

# 자동요금징수 시스템(ETCS)의 경제성 분석

## (하이패스 시스템을 중심으로)

Economic Analysis for Electronic Toll Collection System, Hi-Pass

이 상 건

(국토연구원, 연구위원)

조 용 성

(아주대학교, 박사과정)

### 목 차

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>I. 서론             <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 연구배경 및 목적</li> <li>2. 연구수행방법</li> </ul> </li> <li>II. 사례조사</li> <li>III. 시스템 평가             <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 효과척도결정</li> <li>2. 현장조사</li> <li>3. 하이패스 평가</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>IV. 경제성 분석 방법             <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 구축 시나리오</li> <li>2. 시스템 적용 방법</li> </ul> </li> <li>V. 경제성 분석             <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 비용 산출</li> <li>2. 편익 산출</li> </ul> </li> <li>VI. 결론</li> </ul> |
|---|--|

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

#### 1) 연구의 배경

최근 고속도로 교통량의 증가('00년 : '99년 대비 14.4% 증가한 1,054백만대/년)로 인하여 출·퇴근, 주말 등 고속도로 지체현상이 끊임없이 일어나고 있다.

특히, 고속도로 지체의 주요 원인인 톨게이트 요금 징수에 따른 혼잡은 '99년 한해만도 약 2,700억원의 혼잡비용이 발생시켰으며, 또한 수동요금징수로 인한 과도한 인건비지출('99년 1,758억원)과 톨게이트 광장의 확보 및 유지관리 등에 따른 부수적인 문제가 지속적으로 대두되고 있어 근본적인 해결책이 시급한 실정이다.

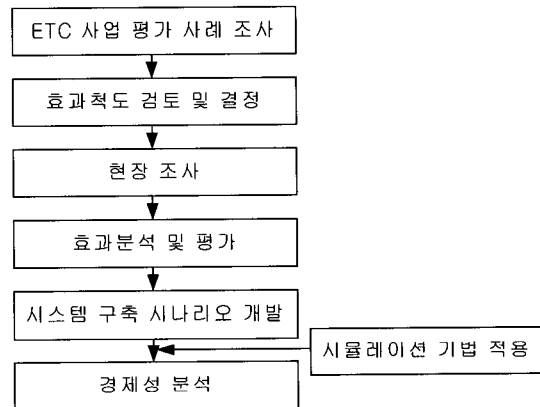
이에 한국도로공사는 2000년 6월 30일부터 하이패스라고 하는 자동요금징수시스템(이하 "ETCS"라 함)을 시범 운영하였으나, 여러 문제로 인하여 확대가 진행되지 못하고 있는 실정이다.

#### 2) 연구의 목적

본 연구는 궁극적으로 하이패스의 시범운영 결과를 토대로 ETCS의 경제적 효과를 분석하고, 이를 통해 고속도로 이용자의 요구에 만족할 만한 합리적인 확대 계획을 수립하는데 도움을 주고자 한다.

### 2. 연구수행방법

서울외곽순환고속도로의 판교, 청계, 성남 톨게이트를 대상으로 하이패스 설치 전과 설치 후의 교통흐름변화를 조사·분석하여 다음과 같은 방법에 의해 경제성 분석을 실시하였다.



## II. 사례 조사

ETC 시스템의 편익과 비용분석을 위하여 이해당사자들을 3개의 계층으로 구분하고 계층별 비용과 편익 항목을 산정하여 평가모형의 틀을 완성하였다. (아래 < 표 1 > 참조)

또한, ETC 평가를 위하여 현장조사에서 얻은 자료를 활용하여 평가모형의 검증 및 컴퓨터 작업과 시뮬레이션 등을 통한 평가모형의 주요 요소(factor)를 보정하여 평가모형을 구축하였음

기본 평가모델에서 얻은 결과를 토대로 통행료 징수 시설 및 도로특성, 할인정책, 기타 환경변화를 고려하여 평가모형을 발전시켰으며, 향후 타 ETC 시스템의 평가모델의 귀감이 되도록 평가모델 구축시 고려하였음

〈표 1〉 평가모델에 적용한 계층별 편익과 비용

구분	비용요소	편익요소
사용자 (Users)	• 서비스비용 • 자동차운영비용 • 사고비용	• 직접편익 : 시간절감, 연료비용 감소, 사고비용 감소 • 간접편익 : 통행증가, 안락감
운영업자 (Toll agency)	• 초기투자비용 • 운영비용 • 사고비용	• 직접편익 : 관리운영비절감, 운영수익증가, 사고비용 감소 • 간접편익 : 자료의 양적/질적 제고, 서비스 질 개선
지역사회 (Community)	• 환경비용 • 사고비용 등	• 직접편익 : 대기오염 및 사고 절감 • 간접편익 : 기타유발효과

〈표 2〉 외국사례 비교

구분	모형의 특징
사례 1	• ETC 구축효과 수혜자를 3계층으로 구분 평가 • 종합평가모형으로서 ETC 시스템의 B/C 산정 및 민감도 분석
사례 2	• ETC 구축효과 수혜자를 3계층으로 구분 평가 • 두 개의 상호 배타적인 대안비교를 통한 ETC 시스템 평가 • ETC와 네트워크 외부효과, 실존율, 정책 등에 따른 ETC 구축 효과 변화 예측 • 할인정책과 단계별 ETC 구축에 따른 NPV산정
사례 3	• 이용자를 11개 그룹으로 구분하여 단독 및 혼합서비스에 대한 용량계산 • ETC 의 제한속도 변화에 따른 용량 산정 • ETC 구축전·후의 용량, V/C 비, MSF 산정
사례 4	• ETC 시스템을 3가지 사례로 구분하여 상호연계 운영 관련 시나리오별로 비용과 편익 분석 • 상호연계운영상의 주요 문제점 부각

주 :  
 사례1:ETC 종합평가 모형정립 및 Carquinez교량의 적용 : Jianling Li, Ph.D, David Gillien, Joy Dahlgren  
 사례2:ETC 시스템 구축에 따른 편익/비용 산정 및 검증 David Levinson & Elva Chang  
 사례3:ETC 구축에 따른 용량계산 예 : Dr. Marguerite L. Zarrillo  
 사례4:유럽의 CARDME 사례연구 : Muhammad A.S. Mustafa

### III. 시스템 평가

#### 1. 효과척도결정

##### 1) 평균통과시간

$$APTS = \frac{T_{시행전} - T_{시행후}}{d}$$

$d$  = 톨게이트 시·종점 거리(km)

$T_{시행전}$  = 하이패스 시행 전 평균통과시간(sec)

$T_{시행후}$  = 하이패스 시행 후 평균통과시간(sec)

$APTS$  = 평균통과시간 절감 효과(sec)

#### 2) 평균대기행렬대수

$$AQLR = AQ_{시행전} - AQ_{시행후}$$

$$AQ_{peak} = \frac{\sum_{i=1}^{120} Q_{pi}}{120}, AQ_{non-peak} = \frac{\sum_{i=1}^{120} Q_{npi}}{120}$$

$Q_{pi}, Q_{npi}$  =  $i$ 번째 시간(분)의 평균 대기행렬 수 (침두시, 비침두시)

$AQ_{peak}$  = 침두시 평균 대기행렬 수(veh/min · booth)

$AQ_{non-peak}$  = 비침두시 평균 대기행렬 수 (veh /min · booth)

## 2. 현장 조사

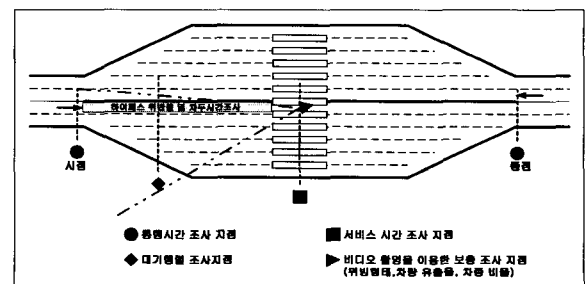
앞에서 제시한 효과척도를 비교·분석하기 위하여 다음과 같이 사업 전·후의 현장조사를 실시하였다.

수도권 외곽순환도로의 시범사업 3개 톨게이트 지점을 대상으로 침두시와 비침두시, 주말 및 평일(월요일, 평일)로 구분하여 〈표 3〉과 〈그림 1〉과 같은 방법으로 조사를 실시한다.

표본조사를 해야 할 경우에는 각 톨게이트마다 다른 긴 하지만, 신뢰수준 90~95%, 오차율을 5~10%의 조건 하에서 표본수를 산정한 결과 약 100~200개의 표본이 적당한 것으로 판단되어 침두시에는 100~150개, 비침두시에는 150~200개의 표본을 산출하였다.

〈표 3〉 현장조사 항목

조사항목	설 명	방법
통행 시간	• 톨게이트 광장부 시·종점부를 통과하는데 걸리는 시간을 조사함 • 특정 차량을 추적하면서 차량의 운행행태와 함께 총 통행시간을 기록하는 방법을 사용함	표본 조사
대기 행렬	• 각 영업소의 부쓰별로 단위시간(예 : 1분)당 대기하고 있는 차량의 수를 조사하여 기록함 (단, 서비스를 받고 있는 차량은 제외)	전수 조사



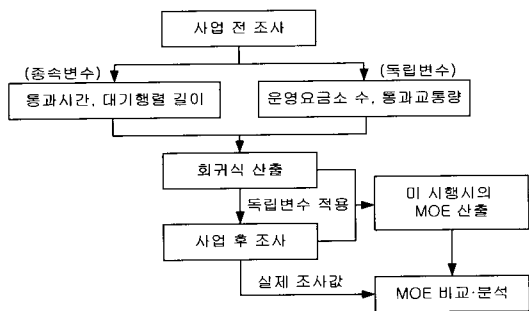
〈그림 1〉 현장조사 도면

### 3. 하이패스 평가

하이패스 시범사업 시행으로 인한 효과에 대한 분석을 정확히 수행하기 위해서는 사업 시행 전·후에 대해 동일한 조건 하에서 상호 비교하는 것이 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 하이패스 시범사업 시행 전, 2일 동안 조사된 통과교통량, 요금소의 수를 독립변수로 하는 회귀식을 도출하였다.

다음으로 시행 후에 조사된 통과교통량과, 요금소의 수를 도출된 회귀식에 적용하여 미시행되었을 경우의 평균통과시간을 산출하고, 실제 조사된 평균통과시간과 비교하여 그 효과를 분석하였다.



〈그림 2〉 하이패스 평가 Flow

## IV. 경제성 분석 방법

### 1. 구축 시나리오

고속도로 전구간을 대상으로 전면확대설치, 부분확대설치 등의 구축 시나리오를 다양하게 개발하되 최대 2006년까지를 설치완료 목표년도로 설정하였다.

또한, 최대 2006년까지의 설치완료 한 이후 2020년까지 장기적으로는 신설 톨게이트나 기존 톨게이트의 통과교통량과 톨게이트 수, 지역주민관심도 및 단말기 수요예측 등을 기준으로 적기에 추가 설치하도록 하였다.

〈표 4〉 확대방안 시나리오 구성

운영방식	확대방식	확대시기	지역	시나리오 No.
개방형	전면확대	2002년	수도권	O1
		2003년	수도권	O2
		2004년	수도권	O3
폐쇄형	전면확대	2003년	수도권 + 지방	C1
		2004년	수도권 + 지방	C2
		2006년	수도권 + 지방	C3
통합 시나리오		단기 확대구축 시나리오 : O1 + C1 중기 확대구축 시나리오 : O2 + C2 장기 확대구축 시나리오 : O3 + C3		

### 2. 시스템 적용 방법

경제성 분석기간은 최대 2006년까지 하이패스 시스템을 전국에 도입하는 것을 기준으로 향후 10년 동안을 분석하는 것으로 2016년까지를 분석한다.

하이패스 시스템의 적용방법(예 : 전용차로, 혼용차로)에 따라서 투자비용과 편익이 다르게 산출되기 때문에, 전국의 영업소를 대상으로 하이패스 시스템을 적용하는 기본개념을 영업소의 부쓰수에 따라 〈표 5〉와 같이 정의하였다.

〈표 5〉 하이패스 시스템 적용 방법

항 목	영업소 차로수		하이패스 시스템 적용 방법
	입구	출구	
개 방식	-	-	하이패스 전용
폐쇄식	소형	1~3	혼용
	중형	4~5	혼용
	대형	6~10	출구만 하이패스 전용
	초대형	11 이상	하이패스 전용

편익분석은 확대 구축시나리오와 영업소의 Layout, 하이패스 이용률 등을 종합적으로 고려하여 산출해야 하므로 시뮬레이션 기법을 활용하였다.

## V. 경제성 분석

### 1. 비용 산출

시설운영자, 이용자 등의 총 투자비용을 산출기준별로 정리하면 〈표 6〉과 같다.

〈표 6〉 하이패스 시범사업의 비용 산출 단가

항 목	단 가	산출기준	
시설 투자	개방식 or 폐쇄식 출구	74,993,000원	차로별
	폐쇄식 입구	25,699,000원	차로별
	트랜스폰더	49,200원	OBU 별
	영업소 설비	4,675,000원	영업소별
	본사 설비	154,756,000원	본사
안전 시설	개방식	1,068,930,000원	총 9개 영업소
	폐쇄식	1,715,040,000원	총 144개 영업소
유지 관리	개방식	3,983,400원	설비비의 5%
	폐쇄식	1,468,700원	
이용자	보증금	30,000원	월사용료 500원

### 2. 편익 산출

평가사례에서도 보았듯이, 하이패스로 인한 편익은 여러 가지로 구분할 수 있으나, 본 연구에서는 시설운

영자 측면과 사회적 측면으로 구분하여 편익을 산출하였다.

1) 시설운영자 측면

현재의 교통량과 연평균 증가율을 기준으로 2016년까지의 각 영업소의 통과교통량을 예측하고 이용율에 따른 하이패스 교통량을 산출한 후에, TCS처리용량과 하이패스의 처리용량을 기준(개방식 : 5,600대/일, 폐쇄식(입구) : 7,500대/일, 폐쇄식(출구) : 3,200대/일, 하이패스 용량 : 차로당 15,000대/일(최대))으로 TCS 차로증설 절감수를 산출하였다.

산출된 TCS 차로증설 절감수를 기초로 TCS 설치비 단가, 기반시설비단가, 인건비 단가 등을 곱하여 편익을 산출하였다.

2) 사회적 측면

사회적 측면에서의 편익은 평균통과시간 절감과 차량운행비 절감에 따른 편익, 환경오염 절감 편익을 산출하였다.

VI. 결론

본 연구에서는 시설운영자 측면과 사회적 측면 각각에 대한 경제성 분석과 전체 총 편익에 대한 경제성 분석을 실시하였다.

<표 7> 시나리오별 경제성 분석 결과

		10% 이용율		20% 이용율		30% 이용율	
		B/C	NPV (백만원)	B/C	NPV (백만원)	B/C	NPV (백만원)
시설 운영자 측면	단기	1.023	1,388	1.995	31,210	2.924	58,724
	중기	1.017	1,011	1.913	26,010	2.810	51,255
	장기	0.939	-3,713	1.783	17,146	2.626	38,241
사회적 측면	단기	2.066	64,177	6.187	283,493	8.517	395,255
	중기	1.915	55,486	5.738	257,880	7.895	359,543
	장기	1.648	39,650	4.982	212,937	6.858	297,224
전체	단기	3.337	140,617	8.185	403,543	11.441	571,242
	중기	3.166	131,341	7.652	373,885	10.706	529,916
	장기	2.794	109,796	4.765	322,028	9.484	457,925

시설운영자 측면과 사회적 측면 공히 가장 경제성이 높은 확대 구축 시나리오는 대안 1(단기구축시나리오)로서 이용율 30%일 때 B/C ratio가 2.9, 8.5이고 순현재가치가 각각 1,760억과 5,125억원이 있는 것으로 분석되었다.

한편 경제성이 가장 낮은 시나리오는 장기구축시나리오로 이용율이 10%인 경우이며 특히 이 경우 시설 운영자 측면에서 볼 때는 편익보다 비용이 순현재가치

로 37억원이 더 많아 사업성이 낮은 것으로 평가되어 최소한 10% 이상의 이용율이 확보되어야 함을 알 수 있었다.

그러나 전반적으로 이 사업은 경제성이 매우 높은 사업이라고 평가 할 수 있으며 특히 이용율이 10%씩 증가할수록 순수 편익의 현재가치가 늘어 적게는 약 208억원에서 많게는 298억원까지 증가하므로 하이패스 이용율이 사업의 경제성에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 분석되었다.

한편 전반적으로 사회적 측면의 편익 즉, 하이패스를 이용하는 일반국민과 주변환경에 돌아가는 순수편익이 전체 편익에서 차지하는 비중이 이용율이 30%일 경우 시나리오에 따라 약 60~70%인 2,970억원에서 3,950억원에 달해 이 사업의 공익성이 그만큼 높다는 사실을 입증하고 있다.

따라서 이러한 사업은 가급적 조기 구축하여 사업운영자는 물론 국가적 차원의 편익을 가져오게 하는 것이 바람직하며, 다만 단·중·장기 시나리오 변화에 따른 경제성 변화 폭은 상대적으로 적은 편이므로 지자체나 민자도로사업자 등의 타도로 운영주체와의 호환성 확보를 위한 관련기술의 국내외 표준화 동향과 발전추세를 감안하여 융통성있는 확대구축계획을 추진해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. "하이패스 시범사업 효과분석 및 확대방안 기본계획수립", 국토연구원, 2000.11
2. "과천 ITS 시범사업 사례를 통한 ITS 사업의 발전적 추진방안에 관한 연구", 교통개발연구원, 1999.
3. "3차원 그래픽을 통한 ITS용 시뮬레이션 기술에 관한 시뮬레이터 및 애니메이터 개발", (주)심테크 시스템, 1999.12.
4. 김상구, "고속도로 톨게이트 운영 시뮬레이션 모형 개발", 한국도로공사 도로연구소, 1997.
5. 박창수, "톨게이트의 용량, 서비스 수준 평가 및 설계 교통량 산정", 대한교통학회, 1998.
6. Jianling Li, Ph.Ddhl 2인, "Benefic-Cost Evaluation of the Electronic Toll Collection System : A Comprehensive Framework and Application, TRB 78 meeting, 1999.1.
7. D.r. Marguerite L. Zarrillo, "Capacity Calculations For Two Toll Facilities : Two Experiences in ETC Implementation, TRB 79 meeting, 2000.1.
8. Muhammad A.S. Mustafa, "Costs and Benefits of Interoperability of EFC Systems for Motorway Tolling - The CARDME Case Studies, CARDME.