# TRANSIMS Microsimulation을 이용한 고속도로에서의 차량추종모형에 관한 연구

Carfollowing Model for Freeway Using TRASIMS Microsimulation Method.

정광수* · 이종달** · 강창모*** · 심초범**** · 최은미*****
Jung, Gwangsu · Lee, Jongdal · Kang, Changmo · Shen, Chaofan · Choi, Eunmi

## 1. 서 론

1992년 Nagel K. and Schreckenberg M.(1992)에 의해 발표된 Cellular Automata 모형(이하 CA모형)은 거시적 교통시뮬레이션모형의 문제점과 한계점을 극복하고 첨단교통체계(ITS)의 효과적인 분석, 교통환경정책 수립을 위한 대기오염분석 등 다양한 미시적 교통류 분석을 가능하게 하였다.

CA모형은 가로망을 승용차 한 대 점유 기준의 cell단위로 나눈 다음, cell내부의 차량점유 상태에 따라 간단한 수학적 모형, 즉 차량추종모형과 차로변경모형을 적용하여 개별차량들의 위치와 속도를 연속적으로 갱신하면서 차량 흐름을 모의 발생하고 확산시켜 교통현상을 분석하며, 여러 교통상황 및 가로망구조에 맞는 다양한 모형을 적용시킬 수 있는 구조를 지니고 있어 대규모 네트워크를 미시적으로 시뮬레이션하기에 타당한 모형이다. 특히 미국에서는 CA모형을 기본으로 하여 TRANSIMS(2009)라는 시뮬레이션 모형을 개발하여 실용화하고 있다. 국내 연구 사례는 CA모형을 이용하여 고속도로 합류부에서의 미시적 거동을 분석한 연구(조중래 등, 2001), NaSch모형의 급감속 과 차로변경 규칙의 결합을 개선한 연구 (윤병조, 2009), TRANSIMS를 이용하여 국내의 활동 기반형 모형 구축의 가능성에 대하여 연구(최현주 등, 2004) 등이 있다.

본 연구에서는 TRANSIMS 시뮬레이션 모형을 이용하여 국내 교통류를 분석함에 있어 도로용량편람의 차량크기분류에 맞도록 cell크기를 기존 7.5$m$에서 7$m$, 3.5$m$로 세분화하고, 운전자들이 선호하는 차량 최고속도 수준을 반영하여 고속도로 연속류 구간을 중심으로 미시적 시뮬레이션 하도록 모형을 구축하였다.

## 2. Transims 모형 고찰

### 2.1 기본 개념

CA모형에 기반을 둔 미시적모형은 1992년 Nagel K. and Schreckenberg M. 의해 처음 시도되었으며, (이하 NaSch모형) 현재까지 활발한 연구가 진행되고 있는 실정이다. NaSch모형에서 차량주행모형은 기본적으로 CA모형에서 기본개념을 가져 왔으며 교통 분야에 접목을 시키기 위하여 많은 부분이 수정되어 개발되었다.

차량주행모형에 사용된 cell의 공간적 구조는 승용차 한 대가 점유할 수 있는 공간, 즉 차량 길이와 최소차두거리에 의해 결정되며, cell의 상태 값은 차량점유상황에 따라 (0, 1)의 값을 갖는다. 그리고 cell을 점유한 각 차량들은 하나의 속성 값을 갖게 되는데, 이는 속도를 의미한다. 이때의 속도는 일반적으로 사용되는 $m/s$나 $km/h$의 값이 아니라 $cell/s$로 표현되며, 0~5$cells/s$의 범위 값을 갖게 된다. 5$cells/s$의 값은 차량이 가

* 대구광역시 북구청 전문위원 · 영남대학교 건설시스템공학과 박사수료 · 공학석사(E-mail : gojks@korea.kr)
** 영남대학교 건설시스템공학과 교수(E-mail : jdlee@ynu.ac.kr)
*** 경상북도의회 정책연구관 · 영남대학교 건설시스템공학과 박사수료·공학석사(E-mail : cmkang@korea.kr)
**** 영남대학교 건설시스템공학과 석사과정(E-mail : shenchaofan1234@163.com) – 발표자
***** 영남대학교 건설시스템공학과(E-mail : cem37@naver.com)

질 수 있는 최고 속도를 뜻하며, 일반적인 cell 길이 7.5$m$를 적용하게 되면 135$km/h$해당되는 속도이다.

본 연구에서 사용한 TRANSIMS(TRansportation ANalysis and SIMmulation System)는 CA 모형의 기본개념과 개인의 활동을 기반으로 교통상황, 도로조건, 사회경제적 조건 등을 고려하여 개인 단위로 분포, 수단선택 및 경로선택이 되는 활동기반 모형(activity-based model)이 실현가능하다.

### 2.2 차량 추종 모형 (NaSch 표준형)

TRANSIMS의 차량추종 모형은 하나의 셀 크기가 7.5$m$이고 하나의 cell에 한 대의 차량이 점유 할 수 있도록 하고 NaSch모형의 기본 4가지의 차량 추종 연산을 기본 바탕으로 시뮬레이션을 한다.

차량은 기본적으로 차량이 가질 수 있는 최고 속도까지 가속하기를 원하며, 전방차량과의 차간거리(gap)와 감속 확률에 따라 속도가 결정된다.

차량은 차량의 최고속도 또는 전방차량과의 차간거리 중 작은 값으로 진행을 하며 전방차량과의 거리가 상호 영향을 미칠 수 있는 범위 안에 존재하게 되면 전방차량과의 간격만큼 자신의 속도를 감속한다. 저속차량의 흐름 발생은 차량이 감속확률($p_{noise}$)가질 때 자신의 속도를 1만큼 감속한다. 이런 속도의 제어 과정이 끝나면 차량은 $v$의 속도를 가지고 전방으로 주행한다.

표 1. NaSch 모형 기본 차량 주행 규칙

| 1 단계 : 가속 | 2 단계 : 감속 | 3 단계 : 불규칙적 감속 | 4 단계 : 이동규칙 |
|---|---|---|---|
| if $(v_t < g_n)$ $v_{t+1} = \min[v_t + 1,\ v_{\max}]$ | if $(v_t \geq g_n)$ $v_{t+1} = \min[v_t\ ,\ g_n]$ | if $(p_{noise} \geq p_{random})$ $v_{t+1} = \max[v_{t+1} - 1,\ 0]$ | $x_{n+1} = x_n + v_{t+1}$ |

$g_n$ : 추종 차량 간의 비점유된 cell 개수 ($cell$)

$v_t$ : 시각(t)에서 차량속도 ($cells/s$)

$v_{t+1}$ : 시각(t+1)에서 차량속도($cells/s$)

$x_n$ : 시각(t)에서 차량의 위치

$p_{noise}$: 차량의 불규칙적인 감속 확률 값(0~1)

$p_{random}$: 불규칙적인 감속을 위한 무작위 확률 값(0~1)

TRANSIMS는 위의 기본 주행 규칙에 더하여 제어변수(control variables)로 차량의 형태별 최고속도, 최대 가・감속도 등을 입력 할 수 있으며, 차선변경규칙과 교차로 통행 규칙 등을 설명하고 있다.

## 3. TRANSIMS 모형의 개선

### 3.1 모형 개선 방향

TRASIMS의 Source Code는 Windows95 이상에서 운영과 수행을 할 수 있도록 MS사의 MFC(Microsoft Foundation Class)를 기반으로 한 객체 지향적 언어 Visual C++을 이용하였다. 운전자가 도로 여건 하에서 최 고속도로 주행 할 수 있는 알고리즘 변경, 차량 종류를 위한 cell 크기 변경, 차량 성능과 운전자 숙련도에 따른 가・감속 능력을 반영할 수 있도록 모형의 개선을 시도 하였다.

### 3.2 차량 주행 모듈

1) 최고 주행 속도 변경

TRANSIMS 내에는 차량의 최고 속도를 차량이 주행하는 차로의 최고속도와 차량의 최고속도 중 작은 값으로 결정한다. 본 연구에서는 운전자가 최고속도를 결정함에 있어 아래와 같이 가속규칙을 변경하였다.

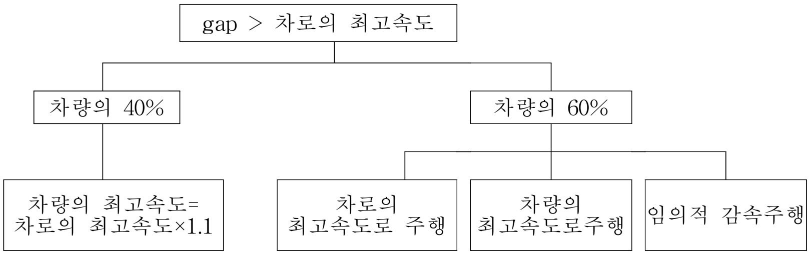



**그림 1. 최고속도 결정 알고리즘**

**표 2. 변경된 가속 규칙의 내용**

| 가속 | 여기서, |
|---|---|
| if$(g_n > v_{lane})$<br>if$(A_{random} > 0.4)$<br>$v_t = v_{lane} \times 1.1$ | $g_n$ : 추종차량간의 비점유된 cell 개수(cell)<br>$A_{random}$ : 불규칙적 가속을 위한 무작위 확률 값(0~1)<br>$v_{lane}$ : 차량이 주행하는 차선의 최고속도 |

2) cell 크기 변경

기존의 cell 크기 7.5$m$는 차량의 길이와 약간의 여유 공간을 합한 값이다. TRANSIMS에서는 두 차량 사이에 항상 하나의 cell이 존재하여 주행이 가능하기 때문에 7.5$m$라는 cell의 크기는 우리나라의 차량의 기준보다 큰 경향이 있고 차량의 미세한 주행을 반영하기에는 무리가 있다고 생각된다. 따라서 차량의 cell 크기를 7$m$와 3.5$m$ 이 두 가지 경우를 추가하여 차량사이의 간격이 현실에 가깝도록 하였다.

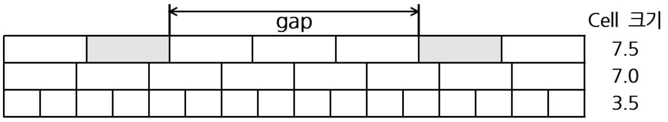



**그림 2. cell 크기 변경도**

3) 승용차의 종류 변경

기존의 차량 분류에 있어서 승용차의 경우 한 유형만 적용하고 있으나 운전자의 운전경력 및 차량의 성능에 따라 다양한 형태의 주행이 가능함으로 승용차의 분류를 다음 세 가지 유형을 적용하였다.

**표 3. 적용차량 분류**

| | 최고속도($cell/s$) | 가속능력(㎨) | 감속능력(㎨) | 혼입률(%) |
|---|---|---|---|---|
| Type1 | 5 | 2.3 | 2.3 | 30 |
| Type2 | 5 | 1.9 | 1.9 | 34 |
| Type3 | 5 | 1.5 | 1.5 | 36 |

도로위의 다양한 차량의 유입을 위하여 버스 및 트럭 등 대형차의 비율을 전체 차량의 20%로 혼입하였다.

각 Type에 대한 차량의 가속능력은 도로위의 차량 중 대표 차량의 가속 능력과 감속능력을 계산한 값이다. 차량의 혼입율 이란 도로상에 Type의 차량이 얼마나 존재하는지를 배분한 것이다. 이 값들은 현재 우리나라의 차량 판매율을 기준으로 선택한 값이다. 또 운전자의 운전의 성향에 따라 임의적으로 주행속도를 가속 또는 감속할 수 있도록 하였다.

## 4. 모의 실험

### 4.1 모의실험 대상

모의 실험 대상 네트워크는 TRANSIMS에서 제공되는 Test.Net을 사용하였다. Test.Net은 16개의 내부 Zone과 13개의 외부 zone, 72개의 링크, 147개의 노드로 구성되어 있고 분석 대상은 좌하(zone 30)에서 우상(zone 23)방향의 왕복 6차로의 고속도로이며, 2개소의 IC가 접속되어 있다.

기존 규칙에서 고속도로상의 차량의 최고속도는 108$km/h$를 적용하고 있으나 변경 규칙에서는 그보다 10% 증가한 118.8$km/h$의 속도를 가질 수 있도록 하였다. 또 임의적으로 주행 속도를 현재 차량의 주행속도보다 가속 또는 감속 하거나 그렇게 하지 않도록 하였다.

시뮬레이션은 3시간 동안 수행 하였으며 유입교통량은 최저 시간당 576(대/차로)~최대 2,880(대/차로)범위 내에서 15분 단위로 배분하였다.

차량의 크기를 통일시키기 위하여 우리나라의 자동차 길이를 참고해 자동차 길이를 평균 5.5$m$로 정하고 차가 정지하였을 때 사이의 gap인 1.5$m$를 합한 7$m$를 차량의 길이로 정하였다.

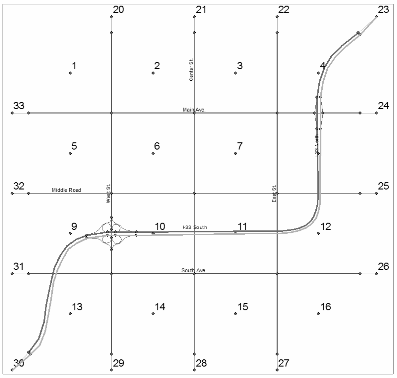
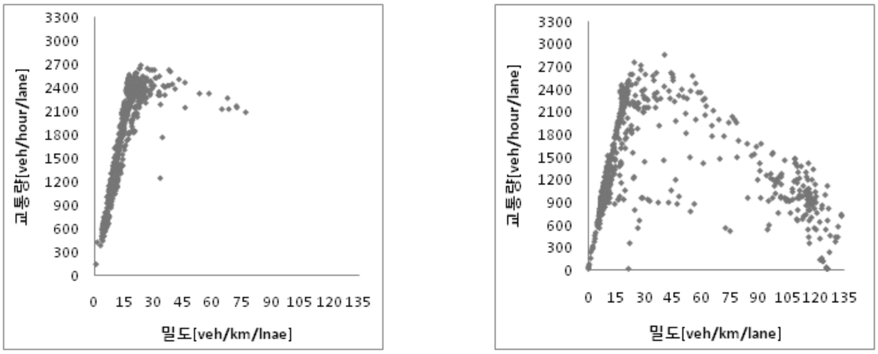



그림 3. Test.Net의 네트워크 구조

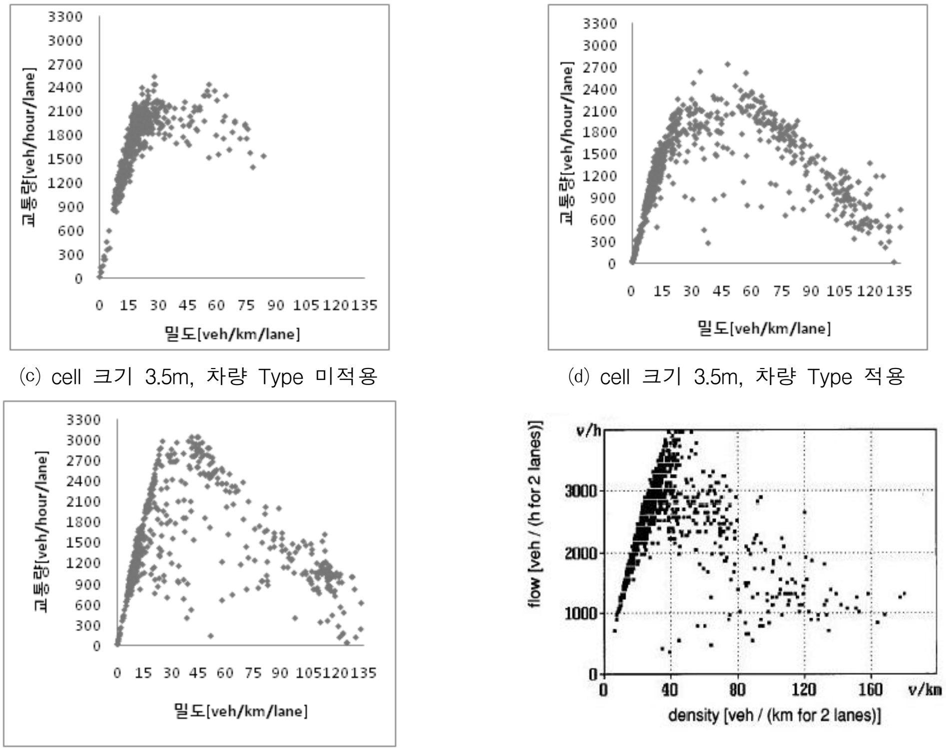
### 4.2 모의 실험 결과

모의실험은 총 3시간의 시뮬레이션 한 결과이며 1분 간격으로 자료를 저장하여 교통량과 밀도 관계를 분석하였다.




(a) cell 크기 7$m$, 승용차 Type 미적용

(b) cell 크기 7$m$, 승용차 Type 적용




(c) cell 크기 3.5m, 차량 Type 미적용

(d) cell 크기 3.5m, 차량 Type 적용

(e) cell 크기 3.5m, 차량 Type 적용, 최고가속 규칙 적용

(f) 2차로의 교통 실측치 (Data are from Wiedemann, 1995)

**그림 4. 교통량-밀도 관계**

(f)는 독일의 Heilbronn의 Nürnberg 2차로 도로에서의 실측자료이다. (구간 길이 786.1㎞, 제한속도 120 $km/h$)

교통량과 밀도관계에서 위의 그림4와 같이 최대교통량에 도달하기 전까지는 밀도증가와 함께 교통량이 증가하였고, (a), (b), (c), (d)의 경우는 밀도가 15~30$veh/km$ 범위에서 최대교통량이 2,400~2,700$veh/h$정도로 나타났으나 최고가속규칙을 적용한 (e)의 경우는 밀도가 35~45$veh/km$ 범위에서 최대교통량이 3,000$veh/h$정도로 나타나 차량의 가속으로 인한 교통량의 증가 현상이 발생되었다.

차량 Type적용에 있어서 미적용한 (a), (c)의 경우는 차량의 정체현상이 잘 표현되지 않는 문제점이 발생되었고, 차량 Type를 적용한 (b), (d)의 경우에는 차량의 정체현상이 잘 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 TRANSIMS 시뮬레이션 모형을 이용하여 국내 교통류를 분석함에 있어 도로용량편람의 차량크기분류에 맞도록 cell크기를 기존 7.5$m$에서 7$m$, 3.5$m$로 세분화하고, 운전자들이 선호하는 차량 최고속도 수준을 반영하여 고속도로 연속류 구간을 중심으로 미시적 시뮬레이션을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.

첫째, 도로의 최고속도 규정 하에서 환경에 따라 운전자가 선호하는 최고속도로 주행 할 수 있도록 알고리즘 변경한 결과 밀도와 교통량이 증가하는 현상이 나타났다.

둘째, CA모형은 cell크기를 7.5$m$로 설정하여 최대속도가 5$cells/s$일 경우 정지차량이 5초 후에 100$km/h$이

상의 속도에 도달하게 되어 차량의 가속이 비현실적으로 설명되고, 또한 경차 및 도로용량편람의 차량 구분에 적합한 cell사이즈 조합이 어려운 반면 cell 크기를 7$m$와 3.5$m$를 적용한 결과 차량의 가감속도를 현실적으로 반영이 가능하고 다양한 차량의 표현도 할 수 있는 것으로 나타났으며, 3.5$m$ 크기가 교통류를 가장 잘 표현할 수 있는 것으로 나타났다.

셋째, 운전자의 숙련도와 차량의 성능에 따른 변화를 관측하기 위하여 승용차의 Type별 가・감속 능력을 변경하여 모의 실험한 결과 실제 교통류 현상을 잘 반영하는 것으로 검증되었다.

향후에는 우리나라 가로망구조에 기반을 대규모 네트워크을 이용한 시뮬레이션 모형을 개발하여 좀 더 현실적인 교통류 시뮬레이션 모형화가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고 문헌


1. 조중래·김진구·고승영·김채만(2001), “CA모형을 이용한 미시적 교통류 시뮬레이션 시스템 개발에 관한 연구”.대한교통학회지 제19권 제3호, 대한교통학회, pp.133-144.
2. 최현주·정진혁·김익기(2004). “TRASIMS의 국내 활용화 방안에 관한 연구”, 대한토목학회지 제24권 제4D편, pp593-600.
3. 윤병조(2009), “Cellular Automata 기반 2차로 고속도로 차로변경 모형 개발”, 대한 토목학회지 제 29권 제 3D편.
4. K. Nagel and M. Schreckenberg “A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic”, J. Physics I France 2 (1992), pp 2221-2229.
5. A. Schadschneider and M. Schreckenberg “Cellular Automaton Models and Traffic Flow”, Institut für Theoretische Physik Universität zu Köln, 1993
6. A. Schadschneider and M. Schreckenberg “Cellular Automaton for Traffic flow Analytical Results”, Institut für Theoretische Physik Universität zu Köln. 1995
7. M. Schreckenberg. “Physical Modeling of Traffic with Stochastic Cellular Automata”, Universität Duisburg, 1995
8. K. Nagel, C. L. Barrett, and M. Rickert. “Parallel Traffic Micro-simulation by Cellular Automata and Application for Large Scale Transportation Modeling", Los Alamos National Laboratory, 1996
9. F. Miaoqing, W. W. Foong “Investgate Traffic Flow . Using Cellular Automata”, 2004
10. R, Widemann, in Beiträge zur Theirue des Straßenverkehehrs, edited by H, Keller (Forschungsgesellschaft für straßen- und Verkehrswesen, Köln, 1995)
11. TRANSIMS OpenSource, Available : http://transims-opensource.net.oct.2009.