	0.49	0.60

국도 I 4차로 도로의 BPR식 모형의 파라미터를 살펴보면, α의 최소값은 0.45이고 최대값은 1.22이며 평균은 0.80으로 나타났다. β의 최소값은 0.34이고 최대값은 0.91이며 평균은 0.58로 나타났다. 결정계수 값은 평균이 0.71로 비교적 안정된 값을 보이고 있다.

3. 추정모형의 적합도 검증

본 연구에서 추정된 통행저항함수 모형의 적합도 검증을 위하여 18개 분석대상 구간 중 "3호선 광주시-성남시 상행" 구간의 통행시간을 조사하여 추정모형의 적합도를 검증하였다.

통행시간은 상행 2차로 통행차량을 비디오촬영 후 번호판을 판독하여 산출하였으며, 교통량은 통행시간 조사 구간 내에 위치한 상시 교통량 조사 장비의 자료를 사용하였다.

조사 일시는 2002년 12월 11일 11:00 ~ 2002년 12월 12일 11:00이고 조사 구간의 거리는 1km이다. <표 5>는 통행시간 조사 구간의 시간대별 교통량 및 V/C를 보여주고 있다. 이때, 모형의 적합도 검증 지표는 등가계수를 사용하였다.

$$\text{등가계수} = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n [Y_i - X_i]^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2}}$$

여기서  $Y_i = i(V/C)$ 에서의 실측 통행시간

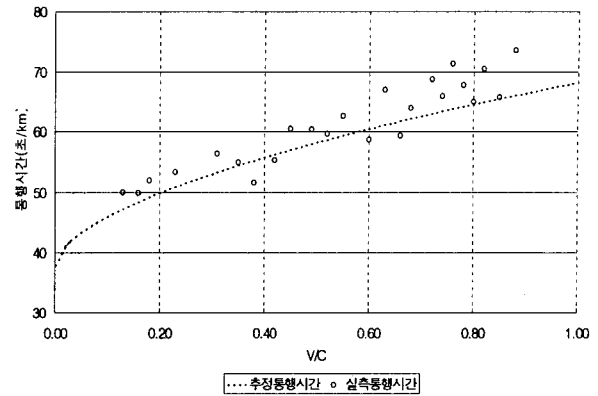
$X_i = i(V/C)$ 에서의 추정 통행시간

<표 5> 통행시간 조사 구간의 시간대별 교통량  
(승용차/시간/일방향)

시 간	교통량	용 량	V/C
00:00~01:00	782	3,470	0.23
01:00~02:00	629	3,470	0.18
02:00~03:00	542	3,470	0.16
03:00~04:00	449	3,470	0.13
04:00~05:00	1,207	3,470	0.35
05:00~06:00	1,310	3,470	0.38
06:00~07:00	2,275	3,470	0.66
07:00~08:00	2,556	3,470	0.74
08:00~09:00	2,633	3,470	0.76
09:00~10:00	2,482	3,470	0.72
10:00~11:00	2,374	3,470	0.68
11:00~12:00	2,074	3,470	0.60
12:00~13:00	1,685	3,470	0.49
13:00~14:00	1,572	3,470	0.45
14:00~15:00	1,445	3,470	0.42
15:00~16:00	2,186	3,470	0.63
16:00~17:00	2,777	3,470	0.80
17:00~18:00	2,954	3,470	0.85
18:00~19:00	3,065	3,470	0.88
19:00~20:00	2,842	3,470	0.82
20:00~21:00	2,714	3,470	0.78
21:00~22:00	1,922	3,470	0.55
22:00~23:00	1,814	3,470	0.52
23:00~24:00	1,075	3,470	0.31

V/C별 실측통행시간과 추정모형의 통행시간을 가지고 위 식에 대입하여 산출한 등가계수를 <표 6>에서 보여주고 있다. 추정된 모형은 실측통행시간에 대해 약 97%의 적합도를 보여주고 있다. 그러나, V/C가 0.13 이하인 부분과 0.88 이상인 부분에 대해서는 실측통행시간이 관측되지 않은 관계로 검증이 이루어지지 않았다.

<그림 1>은 V/C별 실측통행시간과 추정통행시간을 비교하여 보여주고 있다.



<그림 1> 실측통행시간과 추정통행시간의 비교

<표 6> 추정모형의 등가계수

V/C	실측통행시간 (초/km)	추정통행시간 (초/km)
0.13	50.00	47.18
0.16	49.87	48.37
0.18	52.00	49.11
0.23	53.27	50.82
0.31	56.42	53.26
0.35	55.00	54.39
0.38	51.60	55.19
0.42	55.33	56.22
0.45	60.48	56.97
0.49	60.39	57.94
0.52	59.66	58.64
0.55	62.69	59.33
0.60	58.72	60.44
0.63	67.06	61.08
0.66	59.42	61.72
0.68	64.00	62.13
0.72	68.75	62.95
0.74	66.00	63.35
0.76	71.39	63.75
0.78	67.84	64.14
0.80	65.00	64.53
0.82	70.45	64.91
0.85	65.75	65.48
0.88	73.57	66.04
등가계수		0.9693

## V. 결론 및 향후과제

## 참고문헌

본 연구는 통행저항함수를 추정함에 있어 국도 I 4차로 도로의 도로 기하구조, 교통 특성 및 주변 환경 등을 잘 반영할 수 있는 합리적인 모형을 추정하는데 그 목적을 두고 수행하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 추정모형의 패턴이 기존에 알려진 통행저항함수와는 다소 다른 양상을 보이고 있다. 이러한 결과는 국도 I 4차로도로 상에서 교통량 증가에 따른 속도 변화가  $V/C = 1.0$ 까지 거의 일정한 기울기로 감소를 보이고 있기 때문이다.

둘째, 추정모형의 적합도 검증에서 실측통행시간과 추정통행시간으로 등가계수를 산출한 결과 실측통행시간에 대해 약 97%의 적합도를 가지고 있는 것으로 나타났다.

본 연구를 수행하는 과정에서 도출된 향후 연구 과제는 다음과 같다.

첫째, 지점의 속도가 아닌 구간의 통행시간 자료를 가지고 통행저항함수를 추정해 볼 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서 추정한 모형과 국도 I 4차로도로 여러 구간의  $V/C$  변화에 따른 실제 통행시간을 비교하면서 모형의 적합도를 정밀하게 검증하여야 할 것이다.

셋째, 본 연구에서 국도 기능별 통행저항함수의 추정에 있어서 국도 I 4차로도로를 대상으로 하였으나, 이 외에 다른 기능과 차로에 대해서도 통행저항함수의 추정이 필요하다.

1. 건설교통부, 도로용량편람, 1992, 2001
2. 건설교통부, 도로설계편람( I ), 1999
3. 건설교통부, 국도 기능분류 및 효율적 투자방안 연구, 1999
4. 건설교통부, 2001도로교통량통계년보, 2002
5. 강호익, 도로유형별 지체함수 정립과 통행배정에 미치는 영향분석, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 1996
6. 장덕형, 고속도로 통행의 지체함수와 통행저항 파라메타의 민감도 분석에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위 논문, 1993
7. 최기주, 용량함수의 비교 분석 및 그 적용방안에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1986
8. 주정열, 통행배정모형의 도로용량함수 비교 및 적용에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1993
9. 이의은, 링크 지체함수 및 일반화 비용함수의 적용에 관한 고찰, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 1986
10. 서선덕, 한국의 도로용량함수 검증에 관한 연구, 교통연구, 교통개발연구원, 1990
11. Bureau of Public Roads, Traffic Assignment Manual, Department of Commerce, Washington D. C., 1964
12. P. A. Steenbrink, Optimization of Transport Network, John Wiley and Sons, New York, 1974
13. K. B. Davidson, A Flow Traver-Time Relationship for Use in Transportation Planning, Proc. 3rd Australia Road Research Board Conference, Australia, 1966