

■ 論 文 ■

# 추월금지구간의 지체시간 산정모형 개발

A Development of a Model for Estimating Traffic Delay in No-Passing Zone

손 봉 수

(서울시정개발연구원 연구위원)

한 상 진

(College of London, 박사과정)

## 목 차

- I. 서론
- II. 기존 모형의 고찰
- III. 새로운 모형의 구축
- IV. 모형의 결과 분석
- V. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

## 요 약

양방향 2차로 도로는 우리나라 전체 포장도로 연장의 84%를 차지하고 있다. 양방향 2차로 도로의 효율성 및 교통류의 운영상태를 파악하기 위한 서비스 수준 척도로 지체시간의 백분율이 많이 사용되고 있다. 지체시간의 산정은 특정 도로 설계구간을 추월금지구간으로 설계할 것인지, 예산을 더 투자하여 선형을 개선함으로써 추월 가능구간으로 설계할 것인지에 대한 판단 기준을 제시할 수 있기 때문에 도로설계과정에 있어서 매우 중요하다.

본 연구에서는 저속차량의 확률적 분포를 고려하여 추월금지구간에서 발생하는 지체시간을 산정할 수 있는 모형을 제시하였다. 모형식이 기존에 개발된 거시적 수학적 모형에 비해 비교적 단순하고 입력변수도 수집이 용이한 점이 특징이라 할 수 있다. 모형의 신뢰성을 현장데이터를 이용하여 검증한 결과, 모형의 예측값이 근사적으로 추정된 실제 지체시간을 포함하는 긍정적인 결과를 도출하였다. 그러나 모형의 예측값 범위가 넓어 실용적인 MOE로 사용하기에 다소 무리가 있을 것으로 판단되므로, 개략적인 평가기준으로 모형이 예측한 값의 평균값을 보정하여 사용할 것을 제안한다. 모형의 신뢰성을 높이기 위해서는 본 연구에서 가정한 확률분포식에 대한 추가적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 실제 상황을 표현하는데 있어 확률적 개념의 도입과 이러한 새로운 접근방법의 기초를 마련한 측면에서 의미를 갖는다. 또한, 양방향 2차로 도로에서의 지체시간은 실제 소요시간과 자유운행시 즉 다른 차량의 영향을 받지 않았을 때의 속도 및 운영시간과의 차이로 정의한 바, 실제 지체시간을 현장자료를 통해 구하기란 현실적으로 불가능하므로, 본 연구에서는 이러한 제약점을 극복할 수 있는 근사적인 지체시간을 계산하는 방법을 제시한 점에서 의미를 갖을 수 있다.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경과 목적

양방향 2차로 도로는 우리나라 전체 포장도로 연장의 84%를 차지하고 있다. 2차로 도로는 기능적으로 지역간 연결도로와 관광도로로서의 역할을 수행하고 있다. 그러나, 2차로 도로를 운행하는 차량들은 선행하고 있는 대형트럭과 같은 저속차량을 추월할 수 없는 경우 감속운행으로 인해 지체를 경험하게 된다. 즉 추월제한이 많아 다차로 도로에 비해 저속차량의 영향을 크게 받는다. 우리나라 도로용량편람에서는 양방향 2차로 도로에서 추월가능성을 판단하기 위해서 반대편 차로의 교통상황을 인지할 수 있는 추월시거(Passing Sight Distance)의 기준으로 450m를 제시하고 있다. 그러나, 추월시거란 추월하려는 차량이 중앙선을 넘어 앞차를 추월하여 다시 본래의 차로로 돌아올 동안, 반대편에서 오는 차량과 충돌을 피할 수 있는 안전거리를 의미하므로 추월차량과 피추월차량의 제원 및 도로의 속도제한 등을 고려하여 탄력적으로 설정되어야 한다(손봉수, 1997).

양방향 2차로 도로의 효율성 및 교통류의 운영상태를 파악하기 위한 서비스 수준 척도로는 일반적으로 미국의 HCM에서 제시한 지체시간의 백분율, 차량의 평균운행속도,  $v/c$  등이 사용되고 있다. 이 중에서도 특히 추월금지구간에서 선행하는 대형트럭과 같은 저속차량의 뒤를 따르는 일반 승용차의 지체도를 나타내는 지체시간의 백분율이 많이 사용되고 있다. 사실상 예측되는 지체시간의 산정은 특정 도로 설계구간을 추월금지구간으로 설계할 것인지, 예산을 더 투자하여 선형을 개선함으로써 추월가능구간으로 설계할 것인지에 대한 판단 기준을 제시할 수 있기 때문에 도로설계과정에 있어서 매우 중요하다. 즉, 교통안전과 관계된 비용을 고려하지 않을 경우, 추월금지구간으로 인해 발생하는 지체시간의 시간가치로서의 비용이 도로선형을 개선하여 추월가능구간으로 설계하여 발생하는 비용에 비해 크다면 선형을 개선하는 것이 더 타당하기 때문이다. 그러나, 지체시간은 실제 현장에서 조사하는 것이 사실상 불가능하므로, 신뢰성 있는 모형을 통해 간접적으로 예측할 수 밖에 없는 실정이다.

본 논문은 양방향 2차로 도로의 추월제한으로 인해 발생할 수 있는 지체시간을 거시적으로 예측할 수 있는 모형을 개발하는데 주안점을 두고 있다. 기존에 개발된 모형은 주로 미시적 모형으로 실제 현장에서 발생하는 지체시간을 산정하는데 있어서 입력데이터를 수집하기가 어렵고 모형자체에 대한 사용자의 이해가 어려워 모형의 실용성이 떨어지는 것이 사실이다. 그러나, 만약 비교적 단순하고 수집이 용이한 입력데이터를 이용하여 지체시간을 예측할 수 있는 모형을 개발한다면 도로설계과정에 매우 유용한 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

### 2. 연구의 범위

본 논문은 전체 5장으로 구성되어 있다. 제 2장에서는 기존에 개발된 모형들의 기본가정과 각 모형의 이론적 배경을 고찰하고, 모형들의 한계점을 규명하였으며, 제3장에서는 기존 모형들의 단점을 보완하여 본 연구에서 개발한 모형에 대해 기술하였다. 제4장에서는 새로운 모형을 통해 얻은 결과와 실제 현장에서 수집한 데이터를 통해 얻은 결과 및 기존 모형을 통해 얻은 결과를 비교 검토하여 모형의 신뢰성을 판정하였다. 모형의 신뢰성을 검증하기 위해서는 실제 지체시간과 모형을 통해 산정한 지체시간을 비교함이 타당하다. 제5장에서는 본 연구의 결론과 향후 연구가 필요한 과제를 제시하였다.

## II. 기존 모형의 고찰

교통류 모형은 일반적으로 거시적 모형과 미시적 모형으로 구분할 수 있다. 미시적 모형은 개별적 차량의 운행특성을 표현하는데 목적을 두고 있는 반면에 거시적 모형은 교통류를 형성하는 차량군의 특성을 모사하는데 목적을 두고 있다. 따라서 연구의 용도에 따라 모형을 선정할 수 있는데, 일반적으로 교통시설물 설계나 교통류 운영을 위해서는 거시적 모형이 미시적 모형에 비해 효과적이다. 이외에도, 모형을 구축하는과정에 있어서, 미시적 모형은 가정과 입력변수가 거시적 모형에 비해 복잡하여 신뢰성 있는

모형을 구축하기가 어려운 것이 사실이다.

기존에 개발된 대표적인 미시적 모형으로는 TWOPAS 모형, TRARR 모형, 그리고 개별차량들의 속도와 headway를 입력변수로 요구하는 황경수의 PDEM모형 등이 있다. 거시적 모형으로는 Morrall의 Slow Moving Vehicle(SMV)모형과 최재성의 No-overtaking Model이 대표적이다.

### 1. TWOPAS 모형

TWOPAS 모형은 미국의 Midwest Research Institute에 의해 개발된 모형으로, 양방향 2차로 도로의 기하구조, 교통제어효과, 차량특성, 운전자 특성을 사용해서 다양한 교통류 분석을 할 수 있는 시뮬레이션 모형이다. 이 모형은 우리나라에서 1992년 도로용량평준비를 위한 2차로 도로의 분석에서 사용되었으며, 특히 한국건설기술연구원의 최근 연구인 “연속류 도로의 한국형 모의실험 프로그램 개발(Ⅱ)”에서는 TWOPAS 입출력 프로그램을 한글화 하여 우리나라에서 보다 용이하게 사용할 수 있도록 하였다.

TWOPAS 모형의 입력자료로는 모의실험(시뮬레이션)의 제어방식, 도로기하구조 자료, 교통량, 차량 속도특성, 운전자특성 등이 필요하며, 선택적으로 난수발생방법, 오르막 구간의 특성, 추월구간특성, 곡선 구간특성, 중차량특성, 승용차특성 등이 필요하다. 모의실험을 통해 얻을 수 있는 결과로는 평균지체시간 뿐만아니라, 공간평균속도, 시간당 환산교통량, 통행 시간, 각 방향별 속도분포, 추월 또는 추월포기 여유 시간, 추월포기를 등이 있다. 이와 같이 TWOPAS 모형은 다양한 결과를 출력할 수 있으나, 반면 입력 자료가 광범위하여 이용이 제한되는 단점을 지니고 있다. 이외에도 실제 분석을 위해서는 많은 가정이 필요하며, 난수의 발생방법에 따라 최종결과의 차이가 크다는 단점이 있다.

### 2. TRARR 모형

TRARR 모형은 1980년대 초 Geoff Robinson에 의해 Australian Road Research Board에서 개발되어 Australia 뿐만아니라 세계 여러나라에서 2차로 도로

의 교통류 분석을 위해 사용되어지고 있다. 이 모형도 위에서 언급한 TWOPAS 모형과 비슷한 내용의 입력자료를 필요로 하고 있어 이용할 수 있는 범위가 극히 제한적이다. TRARR 모형을 통해 얻을 수 있는 결과로는 주행시간, 추월율, 지체율, 연료소모량, 지점 속도 및 차량군 발생률, 지체시간의 비율 등이다.

### 3. Morrall의 Slow Moving Vehicle 모형

Morrall(1992)은 양방향 2차로 도로에서 대형트럭 등의 저속차량에 의해 발생하는 고속차량의 지체와 대기행렬을 산정하기 위한 Slow Moving Vehicle(SMV) 모형을 개발하였다. 이 모형의 주요 입력변수는 교통량, 모든 저속차량의 속도 등으로 특정 구간에 대한 대기행렬길이와 차량지체시간 등을 산정할 수 있다. 이 모형은 추월이 제한된 구간에서 발생하는 충격파를 단순화하여 turnout의 간격과 고속차량의 지체시간과의 관계를 유도하므로써 turnout의 적절한 배치간격도 평가할 수 있다.

이 모형은 t시간 동안 조사구간에 도착하는 평균차량대수(m)는  $m=Q \cdot t$  의 포아송 분포로 나타낼 수 있으며, 저속차량 뒤를 따르는 고속차량들은 일정한 속도로 운행하며, 이 고속차량들의 속도는 저속차량의 속도보다 같거나 높고, 교통류율은 전체통행시간 동안 일정하다고 가정하였다. 이러한 가정에 기초하여 각 도로 구간을 통행하는 차량들이 경험하는 지체는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{지체시간} = D_i(x) = t_w - t_{wo}$$

여기서,

- $D_i(x)$  : t시간 동안 도착한 x대의 차량이 경험한 지체
- $t_w$  : 구간내에 저속차량이 포함되어 주행한 시간
- $t_{wo}$  : 구간내에 저속차량이 포함되지 않고 주행한 시간이다. 전체 차량의 총지체(total delay: TD)는 다음과 같이 계산된다.

$$TD = KN_0 + \sum_{i=1}^{N_0} \left[ \frac{(i-1)L}{v_f} - t_i \right]$$

여기서,

$$K : C \cdot d/v_s$$

$$C : \text{속도감속률} = (v_f - v_s)/v_f$$

$v_s$  : 선두 저속차량의 속도

$v_f$  : 고속차량의 평균속도

$d$  : 분석구간의 길이

$N_n$  : 차량군을 이루는 차량의 수

$t_i$  :  $i$ 번째 차량의 도착시간간격

$L$  : distance headway 또는 차량평균길이이다.

따라서, 이 모형을 통해서 지체시간을 산정하기 위해서는 차량군을 이루는 차량의 수, 속도 감속률, 저속 차량들의 속도, 고속차량들의 도착시간 간격 등을 사전에 반드시 알아야 한다. 여기서 차량군을 이루는 차량의 대수는 일정한 가정을 통해 도출이 가능하며 고속차량들의 도착시간 간격은 음지수분포 모형을 이용하여 구할 수 있다. 따라서 이 모형을 이용하면 특정구간의 지체시간을 개략적으로 예측이 가능하다고 볼 수 있다.

#### 4. 최재성의 No-Overtaking 모형

최재성(1996)의 No-overtaking 모형은 Morrall이 제시한 모형의 가정들 중에서 “저속차량 뒤를 따르는 고속차량들의 속도는 모두 일정하다”는 가정을 보다 현실적으로 수정하여 적용하였다. 즉, 차량군의 선두 차량만이 저속차량(S)이 될 수 있는 것이 아니라 선두차량을 따르는 차량 중에서도 선두차량 보다는 속도가 높지만 다른 고속차량들의 평균속도보다는 낮은 또다른 저속차량(T)이 존재할 수 있다는 것이다.

No-overtaking 모형의 지체는 Morrall 모형과 마찬가지로 고속차량이 저속차량을 뒤따르며 주행하여 실제로 소요된 시간과 이상적인 상태에서 소요된 시간과의 차로 정의하였으며, 다음과 같은 절차를 통해 산정하였다.

(step 1) 차량군의 선두차량이 대상구간의 시작점 P에 진입한 시각을 0으로 한다.

(step 2) 저속차량 S가 지점 P를 출발한  $t$  단위시간 후에 자유속도( $v_f$ )로 주행하는 차량  $y$ 가 지점 P를 통과하고, 이 때 S와  $y$ 사이에 자유

속도( $v_f$ )로 이미 이 지점을 통과한 차량이 ( $m-1$ )대 존재한다.

(step 3) 차량  $y$ 가 저속차량 S의 영향을 받기 시작하는 시간  $t_c$ 는 차량의 평균길이를  $L$ 이라 하면,  $(t_c - t)v_f = t_c v_s - mL$  이므로  $t_c = \frac{tv_f - mL}{v_f - v_s}$  이 된다.

(step 4) 차량  $y$ 가 대상구간 전체거리  $d$ 를 통과하는데 소요되는 시간은  $t_y = \frac{d - t_c v_s}{v_f} + \frac{t_c v_s}{v_f}$  이다.

(step 5) 이상적인 상태, 즉 저속차량에 의한 지체를 경험하지 않는 경우에 대상구간  $d$ 를 통과하는데 소요된 시간은  $t_{y0} = \frac{d}{v_f}$  이다.

(step 6) 따라서, 자유속도 차량  $y$ 의 지체시간은 다음과 같다.

$$D_{lm}(y) = t_y - t_{y0} = d\left(\frac{1}{v_f} - \frac{1}{v_s}\right) - t + \frac{mL}{v_f}$$

이 모형은 다른 저속차량 T의 지체시간, S와 T의 진입시간 사이에 진입한 차량들의 지체시간, T진입 이후에 진입한 차량 중에서 대상 도로구간의 통행을 끝마치기 전에 S에 의해 영향을 받는 차량들의 지체시간 등을 계산할 수 있다. 따라서, 이 모형은 두 대의 저속차량이 이끄는 차량군이 합해지면서 생기는 지체현상을 분석할 수 있는 장점을 지니고 있다.

#### 5. 황경수의 PDEM(Platoon Delay Estimation Model) 모형

PDEM 모형은 차량군에 존재하는 저속차량의 수가 2대 이상인 경우의 지체시간을 예측하기 위한 모형으로 Morrall 모형 및 최재성 모형과 맥락을 같이하며 보다 일반적인 경우를 설명할 수 있는 모형이다. PDEM 모형은 저속차량이  $n$ 대가 있으며, 이들의 속도가 모두 다르고, 선두차량을 뒤따르는 차량들은 순서대로 선두차량을 뒤따르지 않고 저속차량들과 먼저 차량군을 이루며 최종적인 차량군은 이 차량군들의 합으로 나타내어, 저속차량들의 속도에 의해서 최종적인 차량군의 총지체는 다르게 나타난다고 가정하였다. 이외에도, 모든 차량들은 초기의 속도로 달리기를 희망하며, 따라서 교통량이 많더라도 정지한 상태는 없는 것으로 가정하였다. 이러한 가정을 기초로 하여 다음과 같은 세 단계 과정을 통해 지체시간을 산정한다.

첫째, 지체시간산정을 위한 기본식을 설정한다. 이 기본식은 하나의 차량이 앞차량의 영향을 받으면서 통행하는데 소요된 통행시간 산정식에서 그 차량이 독립차량으로 통행했을 때 소요되는 통행시간 산정식의 차이로 정의하며, 이 기본식을 기준으로 개별차량  $i$ 의 지체시간  $D(T_i)$ 는 다음 식과 같이 산정한다.

$$D(T_i) = [(\frac{d}{v_1} - t_1) + \frac{K_1}{v_2} + \dots + \frac{K_{n-1}}{v_n}] - [(t_n + \frac{d}{v_n})]$$

여기서,

$d$  : 분석구간의 길이

$v_n$  :  $n$ 번째 차량의 속도

$K_n$  :  $n$ 번째 차량의 앞차와의 차두거리 (distance headway)

$t_n$  :  $n$ 번째 차량의 종점 통과시각이다. 뒷식 우변의 첫 번째 대괄호 안의 내용은  $n$ 번째 차량이 해당구간의 종점에 도착하는時刻이고, 두 번째 대괄호 안의 내용은  $n$ 번째 차량이 독립차량으로 이동하였을 때 종점에 도착하는 시각을 말한다.

둘째, 차량군 검색식을 설정한다. 차량군 검색은  $n$ 번째 차량이 차량군 선두차량( $T_1$ )이 종점에 도착할 시간 이내에 차량군의 마지막 차량을 뒤따르기 위해 필요한 시간, 즉  $T_1$ 의 영향을 받는 최대시간을 의미한다. 차량검색식의 기준값  $b_n$ 은 다음의 식에 의해 계산된다.

$$b_n = t_1 + \frac{(K_{n-1} + \dots + K_1)}{v_n} - \frac{d}{v_n}$$

여기서,

$t_1$  : 첫 번째 차량  $T_1$ 이 종점에 도착하는 시각이다.

따라서, 차량  $T_n$ 이 차량군을 이루기 위해서는  $b_n$ 이전에 출발해야만 한다.

셋째, 개별차량들의 지체시간 산정식을 구한다. 이 식에서는 2대 이상의 저속차량이 속해 있는 차량군 내에서  $i$ 번째 저속차량의 지체시간( $D(T_i)$ )과  $i$ 번째 저속차량 뒤의  $k$ 번째 고속차량의 지체시간  $D(i, k)$ 을 구한다.

이러한 세가지 과정을 거쳐 총지체는 저속차량의 지체시간과 고속차량의 지체시간의 합으로 계산된다.

이 모형의 가장 큰 특징은 지체시간을 계산하기 전에 우선 차량들이 군(platoon)을 이루는지를 검색하는 과정이 있다는 것이다. 그러나, 차량군 속에서 저속차량과 고속차량의 분류 기준이 애매모호하다는 것이 문제점으로 지적될 수 있다. 또한 입력변수에 있어서는 속도와 headway를 동시에 알고 있어야만 분석이 가능하다. 따라서 이 모형 역시 예측 모형으로 사용하기에는 한계가 있다고 판단할 수 있다.

## 6. 요약

1965년 미국의 도로용량편람(Highway Capacity Manual: HCM)에서는 2차로 도로의 서비스 수준 분석 기준으로 운영속도(operating speed), 추월시거의 확보정도, 양방향 교통량대 용량의 비율( $v/c$ )을 제시하였으나 1985년과 1994년 HCM에서는 평균통행속도(Average Travel Speed), 지체시간의 백분율,  $v/c$ 를 제시하고 있다. 지체시간의 백분율은 차량군내에서 주행하는 동안 추월제한으로 인해 발생하는 모든 차량의 지체시간비율을 나타내는 것으로 양방향 2차로 도로의 실제 소통상태를 나타낼 수 있는 지표이다. 그러나 지체시간의 백분율은 현장에서 측정이 불가능하므로, 간접적인 방법으로 모형을 이용하여 산정할 수 밖에 없다. 이러한 목적을 위해 개발된 기존 모형의 특성을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 시뮬레이션 모형은 특성상 많은 입력변수와 가정을 필요로 한다. 따라서 2차로 도로의 전반적인 교통류 흐름을 설명하는 데에는 유용하지만 단순히 지체시간만을 알기 위해 시뮬레이션 모형을 이용하는 것은 효율적이지 못하다. 둘째, 최근에 개발된 수학적 모형들은 Morrall의 모형을 근간으로 더욱 현실성 있는 가정으로 지체시간을 예측하려는 노력을 보이고 있다. 그러나 모형의 구조는 점점 복잡한 형태를 나타내고 있으며, 또한 각 모형별로 특정한 입력변수를 필요로 하고 있는데 이러한 특정변수들은 장래예측에서는 이용하기 어려운 경우가 많다. 셋째, HCM에서는 2차로 도로의 서비스 수준 평가 기준으로 time delay percent를 제시하고 있으나 실제적으로 이것을 어떠한 방법으로 측정할지에 대해서는 제시되지 않고 있다. 예를 들면, 5초 이하의 headway를 유지했을 때

를 차량군에 포함되어 지체된 것이라 정의하면 분석 대상이 되는 2차로 도로의 전체구간에서 5초 이하의 headway를 유지하면서 운행되었던 차량군의 비율을 찾아내기란 쉽지 않은 것이 현실이다. 따라서 지체시간의 측정과 관련된 방법론을 마련하는 것은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 이러한 2차로 도로의 서비스 수준 측정 방법은 Morrall을 중심으로 한 수학적 모형에서 잘 제시되고 있다고 볼 수 있다.

### III. 새로운 모형의 구축

#### 1. 기본 가정

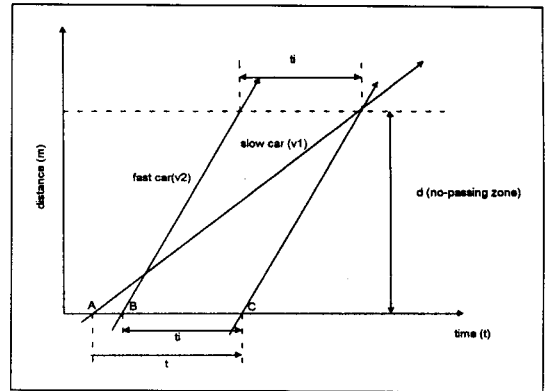
본 연구에서 개발한 모형이 사용한 기본가정은 다음과 같다.

- 첫째, 단위시간당 차량이 도착할 확률은 포아송(Poisson)분포를 따른다. 따라서 차량들의 도착간격분포(headway 분포)는 음지수 분포(negative exponential)를 따른다.
- 둘째, 추월금지구간내 고속차량이 저속차량들 사이에 위치할 확률 어느 위치에서든 동일하다.
- 셋째, 고속차량은 저속차량의 영향을 받지 않는 한 일정한 운행속도(진입속도)를 계속 유지하려고 한다.

#### 2. 모형의 전개

위의 가정을 기초로하여 저속차량과 고속차량의 추월금지구간 운행자취를 시간-거리의 2차원 평면에 도식적으로 표현하면 <그림 1>과 같다.

<그림 1>에서 나타난 바와 같이, A시점에서 저속차량이 해당 추월금지구간에 진입하고, B시점에서 고속차량이 구간에 진입하였다. 추월금지구간에서 고속차량은 선행하는 저속차량을 추월할 수 없으므로 고속차량은 저속차량의 속도로 진행해야 한다. 만약 추월이 가능하다면, 고속차량의 운행궤적은 직선이 되겠지만, 추월금지구간내에 저속차량이 존재할 경우 추월금지구간을 지난 후에야 저속차량을 추월할 수 있게 된다. 따라서 고속차량이 저속차량으로 인해 겪게



$v_1$  : 저속차량의 속도       $v_2$  : 고속차량의 속도  
 $d$  : 추월금지구간의 길이       $t$  : 고속차량의 최대지체시간  
 $h$  : 고속차량  $i$ 의 headway

<그림 1> 추월금지구간에서의 고속 및 저속차량의 운행자취도

되는 지체시간은 선분 BC로 표시할 수 있다. 이러한 지체는 추월금지구간내에 저속차량이 존재할 때 고속차량이 진입하는 경우에만 발생한다. 즉 저속차량이 A시점에서 추월금지구간에 진입한 후 고속차량이 시점 A와 C 사이에 진입한다면 지체를 경험하지만, 만약 고속차량이 시점 A 이전이나 시점 C 이후에 진입한다면 지체를 경험하지 않게 된다. 따라서, 추월금지구간에서 고속차량이 저속차량으로 인해 겪게 되는 최대지체시간( $t$ )는 다음과 같이 수식으로 표현할 수 있다.

$$t = d \left( \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) \tag{1}$$

다음 단계로, 지체를 경험하지 않는 고속차량의 비율을 계산하기 위해, 저속차량의 평균 headway와 저속차량 headway의 확률밀도함수를 기초로  $t$ 와 headway의 관계를 이용하여 지체되는 고속차량의 비율을 아래와 같이 계산할 수 있다.

저속차량의 평균 headway( $h$ )는 저속차량의 교통량이  $q_1$ 이라면 다음과 같이 표현된다.

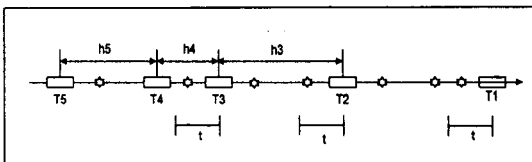
$$E[h] = 1/q_1 \tag{2}$$

저속차량이 조사구간내에 무작위(random)하게 존재할 수 있으므로 저속차량의 headway 확률분포는 음지수 분포(negative exponential probability

distribution)로 설명이 가능하다. 따라서, 저속차량의 확률밀도함수는 다음과 같다.

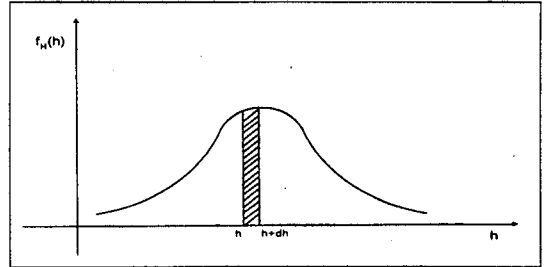
$$f_H(h) = q_1 \cdot e^{-(q_1 \cdot h)} \quad \text{여기서, } h \geq 0 \quad (3)$$

만약 저속차량의 headway가  $t$ 보다 작다면, 이 두 저속차량 사이를 통과하는 모든 고속차량들은 지체를 경험하게 될 것이다. 그러나 저속차량의 headway가  $t$ 보다 크다면, 저속차량이 통과한 후  $t$ 시간 이내에 조사지점을 통과한 차량만이 지체를 경험하게 될 것이다. 이와 같은 관계는 <그림 2>를 예로 들면 쉽게 이해할 수 있다. <그림 2>에서 사각형은 저속차량을, 표시 \*'는 고속차량을 나타낸다. 그림의 오른쪽 방향으로 그림과 같은 headway를 유지하며 차량들이 해당 추월금지구간에 진입하면 저속차량 1, 2, 3 (T1, T2, T3)을 따르는 첫 번째 차량은  $t$  시간 이내에 해당 추월금지구간에 진입할 것이므로 지체를 경험하겠지만, 저속차량 1, 2 (T1, T2)를 따르는 두 번째 고속차량은 지체를 경험하지 않을 것이다. 따라서, 고속차량이 지체되는 비율은 저속차량의 headway 내에서  $t$ 범위 내에 존재하는 고속차량들 중에서 지체되지 않는 시간의 비율을 산정함으로써 다음과 같이 계산할 수 있다.



<그림 2> 지체되는 차량과 지체되지 않는 차량의 선별

일정시간 동안 존재할 수 있는 저속차량의 headway 개수를 'N'이라고 하자. 여기서, N은 매우 큰 수이다. 또한, 위에서 가정한대로 저속차량의 headway는 특정한 확률분포를 따르며 이것의 확률밀도함수는  $f_H(h)$ 로 표시한다. 따라서, 이들 중에서 평균적으로  $[h, h+dh]$ 시간을 지나는 headway의 갯수는  $N \cdot f_H(h) dh$ 가 될 것이다. 그림으로 표현하면 <그림 3>의 빗금친 부분에 다시 N을 곱한 것과 같다. 또한, N개의 headway 중에서  $[h, h+dh]$ 시간을 지나는 headway(h)가 차지하는 시간은  $N \cdot h \cdot f_H(h) dh$ 가 된다.



<그림 3> 저속차량의 headway 확률분포

위에서 설명한 것처럼, 만약 고속차량의 headway가  $t$ 보다 크다면 즉,  $h > t$  라면 저속차량이 진입한 후  $t$  이내에 진입한 고속차량만 지체를 경험할 것이므로  $(h - t)$  만큼의 시간동안은 고속차량들이 지체를 경험하지 않을 것이다. 따라서, N개의 headways가 지나는 총시간에서 대형차량이 지체하지 않는 시간대는 다음의 적분식에 의해 구할 수 있다.

$$N \int_{h=t}^{\infty} (h-t) \cdot f_H(h) dh = N \left[ \int h \cdot q_1 \cdot e^{-(q_1 \cdot h)} dh - \int t \cdot q_1 \cdot e^{-(q_1 \cdot h)} dh \right] \quad (4)$$

식 (4)의 우항에서 첫번째 적분항은 L'Hospital's law에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$q_1 \int h \cdot e^{-(q_1 \cdot h)} dh = \left( t + \frac{1}{q_1} \right) \cdot e^{-(q_1 \cdot t)} \quad (5)$$

또한, 우항의 두번째 적분항은 다음과 같이 계산된다.

$$t \cdot q_1 \int e^{-(q_1 \cdot h)} dh = t \cdot q_1 \cdot \left[ -\frac{e^{-(q_1 \cdot h)}}{q_1} \right] = [-t \cdot e^{-(q_1 \cdot h)}] = t \cdot e^{-(q_1 \cdot t)} \quad (6)$$

식 (6)을 식 (4)에 대입하여 풀면 다음과 같다.

$$N \cdot \left[ \left( t + \frac{1}{q_1} \right) \cdot e^{-(q_1 \cdot t)} - t \cdot e^{-(q_1 \cdot t)} \right] = \frac{N \cdot e^{-(q_1 \cdot t)}}{q_1} \quad (7)$$

여기서,  $\frac{N}{q_1}$ 은 N headway의 총시간  $N \cdot E[H] = \frac{N}{q_1}$ 과 같다. 식 (7)에서  $\frac{N \cdot e^{-(q_1 \cdot t)}}{q_1}$ 는 지체되지 않는 시간의 크기를 나타내는 것이며,  $\frac{N}{q_1}$ 은 일정시간을 나타내고  $e^{-(q_1 \cdot t)}$ 는 일정시간 중에서 지체되지 않는 시간의 비율을 의미한다. 여기서  $q_1 \cdot t$  값이 작을 경우  $1 - e^{-(q_1 \cdot t)} \approx q_1 \cdot t$ 가

성립한다.

따라서, 지체되는 시간의 비율은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{지체하는 시간의 비율} = 1 - (\text{지체되지 않는 시간의 비율}) \\ = 1 - e^{-q_1 \cdot t} \approx q_1 \cdot t$$

$$\text{여기서, } t = d \left( \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) \quad (8)$$

식 (8)은 모형의 적용한계를 정의하는 중요한 의미를 내포하고 있다. 즉, 본 모형은  $q_1 \cdot t$ 의 값이 작은 경우에만 제한적으로 적용이 가능하다는 것이다. 그러나, 사실상 양방향 2차로도로의 양방향 교통량이 많을 경우, 지체시간은 추월제한 보다는 교통량과 도로용량간의 관계에서 비롯되는 반면, 방향별 교통량의 차이가 큰 도시인접지역의 도로의 경우, 지체의 대부분이 저속차량과 추월제한으로 인해 발생하고 있다. 이러한 관점에서 살펴보면, 전자의 경우 양방향 2차로도로의 계획은 적합하지 않으며 또한 이러한 상황에서는 지체시간의 산정은 의미가 없다고 생각된다. 오히려 후자의 경우, 합리적인 양방향 2차로도로의 계획 및 설계과정에서 본 연구에서 다루고 있는 지체시간 산정을 토대로 추월금지구간과 고속차량을 위한 추월구간을 적절하게 배치할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서 제시하는 모형의 적용범위는 실제적으로 필요한 모형 개발을 위해서는 적합한 것으로 판단된다.

다시 식 (8)로 돌아가서, 고속차량의 분포는 저속차량의 headway내의 어디에서건 동일한 확률로 분포한다는 가정에 따라 지체되는 고속차량의 비율은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{지체되는 고속차량의 비율} = q_1 \cdot t \quad (9)$$

식 (9)로 부터 추월금지구간을 운행하는 고속차량의 지체비율은 저속차량의 교통량( $q_1$ ), 추월금지구간의 길이( $d$ ), 그리고 속도의 역수의 차( $1/v_1 - 1/v_2$ )에 비례함을 알 수 있다.

위에서 논의된 내용을 기초로 각 고속차량이 경험하는 평균적인 지체시간을 다음과 같이 계산할 수 있다.

한 저속차량이 추월금지구간에 진입한 후 바로 뒤이어서 해당구간에 진입하는 고속차량은  $t$ 시간만큼 지체될 것이다. 한편, 그 다음 저속차량이  $t$ 보다 작은 headway로 진입한다면, 즉,  $h < t$ 로 추월금지구간에 진입한다면, 이 저속차량의 바로 다음에 진입하는 고속차량은  $(t-h)$ 만큼 지체 될 것이다. 저속차량의 headway가  $t$ 보다 작은 경우에 고속차량은 headway의 확률분포 내의 어디에서든 존재할 수 있다. 따라서 고속차량의 평균지체시간은  $(t - h/2)$ 이다.

추월금지구간의 시작시점을 한 저속차량이 통과한 후에, 다음 저속차량이 추월금지구간에  $h > t$ 인 headway로 진입한다면, 이 사이에 위치한 고속차량은 다음의 두 가지 경우에 해당된다. 저속차량 바로 뒤에 있는 고속차량은  $t$ 만큼의 지체시간을 경험하고, 저속차량과  $t$ 의 headway를 갖는 고속차량의 경우는 지체를 경험하지 않는다. 저속차량과  $t$ 보다 큰 headway를 갖는 고속차량의 경우, 당연히 지체를 경험하지 않는다. 본 연구에서 제시하는 모형은 지체시간이 발생하는 경우를 대상으로 지체의 크기를 대략적으로 산정하는데 목적이 있으므로 저속차량과  $t$ 보다 큰 headway를 갖는 고속차량의 경우는 검토의 대상에서 제외된다. 따라서, 저속차량이 추월금지구간에  $h > t$ 인 headway로 진입할 경우, 고속차량은 저속차량의 headway내의 어디에서건 동일한 확률로 분포한다는 가정에 따라 고속차량의 평균지체시간은  $t/2$ 이 된다.

위의 두가지 경우를 살펴볼 때 고속차량의 평균 지체시간은  $t$ 보다 크지 않으며  $t/2$ 보다 작지 않음을 알 수 있다. 고속차량의 교통량을  $q_2$ 라 하고, 위에서 살펴본 대로 지체되는 고속차량의 비율  $q_1 \cdot t$ 라 한다면 지체되는 고속차량의 대수는 단위 시간당  $q_1 \cdot q_2 \cdot t$ 가 된다. 그리고, 이 차량들이 모두 지체를 경험한다면 지체시간은  $t$ 와  $t/2$  사이가 될 것이며, 고속차량들의 단위시간당 총지체시간은  $q_1 \cdot q_2 \cdot t^2/2$ 와  $q_1 \cdot q_2 \cdot t^2$ 사이의 값을 갖을 것이다.

위에서는 고속차량이 겪게되는 평균지체시간과 총지체시간의 범위만을 계산하였으나, 보다 구체적으로 총지체시간의 크기는 조사시간 동안에 발생할 수 있는  $h < t$  또는  $h > t$  경우의 고속차량대수를 구한 후, 앞에서 구한 평균지체시간을 곱하여 다음과 같이



계산할 수 있다.  $h < t$  인 경우의 총지체시간은 총  $N$  개의 headway 중에서  $N \cdot f_h(h)dh$ 만큼의 headway( $h$ )의 갯수가 생길 수 있으므로, 이때의 시간은  $N \cdot h \cdot f_h(h)dh$ 로 계산된다. 만약, 고속차량의 일정시간(조사시간) 동안의 교통량을  $q_2$ 라고 한다면,  $h < t$  인 시간 동안에 발생하는 고속차량의 대수는  $q_2 \cdot N \cdot h \cdot f_h(h)dh$ 가 된다.  $h < t$  인 경우에 고속차량 한 대의 평균지체시간은  $(t-h/2)$ 가 되며 이때의 고속차량은 모두 지체를 경험하게 된다. 따라서 이러한 경우 총지체시간은  $q_2 \cdot N \cdot h \cdot (t-h/2) \cdot f_h(h)dh$ 가 되고, 이 경우  $h < t$  인 모든  $h$ 에 대하여 총고속차량의 총지체시간은 다음 식에 의해 계산이 가능하다.

$$h < t \text{ 경우의 총지체시간} = \int_0^t q_2 \cdot N \cdot h \cdot (t-h/2) \cdot f_h(h)dh \quad (10)$$

$h > t$  인 경우의 총지체시간은, 고속차량이 선행한 저속차량 뒤에서  $t$ 시간 이내에 있을 경우에만 발생한다. 이 경우, 지체를 경험하는 고속차량의 대수는  $q_2 \cdot N \cdot t \cdot f_h(h)dh$ 이다. 왜냐하면  $N \cdot t \cdot f_h(h)dh$ 는 지체되는 시간의 범위를 나타내고 이 기간 동안에 발생하는 고속차량대수는 여기에  $q_2$ 만 곱하면 되기 때문이다. 만약, 고속차량이  $t$ 시간내에 어느 지점이든지 동일한 확률로 위치한다면 각 고속차량당 평균지체시간은  $t/2$ 가 된다. 따라서, 이 경우 고속차량의 총지체시간은  $h > t$ 인 모든  $h$ 에 대해서 다음과 같이 계산된다.

$$h > t \text{ 인 경우의 총지체시간} = \int_t^\infty q_2 \cdot N \cdot t/2 \cdot f_h(h)dh \quad (11)$$

따라서, 고속차량의 총지체시간은 식 (10)와 식 (11)에 의해 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{총지체시간} &= \int_0^t q_2 \cdot N \cdot h \cdot (t-h/2) \cdot f_h(h)dh \\ &+ \int_t^\infty q_2 \cdot N \cdot t/2 \cdot f_h(h)dh \end{aligned} \quad (12)$$

#### IV. 모형의 결과 분석

본 연구에서는 모형의 신뢰성 검증을 위해 양방향 2차로 지방국도 310호선(교하리~일산)<sup>1)</sup>에서 수집한 데이터<sup>2)</sup>를 사용하였다. 조사지점은 저속차량들에 의해 차량군(platoon)이 발생하고, 지체가 발생하는 구간을 선정하기 위해 "1995년 도로 교통량 통계연보"를 참고로 교통량이 15,000대/일/양방향 이상이 되고 해당 도로 주변에 연결도로가 없는 것을 원칙으로 선정하였다. 현장데이터는 1996년 10월 16일 오전 8시부터 12시까지 4시간 동안 대상구간 500m에서 일산방향으로 운행한 차량을 대상으로 조사지점의 시점과 종점에 검지기를 설치하여 차량의 통과시간과 headway, 속도(지점속도)를 파악하였으며, 비디오를 설치하여 통과시간과 차량번호, 대형차와 소형차를 구분하여 수집하였다. 각 차량의 시점통과시간과 종점통과시간은 각 차량의 끝자리번호를 이용하여 정확히 파악하였다. 같은 방법을 통해 각 차량이 대상구간을 지나가는데 소요된 실제시간을 조사하였으며, 또한 검지기를 통해 각 차량의 진입속도, 진출속도 및 headway 등 본 연구에서 필요한 모든 자료를 수집하였다. <표 1>은 수집된 현장 조사 자료의 한 예이다.

<표 1> 현장 조사 자료

일련 번호	차량 유형	차량 번호	기점 통과 시각	기점 head way (초)	기점 속도 (km/h)	종점 통과 시각	종점 head way (초)	종점 속도 (km/h)
1	대형	15	8:30:01	4	42	8:30:32	1	51
2	대형	79	8:30:03	2	43	8:30:34	2	51
3	소형	65	8:30:18	15	14	8:30:36	2	55
4	소형	51	8:30:21	3	60	8:30:39	3	40
5	소형	37	8:30:22	1	60	8:30:44	5	87
:	:	:	:	:	:	:	:	:

2차로 도로에서의 지체시간은 저속차량의 영향을 받지 않고 진행했을 때의 소요시간과 실제소요시간과의 차이로 정의되는데, 실제로 저속차량의 영향을 받지 않고 진행했을 때의 속도를 산정하기 위해서는 별도의 고려가 있어야 한다. 차량의 운행속도는 운전자

1) 주요 기하구조는 차선폭 3.1m, 길어깨폭(비포장) 0.5m이며 곡선부로 요약할 수 있다.  
 2) 현장조사 자료는 황경수의 "양방향 2차선 도로의 지체시간산정모형개발에 관한 연구"에서 사용된 자료를 이용하였다.

의 행태에 좌우되므로 비록 다른 차량의 영향을 받지 않고 운행할 수 있는 교통상황에서도 운전자에 따라 운행속도가 높을 수도 있고 낮을 수도 있기 때문에 정확한 자유속도를 파악하기는 어렵다. 다시 말하면, 조사시점에서 수집한 한 차량의 속도를 단순히 그 차량의 자유속도로 정의하기는 어렵다는 것이다. 참고로, Morrall의 연구에서는 현장 지체값과의 비교를 생략하였고, 최제성과 황경수의 연구에서도 현장에서의 지체시간을 어떤 식으로 추출하였는지 그 방법론을 기술하고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 다른차량의 영향을 받지 않고 운행하였을 경우 대상구간의 운행소요시간은 대상구간 진입시와 진출시에 headway가 모두 20초 이상을 나타낸 차량들을 대상으로 진입시와 진출시 속도의 가중평균<sup>3)</sup>값과 이때의 실제소요시간과의 관계를 이용하여 회귀식을 도출한 후 이 식에 각 차량의 가중평균속도를 대입하여 근사적으로 산정하였다.

모형을 이용하여 총지체시간값을 산정하기 위해서 필요한 입력변수인 저속차량의 교통량, 고속차량의 교통량, 추월금지구간의 길이는 조사된 자료를 그대로 사용하였으며, 고속차량과 저속차량의 속도는 전체 통과차량을 고속차량과 저속차량으로 구분하여 산정하였다. 차량구분에 있어서, 승용차는 고속차량으로 트럭 등 대형차량은 저속차량으로 구분함이 용이하지만 실제 현장에서는 소형차이면서도 저속으로 운행하는 차량과 대형차이면서도 고속으로 운행하는 차량들이 많기 때문에 이와 같은 구분은 현실성이 없는 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 저속차량과 고속차량을 구분하기 위해 차량군 검색을 실시하였다. 차량군 검색은 3초<sup>4)</sup> 이하의 headway를 지니는 차량들을 기준으로 실시하였다. 즉, 3초 이하의 차량군을 이루는 차량들 중의 최선두 차량을 지체를 유발시킨 저속차량으로 간주하고 차량군 밖의 차량은 고속차량으로 구분하였다. 이렇게 함으로써 저속차량과 고속

차량을 구분한 뒤 각 차량들의 평균속도를 산정하였다. 본 연구에서는 전체 조사자료 중에서 사용할 수 없는 교통데이터와 유고상황이 포함된 시간대를 제외한 오전 8:15에서 오전 9:30사이에 조사된 자료만을 이용하였다.

〈표 2〉에서는 본 연구에서 제시한 모형과 Morrall의 SMV 모형을 통해 예측한 결과와 근사적으로 추정된 실제 결과를 비교하여 정리하였다. 참고로 Morrall의 모형은 제 II장에서 살펴본 바와 같이 2차로 도로의 지체시간을 산정하는 수학적 모형 중에서 가장 처음으로 개발된 것이며, 이를 기반으로 최제성의 No-overtaking 모형과 황경수의 PDEM 모형이 파생되었기 때문에 이 모형과의 비교는 의미가 있다고 판단된다. 그러나, 모형의 결과를 논의하기 전에 우선 모형에서 사용한 식 (8)과 식 (9)의 적용 타당성을 검증할 필요가 있다. 즉,  $q_1 \cdot t$ 값이 작을 경우  $1 - e^{-(q_1 \cdot t)}$  는  $q_1 \cdot t$ 가 성립한다는 가정이 적합한지에 대한 검토이다. 이를 위해 〈표 2〉에서 제시한  $q_1$ 과  $t$ 값을 갖고 위에서 언급한 가정의 적합성을 검토한 결과를 〈표 3〉에 정리하였다.

〈표 3〉에서 제시한 바와 같이, 모형의 간단한 산정식을 통해 계산한 지체시간 비율의 오차범위는 최대 2.5% 정도로 실제 지체시간을 산정하는데 미치는 영향이 매우 미미한 수준임을 알 수 있다. 이러한 결과는 본 연구에서 사용한 계산식이 합리적으로 도출되었음을 의미한다. 따라서, 〈표 2〉에서 제시한 모형과 실제 결과치를 토대로 모형의 신뢰성에 대해 논의하겠다.

〈표 2〉에서 제시한 바와 같이, Morrall의 SMV모형을 통해 얻은 지체시간은 본 연구에서 제시한 모형에 비해 실제 결과와 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 Morrall의 모형에서 사용한 상수 K값이 큰 것에 기인한 것으로 판단된다. 그러나, K값의 적정성에 대한 검증은 아직까지 수행된 바 없어 Morrall의

3) 조사구간이 곡선부의 시점과 종점으로 구성되어 따라서 진입시 속도는 낮고, 진출시 속도는 높은 경향을 나타낸다. 따라서 가중평균 속도 = 진입시속도 × 0.25 + 진출시속도 × 0.75의 관계식을 이용하였다.

4) 1985, 1994년 HCM에서는 5초 이하의 headway를 유지한 차량들의 모임을 차량군으로 정의하고 있으나 Hoban은 그의 논문 "Measuring Quality of Service on Two-lane Rural Roads, Australian Road Research Board, 1984"에서 3.5초가 더 적당하다고 주장하였다. 그러나 조사된 자료에서는 headway가 정수로만 이루어져 있으므로 본 연구에서는 3초 이하의 headway를 유지한 차량들을 차량군으로 간주하였다.

<표 2> 모형의 총지체시간 결과 비교

(단위 : 대·초)

조사시간	실제결과	새로운 모형		Morrall의 SMV 모형	고속차량		저속차량		t(초)
		예측값의 범위	예측값의 평균		교통량 (대/초)	평균속도 (km/h)	교통량 (대/초)	평균속도 (km/h)	
8:15~8:30	222	206~412	309	535	0.1422	69	0.0167	45	139
8:30~8:45	255	189~279	329	546	0.1222	69	0.0122	42	168
9:15~9:30	121	93~187	140	352	0.08	70	0.0089	42	171

<표 3> 식 (8)과 식 (9)의 적합성 검토

조사시간	저속차량 교통량, $q_l$ (대/초)	t (초)	$q_l \cdot t$ (A)	$1 - e^{-q_l \cdot t}$ (B)	오차 (A-B)
8:15~8:30	0.0167	139	0.232	0.207	0.025
8:30~8:45	0.0122	168	0.205	0.185	0.020
9:15~9:30	0.0089	171	0.152	0.141	0.011

모형에 대한 신뢰성 평가는 본 연구에서는 제외하였다. 참고로 Morrall의 모형은 본래 truck turnout의 설치 간격에 따른 지체시간의 변화를 예측하여 적정 truck turnout의 위치 및 간격을 평가할 목적으로 개발되었음을 인지할 필요가 있다.

본 연구에서 제시한 모형을 통해 예측한 총지체시간의 범위는 실제 총지체시간을 포함하고 있다. 그러나, 모형의 최대지체시간값이 단순히 최소값의 2배로 나타났다. 이러한 결과는, 제 III장 모형구축에서 언급한 바와 같이, 추월금지구간에 진입하는 저속차량의 headway h가 t보다 크거나 작은, 두가지 경우를 살펴볼 때 고속차량의 평균지체시간은 t보다 크지 않으며 t/2보다 작지 않은 점에 기인한 것이다. 그러나, 모형 예측값의 범위가 너무 넓어 실용적인 MOE로 사용하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단된다. 따라서, 개략적인 평가기준을 제공할 수 있도록 모형이 예측한 값의 평균값과 실제 결과를 비교한 결과, 모형의 평균값이 실제값에 비해 약 16~39%정도 큰 것으로 나타났다. 이러한 오차 범위는 사용 목적에 따라 실용성이 좌우될 수 있으나, 본 모형을 통한 거시적인 예측 목적에는 어느정도 긍정적인 결과로 인정할 수 있다.

분포의 확률적 개념을 도입하여 산정할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 도출된 주요내용을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 제시한 모형은 저속차량의 확률적 분포를 고려하여 지체시간을 산정하는 새로운 접근방법을 기초로 하였다. 모형식이 기존에 개발된 거시적 수학적 모형에 비해 비교적 단순하고 입력변수도 수집이 용이한 점이 특징이라 할 수 있다. 또한, 모형을 통해 예측한 총지체시간의 범위가 실제 총지체시간을 포함하는 긍정적인 결과를 도출하였다. 그러나, 모형 예측값의 범위가 너무 넓어 실용적인 MOE로 사용하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단되므로 개략적인 평가기준으로 모형의 평균값을 보정하여 사용토록 제안한다.

둘째, 모형의 신뢰성을 검증하기 위해 가장 필요한 자료는 실제 결과이다. 그러나, 실제 지체시간을 현장에서 직접 수집하는 것은 사실상 불가능하다. 본 연구에서는 양방향 2차로 도로에서의 실제 지체시간을 근사적으로 산정할 수 있는 방법을 제시하였다.

셋째, 본 연구에서 제시한 모형에 대한 신뢰성 검증은 극히 제한된 데이터를 기초로 수행된 바 추후 다양한 지점에서 수집된 데이터를 이용하여 본 연구에서 가정한 확률분포식에 대한 추가적인 재 검증이 필요하다. 그러나, 본 연구에서 제시한 확률적 개념을 이론적 배경으로 한 접근방법은 추월가능구간에서의 지체시간을 산정할 수 있는 모형개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있다는 점에서 본 연구의 의미가 있다고 판단한다.

## V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 추월금지구간 운행시 저속차량으로 인해 발생할 수 있는 고속차량의 지체시간을 차량

## 참고문헌

1. 김영호·손봉수·전경수, "추월시거 산정 모형에 관한 연구", 대한교통학회지 제15권 제3호, 1997.

2. 한국건설기술연구원, '연속류 도로의 한국형 모의 실험 프로그램 개발(Ⅱ)', 1995. 12.
3. 황경수, "양방향 2차로도로의 지체시간산정모형개발에 관한 연구", 서울시립대학교 도시공학과 대학원 박사학위논문, 1997.
4. Adolf D. May, "Traffic Flow Fundamentals", University of California, Berkeley, 1990.
5. C. J. Hoban, "Measuring Quality of Service on Two-lane Rural Roads", Australian Road Research Board, 1984.
6. Jaisung Choi, "Development of No-overtaking Model and Analysis of fundamentals of traffic flow Characteristics on Two-Lane Highways," 대한교통학회지 제14권 제2호, 1996.
7. McLean, J. R., "Two-lane Highway Traffic Operations, Theory and Practice", Gordon and Breach Science Publishers, 1989.
8. Morrall, J. E., Wald Abdelwahab, and Al Werner, "Planning for Movement of Very Large, Slow-Moving Vehicles," Journal of Transportation Engineering, Vol.118, No.3, 1992.
9. Tanner, J.C., "Delays on a two-lane road", J. Royal Stat. Soc. 23B(1), 1961.
10. Thomas H. Wonnacott, "Introductory Statistics", Wiley & Sons, 1990.
11. TRB special report 209, "Highway Capacity Manual", 1985.
12. TRB special report 209, "Highway Capacity Manual", 1995.
13. TRB special report 87, "Highway Capacity Manual", 1965.
14. TRB special report 165, "Traffic Flow Theory", 1975.
15. Wardrop, J. G., "Some theoretical aspects of road traffic research", Proc. Inst. Civ. Eng., Part2, 1952.