

미시교통시물레이션모형을 이용한 공용 좌회전 차로의 중첩현시운영의 이동성과 안전성 평가 연구

Evaluation of Mobility and Safety of Operating an Overlap Phase on a Shared-Left-Turn Lane Using a Microscopic Traffic Simulation Model

윤 일 수*
(Il-soo Yun)

한 음**
(Eum Han)

우 석 철***
(Seok-cheol Woo)

윤 정 은****
(Jung-eun Yoon)

박 성 호*****
(Sung-ho Park)

요 약

정부는 교통운영체계 선진화를 위하여 지속적인 교통시설 및 운영방식 개량, 그리고 교육 및 단속 등을 실시하여 왔다. 그러한 많은 노력에도 불구하고 우리나라 교통신호와 도로운영체계가 불합리하다는 지적이 지속적으로 제기되어 왔다. 이러한 원인 중에 하나는 정부가 제시한 대안들에 대하여 체계적이고 과학적인 사전 평가가 부족하였기 때문이다. 또한, 다양한 교통운영체계 대안에 대한 이동성 및 안전성을 종합적으로 분석할 수 있는 도구가 부족하였다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 종합적인 평가 도구으로써 미시교통분석모형의 체계적인 활용을 제안하며, 분석사례로 공용 좌회전 차로에 중첩현시가 적용 중인 대상교차로는 다양한 시나리오 하에서 안전성과 이동성을 평가하였다. 그 결과 공용 좌회전 차로에서 중첩현시의 적용은 이동성은 큰 차이가 없으나 안전성 측면에서 불리한 것으로 나타났다. 또한 전체 및 직진교통량 증가를 가정한 민감도 분석에서는 중첩현시가 가장 좋은 이동성을 보이나 안전성 측면에서 크게 나빠지는 것을 계량적으로 증명하였다.

Abstract

Government agencies including the national police agency have executed diverse efforts including continuous improvements of traffic facilities and operation methods, education, enforcements in order to improve traffic operation systems; nevertheless there have been continuous criticisms on irrationality in traffic signal and road facility operation. One of the reasons may be the lack of systematic preliminary evaluations on various alternatives. However, there was no appropriate tool to evaluate the mobility and safety of thus alternatives in a systematic way. Therefore, this study proposes the systematic use of microscopic traffic simulation models as a comprehensive evaluation tool. In addition, this study verified the potential of using a microscopic traffic simulation model using the case of operating an overlap phase on a shared-left-turn lane through a systematic way where the evaluation was conducted through data collection, building networks, calibrating microscopic simulation models, producing performance measures, evaluating mobility and safety, and so on. As a result, the operation of overlap phase on a shared-left-turn lane showed no big difference from other operation scenarios such as leading left-turn on exclusive left turn lane in terms of mobility. However the operation of overlap phase on a shared-left-turn lane decreased safety by increasing potential conflicts.

Key words : Microscopic traffic simulation model, overlap phase, shared left-turn lane, safety, mobility, SSAM

* 주저자 및 교신저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 조교수

** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

*** 공저자 : 수원시 교통행정과 교통정보팀장

**** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

***** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

† 본 논문은 2012년 한국ITS학회 추계학술대회에서 발표한 프로시딩을 수정·보완한 논문이며, 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2010-0029451, 2012R1A1A1044620)입니다.

† 논문접수일 : 2012년 5월 11일

† 논문심사일 : 2012년 9월 10일

† 게재확정일 : 2012년 9월 19일

1. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 교통신호와 도로운영체계가 불합리하고 현실에 맞지 않다는 지적은 지속적으로 제기되어 왔다. 예를 들어, “기초법질서 확립을 위한 교통운영체계 선진화방안(국가경쟁력강화위원회, 2009)” 연구에서는 우리 교통체계는 교통사고 다발, 과도한 혼잡비용 및 온실가스 배출, 빈번한 법규위반 등 많은 문제점을 내포하고 있다고 지적하고 있다[1].

그 예로서, 2010년에 226,878건의 교통사고가 발생하였고, 그로 인하여 5,505명이 사망하고 352,458명이 부상을 당하였다. 심각성은 국제비교를 통해서도 나타나고 있다. 2010년의 우리나라 차량 1만대당 사망자수는 2.6명이며, 인구 10만명당 사망자수는 11.3명으로서 OECD 평균인 1만대당 사망자수 1.3명, 인구 10만명당 사망자수 8.2명과 비교할 때 큰 차이를 보이고 있다. 사망자 사고의 법규위반 유형을 살펴보면 신호위반이 409명(7.4%)으로 안전운전불이행 3,829명(69.6%) 다음으로 높은 것을 알 수 있다. 또한 2010년을 기준으로 우리나라 교통신호기는 총 33,992개가 설치되어 운영 중에 있으며, 신호교차로에서 신호위반으로 인한 교통사고는 226,856건 중 11.4%인 25,963건에 이른다.

그간 정부는 지속적인 단속, 시설개량, 교통운영체계 선진화 등의 노력을 기울여 왔다. 그럼에도 불구하고 우리나라 교통신호와 도로운영체계에서 불합리한 것을 선별하고 이를 과학적으로 평가한 후, 개선하는 노력이 지속적으로 요구되고 있다. 따라서 제시된 대안들에 대하여 체계적이고 과학적인 사전 평가가 필요하다. 하지만, 다양한 교통운영체계 대안에 대한 이동성(mobility) 및 안전성(safety)을 종합적으로 분석할 수 있는 도구(tool)가 부족하였다.

이러한 배경 하에, 본 연구는 교통신호와 도로운영체계가 불합리한 사례 중의 하나인 공용 좌회전 차로(shared left-turn lane)에 중첩현시(overlap phase)를 적용하는 것에 대해 미시교통시물레이션 모형을 이용

하여 이동성과 안전성을 자세히 분석하고자 한다.

미시교통시물레이션 모형을 이용한 이동성 및 안전성 평가를 위하여 본 연구에서는 공용 좌회전 차로에서 중첩현시가 적용 중인 대상 교차로를 찾은 후, 교통현황 조사 자료를 바탕으로 미시교통시물레이션 모형 중 하나인 VISSIM을 이용하여 네트워크를 구축하였다. 구축된 네트워크에서 안전성과 이동성을 대표할 수 있는 성능지표(performance measures)를 선정한 후, 다양한 시나리오 하에서 공용 좌회전 차로의 중첩현시 적용과 다른 대안들에 대한 안전성과 이동성을 평가하였다. 또한 공용 좌회전 차로에서 중첩현시 적용의 문제점을 체계적인 방법으로 분석할 뿐만 아니라, 이러한 불합리한 교통신호운영을 평가할 수 있는 종합적인 평가 도구으로써 미시교통시물레이션모형의 적용 잠재력을 확인하는 것도 본 연구의 목적 중에 하나이다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 2011년이며, 공간적 범위는 수원시 효성사거리에서 아주대 병원 삼거리까지 연속되는 4개의 교차로이다. 본 연구에서는 공용 좌회전 차로에 중첩현시를 적용함에 따른 이동성과 안전성을 평가하기 위하여 교통량조사 자료를 바탕으로 미시교통시물레이션 모형인 VISSIM ver. 5.3을 이용하여 네트워크를 구축하였다. 구축된 네트워크의 각종 변수들은 정산과정을 거쳐 연구 대상지의 교통현황을 반영하도록 조정하였다. 정산된 네트워크를 바탕으로 다양한 교통수요, 교통신호운영, 차선운영 시나리오를 구축하였다. 특히 교통신호운영 최적화를 위해 교통신호최적화모형인 Synchro ver. 6.0을 사용하여 시나리오별 최적 현시 값을 찾았다. 구축된 네트워크들은 VISSIM의 multi-run 기능을 이용하여 반복 시물레이션 되었으며, 선정된 이동성과 안전성 지표(measures of effectiveness; MOE)에 대하여 시물레이션 결과를 집락하였다. 집락된 결과는 t-test 등 통계분석을 통하여 그 유의성을 검증하였다.

II. 이론적 고찰

1. 선행연구 고찰

12차 국가경쟁력 강화위원회 회의(2006)에서는 “기초 법질서 확립을 위한 교통운영체계 선진화 방안”에 대하여 논의 하였고, 좌회전 우선의 복잡한 신호 순서를 문제점으로 지적하였다. 이에 따르면 주요 선진국은 직진 후에 좌회전을 주는 신호 순서를 원칙으로 하고 있으나 우리의 경우 좌회전을 먼저 주는 경우가 많은 것을 지적하였다. 또한 좌회전 신호를 먼저 줄 경우, 좌회전에 비해 교통량이 많은 직진 차량의 소동에 지장을 초래하여 지·정체의 원인을 제공하며 특히, 교통량에 차이가 있음에도 불구하고 직진과 좌회전에 동일한 시간을 주는 동시신호가 신호주기를 길게 만드는 주된 원인임을 지적하였다. 본 회의에서 지적한 사항들은 참여한 전문가들 간에 이견이 있었으나 ‘좌회전 후 직진’ 신호를 ‘직진 후 좌회전’ 신호로 우선 전환시키고, 직좌 동시신호는 단계적으로 ‘직진 후 좌회전’ 신호로 개선할 것을 제안하였다[1].

경찰청(2009)은 “교통운영 체계 선진화 연구”에서 단일 접근로에 대해 선행 좌회전(lead left-turn)과 후행 좌회전(lagging left-turn)을 선택하는 경우에 있어서 네 가지 방법을 추천하였다. 첫째, 선행 좌회전은 양쪽 도로의 교통신호 연동을 방해하지 않기 위해 제공되는 보호-비보호 좌회전(protected-permitted left-turn) 혹은 보호 좌회전(protected only left-turn)일 때 추천하였다. 둘째 Dallas 좌회전(permitted lead-lag left-turn)은 단지 서비스수준이 부적합하여 보호/비보호 좌회전이 선택된 곳이나, 보호 좌회전이 부적합한 지체를 초래하여 3년간 좌회전 사고가 7건을 초과하는 곳에 권장하였다. 셋째, 후행 좌회전은 백만 진입 제공차량(vphpl²)당 차량상충이 190회 이상인 지점 중 선행 좌회전의 안전을 개선할 여지가 있는 곳이나, 후행 좌회전이 가로망 및 간선도로의 연동계획으로 필요할 때 사용할 수 있다. 마지막으로 신호현시의 선행 및 후행의 순서는 이중좌회전(dual left turns)을 안전하게 수용하기에 교차로 공간

이 부족하거나 신호연동이 필요한 곳에 권장하였다[2].

신동철(1999)은 “신호교차로의 개별현시 방법 적용에 관한 연구”에서 현시 중첩(phase overlap)하여 얻은 5현시 배열이 4현시로 운영할 때보다 소요 현시율이 감소하였고 분석교차로 37개중 74%에서 개선효과가 있음을 보였다[3].

박종욱(2006)은 “교차로 교통사고 감소방안에 관한 연구”에서 후행 좌회전이 선행 좌회전 보다 전체적으로 안전성이 좋음을 보였다[4].

이세희(2008)는 “독립신호교차로에서 Dual-Ring 개념의 신호현시 최적화 기법에 관한 연구”에서 최적현시 기법 분석 결과, 접근로별 좌회전 비율이 동일할 경우, 좌회전 비율이 23% 이하는 직진 중첩 동시신호, 23% 이상은 중첩 선행 좌회전 신호 또는 좌회전 중첩 동시신호가 가장 효율적인 현시임을 보였다. 또한 dual ring 기법의 여유시간 할당방법 분석결과, 최적현시로 도출된 직진 중첩 동시신호, 중첩 선행좌회전, 좌회전 중첩 동시신호 모두 직진에 여유시간을 할당하는 방법이 가장 효율적임을 보였다[5].

장효식(2010)은 “도시부 신호교차로에서의 선행/후행 좌회전 신호 순서에 따른 지체 완화 방안”에 대한 연구”에서 실시간 대응제어(TRC) 시스템에서 좌회전 신호 변화에 따른 연동 조정이 이루어짐에 따라 선행 좌회전 현시보다 후행 좌회전 현시의 효과가 더 높은 것으로 분석하였다[6].

2. 관련이론 고찰

교통신호기 설치관리 매뉴얼(경찰청, 2008)에 따르면 교차로에서 활용 가능한 현시는 제한이 없지만 고정식 신호제어에서는 가능한 한 적게 현시 수를 결정해야 한다고 명시되어 있다. 또한 교차로에서의 현시체계 결정문제는 회전교통류 처리가 중요하며 이는 좌회전 교통류의 처리방법에 따라 전체 시스템의 효율성이 결정되기 때문임을 지적하고 있다. 매뉴얼에 따르면, 일반적으로 좌회전 및 대항 직진 교통량이 증가함에 따라 좌회전 차량이 적절하게 회전할 수 있는 간격이 줄어들게 되며, 이러한

경우 전용 좌회전 현시를 적용하는 것이 적절하다고 명시되어 있다[7].

도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설(국토해양부, 2009)에 의하면 교차로에서 좌회전 차량이 정지하고 있으면 직진하고자 하는 후속차량들은 좌회전 대기차량을 피해 진로를 변경하게 되고, 이에 따라 교차로의 용량이 저하되어 교통사고 위험이 매우 커진다고 명시되어 있다. 이러한 이유로 좌회전 차로를 직진차로와 분리하여 설치한다. 즉, 좌회전 차로는 직진차로와는 독립적으로 설치해야 하며 좌회전 차로에 들어가기 위한 충분한 시간적, 공간적 여유를 확보해 줄 필요가 있음을 지적하고 있다[8].

3. 기존 연구와의 차이점

기존 연구들은 좌회전 차로 이용과 교통신호현시 최적화에 관련된 기준 정립에 관한 연구를 주로 진행하였다. 또한 제시된 기준에 대한 이동성 중심의 제한적인 지표를 제시함으로써 해당 기준의 타당성을 증명하려고 시도하였다. 하지만, 전반적으로 이동성 등을 측정하는 방법론이 현실을 반영하는데 한계가 있고 또한 상세하지 못하다는 문제가 있다. 이에 반해 본 연구에서는 최근에 다양한 분야에서 폭넓게 사용되고 있는 미시교통시물레이션모형을 이용하여 이동성뿐만 아니라 안전성도 함께 분석하고자 한다.

Ⅲ. 네트워크 구축 및 정산

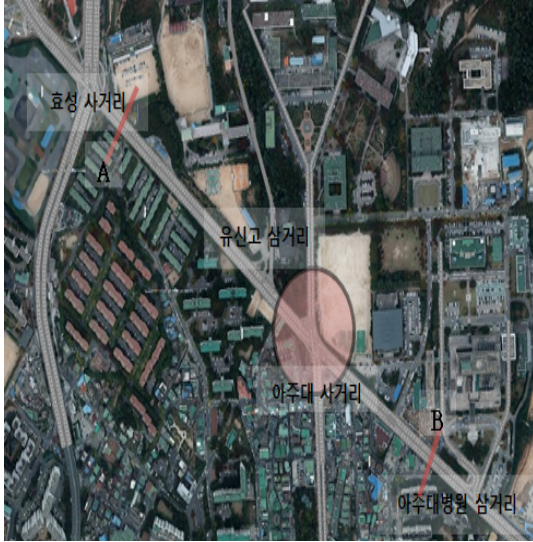
1. 분석대상구간 선정 및 교통현황

본 연구의 분석대상구간은 수원시 영통구 원천동에 위치한 효성초등학교사거리에서 아주대 병원삼거리까지 이어지는 4개의 교차로를 포함하는 도시부도로이다. 4개의 교차로 중 두 곳은 4지 교차로이고 나머지 두 곳은 3지 교차로이다. 참고로 본 연구의 집중 분석대상 교차로는 아주대학교사거리(<그림 1> 참조)이다. 현재 아주대학교사거리에서 동향 접근로(eastbound approach)는 총 3개 차로로

구성되어 있다. 3차로(바깥쪽 차로)는 우회전 전용 차로이며, 2차로(중앙차로)는 직전 전용차로 그리고 1차로(안쪽 차로)는 직진과 좌회전 교통류가 함께 이용할 수 있는 공용 좌회전 차로(shared left-turn lane)로 지정되어 있다. 하지만 해당 접근로에 할당된 현시는 직·좌 동시신호 후 직진신호이기 때문에, 직진 교통류와 좌회전 교통류가 1차로를 함께 사용하고 있는 실정이다. 이에 따라, 차로 지정과 현시운영이 상충하는 문제가 발생한다. 따라서 해당 접근로의 첫 현시인 직·좌 동시신호(직·좌 녹색 등화)가 부여되었을 때는 큰 문제없이 좌회전 교통류와 직진 교통류가 함께 진행할 수 있다. 하지만 연속되는 직진 신호(직진 녹색 등화)가 부여되면 안쪽 공용 좌회전 차로의 차량 흐름은 좌회전 대기차량의 존재 유무에 의해 결정된다. 즉, 직·좌 동시신호 동안 좌회전을 완료하지 못한 좌회전 대기차량이나 직진 현시 동안 도착한 좌회전 대기차량은 직진 현시 동안 공용 좌회전 차로인 1차로에서 대기하게 된다. 이러한 경우 좌회전 대기차량 뒤에 위치한 직진 차량은 직진 현시임에도 불구하고 진행하지 못하게 되는 상황이 발생하게 된다. 이러한 상황에서 좌회전 대기차량 뒤에 위치한 직진 차량이 차선을 변경하여 교차로(아주대학교사거리)를 통과하는 경우가 발생한다. 교통량이 적어 2차로를 주행하는 직진 차량이 없을 때에는 긴급 차선변경이 큰 문제가 되지 않지만, 2차로 상에 주행하는 직진 차량이 있을 경우 이러한 긴급 차선변경이 상충(conflicts)을 유발할 수 있고, 그 중 일부는 교통사고(traffic crashes)로 발전할 수 있다.

2. 자료수집

자료수집은 두 가지 목적을 가지고 수행되었다. 첫 번째 목적은 미시교통시물레이션 네트워크를 구축하기 위한 기본 교통량 자료, 교통신호운영 자료, 그리고 기하구조 자료를 수집하는 데 있다. 두 번째 목적은 구축된 미시교통시물레이션 네트워크를 정산(calibration)하기 위한 지표(measures of effectiveness)를 조사하는 데 있다.



<그림 1> 실험대상지 및 VISSIM 네트워크
(Fig. 1) Test Site and VISSIM Network

네트워크 구축을 위한 자료 중 기하구조 자료는 Daum에서 제공하는 위성사진을 사용하였으며, 현장조사를 통해 변경여부를 확인하였다. 교통신호운영 자료는 수원시의 협조를 통해 현재 사용 중인 신호운영Database를 제공받았다. 마지막으로 교통량 자료의 경우 각 교차로의 방향별 교통량을 2011년 12월 21일 07시 30분부터 09시 30분까지 조사하였다.

네트워크 정산을 위한 지표로 본 연구에서는 통행시간을 사용하였다. 통행시간을 측정할 구간은 기하구조변화 및 차량의 차로 사용 행태 등을 고려하여 <그림 1>에 표시된 효성사거리 지점 A부터 아주대병원삼거리의 지점 B까지로 설정하였다. 지점 간 통행시간을 조사하기 위하여 GPS를 장착한 차량 두 대를 이용하여 평균속도방법(average speed method)을 활용하여 조사하였다.

3. 네트워크 구축

현재 국내에서 사용되고 있는 미시교통시물레이션모형으로는 CORSIM, TransModeller, SimTraffic, VISSIM, Paramics 등 다양하다. 본 연구에서는 이중 국내에서 폭넓게 사용되고 있으며, 다양한 신호운영이 가능하고, 교통안전성 평가를 위한 자료를

생성할 수 있는 VISSIM을 사용하였다.

본 연구에서는 VISSIM ver. 5.3을 이용하여 미시교통시물레이션 네트워크를 구축하였다. 네트워크 구축은 위성사진을 배경화면으로 이용하여 실제 도로 모습과 최대한 유사하게 구축하였으며, 현장 조사를 통해 얻은 15분 간격 방향별 교통량과 현재 운영 중인 신호시간계획(주기, 녹색시간, 오프셋 등)을 입력하였다. 전체적인 네트워크의 모습은 <그림 1>과 같다. 참고로 <그림 1>에서 표시된 지점 A와 B는 구축된 미시교통시물레이션 네트워크를 정산하기 위하여 정산 지표인 통행시간을 산출하기 위한 지점을 나타내고 있다. 정산과 관련해서는 다음 절에서 자세히 설명하고자 한다.

4. 정산

VISSIM과 같은 미시교통시물레이션모형을 사용하는 이유 중에 하나는 실제 교통상황을 컴퓨터상에서 현실과 유사하게 재구현할 수 있기 때문이다. 이러한 현실적인 시물레이션이 가능하게 되면 다양한 시나리오 및 대안의 정확한 평가가 수행될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Park 등(2006)이 제시한 정산방법을 준용하여 다음과 같은 절차에 따라 정산과정을 수행하였다[9, 10].

또한 정산을 위해서는 정산 지표를 선정하여야 한다. 정산 지표는 현장에서 조사가 용이하고, 미시교통시물레이션모형에서 생성이 가능하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 관련문헌 및 현장 조사의 용이성 등을 바탕으로 구간 통행시간을 정산 지표로 선정하였다. 통행시간 산정 구간은 <그림 1>에서 표시된 바와 같이 조사 구간의 주방향인 동-서 측상에 위치한 지점 A와 지점 B 사이 구간이다. 교차로 신호 대기나 대기차량으로 인한 통행시간 산출의 편차가 크게 차이가 남에 따라 교차로에서 조금 떨어진 지점으로 선택하였다. GPS를 장착한 차량을 이용하여 조사된 지점 A → B 구간의 평균통행속도는 126.6초로 나타났다.

정산과정은 조사된 통행시간과 시물레이션모형에서 산출된 통행시간을 비교하여 그 차이를 줄일 수

있도록 정산 파라미터를 조정하는 방법으로 수행되었다. 정산을 위해 본 연구에서는 모형을 구축한 후 초기평가를 실시하였다. 초기평가란, 기준 정산 파라미터(default calibration parameters)을 바탕으로 구축된 초기 미시교통시물레이션 네트워크가 조사된 정산 지표 값과 유사한 정산 지표 값을 산출하는지 여부를 확인하는 과정이다[11]. 본 연구에서 구축한 초기 미시교통시물레이션 네트워크에서 산출된 지점 A → B구간의 평균통행시간은 130.8초로 조사된 평균통행시간 126.6초와 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 지점 B → A구간의 조사된 평균통행시간은 68.8초이며, 시물레이션 된 평균통행시간은 69.2초로 아주 근소한 차이를 보였다. 이러한 정산 지표의 분석결과에 따라 본 연구에서는 추가적인 정산 없이 구축된 미시교통시물레이션 네트워크가 현실 교통상황을 충분히 반영할 수 있다고 판단하여 추가적인 정산과정인 적합성 평가, 유전자알고리즘을 이용한 정산 변수 조정, 정산 변수 평가를 생략하였다.





































하지만 통행시간의 경우 본 연구에서 평가하고자 하는 항목인 이동성과 안전성 중 이동성과 직접적으로 연관된 정산 지표이다. 따라서 안전성과 관련된 정산 지표를 선정하여 조사 값과 시물레이션에서 나온 값을 비교하는 검증(validation) 과정을 거칠 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 1차로(공용 좌회전 차로)에서 좌회전 대기차량 뒤에 기다리다가 2차로(직진차로)로 차로변경하여 교차로를 벗어나는 차량의 빈도를 실측값과 시물레이션을 통해 구현된 값을 비교하였다. 조사치의 경우 주기당 평균 2.25회의 차로변경을 보였으며, 5번 반복한 시물레이션 결과 값은 주기당 평균 2.75회로 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 본 연구에서 구축된 미시교통시물레이션모형이 대상구간의 교통현상을 잘 반영하는 것으로 판단되었다. 마지막으로 수행된 애니메이션 확인(visualization)에서도 VISSIM에서 구현된 차량 흐름에 큰 이상이 없음을 확인하였다.

IV. 시물레이션 수행 결과 분석

1. 시나리오 구축

공용 좌회전 차로(shared left-turn lane)에 중첩현시(overlap phase)를 적용하는 것에 대한 이동성(mobility)과 안전성(safety)을 미시교통시물레이션모형을 이용하여 계량하고, 다른 시나리오와 비교하기 위하여 <표 1>과 같은 차로운영 및 현시운영의 조합을 시나리오로 처리하였다. 참고로 시나리오 1은 기존 차로 및 현시 운영조건을 대표하고 있다. 또한 차로 운영의 경우 공용 좌회전 차로와 좌회전 전용차로를 고려하였고, 현시 운영의 경우 중첩현시, 동시신호, 선행 좌회전(좌회전 후 직진), 후행 좌회전(직진 후 좌회전)을 고려하였다. 상기 차로 및 현시 운영 조합 중 물리적 및 논리적으로 가능한 조합에 대해 시나리오 처리하여 분석하였다. 시나리오 현시는 Synchro를 이용하여 네트워크를 최적화한 현시배분이다.

<표 1> 시나리오별 차로 및 현시운영 순서
(Table 1) Lane Usages and Phase Sequences

시나리오 1	중첩현시	 (43)	 (70)	 (33)	 (34)
		 (83)	 (30)		
시나리오 2	동시신호 (WB 우선)	 (57)	 (71)	 (32)	 (20)
시나리오 3	동시신호 (EB 우선)	 (69)	 (59)	 (32)	 (20)
시나리오 4	중첩현시	 (39)	 (90)	 (31)	 (20)
		 (100)	 (29)		
시나리오 5	선행 좌회전	 (25)	 (103)	 (32)	 (20)
시나리오 6	후행 좌회전	 (102)	 (27)	 (31)	 (20)
시나리오 7	동시신호 (WB 우선)	 (45)	 (86)	 (29)	 (20)
시나리오 8	동시신호 (EB 우선)	 (81)	 (50)	 (29)	 (20)

2. 시물레이션 수행

미시교통시물레이션모형은 시물레이션 수행을 위하여 난수(random number)를 사용한다. 동일한 교통 및 운영 조건으로 시물레이션 하더라도 난수가 다르면 산출되는 지표의 값이 조금씩 달라지게 된다. 이러한 미시교통시물레이션모형의 확률적 특성(stochastic characteristics)을 고려하기 위하여 반복수행(multi-run)을 시행하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 각 시나리오에 대하여 시물레이션 난수(random seed)를 다르게 30회 반복하여 시물레이션을 수행하였다. 그리고 30회 수행한 결과를 평균하여 이동성과 안전성 평가를 위한 지표값으로 산출하였다.

또한 일반적인 경우 미시교통시물레이션모형은 네트워크가 빈 상태에서 시작하여 채워 나가게 된다. 따라서 네트워크 내 교통량의 큰 변화가 없는 균형상태(equilibrium status)에 이르기 위해서는 초기 시물레이션 시간(warm-up time)이 필요하다. 본 연구에서는 네트워크 크기를 고려하여 15분의 초기 시물레이션 시간을 적용하였다. 실제 각종 지표를 생성하는 시물레이션 시간은 초기 시물레이션 시간이 지나고 나서 1시간 동안이다.

3. 이동성 분석

미시교통시물레이션모형은 다양한 이동성(mobility) 관련 지표를 생산할 수 있다. 그 중 VISSIM은 통과교통량(throughput), 통행속도(travel speed), 통행시간(travel time), 지체(delay), 정지수(stops) 등의 성능지표(performance index)를 다양한 형태로 생성할 수 있다. 본 연구에서는 평균 정지 수(number/veh), 평균 지체(sec/veh), 평균 속도(km/h)를 이동성 관련 지표로 선정하였으며 시나리오 별 결과값은 <표 2>와 같다

이동성 분석에서는 좌회전 전용차로에 선행 좌회전 현시를 적용한 시나리오 5의 평균 정지 수가 0.91(stops/veh), 평균 지체는 61.04(sec/veh), 평균 속도는 29.96(km/h)로 가장 좋은 값을 보였다. 시나리오 5의 선행 좌회전 현시로 인하여 연동 효과가 커

<표 2> 이동성 관련 성능지표
<Table 2> MOE for Mobility

구분	평균 정지 수 (stops/veh)	평균 지체 (sec/veh)	평균 속도 (km/h)
시나리오 1	1.03	65.95	29.05
시나리오 2	1.03	63.76	29.46
시나리오 3	1.03	65.57	29.14
시나리오 4	1.03	69.76	28.37
시나리오 5	0.91	61.04	29.96
시나리오 6	1.01	65.39	29.12
시나리오 7	3.02	172.85	17.11
시나리오 8	3.28	184.21	15.98

졌고 그에 따른 정지 횟수의 감소가 지체의 감소, 속도의 증가로 이어짐을 확인하였다. 하지만 전체적으로 살펴보면, 좌회전 전용차로에 동시신호를 적용한 시나리오 7과 8을 제외한 다른 시나리오들간의 큰 차이가 없다. 시나리오 1부터 시나리오 6까지 평균속도에 대한 ANOVA 분석 결과가 <표 3>에 나타나 있으며 p-value < 0.05이므로 귀무가설이 기각되어 통계적으로 평균속도간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 Tukey's Pairwise Comparison의 결과는 <표 4>와 같으며 시나리오 5의 평균 속도가 우수함을 알 수 있다.

<표 3> 평균속도 분산분석 결과
<Table 3> Results of ANOVA for Average Speed

	제곱 합	df	평균 제곱	거짓	p-value
집단-간	40.950	5	8.190	54.82	.000
집단-내	25.993	174	.149		
합계	66.942	179			

<표 4> 평균속도 Tukey's 사후검정 결과
<Table 4> Results of Tukey's Pairwise Comparison

시나리오	N	유의수준 = 0.05에 대한 부집단			
		1	2	3	4
시나리오 4	30	28.37			
시나리오 1	30		29.05		
시나리오 6	30		29.12		
시나리오 3	30		29.14		
시나리오 2	30			29.46	
시나리오 5	30				29.96
유의확률		1.000	0.93	1.000	1.000

4. 안전성 분석

Surrogate Safety Assessment Model(SSAM)은 미국 FHWA에서 개발한 S/W로서 상충이론을 기반으로 미시교통시물레이션모형에서 생산된 개별 차량 경로 자료를 이용하여 Time To Collision(TTC), Post Encroachment Time(PET), Deceleration Rate(DR) 등의 대리척도(surrogate measures)를 산출한 후, 직각충돌형(crossing), 추돌형(rear-end), 그리고 차로변경형(lane Change) 상충(conflicts) 횟수를 추정할 수 있다 [12, 13]. 이러한 대리척도를 이용할 경우 각 시나리오에 대한 안전상의 문제점을 사전에 검토할 수 있다. 본 연구에서는 SSAM 프로그램의 기본 설정값과 같이 추돌형 상충각을 30도 이하, 차로변경형 상충각은 30도 초과 85도 미만, 직각충돌형 상충의 각은 85도 이상으로 설정하였다[10].

또한 SSAM은 전체 미시교통시물레이션 네트워크 중에서 일부분에 대해서만 제한적으로 대리척도를 산출할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 아주대학교 사거리로 동향 접근로(eastbound approach)에서 발생하는 갑작스런 차로변경에 따른 상충을 살펴보기 위하여 아주대학교사거리의 동향 접근로에 대해서만 SSAM을 이용하여 상충 빈도를 측정하였다. 본 연구에서 살펴본 상충은 총 상충, 추돌형 상충, 직각충돌형 상충 그리고 차로 변경형 상충이며 그 결과는 <표 5>와 같다. <표 5>에 제시된 값은 시물레이션을 30회 반복수행한 결과의 평균값이다.

<표 5> 안전성 관련 성능지표
<Table 5> MOE for Safety

구분	총 상충 (회/시)	직각 충돌형 상충 (회/시)	추돌형 상충 (회/시)	차로 변경형 상충 (회/시)
시나리오 1	117.8	14.0	96.6	7.1
시나리오 2	101.9	8.9	89.6	3.4
시나리오 3	117.8	19.2	95.4	3.2
시나리오 4	99.4	17.0	78.7	3.7
시나리오 5	99.5	8.0	85.2	6.3
시나리오 6	136.2	24.9	104.6	6.7
시나리오 7	358.6	212.2	137.6	8.8
시나리오 8	118.1	17.4	97.0	3.7

안전성 분석에서는 좌회전 전용차로에 중첩현시를 적용한 시나리오 4가 총 상충 빈도, 추돌형 상충 빈도를 고려할 때 가장 안전한 것으로 분석되었다. 직각충돌형 상충의 경우 시나리오 5가 8.0회/시로 가장 적게 나타났으나, 직각충돌형 상충의 경우에는 본 연구에서 관심을 두고 있는 차로 변경에 따른 상충으로 보기 어렵다. 차로 변경에 따른 상충을 비교하기 위해서는 추돌형 상충과 차로변경형 상충의 합을 살펴보아야 한다. 시나리오 4가 가장 작은 추돌형 상충과 차로변경형 상충의 합을 보이고 있다.

또한 이동성 분석에서 상대적으로 나쁜 지표를 산출한 시나리오 7과 8을 제외할 경우, 좌회전 전용차로에 후행 좌회전을 적용한 시나리오 6이 안전성 측면에서 가장 불리한 것으로 분석되었으며, 현재 분석구간에서 사용 중인 공용 좌회전 차로에 중첩현시를 적용한 시나리오가 그 다음으로 안전성 측면에서 불리한 것으로 분석되었다. 시나리오 7과 8을 제외한 시나리오 1~6까지의 총 상충에 대한 ANOVA 분석과 그에 따른 Tukey's Pairwise Comparison로 <표 6> 및 <표 7>과 같다.

<표 6> 평균상충횟수 분산분석 결과
<Table 6> Results of ANOVA for Average Conflict Frequency

	제곱 합	df	평균 제곱	거짓	p-value
집단-간	32170.0	5	6434.0	30.53	0.000
집단-내	36594.1	174	210.3		
합계	68764.2	179			

<표 7> 평균상충횟수 Tukey's 사후검정 결과
<Table 7> Results of Tukey's Pairwise Comparison

시나리오	N	유의수준 = 0.05에 대한 부집단			
		1	2	3	4
시나리오 4	30	99.37			
시나리오 5	30	99.50			
시나리오 2	30	101.90			
시나리오 1	30		117.80		
시나리오 3	30		117.80		
시나리오 6	30			136.23	29.96
유의확률		1.000	0.93	1.000	1.000

총 상층에 대한 ANOVA 분석 결과 P-value < 0.05이므로 귀무가설이 기각되어 안정성의 차이가 있는 것으로 나타났다. 하지만 Tukey's Pairwise Comparison을 보면 시나리오 2, 시나리오 4, 시나리오 5의 경우 총 상층횟수가 통계적으로 유의한 차이가 없음을 보여주고 있다.

5. 이동성 및 안전성 분석 결과 종합

미시교통시물레이션을 이용하여 다양한 차로 및 현시 운영 시나리오에 대한 이동성과 안전성을 평가한 결과, 현재 사용 중인 차로 및 현시 운영 시나리오인 시나리오 1의 경우, 다른 시나리오에 비해 이동성은 큰 차이가 없으나 안전성 측면에서는 불리한 것으로 나타났다. 전반적으로 볼 때, 좌회전 전용차로를 이용하는 경우가 이동성 및 안전성 측면에서 유리한 것으로 분석되었다. 하지만 좌회전 전용차로를 이용하더라도 후행 좌회전을 적용할 경우 오히려 안전성이 저하되는 것으로 분석되었다. 특히 선행 좌회전을 사용하는 시나리오 5의 경우 선행 좌회전 현시로 인하여 연동 효과가 커졌고 그에 따른 정지 횟수의 감소가 지체의 감소, 속도의 증가로 이어짐을 확인하였다. 따라서 좌회전 현시 위치를 해당 지역의 기하구조 및 통행패턴에 따라 탄력적으로 융통성 있게 적용할 필요가 있다.

V. 교통량 변화에 따른 민감도 분석

1. 분석의 전제

민감도 분석에서는 이동성 및 안전성 분석에서 가장 좋은 결과값이 나온 시나리오 4 및 시나리오 5와 더불어 현재 적용 중인 시나리오 1에 대하여 교통량의 증감에 따라 어떠한 변화가 일어나는지 살펴보았다. 교통량의 증감은 두 가지 방식으로 진행하였다. 첫째, 전체 네트워크의 교통량을 -30%~+30%까지 증감시켰다. 둘째, 교차로의 주방향인 직진 교통량만을 -30%~+30%까지 증감시켰다. 민감도 분석을 두 가지 방법으로 시행하여 전체적인 결과 값과 현재 빈번히 발생하는 주방향(직진)의 교통량 증가에 대한 시나리오의 민감도를 알아보았다. 상기와 같은 두 가지 가

정은 다양한 교통량 상황을 고려하기 위함이다.

2. 전체 교통량 증감에 따른 민감도 분석

선택된 시나리오에 대한 교통량 변화에 따른 이동성 및 안전성 민감도 분석은 다음 <표 8> 및 <표 9>와 같다.

전체 교통량 변화에 따른 이동성과 안전성을 분석한 결과 예상대로 교통량이 증가할수록 직진차로의 용량이 증가된 시나리오 1이 가장 좋은 이동성을 보였다. 하지만, 반대로 교통량이 증가할수록 시나리오 1의 안전성은 크게 나빠지는 것으로 나타났다. 따라서 공용 좌회전 차도에 중첩현시를 적용하

<표 8> 전체 교통량 증감에 따른 이동성 분석
(Table 8) Mobility Analysis according to Entire Volume Changes

	시나리오 1			시나리오 4			시나리오 5		
	평균 정지 수 (stops/veh)	평균 지체 (sec/veh)	평균 속도 (km/h)	평균 정지 수 (stops/veh)	평균 지체 (sec/veh)	평균 속도 (km/h)	평균 정지 수 (stops/veh)	평균 지체 (sec/veh)	평균 속도 (km/h)
-30%	0.9	58.0	30.6	0.9	59.0	30.4	0.8	51.9	31.9
-20%	0.9	60.1	30.2	0.9	61.8	29.9	0.8	54.2	31.4
-10%	1.0	62.8	29.6	1.0	65.0	29.2	0.9	56.9	30.8
0%	1.0	65.9	29.0	1.0	69.8	28.4	0.9	61.0	30.0
+10%	1.1	71.8	28.0	1.3	85.7	25.8	1.1	74.6	27.6
+20%	1.4	90.0	25.2	1.8	116.3	21.8	1.9	115.9	21.9
+30%	1.9	119.2	21.5	2.1	133.6	20.0	2.2	138.0	19.6

<표 9> 전체 교통량 증감에 따른 안전성 분석
(Table 9) Safety Analysis according to Entire Volume Changes

	시나리오 1				시나리오 4				시나리오 5			
	총 상층 (회시)	직각 증대형 상층 (회시)	추돌형 상층 (회시)	차로 변경형 상층 (회시)	총 상층 (회시)	직각 증대형 상층 (회시)	추돌형 상층 (회시)	차로 변경형 상층 (회시)	총 상층 (회시)	직각 증대형 상층 (회시)	추돌형 상층 (회시)	차로 변경형 상층 (회시)
-30%	84.8	67	74.5	37	58.3	80	48.5	19	60.5	33	55.8	133
-20%	96.3	87	82.7	49	70.7	113	56.9	25	69.7	46	62.7	25
-10%	104.5	111	87.5	59	86.0	129	69.8	32	87.1	71	76.7	33
0%	117.8	140	96.6	71	99.4	170	78.7	37	99.5	80	85.2	63
+10%	136.6	225	105.7	84	111.9	187	87.6	56	128.7	136	107.1	81
+20%	191.0	634	116.1	115	126.0	206	99.3	60	149.7	206	119.3	98
+30%	214.1	796	122.2	123	137.7	225	108.5	67	157.3	168	128.6	118

는 대안은 단기적으로는 용량을 증대시켜 이동성을 높일 수 있으나, 안전성은 지속 가능하지 못한 것으로 분석되었다.

3. 직진 교통량 증감에 따른 민감도 분석

직진 교통량 변화에 따른 이동성과 안전성을 분석한 결과에서도 전체 교통량 변화에 따른 분석 결과와 유사한 결과가 도출되었다. 따라서 공용 좌회전 차로에 중첩현시를 적용하는 대안은 단기적으로는 용량을 증대시켜 이동성을 높일 수 있으나, 안전성은 지속 가능하지 못하다는 가정이 동일하게 적용됨을 확인하였다.

선택된 시나리오에 대한 직진 교통량 변화에 따른 이동성 및 안전성 민감도 분석은 다음 <표 10> 및 <표 11>과 같다.

<표 10> 직진 교통량 증감에 따른 이동성 분석
(Table 10) Mobility Analysis according to Through-traffic Volume Changes

	시나리오 1			시나리오 4			시나리오 5		
	평균 정지 수 (stops/veh)	평균 지체 (sec/veh)	평균 속도 (km/h)	평균 정지 수 (stops/veh)	평균 지체 (sec/veh)	평균 속도 (km/h)	평균 정지 수 (stops/veh)	평균 지체 (sec/veh)	평균 속도 (km/h)
-30%	1.0	61.3	29.7	0.9	62.9	29.4	0.9	58.6	30.2
-20%	1.0	62.7	29.5	0.9	64.8	29.1	0.9	59.5	30.1
-10%	1.0	64.3	29.3	1.0	66.9	28.8	0.9	60.2	30.1
0%	1.0	66.0	29.1	1.0	69.8	28.4	0.9	61.0	30.0
+10%	1.1	67.4	28.8	1.2	76.8	27.3	1.0	64.2	29.4
+20%	1.1	69.0	28.6	1.4	90.4	25.3	1.2	74.4	27.8
+30%	1.2	72.2	28.1	1.7	107.6	23.1	1.5	88.5	25.6

<표 11> 직진 교통량 증감에 따른 안전성 분석
(Table 11) Safety Analysis according to Through-traffic Volume Changes

	시나리오 1				시나리오 4				시나리오 5			
	총 상충 (회사)	직각 충돌형 상충 (회사)	추돌형 상충 (회사)	차로 변경형 상충 (회사)	총 상충 (회사)	직각 충돌형 상충 (회사)	추돌형 상충 (회사)	차로 변경형 상충 (회사)	총 상충 (회사)	직각 충돌형 상충 (회사)	추돌형 상충 (회사)	차로 변경형 상충 (회사)
-30%	107.6	131	88.6	5.8	85.9	161	67.6	2.2	90.0	6.9	80.1	2.9
-20%	112.9	137	92.2	7.0	89.7	15.5	71.4	2.8	91.2	7.4	80.8	3.0
-10%	118.1	14.5	96.9	6.7	91.3	15.2	73.3	2.8	95.7	8.4	83.7	3.6
0%	117.8	140	96.6	7.1	99.4	17.0	78.7	3.7	99.5	8.0	85.2	6.3
+10%	126.1	14.7	103.3	8.1	101.3	16.4	80.3	4.6	106.7	11.5	88.9	6.3
+20%	129.4	18.2	102.3	8.9	102.8	16.0	81.7	5.1	115.5	11.0	94.4	10.1
+30%	139.6	21.9	107.7	10.1	107.2	16.6	85.0	5.6	123.9	12.2	99.4	12.3

VI. 결론 및 향후 연구과제

지금까지 정부, 지자체, 경찰 그리고 교통전문가들이 많은 예산을 투입하고 개선하여 왔지만 여전히 우리나라의 교통신호와 도로운영체계가 불합리하고 현실에 맞지 않다는 지적이 사라지지 않고 있다. 많은 노력에도 불구하고 교통신호와 도로운영체계에 존재하는 불합리가 근절되지 않는 이유는 교통신호의 불합리한 적용이 교통의 이동성과 안전성 측면에서 어떻게 그리고 얼마나 영향을 미치는지를 충분히 계량화함으로써 의사결정 과정에 활용할 수 있는 도구가 부족하였던 것도 원인 중에 하나였던 것으로 사료된다.

분석 대상지에 다양한 시나리오로 이동성과 안전성을 비교한 결과, 현재 사용 중인 차로 및 현시운영 시나리오인 시나리오 1의 경우, 다른 시나리오에 비해 이동성은 큰 차이가 없으나 안전성 측면에서는 불리한 것으로 나타났다. 전반적으로 볼 때, 좌회전 전용차로를 이용하는 경우가 이동성 및 안전성 측면에서 유리한 것으로 분석되었다.

또한 교통량 변화에 따른 민감도 분석 결과 전체 및 직진 교통량이 증가할수록 시나리오 1이 가장 좋은 이동성을 보였다. 하지만, 교통량이 증가할수록 안전성은 크게 나빠지는 것으로 나타났다.

결론적으로 공용 좌회전 차로에 중첩현시를 적용하는 대안은 단기적으로는 용량을 증대시켜 이동성을 높일 수 있으나, 안전성은 악화되는 것으로 분석되었다.

또한 이러한 미시교통시물레이션모형을 이용할 경우 기존에 측정하기 곤란하였던 이동성 및 안전성과 관련된 지표들을 다양하게 산출할 수 있으며, 계량화된 지표들을 기반으로 합리적인 교통신호와 도로운영체제 관련 의사결정이 가능하게 될 것으로 기대된다.

하지만, 미시교통시물레이션모형을 적용하는 데에 한계도 분명히 존재한다. 미시교통시물레이션모형을 매우 정교하게 구축하고, 철저하게 정산을 수행한다 하더라도 현실을 완벽하게 재현하는 것은 불가능하다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 지

속적으로 미시교통시물레이션모형과 정산과정을 개발할 필요가 있다. 또한 SSAM과 같은 안전성 관련 지표를 산출하는 프로그램은 아직 개발 초기단계에 있다. 따라서 지속적인 연구개발을 통해 분석의 정확도 및 정밀도를 높이는 노력이 필요하다고 판단된다.

6th edition, Prentice Hall, 2011.

[12] FHWA, "Surrogate Safety Assessment Model," FHWA, 2008.

[13] D. Gettman and L. Head, "Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models," FHWA, 2003.

참고문헌

- [1] 국가경쟁력 강화 위원회, "기초 법질서 확립을 위한 교통운영체제 선진화방안," 국가경쟁력 강화 위원회, 2009
- [2] 경찰청, "교통운영체제 선진화연구," 경찰청, 2010
- [3] 신동철, "신호교차로의 개별현시방법 적용에 관한 연구," 석사학위논문, 광주대학교, 1999
- [4] 박종욱, "교차로 교통사고 감소방안에 관한 연구(좌회전 현시 순서를 중심으로)," 석사학위논문, 홍익대학교, 2004. 2
- [5] 이세희, "독립신호교차로에서 Daul-Ring 개념의 신호현시 최적화 기법에 관한 연구," 석사학위논문, 한양대학교, 2008. 8
- [6] 장효석, "도시부 신호교차로에서의 선행/후행 좌회전 신호 순서에 따른 지체 완화 방안에 대한 연구," 석사학위논문, 서울대학교, 2010. 2
- [7] 경찰청, "교통신호기 설치·관리 매뉴얼," 경찰청, 2005. 12
- [8] 국토해양부, "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설," 대한토목학회, 2009. 12
- [9] B. Park, J. Won and I. Yun, "Application of Microscopic Simulation Model Calibration and Validation Procedure: A Case Study of Coordinated Actuated Signal System," *Transportation Research Record (TRR) 1978*, TRB, Washington D.C., November 2006.
- [10] 윤일수, "SSAM을 이용한 신호교차로 안전성 평가 (감응식 교통제어 도입사례를 중심으로)," 한국ITS논문학회지, 제10권, 제6호, pp.1-14, 2011. 12
- [11] Levine, David, Stephan, Krehbiel and Berenson, "Statistics for Managers Using Microscopic Excel,"

저자소개



윤 일 수 (Yun, Il-soo)

2006년 1월 : University of Virginia 교통공학 박사
1995년 2월 : 한양대학교 일반대학원 교통공학 석사
1993년 2월 : 한양대학교 도시공학과 학사
2009년 9월 ~ 현 재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 조교수



한 음 (Han, Eum)

2012년 2월 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교통시스템공학 학사
2012년 2월 ~ 현 재 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학 석사과정



우 석 철 (Woo, Seok-cheol)

1993년 8월 : 아주대학교 일반대학원 교통공학 석사
2003년 8월 : 서울시청 근무
2003년 9월 ~ 현 재 : 수원시청 교통행정과 교통정보팀장



윤 정 은 (Yoon, Jung-eun)

2011년 2월 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교통시스템공학 학사
2011년 2월 ~ 현 재 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학 석사과정



박 성 호 (Park, Sung-ho)

2011년 2월 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교통시스템공학 학사
2011년 2월 ~ 현 재 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학 석사과정