

# 공공보건을 고려한 시뮬레이션 연계기반 속도관리전략 평가기법 개발

주신혜 · 오철\*

한양대학교 교통·물류공학과

## An Integrated Simulation Approach for Evaluating Speed Management Strategies Considering Public Health

JOO, Shinhye · OH, Cheol\*

Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea

\*Corresponding author: cheolo@hanyang.ac.kr

### Abstract

Recent interests in both vehicle emissions and public health have facilitated the development of more eco-friendly transportation systems. This study proposed an integrated simulation approach for evaluating the effectiveness of speed management strategies from the various perspectives including safety, operational efficiency, and environmental compatibility. Those simulation methods include driving simulation, traffic flow simulation, emissions simulation, and air dispersion simulation. An essence of the proposed simulation framework is to create the systematic connection of each simulation method toward the evaluation of effectiveness of speed management strategies. As an example, chicane and speed hump in residential area were evaluated by the proposed method. It is expected that the proposed simulation-based approach would be effectively used for the decision-making process in selecting better alternatives considering both safety and public health.

**Keywords:** integrated simulations approach evaluation method, public health, speed management strategies, traffic calming measures, traffic safety

### 초록

최근 교통안전과 공공보건에 대한 관심이 증대됨에 따라 친환경 교통시스템의 설계 및 구축의 필요성도 높아지고 있다. 교통의 패러다임 변화 및 환경성 관심의 증대로 공공보건 및 교통안전 증진을 위한 교통관리전략이 요구됨에 따라 본 연구에서는 이를 평가할 수 있는 시뮬레이션 연계기반의 평가방법론을 개발하는 연구를 수행하였다. 이를 위해 교통시뮬레이션 및 환경시뮬레이션을 연계하여 교통관리전략의 효과를 미시적 및 거시적 관점으로 통합평가 할 수 있는 분석 틀과 절차를 제시하였다. 본 연구에서 제안하는 방법론을 교통정온화기법을 바탕으로 하는 속도관리전략의 효과를 평가하는데 적용하여 분석사례를 제시하였다. 분석결과 시케인을 적용한 시나리오가 종합적으로 기존 미설치의 경우보다 우수한 것으로 도출되어 기존의 교통환경을 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 무분별한 과속방지턱 보다는 효과적인 속도감속유도를 위한 타 시설을 고려할 필요가 있다. 본 연구의 결과는 공공보건 및 교통안전 등 다양한 요소를 고려한 교통관리전략 수립 시 정책결정자의 의사결정을 효과적으로 지원할 것으로 판단된다.

**주요어:** 시뮬레이션 연계기반 평가기법, 공공보건, 속도관리전략, 교통정온화기법, 교통안전

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.34, No.6, pp.548-559, December 2016  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2016.34.6.548>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

Received: 20 October 2016

Revised: 6 December 2016

Accepted: 14 December 2016

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

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.

## 서론

교통의 패러다임은 과거 차량의 소통 및 이동성을 위한 도로설계 관점에서 최근 안전, 편의 등 이용자 친화적인 도로설계 관점으로 변화하고 있다. 예를 들어 주거지역, 생활도로 등 이용자의 안전이 중시되는 지역에서는 존 30, 본엘프(Woonerf), 교통정온화구역 등 속도관리를 통한 다양한 형태의 교통안전 중심의 도로설계가 활발히 진행되고 있다. 이와 더불어 최근 환경에 대한 이슈가 고조되어 교통에서도 교통관련 대기오염에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다. 이에 따라 이산화탄소 및 미세먼지 등 차량배출가스 저감, 저탄소 교통관리전략, 친환경·저공해 차량 개발 등 다양한 교통정책이 수립되고 있는 실정이다. 교통정온화 기법(Traffic calming measures)은 속도관리를 위해 운전자의 주행행태 변화를 유도함으로써, 주택가 도로에서의 안전성 확보를 위해 적용되는 도로·교통 운영기법이다 (Hass-Klau, 1990). 차량 속도와 교통량을 감소시켜 보행자 및 자전거 이용자의 도로 이용이 안전하고 편리하게 만들고, 소음이나 대기오염으로부터 생활권을 보호하기 위한 교통관리전략이다.

국내의 교통정온화 기법과 관련한 설치방법은 현행 관련 법규 및 규칙, 편람 등에 포함되어 있으나, 개별 시설물의 단독설치와 관련된 내용으로 구성되어 있어 네트워크차원에서의 효과를 체계적으로 고려한 설치 및 운용에는 한계가 있다. 교통정온화 기법을 잘못 적용할 경우, 응급차량 등의 지체증가, 지나친 가·감속 유발로 인한 안전성 저하 문제 등이 발생하게 된다. 차량배출가스는 저속상태와 같이 저속상태에서의 잦은 가·감속 주행행태에서 불완전연소로 발생량이 증가하게 된다. 따라서 교통안전을 위한 저속구간, 즉 주거지역, 생활도로 및 어린이보호구역 등에서 속도관리 시설을 잘못 설치하는 경우 차량배출가스 발생량이 증가하여 이용자의 인체에 유해한 영향을 미칠 가능성이 있다. 개별차량의 속도변화와 가감속 패턴은 차량간 상호작용을 통해 후방에 전달되어 정체를 유발할 수 있다. 이와 같은 행태는 교통류 및 교통망 전체에 영향을 미치며, 이 때 도로상에 발생된 차량배출가스는 증대하게 되며, 도로변 및 도시내 대기오염 물질 수준을 악화시킬 수 있다. 따라서 교통관리전략 수립시 안전성뿐만 아니라 교통 환경 즉, 공공보건 측면을 고려한 전략을 수립하여야 하며, 교통체계의 차량간의 상호작용을 고려한 분석수준의 다각화가 필요하며, 미시적 분석과 거시적 분석의 융합이 요구된다.

이에 본 연구에서는 교통안전 증진 뿐만 아니라 공공보건도 또한 고려할 수 있는 교통관리전략이 요구됨에 따라 이를 평가할 수 있는 시뮬레이션 연계 기반 속도관리전략 평가방법론 개발을 목적으로 연구를 수행하였다. 교통시뮬레이션 및 환경시뮬레이션을 연계한 방법론을 제시하여 미시적·거시적 관점의 통합평가를 수행하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 국내외 관련문헌을 검토하였으며, 3장에서는 공공보건 및 교통안전을 고려한 시뮬레이션기반 교통관리전략 평가방법론을 제시하였다. 4장에서는 앞서 제시한 방법론에 따른 시뮬레이션기반 교통관리전략 통합평가 및 적용결과를 제시하였으며, 마지막 장에서는 본 연구의 연구결과를 요약하고, 연구의 활용방안 및 향후 연구과제에 대해 서술하였다.

## 선행연구 고찰

### 1. 시뮬레이션기반 교통관리전략 평가관련 연구

시뮬레이션 기반의 교통관리전략평가는 주행시뮬레이션기반 평가와 미시교통류시뮬레이션기반 평가로 나누어진다. 주행시뮬레이션을 통한 연구는 개별운전자의 주행패턴을 분석하여 결과를 도출하였다. Pyne et al.(1995)은 주행시뮬레이션을 이용하여 주거지역의 속도저감을 유도하는 시설물을 평가하였다. 속도저감 유도시설로 제한속도 표지판과 함께 제한속도 변경구간과의 거리를 표시하는 표지판, 시케인, 노면표시등 다양한 시나리오를 구성하여 운전자의 주행속도를 비교하였다. 분석결과 시케인 설치가 가장 효과적인 것으로 도출되었다. Alley(2000)는 게이트웨이의 속도관리 전략을 주행시뮬레이션을 통해 평가하였다. 속도관리전략으로 도로폭 축소, 교통섬 면적 확장 등의 기하구조 변경, 표지판 제원 확대 등의 시설물 변경을 시나리오로 설정하고 통행속도를 평가하였다. 분석결과, 기하구조 변경등의 강력한 설계 변경시 속도저감에 효과적이며, 시나리오에 따라 감속 시작위치가 다르게 나타나는

것을 확인하였다. Jamson et al.(2008)은 주행시물레이션을 활용하여 주거단지 내 속도저감을 유도하는 노면표시 및 기타시설에 대한 속도저감 효과와 경제성평가를 수행하였다. 속도저감을 유도하는 표지판 설치, 갈매기 표시, Dragon Teeth 노면표시, 수목설치 등 다양한 시나리오를 적용하여 속도자료를 수집하였다. 분석결과 표지판 설치 및 노면표시에서는 Countdown 표지판설치가 효과적인 것으로 도출되었다. Ariën et al.(2013)은 지방부 및 도시부의 주도로에서 도시지역으로 진입하는 게이트의 속도관리를 위하여 교통정온화 기법 시나리오를 설정하고, 이에 대한 평가를 수행하였다. 주행행태 자료로 속도뿐만 아니라 평균반응시간(Mean response time)자료를 수집하여 분석한 결과 직선도로보다 선형변형을 한 시나리오가 감속유도에 효과적인 것으로 도출되었다.

미시교통류시물레이션을 통한 연구는 다음과 같다. Garcia et al.(2011)은 미시적 시물레이션을 통해 과속방지턱과 스피드테이블 설치로 인한 도로의 운영효율성을 평가하였다. 미시적 시물레이션으로 용량 및 평균지체의 변화를 평가하였다. Lee et al.(2013)은 교통정온화기법의 세 가지 시나리오를 설정하고 미시적 교통류 시물레이션을 통해 운영효율성, 안전성, 환경성을 평가하였다. 과속방지턱, 스피드테이블, 시케인 등 세 가지 시나리오에 대해서 분석한 결과 시케인 설치가 운영효율성, 안전성, 환경성 측면에서 모두 효과적인 것으로 도출되었다. Ghafghazi et al.(2015)는 교통류시물레이션을 이용하여 교통안전과 교통환경 측면을 평가하였다. 환경성 측면에서는 차량배출가스 발생량을 비교하였다. Brugmann et al.(2014)은 미시적 교통류 시물레이션의 한계에 대해 제시하였다. 미시적 교통시물레이션은 개별차량의 주행행태 즉, 가·감속 패턴에 따른 차량간의 상호작용 반영에 한계가 있고, 이를 극복하기 위해 따라서 주행행태 파라미터의 정산과정 필요성이 요구됨을 제시하였다.

## 2. 교통정온화기법 평가 관련 연구

속도관리전략 중 하나인 교통정온화기법과 관련하여 용량 및 속도 변화에 따른 평가와 차량배출가스발생량에 따른 환경성 평가측면의 연구가 수행되었다. Garcia et al.(1989)는 교통운영측면에서 교통정온화기법 적용에 따른 용량변화를 분석하였다. Cottrell et al.(2006)은 지점속도를 활용하여 과속방지턱 설치 전·후 분석을 수행하였다. Abate et al.(2009)는 진출입구에서 교통정온화기법을 적용할 경우 속도분산에 따른 효과분석을 수행하였다. 실제 도로구간에 교통정온화 기법 설치 전·후비교분석을 통해 결과를 도출하였다. Moreno et al.(2011)은 스피드테이블(Speed table) 설치시 가·감속의 주행행태를 분석하여 제시하였다.

환경성과 관련한 연구는 다음과 같다. Litman et al.(1999)는 교통정온화기법의 편익, 비용, 가치등의 측면등을 조사·분석하여 제시하였다. 평균적으로 교통정온화 기법적용시 속도는 50kph에서 30kph로 감소하는 것으로 나타났다. 차량 배출가스 또한 감소하여 편익이 발생하는 것을 제시하였다. Ahn et al.(2002)는 감속 및 가속 행태에 초점을 맞추어 과속방지턱 설치 전·후의 차량배출가스 발생량을 추정하여 분석을 수행하였다. Ahn et al.(2008)은 교차로에서의 개선방안으로 과속방지턱, 교통써클, 정지표지판을 설치하여 실제 GPS 프로브차량을 이용하여 차량배출가스 발생량을 비교분석하였다. GPS프로브차량에서 수집된 속도자료를 이용하여 VT-Micro model에 적용하여 배출가스 발생량을 추정하여 비교분석을 수행하였다.

## 3. 교통측면 환경성평가 관련 연구

교통측면 환경성평가는 크게 차량배출가스 발생 총량개념의 분석과 대기확산을 고려한 농도개념의 연구가 수행되었다. Al-Deek et al.(1995)는 경로정보제공시스템 중의 하나인 Advanced Traveler Information System (ATIS)에 따른 대기질 평가를 수행하였다. 대기질 평가를 위해 총량개념의 차량배출가스 발생량에 초점을 맞추어 연구를 수행하였다. Bartin et al.(2007)은 Electronic Toll Collection (ETC)를 환경성 측면에서 효과를 평가하였다. 차량배출가스 중 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물, 미세먼지의 발생총량을 비교하였다. Barth and Boriboon(2008)은 교통정체에 따른 이산화탄소 발생량을 추정하였다. Hu et al.(2016)은 국내 차종, 주행특성 등을 고려하여 MOVES Lite-K를 개발하기 위한 연구를 수행하였으며, 평균속도 기반의 배출계수 곡선식과 MOVES Lite-K의 배출량 산

정 특성을 비교하였다. 이를 통해 두 방법론의 차이와 국내 적용성을 검토하였다.

대기확산을 고려한 농도개념의 연구는 현재 지속적으로 진행되고 있다. Lin and Yu(2008)은 Open Road Tolling (OPT)의 형태에 따른 일산화탄소와 미세먼지 농도를 추정하여 최적 설계대안을 제시하였다. 차량배출가스의 농도에 따른 핫스팟(hotspots)을 비교하여 최적대안을 도출하였다. Shekarrizfard et al.(2013)은 차량배출가스 모형과 대기확산모형의 결합을 통해 도로주변의 대기질 평가를 위한 연구를 수행하였다. Yang et al.(2013)은 교통에서 배출된 오염물질만을 고려한 확산 분석과 교통에서 배출된 오염물질과 주변오염물질농도를 결합하여 분석하는 두 가지 분석 모형에 대한 방법론을 제시하였다. Rehim and Landolsi(2013)은 가우시안 플럼모형을 활용하여 차량배출가스의 확산과 교통현상의 관계를 수치적모형으로 개발하였다.

#### 4. 기존연구와의 차별성

시물레이션기반 교통관리전략 평가관련 기존문헌 고찰결과 한가지 시물레이션에 의한 평가가 이루어졌다. 주행시물레이션은 개별차량의 주행패턴파악은 용이하나 차량간 상호작용으로 인한 영향분석에 한계가 있다. 또한 교통시물레이션은 개별 운전자의 실제 주행행태 반영에 한계가 있다. 그러므로 상호 보안을 위한 시물레이션 연계가 요구된다.

기존의 연구에서는 교통정온화기법 평가시 기 설치된 구간에서의 실제 주행자료를 측정하여 전·후 비교평가가 이루어졌다. 그러나 교통정온화기법으로 과속방지턱에 관한 연구로 한정되어 있어 타 기법과의 비교평가는 미비한 것으로 판단된다.

교통측면 환경성 연구고찰 결과 지·정체등의 교통조건, 교통관리전략에 따른 환경성 평가가 수행이 꾸준히 진행되고 있으며, 차량배출가스 총량 분석 또는 대기확산을 고려한 연구가 수행되고 있다. 그러나 주로 총량개념에 초점을 맞추고 있으며, 이동성이 중시된 고속도로의 관리전략에 초점을 맞추어 연구가 수행되고 있어 차량배출가스에 직접 노출될 수 있는 보행자 및 자전거 이용자가 많은 생활도로 및 도시부 도로에 대한 연구가 미흡한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 교통관리전략 수립시 공공보건 및 교통안전 증진을 위한 전략마련을 위하여 교통측면의 운영효율성 및 안전성, 그리고 공공보건측면의 환경성을 분석하고자 한다. 또한 교통관리전략은 사전설계가 중요하므로 사전설계에 활용될 수 있는 시물레이션 기반으로 통합평가기법을 개발하였으며, 개별 시물레이션의 한계를 극복하고자 시물레이션 연계를 통한 분석을 수행하였다. 본 연구에서 제시하는 방법론은 공공보건 및 교통안전 증진을 위한 교통관리전략 수립시 사전평가단계에 활용가능하며 정책결정자의 의사결정을 효과적으로 지원할 것으로 판단된다.

### 시물레이션 연계기반 교통관리전략 평가방법론

#### 1. 분석개요

본 연구에서는 공공보건 및 교통안전증진을 고려한 교통관리전략으로 교통정온화기법을 선정하여 어린이보호구역(School zone)에 적용하여 적정기법으로 도출하였다. 분석 시나리오는 어린이보호구역 속도관리를 위하여 시케인과 과속방지턱을 선정하였다. 또한 교통관리전략 평가를 위한 운영효율성 평가지표로는 평균속도, 안전성의 평가 지표로는 상충심각도를 의미하는 Delta S를 선정하였으며, 질소산화물의 평균농도를 환경성 평가지표로 적용하였다. 다음은 시나리오 평가를 위하여 교통시물레이션인 주행시물레이션과 교통류시물레이션, 환경시물레이션인 차량배출가스 시물레이션과 대기확산 시물레이션에 분석구간의 do-nothing 시나리오와 교통정온화 기법을 적용한 시나리오를 구현하여 교통자료 및 환경자료를 수집하였다. 수집된 자료를 가공·처리하여 운영효율성, 안전성, 환경성 평가지표를 도출하였다. 도출된 각 평가지표를 통해 교통관리전략에 대한 적용 전·후 비교평가를 수행한다. 또한 오염물질 농도에 따른 대기질평가를 통해 교통관련 오염물질 노출영향권을 검토하여 결론을 도출하였다. 본 연구에서 제안하는 시물레이션 연계기반 교통관리전략 평가 수행과정을 Figure 1에 제시하였다.

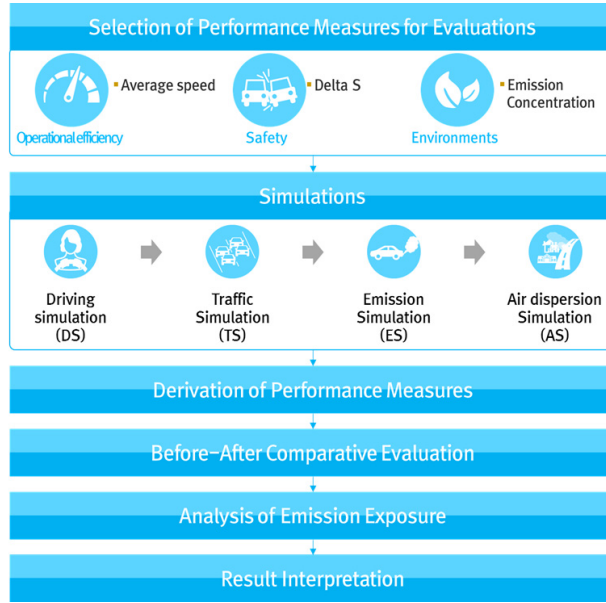


Figure 1. Study procedure

## 2. 시나리오 설정 및 자료수집

### 1) 분석범위

본 연구에서 안산시 상록구 사동(면적:  $9.67 \text{ km}^2$ )을 공간적 분석범위로 설정하고 연구를 수행하였다. 분석범위에는 주로 주거단지를 이루고 있으며, 11개의 초등학교, 중학교, 고등학교가 위치하고 있다. 분석범위 내 일반도로의 제한속도는 60km/h 또는 70km/h이며, 초등학교 인근 어린이보호구역(School zone)의 제한속도는 30km/h이다. 어린이보호구역은 공공보건 취약계층인 어린이의 주 생활권으로 속도저감시설을 통해 어린이 보행자의 안전성 확보뿐만 아니라 건강·공공보건 측면에서의 교통관리가 요구된다.



Figure 2. Study area

## 2) 시나리오 설정

시나리오 1인 시케이인(Chicane)은 도로의 연속등을 확장하여 도로 폭이 좁아보이는 효과 및 자연스런 곡선부 도로형성으로 운전자의 감속을 유도하는 시설이다. 사고심각도를 낮출 수 있는 기법으로 본 연구의 시나리오로 적용하였으며, 어린이 보호구역에 시케이인 설치를 시나리오로 설정하였다(14개 링크).

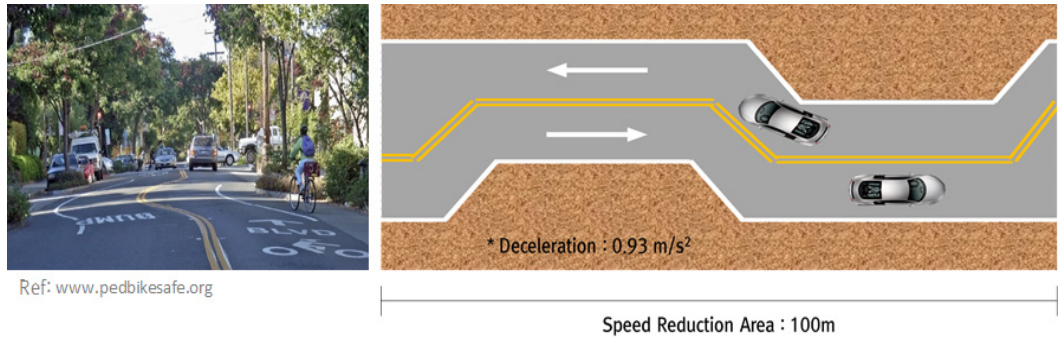


Figure 3. Scenario 1: chicane

시나리오 2는 과속방지턱을 적용하였다. 과속방지턱(Speed Hump)은 낮은 주행 속도가 요구되는 일정 도로 구간에서 통행차량의 과속 주행을 방지하고, 생활공간이나 학교 지역 등 일정 지역에서 통과 차량의 진입을 억제하기 위하여 설치하는 시설이다. 시나리오 1과 마찬가지로 어린이 보호구역에 과속방지턱 설치를 시나리오 2로 설정하였다(14개 링크).

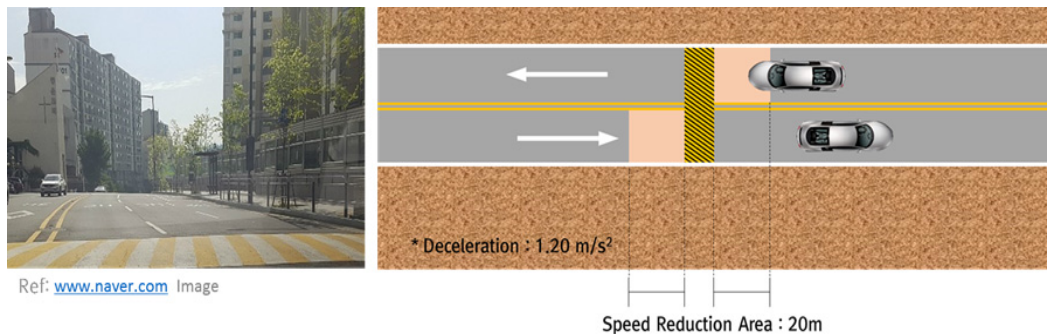


Figure 4. Scenario 2: speed hump

## 3) 자료수집

주행시뮬레이션을 이용하여 교통정온화기법 적용에 따른 운전자 주행행태 자료를 수집하였다. 수집 자료는 가감속행태, 감속길이 등의 자료를 수집하였으며, 수집된 자료는 교통류 시뮬레이션 입력 파라미터로 활용하였다. 피실험자는 20대-30대 14명으로 구성되어 있으며, 시나리오당 2회씩 주행하였다. 차량간의 상호작용을 고려하기 위하여 드라이빙 시뮬레이터에서 도출된 주행패턴을 미시적 교통류 시뮬레이션을 통하여 구현하였다. 시뮬레이션은 보다 일반화된 자료 수집을 위해 30번의 iteration을 수행한 결과를 활용하였다. 1초 단위의 각 차량의 주행궤적 자료를 추출하여 상충건수 및 차량배출가스 산정시 활용하였다. 또한 링크단위의 평균속도 및 평균 교통량 자료를 추출하여 차량배출가스 산정 시 거시적 모형에 활용하였다. 미시적 교통류 시뮬레이션에서 자체적으로 평균지체, 평균속도 등 네트워크 평가지표가 도출되며, 이 지표들은 운영효율성 지표로 활용하였다.



Figure 5. Driving simulator

차량 배출가스 시뮬레이션은 미시적 방법과 거시적 방법이 있다. 본 연구에서는 개별주행궤적자료를 활용한 미시적방법과 교통시뮬레이션의 링크 평균속도 및 평균 교통량을 활용한 거시적 방법으로 차량배출가스 발생량을 추정하였다. 차량배출가스 발생량은 교통시뮬레이션에서 도출된 30개의 iteration자료를 활용하여 분석을 수행하였다. 분석오염원은 질소산화물, 초미세먼지로 정의하고 분석을 수행하였다.

기상 및 환경자료는 CALPUFF 에서 제공하는 MM5자료와 지형자료를 사용하였다. MM5자료는 regional meso-scale model 자료로 기상상태를 나타내는 풍향, 풍속, 기온 등을 내포하고 있으며, 집계간격은 1 시간이다. 분석기간은 2012년 365일 분석을 수행하였다.

#### 4) 분석지표

교통관리전략 평가를 위한 운영효율성 평가지표로는 평균속도, 안전성의 평가지표로는 상충심각도를 의미하는 Delta S를 선정하였으며, 질소산화물의 평균농도를 환경성 평가지표로 적용하였다.

여기서 평균속도는 도로구간의 흐름상태를 나타내고 평가하는 지표로 도로의 운영체계에 따라 차량의 속도가 달라진다. 본 연구에서는 교통정온화 기법의 본래 목적인 속도저감효과의 의미로 평균속도를 활용하였다.

Delta S는 상충심각도를 의미하는 지표로 상충발생시 두 차량의 속도차이로 상충심각도에 영향을 미치는 변수이다. 차량간의 속도차는 충돌발생시 충돌속도에 영향을 미치게 되어 속도차가 클수록 충돌속도가 증가함을 의미하며, 상충심각도 평가지표로 활용하였다 (Equation 1 참고).

$$Delta S = \| v_s - v_f \| \quad (1)$$

where,  $v_i$  : Speed,  $f$  : Front vehicle,  $s$  : Subject Vehicle

질소산화물·미세먼지 농도, 즉 오염원의 농도는 대기질 평가에 실질적으로 활용될 수 있는 지표로 단위시간·단위면적당 오염원의 농도를 환경성 평가지표로 활용하였다.

## 분석결과

### 1. 운영효율성 : 평균지체 및 평균속도

평균지체는 시케인 적용에 따라 증가하였으며, 평균속도는 감소하는 것으로 도출되었다. 또한 적용구간을 세부적으로 분석한 결과 시케인 적용에 따라 평균지체, 평균속도는 감소하는 것으로 도출되었다. 또한 과속방지턱의 경

우 평균지체 및 평균속도 차이가 적은 것으로 도출되었다. 적용구간을 별도로 분리하여 분석한 결과 시케인 적용에 따라 평균지체, 평균속도는 감소하는 것으로 도출되었으며, 과속방지턱의 경우 평균지체는 증가하며, 평균속도의 경우 감소하는 것으로 도출되었다.

**Table 1. Evaluation of efficiency**

	Description	Average Speed (kph)
Whole network	Do Nothing	14.44
	Scenario 1: Chicane	14.02
	Scenario 2: Speed hump	14.38
Applied links	Do Nothing	48.26
	Scenario 1: Chicane	28.80
	Scenario 2: Speed hump	41.98

## 2. 안전성 : 상충건수 및 상충심각도

시케인을 적용한 시나리오의 상충건수는 미설치 경우보다 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 상충심각도를 의미하는 Delta S는 시케인 적용시 감소하는 것으로 도출되었다. 이는 사고 발생시 심각한 사고발생 가능성이 낮음을 시사한다. 과속방지턱을 적용한 시나리오 2는 상충건수가 감소하는 것으로 시나리오 1과 상반된 결과가 도출되었다. 그러나 상충심각도를 의미하는 Delta S의 경우 매우 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 사고 발생시 심각한 사고 발생 가능성이 높음을 시사한다.

**Table 2. Evaluation of safety**

	Description	Delta S
Whole network	Do Nothing	4.99
	Scenario 1: Chicane	4.86
	Scenario 2: Speed hump	4.99
Applied links	Do Nothing	4.99
	Scenario 1: Chicane	4.86
	Scenario 2: Speed hump	9.78

## 3. 환경성 : 차량배출가스 발생량 및 오염물질 농도

시뮬레이션을 통해 수집된 속도와 교통량을 활용하여 차량배출가스를 추정하는 거시적 방법을 활용하여 차량배출 가스 발생량을 추정한 후 시나리오별 단위길이당 차량배출가스 발생량을 도출하여 비교하였다. 분석결과 시케인을 적용한 경우 질소산화물은 감소하며, 초미세먼지의 경우 동일한 수준인 것으로 도출되었다. 그러나 과속방지턱의 경우 질소산화물은 큰 폭으로 증가하며, 초미세먼지의 경우에도 급증하는 것으로 분석되었다. 과속방지턱의 경우 시케인과 비교시 상대적으로 급격한 속도변화를 유발하여 큰 가-감속의 행태를 나타내게 되므로 이와 같은 결과가 도출된 것으로 판단된다.



**Table 4. Evaluation of vehicle emissions**

(unit: g)

Description		NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>
Whole network	Do Nothing	5.03	0.22
	Scenario 1: Chicane	4.93	0.22
	Scenario 2: Speed hump	10.48	0.50
Applied links	Do Nothing	4.03	0.18
	Scenario 1: Chicane	3.30	0.18
	Scenario 2: Speed hump	9.36	0.44

대기확산 분석결과 1시간 평균 오염물질 농도 비교시 시케인을 적용한 시나리오 1은 질소산화물 및 초미세먼지 모두 오염물질의 농도 차이가 미미한 것으로 도출되었다. 그러나 과속방지턱을 적용한 시나리오 2의 경우 질소산화물 및 초미세먼지의 농도가 약 2배 이상 증가하는 것으로 도출되었다. 이와 같은 결과는 과속방지턱의 경우 짧은 구간 내 비교적 급격한 가·감속으로 인한 차량배출가스 증가가 주변지역에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

**Table 5. Evaluation of vehicle emissions**

(unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Description		Average	Maximum	Minimum
Concentration of NO <sub>x</sub>	Do Nothing	0.30	62.98	0.01
	Scenario 1: Chicane	0.30	62.73	0.01
	Scenario 2: Speed hump	0.67	398.00	0.01
Concentration of PM <sub>2.5</sub>	Do Nothing	0.02	3.60	0.00
	Scenario 1: Chicane	0.02	3.81	0.00
	Scenario 2: Speed hump	0.06	49.00	0.00

#### 4. 대기질 평가: 교통관련 오염물질 노출 영향권

본 연구에서 산출된 오염물질 농도에 따라 환경부에서 제시하고 있는 대기환경지수 등급으로 분류하였다. <표 9>는 환경부에서 제시하고 있는 대기환경지수 등급 및 등급의 정의이다(The Korean Ministry Of Environment, 2016). 대기환경지수 등급을 기준으로 분석범위의 시나리오에 따른 농도 및 확산정도와 주거지역 및 어린이·노인보호구역을 표기한 결과를 Figure 6과 Figure 7에 제시하였다. 본 연구에서 제시하는 대기환경지수 지도는 교통관련 오염물질 노출영향권을 파악하기 용이하며, 공공보건 취약계층의 영향정도를 파악할 수 있다.

**Table 5. Korean air quality criteria (reference: The Korean Ministry Of Environment, 2016)**

Level	NO <sub>x</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Definition
Good	0 - 30	0 - 15	• There is no impact on the general population or sensitive population
Moderate	31 - 60	16 - 50	• There is no restriction on outdoor activities, but physical conditions should be monitored in sensitive groups
Poor	61 - 200	51 - 100	• Individuals with eye pain and sore throats caused by coughs should avoid long or excessive outdoor activities. • Sensitive individuals should avoid long or excessive outdoor activities. • Asthma patients should use inhalers more often when outdoors.
Bad	201 -	101 -	• Outdoor activities are prohibited for all individuals. • Children, the elderly, and individuals with cardiac or lung ailments should remain indoors and keep activity levels low.

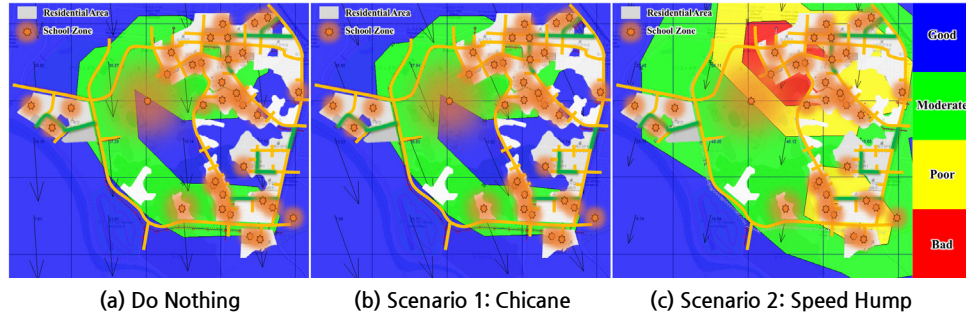


Figure 6. Air quality index of NO<sub>x</sub>

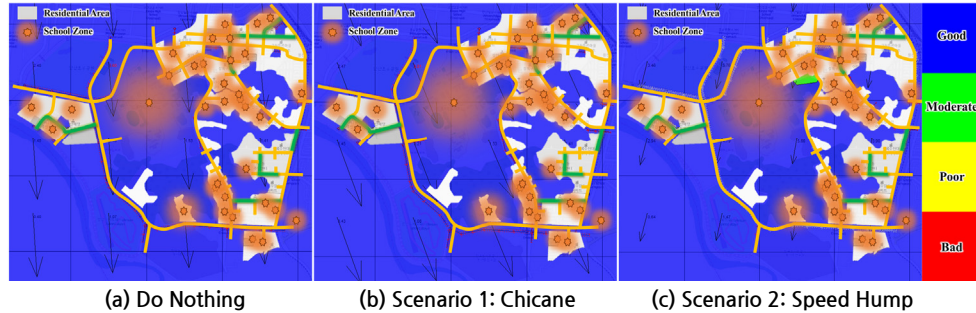


Figure 7. Air quality index of PM<sub>2.5</sub>

대기환경지수는 질소산화물 기준으로 시나리오 적용전(Do nothing)과 시케인 적용시 주로 좋음/보통 수준이나 성안고 부근의 질소산화물 농도가 높아 나쁨수준으로 나타났다. 즉 대부분의 지역은 대기오염 관련 질환자군에서도 영향이 유발되지 않을 수준 또는 환자군에게 만성 노출시 경미한 영향이 유발될 수 있는 수준으로 나타났다. 그러나 성안고 부근의 경우 많은 교통량, 특히 대형차량 교통량이 많으며 확산속도가 낮아 질소산화물의 농도가 높으므로 환자군 및 민감군(어린이, 노약자 등)에게 유해한 영향 유발, 일반인도 건강상 불쾌감을 경험할 수 있는 수준인 것으로 도출되었다. 초미세먼지 기준 대기환경 지수는 모두 주로 좋음/보통 수준으로 인체에 유해한 수준이 아닌 것으로 도출되었다.

분석구간 내 도로 인근 주변 지역은 주로 토지이용용도가 주거단지이며, 대규모 아파트단지가 위치하고 있다. 지도상 표시된 지역은 어린이보호구역으로 속도제한, 교통안전시설물 및 도로부속물 설치 등 학생들의 교통안전측면의 보호뿐만 아니라 학교의 보건·위생 및 학습 환경을 보호하기 위하여 학교환경위생 정화구역으로 지정된 구역이다. 이 구역 내에서는 대기환경, 소음등의 규제기준이 철저히 지켜져야 하므로 대기오염물질 차단시설 등의 철저한 관리가 필요하다. 또한 차단에 한계가 있을 경우 활동시간 변경 및 건강생활 수칙등의 정보제공이 요구된다. 현재 환경부에서는 미세먼지의 농도 등과 같은 공공보건 정보를 웹사이트, 스마트폰 등을 통해 제공하고 있다. 이와 연계하여 교통관제센터 등에서 교통사고 발생시 교통관련 오염물질 노출영향권 내에 공공보건 취약계층에게 공공보건 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

### 5. 종합 분석결과

분석결과 시케인을 적용한 시나리오 1이 종합적으로 우수한 대안인 것으로 평가되었다. 속도저감효과 및 안전성 측면에서 미설치(Do-nothing)의 경우보다 우수한 것으로 도출되어 기존의 교통환경을 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 과속방지턱의 경우 기존 미설치의 경우보다 운영효율성, 안전성, 환경성 측면 모두 좋지 않은 것으로

도출되어 무분별한 과속방지턱 보다는 적절한 설치기준 마련 및 효과적인 속도감속유도를 위한 대안 시설이 필요한 것으로 판단된다. 환경성의 경우 시나리오에 큰 차이가 없으며, 오염물질의 농도가 비교적 우수한 수준이나 과속방지턱 설치시 악영향의 변화가 뚜렷한 것으로 도출되었다.

## 결론 및 향후 연구과제

최근 교통안전과 공공보건에 관심이 증대됨에 따라 친환경 교통시스템에 대한 중요성도 높아지고 있다. 본 연구에서는 공공보건 및 교통안전 증진을 위한 교통관리전략이 요구됨에 따라 교통관리전략을 통합평가할 수 있는 방법론 개발을 목적으로 하였다. 공공보건 및 교통안전 증진을 위한 교통관리전략 평가를 위하여 전략 시행 전 사전 평가가 가능한 시뮬레이션 연계기반의 통합평가 방법론을 제시하였다.

본 연구에서 제시한 시뮬레이션기반 분석방법론은 Risk-free 상태에서 다양한 시나리오에 대한 평가가 가능하다. 시뮬레이션 상호 연계를 통해 다각적인 교통관리전략을 평가할 수 있으며, 각 시뮬레이션 한계보완이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 시뮬레이션기반 공공보건 및 교통안전 평가방법은 사업 시행 전 계획 및 설계단계에서 다양한 속도관리를 위한 교통관제 및 안전시설의 효과를 평가함으로써 정책 및 교통운영관리 전략 수립을 위한 의사결정지원이 가능할 것으로 판단된다. 또한 다양한 분석도구와의 접목으로 운전자 주행패턴 분석, 개별차량 주행궤적 자료 추출 및 교통류 영향분석, 교통상충분석(안전성 평가), 미시적 차량배출가스 및 오염물질 농도분석을 통한 대기질 평가(환경성 평가) 등의 다각적인 효과평가가 가능하여 운영효율성, 교통안전성, 환경성을 고려한 최적대안 제시가 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 수행한 연구내용을 보다 발전시키고 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 다음과 같은 추가연구가 향후 수행되어야 한다. 첫째, 주행시뮬레이션 분석시 피실험자 인원의 제약으로 속도관리전략에 따른 운전자 주행행태의 일반화에는 한계가 있었다. 따라서 다양한 피실험자의 인원을 선정하여 보완이 필요하다. 둘째, 공공보건 측면에서 환경성평가를 수행하고 오염물질의 농도에 따른 대기환경지수를 제시하여 보다 직관적으로 이해가 용이하도록 결과를 제시하였다. 추가적으로 공공보건영향평가를 수행하여 대기오염물질 개선에 따른 공공보건적 편익을 제시함으로써 의사결정의 효용성을 증대시킬 필요가 있을 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was also supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea government(MSIP) (NRF-2010-0028693).

**알림:** 본 논문은 대한교통학회 제75회 학술발표회(2016.9.23)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

## REFERENCES

- Abate D., Dell'Acqua G., Lamberti R., Coraggio G. (2009), Use of Traffic Calming Devices Along Major Roads Thru small Rural Communities in Italy, Transportation Research Board 88th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Ahn K., Kronprasert N., Rakha H. (2008), Energy and Environmental Assessment of High-speed Roundabouts, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2123, 121-128.
- Ahn K., Rakha H., Trani A., Van Aerde M. (2002), Estimating Vehicle Fuel Consumption and Emissions Based on

- Instantaneous Speed and Acceleration Levels, *Journal of Transportation Engineering* 128, 182-190.
- Al-Deek H., Wayson R., Radwan A. (1995), Methodology for Evaluating ATIS Impacts on Air Quality, *Journal of Transportation Engineering*, 121(4), 376-384.
- Alley B.D. (2000), Confusing People Into Slowing Down: Perceptual Countermeasures at Rural/Urban Thresholds, MS thesis, University of Waikato, New Zealand.
- Ariën C., Jogen E.M.M., Brijs K., Brijs T., Daniels S. (2013), Wets, G. A Simulation Study on the Impact of Traffic Calming Measures in Urban Areas on Driving Behavior and Workload, *Accident Analysis and Prevention*, 61, 43-53.
- Barth M., Boriboonsomsin K. (2008), Real-World Carbon Dioxide Impacts of Traffic Congestion, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2058, 163-171.
- Bartin B., Mudigonda S., Ozbay K. (2007), Impact of Electronic Toll Collection on Air Pollution Levels: Estimation Using Microscopic Simulation Model of Large-Scale Transportation Network, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2011, 68-67.
- Cottrell W. D., Kim N., Martin P. T., Perrin H. J. (2006), Effectiveness of Traffic Management in Salt Lake city, Utah, *Journal of Safety Research* 37, 27-41.
- Garcia A., Torres A.J., Romero M.A., Moreno A.T. (2011), Traffic Micro Simulation Study to Evaluate the Effect of Type and Spacing of Traffic Calming Devices on Capacity, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 16, 270-281.
- Hass-Klau C. (1990), *Illustrated Guide to Traffic Calming*, Institute of Transportation Engineers.
- Hu H., Frey C., Yoon C., Yang C., Kim J. (2016), A Study for Developing an Operating Mode-Based Emission Model for Korea, *Journal of Korean Society Transportation*, 34(2), 107-122.
- Jamson S., Lai F., Jamspn H., Horrobin A., Carsten O. (2008), Interaction Between Speed Choice and the Environment, *Road Safety Research Report 100*, Institute for Transport Studies, University of Leeds, U.K.
- Lin J., Yu D. (2008), Traffic-related Air Quality Assessment for Open Road Tolling Highway Facility, *Journal of Environmental Management* 88(4), 962-969.
- Litman T. (1999), *Taffic Calming Benefits, Costs and Equity Impacts*, Victoria Transport Policy Institute: Victoria, BC, Canada.
- Moreno A. T., Garacia A., Romero M. A. (2011), Speed Table Evaluation and Speed Modeling for Low-volume Cross Town Roads, In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2203, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 85-93.
- Pyne H.C., Dougherty M.S., Carstetn O.M.J., Tight M.R. (1995), A Simulator Based Evaluation of Speed Reduction Measures for Rural Arterial Roads, *Woking Paper 434*, University of Leeds.
- Rehimi F., Landolsi J. (2013), The Impact of Traffic Dynamic and Wind Angle on Vehicular Emission Dispersion, *Transportation Research Part D21*, 1-6.
- Shekarrizfard M., Faghih-Imani A., Hatzopoulou M. (2016), An Examination of Population Exposure to Traffic Related Air Pollution: Comparing Spatially and Temporally Resolved Estimates Against Long-term Average Exposures at the Home Location, *Environmental Research* 14, 435-444.
- The Korean Ministry Of Environment, Air Korea, <http://www.airkorea.or.kr/eng/index>[4Jul 2016].
- Yang C., Koo Y., Kim I., Sung J. (2013), Studies on the Methodology of a Hybrid Model for Emission Dispersion Analysis, *Journal of Korean Society Transportation*, 31(32), 69-79.