

## Cellular Automata 기반 2차로 고속도로 차로변경모형 개발

### Development of Lane-changing Model for Two-Lane Freeway Traffic Based on CA

윤병조\*

Yoon, Byoung Jo

#### Abstract

The various behaviors of vehicular traffic flow are generated through both car-following and lane-changing behaviors of vehicles. Especially lane-usage varies by lane-changing behaviors. In the area of microscopic vehicle simulation, a lane-changing model connected to a car-following model parallel is essential to generate both various traffic flows relationships and lane-usages. In Korea, some studies on car-following models have been reported, but few studies for lane-changing models stay in the beginning stage. In this paper, a two-lane changing model for the simulation modeling of large freeway network is introduced. The lane-changing model is developed based on CA (Cellular Automata) model. The developed model is parallel combined with an existing CA car-following model and tested on a closed link system. The results of simulation show that the developed model generates the various behaviors of lane usage, which existing CA lane-changing models could not generate. The presented model is expected to be used for the simulation of more various freeway traffic flows.

**Keywords** : freeway traffic flow, CA model, two-lane changing model, various lane usage behaviors

#### 요 지

차량들의 차량추종과 차로변경에 행태에 의해 차량 교통류는 다양한 형태를 보이게 되며, 차로변경의 행태에 따라 차로이용률은 매우 다양하게 나타난다. 따라서 미시적 차량 모의실험을 이용하여 다양한 교통류를 설명하기 위해서는 차량추종과 더불어 다양한 차로이용 행태를 구현하는 차로변경 모형이 필수적이다. 국내의 경우 차량추종모형에 대한 연구는 보고되고 있으나 차로변경모형에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대규모 고속도로망 모의실험에 적합한 CA(Cellular Automata)모형을 기반으로 미시적 2차로 차로변경모형을 개발하였다. 개발된 모형을 기존의 CA 차량추종모형과 결합하여 모의실험을 수행한 결과, 다양한 차로이용률 행태를 설명하는 것으로 분석되었다. 개발된 차로변경모형은 보다 다양한 고속도로 교통류의 모의실험에 활용될 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 고속도로 교통류, CA모형, 차로변경모형, 다양한 차로이용률 행태

#### 1. 연구의 배경 및 목적

Cellular Automata이론을 이용한 CA차량추종모형(이하 CA모형)은 Nagel과 Schreckenberg(1992)에 의해 처음 소개된 후, 국내에서도 기존의 CA모형을 이용한 “미시적 교통류 시뮬레이션 시스템 개발에 관한 연구(조중래, 2001)”, “고속도로 돌발상황 영향 분석교통 시뮬레이션 모형 개발(노정현, 2001)”, “다양한 연속 교통류 구현을 위한 확률과장전과 모형의 개발(장현호, 2004)” 등의 연구가 소개되었으며 주로 차량추종모형에 관한 연구들이 주를 이루었다.

미시적 측면에서 교통류는 차량추종과 차로변경에 의해 설명되어야 하지만, 기존의 연구들은 주로 차량추종모형에 초점을 두었으며, 차로변경에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 고속도로의 경우에 있어 차로 이용률(Lane Usage)은 운전자의 특정 차로선호 정도, 통행시간 최적화를 위한 차로변경과 중

차량의 영향 등으로 인하여 다르게 나타난다. 차로별 차로이용률은 일정하지 않으며 밀도에 따라서 변화하며, 차로변경에 의한 차로이용률에 의하여 차로별 교통량-밀도관계 또한 다르게 나타난다. 따라서 차량 시뮬레이션을 위해서는 차로변경모형과 더불어 다양한 차로변경행태를 설명하는 차로변경모형의 개발이 필수적이다.

1990년대 초반 대규모 가로망을 모의실험하기 위해 개발된 TRANSIMS에 적용된 차로변경모형은 연산수행속도 및 컴퓨터 메모리를 극대화하기 위하여 일부 주요한 행태적인 측면을 포기하고 차로변경모형을 개발하였다. 따라서 차로변경모형을 이용한 다양한 행태의 차로이용률을 설명하기에는 변수 적용의 한계가 있었다. 그러나 최근의 컴퓨터 연산기술에 힘입어 1990년대 초반에 비하여 모형개발환경은 비약적으로 향상된 상태이다. 국내의 경우, 대부분의 연구는 교통류를 보다 다양하게 설명하기 위한 차량추종모형에 관한 연

\*정회원 · 시립인천전문대학 토목과 조교수 (E-mail : bjoyon@icc.ac.kr)

구가 주를 이루며, 차로변경모형에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존 CA차로변경모형(동기조건, 측전방 조건, 측후방 안전조건, 확률조건)에서 고려되지 않은 행태적 부분(해당 차량의 속도를 고려한 동기유발조건, 측전방 차량의 속도를 고려한 측전방 조건, 측후방 차량의 현실적인 감속을 고려한 측후방 조건)과 중차량과 같은 저속 차량의 영향을 고려한 2차로 고속도로 차로변경모형을 CA 기반으로 개발하고, 모의실험을 통하여 개발된 차로변경모형이 다양한 차로이용률의 행태구현이 가능함을 제시하는데 있다.

## 2. 기존연구의 고찰

### 2.1 차로이용률의 행태

차로이용률(Lane Usage)은 교통여건에 따라 지점별로 다르게 나타난다. 따라서 차로이용률의 행태에 관한 연구는 많이 보고 되고 있지 않다. 그러나 일반적으로 그림 1과 같이 편도 2차로의 차로이용률(%)은 교통량이 적은 경우 2차로의 차로이용률이 높으며, 교통량이 증가함에 따라 1차로의 차로이용률이 높게 나타난다(Tadaki 등, 2002). 또한 교통량-밀도관계( $\rho$ )에서 동일한 교통량에서 2개의 밀도가 존재하게 됨으로 2차로의 차로이용률은 감소하다 증가하는 역 $\cap$ 형의 형태를 보이며, 1차로는  $\cap$ 형의 형태를 보인다고 알려져 있다.

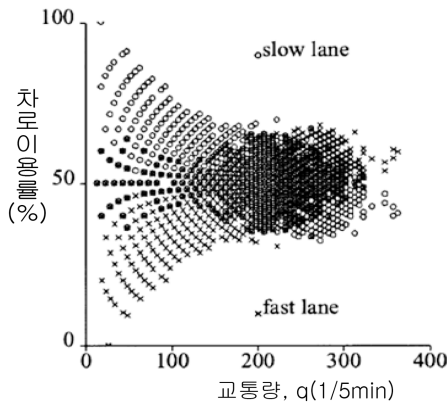


그림 1. 교통량에 따른 차로이용률 관계

### 2.2 CA기반 차량모형

CA 차량모형은 공간적으로 차로를 일정길이의 Cell(이하 셀)로 구분하고, 차량은 셀을 점유하면서 단위시간(보통 1초, 이하 단위시간은 1초)마다 추종차량간의 비 점유된 셀의 개수( $gap_i$ , 셀)를 이용하여 속도( $u_i$ , 셀/초)를 갱신하면서 이동하게 한다. 확률을 제외한 변수의 단위는 셀의 정수배로 표현되는 이산적 시·공간 연산을 수행하는 모형이다. 기존 CA모형에 관한 고찰은 차량추종모형을 간략히 언급하고 차로변경모형에 대하여 고찰하도록 한다.

CA차량추종모형은 NaSch모형(Nagel, Schreckenberg, 1992),  $T^2$ 모형(Takayasu, Takayasu), BJM모형(Benjamin 등, 1996), Krauss모형(Krauss, 1997), 기존 NaSch모형을 수정한 VDR(Velocity Depending Randomization)모형

(Schadschneider and Schreckenberg, 1997), MRO 모형(Chang 등, 2005) 등이 제시되고 있으며, MRO모형은 우리나라 고속도로에 적용되었다(Chang 등, 2007). 차량추종모형은 결정론적 속도갱신, 무작위적 감속, 차량이동의 3개 규칙으로 구성되며, CA모형의 근간이 되는 확률적 NaSch모형에 대해 살펴보면 다음과 같다.

- 결정론적 속도 갱신

$$u_{t+1} = \min[u_t + 1, gap_t, u_{max}]$$

: 차량은  $gap_t$ (선행차량과의 비 점유된 셀 개수)을 이용하여 최대속도( $u_{max}$ )까지 속도를 결정론적으로 가속한다. 모형의 이산적 시간단위(Time Step)당 이동할 셀의 개수로 표현되는 속도(셀/초)는 Time step당 전방의 공간( $gap_t$ )이 허락하는 범위 내에서 1셀 씩 가속하며 최대속도( $u_{max}$ )까지 증가한다.

- 무작위적 감속

$$u_{t+1} = \max[u_t - 1, 0] \text{ with } p_{noise}$$

: 차량의 가속과 주행과정은 일정하지 않으며 가속소음이 발생한다. 이러한 속도의 변동은  $p_{noise}$ 에 의해 설명된다. 무작위 확률값이  $p_{noise}$ 보다 작으면 결정론적으로 갱신된 속도를 1셀/time step 감속한다. 따라서  $p_{noise}$ 는 차량의 속도를 제어하게 되고 차량추종모형을 이용하여 교통류 관계를 설명하는데 이용된다.

- 차량이동

$$x_{t+1} = x_t + u_{t+1}$$

: 차량은 현재 차로상의 셀 위치( $x_t$ )에서 갱신된 속도( $u_{t+1}$ )만큼 전방으로 이동한다.

차로변경모형은 최대속도에서의 선호적(Preference) 차로변경모형, 최대속도 이하에서의 통행시간 최적화 (Travel time optimization)차로변경모형으로 구성된다. 그리고 차로변경모형의 조건은 동기조건, 측방조건, 측전방조건, 측후방(안전)조건, 확률조건으로 구성된다. 그림 2는 차로변경을 설명하기 위한 개념 및 변수를 보여주고 있으며, 변수는 다음과 같이 정의된다.

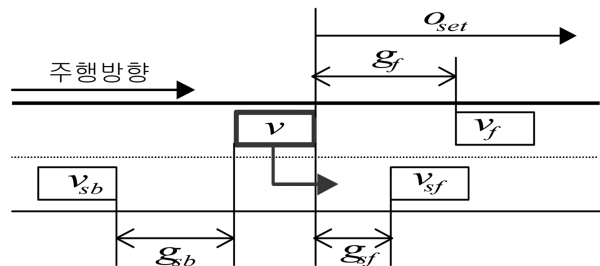


그림 2. 차로변경 개념도

- $v$  : 차로변경을 희망하는 차량의 속도(셀/초)
- $v_f$  : 선행 차량의 속도(셀/초)
- $v_{sf}$  : 인접차로의 선행차량 속도(셀/초)
- $v_{sb}$  : 인접차로의 추종차량 속도(셀/초)
- $g_f$  : 주행차로의 선행차량과의 거리(셀)
- $g_{sf}$  : 인접차로 선행차량과의 거리(셀)
- $g_{sb}$  : 인접차로 후행차량과의 거리(셀)
- $O_{set}$  : 동기조건에 이용되는 추가적 변수(셀)

기존 연구(Rickert et al., 1996)의 경우 동기조건의 최대 속도( $u_{max}$ , 셀/초)에서 선호적 차로변경의 경우  $v = u_{max}$ ,  $g_f \geq u_{max}$ , 통행시간 최적화 차로변경( $v < u_{max}$ )은  $g_f < v$ 을 동기조건으로 이용하였다. 그러나 실제 차로변경의 동기조건을 설명하기에는 미흡하였다. 이를 보완하기 위하여  $g_f < v + \alpha$  ( $= o_{set}$ )을 적용하였으나 속도에 따라 동일한 값을 적용함으로써 속도에 따른  $o_{set}$ 을 설명하기 어려운 한계를 안고 있다.

측전방조건은  $g_f < g_{sf}$ ,  $v < g_{sf}$ 을 조건으로 하였으며, 이 경우 차로변경 대상차로의 선행차량의 속도를 고려하지 못 함으로써 통행시간 최적화를 담보하지 못 하는 경우가 발생한다.

측후방조건은  $u_{max} \leq g_{sb}$ 을 조건으로 하였으며, 이 경우  $v=0$ 인 차량이  $u_{max} = g_{sb}$ 의 조건에서 차로변경을 수행할 경우 측후방의 차량은  $u_{max}$ 에서 급격하게 정지함으로써 차로변경 대상차로의 통행시간 최적화를 보장하지 못 한다. 또한 기존 차로변경모형의 경우 선행차량이 중차량(또는 저속차량)일 경우 차로변경을 고려하지 않아 저속차량의 추월(Overtaking)을 설명하기에는 한계를 가지고 있다.

### 3. 모형의 개발 및 구현

#### 3.1 차로변경모형의 개발

본 연구에서는 차로변경 수행상의 조건(Criteria)으로 동기조건, 측전방조건, 측후방조건을 보다 현실적으로 적용하여 기존 차로변경모형의 단점을 극복하였다. 또한 차량의 최대 속도( $u_{max}$ )에서 선호적 차로변경과 최대속도를 보장하더라도 선행차량이 저속차량(또는 중차량)일 경우 통행시간 최적화 차로변경을 수행하도록 하였다.

##### • 동기조건

운전자는 차량의 속도에 따라 선행차량과의 거리(셀)에 대한 인지 및 확보하고자 하는 거리(셀)는 다르게 나타난다. 그러나 기존연구의 경우에는 차량의 속도를 고려하지 않고 동기조건의  $o_{set}$ 값을 일정하게 사용하였다. 값은 가속 또는 현재의 속도를 유지하기 위해 요구되는 거리(셀)이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 동기조건의  $o_{set}$ 값 적용에 있어 속도에 따라 다음과 같이  $o_{set}$ 값을 다르게 적용하였다. 이는 차로변경모형의 실제 적용에 있어 모형의 정산을 가능하게 한다.

$$o_{set} = v \times (1.0 + p_{off}) + 1$$

기존의 차로변경모형에서는 최대속도에서 선호적 차로변경만을 설명하였다. 그러나 최대속도에서도 선행차량의 주행상태와 선행차량과의 거리에 따라서 운전자는 예측과정을 통하여 통행시간 최적화 차로변경을 수행하게 된다. 따라서 본 연구에서는 최대속도에서 선호적 차로변경과 통행시간 최적화 차로변경의 동기조건은 각각  $g_f > o_{set}$ ,  $g_f \leq o_{set}$ 을 만족하는 모든 속도에 대하여 동기조건을 만족하도록 하였다. 또한 선행차량이 저속차량일 경우 선호적 차로변경과 통행시간 최적화 차로변경의 차로변경 확률보다 높은 차로변경 확률을 이용하여 저속차량의 추월을 모형화하였다.

##### • 측전방조건

기존의 측전방조건은  $g_f < g_{sf}$ ,  $u < g_{sf}$ 을 조건으로 이용함으로써 해당 차량의 인접차로로의 차로변경 시 현재 차로보다

높은 속도를 담보할 수 없었다. 예를 들어  $g_f = 3$ ,  $g_{sf} = 4$ ,  $v = 3$ 라고 하면, 차로변경 후 속도는 결정론적으로 시각( $t$ )에서 속도는 4로 증가한다. 그러나 선행차량의 속도( $u_{st}$ )가 3이라면 시각( $t+1$ )에서 속도( $u_{st}$ )는 4에서 3으로 감소한다. 따라서 통행시간 최적화를 달성할 수 없다.

본 연구에서는 측전방조건으로  $o_{set}$ 과  $g_f$ 을 이용하였다. 측전방조건은 선호적 차로변경의 경우  $g_{sf} \geq o_{set}$ , 통행시간 최적화 차로변경의 경우  $g_{sf} > o_{set}$ 을 조건으로 하였다. 기존의  $g_f$  대신 차량의 속도를 고려한  $o_{set}$ 을 이용함으로써 프로그램 연산이 더욱 용이하고,  $o_{set} > g_f$ 보다 크기 때문에 기존 모형의 비현실적인 감속을 보다 현실적으로 설명할 수 있다.

##### • 측후방(안전)조건

측후방조건은 안전조건(Safety criteria)라고 할 수 있다. 따라서 기존연구는  $u_{max} \leq g_{sb}$ 을 조건으로 하여 측후방에서 추종하는 차량의 안전을 담보하였다. 그러나 해당차로의  $v=1$ , 측후방차량의 속도( $u_{sb}$ ) =  $u_{max}$ ,  $g_{sb} = u_{max}$ 라고 하면, 시각( $t+1$ )에서 차로변경한 차량의 속도( $u$ )는 1→2로 증가할 수 있으나 차로변경을 수행한 차량을 추종하는 차량의 속도( $u_{sb}$ )는 5→2로 급격하게 비현실적으로 감속하게 된다. 이는 측후방 차량의 속도를 고려하지 않았기 때문이다.

본 연구에서 안전조건은 인접차로 추종차량의 통행시간 최적화를 확보하고 급격한 감속을 방지하기 위하여  $u_{sb}$ ,  $g_{sb}$ ,  $v$ 을 이용하여 측후방조건을 다음과 같이 모형화하였다.

$$\begin{aligned} \text{IF } v > u_{sb} \text{ then } v > g_{sb} \\ \text{IF } v \leq u_{sb} \text{ then } g_{sb} > \sum_{k=0}^{u_{sb}-v} k + v + 1 \end{aligned}$$

$v > u_{sb}$ 인 경우,  $v > g_{sb}$ 을 만족하면 차로변경을 수행하고자 하는 차량이 이미 측전방조건을 만족하였기 때문에 최소  $v$  이상으로 주행이 가능하며, 측후방에서 해당차량을 추종하는 차량은 비현실적인 급격한 감소과정을 수행하지 않아도 되며, 만일 가속 중이었다면 가속이 가능함으로써 안전조건을 만족하게 된다.

$v \leq u_{sb}$ 인 경우, 차로변경을 원하는 차량이 차로변경을 수행하게 되면 측후방에서 추종하는 차량의 감속은 필가피하다. 그러나  $g_{sb} > \sum_{k=0}^{u_{sb}-v} k + v + 1$ 을 조건을 만족하게 되면 측후방에서 추종하는 차량은 급격한 감속을 수행하지 않아도 되며, 차로변경을 수행한 차량의 상태에 따라서 지속적인 가속까지도 가능하다.

##### • 확률조건

동기조건, 측후전방조건, 측후방조건을 모두 만족한다고 운전자의 선택에 따라 차로변경을 결정하게 된다. 전통적으로 이러한 운전자의 선택은 확률조건에 의하여 판단된다. 확률조건을 모형에 고려하지 않을 경우 지나친 차로변경을 수행하게 됨으로 모형은 비현실적이게 된다.

확률조건은 전방조건, 측전방조건, 측후방(안전)조건을 모두 만족하는 차량에 대하여 적용하게 된다. 확률조건은 다음의 표 1과 같이 고속차량과 저속차량에 대하여 선호적 차로변경 확률(승용차  $p_{pc}$ , 저속차량  $p_{pl}$ ), 통행시간 최적화 차로변경 확률(승용차  $p_{oc}$ , 저속차량  $p_{ol}$ ), 그리고 승용차의 저속차량 추월 차로변경 확률(승용차  $p_{ot}$ )의 5가지의 경우에 대하여 적용한다.

차로변경은 이상의 4가지 조건을 만족해야 수행되며, 고속

도로 차로 폭을 3.6m로 했을 경우 차로변경 시 횡방향 속도는 약 1.0m/s임으로 약 3초가 소요된다. 따라서 차로변경은 짝수 시각(초)에는 우측차로변경, 홀수시각에는 좌측차로변경을 수행하도록 하여 차로변경모형의 연산수행속도를 고려하게 된다.

본 연구에서 개발된 차로변경모형은 차로변경을 수행한 차량이 차로변경을 수행한 후 그리고 차로변경을 수행한 차량을 추종하는 차량의 급감속의 문제를 기존 모형보다 현실적으로 설명하도록 개발되었다.

차량추종모형과 차로변경모형은 CA 차량모형의 전통적인 방법인 병렬연산(Parallel Computing)을 이용하게 되며, 차로변경모형을 수행한 후 차량추종모형을 수행하게 된다.

### 3.2 모의실험 및 결과 분석

본 연구에서 개발된 차로변경모형은 도로의 밀도, 차종구성비, 차로변경확률에 따라 매우 다양하게 나타난다. 또한 차로변경에 의해 설명되는 차로이용률은 현실적으로 지점마다 일정하지 않으며 다르게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 차량의 링크 밀도에 따른 모든 경우에 대하여 모의실험을 수행하고, 차로변경 확률조건 시나리오에 따른 다양한 차로이용률을 구현함으로써 본 연구에서 개발된 모형의 차로이용률 구현의 가능성을 제시하도록 한다. 또한 개발된 차로변경모형은 기존 NaSch 차량추종모형을 Update한 VDR모형을 이용하여 구현하였다.

모의실험 환경은 그림 3과 같은 2차로로 구성된 원형의 무한원형 링크에서 수행되었으며, 시스템의 크기는 셀 길이 7m, 링크길이(10,000m ≙ 셀 1,428개)이다. 승용차의 최대속도( $v_{max}$ )는 5셀/초, 저속차량(트럭)의 최대속도( $v_{max}$ )는 4셀/초로 설정하였다. 차량의 속도를 제어하기 위한  $p_{noise}$ 는  $v < v_{max}$ 인 경우  $p_{noise} = 0.11$ 이며,  $v = v_{max}$ 인 경우  $p_{noise} = 0.5$ 로 설정하였다. 차로변경확률은 표 1과 같으며,  $p_{off} = 1$ 이다. 트럭의 구성비는 10%이며, 1차로의  $p_{pl}$ 과  $p_{ol}$ 이 2차로보다 크기 때문에 대부분의 저속차량(트럭)은 2차로로 주행하게 된다. 이상의 모의실험 환경을 이용한 모의실험은 모든 밀도(1대/링크~1,428대/링크)에 대하여 3,600초를 수행하였다.

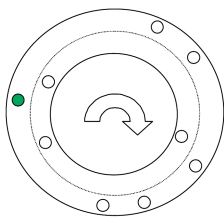


그림 3. 모의실험 원형링크

표 1. 차로변경확률조건 시나리오

주행차로	$P_{pc}$	$P_{pt}$	$P_{oc}$	$P_{ot}$	$P_{ot}$
1차로	0.50	0.50	0.50	0.90	0.10
2차로	0.01	0.01	0.10	0.10	0.50

그림 4는 모의실험을 통해 구현된 교통량( $q$ )-밀도( $\rho$ )의 관계를 보여주고 있으며, 기존 연구에서 보고된 바와 같은 전

형적인  $\cap$ 형을 관계를 보이고 있다. 또한 교통량( $q$ , 대시)은  $1/q \times 3,600$ 으로 산정된다.

그림 5는 차량밀도( $\rho$ )=0.4에서 차량추종 모의실험을 통해 구현된 개별 차량의 시·공간 궤적을 연속적으로 보여주고 있다. 그림 5의 가로축 방향( $\rightarrow$ )은 차량의 공간적 이동방향(단위, m)이며, 세로축 방향( $\downarrow$ )은 차량의 시간적 이동방향(단위, 초)를 의미한다. 따라서 차량은 우하대각 방향( $\searrow$ )으로 이동하게 된다. 교통류는 실험시작 직후 혼잡이 발생하기 시작하였으며, 발생된 혼잡은 후방으로 전파되면서 연속 교통류의 특징인 가다서다(Stop-and-go)현상을 보여주고 있다.

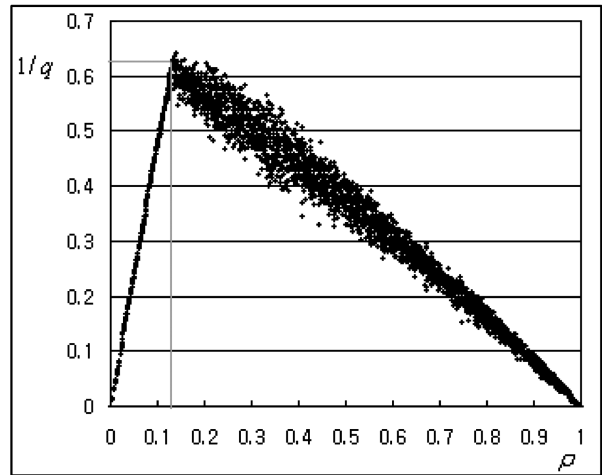


그림 4. 교통량(1/q)-밀도( $\rho$ ) 관계

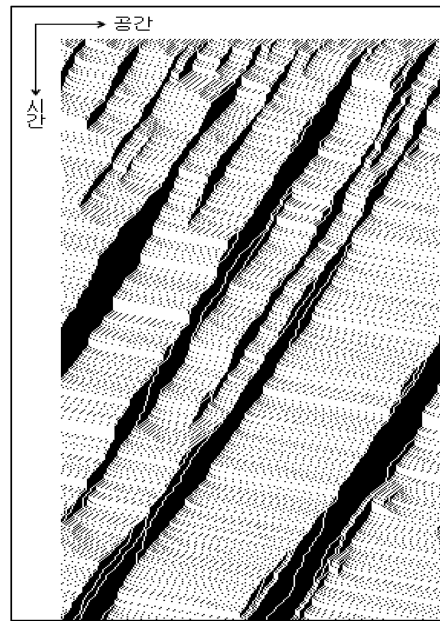


그림 5. 차량의 시·공간 궤적도

그림 6은 모의실험 결과를 교통량-밀도관계와 밀도에 따른 차로이용률을 보여주고 있다. 차로이용률은 차로( $i$ )의 교통량/링크 교통량으로 산정하였다. 신호적 차로변경의 경우 1차로에서 차로변경 확률이 높기 때문에 낮은 밀도에서는 2차로의 차로이용률(이하 LU)가 높게 나타났으며, 용량상태 이전에 차로이용률은 역전되었다가 밀도 0.5에서 1차로의 LU는 최소, 2차로의 차로이용률은 최대를 보인다. 그리고 밀도

0.8이상에서는 각각의 LU가 0.5에 가깝게 밀도에 따라서 LU는 다른 형태를 보이고 있다.

그림 7은 1차로, 2차로의  $p_{pc}$ ,  $p_{pl}$  변화에 따른 2차로 LU의 관계를 보여주고 각각 있으며, 경우1(0.5, 0.001), 경우2(0.5, 0.5), 경우3(0.01, 0.5)이다.  $p_{pc}$ ,  $p_{pl}$ 의 값을 변화시킴으로써 저밀도에서 LU를 다양하게 설명하고 있다.

그림 8은 1차로, 2차로의  $p_{oc}$  변화에 따른 2차로 LU의 관계를 보여주고 각각 있으며, 경우1(0.5, 0.1), 경우2(0.5, 0.5), 경우3(0.1, 0.5)이다.  $p_{oc}$ 의 값을 변화시킴으로써 임계 밀도 이상의 밀도에서 LU의 형태를 오목, 수평, 볼록의 관계로 다양하게 설명하고 있다.

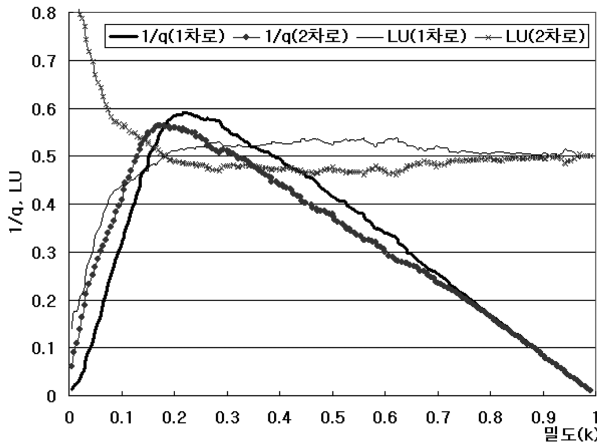


그림 6. 밀도에 따른 LU와 q의 관계

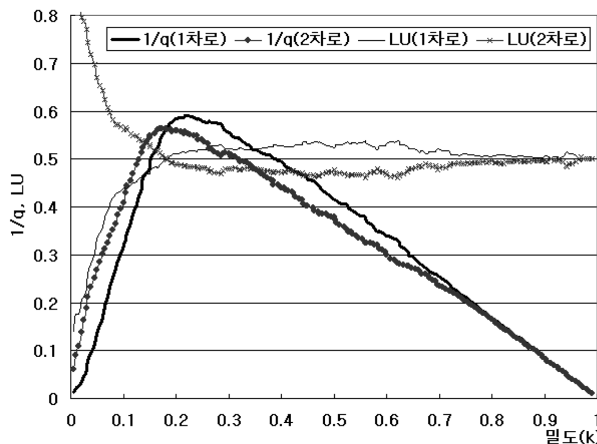


그림 7.  $p_{pc}$ ,  $p_{pl}$ 에 따른 2차로 LU의 관계

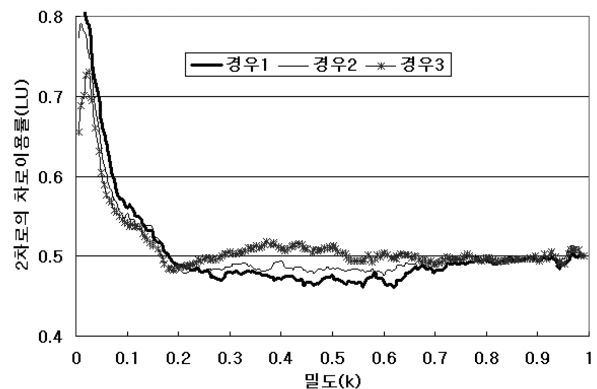


그림 8.  $p_{oc}$ 에 따른 2차로 LU의 관계

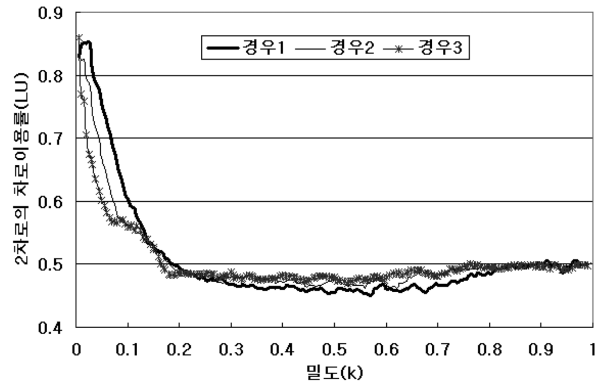


그림 9.  $p_{off}$ 에 따른 2차로 LU의 관계

그림 9는  $p_{off}$  변화에 따른 2차로 LU의 관계를 보여주고 각각 있으며, 경우1( $p_{off}=0$ ), 경우2( $p_{off}=1$ ), 경우3( $p_{off}=2$ )이다. 의 값을 변화시킴으로써 저밀도에서의 기율기와 임계 밀도 이상에서의 LU의 형태를 설명하고 있다.

#### 4. 결론 및 향후연구

##### 4.1 결론

국내의 CA기법을 이용한 차량모형에 관한 연구들은 차량 추종모형의 개발에 한정되어왔으며 차로변경모형에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 그러나 고속도로 교통류를 모의시험 하기 위해서는 차량추종과 더불어 차로변경이 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 수정된 NaSch 차량추종모형을 기반으로 차로변경모형을 개발하였으며, 개발된 모형은 모의실험을 통하여 검증하였다. 개발된 모형의 구현 결과를 4가지로 요약하면 다음과 같다.

첫째, 기존의 수정된 NaSch모형과 동일한 거시적 교통량-밀도를 보였으며, 미시적 특징인 기다서다 현상을 유지하였다.

둘째, 차량의 속도를 고려한  $o_{set}$  변수를 도입하여 보다 현실적으로 차로변경이 가능하였으며, 저속차량의 추월과정을 효과적으로 처리할 수 있었다.

셋째, 측후방(안전)조건에 차로변경 희망차량의 속도와 측후방 추종차량의 속도를 고려함으로써 측후방 추종차량의 비현실적인 감속을 방지하고 측후방 추종차량의 통행시간 최적화를 유지할 수 있었다.

넷째, 차로변경확률 조건값의 조합을 통하여 밀도에 따른 다양한 차로변경행태를 시스템적으로 설명하였다. 이는 기존의 차로변경모형에 비하여 다양한 차로변경행태를 설명할 수 있으며 모형의 정산이 용이하다고 말할 수 있겠다.

##### 4.2 향후연구

향후에는 다음과 같은 연구가 진행되어야 할 것이다. 첫째, 실제 연속류의 차로이용률 행태는 지점별 도로조건, 중차량 구성비와 속도 등의 교통특성별로 매우 다양하게 나타난다. 따라서 실제 차로이용률 행태를 도출하기 위해서는 30초 단위의 미시적 검지 교통자료를 이용하여 다양한 측면에서 분석되어야 하며, 이를 위해서는 방대한 양의 다양한 지점에 대한 교통자료가 요구된다. 그리고 이러한 기초연구는 차로별 밀도-교통량 관계와 동시에 밀도-차로이용률의 관계를 도

출하여야 한다. 현장자료에 기초한 교통류의 거시적 관계와 차로이용률 행태는 연속 교통류 행태의 기초연구(Primary study)로서 큰 의의를 가질 것이며, 차량모형을 개발하는 개발자에게 있어 소중한 연구의 지침으로 제공될 것이다.

둘째, 관측자료를 이용한 다양한 행태의 차로이용률 행태에 관한 미시적인 기존 연구결과의 부재로 인하여 본 연구에서는 차로이용률 행태의 다양성을 전제로 모형이 개발되었다. 따라서 향후에는 실제 자료를 기반으로 도출된 차로이용률 행태와 모형으로 도출된 행태를 교차검증(Cross-validation)함으로써 적정 차로변경확률 변수값과  $p_{off}$  변수값을 도출하여야 하고, 구축된 차로변경모형을 3차로 이상의 다차로로 확장하는 연구가 수행되어야 한다.

셋째, 본 연구에서는 개발된 차로변경모형의 유효성을 담보하기 위하여 TRANSIMS 차량 시뮬레이터에 성공적으로 적용된 NaSch 차량추종모형과 개발된 차로변경모형을 결합하였다. 그러나 NaSch 차량추종모형 또한 개발당시 대규모 가로망에 대한 적용성을 고려하여 많은 부분을 포기하고 개발되었다. 따라서 현재의 컴퓨터 연산수준이 대처할 수 있는 보다 미시적인 차량추종모형을 추가적으로 개발하고, 본 연구에서 개발된 차로변경모형을 결합하여 보다 더 미세하게 연속 교통류를 설명하는 차량모형을 개발하여야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 2008년도 시립인천전문대학 자체연구비 지원으로 연구되었음.

## 참고문헌

노정현(2001) CA모형을 이용한 고속도로 돌발상황 영향 분석 교통 시뮬레이션 모형 개발, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 통권 58호.

장현호(2003) CA모형을 이용한 단기 구간통행시간 예측에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 통권 66호.

장현호(2004) 다양한 연속 교통류 구현을 위한 확률파장전파모형의 개발, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 통권 75호.

조중래(2001) CA모형을 이용한 미시적교통류 시뮬레이션 시스템 개발에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 통권 55호.

Barlovic, R., Santen, L., Schadschneider, A., and Schreckenberg, M. (1997) *Meta-stable States in CA Models for Traffic Flow*, Traffic and Granular Flow '97, Springer, pp. 335-340.

Beckman, R.J. et al. (1997) *TRANSIMS Dallas/Fort Worth Case Study Report*. Los Alamos Unclassified Report LA-UR to be released, Los Alamos National Laboratory, TSA-Division, Los

Alamos NM 87545, USA.

Chang, H., Baek, S., Kim, H., Shah, A.A., Lee, J.D., and Mahalik, N.P. (2007) Development of distributed real-time decision support system for traffic management centers using microscopic CA model. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, Vol. 31, No. B2, pp. 155-166.

Chang, H., Baek, S., Namkoong, J., and Yoon, B. (2005) Some findings of CA models to generate various freeway traffic flows with additional rules. *Journal of EASTS*, Vol. 6, pp. 1368-1381.

Chopard, B., Dupuis, A. and Luthi, P. (1997) *A Cellular Automata Model for Urban Traffic and its Application to the City of Geneva*, Traffic and Granular Flow '97, Springer, pp. 153-168.

Eddie, L.C. and Foote, R.S. (1961) Experiments on single lane traffic flow in tunnels, *Theory of Traffic Flow Proceedings*, pp. 175-192.

Kerner, B.S. (1999) *Phase Transitions in Traffic Flow*, Traffic and Granular Flow '99, Springer, pp. 253-283.

Koshi, M., Iwasaki, M., and Ohkura, I. (1981), Some findings and an overview on vehicular flow characteristics, *Proceedings of the Eight International Symposium on Transportation and Traffic Flow Theory*, pp. 403-426.

Krauss, S. (1997) *Microscopic Traffic Simulation: Robustness of a Simple Approach*, Traffic and Granular Flow '97, Springer, pp. 269-283.

Nagel, K. (1996) *Particle hopping models and traffic flow theory*, Physical Review E. Copyright by The American Physical Society.

Nagel, K. and Schreckenberg, M. (1992) A Cellular automaton model for freeway traffic. *Journal of Physics I*, Vol. 2, pp. 2221-2229.

Nagel, K., Stretz, P., Pieck, M., Leckey, S., and Donnelly, R., and Barrett, C.L. (1999) TRANSIMS Traffic Flow Characteristics.

Rickert, M., Nagel, K., Schreckenberg, M., and Latour, A. (1996) Two lane traffic simulations using cellular automata. *Physica A*, Vol. 231, pp. 534-550.

Schadschneider, A. and Schreckenberg, M. (1997) Traffic models with 'slow-to-start' rules. *Ann. Physik*, Vol. 6, p. 541.

Schreckenberg, M. (2002) Simulation of the Autobahn Traffic in North Rhine-West phalia. *International Symposium on Transport Simulation*, pp. 193-200.

Tadaki, S., Nishiari, K., Kikuchi, M., Sugiyama, Y. and Yukawa, S. (2002) Analysis of congested flow at Upper stream of a tunnel. *Physica A*, Vol. 315, pp. 156-162.

Takayasu, M. and Takayasu, H. (1993) Phase transition and 1/f type noise in one dimensional asymmetric particle dynamics. *Fractals*, Vol. 1, No. 4, pp. 860-866.A.

Wagner, P., Nagel, K., and Wolf, D.E. (1997) Realistic multi-lane traffic rules for cellular automata. *Physica A*, Vol. 234, pp. 687-698.

(접수일: 2008.7.23/심사일: 2008.9.5/심사완료일: 2008.12.29)