

미시 교통 시뮬레이션을 활용한 차로 폐쇄 모형 개발

양인철 · 전우훈*

한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 도로관리통합센터

Development of lane-close model using micro traffic simulation

Inchul Yang · Woo Hoon Jeon*

Intergrated Road Management Research Center, Dept. of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea

[요 약]

도로에서는 공사, 사고, 갑작스러운 혼잡, 포트홀 등의 다양한 이벤트가 발생하고, 이러한 이벤트는 교통류의 변화를 야기하여 교통혼잡을 가중시키고 도로이용자의 안전을 위협한다. 그래서 많은 교통 전문가들은 오랜 기간 동안 교통 상황의 분석 및 예측, 그리고 적절한 운영 전략 수립에 대한 연구와 이를 위해 현실을 정확하게 모사하는 모형에 대한 연구를 수행해왔다. 이에 본 연구에서는 도로 이벤트 발생으로 인한 차로의 일시적인 폐쇄를 모사하는 미시 교통 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 이를 위해 기존 교통 시뮬레이션 모형에 대한 검토 후 그 한계를 분석하였고, 상용 시뮬레이션 프로그램에서 제공하는 플러그인 기능을 활용하여 그 한계를 극복하는 방법을 제안하였다. 미시 교통 시뮬레이션 모형인 VISSIM을 활용하여 차로폐쇄를 모사하는 모형을 설계하고 이를 구현 및 검증하였는데, 제안된 모형이 차로폐쇄에 따른 교통 혼잡을 적절하게 표현하는 것으로 나타났다.

[Abstract]

A various type of road events such as work-zones, accidents, unexpected congestion, and potholes occurs everyday in the road, and it causes a serious traffic congestion and therefore threatens the road users' safety. Many traffic experts have tried to estimate and predict the traffic conditions under such events, and to develop a traffic model which properly simulate the real world traffic flow change and thus help find a proper traffic operational strategy. Thus a micro traffic simulation model which simulates a temporary lane-close due to the road events was developed in this study. Some previous studies on the traffic simulation model were reviewed and its limitation was found. A new method using plug-in functions provided by the off-the-shelf simulation software program was proposed to tackle the limitation. A traffic model simulating the lane-close was designed, developed, and verified on a toy network. It was demonstrated that the proposed traffic model appropriately represents the real world lane-close phenomenon.

색인어 : 차로폐쇄, 시뮬레이션, 도로 이벤트, VISSIM, 미시 교통 시뮬레이션

Key word : Lane-close, Simulation, Road Event, VISSIM, Micro traffic simulation

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2019.20.7.1285>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 30 June 2019; Revised 10 July 2019

Accepted 25 July 2019

*Corresponding Author; Woo Hoon Jeon

Tel: +82-31-910-0170

E-mail: cwmoon@kict.re.kr

1. 서론

도로에서는 공사, 사고, 고장차량, 폭우 또는 폭설과 같은 악 기상, 행사와 집회, 교통수요 증가 또는 저속차량으로 인한 갑작스러운 혼잡, 포트홀, 낙하물, 로드킬 등의 다양한 이벤트가 발생하고, 이러한 이벤트는 일시적으로 도로 전체 또는 부분에 대한 폐쇄 효과를 발생시킨다. 이는 곧 도로의 용량을 감소시키고 교통류의 급격한 변화를 야기하여 교통혼잡을 가중시키거나 도로이용자의 안전을 위협한다[1]. 따라서 이러한 변화를 분석하고 이해하는 것은 도로의 안전을 향상시키고 편의성을 증진하며 혼잡을 감소시키는데 우선적으로 필요한 작업이라고 할 수 있다.

많은 교통 전문가들은 오랜 기간 동안 교통 상황의 분석 및 예측, 그리고 적절한 운영 전략 수립에 대한 연구를 수행해 왔고, 이를 위해 현실을 정확하게 모사하는 모형에 대한 연구를 수행해왔다. 이러한 모형을 교통모형(Traffic Model)이라고 하며, 다양한 접근법과 이론, 알고리즘을 활용하여 그 정확성을 높이는 연구들이 진행 중이다.

교통모형은 크게 정적 모형과 동적 모형으로 구분할 수 있다. 정적(Static) 모형은 시간적으로 고정된 상황을 가정하는데, 예를 들어 오전 첨두 1시간 동안의 교통상황, 신규 도로 건설에 따른 향후 10년 뒤 교통수요 등을 분석할 때 주로 사용된다. 계산량이 적고, 이해하기가 쉽기 때문에 교통영향평가나 예산타당성 분석에 주로 활용되고 있다.

동적(Dynamic) 모형은 시간이 변수인 모형이다. 즉 시간에 따라 각종 교통 변수가 변하는 모형으로, 예를 들어 오전 첨두 1시간 동안의 교통상황을 5분 단위로 나누어 분석하는 경우에 사용된다. 기존 최소 시간단위별로 통행량, 속도 등을 계산하기 때문에 계산량이 많은 반면, 교통 흐름의 동적인 변화를 분석하고 이해할 수 있는 장점을 갖는다.

동적 모형은 개별 차량 행태 처리 방법에 따라 두 가지로 구분되는데, 첫 번째는 중시(meso) 모형이고, 두 번째는 미시(micro) 모형이다.

미시 모형은 개별 차량의 이동 행태 및 차량 간 상호작용을 수학적으로 표현하여 현실 세계와 유사한 분석이 가능하게 한 모형이고, 중시 모형은 개별 차량의 이동 행태를 직접적으로 모사하는 대신 도로 구간의 교통 흐름을 나타내는 교통류 모형을 이용하여 시간에 따른 교통 상황 변화를 계산한다. 계산량 측면에서 중시 모형이 우수하기 때문에 실시간 교통 상황 추정 및 분석이 요구되는 상황에서는 중시 모형이, 보다 정확하고 세밀한 교통 분석이 요구되는 상황에서는 미시 모형이 선호된다. 특히 차로 단위의 교통상황 분석이 필요한 경우 미시 모형의 활용이 더 나은 선택이 될 수 있다.

공사 또는 사고, 고장 차량 등의 도로 이벤트가 발생하면 이로 인해 영향을 받는 차로는 폐쇄(close)되는 효과가 발생한다. 그로 인해 교통 혼잡은 가중되고 급격한 변화로 인해 접근 차량의 안전에 심각한 위협이 된다. 따라서 차로 폐쇄로 인해 발생

하는 교통상황 변화를 이해하고 적절한 교통 운영 전략을 준비하는 것이 매우 중요하며, 이를 위해 차로 폐쇄를 모사하는 교통모형의 개발이 필요하다. 기존 연구에서는 교통 혼잡, 차량 추정 등을 시뮬레이션으로 구현하였으나, 차로 폐쇄를 모사한 경우는 찾아보기 어렵다[2], [3].

이에 본 연구에서는 도로 이벤트 발생으로 인한 차로의 일시적인 폐쇄를 모사하는 교통 시뮬레이션 모형을 개발하고 그 성능을 검증한다. 이를 위해 교통 시뮬레이션 모형에 대한 검토를 수행하고 그 한계를 분석하였다. 그리고 상용 시뮬레이션 프로그램에서 제공하는 플러그인 기능을 활용하여 그 한계를 극복하는 방법을 제안하였다. 마지막으로 미시 교통 시뮬레이션 모형인 VISSIM을 활용하여 차로폐쇄를 모사하는 모형을 설계하고 이를 구현 및 검증하였다.

II. 모형 개발

2-1 교통 시뮬레이션 모형과 그 한계

시뮬레이션은 어떤 물리적 시스템에 대해 컴퓨터 기반의 수학적모형을 이용하여 실험을 수행하는 방법으로 정의할 수 있으며, 다양한 외부 입력값을 이용하여 분석 시간 동안 시간의 흐름에 따라 시스템이 외부 입력값에 대해 반응하는 현상을 관찰한다.

교통 흐름을 모사하는 교통 시뮬레이션 모형은 교통 계획 및 운영 모형 구축, 첨단교통체계 효과 분석, 교통 인프라 전략 효과의 비교·분석, 대중교통 효과 분석, 차량 배기가스 분석, 사고 분석 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 교통 시뮬레이션 모형은 그림 1과 같이 자료 수집(data collection), 모형의 정산(model calibration), 그리고 결과의 해석(outcome analysis)의 3단계 절차를 통해 활용된다.

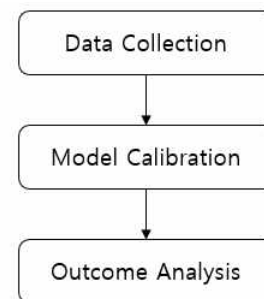


그림 1. 교통 시뮬레이션 모형 활용 절차
Fig. 1. Process of traffic simulation model use

자료의 수집 단계에서는 노드와 링크, 존(zone)으로 구성되는 도로망 정보와 링크별 교통량, 속도 정보, 존 간 통행수요 정보, 교차로 신호 정보, 교통 운영 정보 등을 수집하고 이를 데이

터화 한다. 모형의 정산 단계에서는 현실 세계에서 관측된 자료와 시뮬레이션 자료를 비교분석하여 모형의 각종 계수(parameter)를 정산하고, 마지막 결과의 해석 단계에서는 시뮬레이션 결과를 분석하고 시각화하여 의사결정자가 이해하기 쉽게 하는 작업을 수행한다.

상업용으로 판매되거나 학술용으로 사용되는 교통 시뮬레이션 모형으로는 VISSIM, CUBE, PARAMICS, AIMSUN, TransModeler, MATSim, DYNASMART, VISTA 등이 있으며, 이를 분석의 수준(level of detail)에 따라 구분하면 표 1과 같다.

표 1. 교통 시뮬레이션 모형의 구분
Table 1. Classification of traffic simulation models

| Level of Detail | Models |
|-----------------|---|
| Meso | DYNASMART, DynaMIT, DYNAMEQ, VISTA, MATSim |
| Micro | PARAMICS, VISSIM, CORSIM, TRANSIMS, INTEGRATION, CUBE |
| Hybrid | TransModeler, AIMSUN |

모형은 각각 고유의 차량 추정 모형(car following model)과 차로 변경 모형(lane change model)을 가지며 분석을 위한 다양한 도구를 제공한다. 예를 들어, VISSIM의 경우 4 체제 차량 추종 모형과 강제/자율 차로 변경 모형으로 교통류를 표현하고, PARAMICS는 목표 차간 거리(target headway)를 이용하여 감속, 정속, 가속을 결정하는 차량 추종 모형과 gap acceptance 차로 변경 모형을 활용하여 교통류를 나타낸다.

또한 도로망과 교통수요 자료를 편집할 수 있는 도구와 시뮬레이션을 구동하고 사용자가 실시간으로 확인할 수 있는 Visualization 도구를 제공한다. 시나리오별로 시뮬레이션을 다양하게 구동할 수 있는 기능과 시뮬레이션 결과를 다양한 인덱스로 분석하는 기능도 대부분의 모형이 기본으로 제공한다.

하지만 차로 폐쇄, 경로 선택, 신호 변경과 같은 비범용적인 기능은 제공하고 있지 않다. 물론 자율주행, 차세대 첨단교통체계와 같이 아직 현실 세계에 적용되지 않은 시스템에 대한 기능도 제공하고 있지 않다. 따라서 이러한 기능의 구현 및 분석을 위해서는 사용자가 별도의 모형을 만들어야 하는 어려움이 있다. 이러한 불편함을 해소하기 위해 많은 교통 시뮬레이션 모형은 플러그인 기능을 제공하는데, 이는 모형에서 제공하는 기능을 활용하여 연구자가 원하는 기능을 구현하는 것이다. 이에 대한 보다 자세한 내용은 다음 절에 기술하기로 한다.

2-2 플러그인 기능

최근 오픈 소스의 활성화와 사용자 요구 증가에 따라 많은 소프트웨어 프로그램에서 플러그인 기능을 제공한다. 이는 프로그램 고유의 기능 외에 사용자가 필요로 하는 추가적인 기능

을 사용자 스스로가 만들어 이용할 수 있도록 하는 기능으로, 대표적으로 엑셀의 VBA와 크롬 웹브라우저의 확장 프로그램 등이 있다.

많은 교통 시뮬레이션 모형들도 기본 기능 외의 사용자가 필요로 하는 기능을 구현하기 위해 플러그인 기능을 제공한다. PARAMICS는 programmer 컴포넌트를 통해 C/C++을 이용하여 구현 가능한 개발 환경을 제공한다. VISSIM은 COM을 활용하여 추가 기능을 구현하는 기능을 제공한다. [4], [5], [6], [7]은 이러한 플러그인 기능을 활용하여 동적 통행배정 모형과 지능형 교통신호 제어 모형, 경로 선택 모형 등을 연구하였고, [8]은 교통 시뮬레이션을 활용하여 현실에서는 관측하기 어려운 차로 변경 시간을 관측하는 기능을 플러그인으로 구현하여 연구를 수행하였다.

2-3 차로 폐쇄 모형

본 연구에서는 미시 교통 시뮬레이션 모형인 VISSIM을 활용하여 연속류 도로 본선 구간(2차로, 4km)을 구축하고, 임의의 위치와 시간에 교통사고 등으로 차로가 폐쇄되는 현상을 모형화 한다. 이때 차로 폐쇄의 위치와 시간은 확률적으로 결정하도록 하였다.

차로폐쇄 지점과 지속 시간을 무작위로 구현하는 것은 VISSIM에서 기본 기능으로 제공하지 않기 때문에 VISSIM COM 인터페이스를 활용하여 구현하였다. 앞 절에서 언급한 바와 같이 VISSIM COM은 이용자가 VISSIM의 기본기능 외에 다양한 응용 어플리케이션의 개발을 가능케 하는 일종의 소프트웨어 개발환경으로, 사용자가 개발한 어플리케이션과 VISSIM 소프트웨어 프로그램 간의 통신 인터페이스 역할을 수행한다. COM은 이용자들로 하여금 C++, Java, C#, Visual Basic, MatLab, Python과 같은 다양한 프로그래밍 언어와 결합하여VISSIM의 기본 기능 등을 좀 더 유연하게 활용할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 프로그래밍 언어인 C# 기반의 VISSIM COM을 이용하여 VISSIM GUI(Graphic User Interface)에 일시적 차로폐쇄 상황의 위치와 지속시간을 구현하는 COM Client인 VLC(VISSIM Lane-Close)을 개발하였는데, 그 개념은 그림 2와 같다.

VISSIM에서 차로폐쇄를 모사하는 방법으로는 두 가지의 접근법이 가능하다. 첫 번째는 속도감소구역 (Reduced Speed Area) 설정이고, 두 번째는 특정 차종의 차로 이용금지 (Lane Block) 기능을 활용하는 것이다.

VISSIM GUI는 특정 링크에서 개별차량의 희망주행속도(이하 희망속도)를 설정할 수 있는 기능을 제공한다. 예를 들어 그림 3에서와 같이 어떤 차종(버스, 택시 등)의 희망속도를 특정 링크에서 40kph로 설정하면 해당 차종의 모든 차량은 해당 링크에서 40kph의 속도로 주행하고, 해당 링크를 지나간 후에는 다시 상황(링크 제한속도, 교통상황 등)에 맞는 속도(예를 들어 60kph)로 주행하게 된다. 따라서 속도감소구역을 설정하기 위

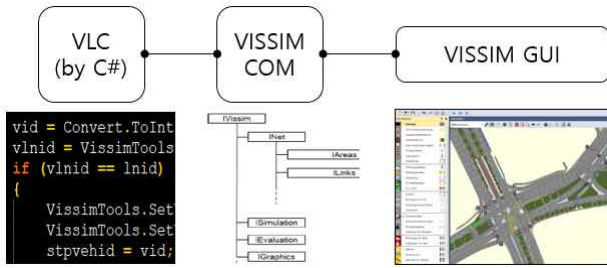


그림 2. VISSIM 차로폐쇄 COM Client (VLC) 구현 개념
Fig. 2. VISSIM Lane-close (VLC) Application Concept

해서는 원하는 도로구간을 하나의 링크로 지정한 후 희망속도 기능을 이용하여 일부 차종의 주행속도를 감소시킬 수 있다.

하지만 이 기능의 문제점은 희망속도가 0보다 커야 한다는 점이다. 왜냐하면 희망속도가 0일 경우 차량은 링크 상에 정지한 상태로 영원히 움직이지 않기 때문이다. 희망속도는 링크에 종속된 개념이라서 해당 링크를 벗어나야만 해제될 수 있는데, 희망속도가 0이면 링크를 떠날 수 없기 때문에 시뮬레이션이 진행되는 동안 차량은 계속 해당 지점에 머물게 된다. 이러한 문제로 인해 희망속도를 이용한 속도감소구역 설정, 즉 일시적 차로 폐쇄 현상을 구현하기는 쉽지 않다.

따라서 본 연구에서는 차로이용금지 시간을 조정하는 방식으로 차로폐쇄를 구현하였다. 그림 4에 나타난 바와 같이, 차로 폐쇄 위치를 무작위로 결정하기 위하여 VISSIM 링크를 일정 간격(예를 들어 450 미터)으로 세분화하여 구분하고 각 링크를 50 미터 길이의 연결링크(Connector)로 연결한다. 그리고 VISSIM COM 인터페이스를 활용하여 차로폐쇄 지점으로 결정된 연결 링크의 특정 차로에 기 결정된 차로폐쇄 지속시간(외부 입력) 만큼 차로 이용 금지를 수행함으로써 차로 폐쇄 현상을 모사하였다.

VISSIM COM 인터페이스는 엄격한 객체 계층도를 기반으로 구성되는데, 개별 객체의 이름은 참조하는 대상의 이름 앞에 'I'를 추가하는 방식으로 작성된다. 예를 들어 링크(Link)를 참조하는 객체는 'ILinks' 인터페이스로 표현된다. 객체 계층도에

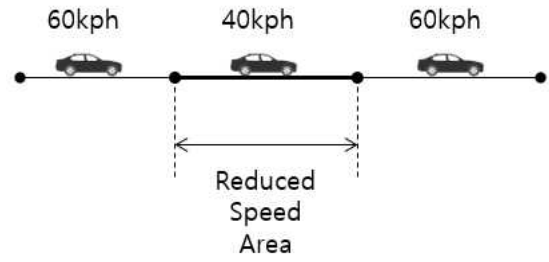


그림 3. VISSIM 희망주행속도 설정 방법
Fig. 3. Link desired speed in VISSIM

는 최상위에 IVISSIM이 존재하고 이를 구성하는 도로망, 시물레이션, 평가, 그래픽 등의 객체는 IVISSIM에 포함된 형태로 존재한다.

본 연구에서는 링크의 특정 차로를 일정 시간 폐쇄하는 모형을 개발하기 때문에 링크(ILink) 객체와 그에 포함되는 차로(ILane) 객체를 활용하여 VLC를 개발하였다. ILane 객체는 차로 특성을 변경하는 ::set_Attribute 함수를 갖으며, 이 함수를 이용하여 일정 시간 동안 특정 차종의 해당 차로 주행을 막을 수 있다. 예를 들어 ILane::set_Attribute("BlockedVehClasses", "10")과 같이 함수를 호출함으로써 '10'번 차종에 해당하는 모든 차량이 해당 차로를 주행하지 못하게 하였다.

III. 모형의 검증

3-1 분석 시나리오

본 연구에서는 제안된 차로폐쇄 모형의 성능을 검증하기 위해 교통량(Traffic Volume)과 차로폐쇄 지속시간(Lane-close duration)을 주요 실험인자(Experimental Factor)로 설정하여 분석 시나리오를 작성하였다. 표 2는 각 실험인자의 값을 보여주는데, 교통량은 혼잡과 비혼잡을 비교하기 위해 각각 600과

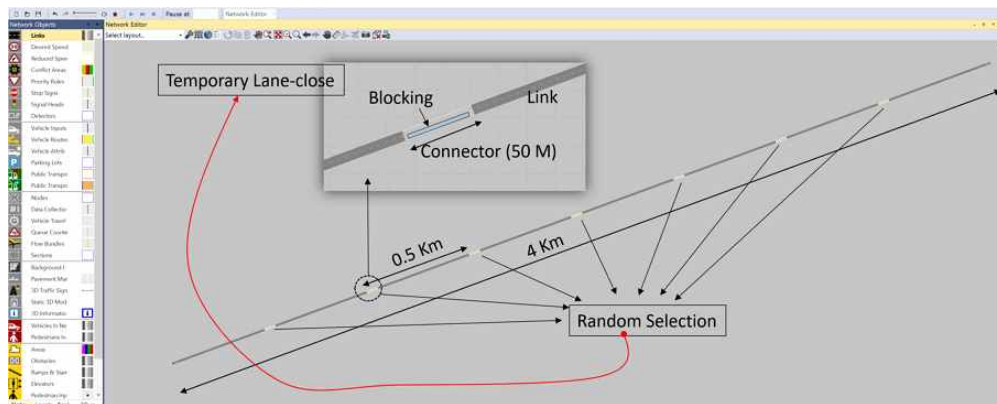


그림 4. 차로폐쇄 구현 개념도
Fig. 4. Concept of lane-close implementation

1800 (대/시/차로)으로 설정하였고 차로폐쇄 지속시간은 120초와 240초를 설정하여 비교하였다. 참고로 총 시뮬레이션 수행 시간은 900초이다. 따라서 120초는 전체 시간 중 약 13%, 240초는 약 26%의 시간 동안 하나의 차로가 폐쇄되는 것을 의미한다.

표 2. 실험인자와 그 범위

Table 2. Experimental factor and their range

| Experimental Factor | Range |
|------------------------------|-----------|
| Traffic Volume (veh/hr/lane) | 600, 1800 |
| Lane-close Duration (sec) | 120, 240 |

3-2 성능 검증

모든 실험인자의 조합을 고려한 총 4가지의 시뮬레이션 시나리오에 대해 각각 5회의 서로 다른 난수(seed number)를 이용하여 총 20회의 반복 시뮬레이션을 수행하였다. 신속한 시뮬레이션 수행을 위해 2대의 서로 다른 서버 컴퓨터를 이용하여 각각 10개의 시뮬레이션을 분산 수행하였고, 수행 및 결과 수집의 효율적 관리를 위해 VISSIM COM 인터페이스를 활용하여 시나리오별 시뮬레이션 수행 및 결과치 수집 과정을 자동화 하였다.

표 3. 성능 검증 결과

Table 3. Result of performance test

| Traffic Volume (veh/hr/lane) | Lane-close Duration (sec) | Average Delay (sec) | Average Speed (KPH) | 15-min Traffic Volume (veh/lane) | Average Travel Time (sec) |
|------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 600 | 120 | 3.1 | 117.9 | 261 | 121.2 |
| | 240 | 3.7 | 116.5 | 259 | 121.9 |
| 1800 | 120 | 46.4 | 83.9 | 695 | 150.0 |
| | 240 | 62.0 | 76.8 | 684 | 172.9 |

시뮬레이션 수행 결과는 표 3과 그림 5와 같다. 총 2개 차로 중 1개의 차로가 폐쇄되었을 때 교통량이 많은 경우 지체 시간이 기하급수적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 추세는 그림 5에서 특히 잘 나타내어지고 있는데, 점선(녹색)으로 표현된 평균 지체가 차로폐쇄 지속시간에 비해 교통량에 더욱 크게 영향을 받음을 알 수 있다. 이는 현실 교통상황을 잘 모사한 것으로 교통량이 적을 경우 일부 차로폐쇄가 교통상황에 큰 영향을 주지 않지만, 교통량이 많을 경우 영향이 기하급수적으로 증가한다. 또한 동일한 교통량일 경우 차로폐쇄 지속시간이 증가함에 따라 평균 지체가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

평균 속도와 통행 시간의 경우 교통량이 증가함에 따라, 그리고 차로폐쇄 지속시간이 증가함에 따라 속도는 감소하고, 통행 시간은 증가함을 볼 수 있는데, 두 변수 간의 관계가 역수 관계임을 고려할 때 당연한 결과임을 알 수 있다.

이러한 결과는 본 연구의 목적이 교통 시뮬레이션을 활용하여 차로폐쇄 모형을 개발하는 것임을 고려할 때 제안된 모형이 현실의 교통류 변화를 잘 반영하고 있음을 나타낸다.

따라서 본 모형을 활용할 경우 차로폐쇄가 발생하는 도로공사, 사고, 낙하물 등의 도로 이벤트에 대한 현실 교통 상황을 분석하고, 그에 따른 적절한 운영 전략을 테스트할 수 있을 것으로 판단된다.

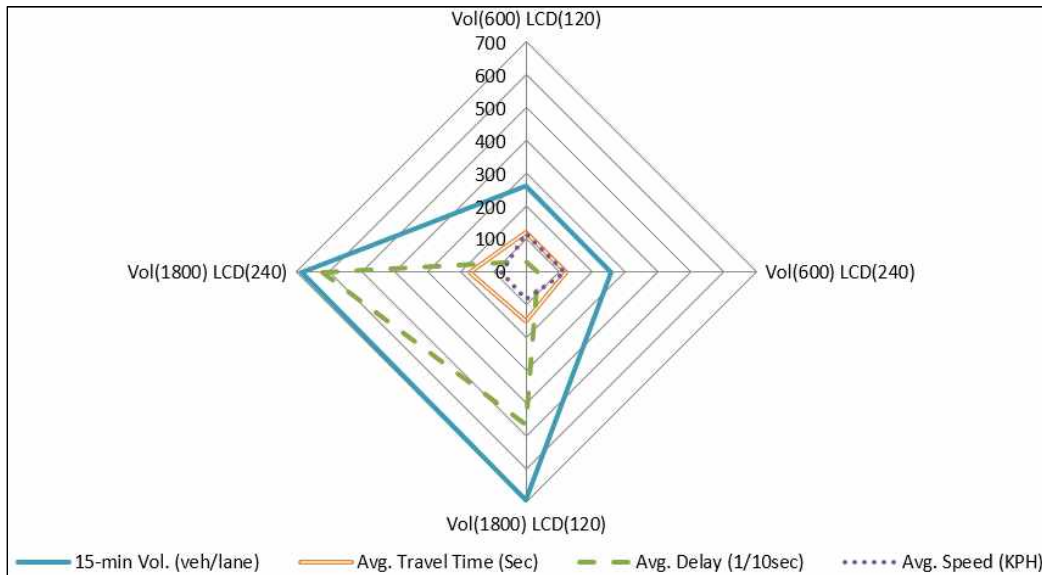


그림 5. VISSIM 희망주행속도 설정 방법
Fig. 5. Link desired speed in VISSIM

IV. 결 론

본 연구에서는 미시 교통 시뮬레이션 소프트웨어 패키지인 VISSIM을 활용하여 차로폐쇄 모형을 개발하였다. VISSIM에서 제공하는 기본 기능으로는 차로폐쇄 모형을 구현하기 어렵기 때문에 VISSIM COM 인터페이스 기능과 C# 프로그래밍을 융합하여 차로폐쇄를 모사하는 별도의 소프트웨어 프로그램인 VLC(VISSIM Lane-Close Application)을 개발하였고, 가상의 도로망을 대상으로 그 성능을 검증하였다. 그 결과, 개발된 모형이 차로폐쇄에 따른 교통류 변화를 잘 모사하는 것으로 나타났다. 따라서 향후 차로폐쇄 상황에 대한 모사 및 분석, 그리고 그에 따른 적절한 운영 전략 수립 연구에 많은 활용이 가능할 것으로 판단된다.

향후 VISSIM COM 인터페이스와 같은 시뮬레이션 소프트웨어 프로그램의 플러그인 기능과 다양한 프로그래밍 언어를 융합한다면 다양한 교통 상황 모사 모형에 대한 연구가 가능할 것으로 기대되고, 특히 C-ITS와 자율주행차와 같이 아직 현실 세계에 도입되지 않은 기술에 대한 효과 분석에 많은 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2019년 한국건설기술연구원 주요사업(차량센서 기반 주행환경 관측·예측·안전운행 도로기술 개발, 과제번호: 20190149-001)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] Yang, I. & Jeon, W-H, “Digital road event management system using high-precision map,” *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 19, No. 11, pp. 2219-2226, 2018.

[2] Bando, M., Hasebe, K., Nakayama, A., Shibata, A., & Sugiyama, Y. “Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation”. *Physical review E*, 51(2), 1035, 1995.

[3] Gipps, P. G. (1981). A behavioural car-following model for computer simulation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 15(2), 105-111.

[4] Yang, I. & Jayakrishnan, R., “Gradient projection method for simulation-based dynamic traffic assignment,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2284, pp.70-80, 2012.

[5] Yang, I. & Jayakrishnan, R., “A modeling framework to analyze the effect of multiple traffic information service

providers on traffic network performance,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2333, pp.55-65, 2013.

[6] Florian, M., Mahut, M., & Tremblay, N., “Application of a simulation-based dynamic traffic assignment model,” *European Journal of Operational Research*, vol. 189, pp. 1381-1392, 2008.

[7] Jayakrishnan, R., Chen A., & Tsai, W., “Freeway and arterial traffic flow simulation analytically embedded in dynamic assignment,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1678, pp.242-250, 1999.

[8] Yang, I., Kim, H-J., Jeon W-H, Kim, H., “Development of realistic shortest path algorithm considering lane changes,” *Journal of advanced transportation*, Vol. 50, pp. 541-551, 2016.



양인철(Inchul Yang)

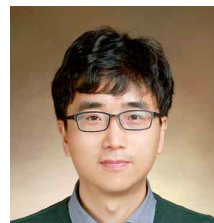
2011년: Ph.D. in Civil Engineering
at Univ. of California, Irvine

2000년: 연세대학교 도시공학석사

1998년: 연세대학교 도시공학 학사

2011년~현재: 한국건설기술연구원 연구위원

※관심분야: 첨단교통, 자율주행, C-ITS, 도로안전, 도로시설



전우훈(Woo Hoon Jeon)

2016년: 서울대학교 도시계획학 박사

2001년: 한양대학교 교통공학 석사

1999년: 한양대학교 교통공학 학사

2001년~현재: 한국건설기술연구원 수석연구원

※관심분야: 도로안전, 무동력 교통수단, 모바일 앱, 도로시설