

■ 論 文 ■

충격파를 이용한 거시적 단속류 시뮬레이션 모형개발

A Development of Macroscopic Simulation Model for Interrupted Flow using Shockwave

이 호 상

(서울시립대학교 박사과정)

정 영 제

(서울시립대학교 박사과정)

김 영 찬

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

김 대 호

(경기도청 교통국 교통개선과장)

목 차

- I. 서론
 - II. 관련문헌 고찰
 - 1. Michalopoulos의 충격파모형
 - 2. Sasaki의 Quasi 충격파모형
 - 3. 교통류 관계식
 - III. 모형의 개발
 - 1. 교통류관계식 결정
 - 2. 차량군 모형
 - 3. 밀도영역분할
 - IV. 모형의 평가
 - 1. 단일링크
 - 2. 연속링크
 - V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 교통운영, 거시적 시뮬레이션, 충격파, 단속류, 시공도

Traffic Operation, Macroscopic Simulation, Shockwave, Interrupted Flow, Time-Space Diagram

요 약

단속류의 교통시설 운영개선(TSM, Transportation Systems Management)의 타당성 및 개선효과 분석을 위해 TRANSYT-7F(T7F)와 NETSIM이 많이 사용되고 있으나, T7F는 현실적인 차량군의 압축·분산효과가 미흡하고, NETSIM은 구축시간이 과다하게 소요되고, 용량설정의 어려움 등의 문제를 가지고 있다. 이에 반해, 충격파 모형은 T7F에 비해 차량군의 압축·분산을 더욱 사실적으로 묘사할 수 있으며, NETSIM에 비해서는 분석시간 단축, 적용용이성 등의 장점을 가지고 있어 우수하다. 하지만, 수리적 계산의 어려움으로 인해 비현실적인 교통류관계식(Q-K곡선) 적용, 단순한 차량군 적용 등의 문제점을 지니고 있다. 이러한 충격파이론을 이용한 기존 분석모형의 문제점을 해소하기 위해 보다 현실적인 교통류관계식 적용, 새로운 차량군모형 개발, 연장충격파 개념 도입 등 새로운 분석모형을 개발하였으며, 개발모형의 유효성 검증을 위해 다양한 시나리오를 구성하여 T7F와 NETSIM과 비교·평가한 결과 우수한 성능을 보였다.

It has been employed TRANSYT-7F and NETSIM to evaluate the validity and effectiveness of improvement on TSM(Transportation Systems Management). But T7F is hard to describe platoon compression and dispersion in actually, and NETSIM takes a long time for network coding, calibration and have difficulty in setting up saturation flow. While Shockwave Model have advantage which can describe platoon compression and dispersion in actually and shorten hours, convenience of application. But Shockwave Model apply unrealistic traffic flow relation ship(U-K curve) and simplify platoon because of difficulty in calculating shockwave's position and cross. For solving limitation of existing shockwave models, It develop new model with 2-regime linear model, New platoon model, Extended shockwave, etc. For verifying the validity of the proposed model, it was compared with delay of T7F and NETSIM by offset variation. In conclusion, it is thought that proposed model have outstanding performance to simulate traffic phenomenon.

본 논문은 서울시가 시행하고 서울시립대학교 "지능형 도시 사업단 (스마트-유비쿼터스 시티 사업단)"이 주관하는 "스마트시티를 위한 지능형 도시정보 컨버전스 시스템 개발"사업에서 지원을 받았습니니다.

I. 서론

최근 급격하게 증가하는 교통수요를 충족시키기 위한 교통시설공급의 한계로, 교통혼잡, 환경오염 등의 외부 효과 문제를 해결 하기 위해 단기간에 많은 효과를 볼 수 있는 교통시설 운영개선(TSM)을 위한 많은 방안들이 검토되어 현장에 적용되고 있다.

개선방안에 대한 적용전 타당성분석 및 적용후 개선효과 분석을 위해서는 분석모형이 필수적이다. 특히, 단속류 분석은 신호시간, 링크 진·출입차량, 차량군 분산·압축 등 복잡한 현실 교통상황의 묘사가 가능한 모형이어야만 한다.

일반적으로 단속류의 TSM도입 타당성 검토 및 효과 분석에 사용되는 시뮬레이션 모형에는 거시적모형인 TRANSYT-7F(이하 T7F)와 미시적모형인 NETSIM 이 상대적으로 많이 사용되고 있다.

T7F는 대기행렬이나 적색신호시간에 차량군의 압축을 간단한 산술 합으로 고려하기 때문에 링크에서 발생하는 현상을 현실에 가깝게 묘사하지 못하는 단점을 가지고 있으며, NETSIM은 T7F에 비해 차량간의 상호작용 등의 현실적인 묘사는 더욱 우수하지만 네트워크 구축 및 정산(Calibration) 등에 많은 시간이 소요되며 도로기하구조 등에 따른 접근로 용량을 조정하기가 어려운 문제점을 안고 있다.

이에 반해, 충격파 모형은 T7F와 NETSIM과 달리 차량군 사이에 발생하는 압축 및 분산을 충격파의 속도를 이용하여 교통상황 묘사가 가능하고, 접근로별 도로용량 조정이 가능하며, 분석이 용이한 장점을 가지고 있다.

본 연구는 충격파이론을 적용한 기존 모형(Michalopoulos et al의 충격파 모형, Sasaki et al의 Quasi 충격파 모형 등)들의 한계점을 분석하고, 충격파모형의 엔진이라 할 수 있는 교통류관계식(Q-K관계)에 관하여 고찰하여, 기존 모형들의 문제점 개선을 통한 보다 현실적인 교통류관계식을 적용하는 등 보다 현실적인 묘사가 가능한 새로운 충격파 모형을 개발하고자 하며, 시나리오(V/C, 링크거리, 평균통행속도, 윅셋, 연동효과 등)를 구성하여, 시나리오별 윅셋변화에 따른 지체도를 산출하여 T7F와 NETSIM의 결과와 비교·분석하여 개발모형의 우수성 및 적용가능성을 평가하여 본다.

II. 관련문헌 고찰

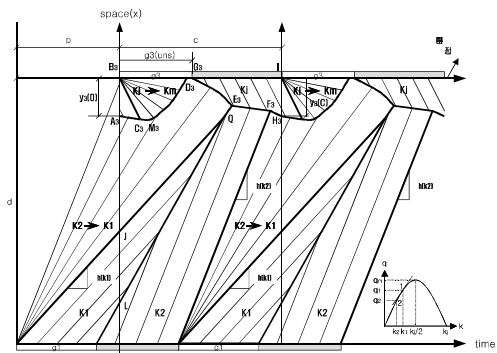
1. Michalopoulos의 충격파 모형

1) 방법론

링크내의 밀도를 직진유입밀도(K1), 회전유입밀도

(K2), 대기차량 형성시 혼잡밀도(Kj), 용량상태 밀도(Km), 직진교통류에서 회전교통류로 전이되는 밀도(K1→K2), 적색시간 대기상태에서 녹색시간 교차로를 출발하는 상태로 전이되는 밀도(Kj→Km) 등 5가지로 구분하였다.

5가지 밀도상태에서 조합 가능한 충격파는 25가지이나, 실제 발생 가능한 충격파는 13가지이다. 링크상류부 교차로의 충격파는 K1과 K2에 의해서 발생하며, 링크하류부 교차로의 충격파는 Kj와 Km의해서 발생하는데, <그림 1>은 비포화시 링크내부에서 발생하는 충격파 형태를 나타낸 것이다.



<그림 1> Michalopoulos모형의 충격파

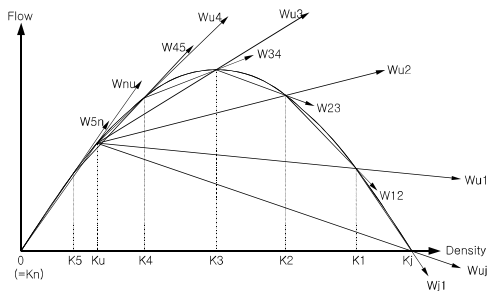
2) 문제점

교통류관계식으로 대칭적 구조를 갖는 Greenshield 모형을 적용하고, 링크로 유입되는 교통류를 직진유입 교통류와 회전유입 교통류로만으로 단순화 하고, 정지선 출발차량군 형태에 평균교통류율을 적용하여 현실적인 차량군특성을 묘사하지 못하며, 충격파 교차(밀도변화) 지점을 찾기 위해 미분방정식을 풀어야 하는 등 적용성이 낮은 문제점을 지니고 있다.

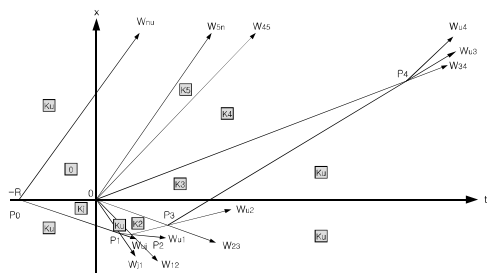
2. Sasaki의 Quasi 충격파 모형

1) 방법론

유체역학 이론은 연속방정식의 연속적인 밀도변화를 이용하였으나, Quasi충격파 모형은 단계적인 밀도 변화를 이용한 것으로 링크내에서 발생하는 교통류 현상을 표현하기 위해 밀도영역을 임의의 수로 나눈 후 각 밀도 영역에 포함되는 밀도는 하나의 충격파 속도로 대표한다. <그림 2>는 밀도영역을 6개로 나눈 것으로 이를 바탕으로 하여 <그림 3>의 시공도를 작성 할 수 있다.



〈그림 2〉 밀도영역 분할



〈그림 3〉 시공도로 표현한 교통류 상태

2) 문제점

근·과포화시 분단위 통행시간을 예측하기 위해 구축된 모형으로 단속류의 지체도 개선 등의 효과분석에 활용하기에 무리가 있으며, 밀도영역수도 6개로만 나누어 교통류변화를 너무 단순화하여 실제 교통류변화를 반영하지 못하며, 링크중간의 유·출입 교통량을 반영하지 못하는 문제점이 있다.

3. 교통류 관계식

1) Single Regime Model

교통류 관계를 단일 함수로 나타낸 모형(Single Regime Model)으로 Greenshield, Greenberg, Underwood 등이 있으며 단일함수로 표현하여 모든 모형이 현실과 맞지 않는 문제점을 갖고 있다.

2) Multi Regime Model

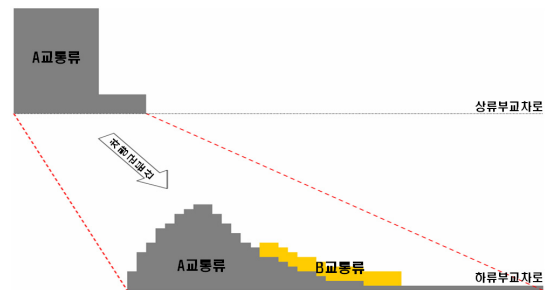
Single모형의 문제점을 보완하기 위해 교통류관계를 2개 이상의 함수로 나타낸 모형(Multi Regime Model)으로 Edie, Northwestern 등이 있으나, 이중용량을 표현하지 못하는 문제점이 있다.

3) 2중 용량 Model

현장조사자료 분석결과, 비혼잡→혼잡상태로 도달되는 용량과 혼잡상태→비혼잡상태로 풀리며 도달되는 용량이 서로 다르게 나타나는 2중 용량을 갖는 '역λ' 형태의 관계를 묘사한 많은 모형들이 개발되었다.

4. 차량군 분산(Platoon Dispersion) 모형

TF에서는 적색시간동안 정지선에 정지하여 형성된 차량군(A교통류)이 링크를 주행하며 하류부에 정지선에 도착할 때 〈그림 4〉와 같이 분산되는 형태를 식(1)로 정의하였다.



〈그림 4〉 차량군분산 형태

하지만, 차량군 profile에 다른 교통류(B교통류)가 합류될 경우에는, 포화교통류율이 되기 전까지는 단순히 차량군의 산술합(또는 분리)으로 계산하여 차량군간의 상호관계를 묘사할 수 없는 문제점이 있다.

$$q_{(t+\beta T)}^p = Fq_t + (1-F) \cdot q_{(t+\beta T-1)}^p \tag{1}$$

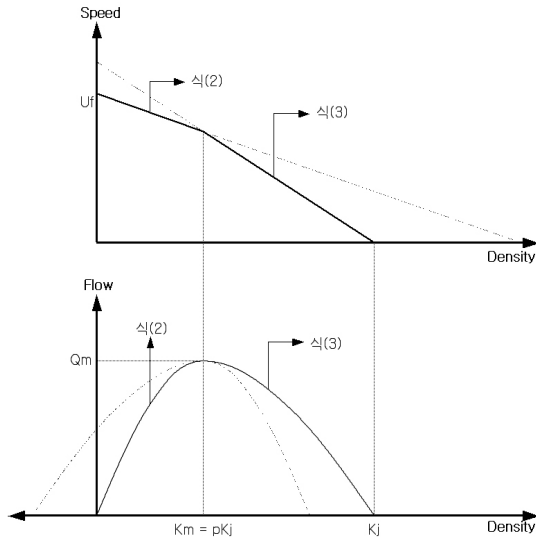
- T : 링크 cruise 통행시간
- $q_{(t+\beta T)}^p$: $t + \beta T$ step에서의 예측교통류를
- $q_{(t+\beta T-1)}^p$: $t + \beta T - 1$ step에서의 예측교통류를
- q_t : 초기차량군 t step에서의 교통류를
- F : $\frac{1}{1+\alpha\beta T}$, smoothing factor ($\alpha=0.35, \beta=0.8$)

III. 모형의 개발

1. 교통류관계식 결정

Freeflow 상태에서는 교통량 증가에 따른 속도변화

가 둔감하며, 용량 이후에는 급격히 감소하는 교통류 특성을 만족시키고, 시뮬레이션시 사용자의 입력자료가 모형에 반영가능하고, 모형 구축에 문제가 없는 2-regime linear모형을 새로운 충격파의 교통류 관계식으로 정하였다. <그림 5>의 식(2)와 식(3)은 새롭게 적용될 함수 관계를 나타낸다.



<그림 5> 적용 2-regime liner 관계식

사용자가 입력하는 교통량(Q), 용량(Qm), 속도(V), 혼잡밀도(Kj)로부터 p값은 다음과 같이 결정된다.

식(2), 식(3)은 다음과 같이 나타낼 수 있고

$$Q = -aK(K - 2pK_j) \tag{2}$$

$$Q = -b(K - K_j)(K + K_j - 2pK_j) \tag{3}$$

식(2)와 식(3)으로부터 parameter a, b는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a = \frac{Q_m}{p^2 K_j^2} \tag{4}$$

$$b = \frac{Q_m}{K_j^2(1-p)^2} \tag{5}$$

식(2)의 a에 식(4)를 대입한 후 비혼잡상태로 가정하여 K에 대한 2차 방정식을 풀면 다음과 같다

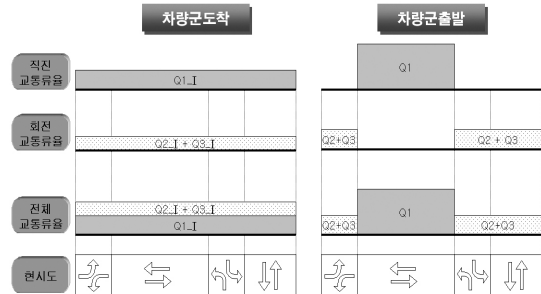
$$K = pK_j \left(1 - \sqrt{1 - \frac{Q}{Q_m}} \right) \tag{6}$$

식(6)을 $Q = VK$ 에 대입하면 p는 다음과 같다.

$$\therefore p = \frac{Q_m}{VK_j} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{Q}{Q_m}} \right)$$

2. 차량군 모형

충격파이론을 적용한 기존 분석모형은 <그림 6>과 같이 적색시간 및 녹색시간에 도착한 교통류를 녹색시간동안에 평균적인 교통류율로 출발하는 것으로 가정하였다. 또한 링크가 2개 이상 연속된 경우, 링크 중간에서 발생 또는 소멸되는 교통량(sink, source) 때문에 하류부의 출발차량군을 재구성하기가 어려워 도로축의 연동효과를 분석하기에는 한계가 있었다.



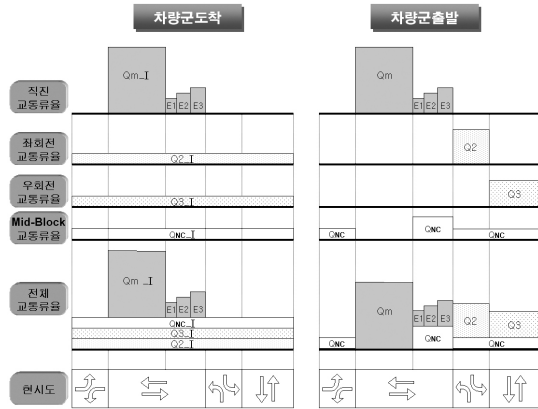
<그림 6> 기존 차량군 모형(선행화직전)

새로운 차량군 모형은 우회전 유입이 부도로 직진현시에만 가능하다는 가정 하에 <그림 7>과 같이 각 현시별로 유입되는 교통류를 달리하였다. 특히 교통량이 많은 직진 교통류를 포화교통류율과 직진교통류율로 세분화하였고, 링크내 Mid-Flow는 전주기에 걸쳐 균일하게 유·출입 하는 것으로 구현하였다. 또한, 상류부에서 연속 진행되는 교통류는 다음 하류부 교차로의 출발차량군과 합류되어 새로운 차량군을 형성토록 모형을 구축하였다.

여기서, Q1은 직진유입교통량, Q2(Q3)는 좌(우)회전유입교통량, Qm은 용량, QNC는 링크내 유출입교통량, E1~3은 연속진행 교통량이다.

<그림 6>과 <그림 7>은 개선된 차량군모형의 이해를

돕기 위해 선행좌회전 현시체계인 경우에 대해서 차량군 모형을 나타낸 것이며, 차량군모형 형태 및 진·출입 교통량 처리는 현시체계 및 현장상황에 맞추어 달리 적용된다.



〈그림 7〉 새로운 차량군 모형(선행좌회전)

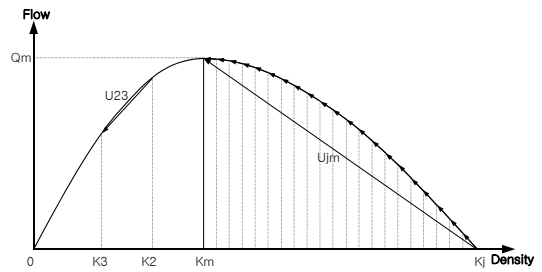
3. 밀도영역분할

연속적인 밀도 변화를 시뮬레이션하기 위해서는 효율성 측면에서 밀도를 임의의 구간수로 나누는 것이 유리하다. 밀도영역수를 너무 많이 나누면 더 정확한 결과를 산출하나 시간이 많이 소요되며, 충격파 교차시 오류가 발생할 가능성이 커지며, 밀도영역수를 너무 적게 나누면 시간은 적게 소요되나 충격파 교차가 부정확하게 이루어진다. 민감도 분석결과, 0→Km은 10개 구간, Km→Kj는 20개 구간으로 나눌 때, 소요시간 및 산출결과가 가장 합리적인 것으로 나타났다. 이와 같이 비혼잡구간에 비해 혼잡구간수가 더 많은 것은 혼잡구간의 속도변화 폭이 크기 때문이다.

〈그림 8〉은 각 영역에서 발생하는 충격파를 나타내는데 교통량이 많은 혼잡시에는 $U_j \rightarrow U_m$ 으로 밀도변화 중 충격파속도(U_{jm}) 변화가 커 구간별 다수의 충격파가 필요하지만, 비혼잡시에는 교통량변화에 따른 다른 충격파의 속도(U_{23}) 변화가 크지 않아 하나의 충격파만을 발생시킨다.

4. 차로이용계수

일반적으로 상류부에서 하류부 링크로 회전(좌,우회전)유입하는 교통류는 하류부 링크의 전체차선을



〈그림 8〉 밀도영역에 따른 충격파

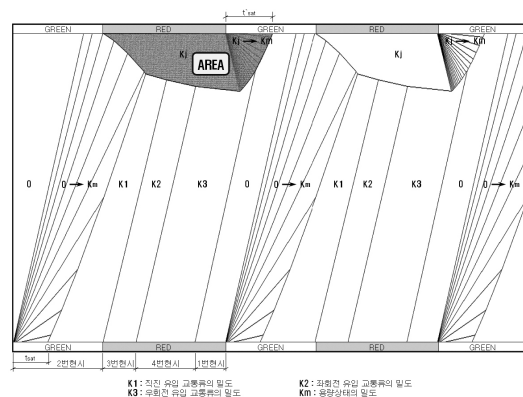
사용하지 않고 일부 차선만을 이용한다. 이동류별 차선이용 특성을 반영하기 위해 차로이용계수를 도입하였으며, 현장에서 실제 이용되는 차로이용계수를 모형에 적용가능토록 구축하였다.

5. 충격파 생성 및 교차

1) 충격파 생성

새롭게 개발된 모형은 매 현시마다 새로운 충격파를 생성하는데, 〈그림 9〉는 앞의 선행좌회전 현시체계의 차량군으로부터 발생하는 충격파 생성형태를 나타낸 것이다.

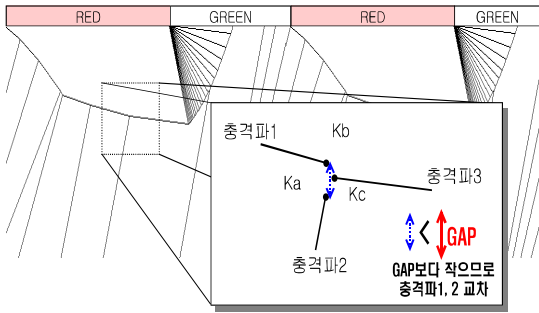
상류부 녹색시간 시작시에 10개의 신규 충격파를, 하류부 녹색시간 시작시에 20개의 신규 충격파를 발생시키며, 나머지 각 현시사이에는 각 이동류간 교통류용 차이에 따른 충격파를 하나씩만 생성시킨다.



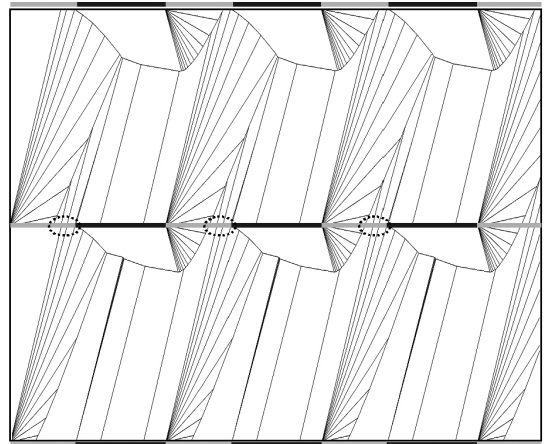
〈그림 9〉 단일링크 충격파형태(선행좌회전)

2) 충격파 교차

새롭게 개발된 모형은 Michalopoulos 충격파 모형처럼



〈그림 10〉 충격파교차 및 생성



〈그림 11〉 연장충격파를 이용한 시뮬레이션

럼 각 충격파의 위치계산식이 없어 단위시간(Interval)마다 각 충격파 속도만큼 진행시키는 방식으로 시뮬레이션이 수행된다. 그렇기 때문에 각 충격파의 정확한 교차지점을 계산하는 것이 아니라, 〈그림10〉에서 보는 바와 같이 단위시간별 두 충격파(충격파1, 충격파2)의 위치차이가 임계값(GAP)이내일 경우 교차하는 것으로 가정하여 두 충격파의 중간 위치에 새로운 충격파(충격파3)를 발생시키게 된다.

GAP을 너무 크게 설정할 경우 실제로 교차되지 않는 것을 교차하는 것으로 간주하여 가상의 충격파가 발생할 수 있으며, 반대로 GAP이 너무 작을 경우에는 실제로는 교차하나 교차되지 않는 것으로 판단하여 비정상적인 시뮬레이션 결과가 산출되므로, GAP설정의 중요성은 매우 크다.

모든 충격파 속도는 해당 링크의 자유속도(Free Flow Speed)를 넘을 수 없으므로, 본 논문에서는 식(7)과 같이 단속류의 최대가능 자유속도를 90km/h로 가정하고, Interval은 0.05초, GAP은 1.25m로 설정하였다.

$$\begin{aligned} \min(GAP_{90}) &= u_{f90} \times Interval \\ &= 90/3.6 \times Interval \approx 25.0 \times Interval(m) \end{aligned} \quad (7)$$

6. 연장충격파

링크단위의 시뮬레이션은 교차로별 오프셋변화에 따른 도로의 연동효과를 정확하게 분석할 수 없게 된다. 따라서, 상류부 녹색시간에 도착한 충격파를 하류부까지 연장(연장충격파)하여 시뮬레이션을 하는 것이 링크단위의 시뮬레이션 보다 교통상황을 더욱 현실적으로 잘 묘사할 수 있다.

본 모형은 〈그림 11〉에서 보는 바와 같이 2개 이상의 축단위 시뮬레이션 분석시, 연장충격파를 이용하여 상류부의 교통류가 하류부까지 연계토록 구축하였으며, 동그란 점선이 연장충격파를 표시한 것이다.

7. 지체도 산정

과포화전의 교차로 지체도는 일반적으로 균일지체(Uniform Delay)와 임의지체(Random Delay)로 나누어지는데, 개발모형의 지체도 역시 균일지체와 임의지체로 구성된다.

균일지체는 〈그림 9〉의 AREA영역으로 식(9)와 같이 산정한다.

$$\begin{aligned} AREA &= \sum_{i=offset+g}^{offset+g+C} INTERVAL \times Distance_i \quad (9) \\ D_u &= 3.6 \times \frac{AREA}{C \times Vol} \end{aligned}$$

- offset : 교차로간 오프셋(초)
- g : 하류부 교차로 녹색신호시간(초)
- C : 신호주기(초)
- INTERVAL : 시뮬레이션 단위시간(초)
- Distance_i : 용량밀도(κ_m)이상인 구간의 길이(m)
- AREA : 용량밀도(κ_m)이상인 면적(초·m)
- D_u : Uniform Delay(초/대)
- Vol : 교통량(대/시)

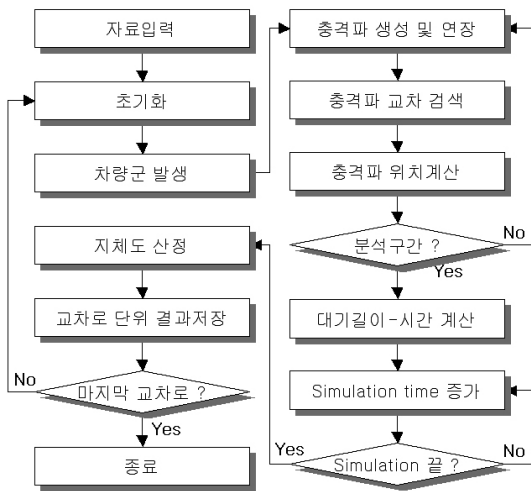
또한, 임의지체는 식(10)과 같이 T7F의 임의지체를 그대로 적용하였다.

$$D_r = 900TX^2 \left\{ X - 1 + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{4X}{cT}} \right\} / \frac{3600}{Vol} \quad (10)$$

- T : time period(비포화시 60분)
- X : 포화도비
- c : 용량(대/시)
- Vol : 교통량(대/시)

8. 프로그램 흐름도

연장충격과 생성은 새로운 충격과 생성단계에서 이루어지며, 지체도 산정은 대기행렬에 의해 형성되는 영역의 면적(대기길이-시간)을 이용하여 정지지체를 계산한다. 흐름도는 <그림 12>와 같다.



<그림 12> 프로그램 흐름도

IV. 모형의 평가

개발모형의 합리성, 적용성 등을 평가하기 위해 V/C별, 속도별, 거리별, 옵션별 민감도 분석을 실시하여, T7F와 NETSIM의 산출결과와 비교하였다. 분석 시나리오는 <표 1>, <표 2>와 같이 크게 단일링크와 연속링크(3개교차로)로 나누어 구성하였다. 단일링크는 <그림 13>과 같은 기본조건을 기준으로 항목별 민감도 분석을

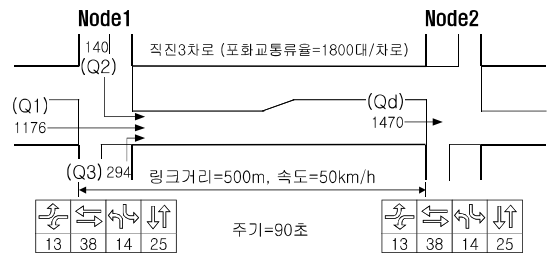
실시하였으며, <그림 17>은 기본조건에서 옵션에 따른 Node2의 지체도 분석결과로, 비교군 프로그램과의 매우 유사한 패턴을 보이고 있다.

<표 1> 단일링크 시나리오

구분	기본 조건	V/C별		속도별		거리별	
		S1	S2	S3	S4	S5	S6
V/C	0.7	0.5	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7
속도(km/h)	50	50	50	30	70	50	50
거리(m)	500	500	500	500	500	200	800

<표 2> 연속링크 시나리오

구분	S7	S8	S9	S10
Node2 옵션별	0초	30초	50초	70초



<그림 13> 기본조건

1. 단일링크

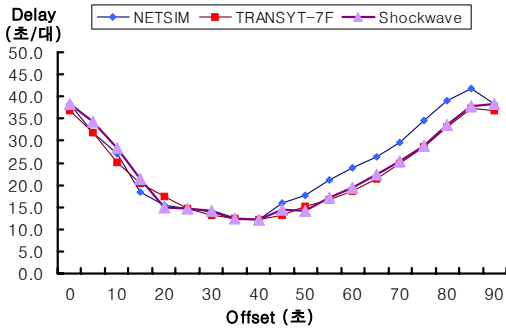
1) V/C별

교통량 변화에 따른 개발모형의 유효성을 검토하기 위하여, <표 3>과 같이 V/C=0.5(한산한 상태), 0.7(적정 상태), 0.9(근포화 상태)로 나누어 교통량을 적용하여 민감도 분석을 실시하였으며, 속도, 거리, 용량, 신호시간 등은 기본조건과 동일하게 적용하였다.

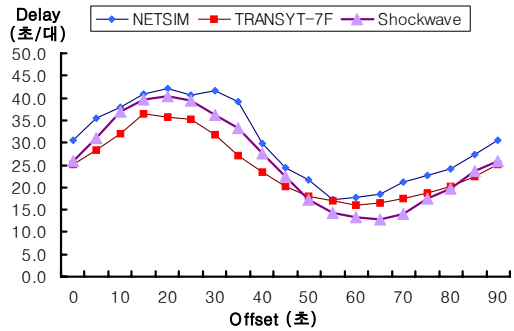
<표 3> 교통량 입력자료

구분	상류유입			하류유출	포화교 통류율
	Q1	Q2	Q3	Qd	
S1	840	105	105	1050	5400
S2	1512	189	189	1890	5400

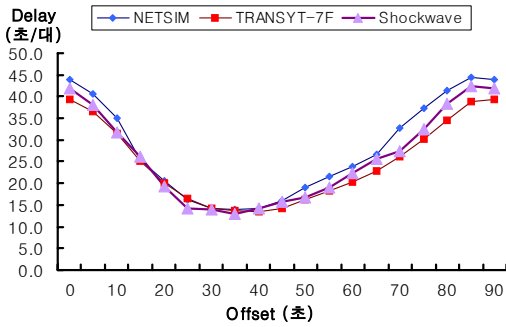
비교군 프로그램과 지체도 추이가 유사한 패턴을 보이나, T7F 결과와 보다 유사하며, 근포화시에는 오히려



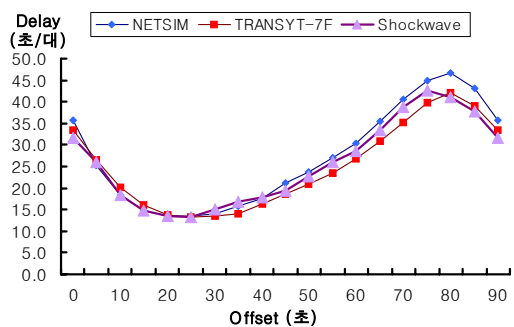
〈그림 14〉 시나리오1(V/C=0.5)



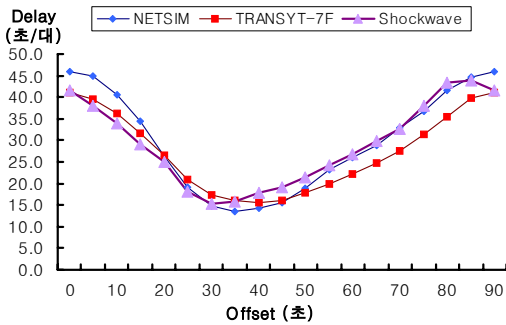
〈그림 17〉 시나리오3(속도=30km/h)



〈그림 15〉 기본조건(V/C=0.7)



〈그림 18〉 시나리오4(속도=70km/h)



〈그림 16〉 시나리오2(V/C=0.9)

분석결과, 시나리오3과 같이 저속으로 운행하는 도로(접근용 하급도로)는 〈그림 17〉에서 보듯이 비교군 프로그램 결과와 매우 유사한 패턴을 보이나, 개발모형이 옵션에 따른 지체도 변화가 더욱 민감할 뿐만 아니라 지체도 변화 패턴도 안정적이어서 명확한 분석결과를 제시할 수 있다.

시나리오4는 고속으로 운행하는 도로(이동용 고급도로)의 경우로 〈그림 18〉에서 보듯이 시나리오3과 마찬가지로 지체도 패턴이 비교군 프로그램과 매우 유사하며, 특히 두 비교군의 지체도 평균값과 매우 유사한 것으로 나타났다.

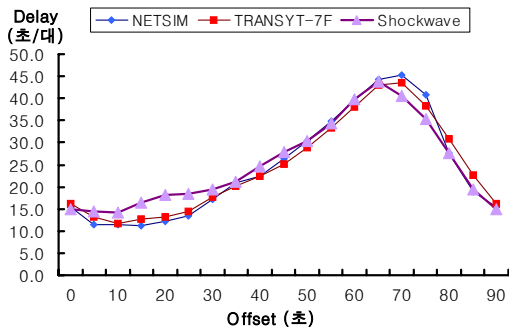
NETSIM과 유사한 결과를 보이며, 개발모형의 차량군이 보다 빠른 것으로 나타났다.

2) 속도별

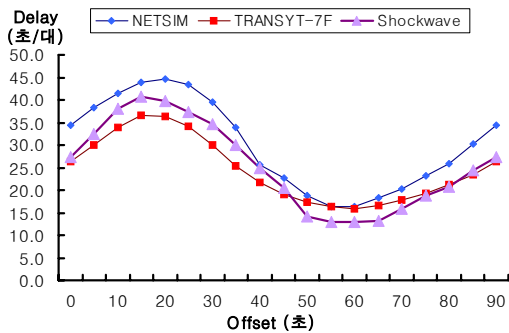
기하구조적인 제약 등으로 인한 운행속도 변화에 따른 개발모형의 유효성을 검증하기 위하여, 운행속도를 30km/h(저속), 50km/h(중속, 기본조건), 80km/h(고속)로 나누어 민감도 분석을 실시하였으며, 교통량, 거리, 용량, 신호시간 등은 기본조건과 동일하게 적용하였다.

3) 거리별

적색시간 동안 대기한 차량군이 하류부 교차로 도착 시 분산되는 현상을 개발모형이 유효하게 묘사하는지에 대한 검증을 위하여, 링크거리를 200m(단구간), 500m(중구간, 기본조건), 800m(장구간)로 나누어 민감도 분석을 실시하였으며, 교통량, 운행속도, 용량, 신호시간 등은 기본조건과 동일하게 적용하였다.



〈그림 19〉 시나리오5(거리=200m)



〈그림 20〉 시나리오6(거리=800m)

〈그림 19〉, 〈그림 20〉에서 보듯이 시나리오5(단구간)와 시나리오6(장구간) 모두 비교군 프로그램의 지체도가 유사한 패턴을 나타내고 있다.

시나리오5와 같이 단구간에서는 차량군 분산 영향이 크지 않기 때문에 비교군 프로그램과 지체도 패턴이 유사할 뿐만 아니라, 지체도 값도 같은 수준으로 나타나 큰 차이가 발생하지 않았다.

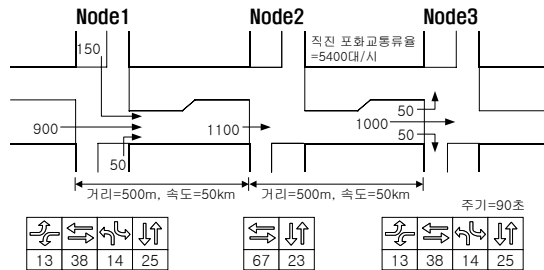
시나리오6은 장구간에서 차량군분산이 발생하는데, 비교군 프로그램 중 NETSIM의 지체도와 더 유사한 패턴을 보여, 미시적 모형수준으로 차량군의 압축·분산 묘사가 우수한 것을 알 수 있다.

2. 연속링크

1) 분석개요

차로용량, 링크거리, 속도는 기본조건과 동일하며, 신호시간 및 교통량은 〈그림 21〉과 같이 적용하여 Node2의 오프셋(0초, 30초, 50초, 70초)별 Node3의 오프셋변화에 따른 Node3의 지체도 민감도 분석을 실시하였다. 연

속링크에 대한 평가는 개발모형의 연동효과분석이 가능한 한지에 대한 성능을 테스트하는 것이다.

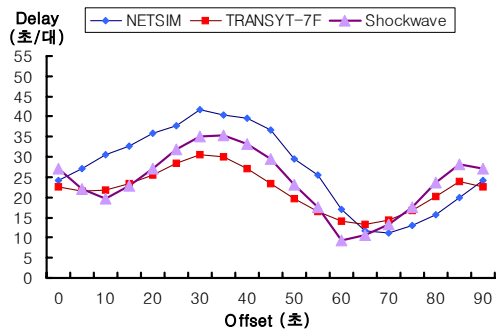


〈그림 21〉 오프셋에 따른 민감도 분석 입력조건

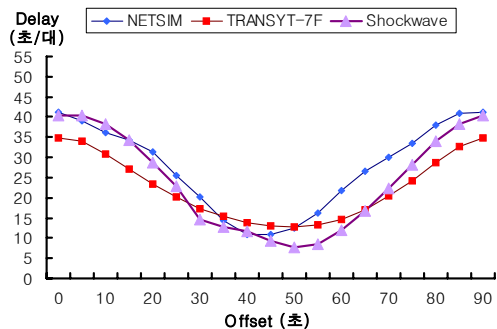
2) 분석결과

Node2의 설정 오프셋별 Node3의 오프셋변화에 따른 지체도 추세가 비교군 프로그램의 결과와 비슷하나, 개발모형의 지체도 변화가 더욱 민감하게 나타났다.

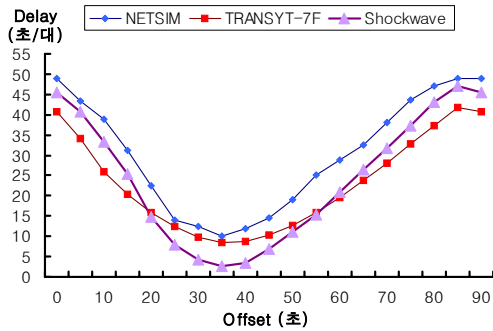
시나리오7~10 모두 개발모형의 지체도 변화패턴이 NETSIM보다 T7F와 더 유사하게 나타났으나, 지체도의 변동폭은 더 크게 나타나 입력변수 변화에 따른 시물



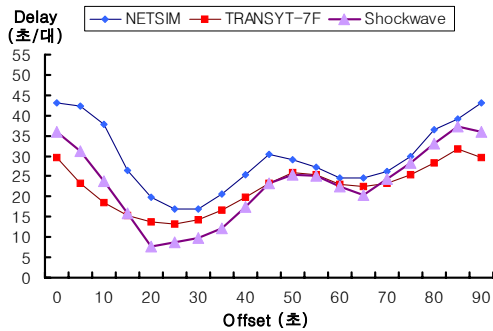
〈그림 22〉 시나리오7(Node2 오프셋=0초)



〈그림 23〉 시나리오8(Node2 오프셋=30초)



〈그림 24〉 시나리오9(Node2 오프셋=50초)



〈그림 25〉 시나리오10(Node2 오프셋=70초)

레이션 결과가 민감하게 나타나 효과분석 등에 유용하게 사용이 가능하다.

지체도가 최소가 되는 최적오프셋에서의 지체도는 비교군 프로그램에 비하여 개발모형이 적게 나타나는 경향이 있으며, 개발모형의 최대 지체도는 T7F에 비해서는 크나, NETSIM에 비해서는 적게 나타나는 중간적인 결과를 보이고 있다.

V. 결론 및 향후연구

충격파 모형은 거시적 모형인 TRANSYT-7F에 비해 링크내에서 발생하는 차량군의 압축 및 분산을 더욱 사실적으로 묘사할 수 있으며, 미시적 모형인 NETSIM에 비해서는 소요시간 단축, 적용용이성 등의 장점을 가지고 있다.

하지만 충격파이론을 적용한 기존 모형들은 수리적인 계산의 어려움으로 인해 비현실적인 교통류관계식(Q-K 곡선) 적용 및 차량군 단순화 등의 문제점을 지니고 있었다. 예를 들어, Michalopoulos의 충격파 모형은 교통

류관계를 Greenshield식으로 적용하여 교통류 특성을 제대로 반영하지 못할 뿐 아니라 입력자료에 따라서는 비현실적인 교통변수 값이 사용될 수 있으며, Sasaki의 충격파 모형은 교통류를 몇 가지로 단순화하여 정확한 지체도를 산정하지 못하는 문제점을 가지고 있다.

기존 모형의 문제점을 개선하고자, 새롭게 개발된 모형은 교통류 관계식으로 2-regime linear 모형을 적용하여 비포화, 근포화시 교통류 특성을 반영하였고, 새로운 차량군모형을 적용하여 더욱 현실적인 차량군 압축·분산효과의 묘사가 가능토록 하였으며, 축의 연동효과를 정확하게 분석하기 위해 연장충격파라는 개념을 도입하여 대표적인 분석모형인 TRANSYT-7F와 NETSIM과 비교평가한 결과 우수한 성능을 보여 시뮬레이션 분석모형으로 활용이 가능한 것을 입증하였다.

하지만, 개발모형은 과포화시 시뮬레이션 결과가 검증되지 않았으며, 특정한 경우에 충격파의 교차검색이 되지 않는 등의 문제와 더욱 현실적인 교통류 관계식 적용 및 현장자료와의 비교분석 등에 대해서 향후 연구·보완이 이루어져야 한다.

참고문헌

1. A.D. MAY, "Traffic Flow Fundamentals", Prentice-Hall, 1990
2. Boris S.Kerner, "Theory of Breakdown Phenomenon at Highway Bottlenecks", Transportation Research Board 00-1573, 2000
3. Cedar A., and May A. D., "Further evaluation of single and two regime traffic flow models". TRR567, 1976
4. C.F. Daganzo, "Fundamentals of Transportation and Traffic Operations", Elsevier Science Inc., 1997
5. Federal Highway Administration, "Traffic Software Integrated System(TSIS) User's Guide, Version 5.0", MARCH 2001
6. Federal Highway Administration, "Traffic Software Integrated System(TSIS) Reference Manual, Version 5.0", MARCH 2001
7. N.H. Gartner, C.J. Messer, A. Rathi, "Special Report 165: Revised Monograph on Traffic Flow

Theor”, Transportation Research Board, 1997

8. Panos G.Michalopoulos et al, “Modeling of Traffic flow at Signalized Links”, Transportation Science Vol.14.No.1, 1980

9. Panos G.Michalopoulos et al, “An Application of Shockwave Theory to Traffic Signal Control”, Transportation Research Vol.15B, 1980

10. “Traffic Network Study Tool(TRANSYT-7F)”, Mc Trans Center, 2004

11. Tsuna Sasaki et al, “An Approximative Analysis of the hydrodynamic theory on traffic flow and a formulation of a traffic simulation model”, Ninth international symposium on Transportation and traffic theory, 1984

✉ 주 작 성 자 : 이호상
 ✉ 교 신 저 자 : 이호상
 ✉ 논문투고일 : 2007. 10. 2
 ✉ 논문심사일 : 2007. 11. 30 (1차)
 2008. 1. 14 (2차)
 2008. 1. 28 (3차)
 2008. 2. 3 (4차)
 ✉ 심사판정일 : 2008. 2. 3
 ✉ 반론접수기한 : 2008. 6. 30