

지체시간과 연동성을 동시에 고려하는 신호교차로 시뮬레이션 모형의 개발

The Macroscopic Model for Signalized Intersections to Consider Progression in relation to Delay

한 여 희*
(Yohee Han)

김 영 찬**
(Youngchan Kim)

요 약

신호교차로의 효과적도는 신호교차로의 신호시간을 최적화 하고 단속류의 교통류를 관리하는데 기준이 되는 척도이다. 일반적으로 교차로나 네트워크를 주행하는 차량의 평균 지체시간을 줄이기 위하여 지체시간을 효과적으로 사용하고, 일부 교통축을 개선하거나 버스의 우선 통행을 위하여 연동효율을 효과적으로 사용하기도 한다. 교통류를 관리하고자 하는 현장 상황이나 목적에 따라 두 개의 효과적도 중 하나를 선택하여 각 척도의 목적에 맞게 신호시간을 관리하고 운영하고 있다. 그러나 실제 운전자가 도로를 주행할 때는 척도와 상관없이 대기시간이 짧을 수록, 교차로에서의 불필요한 정지가 적을수록 운전자의 만족도는 커진다. 본 연구는 지체시간과 연동성 구분없이 두 개를 동시에 고려하여 반영할 수 있는 시뮬레이션 모형을 개발하고자 한다. 기존의 연동폭 최대화 모형에서 반영하지 못한 교통량 수준과 정지선에 미리 대기하고 있던 잔여차량의 영향을 고려하기 위하여 밀도-교통량 곡선을 이용한 충격파 모형을 적용하였다. Daganzo의 Cell Transmission Model을 차용하여 지체시간과 연동지표를 개발하고 시뮬레이션 모형을 구축하였다. 본 모형의 효과를 검증하기 위하여 기존 지체시간 모형인 Transyt-7F와 연동폭 최대화 모형은 PASSER V를 기준으로 지체시간과 연동효율을 산출하여 비교분석하였다.

Abstract

A performance index of signalized intersections is a standard to optimize signal control variables and to manage traffic flow. Traffic delays is generally used to minimize the average delay time on intersections or networks, progression efficiency is used to improve travel speed of main corridors or to provide transit signal priority. We manage traffic flows with only selecting one index between delays and progression according to the objective of traffic management and field characteristics. In real field, the driver's satisfaction is high in any performance criteria when the waiting time is shorter and the unnecessary stop in front of traffic is smaller. This paper aims to develop simulation model to represent real progression with concurrently considering delays and progression. In order to reflect an effect of level of traffic volumes and residual queues which don't be considered in prior progression model, we apply shockwave model with flow-density diagram. We derive Cell Transmission Model of Daganzo in order to develop the delay index and the progression index for the macroscopic simulation model. In order to validate the effect, we analysis traffic delays and progression efficiency with comparing this model to Transyt-7F and PASSER V.

Key words : Macroscopic Model, Progression Index, Real Progression, Residual Queue, Performance Index,

† 이 논문은 2011년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음.

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사과정

** 공저자 및 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

† 논문접수일 : 2012년 6월 28일

† 논문심사일 : 2012년 7월 18일

† 게재확정일 : 2012년 10월 8일

1. 서론

신호교차로의 효과적도는 신호시간을 최적화하고 교통류를 조정하는데 주요한 역할을 지닌다. 신호교차로에서 일반적으로 사용하는 척도는 지체시간, 연동효율, 정지회수, 연료소비량 등이 있다. 이로부터 가장 많이 쓰이는 것은 지체시간과 연동효율로, 교차로를 통과하는 모든 차량의 대기시간을 줄이고자 할 때는 지체시간을 주요 척도로 사용한다. 반면 주도로 또는 연동축을 주행하는 차량의 정지수를 최소화하여 녹색시간 동안 최대 차량을 통과시키고자 할 때는 연동효율을 척도로 사용한다. 따라서 해당 구간이나 해당 교차로의 제어 및 평가 목적에 따라 사용하는 신호시간 최적화 모형은 목적에 따라 달라진다.

그러나 실제 도로를 주행하는 운전자는 신호교차로에서 대기시간이 적기를 바라고 상류부 교차로에서 주행해 올 때 하류부 교차로에서도 녹색신호등을 만나기를 원한다. 또한, 교차로에서 지체시간이 짧은 것보다는 한번에 여러 교차로를 정지 없이 통과할 때 체감도가 더 커진다. 이에 연동효율이 좋으면서 대기시간이 짧은 신호교차로로 관리할 필요가 있다.

지체 모형과 연동 모형을 사용할 경우 제어 목표가 다르기 때문에 서로 다른 신호시간이 산출될 거라 여겨지지만, 교통류의 방해가 없는 이상적인 조건에서는 두 모형의 결과는 같을 때도 있다. 도로 중간에서 원활한 소통을 저해하는 요인이 없다면 연동폭 최대화 기준으로 신호시간을 최적화 하였을 때 연동축을 주행하는 차량이 겪는 지체시간도 가장 적다. Gartner(2009, 2010)의 연구를 토대로 다양한 시나리오에 따라 지체시간과 연동효율의 관계를 분석한 결과 링크 중간의 방해요인이 적을 수록 주도로의 두 척도의 목표는 같은 것을 알 수 있다[1,2,3].

도로 곳곳에 교통류의 방해가 없다면 연동모형을 기준으로 교통류를 관리할 경우 운전자의 만족도를 더 높일 수 있을 것이다. 그러나 도로 네트워크의 교통량 상황에 따라 이는 또 다른 결과를 가

져온다. 기존 연동모형은 신호시간을 최적화 할 때 사용하는 변수가 도로의 구간 길이와 차량의 주행 속도이다. 해당 차량의 주행속도를 고려하여 이동거리를 산정하면 소요되는 시간이 나오기 때문에 이 시간만큼 읍셋의 차이를 두어 연동효율을 높이고자 한다. 교통량이 적을 때 이는 효율적으로 사용될 수 있지만 교통량이 많거나 신호교차로에 잔여 대기차량이 존재하는 경우는 실제 주행차량의 연동효율을 높이지 못한다. 이럴 경우는 지체모형을 이용하여 지체시간을 최소화 하는 제어 목표로 바꾸어 교통류를 관리하여야 한다. 지체시간을 최소화하는 것은 교차로의 전체 교통량을 기준으로 차량 당 평균지체시간을 최소화 하는 것이기 때문에 차량의 효율적인 연동관리는 이루어지기 어렵다.

연동효율을 높이면서도 지체시간을 줄이는 방법이 필요하다. 기존 Transyt-7F의 PROS 모형은 이러한 관점을 반영하고 있다[4,5]. 지체시간을 최소화 하면서 연동기회를 높이는 신호시간을 찾는 것이 목표이다. 그러나 PROS 모형은 back of queue를 반영하여 효과를 높이고자 하였지만 실제 주행특성을 반영하는 교통량, 밀도, 속도의 특성이 반영되는 교통류 모형(Traffic Fundamental Diagram)을 반영하지 못했다.

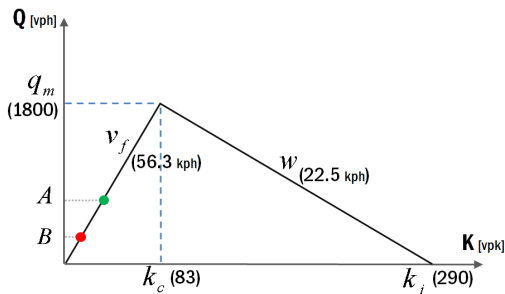
교통류의 속도, 밀도, 교통량의 관계식은 교통량이 적절한 상황이나 과포화 상태 모두를 반영하여 신호시간을 결정할 수 있도록 한다[64]. Lo(2001)와 이호상(2002)은 이러한 특성을 반영하여 신호교차로의 모형을 개발하였다[6,7].

그러나 교통류의 충격파 모형을 반영하면서 연동효율을 높이는 모형에 대한 연구는 미흡하다. 본 연구에서는 연동효율을 높이면서도 지체시간을 줄일 수 있는 방법을 연구하기 위하여 이 두 가지를 동시에 고려하는 거시적 시뮬레이션 모형을 개발하고자 한다. 특히, 신호교차로에서 잔여 대기차량이 남는 과포화 상태에서의 교통류 상태를 표현하고자 한다.

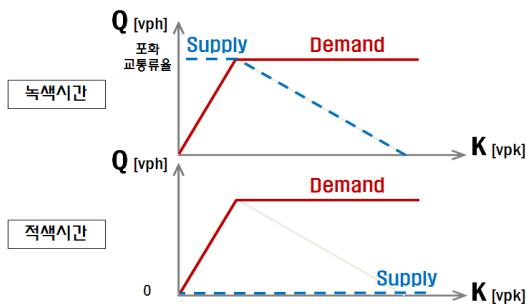
II. 모형 개발

교통량과 신호시간에 따른 신호교차로의 교통류의 특성을 표현하기에는 충격과 모형을 적합하다. 신호교차로는 해당 방향에 따라 녹색시간과 적색시간이 교차하기 때문에 적색시간 동안 차량을 통과하지 못하고 정지상태로 두기 때문에 이에 대한 정지현상이 충격과 속도에 따라 상류부로 전이하게 된다. 이러한 충격과 모형을 적용하여 신호교차로의 거시적 시뮬레이션 모형을 구성하고자 한다.

본 모형에서 지체시간과 연동성을 표현하기 위해서 Daganzo(1994, 1995)의 Cell Transmission Model을 적용하여 각 셀의 밀도를 통해 지체시간과 연동성을 표현하였다[8,9]. 신호교차로의 교통류 모형은 Newell(1993)의 Simplified Theory를 반영한 Skabardonis(2005)의 단속류에서 검지한 실제 데이터로 구축한 <그림 1>의 교통량-밀도 곡선을 적용하였다[10,11].



<그림 1> 단속류의 교통량-밀도 곡선(Skabardonis)
<Fig. 1> Flow-density Diagram(Skabardonis)



<그림 2> 신호교차로의 Supply-Demand 관계
<Fig. 2> Supply-Demand Diagram on Signalized intersections

<그림 2>는 기존의 교통량 보존법칙을 신호교차로에 적용하였을 때 녹색시간과 적색시간 동안 발생하는 supply(해당 셀에서 받을 수 있는 용량)을 나타냈다. 녹색시간 동안은 한 차로당 포화교통량을 만큼 용량이 되고, 적색시간 동안은 신호에 의하여 차량이 통과할 수 없기 때문에 용량이 제로가 된다[12,13].

신호교차로의 Supply-Demand 관계를 반영하여 Daganzo (1994, 1995)의 CTM(Cell Transmission Model)을 구축하고 셀당 유입교통량과 유출교통량을 고려하여 각 셀의 밀도를 식 (1)로 산정한다.

$$k_{i,j+1} = k_{i,j} + \frac{\Delta t}{\Delta x} [\min(D_{i-1,j}, S_{i,j}) - \min(D_{i,j}, S_{i+1,j})] \quad (1)$$

여기서,

$k_{i,j}$: 구간단위 i와 시간단위 j에서의 밀도

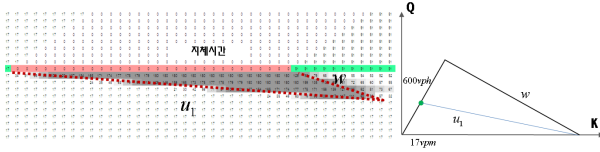
$D_{i,j}$: 구간단위 i와 시간단위 j에서의 Sending

$S_{i,j}$: 구간단위 i와 시간단위 j에서의 Receiving

위에서 산정한 셀의 밀도를 이용하여 신호교차로에서 발생하는 지체시간을 식 (2)에 나타냈다. <그림 3>에서 나타낸 충격과 모형은 적색시간으로 인하여 용량이 제로가 됨에 따라 발생하는 지체시간으로 이에 대한 지체시간은 충격과 모형의 면적과 셀의 밀도를 이용하여 구한다.

지체시간을 산출하기 위해 먼저 CTM모형에서 각 셀의 밀도(K_{cell} [단위, veh/meter])를 구하고 단위 시간(1초)과 단위구간(15.656m)을 이용하여 셀 면적(A_{cell} [단위, meter-sec])을 산출한다. 이 두 개의 곱은 셀의 총 통행시간(TT_{cell} [단위, veh-sec])을 나타낸다. 신호교차로의 총 지체시간을 산출하기 위하여 한 주기를 기준으로 충격과 모형으로 인해 주행할 수 있는 주행속도(v_i) 기준의 총 통행시간(TTT [단위, veh-sec])을 산출하고, 자유속도(v_f) 기준의 총 통행시간($TT(v_f)$ [단위, veh-sec])을 산출한다. 이에 대한 차이로 총 지체시간(TD [단위, veh-sec])을 구한다.

총 지체시간을 한 주기동안 유입되는 교통량(q_i [단위, veh])으로 나누어 한 주기동안 발생하는 차량당 평균지체시간(DTD [단위:sec])을 산출한다.



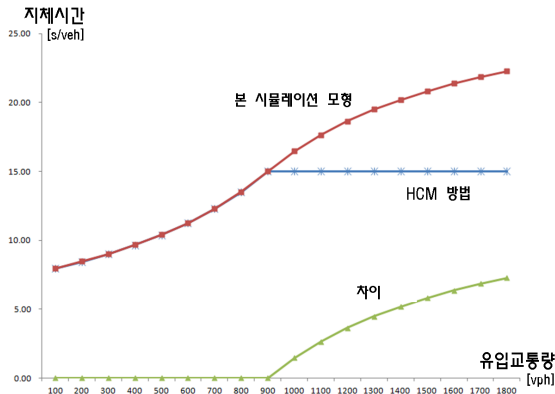
〈그림 3〉 지체시간 산출 개념
 〈Fig. 3〉 Expression of Delay Index

$$TT_{cell} = K_{cell} \times A_{cell} \quad (2)$$

$$TD = TTT - TT(v_f) = \sum TT_{cell, v_i} - \sum TT_{cell, v_f}$$

$$DI_D = TD/q_i$$

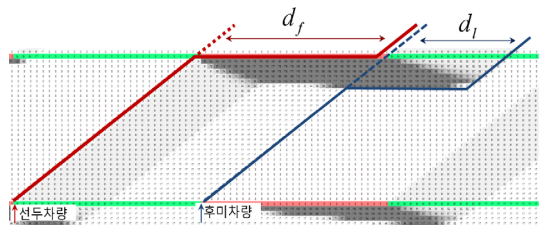
지체시간을 검증하기 위하여 HCM 방식과 비교 분석하여 <그림 4>에 나타냈다[14,15]. 한 차로의 포화교통류율은 1800대/시이고 녹색시간비율은 0.5로 가정하여 유입교통량이 900대/시일때를 포화도 1로하여 포화도 1 이전과 1 이후의 지체시간을 비교하였다. 포화도 1 이전까지는 HCM의 균일지체와 본 모형에서 산출한 지체값이 동일하여 위의 식 (2)로 지체를 산출할 수 있음을 검증하였다.



〈그림 4〉 지체시간 검증
 〈Fig. 4〉 Validation of Traffic Delays

또한, HCM 방식으로 지체를 산출할 때는 증분 지체, 추가지체에 대한 고려 때문에 지체산출 과정이 복잡해지는 것과는 달리 본 모형에서 제시한 지체시간 산출식을 이용하면 과포화상태에서도 지체시간이 과포화 상태 이전과도 동일한 식으로 표현이 가능함을 알 수 있다.

본 모형에서의 연동지표는 교차로 적색시간이나 교통량에 의해 발생하는 충격과 모형으로 산출하기 때문에 실제 연동성을 반영할 수 있다. 교차로에 잔여 대기차량이 있는 경우 상류부의 녹색시간 동안 건너온 차량은 잔여 차량이 모두 빠져나간 후 교차로를 통과한다. 이러한 대기시간을 반영한 연동지표를 표현하기 위하여 셀 밀도를 이용하여 상류부 교차로의 녹색시간 동안 출발하는 선두차량과 후미차량이 하류부 교차로에서 겪는 대기시간을 이용하였다.



〈그림 5〉 연동지표 산출 개념
 〈Fig. 5〉 Expression of Progression Index

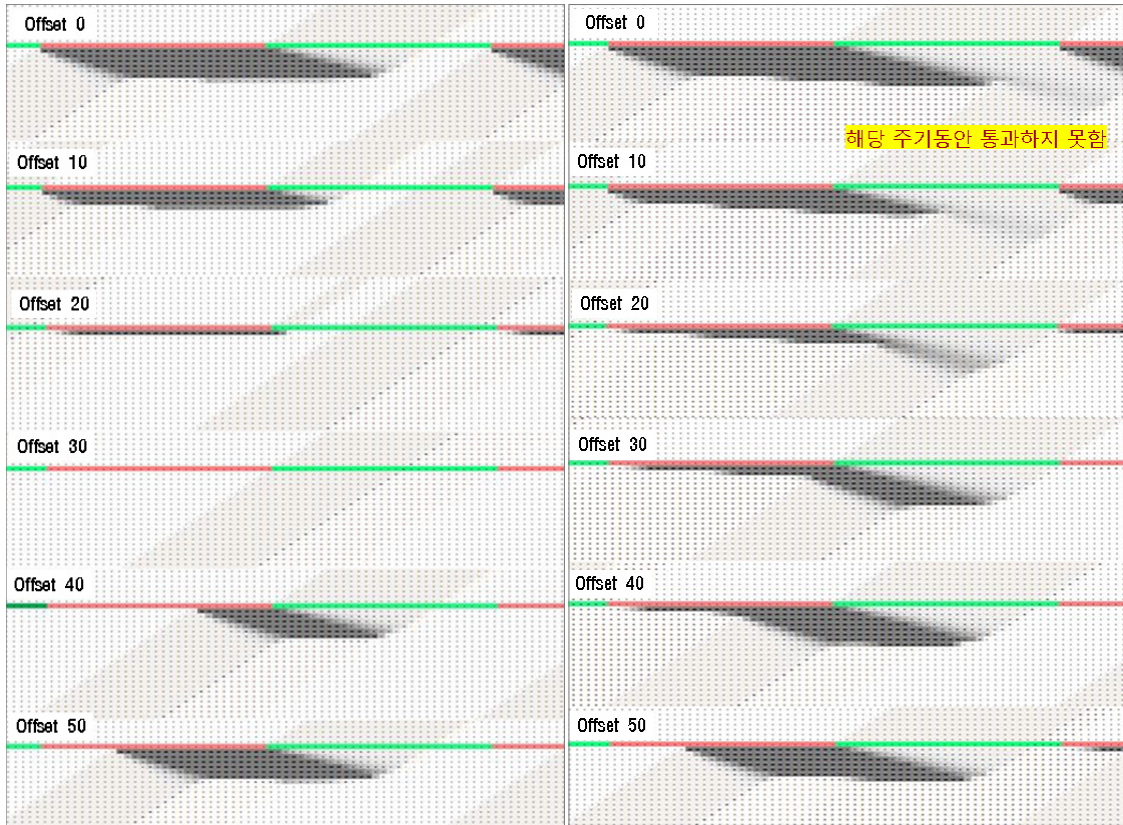
<그림 5>의 교차로에서 발생하는 충격과 모형으로 인하여 선두차량의 대기시간(d_f)과 후미차량의 대기시간(d_l)이 발생한다. 두 개의 대기시간의 합이 짧을수록 연동성이 좋기 때문에 이를 반영하여 연동지표(DI_p) 산출식을 식 (3)에 나타냈다. 해당 교차로의 차량이 한 주기내에 모두 소거될 경우 연동지표는 양수의 값을 가지고 1에 가까울수록 연동성이 좋음을 나타낸다. 반면 과포화 상태와 같이 한 주기내에 모두 소거되지 않고 다음주기에 소거될 경우 대기시간의 합은 신호주기보다 커지게 됨으로 연동지표는 음수의 값을 갖게 된다.

$$DI_p = 1 - \left\{ \left(\frac{d_f + d_l}{C} \right) \times w_v \right\} \quad (3)$$

$$0 \leq DI_p \leq 1$$

$$DI_p < 0 \text{ (과포화상태)}$$

일반적으로 연동은 간선도로에서 연동축을 주행하는 차량을 기준으로 연동지표를 산출한다. 그러나 연동축을 주행하는 모든 차량을 대상으로 연동성을 산출하는 것이 비효율적일 때가 발생한다. 예



〈그림 6〉 적색시간동안 유입교통량이 없을 때(좌)와 적색시간동안 유입교통량이 있을 때 충격파 모형(우)
 〈Fig. 6〉 Shockwaves occurred with/without Link Volume on Red Time

를 들어 녹색시간 점등 초기에 차량군이 몰려서 도착하는 경우에는 이에 대한 차량을 먼저 통과시킬 수 있는 신호시간이 최적이 되고, 점등 후기에 차량군이 몰려오거나 직진보다는 좌회전이 중시되는 교차로가 있는 경우에는 이에 대한 차량군의 연동성을 중심으로 신호시간을 계획할 때가 필요하다. 현장의 다양한 상황에 따라 연동지표를 활용할 수 있게 하기 위하여 차량군 가중치(w_v)를 추가하였다. 차량군에 따라 서로 다른 값(가중치)을 주어 연동혜택을 높이고자 하는 차량군의 연동성을 고려할 수 있도록 하였다.

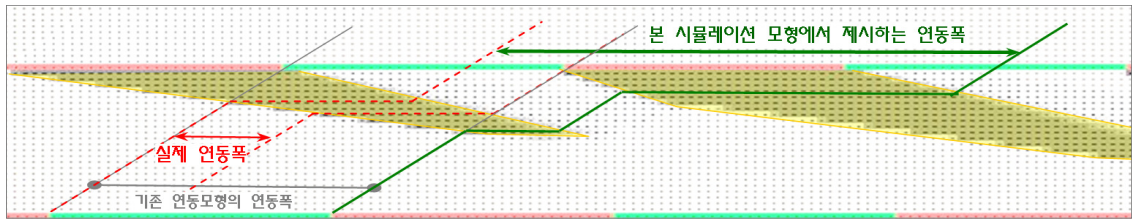
III. 본 모형의 특징점

본 모형은 연속류를 중심으로 수립된 기존 이론을 신호교차로에 적용하여 신호교차로의 효과를

평가할 수 있는 지표로 표현하고자 하였다. CTM 방법은 신호교차로에 적용하여도 얻어지는 셀의 속성은 연속류와 유사한 방식으로 산출되지만, 셀의 속성값을 얻기 위해서는 신호교차로의 특징을 나타내고 이를 반영하여 값을 산출하므로 기존 연구와는 다른 점을 가지고 있다.

또한 기존 시뮬레이션 모형은 연동성을 나타낼 때 교차로의 기하구조 특성을 기준으로하여 연동지표를 나타냈지만, 본 모형에서는 교통류의 상태를 반영하여 실제 주행하는 차량을 기준으로 연동지표를 나타내고, 동시에 지체시간을 산출하는 모형을 개발하여 본 모형의 특징을 나타냈다.

이 모형은 과포화 상태에서도 연동성을 고려하여 교통류를 관리할 수 있고, 주도로 이외에 부도로를 고려한 교통류 관리가 가능하다. 지체시간과 연동성을 동시에 고려하는 본 모형은 실제 연동성



〈그림 7〉 과포화상태에서의 연동폭 비교
 (Fig. 7) Comparing Bandwidths under Oversaturation States

을 관리하기 좋은 모형이다. <그림 6>은 읍셋의 변화에 따른 충격과 모형을 나타낸 것으로 왼쪽은 상류부의 적색시간동안 유입교통량이 없을 때를 나타냈고, 오른쪽은 상류부의 적색시간동안 유입교통량이 있을 때의 충격과 모형을 나타냈다. 상류부 녹색 시간동안 유입된 차량이 하류부 교차로의 적색시간을 만나 형성되는 충격과 모형 이외에 적색시간동안 유입하는 교통량이 기존 충격과와 한 차레 더 만나 새로운 충격과를 생성하는 것을 확인할 수 있다.

연동축의 주도로의 차량만을 고려하는 경우에는 두 개의 교차로간 거리와 주행속도만을 반영한 읍셋 30초일 때가 연동성이 가장 좋은 것으로 나타난다. 그러나 상류부 적색시간 동안 유입하는 차량(부도로의 좌회전 및 우회전 차량)이 있는 경우에는 읍셋이 20초 일때가 가장 연동성이 좋은 것으로 나타난다. 이는 두 개의 교차로 중간에 진출입하는 교통량이나 다른 교통류에 의하여 방해현상이 발생할 경우 실제 연동성은 기존의 연동모형의 최적결과와 맞지 않음을 의미한다.

또한, 실제 연동성 이외에도 지체시간을 동시에 산출할 수 있기 때문에 주도로의 연동성을 높이면서 부도로의 지체시간도 최대한 줄이는 등, 교통류 관리 목표에 따라 다양하게 이용할 수 있다.

<그림 6>의 우측 그림에서도 과포화 상태로 인하여 한 주기동안 차량이 모두 통과하지 못하는 현상을 발견할 수 있다. 한 주기동안 통과하지 못하고 다음 주기의 잔여 차량의 영향으로 충격과 속도가 더 큰 충격과가 발생한다. 잔여 차량의 영향이 줄어들면 원래의 신호교차로 충격과로 전이하지만 전체적인 충격과 면적은 더 커져 대기시간이 늘어나고 다음 주기의 충격과에도 더 큰 영향을 끼친다.

기존에는 이러한 과포화 상태에서 연동성은 고려할 수 없었다. 과포화 상태에서는 차량의 지체시간을 최소화 하는 제어목표를 가지고 지체모형을 사용하여 교통류를 관리할 수 있었다. 그러나 본 모형에서는 이러한 과포화 상태에서도 실제 연동폭을 고려하여 교통류 현상을 표현할 수 있다.

<그림 7>의 아래 그림은 기존 연동모형의 연동폭과 기존 연동모형으로 최적화 할 경우 실제 혜택받는 연동폭, 그리고 본 모형에서 제시하는 연동폭을 비교하여 나타냈다. 기존 연동모형은 교차로간 거리와 주행속도만을 고려하여 신호시간을 산정하여 상류부 녹색시간 동안 발생하는 선두차량과 후미차량이 정속도로 주행하여 하류부 교차로를 통과할 것이라고 예측하여 연동폭을 산정한다. 이 신호시간을 과포화 상태의 현장에 반영하게 되면 해당 연동폭에서 실제 혜택을 받는 차량은 매우 적기 때문에 과포화 상태에서는 연동폭 모형을 쓸 수 없었다.

지체시간과 연동성을 동시에 고려한다는 것은 과포화 상태 또는 다른 교통류 방해요인에 따라 발생하는 교차로에서의 대기시간을 반영하는 것이다. 본 모형을 이용하면 교차로에서 발생하는 대기시간을 고려하며 연동성을 관리할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 비교분석

제안한 신호교차로 거시적 시뮬레이션 모형과 기존 지체모형과 기존 연동모형의 효과척도를 비교 분석하였다. 두 개의 신호교차로를 구성하여 하류부 신호교차로의 지체시간과 연동지표를 산출하였다. 분석을 위하여 가상의 시나리오는 600m의 간격으로 두 교차로를 설정하여 녹색시간 동안은 시간

당 600대, 적색시간 동안은 시간당 200대를 유입하여 분석하였다. 녹색시간과 적색시간은 각각 30초로 하여 60초의 신호주기를 기준으로 분석하였다.

<표 1>은 지체시간 산출 결과로 본 모형의 충격과 모형의 면적으로 산출한 지체시간과 Transyt-7F의 지체시간이 매우 유사한 패턴을 보였다. 단, 오프셋 30초 일때, 본 모형은 상류부 차량이 하류부를 모두 통과완료로 나타내어 지체시간을 0으로 나타냈는데, 이는 본 모형에서 차량분포는 균일분포로 처리가 되기 때문에 나타나는 결과다. 다른 모형은 랜덤분포를 포함시키기 때문에 랜덤지체가 발생하여 오프셋이 30초일 때 지체시간이 발생하는 것으로 나타났다.

<표 1> 지체시간 비교분석
<Table 1> Comparison of Traffic Delays

오프셋	지체시간 [초/대]		
	본 모형	Transyt-7F	PASSERV
0	28.8	25.4	32.5
10	13.8	18.4	26.7
20	4.5	8.4	18.4
30	0	3.5	11.1
40	8.8	8.4	16.5
50	18.8	17.4	24.7

연동지표는 <표 2>에 정리하였고, 비교분석을 위하여 Transyt-7F와 PASSERV의 연동기회 및 연동효율 값을 0과 1사이의 수치로 환산하였다. 0에 가까울수록 연동성이 나쁘고 1에 가까울수록 연동성이 좋다.

<표 2> 연동지표 비교분석
<Table 2> Comparison of Progression Efficiency

오프셋	본 모형	Transyt-7F	PASSERV
0	0.09	0.00(0)*	
10	0.43	0.33(16.7)	
20	0.71	0.67(33.3)	
30	1.00	1.00(50.0)	
40	0.75	0.67(33.3)	
50	0.42	0.33(16.7)	

* 비교환산 수치(원래의 값)

Transyt-7F와 PASSERV의 결과는 적정수준 이하의 교통량 조건과 링크 중간의 방해요소가 없기 때문에 같은 결과를 나타냈다. 본 모형의 연동지표와 비교하였을 때 과포화 상태가 아니기 때문에 비슷한 패턴을 나타냈으나, 차이점은 오프셋 20일때와 오프셋 40일때 본 모형의 연동지표는 서로 다르게 산출되었다. 이는 유입교통량의 분포가 초기부분에 많은지 후기부분에 많은지에 따라 충격파가 다른 모형으로 생성되기 때문에 나타나는 특징으로 본 모형이 좀더 현실성 있게 연동성을 나타내는 것으로 판단된다.

V. 결론 및 향후연구

단속류의 교통류 특성이 반영된 Traffic Fundamental Diagram을 반영하여 지체시간과 연동성을 동시에 고려하는 신호교차로 거시적 시뮬레이션 모형을 구축하였다. 각 특징을 충격과 모형으로 나타내고 이를 용이하게 산출하기 위하여 Cell Transmission Model의 셀 밀도를 이용하여 지체시간과 연동지표를 나타냈다. 본 모형의 신뢰성을 검증하기 위하여 지체시간은 기존 HCM방법에 의한 균일지체와 본 모형의 지체시간을 비교하였고, 기존 신호최적화 모형에서 산출한 지체시간과 비교하여 유사한 패턴을 나타냄을 확인하였다.

지체시간을 나타내면서 연동성을 표현하게 하기 위하여 연동지표를 개발하여 지체시간과 연동성을 동시에 표현할 수 있는 모형으로 나타났다. 기존 시뮬레이션 모형과 일반적인 교통류 상태에서의 지체시간과 연동성을 비교분석한 결과 본 모형을 활용하여 교통류를 관리하고 향후 신호시간을 최적화하는 모형으로 발전할 수 있는 가능성을 나타냈다.

향후 본 모형을 개별 교차로가 아닌 축과 네트워킹 단위에 확장적용하고, 과포화 상태에서의 추가분석을 실시하여 보다 현장에서 적용할 수 있는 모형으로 발전시키고자 한다. 이에 앞서 차량의 도착 분포나 회전 교통류를 반영하여 표현하는 데는 몇 가지 선행되어야 할 연구가 남아있다.

이러한 모형의 한계점을 해소하는 연구가 지속적으로 이루어지면 실제 운전자가 원하는 교차로

에서의 대기시간도 줄이고 정지하지 않고 한번에 통과하는 교차로의 수를 늘릴 수 있는 신호 최적화 모형이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] N.H Gartner, R. Deshpande, "Assessing Quality of Progression using Cyclic Coordination Functions," *TRR* 2130, pp.66-74, 2009.
- [2] N.H Gartner, R. Deshpande, "Harmonic Analysis and Optimization of Traffic Signal Systems," *Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee*, 2009.
- [3] N.H Gartner, R. Deshpande, "Traffic Flow Characteristics in Coordinated Signal Systems," *Summer 2010 Meeting of Traffic Flow Theory and Characteristics Committee (AHB45)*, 2010.
- [4] Mctrans Center, "Transyt-7F, United States Version," University of Florida, 2004.
- [5] TTI, "PASSER V," Texas Transportation Institute, 2006.
- [6] H.K. Lo, "A Cell-Based Traffic Control Formulation: Strategies and Benefits of Dynamic Timing Plans," *Transportation Science* 35(2), pp. 148-164, 2001.
- [7] 이호상, "Two-regime Linear 모형이 적용된 충격파를 이용한 거시적 시뮬레이션 모형의 개발," *서울시립대학교 석사학위 논문*, 2002.
- [8] C.F. Daganzo, "The Cell Transmission Model: A Dynamic Representation of Highway Traffic Consistent with the Hydrodynamic Theory," *Transportation Research B* 28(4), pp.269-287, 1994.
- [9] C.F. Daganzo, "A Finite Difference Approximation of the Kinematic Wave Model of Traffic Flow," *Transportation Research B* 29(4), pp.261-276, 1995.
- [10] G.F. Newell, "A Simplified Theory of Kinematic Waves in Highway Traffic, Part II: Queueing at Freeway Bottlenecks," *Transportation Research B* 27(4), pp.289-303, 1993.
- [11] A. Skabardonis, N. Geroliminis, "Real-Time Estimation of Travel Times on Signalized Arterials," *Transportation and Traffic Theory : Flow, Dynamics and Human Interaction*. pp.387-406, 2005.
- [12] C.F. Daganzo, "Fundamentals of Transportation and Traffic Operations," Pergamon, 1997.
- [13] J.P. Lebacque, M.M. Khoshyaran, "First Order Macroscopic Traffic Flow Models: Intersection Modeling, Network Modeling," *Transportation and Traffic Theory : Flow, Dynamics and Human Interaction*. pp.365-386, 2005.
- [14] TRB, "Highway Capacity Manual 2000," Transportation Research Board, 2000.
- [15] TRB, "Highway Capacity Manual 2010," Transportation Research Board, 2010.

저자소개



한 여 희 (Han, Yohee)

2009년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 박사과정(교통공학전공)
 2004년 9월 ~ 2006년 8월 : 서울시립대학교 공학석사(교통공학전공)
 2000년 3월 ~ 2004년 8월 : 서울시립대학교 공학사(교통공학전공)



김 영 찬 (Kim, Youngchan)

1996년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 교수
 1993년 3월 ~ 1996년 2월 : 명지대학교 교통공학과 조교수
 1987년 1월 ~ 1990년 12월 : 미국 Texas A&M University 공학박사(교통전공)
 1983년 3월 ~ 1985년 2월 : 서울대학교 공학석사(도시전공)
 1979년 3월 ~ 1983년 2월 : 서울대학교 공학사(도시전공)