

## 차세대 다차로 무정차 요금시스템 스마트톨링(SMART Tolling)



이 의 준 | 스마트하이웨이사업단 단장  
 김 석 태 | 스마트하이웨이사업단 사무국장  
 김 춘 경 | 스마트하이웨이사업단 차장  
 박 지 훈 | 스마트하이웨이사업단 대리  
 박 관 휘 | 스마트하이웨이사업단 연구원

### 1. 서론

고속도로 지·정체의 가장 큰 원인 중 하나가 요금소에서 통행료 정산이다. 유료도로로 운영되는 고속도로의 영업시스템은 크게 요금수납설비인 TCS(Toll Collection System)와 무정차로 요금을 징수하는 자동 요금 수납 시스템(ETCS : Electronic Toll Collection System)인 하이패스(Hi-pass)시스템으로 운영되고 있다. 이러한 시스템으로 통행료를 지불하려면 서행하거나 잠시 정차해야 하는데 자동차 수가 통게이트의 처리능력을 넘어서게 되면 정차 차량이 늘어나면서 병목현상이 일어나게 된다. 만일 서행 및 정차하지 않고도 정속주행 중에 통행료가 자동 결제되는 시스템이 있다면, 교통 지·정체는 자연스럽게 감소할 수밖에 없다.

최근 한국도로공사 하이패스 이용 관련 보도자료

에 따르면, 단말기 등록 수만 해도 883만 건이나 되며, 하루 이용자만 평균 213만대에 달하고, 하이패스 이용률은 56%에 이르고 있다. 현 시점에서 하이패스 시스템은 고속도로 영업소 지·정체 해소를 위한 ITS(Intelligent Transport Systems)의 대표시스템으로서 인식되고 있지만, 차로가 단차로 형태로 구분되어 있기 때문에 고속으로 통과하기가 다소 어렵다. 즉, 하이패스는 단차로 운영, 차단기 작동 등에 따라 발생하는 정체와 차량·인명사고 등은 하이패스의 효율성을 떨어뜨리고 있다. 이에 단차로 무인 자동통행료 징수시스템의 단점을 보완하고 효율성을 극대화하기 위하여 스마트하이웨이 사업에서 다차로 기반의 무정차 영업시스템인 “스마트톨링(SMART Tolling) 시스템”을 개발하였다.

스마트톨링 시스템은 고속의 주행환경을 유지하면서 요금처리가 가능한 무정차, 다차로 고속주행

기반의 차세대 영업시스템이다. 즉, 정시성·안전성·편리성이 확보된 영업시스템이며, 단차로 기반의 시스템이 아닌 다차로 기반으로 기존 하이패스 단말기를 이용한 능동형 스마트톨링은 무정차 고속주행으로 요금소 정체해소 및 안전성을 향상시키고, 대기오염 감소 등으로 사회간접비용 절감효과 및 친환경 미래 고속도로 구축 실현을 할 수 있다. 따라서 본 고에서는 지금까지 톨링 시스템의 현황과 문제점을 살펴보고 빠르게 변화하는 사회여건과 국민의 요구수준을 고려한 스마트톨링 시스템의 소개와 향후 나아가야할 방향을 도로-통신 측면에서 제시하고자 한다.

## 2. 톨링 시스템의 현황 및 문제점

2013년 상반기 기준으로 자동차 등록대수는 1,916만대, 고속도로 연장 4,111km, 일평균 고속도로 교통량 346만대 등 1969년 경부고속도로가 개통된 이래 44년간 양적인 성장을 거듭해 왔다. 그러나, 고속도로 교통혼잡비용은 연도별로 증가하는 추세로 2010년 29,700억 원으로 나타났으며, 이에 본선 및 요금소에서의 교통 지·정체는 이용자 불편을 유발시키는 등 고속도로는 질적으로 한계에 봉착하고 있다.

표 1. 고속도로 교통혼잡비용 현황

(단위 : 억원)

연 도	2006	2007	2008	2009	2010
교통혼잡 비용	24,131	28,188	28,315	28,940	29,700

자료 : 한국교통연구원, 「전국 교통혼잡비용 산출과 추이 분석」

영업소 지·정체를 근본적으로 개선하기 위해 도입한 시스템이 하이패스로 요금수납의 수작업방식이나 기계화 방식과는 달리 무정차 통행료 수납으로 현재 고속도로 이용객 과반수가 하이패스 시스템을 이용하고 있다.

표 2. 고속도로 하이패스 이용 현황

(단위 : 대, %)

구 분	2008	2009	2010	2011	2012
고속도로 이용차량	94,729,501	99,977,823	100,198,882	104,538,554	98,390,219
하이패스 이용차량	28,961,271	41,593,114	49,146,136	56,015,353	56,001,726
하이패스 이용률	30.6	41.6	49.0	53.6	56.9

자료 : 한국도로공사 통계자료집, 내부자료

그러나, 2013년 하이패스 이용 관련 주요 건의사항을 살펴보면, 하이패스 차로 속도인 30Km/h 이하로 지나는 차량 정체로 인한 불편사항과 하이패스 차선 증설요청에 대한 개선의견이 많은 것으로 나타났다. 즉, 기존 요금소는 진·출입 시 반드시 정차 하거나 30km/h로 통과속도를 제한하고 있으며, 특히 차로변경이 불가능하여 이용자에게 불편, 사고 및 지·정체를 초래하였다.

따라서, 통행료 수납으로 인한 지·정체로 고객 불만은 점점 커져만 가고 획기적 영업시스템 도입이 절실히 요구되며, 도로를 이용하고 있는 이용자의 요구는 다양해지고 수준이 높아지고 있어 차세대 다차로 하이패스 시스템 개발 및 상용화가 필요한 실정이다.



그림 1. 하이패스 이용자 개선의견 현황

### 3. 차세대 스마트톨링 시스템이란

#### 3.1 스마트톨링 시스템 개요

고속의 주행환경을 유지하면서 요금처리가 가능하므로 기존의 단차로 톨링 시스템에서 발생하는 정체 최소화 및 온실가스 배출량을 감소시킬 수 있는 효과를 볼 수 있는 다차로 톨링 시스템은 현재 많은 국가에서 적용하고 있다. 국내에서는 2009년 시작된 스마트하이웨이 사업에서 다차로 기반의 무정차 영업 시스템인 “스마트톨링 시스템”을 개발하여 하이패스의 단점을 보완하고 효율성을 극대화하는 시스템을 개발하고 있다.

외관상으로는 주요 선진국에서 개발되고 있는 수동 통신기술 기반의 다차로 시스템과 유사하지만, 스마트톨링은 능동방식의 통신기술인 DSRC(Dedicated Short Range Communication) 기술을 기반으로 무정차 다차로 요금시스템으로 개발되어지고 있으며, 향후 차세대 ITS에 사용될 무선 통신인 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 통신기술로도 다차로 요금징수가 가능한 시스템을 개발 중에 있다.



그림 2. 스마트톨링 시스템 개념도

스마트톨링을 개발하는데 여러 가지 기술적인 고려사항이 있는데, 첫 번째가 기존 단말기와의 호환성을 유지하기 위해 하이패스의 통신방식을 그대로 수용해야 하는 점이다. 다음으로 본선상 다차로 톨링을 이용하는 고객의 안전과 편의성, 차로 통제가 어려운

점을 감안한 유지관리의 용이성을 고려하여 모든 장비는 gantry 상에 설치하였다. 현재 여주 체험도로와 서울외곽순환고속도로 본선 상(퇴계원-구리구간)에 시범설치하여 하이패스 수준의 성능을 목표로 시스템을 개선 중에 있다.



〈여주 체험도로 시범용 스마트톨링〉



〈실제 공용도로 스마트톨링(서울외곽선)〉

그림 3. 스마트톨링 시스템

기존 요금소는 진·출입 시 반드시 정차 하거나 30km/h로 통과속도를 제한하고 있으며, 특히 차로 변경이 불가능하여 이용자에게 불편, 사고 및 지·정체를 초래하였다. 차세대 요금시스템 스마트톨링은 기존 하이패스단말기를 소지한 이용자는 누구나 추가 비용 없이 100km/h 고속으로 차선을 바꾸며 요금소 통과가 가능한 기술이다.

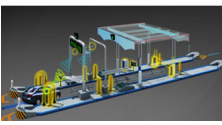
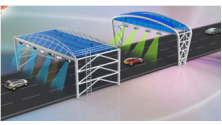
#### 3.2 기존 하이패스 시스템과의 비교

기존의 하이패스는 단차로 톨링 방식으로 장비설

차 및 차로구분을 위한 구조물(아일랜드)이 필요하고, 이로 인한 안전상의 이유로 30km/h의 속도 제한을 두고 있으며, 일반차량과 하이패스 차로를 이용하는 차량과의 엇갈림 현상을 유발하게 된다. 이는 차량가·감속에 따른 요금소 내 사고발생 및 지·정체 요인이 되고 있다.

스마트톨링은 “무정차·다차로 기반의 고속주행환경”에서 자동요금지불이 가능하고 기존 하이패스 단말기를 수용하며, 이용고객 입장에서 마치 본선에서와 같은 쾌적하고 안전한 주행환경을 제공한다. 또한 도로관리자에게는 기존 요금소 내 구조물(아일랜드, 캐노피 등)의 간소화, 효율적인 공간 사용을 통한 지·정체 해소, 고속도로 본선 상 설치용이성 등 다양한 이점을 제공한다.

표 3. 무정차 요금시스템 비교

기술유형	단차로 하이패스	스마트톨링
도식		
설치위치	전국 요금소	수도권 유료화구간(예정)
차량감지	접촉방식(광센서, 루프)	비접촉방식(레이저)
주행형태	저속주행, 차로변경불가	고속, 군집, 다차로, 차로변경가능
편리성	보통	우수
처리용량	1,500대/h	2,180대/h (45% ↑)

#### 4. 공용도로 설치 및 운영방안

과거와 같이 차량-노면접촉식 방식의 기술은 차로폐쇄 등 24시간 365일 운영이 곤란하다. 따라서 스마트톨링은 접촉식 방식의 기술 대신 새롭게 광, 전파 등 비접촉식 방식을 개발하였다. 또한 요금소 인력감축에 대한 오해, 하이패스 이용률 저조(60%), 화물차량에 대한 법제도 미비 등을 고려하여 신설구간 또는 유료화 대상구간에 우선 도입을 적

용함으로써 기존 요금체계에 미치는 영향을 최소화하고, 이를 알리고자 기술시연과 설명회도 18회 이상 개최하는 등 홍보를 강화했다.

스마트하이웨이 사업 프로젝트에서는 2011년 여주 체험도로에 스마트톨링 시스템을 시범설치하여 하이패스 수준의 성능을 목표로 시스템을 검증·개선 중에 있으나 도로정체, 돌발사고 등 실제 도로상에서 발생하는 여러 환경적 요인들을 충분히 수용하는 것은 무리가 있어 검증결과에 대한 신뢰도가 다소 미흡한 것이 사실이다. 따라서 스마트톨링 시스템의 상용화가 절실한 현 단계에서는 시스템 성능제고 및 운영 효율화를 위한 실운영 데이터 수집 및 실도로 환경에서의 시스템 검증이 필요한 상황이다.

표 4. 스마트톨링 시험 항목

시험 항목		시험 내용 및 조건
성능 조건 부합 여부	고속주행시험	고속통신시험 [100~160km/h]
	군집주행시험	8대 군집으로 정차 후 주행
	다차로주행시험	주행차로 2m 옆 통과 및 주행차로 좌,우측 밀착주행
	차로전환주행시험	2개 이상 차로전환, 차로 중앙 주행
	야간주행시험	야간시험
※ 위반차량 시험 (상기 항목에 포함하여 시행)		하이패스카드 미삽입, 카드 잔액부족 1,3종 각 한 차량씩 OBU 부착위치별 시험

현재 도로공사에서 운영 중인 개방식 고속도로의 경우, 특성 상 무료구간이 존재하게 되어 무료통행차량 유입에 따른 교통량 증가로 교통정체가 발생되기 때문에 수도권 고속도로 교통정체(30km/h 미만) 구간은 대부분 통행요금 미징수 구간을 중심으로 발생하고 있다.

서울외곽순환선 사례를 살펴보면 유료구간 교통량은 연평균 2.6% 증가하여 전국 평균 증가율과 유사한 비율을 보이고 있으나, 무료구간 교통량은 연평균 3.6% 증가율을 보이고 있으며, 첨두시간대(오전 8시~12시) 무료구간의 시간당 평균 통과속도는 46km/h로서 유료구간(77km/h)보다 31km/h 더 낮

은 속도를 보인다. 이에 따라, 고속도로 기능회복을 위한 영업체계 전환 및 무정차 수납시스템 도입으로 교통정체 해소가 필요한 실정이다.

현재 서울외곽순환선 31.2k(판교방향)에 시범설치되었으며 향후 무료구간의 유료화 정책 추진 시 적용이 확대되고, 미래에는 유료도로 또는 유료터널 등에도 활용될 것이다. 특히 11개 노선 151.91km 무료구간에서 영업소 설치 시, 추가 용지구매, 도로개량이 불필요하고 신속설치가 가능한 솔루션으로서, 유료화 전환 시 약 2,771억 원의 통행료 수익을 기대할 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 최기주, 이정우, 박상욱, 2012, "차차로 톨링시스템

- (SMART Tolling)의 용량추정 방법에 대한 연구", 대한토목학회논문집 제32권 제4D호, pp. 305~311
2. 박상욱, 최만철, 이주안, 전현수, 김정주, 이정우, 2012, "차세대 ITS 패러다임 스마트톨링시스템". 한국도로교통협회지 127호, pp. 44~59
3. 스마트하이웨이 사업단, 2009, "SMART 도로-IT 기반 교통운영기술 개발 1단계 보고서"
4. 한국도로공사, 2009, "하이패스 사업백서"
5. 한국교통연구원, 2013, "2010년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석"
6. 스마트하이웨이사업단, 2013, "차세대 차차로 하이패스, 스마트톨링", SMART Highway Brief 제2호
7. 스마트하이웨이사업단, 2013, "SMART 도로-IT 기반 교통운영기술 개발 연차실적계획서"

학회지 원고접수 안내

학회지 편집위원회에서는 다음과 같은 내용으로 여러분을 초대하고자 합니다. 언제든지 참여하시어 알찬 학회지를 만듭시다. 여러분의 원고를 기다리겠습니다. (연락처 : 학회사무국 또는 편집위원)

컬 럼	내용 및 형식	비 고
권두언/축사/제언/격려사	시사성 있는 내용으로 A4 2쪽이내 분량으로 작성	편집위원회 주관
특집	회원들에게 도로포장내용과 최신동향소개 : 특집편집위원회 주관하여 연재	개재원고료 지급 심의 후 게재
기술기사	도로 및 도로포장과 관련된 기술보고서로서 A4 10쪽 이내 분량으로 작성 : 사례연구, 공사지, 성공 및 실패사례, 지역별 도로특성, 국내 산학연 합동 연구, 국내외 관련연구소 소개 등	개재원고료 지급 심의후 게재
기술위원회 세미나 주요내용	기술위원회 세미나 내용을 자세히 요약하여 그 내용을 회원들에게 알리는 컬럼	기술위원회 제공
해외기술동향	도로 및 도로포장관련 해외의 최신 연구내용 및 결과로 A4 4쪽 이내	
국내의 학술회의	도로 및 도로포장과 관련된 학술 및 기술강좌, 세미나 등의 내용 소개	E-mail 이용 가능
문화산책(교양)	교양과 관련된 내용으로 A4 4쪽 이내 : 수필, 취미생활(등산, 낚시 등), 독후감 및 의견제시 등 자유내용	심의후 게재
국내의 신간도서 소개	최근 발간된 도로 및 도로포장 도서 내용소개 및 총평과 국내 회귀 입수 서적 소개	E-mail 이용 가능
학교 및 업체연구소 소개	도로 및 도로포장관련 학교 연구실 및 업체 연구소의 A4 2쪽 내외의 소개	개재분량 엄수
학회소식	정기총회 및 학술발표회 소식, 이사회 회의록, 기술위원회 활동소식 등	학회 사무국 제공
Q/A	도로 및 도로포장 관련 문제에 대한 질문과 답변	E-mail 이용 가능
회원동정	주소변경, 직장변경, 경조사, 회원가입, 박사 및 석사학위 취득자 등	E-mail 이용 가능

\* 집필자는 필히 본인 및 공동집필자 사진을 첨부하십시오.

E-mail : ksre1999@hanmail.net