

## 미시 교통 시뮬레이션을 활용한 실시간 교차로 이동류 교통량 계수 시스템 개발

양인철<sup>1</sup> · 전우훈<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 도로관리통합센터 연구위원

### Development of real-time intersection movement traffic volume counting system using microscopic traffic simulation

Inchul Yang<sup>1</sup> · Woo-Hoon Jeon<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Research Fellow, Integrated Road Management Research Center, Dept. of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea

#### [요 약]

교차로에는 다수의 이동교통류(movement traffic)가 존재하며, 각 이동류별로 고유의 특성(교통량, 속도, 밀도 등)을 갖는다. 그 중 교통량은 교통신호의 제어, 대기행렬의 예측 등에 필수적으로 사용되는 속성으로, 자율주행, C-ITS(Cooperative Intelligent Transport Systems) 등의 미래 교통 시스템에서 그 활용성은 더욱 커질 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 미시 교통 시뮬레이션을 활용하여 실시간으로 교차로 이동교통류의 교통량을 계수(count)하는 시스템을 개발한다. 이를 위해 교차로 이동류 교통량의 정의 및 계수 시스템 요구사항 분석을 통해 계수 시스템을 설계하였다. 그리고 미시 교통 시뮬레이션 툴인 VISSIM과 Python API를 이용하여 시스템을 구현하고, 그 성능을 검증하였다. 개발된 시스템은 향후 자율주행시스템과 C-ITS의 응용 서비스 기술 개발에 많은 활용이 가능할 것으로 기대된다.

#### [Abstract]

Multiple movement traffic flows exist in a road intersection, and each flow has its own characteristics such as flows, speed, and density. Among them, traffic flow is an important feature widely used in traffic signal control and vehicle queue estimation, and its utilization is expected to growing in the area of future transportation system including autonomous vehicles, cooperative intelligent transport systems (C-ITS). Thus, we develop a real-time movement traffic flow counting system in a road intersection using micro traffic simulation. Firstly, movement traffic flow is defined and the requirement of the counting system is analyzed. Based on the analysis the system is carefully designed and proposed. The system is developed using VISSIM, micro transportation simulation with Python API, and its performance is tested. The proposed system can be used widely in the application development of autonomous vehicles and C-ITS.

**색인어** : 교차로, 교통량, 자율주행, C-ITS, 미시 교통 시뮬레이션

**Key word** : Intersection, Traffic Volume, Automated Driving System, C-ITS, Microscopic Traffic Simulation

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2021.22.5.831>



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** 23 March 2021; **Revised** 22 March 2021

**Accepted** 05 March 2021 February April May

**\*Corresponding Author; Woo-Hoon Jeon**

**Tel:** +82-31-910-0170

**E-mail:** cwmoon@kict.re.kr

## 1. 서론

교통량(traffic volume)은 교통사고 감소[1]와 혼잡완화[2], 교통신호의 제어[3], 대기행렬의 추정[4] 등을 위해 도로교통 분야에서 가장 많이 활용되는 데이터 중 하나로, 향후 자율주행, C-ITS 등의 미래 교통 시스템에서 그 활용성은 더욱 커질 것으로 기대된다. 또한 이는 교통류(traffic flow)의 특성을 나타내는 대표적인 지표 중 하나로, 루프 검지기[5], VDS (Vehicle Detection System)[6], RADAR[7], 이동형 차량센서[8] 등 다양한 센서를 활용하여 주로 가로(corridor)를 대상으로 수집 및 분석되었다. 하지만 도시교통의 경우 대부분의 혼잡이 교차로에서 발생하며, 교차로에는 다수의 이동교통류가 존재하고 이들 간 상호작용의 결과로 인해 교통류 특성(교통량, 속도, 밀도 등)이 발현된다. 교차로를 대상으로 이동 객체 데이터 수집을 위한 센서와 융합 기술 개발 노력이 활발해지고 있는 현실에 비추어 볼 때 이러한 기술의 응용 서비스 개발을 위한 시뮬레이션 기술 연구 또한 반드시 병행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 미시 교통시뮬레이션을 활용하여 실시간으로 교차로 이동류 교통량을 계수(count)하는 시스템의 개발을 목적으로 한다. 이를 위해 먼저 계수의 대상이 되는 교차로 이동류 교통량을 교통공학 측면에서 정의한 후, 계수 시스템 개발을 위한 요구사항을 분석한다. 다음으로, 요구사항을 만족하는 시스템을 설계하고, 이를 구현 및 검증하는 절차로 연구를 진행한다(Fig. 1). 참고로, 본 연구에서 제안하는 시스템은 미시 교통 시뮬레이션 내에서 가공된 자료))를 이용하여 동작하는 것으로, 현실 세계의 데이터와의 연동은 연구의 범위에 포함되지 않는다.

## II. 교차로 이동류 교통량 계수 시스템 설계

### 2-1 교차로 이동류 교통량의 정의

도로교통법에서는 교차로를 ‘+’자로, ‘T’자로나 그 밖에 둘 이상의 도로(보도와 차도가 구분되어 있는 도로에서는 차도를 말한다.)가 교차하는 부분으로 정의하고 있다. 이를 교통류(Traffic Flow) 관점에서 보면, 진행방향이 서로 상이한 교통류들이 안전하게 교차할 수 있도록 물리적으로 구분하고, 규칙 또는 교통신호 등으로 제어를 하는 도로시설이라고 해석할 수 있다.

이러한 교차로에는 다양한 교통류가 존재하는데 이를 다른 용어로 “이동류(Movement)”라고 하며[9], 이는 진입과 진출 쌍으로 구성된 고유한 값으로 정의될 수 있다. 즉, 하나의 교차로에서 동일한 진입로와 진출로를 갖는 이동류는 유일하다.

1) 구현 단계에서 사용된 교차로는 실제 현실 세계의 교차로이지만, 교통수요는 가공된 데이터를 사용하였다.

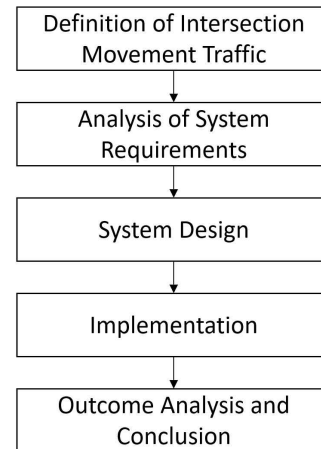


그림 1. 연구절차  
Fig. 1. Research Procedure

이동류는 하나의 진입로를 기준으로 직진, 좌회전, 우회전, 유턴) 등으로 구성되고, 십자로의 경우 네 개의 진입로가 존재하기 때문에 동일방향의 이동류를 동질의 이동류로 간주할 경우 최대 16개의 이동류가 형성될 수 있다. 이러한 이동류 간 상충을 최소화하기 위하여 교통신호를 운영하며, 하나의 교통신호 현시(phase) 동안에는 상충이 없는 이동류(예를 들어, 동일 진입로의 직진과 좌회전, 우회전)의 교차로 진입만이 허용된다.

한편 교통량은 도로의 한 지점에서 주어진 시간동안 관측된 차량의 대수를 의미하며, 단위는 대/시(vehicle/hour)가 주로 사용된다[9]. 이는 속도 및 교통밀도와 함께 교통류의 특성을 나타내는 주요 속성 중 하나이다. 교통량은 그 정의에서 볼 수 있듯이 도로의 특정 지점에서 관측할 수 있기 때문에 가로를 대상으로 수집되어 왔다. 하지만 미래 교통 시스템은 도시 내 교차로를 중요한 데이터 수집 및 분석, 제어 대상으로 보기 때문에 교차로 내 교통량 수집의 필요성과 그 중요성이 더해지고 있는 실정이다.

본 연구에서 계수의 대상이 되는 교차로 이동류 교통량은 주어진 시간 동안 관측된 교차로 내 이동류별 차량 대수로 정의된다. 일반적으로 교통량은 도로의 한 지점에서 관측하며, 따라서 진입하는 차량들의 이동류는 동일하기 때문에 지나간 차량의 대수만 계수하면 되지만, 교차로에서는 다수의 이동류가 하나의 지점을 통과하며 이동하기 때문에 이동류별 교통량을 계수하기 위해서는 보다 복잡한 계수 방식이 요구된다.

### 2-2 시스템 요구사항

교차로 이동류 교통량을 계수하기 위해서는 먼저 이동하는 교통객체))를 인식하는 방법이 필요하다. 단순히 객체를 인식하는

2) 유턴은 이동류에서 제외되기도 하고, 보행자 통행을 하나의 독립된 이동류로 규정하기도 한다.

3) 교통객체는 일반적으로 자동차, 이륜차, 보행자, 자전거, 개인형이동수단 등 교차로에 진입 가능한 모든 교통수단을 의미하나, 본 연구에서는 자동차만을 대상으로 한다.

것뿐만 아니라 해당 객체를 추적하고, 교차로 진출입 여부와 진입/진출로의 구분이 가능해야 한다. 또한 실시간으로 관측되는 데이터를 수신하고 이를 분석하여 이동류 교통량을 계수해야 한다.

전통적으로 많이 활용되는 자동차 교통량 관측 방법으로는 루프 검지기(Inductive Loop Detector)와 영상검지기가 있다. 루프 검지기는 인식률이 높고, 신호 프로파일 분석을 통해 차종 구분도 가능하기 때문에 활용도가 가장 높지만 이동류 교통량 계수를 위해 상류부 진입 구간에 별도의 검지기 설치 비용 문제가 있고, 또한 기술적으로 특정 차량을 추적하기가 매우 어려운 단점이 있다. 반면, 영상검지기는 영상이 갖는 빛에 대한 의존성 문제에도 불구하고 최근 인공지능 기술 발전에 따라 인식정확도가 높아져 그 활용도가 높아지고 있는 실정이고, 별도의 알고리즘 도입을 통해 객체 추적 이 가능한 장점을 갖는다.

두 가지 방법에 공통적으로 요구되는 조건은 특정 차량을 관심구간의 교통량으로 간주하기 위한 기준으로, 루프 검지기는 검지기가 설치된 지점, 그리고 영상 검지기는 가상의 공간을 이용해서 그 기준을 설정한다. 따라서 미시 교통 시뮬레이션을 활용하여 교통량을 관측할 때 관심구간 내 기준선을 설정해 주어야 한다. 일반적인 미시 교통시뮬레이션에는 검지기 기능이 있기 때문에 교통량을 계수하려는 위치에 검지기를 설정하면 교통량 값을 얻을 수 있다. 하지만 본 연구의 대상인 교차로 이동류 교통량은 기준선 설정만으로는 그 값을 관측할 수가 없기 때문에 미시 교통 시뮬레이션에는 이를 검지 및 계수하는 기능이 없다. 이를 위해서는 차량을 추적하는 기능, 즉 교차로에 진입할 때와 진출할 때 이용한 링크를 확인하여 이동류를 구분함으로써 교차로 이동류 교통량을 관측하는 기술이 필요하다. 이는 최근 C-ITS 기술에 활용되는 교차로 영상검지기 기반의 관측 방법[10]을 응용하여 구현이 가능한데, 교차로 전체를 실시간으로 모니터링 하면서 개별 차량의 움직임을 추적하는 방법이다. 따라서 제안된 시스템의 구현을 위해서는 미시 교통 시뮬레이션 환경 내에 이러한 기능을 개발할 필요가 있다. 여러 링크를 따라 이동하는 차량의 추적 기능을 구현하기 위해서는 링크 연결 관계를 관리하는 기능과 링크 내 차량 리스트를 지속적으로 갱신하는 기능, 특정 링크를 진입/진출하는 차량 리스트 관리 기능이 필요하다. 또한 이러한 기능과 시뮬레이션 코어 모듈과의 연계를 위한 API 플러그인이 필요하고, 마지막으로 차량의 위치를 차로 수준에서 확인할 수 있는 기능이 요구된다.

### 2-3 시스템 설계

앞 절에서 분석된 요구사항을 만족하기 위해 제안된 시스템을 Fig. 2와 같이 다섯 개의 서브 모듈과 한 개의 매핑 테이블로 설계하였다.

첫 번째 모듈은 링크-커넥터 간 관계 관리자이다. 본 연구에서는 VISSIM[11]을 미시 교통 시뮬레이션 툴로 활용한다. 일반적으로 미시 교통 시뮬레이션 툴에서 교차로 내 차량 주행을 표현하는 방법은 두 가지가 있는데, 첫 번째 방법은 실제 존재하지 않는 가상의 선을 이용하여 차량이 주행하도록 하는 방법이고(PARAMICS[12]), 두 번째 방법은 가시적인 (여전히 가상의) 선을 이용하여 차량을 주행시키는 방법이다.

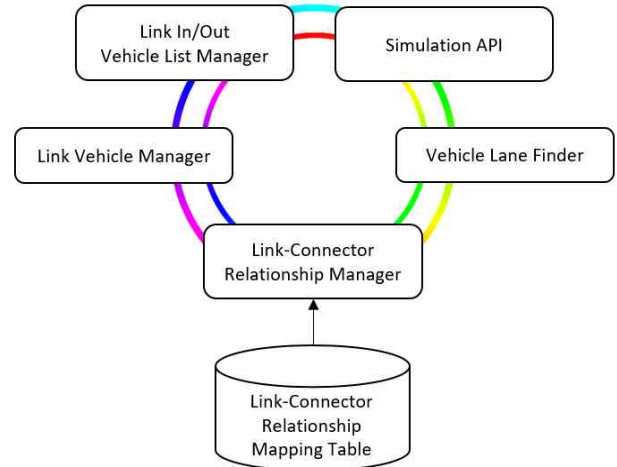


그림 2. 이동류 교통량 계수 시스템 구성  
Fig. 2. Architecture of movement traffic counting system

VISSIM은 후자의 방법을 이용하며, 이때 교차로 내 차량의 주행을 위해 추가되는 링크를 커넥터(connector)라고 한다(Fig. 3). 참고로 링크(link)는 도로구간을, 커넥터는 링크와 링크를 연결하는 가상의 선을 표현한다는 개념적 차이를 제외하고, 링크와 커넥터는 거의 유사하게 작동한다. 커넥터는 링크 내 특정 차량과 직접적인 연결 관계를 갖기 때문에 이를 별도의 매핑 데이터 테이블로 구축/관리하고(Table 1), 다른 모듈에서 관련 정보를 요청할 경우 링크-커넥터 간 관계 관리자가 정보를 추출하여 알려주는 역할을 한다. 이러한 구조는 이동류 교통량 계수가 필요한 교차로별로 한 개의 링크-커넥터 매핑 테이블을 만들어 관리하면 되기 때문에 확장이 용이한 장점을 갖는다.

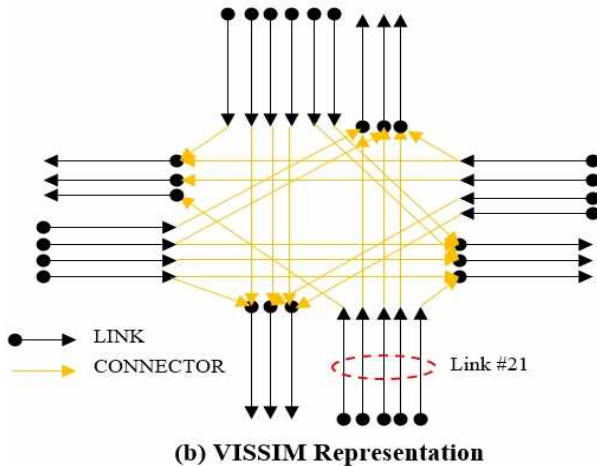
두 번째 모듈은 시뮬레이션 API로, 교통 시뮬레이션의 구동과 정지, 도로망과 개별 차량 데이터의 검색 및 조회를 담당한다. 이는 다른 네 개의 모듈이 작동하기 위해 필요한 교통 데이터를 시뮬레이션으로부터 조회하여 전달해주는 연계 기능을 수행한다. 예를 들어 특정 모듈이 실시간 링크 내 차량 리스트를 필요로 하거나 특정 차량이 현재 이용 중인 차로번호를 필요로 할 경우 이에 대한 값을 시뮬레이션으로부터 조회하여 전달하는 기능을 수행한다.

세 번째 모듈은 링크 내 차량 리스트를 관리하는 링크 차량 관리자(Link Vehicle Manager, LVMan)이다. 미시 교통 시뮬레이션은 초당 수회의 계산을 통해 차량의 이동을 도로망에 나타내고, 그에 따라 차량은 여러 개의 연속된 링크에 진입/진출을 반복한다. 이동류 교통량 계수를 위해서는 이렇게 실시간으로 이동하는 차량 중 교차로 내 커넥터에 진입/진출하는 차량에 대한 실시간 조회가 가능해야 하며, 이를 위해 현재의 차량 리스트뿐만 아니라 이전 시간대 차량 리스트의 관리가 필요하다. 이러한 요구사항을 만족하기 위해 링크 차량 관리자가 필요하며, 이는 현재 차량 리스트와 이전 시간대 차량 리스트를 비교하기에 용이해야 한다. Python의 set(집합) 자료형은 두 집합의 차집합

을 빠르게 계산하는 차집합 연산자(-)를 제공하기 때문에 차량 리스트를 관리하기에 최적의 자료형이라 할 수 있으며, 제안된 시스템의 구현 단계에서 해당 자료형을 이용하여 링크 차량 관리자를 구현하였다.



(a) Satellite Image



(b) VISSIM Representation

그림 3. 성능 검증 대상 교차로 (실세계 vs. VISSIM)  
 Fig. 3. The intersection for performance test (Real-world vs. VISSIM representation)

네 번째 하위 모듈은 링크에 진입하거나 진출하는 차량을 실시간으로 검색하고 이를 리스트로 관리하는 링크 진출입 차량 리스트 관리자(Link In/Out Vehicle List Manager, LIOMan)이다. LIOMan은 LVMan과 긴밀하게 데이터를 주고 받으며 차량 리스트를 관리하며, 다음 식을 이용해서 지속적으로 링크 진입 리스트를 갱신한다. 링크 진출 리스트는 집합 B에서 집합 A를 빼는 연산으로 갱신이 가능하다. 이때 시간 t의 크기는 자유롭게 설정이 가능하나, 지나치게 크게 할 경우 짧은 링크에서는 진입/진출로 계수되지 않는 차량이 존재할 수 있으므로 유의해야 한다.

$$V_{l,enter}^t = \Psi(V_l^t, V_l^{t-1}) \tag{1}$$

여기서,

$V_{l,enter}^t$ : 시간 t 동안 링크 l로 진입하는 차량의 리스트,

$V_l^t$ : 시간 t에 링크 l에 존재하는 차량의 리스트,

$\Psi(A,B)$ : 집합 A에 대한 B의 차집합, 즉,  $\Psi(A,B) = A - B$ .

마지막 모듈인 차량 이용 차로 검색기(Vehicle Lane Finder)는 이전 또는 현재 시간에 차량이 이용한 차로번호를 검색한다. 현재의 차로번호는 시뮬레이션 API로부터 언제든지 조회가 가능하지만, 이전 시간에 이용한 차로번호는 조회가 불가능하기 때문에 이를 별도로 관리함으로써 차량이 속한 이동류를 구분할 수 있게 된다.

### III. 시스템 구현 및 성능 검증

#### 3-1 구현

제안된 이동류 교통량 계수기의 성능을 검증하기 위해 실제 현장 도로 데이터(형상, 교통 신호 주기 등)를 활용하여 VISSIM 도로망을 구축하고, Python 프로그래밍 언어와 VISSIM Python API 함수를 이용해서 하위 모듈을 개발하였다.

표 1. 링크-커넥터 매칭 데이터 레코드 구성

Table 1. Data record of link-connector matching relationship

No	Field Name	Description
1	Intersection ID	Unique ID of Intersection
2	Matching ID	Unique ID of a pair of exit-enter lanes
3	Exit Link/Connector ID	Unique ID of Exit Link/Connector (ID from Micro Traffic Simulation)
4	Lane No. of Exit Link/Connector	Unique ID of a lane which a vehicle use when leaving a link
5	Enter Link/Connector ID	Unique ID of Enter Link/Connector (ID from Micro Traffic Simulation)
6	Lane No. of Enter Link/Connector	Unique ID of a lane which a vehicle use when entering a link

성능 검증을 위한 공간적 범위는 경기도 고양시에 위치한 고양체육관 사거리이다(Fig. 3). 네 개의 도로가 연결된 4지 교차로이고, 접근 차로별로 좌회전, 직진, 우회전, 직좌, 직우 등의 이동류가 형성되어 총 22개의 이동류가 존재한다. 개별 차량의 이동류를 확인하기 위해 링크-커넥터 매칭 데이터를 구성하였고, 그 세부내용은 Table 2와 같다. 참고로 링크는 두 자리 숫자의 ID를 갖고, 커넥터는 다섯 자리 숫자의 ID를 갖는다. 시간적 범위는 총 1시간이고, 교통량 계수를 위한 관측 단위 시간 간격은 5초이다. 즉, 5초 단위로 이동류 교통량을 계수한다. 관측 단위 시간 간격은 연구의 목적에 맞게 수정이 가능하다. 단, 너무 짧은 시간 간격의 경우 교통량을 관측하기 어려울 수 있기 때문에 최소 3초 이상을 추천한다.

### 3-2 성능 검증

링크 21번에 대한 시간별 직진, 좌회전, 우회전, 그리고 모든 차로에 대한 이동류 교통량의 총합은 Table 3과 같다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 해당 링크(접근로)의 각 차로(lane)는 독립적인 이동류(movement)를 갖는다. 즉, 하나의 차로에서 하나의 이동류만 발생하며, 1차로는 좌회전 이동류, 2, 3, 4차로는 세 개의 서로 다른 직진 이동류, 5차로는 우회전 이동류에 각각 대응된다. VISSIM의 검지기 기능을 이용하여 해당 링크의 총 교통량과 제안된 방법으로 계수한 총 교통량은 2,364대로 동일하게 나타났다.

이를 통해 제안된 이동류 교통량 계수방법이 정확하게 작동함을 확인할 수 있었다.

이동류별 교통량의 시간에 따른 변화는 Fig. 4를 통해 확인할 수 있다. Fig. 4(a)와 같이 직진의 경우 최대 13대/5초의 교통량이 계수되었고, 직진 3개 차로의 평균 교통량은 2.4대/5초로, 이는 시간으로 환산했을 때 1,728대/시이다. 좌회전은 최대 3대/5초(Fig. 4(b)), 우회전은 최대 4대/5초(Fig. 4(c))로 확인된다. 모든 차로에 대한 이동류 교통량을 계수했을 경우에는 최대 14대/5초의 차량이 계수되었다(Fig. 4(d)).

### 3-3 현장 적용 방안

교차로 이동류는 일반 도로구간 교통류와 달리 한정된 공간에서 다양한 형태로 발생이 되기 때문에 기존 교통량 관측 방법으로는 교통량을 관측하기가 어렵다. 따라서 새로운 방식의 관측 방법이 필요하기 때문에 본 연구에서 그 방법과 시스템을 제안하였다. 하지만 제안된 시스템은 미시 교통 시뮬레이션이라는 가상의 환경 하에서만 작동이 되기 때문에 현실 세계 적용을 위해서는 인식된 교통객체 위치 결정이 필요하다. 즉, 영상검지기 등을 통해 교통객체로 인식된 것을 정밀도로지도와 매핑하여 정확한 차로 또는 교차로 내 위치를 식별하여 데이터화하고, 이를 제안된 시스템에 전달하는 작업이 필요하다.

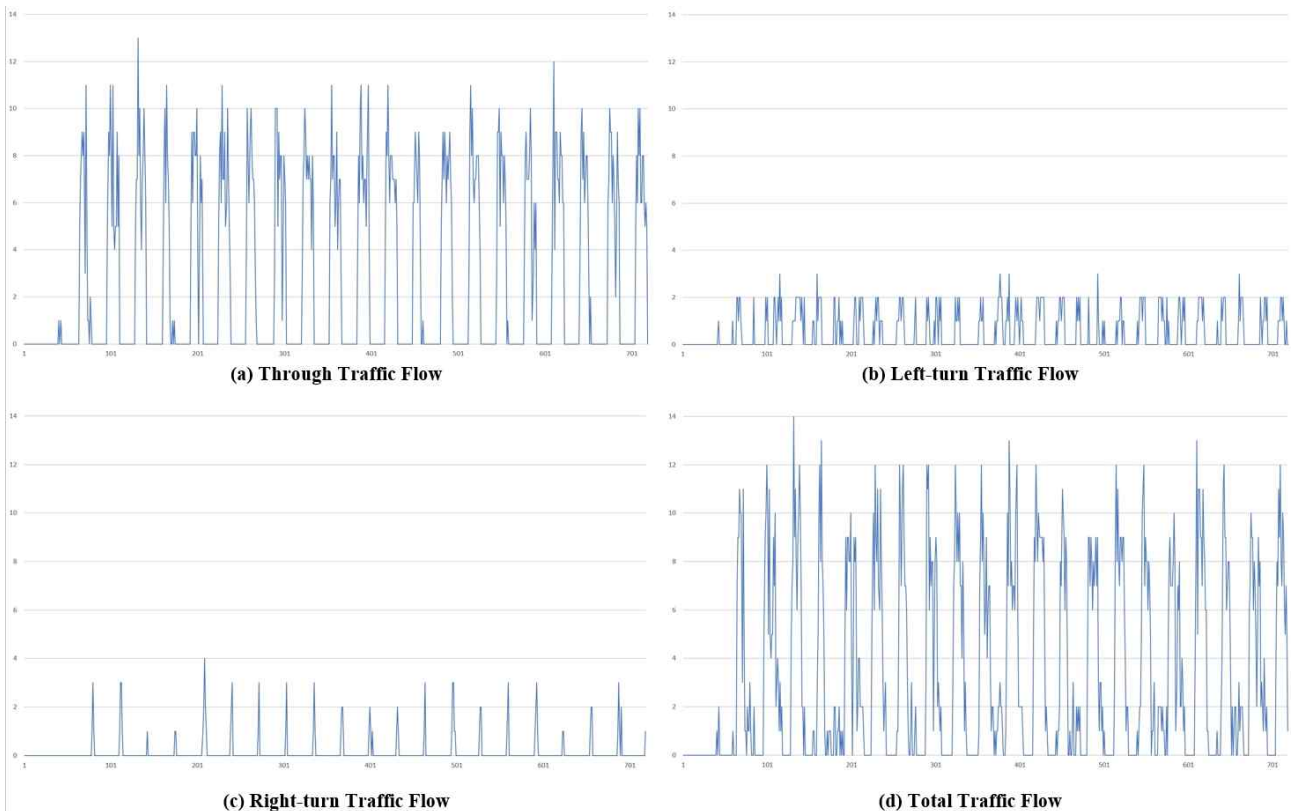


그림 4. 시간에 따른 이동류 교통량  
Fig. 4. Time-dependent movement traffic flow

이 작업은 제안된 시스템의 하위 모듈 중 시뮬레이션 API와 차로 검색기에 해당하는 것으로, 두 개의 모듈 대신 해당 작업으로 완료된 데이터를 전달하는 모듈을 연계하면, 제안된 시스템을 이용해서 실세계 교차로에서 실시간으로 이동류 교통량을 계수할 수 있다.

표 2. 링크-커넥터 매칭 데이터

Table 2. Data of link-connector matching relationship

Intersec tion ID	Matchin g ID	Exit L/C ID	Lane No. of Exit L/C	Enter L/C ID	Lane No. of Enter L/C
2	1	19	1	10043	1
2	2	19	1	10009	1
2	3	19	2	10009	2
2	4	19	3	10011	1
2	5	19	4	10011	2
2	6	10014	1	22	1
2	7	10016	1	22	1
2	8	10016	2	22	2
2	9	10016	3	22	3
2	10	21	1	10014	1
2	11	21	2	10012	1
2	12	21	3	10012	2
2	13	21	4	10012	3
2	14	21	5	10015	1
2	15	10019	1	24	1
2	16	10020	1	24	1
2	17	10020	2	24	2
2	18	10020	3	24	3
2	19	10011	1	24	2
2	20	10011	2	24	3
2	21	23	1	10019	1
2	22	23	1	10016	1
2	23	23	2	10016	2
2	24	23	3	10016	3
2	25	48	1	10066	1
2	26	48	2	10066	2
2	27	10022	1	18	1
2	28	10009	1	18	1
2	29	10009	2	18	2
2	30	10015	1	18	3
2	31	25	1	10022	1
2	32	25	2	10020	1
2	33	25	3	10020	2
2	34	25	4	10020	3
2	35	25	5	10023	1
2	36	25	6	10023	2
2	37	10043	1	20	1
2	38	10012	1	20	1
2	39	10012	2	20	2
2	40	10012	3	20	3

#### IV. 결 론

본 연구에서는 미시 교통시뮬레이션을 활용하여 실시간으로 교차로 이동류 교통량을 계수(count)하는 시스템을 개발하였다. 미시 교통 시뮬레이션 툴 VISSIM 기반의 다섯 개 하위 모듈로 구성된 시스템은 교차로의 모든 가능한 이동류에 대한 교통량 계수가 가능하도록 설계 및 개발되었다. 실세계 교차로를 대상으로 제안된 시스템의 성능을 검증한 결과, 교차로 내 이동류 교통량을 정확하게 관측하는 것으로 확인되었다.

이는 향후 자율주행과 C-ITS 등의 미래 교통 시스템 응용 서비스 개발 연구에 다양하게 활용이 가능할 것으로 기대된다. 다만, 제안된 시스템은 미시 교통 시뮬레이션 내에서 작동하는 이동류 교통량 계수기이기 때문에 현실 세계 검지기와의 연동 및 센서 데이터의 처리, 객체 인식 알고리즘 개발 등의 향후 연구 수행이 필요하다.

표 3. 차로별(이동류별) 교통량

Table 3. Traffic flow by lane(movement)

Movement	Lane	Traffic (veh.)
Left-turn	1	353
	2	712
Through	3	594
	4	602
Right-turn	5	103
Total		2,364

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업(21PQOW-B152473-03) "도심도로 자율협력주행 안전·인프라 연구" 과제의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] M. A. Abdel-Aty and A. E. Radwan, "Modeling traffic accident occurrence and involvement," *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 32, No. 5, pp. 633-642, 2000.
- [2] T. Afrin and N. Yodo, "A survey of road traffic congestion measures towards a sustainable and resilient transportation system," *Sustainability*, Vol. 12, No. 11, 4660, 2020.
- [3] I. Yang and R. Jayakrishnan, "Real-time network-wide traffic signal optimization considering long-term green ratios based on expected route flows." *Transportation*

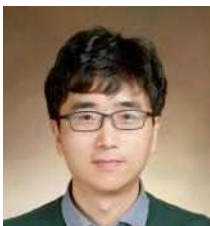
- Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 60, pp. 241-257, 2015.
- [4] Henry X. Liu, Xinkai Wu, Wenteng Ma, and Heng Hu, "Real-time queue length estimation for congested signalized intersections," *Transportation research part C: emerging technologies*, Vol. 17, No. 4, pp. 412-427, 2009.
- [5] Jaimyoung Kwon, Benjamin Coifman, and Peter Bickel, "Day-to-day travel-time trends and travel-time prediction from loop-detector data," *Transportation Research Record*, Vo. 1717, pp. 120-129, 2000.
- [6] A. Fedorov, K. Nikolskaia, S. Ivanov, V. Shepelev, and A. Minbaleev, "Traffic flow estimation with data from a video surveillance camera," *Journal of Big Data*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-15, 2019.
- [7] J. M. Munoz-Ferreras, F. Perez-Martinez, J. Calvo-Gallego, A. Asensio-Lopez, B. P. Dorta-Naranjo, and A. Blanco-del-Campo, "Traffic surveillance system based on a high-resolution radar," *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, Vol. 46, No. 6, pp. 1624-1633, 2008.
- [8] I. Yang and W-H. Jeon, "Development of traffic state observation technology using automotive sensors," *The Journal of Digital Contents Society*, Vol. 19, No. 11, pp. 2131-2137, 2018.
- [9] Roger P. Roess, E. S. Prassas and William R. McShane, *Traffic Engineering*, Prentice Hall, 2010.
- [10] Harini Veeraraghavan, Osama Masoud, and Nikolaos P. Papanikolopoulos, "Computer vision algorithms for intersection monitoring," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 4, No. 2. pp. 78-89, 2003.
- [11] M. Fellendorf, and P. Vortisch. *Microscopic traffic flow simulator VISSIM in Fundamentals of traffic simulation*, Springer, New York, NY, pp. 63-93, 2010.
- [12] Gordon Cameron and Gordon Duncan, "PARAMICS—Parallel microscopic simulation of road traffic," *The Journal of Supercomputing*, Vol. 10, No. 1, pp. 25-53, 1996.



**양인철(Inchul Yang)**

1998년 : 연세대학교 도시공학 학사  
 2000년 : 연세대학교 도시공학석사  
 2011년 : Ph.D. in Civil Engineering at Univ. of California, Irvine

2000년~2006년: 현대오토에버  
 2006년~2011년: Institute of Transport Studies, UCI  
 2011년~현 재: 한국건설기술연구원 연구위원  
 ※관심분야: 첨단교통, 자율주행, C-ITS, 도로안전, 도로시설



**전우훈(Woo-Hoon Jeon)**

1999년 : 한양대학교 교통공학 학사  
 2001년 : 한양대학교 교통공학 석사  
 2016년 : 서울대학교 도시계획학 박사

2001년~현 재: 한국건설기술연구원 연구위원  
 ※관심분야: 도로안전, 무동력 교통수단, 모바일 앱, 도로시설