

미시교통시물레이션모형을 이용한 하이패스 차로 위치별 이동성 및 안전성 평가방법 연구

Mobility and Safety Evaluation Methodology for the Locations of Hi-PASS Lanes Using a Microscopic Traffic Simulation Tool

윤 일 수*	한 음**	이 철 기***	노 정 현****	이 수 진*****	김 상 범*****
(Ilsoo Yun)	(Eum Han)	(Cheol-ki Lee)	(Jeong Hyun Rho)	(Soojin Lee)	(Sang Byum Kim)

요 약

하이패스 이용률 증가와 함께 전국 개통 당시 261개 톨게이트, 595개 차로에 설치되었던 하이패스는 2011년 기준 316개 톨게이트, 793개 차로로 증가되었다. 톨게이트에서 하이패스 차로가 증가하는 추세지만 아직 하이패스를 이용하지 않는 차량으로 인해 톨게이트 전체를 하이패스로 적용하지 못하고 있다. 이에 따른 일반차량과 하이패스 차량의 경로선택으로 인한 엇갈림 및 속도 차에 의해 차량 간의 상충이 발생하고 접촉사고위험이 존재한다. 이러한 배경 하에, 본 연구에서는 톨게이트의 하이패스 위치에 따른 이동성 및 차량 상충의 변화를 미시교통시물레이션과 Surrogate Safety Assessment Model(SSAM)을 통해 수치적으로 분석하였다. 또한 전문가 설문조사를 통해 하이패스 설치 및 운영의 편리성을 조사하고, Analytic Hierarchy Process(AHP) 기법을 이용하여 이동성, 안전성 그리고 설치 및 운영의 편리성에 대한 가중치를 구성하여 하이패스 차로 설치대안들에 대한 평가방법론을 개발하였다. 사례분석지역으로는 동수원IC 진입방면으로 선정하였다. 분석대상지에 적용 가능한 다양한 시나리오에 대한 이동성과 안전성을 비교한 결과, 이동성 측면에서는 하이패스 차로 위치에 따른 큰 차이는 없었다. 하지만, 안전성 측면에서는 톨게이트의 가장 안쪽 차로에 하이패스 차로가 존재할 때 가장 안전하였으며, 하이패스의 위치가 붙어있을 때와 떨어져 있을 때를 비교해 본 결과 떨어져 있을 시 가장 위험성이 증가하는 것으로 나타났다. 결론적으로 본 연구에서 제시하는 방법론은 하이패스 차로의 위치에 따른 안전성, 이동성 그리고 설치 및 운영 편리성과 관련하여 중요하고 계량화된 정보를 제공함으로써 고속도로 톨게이트에서 하이패스 차로 설치 관련 의사결정에 도움이 될 것으로 사료된다.

핵심어 : 톨게이트, 하이패스, 미시교통시물레이션, 이동성, 안전성

Abstract

The number of Hi-Pass lanes became 793 lanes at 316 expressway tollgates in 2011 due to the increase in the Hi-Pass use. In spite of the increase in the number of Hi-Pass lanes, there have been increased potential risks in tollgates where vehicles using a Hi-Pass lane must weave with other vehicles using a TCS lane. Therefore, there is a need for study on the safety in tollgates. To this end, this study aims at developing a methodology to evaluate the performance measures of diverse location countermeasures of Hi-Pass lanes in an efficient and systematic way. This study measured the mobility, safety and the convenience of installation and operation of Hi-Pass lanes using a microscopic traffic simulation tool, the surrogate safety assessment model and survey. In addition, this study aggregated the above three performance indexes using weight factors estimated using the AHP technique. For the test site, Dongsuwon interchange was selected. After building the microscopic traffic simulation model for the test site, the location countermeasures of Hi-Pass lanes applicable to the test site were compared with each other in terms of the mobility, safety and installing and operating convenience. As a result, there has been no apparent difference in mobility index based on delays. However, the countermeasures where Hi-Pass lanes are located in inside lanes generally showed better safety performance based on the number of conflicts. In addition, countermeasures with neighboring Hi-Pass lanes were favorable in terms of the safety and the convenience of installation and operation. The methodology proposed in this study was found to be useful to support decision makings by providing critical and quantitative information regarding the mobility, safety and the convenience of installation and operation.

Key words : Microscopic traffic simulation model, HI-PASS, AHP, safety, mobility, SSAM

1. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

2007년 국내 하이패스 운영을 전국적으로 확대한 후 지난 4년 동안(2007.12~2011.12) 하이패스 단말기 보급은 73만 대에서 6백 37만대로 8.7배가 늘었고, 하루 동안 하이패스를 이용하는 차량의 수도 49만 대에서 1백 83만 대로 3.7배 증가하였다[1].

〈표 1〉 하이패스 운영 현황
 〈Table 1〉 State of Hi-Pass Operations

Type	2007. 12 (National Open)	2009. 12	2011. 12
Hi-Pass Usage	15.7%	41.6%	53.5%
Hi-Pass OBU	727,000 units	3,328,000 units	6,374,000 units
Traffic Volume Using Hi-Pass	486,000 vehicles	1,375,000 vehicles	1,823,000 vehicles
Hi-Pass Tollgate	261 tollgates	302 tollgates	316 tollgates
Hi-Pass Lanes	595 lanes	739 lanes	793 lanes
Vehicles for Hi-Pass	Passenger car, bus, covered truck less than 4.5 tons	Passenger car, bus, covered truck less than 4.5 tons, truck less than 1.5 tons	Passenger car, bus, truck less than 4.5 tons, towing truck

Source: Press release provided by the Korea Highway Corporation (Dec. 16, 2011)[1]

하이패스 이용률 증가와 함께 2007년 전국 개통 당시 261개 톨게이트 595개 차로에 설치했던 하이패스는 2011년 현재 316개 톨게이트 793개 차로로 늘었고, 하이패스를 이용할 수 있는 차량의 종류도 승용, 승합, 버스, 4.5톤 미만 탑차에 국한했던 것을 4.5톤 미만 화물차와 견인차를 포함한 특수차량까지 확대됐다.

톨게이트에서 하이패스 차로가 증가하는 추세를 보이지만 아직 하이패스를 이용하지 않는 차량으로 인해 톨게이트 내 전체 차로를 하이패스 차로로 전환하지 못하고 있다. 따라서 일반차량과 하이패스 차량의 경로선택에 따른 엇갈림(weaving) 및 속도차에 의해 차량 간의 상충(conflicts)이 발생하고 이에 따른 접촉사고위험이 존재한다.

본 연구에서는 톨게이트 내에서 하이패스 차로의 위치에 따라 변하는 이동성 및 안전성을 미시교통시물레이션모형(microscopic traffic simulation model)과 대리안전평가모형(Surrogate Safety Assessment Model, SSAM)을 활용하여 분석하였다. 또한 시물레이션을 통해 생산된 하이패스 차로 위치별 이동성 및 안전성 성과지표(measures of effectiveness)와 함께 전문가 설문조사를 통해 수집한 하이패스 설치 및 운영의 용이성을 이용하여 Analytic Hierarchy Process(AHP) 기법을 통해 어떤 형태의 하이패스 차로 배치가 효과적인지 판단할 수 있는 분석 방법론을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 2012년이며, 공간적 범위는 수원시에 위치한 영동고속도로의 동수원 IC를

† 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.

* 주저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 조교수
 ** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 석사과정
 *** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수
 **** 공저자 : 한양대학교 도시대학원 교수
 ***** 공저자 : 한양대학교 도시대학원 박사과정 수료
 † 논문접수일 : 2012년 12월 3일
 † 논문심사일 : 2012년 1월 10일
 † 게재확정일 : 2012년 1월 18일

대상으로 하고 있다. 본 연구에서는 현재 적용 중인 하이패스의 위치¹⁾가 변화함에 따라 차량의 이동성과 안전성을 평가하기 위하여 교통량과 IC구조를 조사하였다. 조사된 자료를 바탕으로 미시교통시물레이션 모형인 VISSIM ver. 5.4을 이용하여 네트워크를 구축한 후 이동성 성과지표를 추출하였다. 또한 VISSIM에서 생산된 경로자료와 SSAM을 이용하여 안전성 성과지표를 산출하였다. 또한 하이패스 설치 및 운영의 용이성은 전문가 설문조사를 통하여 도출하였다. 세 가지 성과지표에 대한 상대적 가중치를 AHP기법을 이용하여 도출한 후 세 가지 상이한 성과지표를 종합적으로 고려하여 최선의 하이패스 차로 배치를 결정할 수 있는 방법론을 제시하였다.

II. 이론적 고찰

1. 선행연구 고찰

ITS Korea(2005)는 “시물레이션을 이용한 하이패스 차로선정 및 응용서비스 추진계획 수립” 연구용역에서 Electronic Toll Collection System(ETCS)를 적용하기 이전의 기본구조를 바탕으로 향후 도입이 예상되는 ETCS의 이용률을 고려하여 ETCS의 전용 차로 설치 여부와 차로 수 그리고 적절한 전용차로 위치를 결정하는 연구를 수행하였다. 또한 하이패스 전용차로의 설치 및 선정을 위한 기준을 제시하였고, 기준에 따라 시물레이션을 이용해 전국 영업을 대상으로 하이패스 차로 수를 산정하였다[2].

최현성(2008)은 하이패스 구간에서의 교통사고의 원인을 하이패스 전용차로 구간 길이의 부족으로 보고 적절한 구간 길이 산정에 의하여 하이패스 운영상의 문제점을 개선할 수 있도록 하이패스 도로 길이 산정 공식을 도출하였다. 개발된 공식을 서울요금소에 실제로 적용함으로써 톨게이트를 통과하는 차량의 움직임 변화를 분석하였다[3].

유봉석(2009)은 고속도로 영업소 진출부의 차량속도와 상충발생을 조사하여 상대속도 및 상충으로

인한 차량 감속시간 등을 분석한 결과 상대속도가 클수록 상충으로 인한 차량 급감속이 발생한다는 문제점을 파악하였다. 특히 운영형태가 상이한 지점들을 비교 분석함으로써 차로 운영형태에 따라 상충 및 상대속도를 관찰하였다. 이를 통해 하이패스 차량과 일반차량 간 상대속도에 의한 사고 위험성을 정량적 분석을 통하여 비교분석을 실시하였다. 분석 결과를 종합해 볼 때 고속도로 톨게이트 하이패스 설치로 인한 안전성을 개선하기 위해서는 톨게이트 진출부에 대해 하이패스차량과 일반 차량 간 합류를 하이패스 차량 간 합류로 개선하여 차량 간 상대속도 차를 줄이고 상충 시 Time to Accident(TA)값을 줄여 사고 위험성을 낮출 수 있는 차로운영개선이 필요하다고 제시하였다. 또한 하이패스 차량과 일반 차량 간 합류 시 상대속도차가 최소 15km/h가 되도록 적정 광장길이 및 구간을 확보할 필요가 있다고 제시하였다[4].

유봉석(2010)은 서울외곽순환고속도로 성남 및 김포영업소 중앙에 설치된 하이패스 차로 진출부에 대한 안전성을 개선하기 위한 연구를 수행하였다. 하이패스차로를 중심으로 좌·우 일반차로 위치에 따라 상충의 빈도가 다르며, 특히 하이패스 우측차로에서 하이패스차로로 진입 시 상충에 따른 TA 값이 낮아 사고위험이 높은 것으로 분석되었다. 이를 통해 중앙 하이패스 차로 설치로 인한 하이패스 차량과 일반 차량 간 합류 시 차량 간의 속도차이를 줄일 수 있는 적정 하이패스 차로 위치 및 차로 운영개선, 진로변경제한구간 확보가 필요하다고 제시하였다[5].

Mohamed *et al.*(2000)은 3년 6개월 동안 E-PASS 라고 알려진 Automated Vehicle Identification(AVI)기술의 설치 전후에 따라 사고 자료를 평가함으로써 안전성 문제를 위한 조사를 실시하였다. AVI를 사용하는 것은 톨게이트에서 용량과 지체를 포함하여 주요 교통운영 문제에 대해 훌륭한 해결책이 된다는 것을 증명하였다[6].

Kim *et al.*(2003)은 차로변경에 있어 안전은 하이패스 시스템에서 요구되는데, 하이패스 차로와 일반차로 사이에 안전을 위한 차로 유도 길이는 하이

1) 현재 총 7개 차로 중 3개 차로가 하이패스 차로로 이용 중임.

패스 차로의 속도가 60km/h일 때 25m, 70km/h일 때는 65m, 80km/h일 때는 85m 라는 결과를 제시하였다[7].

2. 기존연구와의 차이점

기존 연구들은 하이패스 안전성에 대하여 하이패스의 설계적인 측면에 대한 연구를 주로 진행하였다. 또한 제시된 기준에 대한 안전성 중심의 제한적인 지표만을 제시함으로써 해당 기준의 타당성을 증명하려고 시도하였다. 이에 반해 본 연구에서는 최근에 다양한 분야에서 폭넓게 사용되고 있는 미시교통시물레이션모형과 SSAM을 이용하여 이동성과 안전성 측면에서 정량적 수치적으로 비교해보고 종합적으로 효율적인 하이패스 차로 위치를 결정할 수 있는 방법론을 제시하고 있다.

III. 네트워크 구축 및 정산

1. 분석대상구간 선정 및 교통현황

본 연구의 분석대상구간은 수원시에 위치한 동수원 IC이다. 동수원 IC의 진입로는 경기대와 수지방면에서 접근하는 두 개의 램프로 되어있으며, 수지에서 접근하는 램프는 준직결, 경기대에서 접근하는 램프는 루프형으로 되어있다. 전체적으로 수지에서 접근하는 교통량이 경기대에서 접근하는 교통량에 두 배 정도이며, 버스의 80%는 경기대에서 접근한다. 톨게이트의 진입부는 총 7차로로 되어있으며 현재 2,3,4차로가 하이패스로 운영 중이고 나머지는 Toll Collection System(TCS)차로로 운영되고 있다. 톨게이트 진입부를 빠져나와 인천방향과 강릉방면으로 진입하는 두 곳의 램프는 모두 2차로로 구성되어있다(<그림 1> 참조).

2. 자료수집

자료 수집은 2012년 4월 18일 수요일 오전 10시부터 12시까지 캠코더를 4대를 활용하여 각 램프와

차로를 촬영하였다. 촬영된 비디오 영상을 판독하여 미시교통시물레이션 네트워크를 구축하기 위한 램프별 진입 교통량 자료, TCS 차로 및 하이패스 차로별 교통량 자료를 5종 분류에 의거하여 추출하였다.

네트워크 구축을 위한 자료 중 기하구조 자료는 Daum에서 제공하는 위성사진을 사용하였으며, 현장조사를 통해 변경된 여부를 확인하였다.

3. 네트워크 구축

본 연구에서는 VISSIM 5.4을 이용하여 미시교통시물레이션 네트워크를 구축하였다. 네트워크 구축은 위성사진을 배경화면으로 이용하여 실제 톨게이트 모습과 가능한 동일하도록 구축하였으며, 현장조사를 통해 얻은 교통량 자료와 진출입 TCS 평균 대기시간과 하이패스 통과속도 등을 입력하였다.



<그림 1> 동수원 IC 네트워크 구축 모습
<Fig. 1> Network for Dongsuwon IC

4. 정산

본 연구에서는 미시교통시물레이션 모형 내에 교통량, TCS 대기시간, 하이패스 통과속도 등을 입력한 후 정산(calibration) 과정을 거쳤다. 정산 변수 조정을 통해서 두 개의 진입부(램프)에서 하이패스 차로와 TCS 차로를 선택하는 부분까지의 비율을 Route를 통해서 지정을 해주고 미시교통시물레이션 상에서 차량이 차로를 선택하는 행태를 톨게이트

차로선별 교통량과 비교하여 정산을 실시하였다. 하지만 VISSIM 내에 추종이론, 차로 변경 등 다양한 정산변수를 설정하였으나, 실제 동수원 IC에서 진입 차량들이 하이패스 차로와 TCS차로를 선택하는 행태를 구현에는 어려움이 있었다. 즉, VISSIM에서의 차로별 교통량은 Route를 지정하지 않은 상태에서는 조정이 불가능하였다. 따라서 본 연구에서는 정산을 위하여 하이패스 차로 통과속도, TCS 차로 정차시간 그리고 연결로 상의 차량 진입 속도를 현장 조사치를 기준으로 VISSIM의 관련 정산 파라미터 값을 조절하였다. 시뮬레이션 상의 하이패스 차로 통과 속도의 경우 VISSIM의 reduced speed area를 이용하여 조사당일 측정된 하이패스 차로 통과 속도의 평균값에 맞추었다. TCS 차로 정차시간의 경우 조사치는 평균 2.94초이며, 시뮬레이션 상에서는 VISSIM의 stop sign을 이용하여 평균 3.0초(최소값 2.7초, 최대값 3.3초)로 설정하였다. 여기서 TCS 차로 정차시간은 대상차량의 TCS부스 앞 정지 시점부터 통행권 수령 후 이동 시점까지를 의미한다. 연결로 상의 차량진입 속도의 경우 양측 램프를 통해 진입하는 차량의 평균 속도가 42.7km/h이며, 시뮬레이션 상에서는 VISSIM의 desired speed distribution을 이용하여 평균 42.5km/h(최소값 40.0km/h, 최대값 45.0km/h)로 설정하였다.

진입 차량이 하이패스 차로와 TCS 차로를 선택하는 행태에 대한 정산과정은 생략하였다. 대신에 동일한 네트워크에서 하이패스 차로 위치 대안을 설정한 후 차로별 교통량을 임의로(random) 부여하는 방식으로 다수의 교통량 시나리오를 작성한 후 각 하이패스 차로 설치 대안별로 시뮬레이션을 반복 수행(multi-run)하였다.

IV. 시뮬레이션 수행 결과 분석

1. 하이패스 차로 설치 대안 구축

본 연구는 톨게이트의 하이패스 차로 설치 위치 변화에 따른 이동성(mobility)과 안전성(safety)를 미시교통시뮬레이션모형을 이용하여 계량한 후, 다양

한 하이패스 차로 위치 대안을 상호 비교하였다. 이를 위해 본 연구는 다음 <표 2>와 같은 하이패스 차로 위치 조합을 대안으로 설정하였다.

현재 동수원 IC의 고속도로 진입 톨게이트의 경우 대안 2와 같이 2, 3, 4차로가 하이패스 차로로 운영 중이며, 하이패스의 차로 수는 동일하게 3개의 차로로 설정하여 비교하였다.

<표 2> 하이패스 차로 위치 대안
(Table 2) Alternative Location of High-pass Lane

Alternative No.	Hi-Pass Lanes	Alternative No.	Hi-Pass Lanes
Alternative 1	1,2,3	Alternative 18	4,5,7
Alternative 2	2,3,4	Alternative 19	1,5,6
Alternative 3	3,4,5	Alternative 20	2,5,6
Alternative 4	4,5,6	Alternative 21	3,5,6
Alternative 5	5,6,7	Alternative 22	1,6,7
Alternative 6	1,2,4	Alternative 23	2,6,7
Alternative 7	1,2,5	Alternative 24	3,6,7
Alternative 8	1,2,6	Alternative 25	4,6,7
Alternative 9	1,2,7	Alternative 26	1,3,5
Alternative 10	2,3,5	Alternative 27	1,3,6
Alternative 11	2,3,6	Alternative 28	1,3,7
Alternative 12	2,3,7	Alternative 29	1,4,6
Alternative 13	1,3,4	Alternative 30	1,4,7
Alternative 14	3,4,6	Alternative 31	2,4,6
Alternative 15	3,4,7	Alternative 32	2,4,7
Alternative 16	1,4,5	Alternative 33	3,5,7
Alternative 17	2,4,5		

Note: Lane 1 means the most inside lane.

2. 시뮬레이션 수행

미시교통시뮬레이션모형은 네트워크가 빈 상태에서 차량을 발생시켜 네트워크를 채우게 된다. 따라서 네트워크 내 교통량의 큰 변화가 없는 균형상태(equilibrium status)에 이르기 위해서는 초기 시뮬레이션 시간(warm-up time)이 필요하다. 본 연구에서는 네트워크 크기를 고려하여 15분의 초기 시뮬레이션 시간을 적용하였다. 실제 각종 지표를 생성하는 시뮬레이션 시간은 초기 시뮬레이션 시간이 지나고 나서 1시간 동안이다[9].

또한 미시교통시물레이션모형의 확률적 특성 (stochastic variability)와 다양한 교통량 시나리오를 고려하기 위하여 차로별 교통량의 경우 하이패스 차로의 평균 교통량을 기준으로 30%, 0%, -30% 세 가지로 분류하고, 또한 TCS 차로도 마찬가지로 평균 교통량을 기준으로 30%, 15%, -15%, -30%로 설정한 후 시물레이션 수행 시 마다 하이패스 차로와 TCS차로에 무작위(random)로 배분한 후 30번 반복 수행 하였다[9]. 그리고 30번 수행한 결과를 평균하여 이동성과 안전성 평가를 위한 성과지표 값을 산출하였다.

결과 값 산정 지표로는 평균지체, 평균속도, 여행 시간을 통해 이동성 분석을 실시하였으며, 추돌형 상충 횟수, 차로변경형 상충 횟수와 총 상충 횟수를 통해서 대안별로 안전성을 평가 하였다.

3. 이동성 분석

분석결과 하이패스 차로 위치 대안 1이 가장 적은 지체(delay)를 보이고 있으며, 이는 직관적으로도 쉽게 예상 가능한 결과이다. 차량들이 램프에서 진입 후 차로 변경이 없거나 적은 상태로 하이패스 차로를 통해 톨게이트를 통과할 수 있기 때문에 지체가 가장 최소화 된다. 그러나 평균속도 또는 여행 시간의 경우 대안별로 크게 차이가 없다. 이는 TCS 차로에서 발생하는 대기시간이 상대적으로 크기 때문이라고 판단된다.

4. 안전성 분석

미국 FHWA에서 개발한 S/W인 Surrogate Safety Assessment Model(SSAM)을 이용해 대안별 안전성을 평가하였다. SSAM은 시물레이션에서 구현된 모든 차량의 차량 경로 데이터를 이용하여 상충(conflicts)의 발생빈도를 파악 할 수 있다. SSAM은 미시교통 시물레이션모형에서 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),

〈표 3〉 대안별 이동성 평가
(Table 3) Summary of Mobility by Countermeasures

Alternative No.	Ave. Delay (sec/veh)	Ave. Speed (km/h)	Ave. Travel Time (sec/veh)
Alternative 1	364.29	11.62	312.20
Alternative 2	373.45	11.39	313.23
Alternative 3	374.71	11.32	313.23
Alternative 4	385.42	11.08	314.74
Alternative 5	367.70	11.51	314.49
Alternative 6	371.17	11.44	312.53
Alternative 7	372.48	11.38	313.30
Alternative 8	387.80	11.03	315.11
Alternative 9	388.13	11.00	314.28
Alternative 10	370.70	11.46	314.22
Alternative 11	371.84	11.42	313.44
Alternative 12	376.21	11.29	313.82
Alternative 13	383.05	11.09	313.15
Alternative 14	388.24	11.00	314.19
Alternative 15	377.57	11.27	313.05
Alternative 16	386.81	11.03	313.07
Alternative 17	392.09	10.94	315.42
Alternative 18	376.42	11.30	313.62
Alternative 19	392.32	10.91	314.14
Alternative 20	381.75	11.16	315.33
Alternative 21	368.20	11.50	313.86
Alternative 22	404.35	10.62	316.04
Alternative 23	393.72	10.88	315.62
Alternative 24	377.59	11.23	313.82
Alternative 25	370.38	11.42	313.84
Alternative 26	377.95	11.27	312.98
Alternative 27	393.46	10.87	314.25
Alternative 28	394.97	10.82	314.13
Alternative 29	394.78	10.88	315.17
Alternative 30	394.02	10.86	315.64
Alternative 31	386.17	11.07	314.54
Alternative 32	386.17	11.07	314.47
Alternative 33	384.43	11.12	313.92

추돌형(rear-end), 그리고 차로변경형(lane Change) 상충(conflicts) 횟수를 추정할 수 있다[10]. 이중에서 본 연구에서는 TTC를 이용하여 상충의 빈도를 추정하였으며, 그 기준값은 1.5초를 사용하였다[9,10]. 또한 상충 각도가 30도 이하인 경우 추돌형 상충, 30도 초과인 경우를 차로변경형 상충으로 구분하였다. 총 상충 횟수의 경우 대안 6이 555.1회로 가장 낮게 나

타났으며, 이동성 분석에서 가장 좋은 대안이었던 대안 1은 556.4회로 나타났다.

〈표 4〉 대안별 상충 빈도 평가
 〈Table 4〉 Summary of Conflicts by Countermeasures

Alternative No.	Total Conflicts	Crossing Conflicts	Lane Changing Conflicts
Alternative 1	556.4	313.1	243.3
Alternative 2	574.9	347.7	227.3
Alternative 3	627.4	399.8	227.5
Alternative 4	743.1	527.5	215.5
Alternative 5	752.8	527.5	225.3
Alternative 6	555.1	319.3	235.9
Alternative 7	610.3	375.9	234.5
Alternative 8	628.2	382.8	245.4
Alternative 9	612.7	357.2	255.5
Alternative 10	649.5	409.7	239.7
Alternative 11	642.3	397.3	245.0
Alternative 12	625.4	387.3	238.1
Alternative 13	560.7	326.4	234.3
Alternative 14	642.4	422.0	220.4
Alternative 15	679.1	450.6	228.4
Alternative 16	626.9	400.9	226.0
Alternative 17	671.7	437.1	234.6
Alternative 18	749.1	519.1	229.9
Alternative 19	638.2	406.9	231.3
Alternative 20	696.3	466.3	230.0
Alternative 21	746.5	495.3	251.2
Alternative 22	631.2	403.4	227.8
Alternative 23	690.9	461.4	229.5
Alternative 24	703.7	474.1	229.7
Alternative 25	738.9	516.3	222.5
Alternative 26	642.9	398.1	244.7
Alternative 27	627.4	383.1	244.3
Alternative 28	621.9	364.7	257.2
Alternative 29	667.8	431.3	236.5
Alternative 30	693.3	440.1	253.1
Alternative 31	689.9	454.1	235.8
Alternative 32	683.7	445.7	238.0
Alternative 33	743.1	491.3	251.7

5. 설치 및 운영 용이성 분석

현재 한국도로공사는 “하이패스 운영실무 편람(2011)”을 이용하여 하이패스를 운영하고 있다[11]. 하이패스 증설 및 위치선정의 경우 하이패스 이용

차량이 피크시간대 1,000대(1차로)를 초과하는 영업소의 경우나 차량 엇갈림 현상으로 지·정체 및 다수의 사고 발생 영업소의 경우 추가로 하이패스를 증설하도록 되어있다. 하이패스 차로 배치의 경우 합류구간의 거리 확보의 경우 진입 좌측에 설치하게 되어있으며, 합류구간 거리 미 확보시 차로수에 따라 진입좌측 또는 중앙에 설치하게 되어있다. 하지만 편람에서 합류구간과 설치차로의 정의가 모호함에 따라 설치 및 운영 용이성에 대한 평가에 어려움이 있다. 본 연구에서는 현재 33개의 대안에 대하여 5점 척도로 설치 및 운영 용이성에 대한 교통 전문가 5명의 점수평가를 실시하였고 그 결과는 다음 <표 5>와 같다.

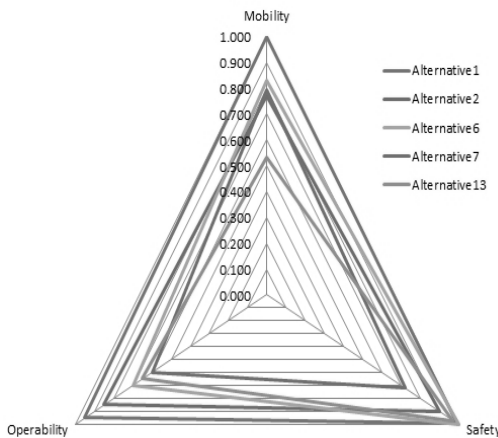
대안 1의 경우 평균점수가 4.8점으로 가장 높은 점수를 나타냈다. 이는 운영실무 편람에서도 일반적으로 권장하는 좌측차로에 하이패스를 배치하는 방법이다. 대안 2도 4.4점으로 높은 점수를 나타냈으며 전체적으로 결과값을 보면 하이패스가 붙어있을수록, 좌측에 배치될수록 좋은점수를 나타내는 것을 알 수 있다.

〈표 5〉 대안별 설치 및 운영 용이성 점수
 〈Table 5〉 Summary of Convenience Index by Countermeasures

Alternative No.	Operability Scores	Alternative No.	Operability Scores
Alternative 1	4.8	Alternative 18	3.0
Alternative 2	4.4	Alternative 19	2.6
Alternative 3	4.0	Alternative 20	2.4
Alternative 4	4.0	Alternative 21	2.6
Alternative 5	3.8	Alternative 22	2.2
Alternative 6	3.8	Alternative 23	2.0
Alternative 7	3.4	Alternative 24	2.2
Alternative 8	3.0	Alternative 25	2.6
Alternative 9	3.0	Alternative 26	2.6
Alternative 10	3.6	Alternative 27	1.8
Alternative 11	3.2	Alternative 28	1.6
Alternative 12	2.8	Alternative 29	1.6
Alternative 13	3.6	Alternative 30	1.6
Alternative 14	3.0	Alternative 31	2.0
Alternative 15	3.2	Alternative 32	1.4
Alternative 16	2.6	Alternative 33	1.4
Alternative 17	3.0		

6. 종합 분석 결과

이동성, 안전성, 설치 및 운영 용이성 분석에 대하여 각 대안별 지표값이 차이가 있기 때문에 값을 0과 1 사이로 평준화를 시켜 비교해 보았다. 그 결과 대안 1의 총 합계가 가장 높았으며 대안 6, 대안 2, 대안 13, 대안 7의 순서대로 총합의 순위가 결정되었다.



〈그림 2〉 상위 대안의 평준화 비교
 〈Fig. 2〉 Comparison of Three Indexes by Countermeasures

대안 1의 경우 가장 큰 삼각형을 보임으로 이동성, 안전성, 설치 및 운영 용이성에 고른 점수를 받고 있으며 대안 13의 경우 이동성에서는 0.5점의 낮은 점수나 안전성에 있어서 0.9점의 높은 점수로 나타나고 있다.

V. AHP 기법을 이용한 종합분석

1. AHP 기법 적용을 위한 설문조사

AHP(Analytic Hierarchy Process)기법은 가장 많이 사용되는 의사결정방법론 중 하나이다. 목적 함수에 대하여 쌍대비교방식을 통하여 우선순위를 결정하는 방식이다. 평준화된 세 가지의 지표가 모두 중

요하지만 중요한 정도가 모든 통행자가 동등하게 느끼지 않는다. 따라서 본 연구에서는 AHP 기법을 사용하여 이동성, 안전성, 설치 및 운영 용이성 세 가지의 목적함수에 대하여 교통전문가에게 쌍대비교 방식의 설문조사를 실시하여 각 목적함수에 대한 가중치를 확인하였다. 설문조사에 대한 결과 도출 프로그램으로는 Expert Choice 11을 사용하였으며 모든 전문가의 일치성검사의 결과 0.05 미만으로 모두 사용가능 하였다.

가중치 분석 결과 이동성의 경우 0.361, 안전성은 0.429, 설치 및 운영용이성의 경우 0.210의 가중치를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 하이패스 차로 설치 관련 지표로서 안전성이 가장 중요한 것으로 나타났다. 이는 톨게이트 내의 사고의 위험성과 사고시 발생할 혼잡이 이동성 및 설치 및 운영용이성보다 더 큰 문제로 인식하고 있음을 의미한다. 또한 설치 및 운영용이성의 경우 운전자보다 운영자를 위한 지표로 인식되기 때문에 가중치 값이 낮은 것으로 분석된다.

2. 종합 분석 결과

평준화된 지표 값에 각 지표의 가중치를 곱하여 얻은 대안별 값과 순위는 <표 6>과 같다.

가중치를 적용한 결과 안전성에 점수를 많이 받은 대안들의 순위가 전체적으로 상승하는 모습을 보였다. 최종적으로 나온 결과들을 살펴보면, 하이패스 3개의 차선이 붙어있는 대안 1~5 중에서 대안 1~3의 경우는 높은 순위, 대안 4와 5의 경우는 낮은 순위를 나타내고 있다. 이러한 결과는 하이패스의 차선이 안쪽차선에 위치할 때 운영효과가 뛰어난 것을 판단할 수 있는 근거가 된다.

또한 대안 1, 2, 6, 7의 경우 하이패스 차선이 모두 인접해 있는 대안들로 하이패스 차선이 연속되어 있을 때 차량의 차선변경이 줄어들고 이로 인해 상충 감소, 이동성 증가, 운영편의 증가 등으로 이어지는 것으로 판단된다.

〈표 6〉 하이패스 차로 위치 대안별 순위
 〈Table 6〉 Ranking by Hi-Pass Lane Location Alternatives

Alternative No.	Weighted Mobility	Weighted Safety	Weighted Operability	Sum	Ranking
Alternative 1	0.361	0.426	0.200	0.987	1
Alternative 2	0.278	0.386	0.179	0.843	3
Alternative 3	0.267	0.272	0.158	0.697	6
Alternative 4	0.171	0.021	0.158	0.349	27
Alternative 5	0.330	0.000	0.147	0.477	16
Alternative 6	0.299	0.429	0.147	0.875	2
Alternative 7	0.287	0.309	0.126	0.722	5
Alternative 8	0.149	0.270	0.105	0.525	12
Alternative 9	0.146	0.304	0.105	0.555	11
Alternative 10	0.303	0.224	0.137	0.664	7
Alternative 11	0.293	0.240	0.116	0.648	8
Alternative 12	0.254	0.276	0.095	0.625	9
Alternative 13	0.192	0.417	0.137	0.745	4
Alternative 14	0.145	0.240	0.105	0.490	15
Alternative 15	0.241	0.160	0.116	0.517	13
Alternative 16	0.158	0.273	0.084	0.515	14
Alternative 17	0.110	0.176	0.105	0.391	24
Alternative 18	0.252	0.008	0.105	0.365	25
Alternative 19	0.108	0.249	0.084	0.441	17
Alternative 20	0.204	0.123	0.074	0.400	23
Alternative 21	0.326	0.014	0.084	0.423	18
Alternative 22	0.000	0.264	0.063	0.327	29
Alternative 23	0.096	0.134	0.053	0.283	31
Alternative 24	0.241	0.107	0.063	0.411	21
Alternative 25	0.306	0.030	0.084	0.420	19
Alternative 26	0.238	0.238	0.084	0.560	10
Alternative 27	0.098	0.272	0.042	0.412	20
Alternative 28	0.085	0.284	0.032	0.400	22
Alternative 29	0.086	0.184	0.032	0.302	30
Alternative 30	0.093	0.129	0.032	0.254	32
Alternative 31	0.164	0.136	0.053	0.353	26
Alternative 32	0.164	0.150	0.021	0.335	28
Alternative 33	0.180	0.021	0.021	0.222	33

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 최근 컴퓨터 H/W 및 S/W의 발전에 힘입어 교통 분야에서 활용 빈도를 지속적으로 높여가는 미시교통시물레이션모형을 이동성과 안전성을 평가할 수 있는 도구로 활용하는 것에 대한 가능성을 실제 사례분석을 통해 보여주고자 하였다.

본 연구에서 선정된 사례는 톨게이트의 하이패스 차로 위치가 변함에 따라 차량의 상충이 변화되고 이러한 상충의 변화를 미시교통시물레이션과, SSAM을 통해 수치적으로 나타내었다.

사례분석지역으로는 동수원 IC 진입방면으로 선정되었으며, 교통량 등 자료 조사, 미시교통시물레이션 네트워크 구축, 하이패스 차로 위치 대안 구축, 시물레이션 수행, 그리고 이동성 및 안전성 분석 설치 및 운영의 용이성 분석 등을 차례대로 수행하였다. 이동성, 안전성 그리고 용이성 지표의 표준화를 수행한 후, AHP 기법을 이용하여 하이패스 차로 위치 대안별 평가 점수를 산출하였다.

그 결과 하이패스 차로 설치 시 고려해야 할 항목의 수치비교를 통하여 선택할 수 있는 방법론을 제시함으로써 운영자가 설치장소의 목적에 따라서 설치 할 수 있도록 돕고자 하였다.

하이패스의 차로 설치의 경우 차로가 좌측(중앙 분리대 측)에 있을수록, 하이패스 차로가 서로 인접할수록 이동성, 안전성 그리고 설치 및 운영 용이성 측면에서 좋은 결과값을 얻었다. 그 이유는 좌측에 있을수록 안전성과 설치 및 운영성이 높게 나타났으며, 붙어있을 경우 이동성과 안전성, 설치 및 용이성이 모두 높게 나타나는 결과를 나타냈다.

본 연구는 동수원 IC로 국한되어 결과를 도출하였지만 다른 IC의 경우도 위와 같은 방법으로 진행함으로써 하이패스 차로 위치 결정시 이동성과 안전성 그리고 설치 및 운영 편리성을 종합적으로 고려한 설치 위치를 결정하는 데 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Korea Highway Corporation, Press release, 2011.12
- [2] ITS Korea, Master Plan for Hi-Pass and Hi-Pass Lane Selection Using a Simulation Tool, ITS Korea, 2005.12
- [3] Choi H. S., A Study on the Accident Characteristics Analysis of the Hi-pass section, Master's Thesis of The Kookmin University, 2008

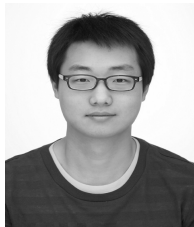
- [4] Yoo B. S., Safety Improvement When Toll Gate "Hi-pass" System Installed on Express Highway, Master's Thesis of The University of Seoul, 2009
- [5] Yoo B. S., Lee S. B., Park Y. Y., and Do H. G., Safety Improvement When Toll Gate "Hi-pass" System Installed on Express Highway, The KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 30, no. 1, pp.1-10, 2010
- [6] Mohamed, A. A., M. Abdel-Aty and J. G. Klodzinski, Safety Considerations in Designing Electronic Toll Plazas Case Study, ITE Journal. vol. 71, Issue no. 3, March 2000, pp. 20-24.
- [7] Kim, J. Y., Park J. Y., Lee S. K., Kim H. J., Chang M. S., The Length of Lane Channelization between ETCS Lane and Adjacent Lane on Departure Acceleration Section of Tollgate, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, vol.4, October, 2003, pp. 1131-1142.
- [8] Jo, H. Y., A Study on Driving Characteristics of Elderly Driver Using a Analytic Hierarchy Process, Master's Thesis of The Ajou University, 2008
- [9] Yoon I. S., Evaluation of Mobility and Safety of Operating an Overlap Phase on a Shared-Left-Turn Lane Using a Microscopic Traffic Simulation Model, Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 11, no. 5, pp.15-26, 2012
- [10] FHWA, "Surrogate Safety Assessment Model", FHWA. 2008
- [11] Korea Highway Corporation, Hi-Pass Operation Manual, 2011.11

저자소개



윤 일 수 (Yun, Ilsoo)

2006년 1월 : University of Virginia 교통공학 박사
 1995년 2월 : 한양대학교 일반대학원 교통공학 석사
 1993년 2월 : 한양대학교 도시공학과 학사
 2009년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 조교수
 e-mail : ilsooyun@ajou.ac.kr



한 음 (Han, Eum)

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



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)

1998년 : 아주대학교 대학원(교통공학박사)
 현 재 : 아주대학교 교통연구센터 부센터장, 아주대학교 건설교통공학부 교수
 2004년 : 서울지방경찰청 교통개선 기획실장 및 COSMOS 추진 기획단장
 2000년 : 미국 Texas A&M University TTI(Texas Transportation Institute) Visiting Scholar 과정
 1991년 : 아주대학교 대학원(석사)
 e-mail : ckleee@ajou.ac.kr



노 정 현 (Rho, Jeong Hyun)

1988년 : University of Illinois at U-C 지역계획 박사
1984년 : 고려대학교 산업공학과 석사
1976년 : 한양대학교 도시공학과 학사
1988년 ~ 현재 : 한양대학교 도시공학과/도시대학원 교수



이 수 진 (Lee, Soo Jin)

2008년 8월 : 한양대학교 도시대학원 박사수료
1998년 2월 : 한양대학교 환경대학원 석사
1993년 2월 : 한양대학교 공과대학 도시공학과 학사
1996년 3월 ~ 현재 : 서울특별시 도시교통본부/교통수요관리팀장



김 상 범 (Kim, Sang-beom)

2006년 8월 : 한양대학교 대학원 도시공학 박사수료
1993년 2월 : 한양대학교 대학원 도시공학 석사
1989년 2월 : 한양대학교 공과대학 도시공학과 학사
2004년 3월 ~ 현재 : 서울특별시 도시교통본부 보행자전거과
(교통운영과, 교통정보센터, 교통시설과)
1994년 2월 ~ 2004년 3월 : 서울지방경찰청 교통관리과(교통개선기획실)