다차로 톨링시스템(SMART Tolling)의 용량추정 방법에 대한 연구

A Simple Methodology for Estimating the Capacity of Multi-lane Smart Tolling

최기주* · 이정우** · 박상욱***

Choi, Keechoo · Lee, Jungwoo · Park, Sangwook

Abstract

With the rapid deployment of hipass®, the congestion is inevitable due to the operation of the hipass lane system. Recently, SMART Highway project have developed a multi-lane mainline tolling system, called SMART Tolling system. To analyze the effectiveness of the system in terms of capacity, this study tries to estimate the capacity and its improvement of multi-lane tolling system based on current hipass® data. The methodology uses the saturation time headway. This follows three steps; 1) estimate the saturation time headway, using hipass® data, and capacity. 2) estimate two factors (the first one is dividing the one side lane width and lateral clearance factor (f_w) into two side one, the second one is dividing the capacity of hipass lane operating a circuit breaker into the capacity of hipass lane not operating, the last one is increasing factor of lane width). 3) calculate the capacity of multi-lane mainline tolling system. The results of method produced 2172~2187 veh/hour as smart tolling capacities, respectively. Those are higher about 370 veh/hour than the values from existing literature reviews. Additionally, saturation time headways were identified as lower by 0.5 seconds/veh than existing headways based on hi-pass® based one, which naturally implies the improvement in capacity. Some limitations and future research agenda have also been discussed.

Keywords : Hi-Pass®, SMART Tolling, Multi-lane tolling system, Capacity calculation

요 지

단차로 무인 자동통행료 징수시스템(하이패스) 이용률증가와 함께 차단차로 운영, 차단기 작동 등에 따라 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로 정체는 필연적이다. 이를 개선하기 위해 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로 용량을 개선하기 위한 많은 연구가 진행 중이며, 대표적으로 스마트하이웨이사업에서 다차로 기반의 무정차 영업시스템(스마트톨링)을 들 수 있다. 본 고는 이러한 시스템의 효율성 개선으로써 스마트톨링의 용량증대 정도를 판단하고자 하였다. 이를 위해 기존 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 자료를 바탕으로 스마트톨링시스템의 용량을 추정하는 방법을 제시하였다. 먼저, 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 자료를 이용하여 포화차두시간을 산출한다. 그 다음으로 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로의 용량을 산출한 다음, 단차로에서 다차로로 변경됨에 따라 바뀌는 주변도로환경을 계수화(양측장애물단측장애물 차로폭 및 측방여유폭 보정계수 증가분, 차단기 운영미운영 함에 따라 증가하는 용량 증가분, 차로폭 증가에 따른 용량 증가분)하고 이를 적용하여 다차로 용량을 추정하였다. 그 결과 각각의 경우 용량은 2172~2187대/시로 나타났으며, 기존 문헌에서 제시하는 최대값보다 약 370대/시 정도 많으며, 포화차두시간은 기존 단차로 무인 자동통행료 징수시스템의 차두시간에서 0.5초 정도 단축되어 용량개선 효과가 있는 것으로 판단되었다. 일부 한계와 향후연구사항이 같이 논의되었다.

핵심용어 : 단차로 무인 자동통행료 징수시스템, SMART tolling, 다차로 톨링시스템, 용량산정

1. 서 론

1.1 연구의 배경

1995년 12월 건설교통부(현 국토해양부)의 “고속도로 기능제고 회의”에서 처음으로 도입된 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 시스템(하이패스)은 2000년 6월 판교, 청계, 성남 등 3개소 6개 차로에서 시범 운영을 시작으로 단계적 구축

을 거쳐 2007년 12월, 전국 영업소에서 하이패스를 개통하였다. 특히 일본(13%→25%)과 비교하여 국내의 전국 확대 시점 1년 후를 비교하였을 때(15%→33%), 이용률 증가는 하이패스 단말기 보급 확대에 따른 우리나라 ITS 발전을 짐작할 수 있다.

최근 한국도로공사의 보도 자료에 따르면, 하이패스의 이용고객이 400만 명을 돌파하였고, 이는 총 차량등록대수

*정회원 · 아주대학교 환경건설교통공학부 교수 · 공학박사 (E-mail : keechoo@ajou.ac.kr)

**정회원 · 교신저자 · 한국도로공사 스마트하이웨이사업단 연구원 · 공학석사 (E-mail : kareshi00@ex.co.kr)

***한국도로공사 스마트하이웨이사업단 단장 · 공학박사 (E-mail : psw@ex.co.kr)

그림 1. 전국 확대 및 1년 후의 이용률 비교(한국 vs 일본)

(1,740만대)의 약 23%에 해당하는 수치이며, 수도권은 이미 50%를 넘었다. 현 시점에서 하이패스 시스템은 ITS의 대표 시스템으로서 인식되고 있다.

하지만 하이패스는 단차로 운영, 차단기 작동 등에 따라 발생하는 정체와 차량/인명 사고 등은 하이패스의 효율성을 떨어뜨리고 있다. 이에 단차로 무인 자동통행료 징수시스템의 단점을 보완하고 효율성을 극대화하기 위하여 2009년 스마트하이웨이 사업에서 다차로 기반의 무정차 영업시스템인 “스마트 톨링시스템”을 개발 중이다. 스마트 톨링시스템의 성공적인 적용을 위해서 통신 성능 신뢰도 확보는 기본적으로 개발되어야 하나 스마트 톨링시스템의 운영적 측면에서의 효율성에 대한 평가를 통해 의사결정자들에 자료를 제공하는 것 또한 중요하다고 판단된다. 이러한 효율성 측면을 나타내는 교통지표로 여러 가지가 있을 것으로 판단되며, 분석이 필요하다.

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 단차로 영업시스템에서 다차로 영업시스템으로 구축시 가장 크게 변화가 있다고 판단되는 용량을 추정하는 방법론에 대해서 기존의 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로의 차두시간을 산출하여 적용된 사례를 살펴본 후 이를 수정하여 다차로톨링 시스템에 적용 가능한 방법론으로 수정하여 용량을 산출하는 방법론을 정의하고자 한다. 현재, 스마트 톨링시스템은 연구 개발 중이므로 실제 수집되는 자료를 기반으로 한 용량 산출 방법이 아닌 하이패스 자료를 이용한 다차로 기반의 용량 추정 방법론을 정의하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1. 국외 다차로 시스템

ETCS(Electronic Toll Collecting System)은 세계 약 40개국에서 사용하고 있는 시스템으로 단차로가 대부분이나 최근 다차로로 운영하는 국가가 늘고 있는 추세다. 대부분이 지정체를 해소하기 위한 목적과 혼잡통행료를 징수하고자 하는 목적을 가지고 있으며, 독일의 경우는 화물차 전용 요금 징수를 위한 목적도 있다. 주요 국가의 시스템으로는 미국의 EZ-pass, Sunpass, Fast-Track, Epass, 싱가포르의 ERP(Electronic Road Pricing), 스웨덴의 ETCS, 캐나다의 ETR(Express Toll Route), 호주의 Go-via, 독일의 LKW-MAUT(Lastkraftwagen-Maut, 독일어로 truck-toll) 등이 있다. 먼저, 미국의 EZ-pass는 미국 동부지역(뉴욕 등)에 주로 설치된 시스템으로 미국 전체 ETCS 시스템의 절반 정도를 차지하고 있으며, Fast-Track은 미국 서부지역(캘리포니아 등)에 구축된 시스템이며, Sunpass는 미국 중부지역(미네소타

그림 2. 미국의 ETCS

등) 및 남부지역(플로리다)에 구축된 시스템이다. Epass는 올랜도에서 오렌지카운티까지 이르는 도로에 설치된 시스템이다.

싱가포르의 ERP는 싱가포르는 1998년 9월 전자통행료징수시스템(ERP)을 도심지역과 주요 고속도로의 지정체 해소를 위한 혼잡통행료 징수시스템으로 도심지와 고속도로에 다른 요금을 적용하고 있다.

스톡홀름의 ETCS는 온실가스를 줄이기 위한 목적으로 시행하고 있는 EZ(Environment Zone)에 진입하는 차량을 관리하는 시스템이다.

캐나다의 ETR은 104와 407고속도로, Blue water, Halifax Harbour, the seaway internation 교량 등에서 통행료 징수하기 위한 시스템으로 주말과 평일, 혼잡시간대, 운행거리, 단말기 유무에 따라 차등요금을 적용하고 있다.

호주의 Go-via는 브리즈번 주변의 Queensland 고속도로에서 요금을 징수하기 위해 사용되는 시스템으로 요금을 지불하는 방식이 다음과 같이 나뉜다.

그림 3. 싱가포르의 ERP

그림 4. 스웨덴 ETCS

그림 5. 캐나다 ETR

표 1. 호주 Go-via의 요금지불방식

구 분	Go-via Tag	Go-via Video	
		현금	신용카드
시스템	ETCS	번호판	
지불방식	선불방식	선불방식	신용카드(후불)

그림 6. 호주의 Go-via 시스템

그림 7. 독일의 LKW-MAUT

독일의 LKW-MAUT은 트럭에 대한 요금징수시스템으로 독일 고속도로 전 노선은 무료로 이용할 수 있으나 트럭에 대한 요금징수를 실시하고 있다. 트럭은 오염유발 정도에 따라 요금수준을 다르게 하고 있으나 평균적으로 km당 0.15유로 수준이며, 요금지불 방식은 단말기를 통한 방법과 Booting system이라는 인터넷 선불지불방식을 사용하고 있다.

2.2. 스마트톨링 시스템

스마트톨링 시스템은 고속의 주행환경을 유지하면서 요금 처리가 가능한 무정차, 다차로 고속주행 기반의 차세대 영업 시스템이다. 이를 통해 정시성, 안정성, 편리성이 확보된 영업시스템이며 단차로 기반의 시스템이 아닌 다차로 기반으로 최대 4차로까지 수용이 가능하다. 현재 개발 중인 내용은 DSRC 통신을 기반으로 하고 있으나 향후 스마트하이웨이 사업에서 적용되는 기본 통신방식인 WAVE 통신 및 스마트폰을 이용하여 요금징수가 가능한 영업시스템으로 개발하고자 한다. 시스템의 구성은 총 3개의 문형식 지주대로 구성되며, 1번째 지주대에서 요금 정산이 이루어지고, 2번째 지주대에서는 차종분류 및 위반차량에 대한 촬영, 3번째 지

자료: 배영석(2010), “고속도로 ETCs 이용률에 따른 톨프라자 최적설계 및 운영기준 개발”

그림 8. 군자 영업소의 하이패스 차로의 시간대별 통과교통량 및 1시간 교통량

표 2. 하이패스와 스마트톨링 시스템의 비교 분석

구 분	하이패스	스마트톨링
차로 운영	단일차로	다차로
차종 분류	매립식 (윤폭, 윤거 검지기)	비매립식 (레이저 검지기)
유지·보수	차로차단 필요	차로차단 불필요
위반차량용 카메라 촬영범위	1차로/후면(1개)	1.5차로/전·후면 (각 1개)
통신 방식	DSRC(RF, IR)	
주요 구성요소	갠트리(Gantry), 단말기(OBU), 전자카드	

주대에서는 차량이 통과했는지를 감지하고, CCTV 영상을 관리한다. 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 시스템과 운영 방식 및 시스템 상의 공통점과 차이점은 표 2와 같다.

2.3 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로별 용량 산출 연구

2.3.1 국내 연구

배영석(2010)은 하이패스 차로 용량을 산출하기 위해 대기행렬 이론을 적용하지 않고, 1분/5분/15분 단위의 최대 통과 교통량을 토대로 시간당 처리용량을 환산하여 용량을 계산하였고, 1분당 최대통과 교통량을 기준으로 하였을 때는 1,800대/차로, 5분당 최대통과 교통량을 기준으로 하였을 때는 1,524대/차로, 15분당 최대통과 교통량을 기준으로 하였을 때는 1,476대/차로로 산정하였으며, 최종적으로 15분당 최대통과 교통량을 1시간 단위로 환산한 1,476대/시/차로를 하이패스 1차로당 용량으로 기준을 설정하였다.

박창수(1998)는 톨게이트에서 경주톨게이트의 교통류 특성을 video로 촬영하여 이를 서비스시간 측정기를 사용하여 포화서비스시간을 분석하였고, 이상적 조건하에 포화차두시간을 산출하여 포화교통유량을 산정하였다.

양재호(1988)는 톨프라자 수요추정 분석을 위하여 경부고속도로와 중부고속도로의 폐쇄식 톨프라자 하행선측 2개소에 대하여 차량도착율 및 서비스시간을 조사하였고, 대기행렬 이론을 적용하여 분석하였다. 분석 결과 도착차량 분포는 포아송 분포이며, 서비스시간 분포는 지수분포로 규명하였다. 김유연(1992)은 경부고속도로의 상/하행선측에 대하여 차량도착율 및 서비스시간, 평균 대기대수 등을 조사하여, 대기이론을 적용하여 적정 톨프라자 차로수를 파악하고자 하였고, 김덕곤(1993)은 톨프라자 내의 적정 차로수가 교통량의 증감

단위: 대/시간

자료: 하이패스 백서(2009), 한국도로공사

그림 10. 일반차로와 하이패스 차로의 용량

에 따라 변화를 설명할 수 있는 모형을 대기이론에 적용하여 개발하고자 하였다. 김태연(2003)은 톨프라자에서 요금지불시스템의 처리용량을 구하기 위해서는 서비스시간과 고속도로 요금소별 이용차량의 차종 구성비에 대한 자료가 필요하다고 제시하였다. 차종, 화물적재, 지불방법, 근무자의 숙련도, 진입요금소 및 운전자 행태 등 다양한 요소들이 서비스시간에 영향을 주며, 이들 요소 중 진입차로 유형별 서비스시간, 차량의 종류별 서비스시간, 요금징수 방식에 따른 서비스시간 등이 톨부스 용량에 중요하게 영향을 미칠 것으로 판단했다. 이에 따라 폐쇄식 출구 1개 차로에 대한 용량 산정식을 제시하였다.

$$C = \frac{3,600}{\sum_k (a_k + s_1)p_k + (a_k + s_2)q_k} \quad \text{단, } \sum_k (p_k + q_k) = 1$$

C : 요금소 1차로 용량(대/시)

p_k : 전체 대상차량에 대한 현금 이용시 k 차종의 구성비율

q_k : 전체 대상차량에 대한 카드 이용시 k 차종의 구성비율

s_i : 현금 사용시($i=1$) 및 카드사용시($i=2$) 기준차종(1종)의 서비스시간(초)

a_k : k 차종의 기준차종에 대한 서비스시간 환산계수

하이패스 백서(2009)에서는 하이패스의 용량에 대한 산출 근거는 제시하지 않고, 일반차로(TCS)의 폐쇄식 입구/출구 및 개방식에 대한 용량과 하이패스 차로의 차단기 운영시와 미운영시에 대한 용량을 제시하고 있다.

2.3.2 국외 연구

SHAKER(2004)는 차량의 톨부스를 선택하는 방법과 대기행렬의 균형을 시뮬레이션을 통해 도출하였고 이 때 영업소에서 최대 통과 교통량을 산출하였다. TNCC(2002)에서는 차량의 도착행태에 대해서 반복계산 과정을 통해 적정용량을 산출하는 방법을 제시하고, Murat(2006)은 톨부스의 일반차로와 ETC 차로에 대한 개략적인 용량 산출방법을 도출하기 위한 다양한 방법을 제시하였는데, ETC 차로에 대해서는 차두시간에 의한 산출방법을 제시하였고, ATR(Automatic Traffic Recorders)을 이용하여 영업소 상류부의 최대 대기행렬 길이를 확인함으로써 대기행렬과 대기시간을 적용하여 용량을 산출하였다.

그림 9. 스마트톨링 시스템 개요도

그림 11. 분석흐름도

2.3.3 검토 결과 및 차별성

기존의 연구는 영업소에서의 차로 구성자체가 일반차로와 ETC 차로의 혼용인 상태이거나 일반차로만을 대상으로 분석한 경우가 대부분으로 이 경우, 단차로로 운영되는 사례에 대한 분석이 많으므로 스마트톨링 시스템에서의 다차로 시스템 도착분포 및 서비스시간의 특성이 차이가 있을 것으로 판단된다. 산출하는 방법론은 포화차두시간을 이용하는 방법을 이용하되 단차로의 포화차두시간 분포와 다른 점을 감안하여 교통류 환경에 영향을 줄 수 있는 시설물 유무에 따른 증가계수를 도입하여 다차로 톨링시스템의 용량을 추정하고자 한다.

3. 스마트톨링 시스템 용량 산정 방법

3.1 연구방법론

본 연구는 기존 하이패스 자료를 이용하여 포화차두시간을 산출하고, 단차로 용량 계산 방법을 응용하여 다차로톨링 시스템의 용량을 추정하고, 도로용량편람에 의거하여 산출하여 그 값의 범위가 적정한지를 판단하고자 한다.

3.2 차두시간을 활용한 용량 추정

기존 연구방법 중 스마트톨링 시스템에 적용 가능한 방법을 검토한 결과, 서비스시간을 적용하는 방법은 불가능할 것으로 판단된다. 그 이유는 다차로 기반의 영업시스템의 경우, 요금 정산을 위해 정지를 하지 않고 통과하는 방식이기 때문에 서비스시간을 적용할 수 없다. Murat(2006)의 방법은 ETC 차로의 용량을 산출하기 위해 포화차두시간을 이용하여 산출하였다. 단차로에서 포화차두시간을 산출하여 용량을 산출하였기 때문에 본 연구에서는 이를 수정하여 적용하고자 하였다. 포화차두시간은 조사를 통해서 산출하기 어려우나 단차로 무인 자동통행료 징수시스템에서는 통과차량의 시간이 입력되기 때문에 통행량이 많은 출퇴근시간대의 개방식 영업소 하이패스 자료를 이용하여 포화차두시간을 추정한 후

단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로의 용량을 산출하고, 여기서 단차로에서 다차로로 적용시 도로환경 변화에 따른 계수를 적용하여 추정하였다. 하나는 양측장애물에서 단측장애물로 변경됨에 따른 차로폭 및 측방여유폭 보정계수 증가분이며, 나머지 하나는 폐쇄식 영업소의 차단막이 있을 때 대비 없을 때의 용량증가분을 이용하였다.

$$C = \frac{3,600 \times f \times a \times w}{t_{hipass}}$$

C : 스마트톨링 1차로 용량(대/시)

t_{hipass} : 개방식 영업소의 포화차두시간

f : 도로용량 편람의 $\frac{\text{단측 노면 장애물 보정계수}}{\text{양측 노면 장애물 보정계수}}$

a : 폐쇄식 영업소의 $\frac{\text{용량(차단기 미운영)}}{\text{용량(차단기 운영)}}$

w : 도로용량 편람의 $\frac{3.5\text{m에서의 보정계수}}{3.0\text{m에서의 보정계수}}$

스마트톨링 시스템 적용 대상은 본선과 IC 모두를 대상으로 하고 있으나 본 연구에서는 본선만을 대상으로 개방식 영업소의 특성에 대한 분석을 실시한다. 먼저, 포화차두시간을 산출하는 방법론으로 침두시간(06:30~09:00)에서 차두시간이 3초 이하로 통과한 차량들 중에서 연속적으로 통과한 차량이 4대 이상인 차량을 15분 단위로 구분한 결과, 청계영업소는 전체 평균 포화차두시간이 2.164초로 나타났으며, 성남영업소는 전체 평균 포화차두시간이 2.160초로 나타났

그림 12. 포화차두시간 분포 (청계영업소)

그림 13. 포화차두시간 분포 (성남영업소)

다. 2개 개방식 영업소의 평균값인 2.162초를 본 분석용 차두시간으로 설정하였다.

f 의 값의 의미는 스마트톨링 시스템의 경우, 단차로 무인 자동통행료 징수시스템차로와 달리 다차로를 수용할 수 있는 갠트리를 설치하므로 양측 노면에 장애물이 아닌(개별 차로로 봤을 때) 단측 장애물로 볼 수 있다. 본 연구에서는 편도 2차로와 3차로 이상을 대상으로 한다. 먼저, 고속도로 기본구간에서의 장애물까지의 거리가 1m라는 가정 하에 도로폭에 따른 양측노면 장애물 보정계수와 단측노면 장애물 보정계수는 표 3, 4과 같으며, 본 연구에서의 f 값은 1.023과 1.008로 사용한다. 이는 갠트리가 설치되었을 때, 줄어드는 도로폭을 감안하여 3.5 이상의 도로폭은 없다고 판단되며, 향후 스마트톨링 시스템이 설치시 실제 장애물까지의 거리에 따른 f 값을 쓰도록 한다.

a 는 폐쇄식 영업소에서 차단기를 운영하지 않은 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로의 용량을 차단기를 운영하는 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로의 용량으로 나눈 값이다. 본 연구에서 대상으로 하는 개방식 영업소의 a 값을 도출하려 했으나 모든 개방식 영업소에서 차단기를 운영하는 관계로 폐쇄식 영업소 중 서로 인근에 있으면서 차단기 운영하지 않는 곳(동탄 영업소)의 용량을 차단기 운영하는 곳(오산 영업소)의 용량으로 나눈 값을 사용하였다. a 값의 정의를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$a = \frac{C_{NC}}{C_C}$$

여기서,

C_{NC} : 차단기 운영하지 않는 ETC 차로 용량(대/시)

C_C : 차단기 운영하는 ETC차로 용량(대/시)

각각의 용량은 포화차두시간으로 표시($C_f=3600/h_f$)하면 위의 수식을 다음과 같이 바꿀 수 있다.

$$a = \frac{h_C}{h_{NC}}$$

여기서,

h_{NC} : 차단기 운영하지 않는 ETC 차로 차두시간(초/대)

h_C : 차단기 운영하는 ETC 차로 차두시간(초/대)

동탄영업소와 오산영업소에 대해서 포화차두시간을 산출하는 방법을 성남과 청계영업소와 동일하게 하여 산출한 결과

표 3. 4차로(편도 2차로)의 측방여유폭 보정 계수

차로폭	3.5 이상	3.25	3.0	2.75
단측장애물 (a)	0.98	0.95	0.89	0.79
양측장애물 (b)	0.96	0.93	0.87	0.77
$f(a/b)$	1.021	1.023	1.023	1.023

표 4. 4차로(편도 3차로이상)의 측방여유폭 보정 계수

차로폭	3.5 이상	3.25	3.0	2.75
단측장애물 (a)	0.98	0.94	0.87	0.76
양측장애물 (b)	0.97	0.93	0.86	0.76
$f(a/b)$	1.010	1.011	1.012	1.000

를 위의 수식에 대입한 결과 a 값은 1.159로 나타났다.

w 는 현 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로폭이 3.0m에서 본선 기본구간에서 사용하고 있는 일반적인 3.5m로 늘어나게 되었을 때, 용량 증가분을 계수화 한 것이다. 즉, 도로폭과 관계된 계수는 고속도로 기본 구간의 차로폭 및 측방여유폭 보정계수이며, 차로폭별 계수값은 표 5~8과 같다.

아래의 표를 통해서 산출된 도로폭에 따른 보정계수 증가분은 2차로에서는 1.1로 나타났으며, 3차로 이상에서는 1.124로 나타났다. 지금까지 산출된 모든 값을 통해서 용량을 산출하면, 다음과 같이 약 2172~2187대/시로 계산된다.

$$C = \frac{3,600 \times 1.023 \times 1.159 \times 1.1}{2.162} = 2171.694 \approx 2172 \text{ (2차로)}$$

$$C = \frac{3,600 \times 1.008 \times 1.159 \times 1.124}{2.162} = 2187.081$$

$$\approx 2187 \text{ (3차로 이상)}$$

3.3 스마트톨링 시스템의 적정성 검토

위의 2가지 방법을 통해서 산출된 스마트톨링 시스템의 용량은 기존 문헌에서 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 용량(차단기 무)최대치 보다 약 370대/시가 많은 것으로 나타났다. 즉, 기존의 단차로 무인 자동통행료 징수시스템은 차로폭이 좁고, 차단기 설치로 인해 영업소를 통과하는 차두시간이 길고 차로마다 양측 장애물(아일랜드)이 설치되어 있거나 스마트톨링 시스템으로 이러한 사항이 개선되면 증가하는 용량이 약 370대/시라고 볼 수 있다. 스마트톨링(다차로톨링) 시스템의 용량이 약 2170대/시는 용량을 기준으로 포화차두시간을 역으로 추정하면 1.66초/대 정도로 기존 단차

표 5. 도로폭에 따른 측방여유폭 보정계수(단측, 4차로)

장애물까지의 거리	1.5 이상	1.0	0.5	0.0
3.5m 이상 (w_1)	1.00	0.98	0.97	0.90
3.0m (w_2)	0.90	0.89	0.88	0.82
$f(w_1/w_2)$	1.11	1.10	1.10	1.10

표 6. 도로폭에 따른 측방여유폭 보정계수(단측, 6차로)

장애물까지의 거리	1.5 이상	1.0	0.5	0.0
3.5m 이상 (w_1)	1.00	0.98	0.97	0.94
3.0m (w_2)	0.88	0.87	0.87	0.85
$f(w_1/w_2)$	1.14	1.13	1.11	1.11

표 7. 도로폭에 따른 측방여유폭 보정계수(양측, 4차로)

장애물까지의 거리	1.5 이상	1.0	0.5	0.0
3.5m 이상 (w_1)	0.99	0.96	0.94	0.81
3.0m (w_2)	0.90	0.87	0.86	0.74
$f(w_1/w_2)$	1.10	1.10	1.09	1.09

표 8. 도로폭에 따른 측방여유폭 보정계수(양측, 6차로)

장애물까지의 거리	1.5 이상	1.0	0.5	0.0
3.5m 이상 (w_1)	0.99	0.97	0.96	0.91
3.0m (w_2)	0.88	0.86	0.85	0.81
$f(w_1/w_2)$	1.13	1.13	1.13	1.12

로의 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로에서 산출된 2.162초/대보다 약 0.5초 정도 단축된 것이다.

4. 결 론

4.1. 결론

본 연구에서는 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 차로에서 수집되는 차량정보를 이용하여 포화차두시간을 산출한 다음, 다차로톨링 시스템이 도입됨에 따라서 변화하는 환경을 계수(양측에서 단축장애물, 차단기 유무에 따른 증가계수)로 정의 후 용량을 추정하는 방법을 먼저 제시하였고, 그 결과 2차로일 때는 2172대/시로 나타났고, 3차로 이상일 때는 2187대/시로 나타났다. 단, 본 연구는 스마트톨링이 도입되지 않은 시점에서 초기연구단계로 성남영업소와 청계영업소 하이패스 자료를 이용한 case study의 의미로 볼 수 있다. 따라서, 본 결과의 값을 일반적으로 사용하기는 아직 이른 단계이나 스마트톨링의 도입단계에서 경제성 분석이나 적정성 분석에 사용될 참고자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

4.2 향후 연구과제

본 연구과제는 실제 자료에 기반한 단순한 방법으로 추정 결과를 도출하였으나 스마트톨링에서 수집된 자료를 이용한 검증단계를 거치진 못했다. 그 이유는 다차로톨링 시스템이 현재 연구개발 중이고, 이에 따라 수집되는 정보가 없기 때문이다. 따라서 향후에는 많은 단차로 무인 자동통행료 징수시스템 영업소에 스마트톨링시스템이 도입되었을 때, 이 값의 적정성을 검증하는 연구가 필요할 것으로 판단되며, 아울러 스마트톨링 시스템 도입에 따른 네트워크 차원의 경제성 분석 등을 본 논문에서 제시하고 있는 자료를 이용하여 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부 국가교통핵심기술개발사업 건설기술 혁신사업(과제번호 07기술혁신 A01, “스마트하이웨이 사업단”)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 본 연구에 사용된 자료는 한국도로공사 OASIS의 자료의 협조를 통해 수행

되었습니다. 협조에 감사합니다. 아울러, 2011년도 교육과학기술부/한국연구재단의 부분 지원에도 감사드립니다(NRF-2011-0000859).

참고문헌

- 국토해양부(2004) “도로용량편람”.
- 스마트하이웨이 사업단(2009) “SMART 도로-IT 기반 교통운영기술 개발 1단계 보고서”.
- 한국도로공사(2009) “하이패스 사업백서”.
- ITS Korea(2004) “자동요금징수시스템(ETCS) 성능시험방법에 관한 표준”.
- 김덕곤(1993) “대기행렬 모형을 이용한 고속도로 요금소의 적정 차선 수 산정”, 연세대학교 산업대학원 석사학위 논문.
- 김유연(1992) “고속도로 요금소(폐쇄식) 설치 기준에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위논문.
- 김태연(2003) “고속도로 톨게이트의 서비스시간 단축을 위한 전자 지불결제시스템의 통합모델 구축에 관한 연구”, 건국대학교 석사학위논문.
- 박창수(1998) “톨게이트의 용량, 서비스수준평가 및 설계교통량 산정”, 대한교통학회 논문집, 대한교통학회, 제26권 제3호, pp. 25-36.
- 배영석(2010) “고속도로 ETCS 이용률에 따른 톨프라자 최적설계 및 운영기준 개발”, 아주대학교 박사학위논문.
- Murat F. Aycin (2006) “Simple methodology for evaluating toll plaza operations”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1988, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2006, pp. 92-101.
- Olson (1984) Parameters affecting stopping sight distance, NCHRP Report270, TRB.
- Zarrillo, M. L., Schmitt, D., and Radwan, A. E. (2004) Modeling Traffic at Toll Collection Facilities Applying Vehicle Properties, Driver Perception. Reaction Time, and Stop Time to Basic Equations of Motion from Car-Following Theory. Presented at 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C..
- Zarrillo, M. L., Radwan, A. E., and Dowd, J. H. (2002) “Toll network capacity calculator: Operations management and assessment tool for toll network operators.” Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1781, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 49-55.

(접수일: 2012.1.16/심사일: 2012.2.1/심사완료일: 2012.5.7.)