

다차로 ETCS 도입 시 영업소 동선 처리 사례 연구

A Case Study of Evaluation for Lane Layout of Toll Plaza including Multi-lane ETCS

한 동 희* · 최 윤 혁** · 이 기 영*** · 정 소 영****

* 주저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
 ** 공저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
 *** 공저자 및 교신저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원
 **** 공저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원

Dong-Hee Han* · Yoon-Hyuk Choi** · Ki-Young Lee*** · So-Young Jeong****

* Korea Expressway Corporation Research Institute
 ** Korea Expressway Corporation Research Institute
 *** Korea Expressway Corporation Research Institute
 **** Korea Expressway Corporation Research Institute

† Corresponding author : Ki Young Lee, kylee@ex.co.kr

Vol. 16 No.3(2017)
 June, 2017
 pp.83~94

ISSN 1738-0774(Print)
 ISSN 2384-1729(On-line)
<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.3.83>

Received 28 July 2016
 Revised 30 August 2016
 Accepted 14 May 2017

© 2017. The Korea Institute of
 Intelligent Transport Systems. All
 rights reserved.

요 약

서부산요금소에는 이용자가 80kph의 속도로 통과가 가능한 2차로 ETCS (2차로 하이패스 차로)가 설치되어 운영 중에 있다. 이 시스템은 하이패스 차로의 분리섬을 제거하여 2차로로 운영되는 정산 차로로써 성공적으로 운영되고 있다. 그러나 이 차로의 등장은 요금소의 차로 유형이 더 복잡해짐을 의미하며, 따라서 다양한 차로들을 어떻게 효과적으로 배치하는가는 매우 중요한 문제가 될 것이다. 본 연구에서는 서울요금소에 2차로 ETCS 차로의 추가 배치를 가정하여, 광장부내 합리적 동선 처리를 위한 시나리오 분석을 시행하고자 한다. 이를 위해 서울요금소에서 배치가능한 동선 처리 시나리오를 선정하고, VISSIM 프로그램을 활용하여 통행속도 지표를 이용하여 운영상태를 평가하였다. 분석 결과, 각 시나리오별 주행속도 및 차로 유형간 속도 편차는 매우 상이하게 나타났으며, 2차로 ETCS 차로의 배치가 전체 요금소의 소통에 큰 영향을 줄 수 있음을 증명하였다.

핵심어 : 요금소, 미시적 교통시뮬레이션, 2차로 하이패스차로, 속도 편차, 광장부 동선

ABSTRACT

There is a two lane ECTS(Electronic Toll Collection System) that users can pass with 80kph high speed in SeoBusan Tall Gate. This system to be combined two hi-pass lanes for removing meddle-island have been operated successfully. But, the appearance of two Lane ETCS makes toll gate more complicated, so it is very important how to arrange effectively various tolling lanes. This study was trying to evaluate lane configuration for minimizing speed and speed deviation among all kinds of lanes including two Lane ETCS in seoul toll gate. That is, we selected all scenarios to be happened actually, and evaluated them using micro traffic simulation model (VISSIM). The results of this study showed that each alternative had a very different speed and speed deviation by lane each other, so we will be able to achieve effective operation and configuration of lanes in toll gate using scenario methodology.

Key words : Toll Booth, Microscopic Simulation, Smart Tolling, Speed Deviation, Traffic Line Of Toll Plaza

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

국내 고속도로 요금소의 차로는 크게 TCS차로와 하이패스차로로 구분되며, 인근 연결로와의 이격거리 등을 감안하여 하이패스차로의 배치 위치가 결정된다. 따라서 요금소마다 상황에 따라 다양한 차로배치(요금소의 각 부스별 TCS 또는 Hi-pass 차로 배치 결정)형태를 갖게 된다.

요금소의 차로는 유형별로 통행속도가 다르기 때문에 요금소 광장부의 안전에 많은 문제를 야기시키고 있다. 특히 하이패스차로 사이에 존재하는 분리섬을 제거하여 제한속도를 80kph로 운영하는 2차로 하이패스차로의 도입이 검토되면서, 더 복잡한 상황에 직면하게 되었다. 기본적으로 동일한 시간에 많은 차량을 처리할 수 있는 2차로 하이패스 차로가 그 기능을 다하기 위해서는 요금소 차로 배치와 요금소 광장부 내부의 동선처리가 더욱 중요해진다.

현재 고속도로 요금소는 정지해서 통행권을 발급하고 정산하는 TCS 차로와 30kph의 속도로 통과하는 하이패스 차로가 혼재되어 있는 상황에서 80kph의 속도로 통과하는 2차로 하이패스 차로가 도입되면, 짧은 요금소 구간에서 속도가 서로 다른 3개의 교통류가 분류 및 합류되어야 하기 때문에 교통류를 안전하면서도 효율적으로 처리하기 위한 요금소 차로배치와 요금소 광장부의 동선처리에 대한 종합적인 검토가 필요한 상황이다.

2. 연구의 주요 내용

요금소의 차로배치와 차량 동선의 결정은 각 요금소마다 형태가 다르기 때문에 하나의 정형화된 기준을 제시하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 요금소 내의 차로 배치와 동선을 결정하는 절차를 제시하고자 한다.

요금소 동선 배치의 적정성은 소통측면에서 통행속도, 안전측면에서는 차로간 속도편차를 사용하였으며 미시적 교통시뮬레이션을 활용하여 지표를 산정하였다. 분석은 서울요금소를 대상으로 수행하였다. 서울요금소는 하이패스 버스전용차로, 하이패스차로, TCS차로가 설치되어 있으며, 여기에 2차로 하이패스차로의 도입이 검토되고 있다. 이러한 경우 각 유형별 차로 위치 선정과 더불어 광장부내 동선 처리 문제를 일반화된 기준으로 처리하기에는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 서울요금소를 대상으로 차로배치 시나리오를 설정하고, 시뮬레이션을 통하여 광장부의 구간별 통행속도와 차로간 속도편차를 산출하여 분석을 진행하였다.

본 연구 결과는 향후 보다 다양한 요금소에 대하여 추가적인 사례 분석이 수행된다면, 요금소의 차로 유형별 배치 및 요금소 전후 구간을 연결하는 동선 처리를 종합적으로 고려하여, 최적 대안을 선정하는 절차로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

II. 기존 사례 및 문헌고찰

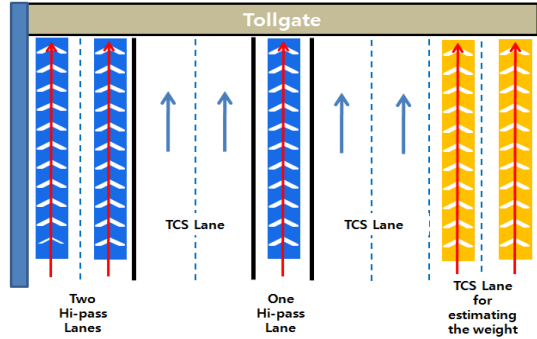
1. 요금소 차로 구성 변화

<Fig. 1>은 서부산요금소에 설치된 2차로 하이패스차로이다. 이는 하이패스차로 사이에 설치된 분리섬을 제거하여 마치 편도 2차로 도로와 같이 운영되는 하이패스차로를 말하며, 차로폭과 측방여유폭이 넓어 제한속도가 80kph이상으로 운영되며, 30kph로 운영 중인 기존 하이패스차로보다 처리용량이 크게 늘어나게 된다.

향후 2차로 하이패스차로의 정산에 대한 완성도가 높아지면, 3차로, 4차로 하이패스 차로가 도입될 전망이다. 현재 하이패스차로를 통상 단차로 톨링이라 한다면, 2차로 이상의 하이패스 차로는 다차로 톨링 (Multi-lane Tolling)으로 구분된다.



〈Fig. 1〉 Two Hi-pass lanes



〈Fig. 2〉 Composition of lanes at toll plaza

다차로톨링의 경우 높은 속도로 인해 이용자의 만족도가 높아지게 되나, 이제 요금소에는 TCS 차로, 하이패스 차로, 2차로 하이패스차로 등 서로 다른 교통 특성을 가진 차로들이 혼재되는 만큼, 소통이나 안전측면에서 보다 복잡한 양상을 갖게 된다.

〈Fig. 2〉는 2차로 하이패스 차로가 도입되었을 때, 본선형 요금소의 일반적인 차로배치 형태를 도식화한 것이다. 즉 일반적인 차로배치 형태는 2차로 하이패스차로, 하이패스차로(선택), TCS차로, 하이패스차로(선택), TCS차로(축중차로 포함)의 순으로 배치된다. 결국 통행특성이 다른 차로들이 혼재되어 있어, 적절치 못한 차로배치는 안전과 소통상 문제를 발생시킬 것으로 예상된다. 본 연구에서는 어떻게 동선 처리를 해야 소통과 안전측면을 극대화 할 수 있는지를 검토하고자 하며, 특히 통행속도와 속도편차를 통해 이를 평가해 보고자 한다.

2. 기존 문헌 고찰

지금까지의 기존 연구는 ETCS의 도입에 따라 과연 이 차로를 어느 위치에 배치하는가에 대한 것이었다. 즉 속도가 높은 ETCS 차량의 원활한 흐름을 확보하는 환경을 확보하는데 초점이 맞추어져 있다. 다만 요금소 구간의 동선처리에 대한 문제를 다룬 연구는 그리 많지 않으며, 일반화된 기준을 만들기 위한 연구보다는 각 케이스별로 시뮬레이션 분석에 초점이 맞추어져 있다.

Bae(2011)는 각 차량이 자신이 이용하고자 하는 차로를 선택하기 위해 시행하는 차로변경 횟수를 최소화하기 위한 차로배치 방법을 제시하였다. 다만 각 요금소별 차로 배치 특성은 전혀 다르기 때문에, 각각의 사례마다 미시적 차량이동 데이터를 수집하여 분석하였다. Cho et al.(2002)은 SIMPLUS라는 고속도로 요금소 시뮬레이션 프로그램을 개발하여, ETCS 등 새로운 요금징수시스템을 도입할 경우의 효과 평가를 수행하였다. 특히 미시적 시뮬레이션을 통해 고속도로 요금소의 확장, 시간대별 교통량변화에 따른 요금소 운영방안과 같은 다양한 형태의 요금소 운영시스템을 분석하였다.

Horiguchi et al.(2009)는 미시적 시뮬레이션을 통해 위험요소로 near-miss라는 지표를 정의하고, 이를 통해 요금소의 안전성을 평가하였다. 여기서 near-miss는 요금소 진입 차량들간의 차두간격이 1초 이하로 줄어드

는 케이스로, 이를 위험한 운전 행태로 정의한다. 먼저 ETCS 운영을 결정하기 위해 Narashino 요금소를 대상으로 비디오 촬영 후, 영상 이미지 추적기술을 활용하여 개별차량의 이동 추출하였다. 이 자료를 통해 차량의 속도 및 가속도, 요금소 통과시간, near-miss 수 등의 데이터를 출력하고, 세 가지 대안별로 요금소의 near-miss를 산출하여 비교하였다. 또한 Lee et al.(2013)는 하이패스차량을 대상으로 하여 교통분산율이라는 평가지표를 개발하고, 하이패스 차로들에 교통량이 적정하게 분산되어 이용되고 있는가를 평가할 수 있는 로지스틱 회귀모형을 개발하였다. 본 논문에서는 적정하게 교통량이 분산 이용되지 않을 경우, 이에 영향을 주는 주요 요인들의 조절이 필요하다고 제시하고 있다.

Polus and Peshetnik(1997)는 요금소의 차로 구성은 서비스적도인 LOS뿐만 아니라 운영비용과 처리용량에도 중요한 영향을 주기 때문에, ETC 차로수와 일반 차로수 등을 사전 계획 단계에서 결정하고, 시뮬레이션을 이용하여 미세 조정하는 절차를 통해 최종적인 차로 배치를 결정해야 한다고 제시하고 있다.

Yoo et al.(2010)은 고속도로 요금소 진출부를 대상으로, 각 차량별 주행속도와 상충발생 여부를 조사하였다. 여기서 차량간 상대적 속도가 높을수록 차량의 급감속 형태가 자주 발생하고, 결국 상충으로 이어진다는 결과를 제시했다. 특히 통행특성이 다른 하이패스 차량과 TCS 차량의 상대속도의 차는 더 큰 위험성을 내포하고 있는 것으로 나타났다.

지금까지 요금소 차로배치 및 동선 처리에 대한 기존 문헌을 살펴보았다. 이러한 연구의 시작은 ETCS 차로의 도입에 따라 발생할 수 있는 문제점을 해결하기 위해 수행되었다. 기존 문헌들의 특징을 요약해 보면, 첫째 하이패스차로의 배치 문제에 초점이 맞추어져 있으며, 둘째 요금소의 동선 처리 문제는 시뮬레이션 프로그램에 기반하여, 각 케이스마다 별도로 분석하고 있다. 결국 요금소 차로 배치 문제는 일반화된 규칙과 기준이 존재할 수 있으나, 이와 연관된 광장부 내부의 동선 처리는 일반화하기 어려운 다양한 케이스가 존재하므로, 각각의 분석 방법을 달리 적용해야 한다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 요금소 전후 본선 구간과 광장부 내부에서 각 차로별 통행속도의 편차를 최소화하기 위한 차로 동선을 결정하는 방법을 제안하고자 한다. 특히 2차로 하이패스라는 새로운 차로의 도입을 포함한, 차로 동선 처리하는 방법을 제안코자 한다.

III. 요금소 동선 처리 평가 사례분석

1. 분석 절차

요금지불 방법에 따라 여러 유형의 차로를 이용하는 차량들은 요금 정산 이후, 광장부의 동선 안내에 따라 본선 구간으로 다시 합류하게 된다. 여기에서 중요한 점은 통행속도가 다른 차량들이 혼재되어 본선으로 합류시에 요금소 광장부에서 소통과 안전에 문제가 발생할 수 있다는 것이다.

2차로 하이패스의 가장 큰 장점은 본선속도와 비슷한 속도인 80km/h로 통과할 수 있다는 점이며, 이를 통해 요금시설 통과에 대한 저항을 획기적으로 감소시킬 수 있다. 그러나 과도기적 단계에서는 서로 다른 영업부스를 통과하는 차량이 광장부에서 분합류되어야 한다는 점을 고려할 때, 영업소 광장부의 차로군 간의 속도차이가 안전상에 있어 중요한 지표로 활용될 수 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 통행속도는 요금소의 소통상태를 종합적으로 판단할 수 있는 지표로, 차로간 속도차이는 요금소의 안전상태를 판단하는 지표로 활용하였다.

요금소내 차로 배치 및 동선 처리 절차는 아래와 같다.

[1] 차로유형별 배치 위치 및 규모 결정

- 하이패스차로 배치 위치 및 차로수 결정 - 연결로간 이격거리 : 분산 배치여부 결정
- 각 차로유형별 LOS 분석 - 용량 초과 차로 발생시, 차로 재배치 시행

[2] 광장부 및 본선 합류구간 동선 처리

- 광장부내 독립 운영 차로 제공 범위 결정
- 요금소 전후 본선 차로에 적정 교통량이 분산, 합류되도록 광장부내 동선 처리
- 교통안전상 문제 발생시 차로 배치 재검토

[3] 도로 및 안전시설물 설치·배치

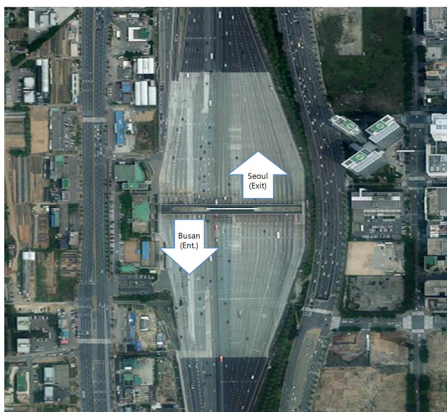
- 결정된 차로 배치 및 동선 처리에 따른 안전시설물 설치 및 배치 시행

첫번째 절차는 기존에 제시된 하이패스차로 배치 방법 및 기준을 준용한다[3]. 다만 기존 기준에서는 다양한 모든 요금소 사례가 존재하기 때문에 차로 동선처리에 대한 상세 방법을 제시하지 못하고 기본 원칙만을 제공하고 있다. 두번째 절차에 의해 다양한 차로 동선 처리 대안이 도출될 수 있으며, 본 연구에서 제안한 평가 틀을 통해 최적 처리 방안을 도출할 수 있게 된다. 마지막으로 안전에 필요한 시설물 배치를 통해 최종적으로 요금소 차로 설계를 완료하게 된다.

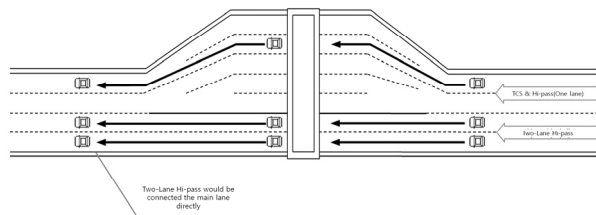
2. 차로, 동선처리 시나리오 분석

1) 분석 개요

평가 대상 요금소로 서울요금소의 출구부를 선정하였다. 분석 자료는 2015년 6월 12일(목)의 15~18시(3시간) 동안의 교통량을 활용하였다. 서울요금소는 현재 버스전용 하이패스차로, 하이패스차로, TCS차로(축중차로 포함)로 구성되어 있어 가장 복잡한 형태를 가진 요금소의 하나이다. 특히 2차로 하이패스 차로가 추가된다면, 더욱 더 복잡해지게 된다. 서울요금소의 출구부는 20개의 차로로 구성되어 있으며, 요금소 전후 본선은 5개 차로로 구성되어 있다. 즉 요금소를 이용하는 차량들이 5개의 본선차로로 교통량이 적정 배분되도록 동선 처리를 해야 한다. 2차로 하이패스차로가 추가될 경우 기존 보다 더 복잡한 동선 처리가 요구되는데, 주행속도가 높은 차로의 등장으로 차로간 통행속도차가 더 심화되기 때문에, 안전상의 추가적 조치가 필요하다.



〈Fig. 3〉 Appraisal object : exit section of seoul toll plaza



〈Fig. 4〉 isolated right of way of two hi-pass lanes

2차로 하이패스차로는 기존 하이패스차로보다 많은 교통량을 처리할 수 있는 장점이 있다. 따라서 기존 하이패스 차로를 줄여서 운영할 수 있는 장점이 존재하지만, 높은 속도로 인해 안전 처리에 부담을 가질 수 밖에 없다.

따라서 제한속도가 높고 용량이 큰 2차로 하이패스차로는 왼쪽에 우선적으로 배치하고, 광장부와 본선에 이르기까지 독립된 차로를 확보해 주어야 한다. 만약 타 교통류와 통행권을 공유할 경우, 상호 속도 차로 인해 사고가능성은 매우 높아지게 된다.

<Table 1> Travel characteristic per different types of lanes

tollbooth type	2 lane hi-pass	hi-pass	TCS
speed limit(kph)	80	30	0
capacity	2,000	1,550	277

<Table 2> Lane disposition at seoul toll plaza

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
before	Hi	bus	Hi pass							TCS						Hi pass			TCS	
after	Hi	bus	two lane							TCS						Hi pass			TCS	

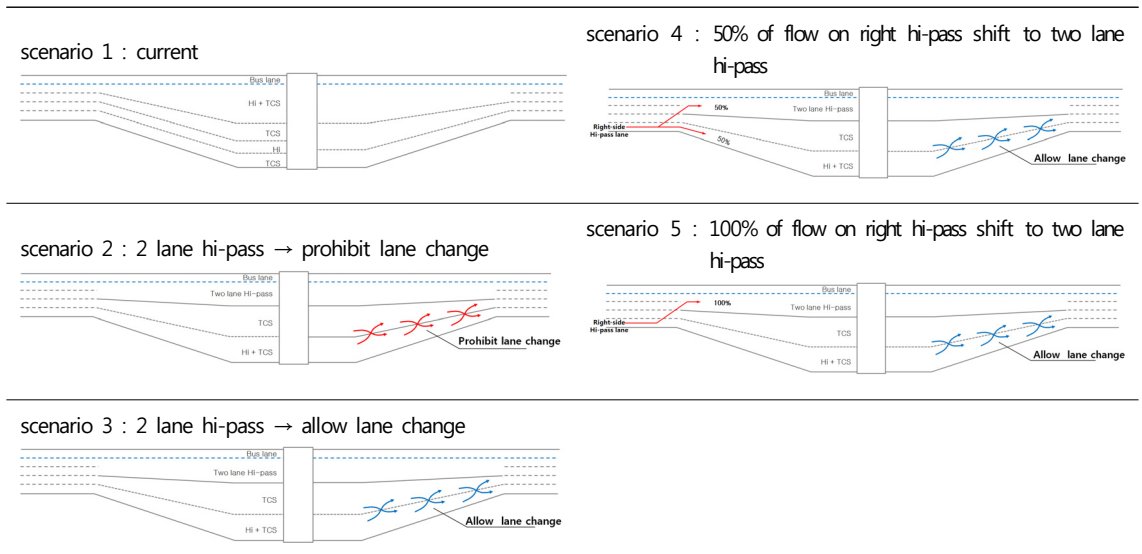
2) 차로배치 시나리오

앞에서 제시한 차로 배치 절차에 따라, 2차로 하이패스차로를 추가로 설치하였을 경우에 있어서의 새로운 차로 배치 대안을 선정한 결과는 <Table 2>와 같다. 71번 차로인 버스전용차로(B)는 그대로 존속되며, 2차로 하이패스차로는 좌측의 하이패스차로를 대체한다. 이 차로는 용량이 높아 기존 하이패스차로 3개를 대체한다.

<Table 3>은 요금소 동선처리 대안들을 정리한 것이다. 시나리오 1은 현재 운영 중인 상태이며, 시나리오 2는 버스전용차로와 2차로 하이패스차로를 본선 차로까지 직결시키며, 광장부에서 차로변경을 금지한다. 시나리오 3은 본선 4, 5차로로 합류하는 차량들에게 광장부에서의 차로변경을 허용한다.

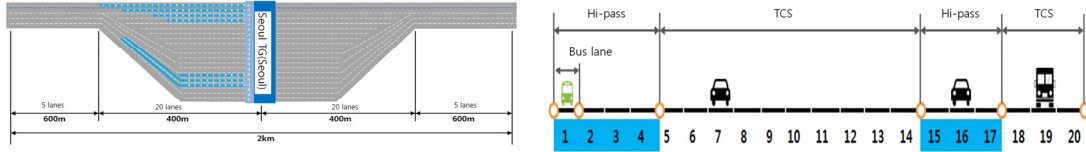
시나리오 4는 시나리오 3과 같이 운영 형태를 가지나, 중앙 하이패스 차로를 이용하는 하이패스 차량의 50%가 2차로 하이패스 차로로 전환되었을 경우를 가정한 것이다. 시나리오 5는 중앙 하이패스 차량의 100%가 2차로 하이패스차로로 전환되어 중앙 하이패스차로를 폐쇄하는 방안이다.

<Table 3> Determination of all alternatives



3) 평가방법(미시적 시뮬레이션 활용)

각 시나리오별로 진입부의 본선구간에서부터 요금소 광장부 통과 후 본선 구간으로 다시 복귀할 때까지의 평균속도와 각 차로별 속도편차를 활용하여 적정성을 분석하였다. 속도편차의 경우 요금소 인근 주요 지점별 차로유형별 속도편차를 측정하였다.



<Fig. 5> exit section of seoul toll plaza

시뮬레이션을 활용한 분석절차는 ① 분석대상 요금소의 기하구조 검토, ②교통현황자료(교통량, 속도)분석, ③현황정산, ④ 시나리오별 분석의 순으로 수행되었다. 분석대상구간은 서울요금소(출구) 상·하류 각 1km 구간이며 15~18시 교통량을 대상으로 3시간을 분석하였다.

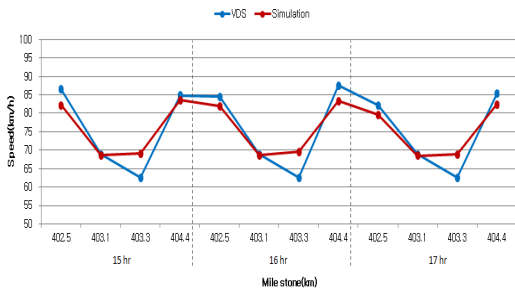
<Table 4> measured flows(vph) of toll booth

lane		15hr				16hr			
		Car	bus	truck	sum	Car	bus	truck	sum
HOV	1	220	314	3	537	248	335	3	587
Left Hi-pass	2	1,259	40	4	1,303	1,340	40	4	1,384
	3	942	22	12	977	1,027	23	12	1,062
	4	250	5	14	269	279	6	12	297
TCS	5	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	148	1	1	151	165	1	1	167
	7	167	2	2	170	174	2	2	177
	8	171	2	2	174	193	2	2	197
	9	164	2	5	170	194	2	5	201
	10	145	1	3	150	157	1	3	162
	11	178	3	7	189	192	3	7	202
	12	183	5	13	202	197	6	12	215
	13	172	9	21	202	182	9	20	211
Right Hi-pass	14	-	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-	-
	16	599	2	38	640	676	2	41	719
Right TCS	17	408	8	31	446	448	8	31	488
	18	109	23	55	187	116	23	52	191
Right TCS	19	56	31	75	161	61	32	74	166
	20	33	21	51	105	34	21	48	103
Sum		5,205	492	336	6,034	5,683	517	330	6,530

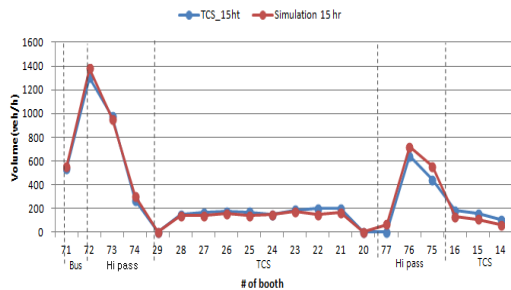
<Table 5> Calibrated Parameter values

Input / Parameter	Values					
Flow (vph)	15hr		16hr		17hr	
	6,034		6,530		7,343	
Vehicle Composition (%)	15hr		16hr		17hr	
	Car	89	Car	89	Car	87
	Bus	8	Bus	9	Bus	10
	HGV	3	HGV	2	HGV	3
Service Time	Small Car 7.8sec, Large Car 10.9sec					
Driving Behavior	Car Following model			Wiedemann99		
	Standstill Distance			1.5m		
	Headway time			1.2sec		
Lane change	lane change			1,000m back		
	Emergency stop			5.0m back		

현황에 대한 정산은 TCS 입출구 교통량 자료와 시뮬레이션 결과값을 토대로 각 부스별 통과 교통량을 비교하였다. 미시적 시뮬레이션의 정산계수로는 차로별 교통량 비율, Driving behavior, 요금소 서비스시간, Lane change 등을 사용하였으며, 정산지표 값으로는 요금소 차로별 시간당 통과 교통량과 요금소 광장부 지점별 통행속도를 사용하였다.



<Fig. 6> Measured and simulated speed(kph)



<Fig. 7> Measured and simulated lane flows(vph)

4) 분석결과

본 분석의 목적은 요금소 차로배치와 동선처리시나리오에 따른 교통지표를 미시적 시뮬레이션을 통하여 산정하고 이를 통해 가장 시나리오별 적정성을 판단하고자 하는 것이다. <Table 6>의 시뮬레이션 결과를 살펴보면 전체 평균 통행속도는 시나리오 4가 71.8km/h로 가장 높게 나타났으며 시나리오 2, 5는 현황대비 통행속도가 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 각 차로구분별 통행속도의 차이는 시나리오 4일 때 8.8km/h로 비교적 작게 나타났다. (세부 분석지표 결과는 <Table 6> 참고) 시나리오 4의 핵심은 2차로 하이패스차로를 광장부에서 물리적으로 분리시켜 통행속도를 유지시키고, 많은 교통량을 처리하도록 유도하며, 그 이외의 차로(일반 TCS, 하이패스)를 이용하는 차량들은 광장부 내에서 1차적으로 합류시켜서 본선으로 진입시키는 것이다.

만약 시나리오 2와 같이 일반TCS 차로와 하이패스 이용차량을 광장부에서 분리시킨다면 합류지점에서의 속도편차로 인해 오히려 안전상 불리할 것으로 판단된다.

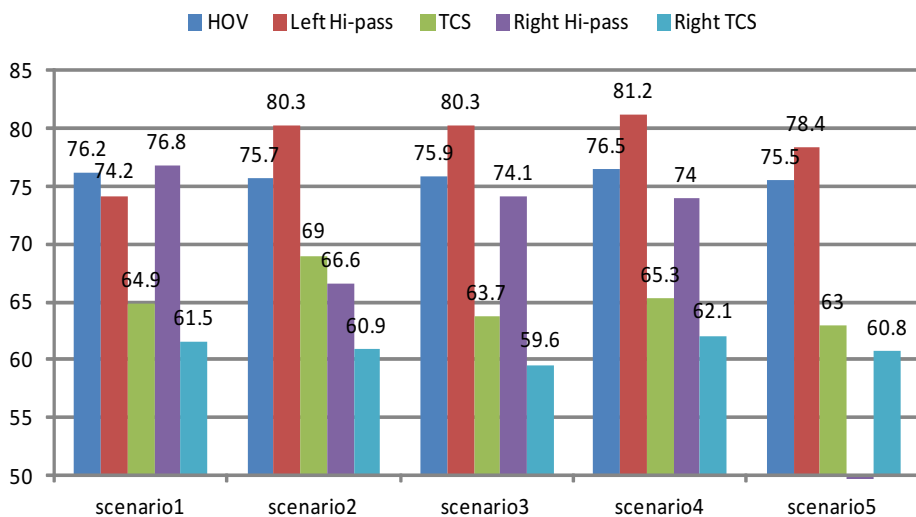
다차로 톨링시스템의 주요 설치 목적이 영업시설 통과에 따른 지체를 최소화한다는 측면임을 고려할 때,

제시된 시나리오 중에서 4번 형태가 상대적으로 효율적이며 적정할 것으로 판단할 수 있다. 또한 시나리오 4번 형태의 차로운영이 차로간 속도차이가 크지 않다는 점에서 안전측면에서도 유리할 것으로 예상된다. 즉, 2차로 하이패스차로 도입 시 요금소 차로배치와 동선처리는 본선과 유사한 통행속도를 보장받는 2차로 하이패스차로 이용차량은 본선에 직결하도록 설계하고, 그 이외의 차로 이용차량들을 광장부에서 합류시켜 본선에서는 연결로 개념으로 합류시키는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

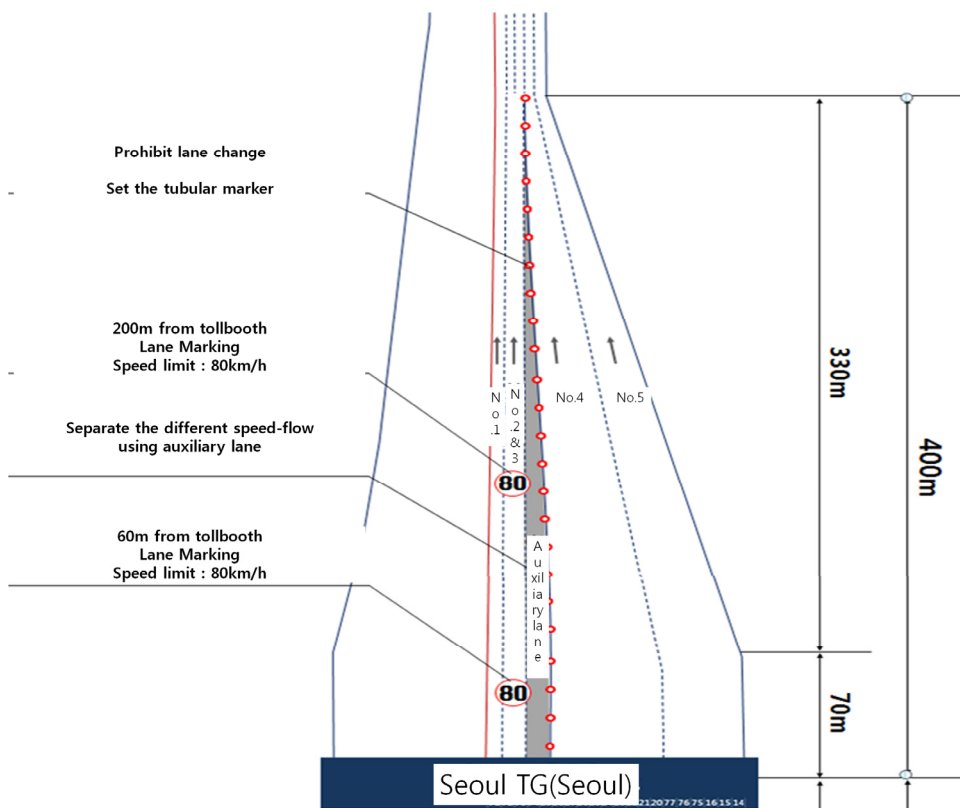
<Fig. 9>는 시나리오 4의 결정에 따라, 안전시설에 대한 설치 방법을 도식화한 것이다. 2차로 하이패스차로 제한속도는 80kph로 정하며, 이 차로는 본선까지 차로규제봉을 설치하여 합류시까지 통행권을 분리한다.

<Table 6> The result of simulation analysis (Speed, kph)

		main lane	upstream_plaza		toll booth	downstream_plaza				main lane	average
		402.5	402.7	403.1	403.2	403.3	403.4	403.6	403.9	404	
scenario1	HOV	81.2	79.3	73.6	61.6	68.4	75.2	81.5	84.3	80.3	76.2
	Left Hi-pass	78.2	78.9	74.7	69.2	68.1	71.3	72.9	74.4	79.7	74.2
	TCS	76.0	69.6	57.4	43.5	46.9	59.5	76.3	76.1	78.6	64.9
	Right Hi-pass	78.3	79.4	75.0	70.5	69.7	76.6	82.1	79.0	80.6	76.8
	Right TCS	82.8	68.4	50.7	12.7	46.4	61.9	70.8	76.3	83.8	61.5
	Average speed	79.3	75.1	66.3	51.5	59.9	68.9	76.7	78.0	80.6	70.7
	Std Dev	2.67	5.62	11.43	24.21	12.13	7.77	5.04	3.87	1.94	8.3
scenario2	HOV	82.89	79.33	73.58	61.63	68.43	75.25	81.48	84.26	74.85	75.7
	Left Hi-pass	78.69	79.35	79.28	79.95	79.71	81.95	83.95	84.05	75.47	80.3
	TCS	74.44	68.86	53.15	49.36	65.19	78.01	77.73	77.03	77.63	69.0
	Right Hi-pass	74.15	79.94	75.11	70.74	59.53	61.79	53.05	44.00	80.81	66.6
	Right TCS	82.79	68.54	50.72	12.69	74.68	65.64	57.40	51.87	83.76	60.9
	Average speed	78.6	75.2	66.4	54.9	69.5	72.5	70.7	68.2	78.5	70.5
	Std Dev	4.27	5.94	13.37	26.15	7.91	8.50	14.40	18.97	3.75	11.5
scenario3	HOV	82.9	79.3	73.6	61.6	68.4	75.3	81.5	84.3	76.2	75.9
	Left Hi-pass	78.7	79.4	79.3	79.9	79.7	82.0	84.0	84.2	75.7	80.3
	TCS	74.4	68.9	53.1	45.4	47.1	58.7	75.3	72.4	78.1	63.7
	Right Hi-pass	74.2	79.9	75.1	70.4	69.3	75.6	79.5	61.9	81.2	74.1
	Right TCS	82.8	68.5	50.7	12.8	46.5	62.2	67.7	61.9	83.8	59.6
	Average speed	78.6	75.2	66.4	54.0	62.2	70.8	77.6	72.9	79.0	70.7
	Std Dev	4.27	5.94	13.37	26.33	14.77	9.83	6.40	11.18	3.44	10.6
scenario4	HOV	82.9	79.3	73.6	61.6	68.4	75.3	81.5	84.3	81.7	76.5
	Left Hi-pass	81.9	79.3	79.3	79.9	79.7	81.8	83.6	84.0	81.4	81.2
	TCS	75.3	69.0	53.6	45.3	47.1	58.9	78.2	81.4	78.5	65.3
	Right Hi-pass	77.5	77.9	66.1	62.0	64.5	72.8	81.6	81.6	81.5	74.0
	Right TCS	82.8	68.7	51.4	13.8	46.6	60.0	70.5	81.6	83.8	62.1
	Average speed	80.1	74.8	64.8	52.5	61.3	69.8	79.1	82.6	81.4	71.8
	Std Dev	3.46	5.52	12.17	24.86	14.31	9.94	5.18	1.43	1.89	8.8
scenario5	HOV	74.1	79.3	73.6	61.6	68.4	75.3	81.5	84.3	81.7	75.5
	Left Hi-pass	59.5	77.4	79.0	79.7	79.5	81.3	83.1	83.6	82.8	78.4
	TCS	52.3	68.2	52.0	45.4	47.1	59.0	78.4	82.1	82.3	63.0
	Right Hi-pass	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Right TCS	82.8	67.9	46.6	9.1	46.6	60.3	71.2	79.1	83.8	60.8
	Average speed	67.2	73.2	62.8	49.0	60.4	69.0	78.5	82.3	82.7	69.4
	Std Dev	13.79	5.99	15.87	30.03	16.30	11.05	5.30	2.27	0.86	11.3



<Fig. 8> Travel speed per different types of lanes



<Fig. 9> The disposition of safety facilities based on alt.4

IV. 결론 및 향후과제

고속도로 요금소에는 다양한 차로들로 구성되어 있으며, 이들은 통행 특성이 전혀 다르기 때문에 분합류 시에 안전상 많은 문제를 야기시킨다. 또한 2차로 하이패스차로와 같은 새로운 유형들이 계속 추가되면, 더 복잡한 양상을 갖게 된다. 요금소에서 각 차로 유형별 필요 차로 수는 각각의 이용교통량을 감안하여 설계가 가능하지만, 분류 및 합류 시 요금소 광장부의 동선 처리는 요금소의 다양한 기하구조적 특성에 영향을 받기 때문에 이를 일반화하기에는 한계가 존재한다.

본 연구에서는 미시적 교통시뮬레이션 모형을 활용한 평가절차를 제시하였다. 시나리오 분석을 통하여 통행속도와 차로별 속도편지 지표를 통해, 요금소내 적정 동선 처리여부를 평가하였으며, 사례분석은 버스전용차로, 하이패스차로, 2차로 하이패스차로, TCS차로가 혼재되는 서울요금소를 대상으로 하였다. 기존 연구에서는 대부분 요금소내 차로 유형별 배치 위치를 결정하는데 초점을 두고 있으나, 본 연구에서는 요금소내 이동 동선을 고려하였다는 점에서 향후 요금소 내 동선 설계시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

단 요금소 내 차로배치의 변경은 본 연구에서 제시한 소통측면과 더불어 차량간의 혼재로 인한 교통상충현상의 해석을 통해 안전성 평가도 병행할 필요가 있으며, 이를 위해 영업소 내에서의 개별차량 단위의 차로 변경, 차로선택 및 가감속도 등의 주행 행태를 분석하여 안전성을 평가하는 연구가 추가되어야 할 것이다.

본 연구는 서울요금소를 대상으로 수행한 사례연구이며, 이러한 방법론을 일반화하기 위해서는 향후 다양한 요금소를 대상으로 분석을 수행할 필요가 있다고 판단된다. 이러한 추가연구가 수행되어야 요금소 광장부의 차로운영이나 영업시설 배치에 대한 세부적인 방법론이 정립될 수 있을 것으로 생각된다. 다만, 본 연구는 향후 다차로 ETCS 영업시설이 고속도로 요금소에 도입되는 상황에서 교통소통과 안전측면을 고려한 영업소 광장부 차량 동선처리를 판단할 수 있는 하나의 방법론을 제시하였다는 점에서 그 의의가 있는 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Bae Y. S.(2011), “Development of Optimal Toll Plaza Design and Operation Standards Based on ETCS Utilization,” Ph.D. Dissertation, Ajou University.
- Cho Y. S., Kim H. J., Lee S. K. and Lee Y. T.(2002), “Development and application of the microscopic tollgate simulator using SIMPLUS,” *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, vol. 22, no. 6-D, pp.1045-1055.
- FHWA(2008), “Strategies for Improving Safety at Toll Collection Facilities.”
- Horiguchi R., Shitama T., Akahane H. and Xing J.(2009), *Traffic Simulation for an Expressway Toll Plaza Based on Successive Vehicle Tracking Data: Chapter 11 Transport Simulation-Beyond Traditional Approaches*, EPFL Press.
- Korea Expressway Corporation(2013), “Review Report for Operation and Disposition of Lanes at Toll Plaza”.
- Lee J. S., Lee K. Y., Lee C. K., Yun I. S. and Yu J. W.(2013), “Estimation of Hi-pass Traffic Dispersion Rates to Determine The Optimal Location of Hi-pass Lanes at A Toll Plaza,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 12, no. 4, pp.22-32.
- Polus A. and Peshetnik I.(1997), “A New Concept and a Manual for Toll Plaza Planning,” *Can. J. Civ.*

Eng., vol. 24, no. 4, 1997 NRC Canada, pp.532-538.

Yoo B. S., Lee S. B., Park W. Y. and Park J. T.(2010), “Safety Improvement of Installation of Hi-pass System at Expressway Toll Gate,” *J. Korean Soc. Transp.*, vol. 28, no. 4, Korean Society of Transportation, pp.7-18.