

□ 論 文 □

# 韓國型 2車線道路 모의실험 프로그램(TWOPAS)의 開發

## Development of Two-lane, Two-way Highway Simulation Program(TWOPAS) for Korean Condition

李 貞 燾      崔 秉 國      尹 汝 煥      尹 恒 默  
 韓國建設技術研究院    韓國建設技術研究院    韓國建設技術研究院    東義工業專門大學

### 目 次

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| I. 서론  | 1. 교통량과 지체 차량 비율 간의 관계     |
| II. TWOPAS 프로그램의 검토 및 수정                     | 2. 교통량과 속도와의 관계            |
| 1. TWOPAS 프로그램 개요                            | 3. 차두간격 분포                 |
| 2. 수정을 위한 자료 조사                              | 4. 앞지르기 횟수                 |
| 3. TWOPAS 프로그램의 검토 및 수정                      | 5. 차량군의 수와 평균 길이           |
| III. TWOPAS K1 프로그램의 모의실험 결과와<br>현장 조사 자료 비교 | IV. 결론 및 향후 연구 과제<br>참고 문헌 |

### ABSTRACT

The two-lane, two-way highway simulation program(TWOPAS) is evaluated for Korean Highway Capacity Manual Study. TWOPAS program input variables, especially related vehicle performance, traffic flow relationship, car-following model and passing logic are examined and modified through the analysis results of our two-lane, two-way highway traffic characteristics. Simulation outputs with and without modification are compared with the field data. The results show that improved TWOPAS program(TWOPAS K1) is well suitable for simulating our two-lane, two-way highway condition.

## I. 서론

2차선 도로는 다차선 도로와는 달리 중앙 분리선을 기준으로 각 방향별로 한 차선씩 자동차가 운행되는 도로를 말한다. 1991년 말 현재 우리나라의 2차선 도로는 포장도로 44,377km 중 37,719km로서 포장 도로의 85%를 차지하고 있다. 제 7차 경제 사회 발전 5개년(1992~1996) 계획에 따르면 2차선 국도 2,810km를 4차선으로 확장하고 약 2,000km를 신설할 계획이다.

2차선 도로가 대부분을 차지하고 있는 우리나라 일반국도의 도로망 체계는 교통량이 많지 않았던 과거에는 문제되지 않았지만, 최근 교통량이 급증하면서 곳곳에서 자동차가 정체되거나 안전상의 문제가 발생함으로 인해 교통 문제에 관심을 기울여 온 많은 사람들의 관심의 대상이 되고 있다.

2차선 도로에서 발생하는 교통 문제를 해결하기 위한 방안에는 기존 2차선 도로를 4차선 이상으로 확장하거나 부분적으로 교통 소통과 안전상 문제가 되는 구간을 개선하는 방안이 있다.

기존 도로를 효과적으로 개선하는 방안은, 막대한 예산이 소요되는 다른 대안보다 예산 문제에서 충분한 설득력을 갖고 있으며, 그러한 방안에 대한 연구 역시 의미 있는 작업이라 하겠다. 그러나 여건을 개선하기 위한 이러한 연구의 대부분은 현장 자료 조사를 필요로 하며, 이 경우에도 조사에 필요한 인력, 장비 및 시간 등에 드는 비용과 실제적인 조사와 분석의 어려움 등이 제약 조건으로 대두된다. 그러한 의미에서 모의실험 프로그램(simulation program)은 비록 간접적이지만 이론적인 모형에 실제적인 조사값을 투입하여 교통 상태를 현장 조건과 유사하게 묘사하여 관련 지표들을 산출할 수 있다는 점에서 연구자에게 예산과 시간 등의 한계를 극복할 수 있게 해준다.

2차선 도로의 교통 특성을 분석하는 데 많이 이용되는 컴퓨터 모의실험 프로그램에는 TWOPAS<sup>6,7,8,9)</sup>, TRARR<sup>12)</sup>, SOVT<sup>14)</sup>, VTI<sup>14)</sup> 등이 있다. TWOPAS와 TRARR 모형의 이론을 비교 검토하는 예비 연구 과정에서, TWOPAS는 이론적 배경이 명백히 제시되어 있고, 각종 보고서에서 그 발전 과정 및 개선점 등이 상세히 기술되어 있으므로 충분한 검토가 이루어졌다.

그러나 TRARR는 호주 도로 연구 위원회(Australian Road Research Board : ARRB)의 독자적인 노력에 의해 개발되어 이론적 배경이 충분히 제시되어 있지 않으며, 그나마 관련 정보도 <TRARR Version 3.0의 사용자 편람><sup>12)</sup>이 전부이다. 반면, TWOPAS와 비교해 볼 때 TRARR는 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

① TWOPAS 입력 자료가 모두 ft, mile 등의 단위를 사용하고 있으나, TRARR는 미터법을 사용하므로 우리나라 사람이 사용하기 쉽다는 점.

② 프로그램 실행 시간도 TWOPAS 보다 TRARR가 짧다는 점.

③ 특히 TRARR는 자동차의 움직임을 사용자가 화면에서 볼 수 있도록 그림으로 나타낼 수 있다는 점 등

TRARR는 이와 같이 내용 외적인 장점이 있으므로, TRARR 프로그램의 개발 배경과 프로그램에 적용된 이론을 검토하여 TWOPAS와 TRARR의 장점을 반영한 개선된 프로그램을 개발하는 데 노력을 기울일 필요가 있다. 본 논문에서는 이들 프로그램 중 실제 교통류를 비교적 잘 묘사하고 있다고 평가 받고 있는<sup>14)</sup> TWOPAS 프로그램을 실행시켜서 2차선 도로의 교통 특성을 가장 잘 설명할 수 있는 앞지르기(추월) 횟수, 차량군의 수와 크기, 지체 차량 비율 등을 실험 자료와 비교하였고, 이를 우리 나라 2차선 도로 교통 특성에 적합하도록 수정(TWOPAS K1)하였다.

## II. TWOPAS 프로그램의 검토 및 수정

### 1. TWOPAS 프로그램 개요

TWOPAS 프로그램은 미국의 MRI(Midwest Research Institute)에서 개발된 2차선 도로 모의 실험 컴퓨터 프로그램으로서, NCHRP Report 185<sup>8)</sup>에서 사용한 TWOWAF 프로그램을 개정한 것이다. TWOWAF 프로그램은 오르막 차선의 교통류를 분석할 수 있게 하기 위해 캘리포니아 버클리 대학의 A. D. May 교수에 의해 수정된 후 캘리포니아 교통부(CALTRAN)의 연구<sup>9)</sup>에서 집중적으로 사용되었다. 그 후 수 차례의 프로그램 수정 작업을 거쳐 마지막으로 텍사스 교통 연구원(TTI : Texas Transportation Institute)에서 수정된 이후부터 TWOPAS라고 불리고 있다.

TWOPAS는 도로 기하구조(종단구배, 평면 선형, 차선 폭, 앞지르기 시저, 앞지르기 차선 유무), 교통 통제(앞지르기 가능 구간, 속도 제한), 자동차 특성(가감속 능력, 자동차 길이), 운전자 특성과 선호도(회망 속도, 선호하는 가감속도, 자동차의 최대성능 이용도, 앞지르기 의사 결정, 양보 차선과 오르막 차선에서의 형태) 그리고 유입 교통 특성(교통량, 차종별 구성, 차량군 비율, 유입부의 도로 선형)을 입력 자료로 받아들여서 교통류를 모의실험한다. 이들에 대한 자세한 설명은 <사용자를 위한 지침서><sup>6)</sup> 또는 <기술 보고서 2><sup>3)</sup>에 자세히 설명되어 있다.

### 2. 수정을 위한 자료 조사

본 논문에서 TWOPAS 프로그램을 수정하기 위해 수집된 자료는, 트럭과 버스의 중량대 마력비, 승용차의 성능, 교통 특성 변수, 차량 추종 모형 관련 변수, 앞지르기 관련 변수 등과 관련된

것들인데, 주로 도로용량편람 연구 조사<sup>4)</sup>의 조사 자료를 이용하였다.

트럭의 중량 대 마력비는 영동 고속도로의 두 지점에서 관측된 자료를 이용하였으며, 승용차 성능 관련 자료는 국내 자동차 제조 회사의 발표 자료와 현장 검증을 통해 수집하였다. 교통 특성과 차량 추종 모형 관련 변수는 도로용량편람 연구 조사<sup>4)</sup>의 조사 결과를 이용하였고, 앞지르기 관련 변수는 구마고속도로와 국도 5호선의 대구-군위 구간의 자료를 분석 이용하였다. 현장 조사 자료는 TWOPAS 프로그램을 검토하고 수정하는 부분과 수정된 프로그램을 실행한 결과의 현장 조사 자료를 비교하는 과정에 포함되어 있다.

### 3. TWOPAS 프로그램의 검토 및 수정

#### 3-1. 중차량의 성능 관련 입력 자료

트럭의 중량 대 마력비 분포는 영동고속도로 신갈 기점 130km 지점과 170km 지점에서 관측하였다. 130km 지점에서 관측된 트럭은 88대이며, 170km 지점에서 관측된 트럭은 78대이며, <그림 1>은 두 자료를 하나의 그림으로 나타낸 것이다.

트럭의 중량 대 마력비는 <식 1><sup>8)</sup>을 이용하여 구하였다.

$$W/P = \frac{550g(1-40h)}{1.47V_f(gGr + A + 1.47B \cdot Vf)} \dots\dots\dots \langle \text{식 1} \rangle$$

여기에서,

W/P = 중량 대 마력비(b/hp)

g = 중력가속도(=32.2ft/sec<sup>2</sup>)

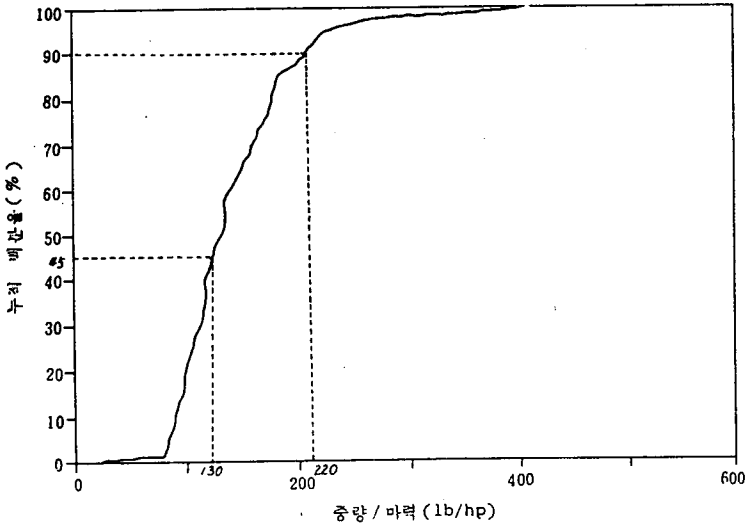
h = 해발 고도(ft)

Vf = 오르막 한계 속도(crawl speed, mph)

Gr = 종단구배(%) / 100

A, B = 구름 저항계수(미국에서는 각각 0.2445, 0.00044를 사용)

〈그림 1〉 중량 대 마력비의 누적 분포(영동고속도로 두 지점 : 166대의 트럭)



TWOPAS 프로그램에는 중차량을 모두 4차종까지 입력할 수 있는데, 이 중 한 개 차종을 버스로 대체하였다.

우리 나라의 대표적인 세 종의 트럭은 〈그림 1〉의 중량 대 마력비 분포를 바탕으로 하여 분류하였다. 〈그림 1〉을 보면, 중량 대 마력비의 누적 분포가 약 90%일 때 곡선의 기울기가 크게 변하므로, 중량 대 마력비의 누적 분포가 90% 이하인 부류에 속하는 트럭을 두 종으로 구분하고, 90% 이상에 속하는 트럭을 하나로 구분하였

다. 구체적으로 언급하면, 45% 미만에 속하는 트럭의 평균 중량 대 마력비, 45% 이상이고 90% 미만에 속하는 트럭의 평균 중량 대 마력비, 90% 이상에 속하는 트럭의 평균 중량 대 마력비를 해당 영역의 트럭의 대표적인 중량 대 마력비로 채택하였다.

버스는 도로 용량 편람 공동 연구회 결과 보고서<sup>2)</sup>를 참조하여 선정하였다. 각 차종의 제원은 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 우리 나라의 대표적인 트럭과 버스

TWOPAS 차 종 번 호	차 종 구 분	중량/마력 (b/hp)	중량/앞 면적 (1b/ft <sup>2</sup> )	길 이		구성비 (%)
				(ft)	(m)	
1	대형 트럭	322	628	38	11.6	11.45
2	중형 트럭	162	373	21	6.4	40.96
3	소형 트럭	106	149	18	5.5	47.59
4	버 스	114	431	34	10.4	—
				합	계	100.00

3-2. 승용차의 성능 관련 입력 자료

TWOPAS 프로그램에서 자동차의 가속 성능은 <식 2><sup>8)</sup>를 이용하여 구한다.

a = A<sub>0</sub>[1-V/V<sub>m</sub>] .....<식 2>

여기에서,

a = 평지에서 속도가 V일 때 낼 수 있는 최대 가속도 (ft/sec<sup>2</sup>)

A<sub>0</sub> = 평지에서 속도가 0일 때 낼 수 있는 최대 가속도 (ft/sec<sup>2</sup>)

V<sub>m</sub> = 자동차의 최대 속도(ft/초)

실제로 운전자들은 <식 2>에서 구한 가속도 (a)보다 작은 가속도로 자동차를 운전하므로, 프로그램 내에는 이러한 운전자 행태를 반영하기 위한 가속도 감소 계수가 포함되어 있다.

A<sub>0</sub> 값과 V<sub>m</sub> 값을 구하기 위한 식은 <식 3><sup>8)</sup>, <식 4><sup>8)</sup>와 같다.

A<sub>0</sub> = 0.86 + 31.38(r<sub>1</sub> × r<sub>2</sub>)/(W/bhp) <식 3>

V<sub>m</sub> = 10.28 + 0.60 √[B(W/bhp)] ..... <식 4>

여기에서,

r<sub>1</sub> = 1단 기어비(엔진과 구동축 간의 가장 높은 기어비)

r<sub>2</sub> = 뒷축의 기어비(구동축과 뒷축 간의 고정된 기어비)

W = 자동차의 총 무게(lb)

bhp = 제조 회사에서 측정한 최대 정지 마력 (brake horsepower, hp)

B = 1/550 [P·C<sub>d</sub>·A<sub>r</sub>/2W + C<sub>r</sub>]

P = 공기 밀도=0.002384 lb/ft<sup>3</sup>

C<sub>d</sub> = 공기 저항계수

A<sub>r</sub> = 자동차의 앞 면적(ft<sup>2</sup>)

C<sub>r</sub> = 구름 저항계수(ft/초, 속도 단위에 대해서 0.65 × 10<sup>-6</sup>)

평지에서 속도가 0일 때의 최대 가속도(A<sub>0</sub>) 값

을 구하기 위해서는 우리 나라 자동차의 r<sub>1</sub>과 r<sub>2</sub>의 값을 알아야 한다. 1단 기어비(r<sub>1</sub>)의 값은 3.45~3.55 정도이지만, 뒷축 기어비(r<sub>2</sub>)의 값은 우리 나라 자동차의 값을 얻을 수가 없어서, 비슷한 것으로 생각되는 일본의 마쯔비시 GLX 승용차 (Bosch, Automotive Handbook)<sup>10)</sup>의 값인 3.47을 적용하여 (r<sub>1</sub> × r<sub>2</sub>) = 12.0의 값을 구하였다. 이 값은 미국 NCHRP Report 185<sup>8)</sup>가 수행될 당시 미국의 전형적인 (r<sub>1</sub> × r<sub>2</sub>) 값인 7.0과는 상당히 큰 차이가 있어서, <식 3>의 적용 범위를 벗어나므로 <식 3>을 이용하지 않는 것이 바람직한 것으로 결론을 내렸다.

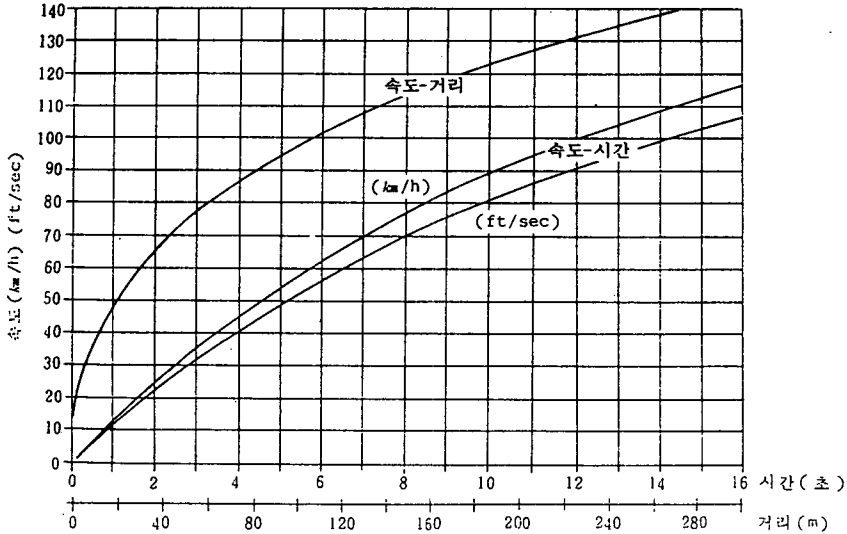
최대 속도(V<sub>m</sub>)의 경우에도 역시 <식 4>를 이용하는 데 문제가 있었다. <식 4>를 이용하여 최대 속도를 구할 경우, 우리 나라 자동차 제조 회사들이 제시하는 최대 속도보다 항상 작게 나왔으며, 이는 미국의 마력 측정법과 우리 나라 마력 측정법이 다르기 때문인 것으로 생각된다. (Bosch, Automotive Handbook, p.331)

그러므로 앞의 식들을 이용하기보다는 현장에서 자동차를 이용하여 A<sub>0</sub>와 V<sub>m</sub>을 실측하는 것이 더 타당하다고 생각되었다. 우선, 최대 속도(V<sub>m</sub>)의 값은 우리 나라 자동차 제조 회사들이 제시하는 값을 이용하였으며(160km/시), 최대 가속도(A<sub>0</sub>)의 경우 우리 나라 승용차가 일본 미쯔비시 GLX 승용차와 비슷한 성능을 가진 것으로 가정하였다. (Bosch, Automotive Handbook)

일본 GLX 승용차는 멈춘 상태에서 100km/시의 속도에 도달할 때까지 소요되는 가속시간이 11.6초이므로, 우리 나라 승용차의 가속 능력은 차령(車齡)을 고려하여 멈춘 상태에서 100km/시의 속도에 도달하는 데 걸리는 가속 시간은 평균 12.0초인 것으로 가정하였다.

최대 속도(V<sub>m</sub>)가 160km/시이고, 멈춘 상태에서 100km/시로 가속하는 데 걸리는 시간이 12.0초일 때, <식 2>를 이용하여 최대 가속도(A<sub>0</sub>)를

〈그림 2〉승용차의 속도와 시간, 거리 관계



구하면  $3.61m/sec^2(11.83ft/sec^2)$ 로 계산된다. 계산에 이용된 속도와 시간, 거리의 관계는 〈그림 2〉와 같다.

3-3. TWOPAS 프로그램의 입력 교통류 관계식

TWOPAS 프로그램의 ENQUE 부프로그램에는 차선당 지체 차량 비율과 차량군의 크기의 관계식이 포함되어 있다. 여기서 지체 차량 비율이란, 전체 자동차 대수에서 4초이하의 차두간격으로 앞 차를 따르고 있는 자동차 대수가 차지하는 비율을 말한다. TWOPAS 프로그램에 원래 포함되어 있던 관계식은 지체 차량 비율이 65% 이하인 경우에만 프로그램이 실행될 수 있도록 만들어져 있다. 우리나라의 경우 〈그림 3〉에서 보는 바와 같이 차량군 비율이 65%가 넘는 경우가 자주 발생하므로 이러한 현실을 반영하여 ENQUE 부프로그램에 포함된 지체 차량 비율과 차량군의 크기의 관계식을 다음과 같이 수정하였다.

교통량이 용량에 가까워지면 지체 차량 비율은

거의 100%에 가까운 값을 나타낸다. 즉, 이론적으로 전체 교통류가 하나의 차량군을 형성한다. 그러나 TWOPAS 프로그램에서는 차량군의 길이를 제한하고 있으므로 지체 차량 비율이 82%를 넘는 경우 〈그림 3〉에 나타낸 바와 같이 차량군의 길이를 15 이하로 제한하였다.

주어진 교통량에 대해 입력 교통류의 차량군 길이를 변화시켜 프로그램을 실행시켜 본 결과, 입력 교통류의 차량군 길이가 프로그램 실행 후 얻은 차량군 길이에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 따라서, TWOPAS 프로그램의 제약과 모의실험 결과를 종합하여 볼 때 다음과 같이 프로그램을 수정하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

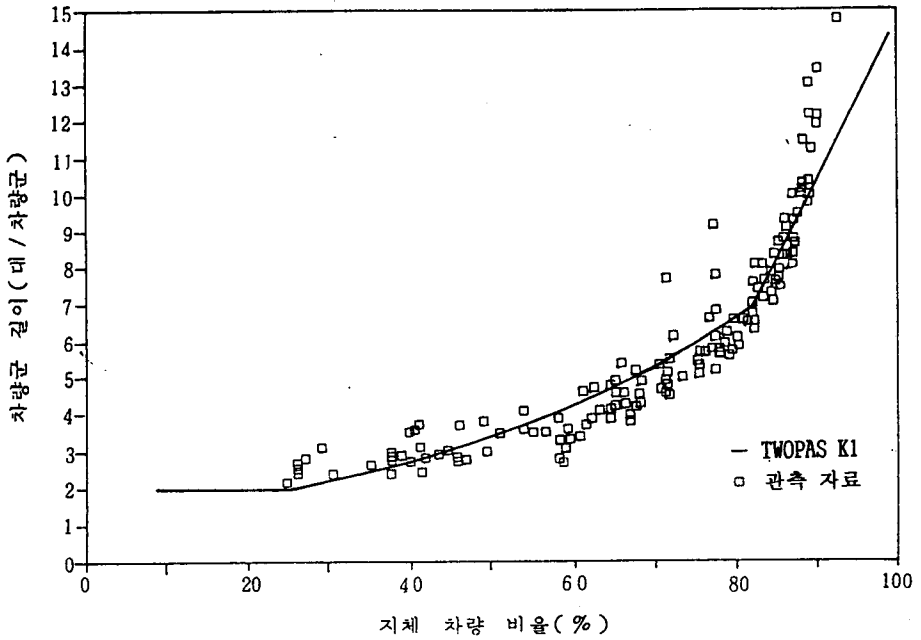
$$IF(XFOLL. LE. 82.) XMPL = 1.130 * EXP(0.022 * XFOLL)$$

$$IF(XFOLL. GT. 82.) XMPL = 0.432 * XFOLL - 28.6$$

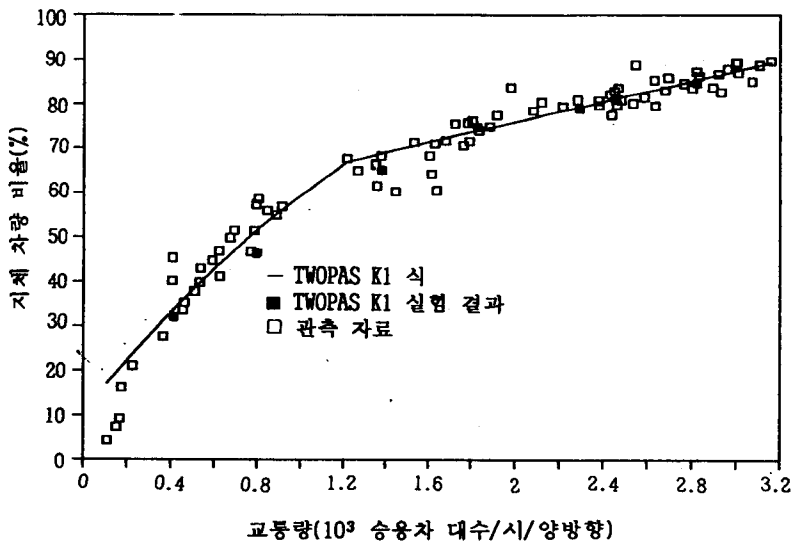
$$IF(XMPL. LT. 2.) XMPL = 2.0$$

여기에서,

〈그림 3〉 지체 차량 비율과 차량군의 크기



〈그림 4〉 지체 차량 비율과 교통량



XFOLL = 지체 차량 비율(%)

XMPL = 평균 차량군의 크기(차량군의 크기가 선두 차량을 포함하여 두 대 이상인 경우만 고려)

현장에서 조사한 자료를 차선당 지체 차량 비율과 교통량의 관계를 그림으로 나타내면 (그림 4)와 같다. 만일 입력 파일에 입력된 지체 차량 비율이 0%일 경우, 입력 자료를 읽어 들이는 REED2 부프로그램에서는 (그림 4)에 근거하여, 차선당 지체 차량 비율을 다음과 같은 회귀식 ((그림 4)안의 실선)으로 고쳐서 이후의 프로그램의 수행시 이용하였다.

$$XPPL(ID) = -0.000052 * SFLO(ID) * * 2 + 0.124 * SFLO(ID) + 10.4$$

$$IF(SFLO(ID).GT. 600.0) XPPL(ID) = 0.023 * SFLO(ID) + 53.0$$

여기에서,

SFLO(ID) = ID 방향의 차선당 교통량 (대/시)

XPPL(ID) = ID 방향의 차선당 지체 차량 비율(%) → XFOLL과 같음

BLOCK DATA의 UPS 변수에는 접근 도로 (모의실험 대상 구간으로 진입하기 전의 도로)의 지형에 따라 각 차종별 자동차의 접근 속도가 주어져 있다. 따라서, 입력되는 자동차의 특성이 달라지면 UPS 변수의 값도 달라져야 한다. 우리나라에는 관광 차량으로 분류될 만한 자동차가 없으므로, 관광 차량의 속도는 미국의 값을 그대로 두고 그 외의 자동차의 속도만 수정하였다.

난수 발생 초기 값(RN)은 큰 의미를 갖는다. 난수 발생 초기 값을 그대로 두고서 도로의 기하구조를 변화시키면, 같은 교통류를 여러 기하구조 상태에서 주행시키는 것과 같은 결과를 얻을 수 있으며, 이 값을 변화시키면 주어진 기하구조 상태에서 주행하는 여러 교통류를 모의실험 (simulation)할 수 있다.

### 3-4. 차량 추종 모형

TWOPAS의 차량 추종 모형에 포함된 차량 추종 계수( $K_p$ )는 운전자 특성을 포함하는  $K_{pd}$  (BKPM) 계수와 도로의 용량과 관련된 계수( $K_{pm}$ )의 곱으로 계산된다. TWOPAS 프로그램의  $K_{pd}$ (BKPM) 변수는 교통량이 많을 때의 차두시간을 분석하여 얻는다.  $K_p$ 를 구하는 식과  $K_{pd}$  (BKPM) 값을 구하는 식은 다음과 같다.

$$K_p = K_{pd} \times K_{pm} \dots\dots\dots \langle \text{식 5} \rangle^8$$

$$K_{pd} = h/h_m$$

$$K_{pm} = h_m - (L_e/V)$$

여기에서,

$h$  = 10% 간격으로 구분된 평균 차두간격 (초)

$h_m$  = 차두간격이 4초 이하인 자동차들의 평균 차두간격(초)

$L_e$  = 혼잡 밀도(jam density) 상태에서 자동차의 유효 길이(m)

$V$  = 용량 상태에서 자동차의 속도(m/초)

우리 나라 운전자의 특성을 반영하는 BKPM ( $K_{pd}$ ) 값과  $h_m$  값을 얻기 위하여 세 지점의 자료를 비교하였으며, 비교 후에 얻은 값들은 다음과 같다.

$$h_m = 1.916 \text{ 초}$$

BKPM( $K_{pd}$ )

- 0.50, 0.65, 0.75, 0.82, 0.87, 1.00, 1.09, 1.21, 1.41, 1.72

또한, 지체차량의 평균 차두간격이 1.916초이고, 혼잡 상태에서 자동차의 유효 길이가 7.62m이며, 용량 상태에서 자동차의 속도를 15.2m/초 (55km/시)로 가정할때 도로의 용량을 반영하는  $K_{pm}$  값을 구해보면 다음과 같다.

$$K_{pm} = 1.916 - 7.62/15.2 = 1.415 \text{ (초)}$$

### 3-5. 앞지르기 관련 부분



현장에서 조사한 자료와 TWOPAS 프로그램을 실행시켜서 얻은 자료를 비교해 본 결과, 현장에서 교통량이 양 방향 500~1800 대/시일 때 앞지르기는 아주 많이 관측되는 반면 그 정도의 교통량을 입력하여 TWOPAS 프로그램을 실행시켜 얻은 앞지르기 횟수는 상대적으로 적었으며, 그 외의 자료는 현장 자료와 모의실험 자료가 거의 일치되었다.

TWOPAS 프로그램에서 앞지르기에 관련된 변수는 너무나 방대하고 각 변수값을 수정하기 위해서는 앞지르기에 관련된 많은 자료를 수집해야 한다. 그러나 본 논문은 교통량이 비교적 많은 2차선 도로를 주요 분석 대상으로 하고, 교통량이 많은 2차선 도로에서는 앞지르기가 거의 발생하지 않으므로, TWOPAS 프로그램의 앞지르기에 관련된 부분들 중 비교적 손쉽게 수정할 수 있는 부분만 수정하였다.

다음은 앞지르기에 관련된 TWOPAS 프로그램 중<sup>8)</sup> 수정된 부분들이다.

- 차량군 내에서 차량군의 선두가 아닌 자동차를 앞지르기할 때 : ENQUE 부프로그램에서는 차량군 선두가 아닌 자동차를 앞지르기할 때 제약을 가하는데, 현장 조사 결과 우리나라의 경우에는 이러한 영향이 비교적 적었으므로 앞지르기 감소 계수의 값을 상향 조정하였다.
- 현장조사결과 운전자 앞지르기를 시도하려는 경향이 우리나라의 경우 미국보다 상대적으로 크므로 전체적인 앞지르기 확률을 상향 조정하였다.
- 앞지르기를 할 때 앞지르기하는 자동차의 상한 속도를 높였다.

한국형 2차선 도로 용량 편람 작성에 이용된 TWOPAS 프로그램은 이와 같이 수정되었으며, 수정된 프로그램을 TWOPAS K1이라 명명하였다. 수정된 프로그램을 실행시킨 바, 교통량이

양 방향 500~1800 대/시일 때 앞지르기 횟수는 여전히 실제 조사 자료와 차이가 컸고, 그 밖의 자료는 현장 조사 자료와 큰 차이를 보이지 않았다.

### Ⅲ. TWOPAS K1 프로그램의 모의실험 결과와 현장 조사 자료 비교

TWOPAS K1 프로그램의 유효성을 검토하기 위하여, 승용차 환산 교통량, 속도, 지체차량 비율 등을 평지에서 실측한 자료와 승용차로만 구성된 교통류를 모의실험한 결과를 비교하였다.

비교된 자료는 속도(km/시)와 교통량(승용차/시/차선) 간의 관계, 지체 차량 비율(%)과 교통량(승용차/시/차선) 간의 관계, 차두간격 분포, 앞지르기 횟수, 차량군의 수와 평균 길이 등이다.

#### 1. 교통량과 지체 차량 비율 간의 관계

1985년 판 미국의 도로 용량 편람(Highway Capacity Manual)과 우리나라의 <도로 용량 편람>에서 서비스 수준 결정의 1차 효과적으로 이용하고 있는 지체 시간 비율(percent time delay)은 현장에서 직접 실측하기가 어려우므로, 개념상 이와 비슷하고 실측하기 쉬운 지체 차량 비율을 실측하여 이용하였다. 지체 차량 비율을 구하기 위해 차두간격이 4초 이하인 경우를 지체된 자동차라고 가정하였고, 이를 토대로 <식 6>과 같이 계산하였다. 우리나라 지체 차량의 기준인 4초는 미국의 기준인 5초보다 작는데, 이는 우리나라 운전자들이 미국의 운전자들보다 더 성급하다는 점을 반영한 것이다.

$$PTD = \frac{HD(4)}{OBS-1} \times 100 \dots\dots\dots\langle\text{식 } 6\rangle$$

여기에서,

$$PTD = \text{지체 차량 비율 또는 지체 시간 비율}(\%)$$

HD(4) = 차두간격이 4초 이하인 차두간격의 수  
 OBS = 관측 교통량(대/시)

모의실험에서는 지체 시간 비율을 곧바로 구할 수 있으며, 현장 조사 자료는 <식 6>을 이용하여 지체 차량 비율을 구하였다. 또한, 현장 자료는 혼합 교통량이므로 이를 승용차 환산 교통량(승용차/시/차선)으로 환산한 후 두 결과를 앞의 <그림 6>에 나타내었다.

<그림 6>에서 볼 수 있는 바와 같이, 모의실험 결과는 교통량이 적을 때 실측값보다 약간 낮은 경향이 있지만 큰 차이는 보이지 않는다. 따라서, 지체 시간 비율은 현장에서 실측하는 것이 거의 불가능한 반면 지체 차량 비율을 쉽게 관측할 수 있으므로, 차두간격이 4초 이하인 차량군으로부터 산출된 지체 차량의 비율을 지체 시간 비율로 사용하여도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

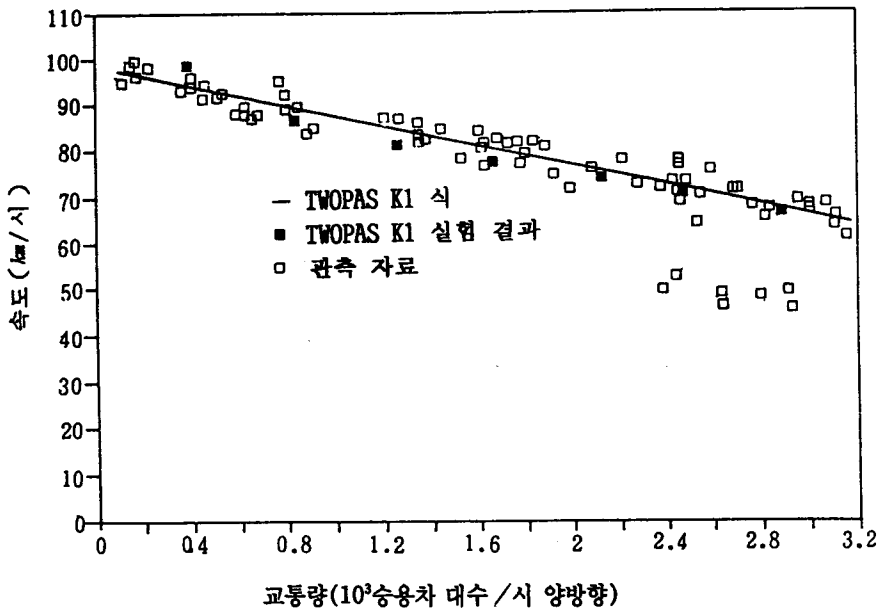
## 2. 교통량과 속도와의 관계

교통량을 변화시키면서 모의실험을 하여 얻은 교통량과 속도 간의 관계와, 현장에서 관측된 자료를 승용차 교통량으로 환산하여 얻은 교통량과 속도 간의 관계를 비교한 결과는 <그림 5>와 같다. 교통량과 속도 간의 관계는 모의실험 결과와 현장 조사 자료가 거의 유사함을 알 수 있다.

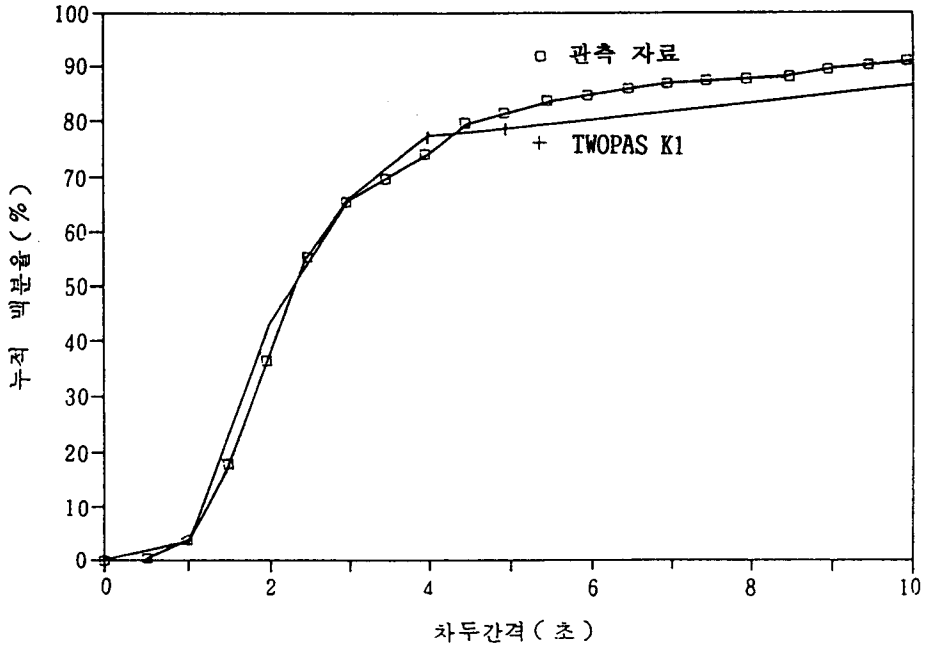
## 3. 차두간격 분포

교통량 1500대/시이고, 방향별 교통량이 500대 : 1000대일 때의 차두간격 분포는 <그림 6>과 같다. <그림 6>에서 보는 바와 같이 차두간격 분포에 대한 모의실험 결과와 관측 자료의 전체적인 경향은 거의 유사하다.

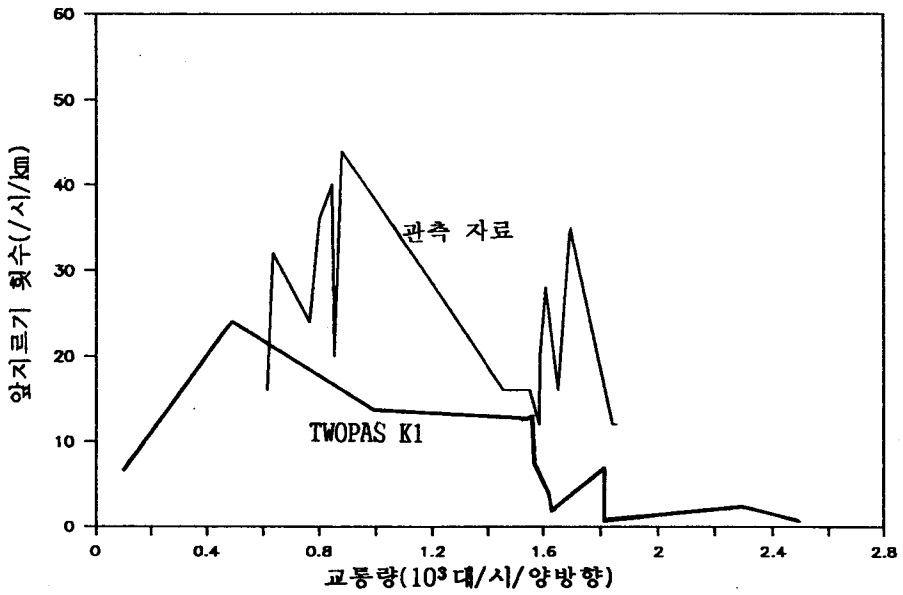
<그림 5> 교통량과 속도와의 관계 비교



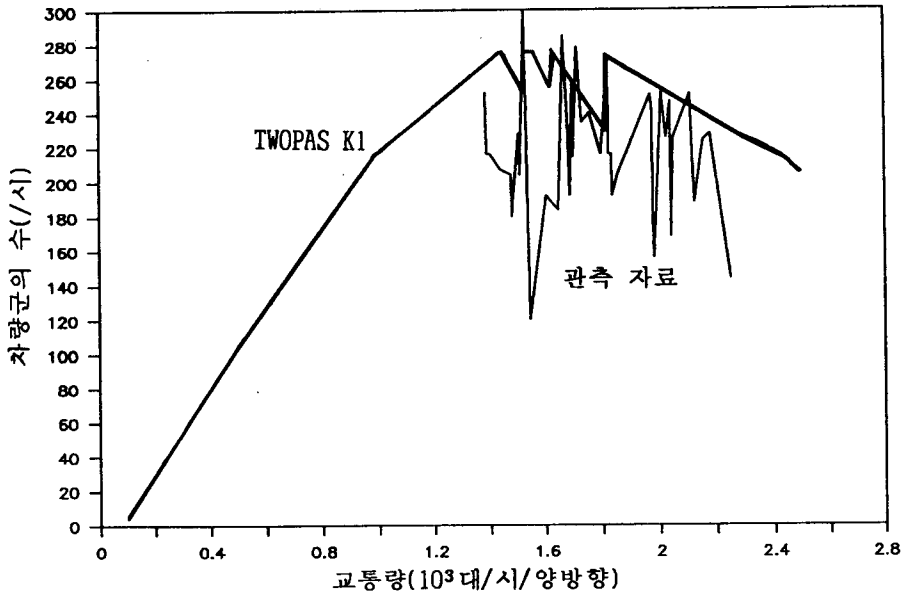
〈그림 6〉차두간격 분포 자료 비교(방향별 교통량 500대 : 1000대)



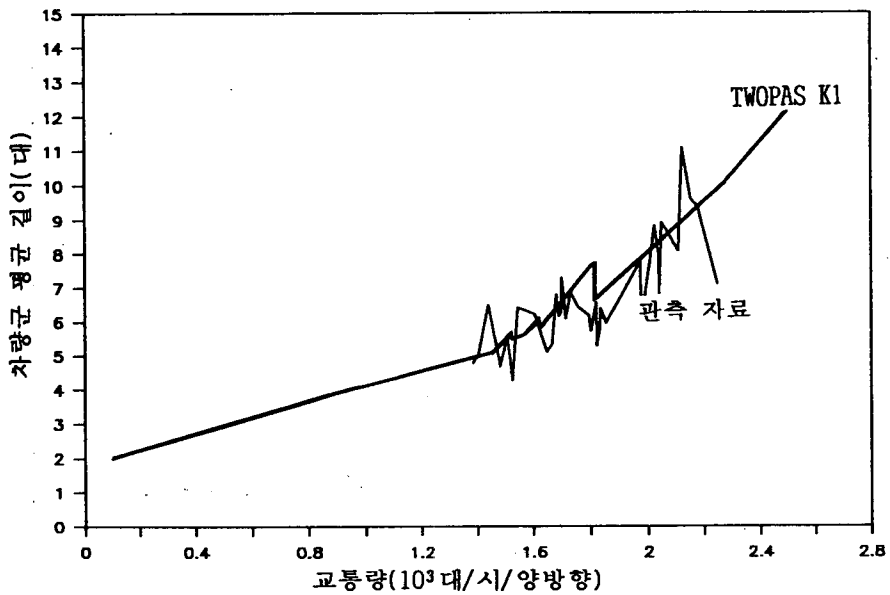
〈그림 7〉 교통량과 앞지르기 횟수 비교



〈그림 8〉교통량과 차량군 수 비교



〈그림 9〉교통량과 차량군의 평균 길이 비교



#### 4. 앞지르기 횟수

프로그램을 실행시켜 얻은 앞지르기 횟수는 현장 조사 자료와 차이를 보이고 있다. 현장 조사 자료가 프로그램을 실행시켜 얻은 결과와 상이한 앞지르기 횟수를 보이는 것은 우리 나라의 운전자가 미국 운전자보다 불안정한 행태를 나타내는 한편 또한 더 성급하기 때문으로 보인다. 앞지르기 횟수는 현장조사결과와 차이가 많이 나므로 향후 보완되어야 될 분야로 판단된다.

#### 5. 차량군의 수와 평균 길이

〈그림 8〉과 〈그림 9〉는 교통량에 따른 차량군의 수와 차량군에 속하는 자동차의 평균 대수(차량군의 평균 길이)를 비교한 것이다. 차량군의 수는 모의실험 프로그램의 경우 교통량이 1,500 대/시까지는 증가하다가 그 이후로는 감소하는 경향을 보이고 있다.

일반적으로 차량군의 평균 길이는 교통량이 증가함에 따라 늘어나는 경향이나 모의실험 결과도 이를 나타내고 있다.

### IV. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서 도로 용량을 구하기 위한 여러 가지 연구 활동 중에서 필수적인 것으로 인식되고 있는 교통류 모의실험 프로그램 수정을 위한 연구를 수행하였다.

기존에 개발된 컴퓨터 모의실험 프로그램 중에는, 미국에서 개발된 고속도로의 교통류 분석에

사용되는 **FREQ 계열 프로그램<sup>17)</sup>**, 2차선 도로의 **TWOPAS 계열 프로그램<sup>5,6,7,8,9,18)</sup>**, 신호 교차로의 **NETSIM<sup>19,20)</sup>** 등을 대표적으로 들 수 있다. 그 밖의 모의 실험 프로그램으로는 호주에서 개발된 **TRARR<sup>12)</sup>**와 **SIDRA<sup>15,16)</sup>** 등이 있다. 본 논문에서는 미국에서 개발된 2차선 도로 교통류 모의실험 프로그램인 **TWOPAS**를 중심으로 다음과 같이 연구를 수행하였다.

■우리 나라 2차선 도로의 교통 특성 조사(현장 조사)

■현장 조사 자료를 이용하여 **TWOPAS** 프로그램을 수정(수정된 프로그램을 **TWOPAS K1**으로 명명)

■**TWOPAS K1** 프로그램을 실행시켜 얻은 모의 실험 결과와 현장 조사 자료의 비교 분석

이러한 연구 활동을 통하여 얻은 2차선 도로의 교통류 모의실험 프로그램에 대한 결론 및 향후 연구 과제는 다음과 같다.

①모의실험 프로그램의 수행 결과를 현장 조사 결과와 비교해 본 바, 지체 차량비율, 차량군 수, 차량군의 길이 등은 현장 조사 결과와 거의 일치하였다. 또 주행 속도는 교통량이 증가함에 따라 점차 감소하고, 그 감소 경향이 현실과 잘 부합되었다. 그러나 앞지르기 횟수는 실측 자료와 모의 실험 결과가 달랐다.

②**TWOPAS K1** 프로그램에서 앞지르기와 관련된 부분은 재검토가 필요한 부분인데, 실측 자료에 맞게 수정하기 위해서는 많은 앞지르기 관련 자료들이 조사되어야 하며, 또한 앞지르기 특성 분석을 위한 이론 정립이 선행되어야 한다. 따라서, 앞지르기에 관련된 부분들에 대해서는 세부적인 연구가 추후 수행되어야 한다.

## 참고 문헌

1. 건설부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정 해설 및 지침, 1992.
2. 한국건설기술연구원, 교통개발연구원, 도로 용량 편람 공동 연구회 결과 보고서, 1990.
3. 한국건설기술연구원, 도로 용량 편람 연구 조사(제 2, 3단계) 기술보고서 2 : 2차선 도로에서의 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램의 검토, 1990. 11.
4. 한국건설기술연구원, 교통개발연구원, 도로 용량 편람 연구 조사(제 2, 3단계), 제 3단계 최종 보고서, 1992. 10., pp. 296~311.
5. 윤여환, 2차선 도로 모의실험 프로그램(TWOPAS K1), 한국건설기술연구원 건설기술 정보 1991. 6.
6. FHWA, TWOPAS User's Guide, A User's Guide to TWOPAS - A Microscopic Computer Simulation Model of Traffic on Two-Lane, Two-Way Highway, 1986. 5.
7. FHWA, TWOPAS Programmer's Guide, A Programmer's Guide to TWOPAS - A Microscopic Computer Simulation Model of Traffic on Two-Lane, Two-Way Highways, 1986. 7.
8. TRB, Grade Effects on Traffic Flow Stability and Capacity, NCHRP Report 185, 1978.
9. A. D. May, J. L. Botha and R. S. Bryant, A Decision-Making Framework for Evaluation of Climbing Lanes on Two-Lane, Two-Way Rural Roads, Institute of Transportation Studies, University of California, FHWA & CALTRANS, 1980. 7.
10. Bosch, Automotive Handbook, 1986.
11. Imants Krumins, Capacity of Alberta Two-Lane Rural Highways, Progress Report No. 1, Dept. of Civil Engineering, University of Calgary, October 1979.
12. ARRB, Technical Manual ATM 10A; A Model for Simulating Traffic on Two-Lane Rural Roads: User Guide and Manual for TRARR Version 3.0, May 1985.
13. M. R. McLean, Two-lane Highway Traffic Operations : Theory and Practice, Gordon & Breach Science Publishers, 1989.
14. Reuben Goldblatt, "Review of Existing Two-Lane, Two-Way Rural Road Computer Simulation Models", 1981.
15. R. Akcelik, SIDRA version 2.2 input and output, ATM 19, ARRB, 1986.
16. R. Akcelik, Introduction to SIDRA-2 for Signal Design, ARR No, 148, ARRB, 1987.
17. Tsutomu Imada, Adolf D. May, FREQ8PE : A Freeway Corridor Simulation and Ramp Metering Optimization Model, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, 1985,
18. ROADSIM-Microcomputer version - User Guide, US DOT, FHWA.
19. Rathi Ajay K, Santiago Alberto J, the New NETSIM : TRAF-NETSIM version 2.00 simulation program, TRB, 1989.
20. TRAF-NETSIM User's Manual, FHWA, 1989.