

# 미시적 시뮬레이션 모형을 위한 가속모형개발

## A development of acceleration model for micro-simulation model

최승석

(서울시립대학교 교통공학과 대학원)

이영인

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

### 목차

- I. 서론
- II. 관련연구 및 이론 고찰
  - 1) 가속모형
  - 2) 요약
- III. 연구개발의 수행내용
  - 1) 연구개발의 목표
  - 2) 연구개발의 수행내용 및 방법
- IV. 연구결과
  - 1) 현장조사자료
  - 2) 차량계적함수의 추정
  - 3) 가속모형 파라미터추정을 위한 자료구성
  - 4) 가속모형 파라미터 추정중간결과
  - 5) 연구결과분석
- V. 향후연구과제

## I. 서론

도시신호교차로에서의 교통혼잡은 많은 문제점을 수반한다. 교통혼잡은 이동성, 안전성에 영향을 주며 대기오염을 일으킨다. 이러한 문제들은 지체, 사고 등의 직접적인 경제손실과 환경적 악영향과 같은 간접적인 경제손실을 야기하게 된다. 대부분의 경우에, 기존의 도로 시스템 기하구조는 공간, 자원, 그리고 환경적인 제약으로 인하여 증설이 불가능하다. 교통혼잡을 완화시킬 수 있는 방안은 보다 나은 관리와 운영을 통한 기존 시스템 효율성 향상일 것이다.

혼잡구간은 상이한 특성과 상이한 운전기술을 가진 운전자로 구성되므로 운전자대 운전자에 대한 심도 깊은 이해가 필수적이다. 이는 운전자 행태를 미시적 수준에서 설명할 수 있는 교통이론의 개발을 필요로 함을 의미하며, 주요 요소는 가속도와 차선변경이다.

- 가속상황
- 감속상황

- START 상황
- STOP 상황

가속 내지 감속상황에서는 운전자는 자신의 선두차량을 뒤따르며 선두차량의 속도와 거의 일치시키려 할 것이다. START상황에서는 운전자는 안전거리를 우선적으로 확보하면서 자신의 선두차량을 뒤따르게 된다. 마지막으로 STOP 상황에서는 운전자는 전방의 장애물(신호, 사고지점 등)에 대응하여 정지하려 할 것이다.

게다가 각 상황에 대하여 같은 민감도를 적용하는 것은 현실적으로 불가능할 것이다. 따라서 별도의 파라미터 세트를 모형 추정 시에 구성해야 한다.

## II. 관련연구 및 이론 고찰

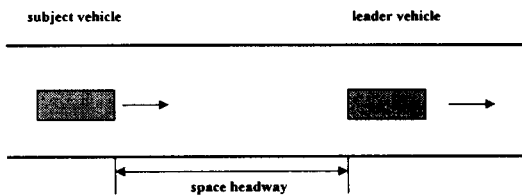
### 1) 가속모형(Acceleration Models)

운전자의 가속행태를 유도하는 모형은 크게

다음과 같이 구분될 수 있다:

- Car-following models,
- General acceleration models.

car-following 모형은 차량추종상황(car-following regime)에서 가속행태를 이끌어내는 것이며, 운전자는 자신의 선두차량과 근접하여 진행하므로 선두차량의 행태에 직접적으로 영향을 받는다(그림 2-1 참조).



<그림 2-1> 선두차량과 추종차량(leader vehicle and subject vehicle)

general acceleration 모형은 car-following 상황과 free-flow 상황에 대한 가속행태를 모두 이끌어내는 것이다. free-flow regime에서 운전자는 자신의 선두차량과 근접하지 않기 때문에 자신의 희망속도(desired speed)로 가속하려 한다.

운전자의 가속행태, 특히 car-following regime의 경우 1950년대 이후로 폭넓은 연구가 수행되었다. 그러나, 대부분의 경우 실측자료, 즉 추종차량의 속도, 선두차량의 속도, 차두간격, 추종차량의 가속도 등,를 이용하지 않았고, 단순한 상관분석을 이용하여 모형을 추정하였다.

자유속도상황에 대한 연구는 1980년대 교통행태를 연구하고 교통제어와 관리전략을 개발 및 평가하는데 있어서 미시적 시뮬레이션이 유용한 도구로 등장하면서 진행되기 시작하였다.

## 2) 요약

기존 연구 고찰을 통하여 알 수 있는 사실은 다음과 같다.

- free-flow regime에 대하여는 일반적으로 단순한 운동방정식, 즉 최대가속도(maximum acceleration)와 정상감속도(normal deceleration)를 적용함.
- car-following regime에 대하여 일차적인 연구가 진행되어 왔음.
- car-following regime에서 자극(상대속도)의 영향은 선형관계로 가정됨.
- car-following regime에서 각 파라미터를 추정할 경우, 단일한 파라미터 셋이 전체적인 교통상황에 두루 적용됨.
- 운전자 사이의 다양성은 대부분의 경우, 모형화되지 않음.
- 운전자가 처한 가속상황을 결정하는 헤드웨이 범위는 대부분의 경우 결정론적으로 모형화 됨
- Subramanian(1996)이 개발한 general acceleration 모형은 운전자 행태에서의 이질성을 이끌어내었으며, 헤드웨이 범위에서의 다양성과 반응시간을 모형화하는데 확률론적 작업을 취하였음. 그러나, 단지 car-following regime에서만 각 파라미터들이 추정되었음.

본 논문에서는 Kazis(1961) 모형(GM 5th Model)을 기반으로 하여 각 상황, 즉 가속상황과 감속상황, START 상황, STOP상황 등의 범주에 대하여 모형의 각 파라미터를 추정하게 된다.

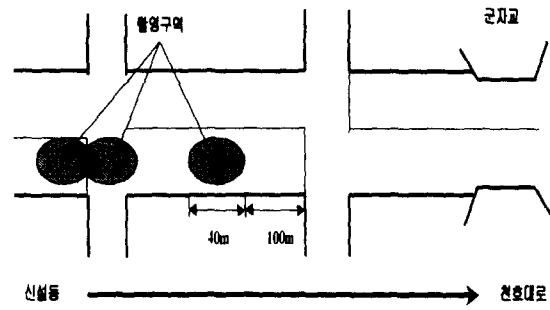
## III. 연구개발 수행내용

### 1) 연구개발의 목표

가속모형을 구성하기 위한 기본 모형은 GM 5th 모형으로 다음과 같이 표현된다.

$$a_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{\alpha_{l,m} [v_{n+1}(t + \Delta t)]^m}{[x_n - x_{n+1}(t)]^l} [v_n(t) - v_{n+1}(t)]$$

$a_{n,i}(t+\Delta t)$  = 반응시간 후의 후행차량 가속도  
 $\Delta t$  = 반응시간  
 $l, m, \alpha_{l,m}$  = 모형 파라미터  
 $v_n(t)$  = 시간  $t$ 에서 선행차량 속도  
 $v_{n,i}(t)$  = 시간  $t$ 에서 후행차량 속도  
 $v_{n,i}(t+\Delta t)$  = 반응시간 후의 후행차량 속도  
 $x_n(t)-x_{n,i}(t)$  = 차두간격



<그림 3-1> 현장조사지점

위 모형을 기본으로 하여 현장조사자료를 통하여 각 상황의 파라미터를 추정하게 된다.

본 연구의 최종목표는 앞서 구분된 4가지 상황에 대한 가속모형을 개발하는 것이다. 가속모형은 가장 일반적인 GM 모형을 이용하여, 각 상황(가속상황, 감속상황, START상황, STOP상황)에 맞는 파라미터를 추정함으로써 완성된다.

## 2) 연구개발의 수행내용 및 방법

이 장에서는 가속모형의 파라미터를 추정하기 위하여 필요한 자료와 실제조사에서 수집된 자료가 제시된다. 또한 이산적인 실측자료를 통하여 순간속도와 가속도를 추정하는 방법을 설명한다. 가속도를 추정하기 위하여 필요한 자료는 위치, 속도, 가속도 등이다. 자료의 수집은 전통적인 방법이 비디오 레코딩을 이용하였다.

### (1) 실측자료의 수집

가속모형의 파라미터를 추정하기 위하여는 위치, 속도, 가속도 등의 자료가 필요하다. 본 연구에서는 이들 자료를 수집하기 위하여 신호교차로를 비디오 촬영하였다.

### (2) 현장조사지점

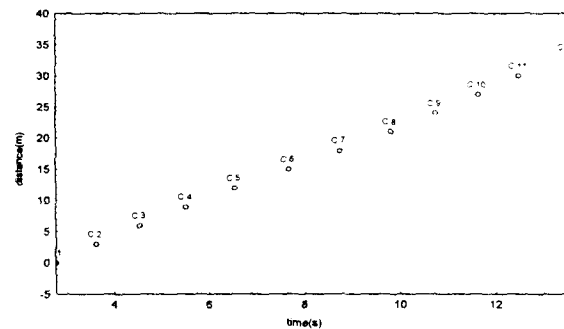
본 연구의 목적이 신호교차로에 적합한 가속모형의 개발이므로, 조사지역은 신호교차로로 정하였다. 이에 따라서, 시야가 확보되고 적절한 비디오 촬영장소가 있는 천호대로를 조사지

역으로 결정하여 9월18일, 9월22일, 23일 삼일 간에 걸쳐 조사하였다.

### (3) 비디오 자료 추출방법

차량의 궤적함수를 이산적인 자료를 통해서 이끌어내려면 일반적으로 일정시간에 따른 위치에 대한 데이터가 있어야 한다. 비디오 촬영 구역내의 도로구간을 3m 단위로 총 12개 지점을 표시하여 차량이 각 지점을 통과하는 시간을 기록하였다. 각 지점 통과시간 기록을 위하여 비디오 편집기를 이용하여 매 1/30초 단위로 시간을 기록하였다.

아래의 그래프는 차량 한 대의 각 지점(총 12개, 33미터) 통과시간을 그린 것이다. 이러한 자료를 이용하여 가속모형의 파라미터를 추정하게 된다.



<그림 3-2> 개별차량의 이산적 궤적 자료

### (4) 순간속도와 가속도 추정 방법

앞서 언급하였듯이, 일반적으로 실측을 통하여 얻을 수 있는 자료는 이산적인 자료이다. 차

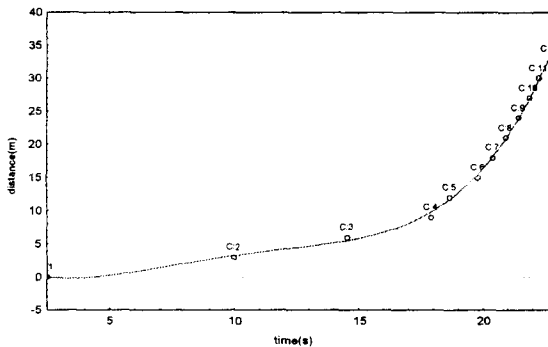
량의 궤적(trajjectory)을 설명하는 연속함수는 다항회귀모형(polynomial regression model)을 이용하여 유도할 수 있다. 일단 궤적함수,  $X(t)$ , 가 추정되면, 궤적함수의 1차와 2차 미분식은 시간  $t$ 에서의 속도와 가속도를 나타낸다.

$$V(t) = \frac{dX(t)}{dt}$$

$$a(t) = \frac{d^2X(t)}{dt^2}$$

일반적으로 혼잡상황에서는 차량은 빈번히 정지를 하게되며 심지어는 상당한 시간동안 정체를 하게 된다. 자료를 수집하고 처리하는 과정에서 에러(error)가 있을 수 있으므로, 차량이 정지하였는지 아닌지는 관측된 궤적으로서는 알기가 어렵다. 게다가 빈번한 가감속을 하는 차량에 대하여는, 매우 고차 다항식이 필요하다. 이는 상당한 계산적인 소모를 가져오게 된다. 또한 고차다항식 또한 차량이 정지한 순간 동안에는 설명력이 약하다. 2차이하의 다항식은 차량이 항상 등가속도 혹은 등속도 운동을 하므로 궤적함수에 적용할 수 없다.

본 논문에서는 차량궤적함수를 5차식으로 가정하여 다항회귀모형을 이용하여 궤적함수를 유도하였다.



<그림 3-3> 이산적 실측자료  
Curve fitting 결과

#### 라. 가속모형 파라미터 추정방법

가속모형의 파라미터를 추정하는 방법에는 여러 가지가 있겠지만, 본 연구에서는 다중회귀모형을 이용한다. 다중회귀모형을 통하여 가속

모형의 파라미터를 추정하기 위하여 GM 모형의 양변에 자연로그를 취하여 선형식으로 바꾸게 된다.

$$\ln(a_{n+1}(t + \Delta t)) = \ln(a) + m \ln[v_{n+1}(t + \Delta t)] - l \ln[x_n - x_{n+1}(t)] + m \ln[v_n(t) - v_{n+1}(t)]$$

각 변수들은 다항회귀모형을 이용하여 추정된 궤적함수를 이용하여 쉽게 추정할 수 있으며 이들 자료를 이용하여 가속모형의  $n, m, l, a$ 를 추정하는 것이다.

## IV. 연구결과

본 연구의 최종목적은 앞서 구분한 총 네 가지 상황에 대한 파라미터 셋을 추정함으로써 가속모형을 구성하는 것이다. 이에 사용할 기본 car-following model은 GM 모형을 이용할 것이며, 이는 다음과 같은 형태를 갖고 있다.

$$a_{n+1}(t + \Delta t) = \frac{a_{l,m}[v_{n+1}(t + \Delta t)]^m}{[x_n - x_{n+1}(t)]^l} [v_n(t) - v_{n+1}(t)]$$

중간단계에서는 우선적으로 가속상황에 대한 데이터를 구성하고 이에 대한 파라미터 셋을 추정하였다.

### 1) 현장조사자료

중간단계에서의 파라미터 추정을 위한 데이터는 9월 19일 자료 중에서 오후 12:30부터 12:40까지의 자료를 이용하였다. 이 자료는 세 가지 조사지점 중에서 링크 중간 지점에 대한 자료이다.

12:30부터 12:40까지 조사지점을 통과한 차량은 총 158대였으며, 이 중에서 도중에 차선변경을 하여 진행 차선이 바뀐 차량은 모두 제외하였다.

조사지점은 앞서 설명한 대로 3m 단위로 12개 지점으로 구분하여 각 지점에 대한 차량통과시간을 조사하였다.

## 2) 차량궤적함수의 추정

위에서 수집된 각 3m 단위의 지점에 대한 차량통과시간을 기준으로 앞서 설명한 다항회귀모형을 이용하여 차량궤적함수를 추정하였다. 추정된 궤적함수는 유의수준 10% 이내로 추정되었으며, 이 궤적함수를 이용하여 매 순간의 속도와 가속도 자료를 추출하였다.

## 3) 가속모형 파라미터추정을 위한 자료구성

차량궤적함수가 유도되면 매 순간의 속도와 가속도 자료는 궤적함수의 1차 또는 2차 미분으로 간단히 계산된다.

그러나, 추정된 궤적함수는 조사자료가 있는 구역에서는 합리적인 값을 나타내지만 조사자료가 없는 구역(즉, 조사자료의 평균값과 멀어질수록)으로 벗어날수록 궤적함수의 결과는 신뢰할 수준이 못되는 경향이 있다. 이런 이유로 인하여 가속모형 파라미터추정을 위한 데이터셋은 조사구역(33m 구간) 이내로 한정하여 구성하였다.

## 4) 가속모형 파라미터 추정중간결과

가속상황에 대한 파라미터추정결과는 다음과 같다.

$$\alpha = 0.9086$$

$$m = 0.0287$$

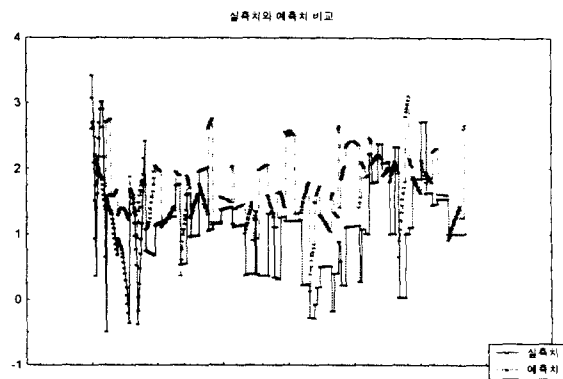
$$l = -0.0967$$

$$n = 0.4068$$

## 5) 연구결과분석

추정된 가속모형을 이용하여 실측자료(가속모형 파라미터 추정에 이용되지 않은 자료)와 비교분석을 수행하였다. 이 결과 본 가속상황에서 추정된 모형은 가속도를 실측치에 비해 다소 과대추정하는 경향이 있다. 그러나, 전체적인 패턴은 유사하게 나타났다. 가속도 실측치와 모

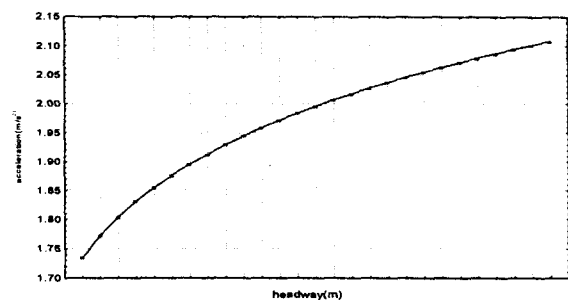
형에 의한 추정치가 다소 차이를 나타내는 이유는 첫째, 동일한 상황(속도, 상대속도, 헤드웨이 등)에 대하여 운전자마다 상이하게 반응하는 결과이다. 즉, 랜덤한 운전자 성향에 따라서 자신이 처한 상황에 대하여 급진적 혹은 온건적으로 반응하는 것이다. 둘째로는 이산적 궤적 자료를 구성할 때 시간 및 거리를 체크하는 상황에서 발생할 수 있는 처리에러(processing error)이다. 마지막으로 가속상황 파라미터 추정에 이용된 자료가 평균속도 10m/s~15m/s의 비교적 소통이 원활한 상태의 자료이기 때문에 발생할 수 있는 오차이다.



<그림 4-1> 실측자료와 추정자료 비교

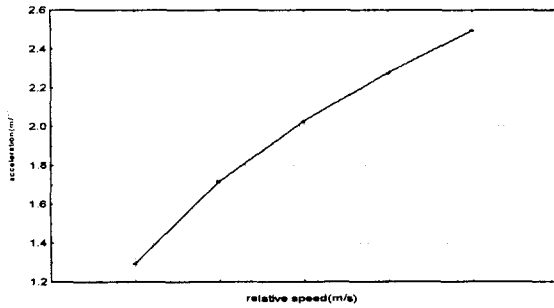
민감도 분석은 속도 10m/s, 헤드웨이 20m, 상대속도 3m/s의 고정값으로 각 요인별(속도, 헤드웨이, 상대속도)로 수행하였다. 이 결과 가속상황에서 추정된 car-following 모형은 속도, 헤드웨이, 그리고 상대속도에 비례하여 가속도가 증가하는 것으로 나타났다.

또한, 헤드웨이의 증가에 따라 가속도의 증가 기울기는 감소하는 모습을 나타냈다. 이는 두 차량이 멀리 떨어져 있을수록 선행차량에 대하여 후행차량이 덜 민감하게 반응하는 현상이

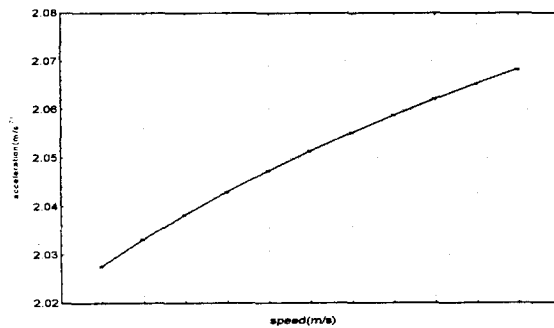


<그림 4-2> 헤드웨이에 따른 민감도

제대로 나타난 것이다.



<그림 4-3> 상대속도에 따른 민감도



<그림 4-4> 속도에 따른 민감도

최대한 줄이면서 각 차량의 이산적 궤적 데이터를 구성할 수 있는 방법이 필요함.

- 미시적 시뮬레이션을 위한 나머지 부분, 즉 차선변경과 반응시간 등에 대한 연구가 이어져야 함.

## 참고문헌

1. A Simulation Laboratory for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems, Qi Yang(1997)
2. 연속류 도로의 한국형 모의실험 프로그램 개발, 한국건설기술연구원(1994)
3. Modeling Drivers' Acceleration and Lane Changing Behavior, Kazi Iftekhar Ahmed(1999)

## V. 향후연구과제

본 연구의 목적은 도시 신호교차로에 적용가능한 미시적 시뮬레이터를 위한 가속모형을 개발하는 것이다. 현 단계의 연구는 그 중 일부인 가속모형을 개발하는 것이다. 가속모형의 결과를 기존 모형과 비교하는 것은 한계가 있으므로 별도의 시뮬레이터를 구성하여 모형의 적용가능성을 검증하는 것이 필요하다. 현재 본 연구의 가속모형을 검증하기 위한 시뮬레이터는 구성이 완료된 상태이다.

미시적 시뮬레이터의 완전한 구성을 위한 나머지 부분과 연구수행과정에서 요구된 사항을 정리하면 다음과 같이 요약된다.

- 향후에는 운전자 각각의 상이한 특성을 반영할 필요가 있음.
- 보다 넓고 다양하며 정밀한 현장조사가 필수적임. 또한 현장조사 자료를 처리에러를