한국ITS학회논문지
제8권, 제5호 (2009년 10월)
pp. 85~97

주행로이탈예방지원기술 관련 경제성평가 분석

An Analysis of Economic Evaluation Related to Lane Departure Warning System

유 병 용* 최 지 은** 배 상 훈***
(Byung-Yong Ryu) (Ji-Eun Choi) (Sang-Hoon Bae)

요 약

지속적인 교통수요 증가로 인하여 만성적인 교통혼잡, 연료소비 증가, 대기오염과 교통사고 등의 심각한 문제가 야기되고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 2007년 국토해양부 주관으로 스마트하이웨이 사업이 시작되었다. 스마트하이웨이 사업 중 도로-자동차 연계기술 중 하부 기술인 주행로이탈예방지원시스템(Lane Departure Warning System : LDWS)은 운전자가 고속도로에서 고속 주행 중 차로를 이탈할 경우 운전자에게 경고를 제공하는 시스템으로 측면충돌과 도로이탈사고를 예방하는 기술이다. 본 사업을 수행하기에 앞서 본 기술을 도입함으로 인하여 발생되는 경제성을 분석하여 타당성을 검증할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 LDWS 구축에 따른 사회경제적 효과를 분석하기 위하여 비용-편익분석(Cost-Benefit Analysis : CBA)을 적용하였다. 발생되는 편익으로는 사고감소효과와 운전자 측면 편익을 산정하였다. 또한 주행로이탈예방지원기술의 경우 보급률에 따라 경제성이 달라지는 것을 고려하여 비관적 시나리오와 낙관적 시나리오로 구분하여 각각의 경제성을 분석하였다. B/C비 분석 결과 비관적 시나리오의 경우 2020년 0.97, 2030년 1.36으로 경제성이 있는 것으로 나타났으며, 낙관적 시나리오에서는 2020년 1.04, 2030년 1.59로 보급률이 높아질수록 경제성 또한 높아지는 것으로 나타났다. 따라서 주행로이탈예방지원기술의 도입을 통해 발생되는 경제성이 있는 것으로 판단된다.

Abstract

Continuous increase of traffic demand has caused confirmed congestion, fuel consumption, emission, safety, etc. as serious social problems at the present time. The Smart Highway Project has been conducted by the supervision of Ministry of Land, Transport and Maritime Affaire to solve such problems since 2007. The Smart Highway Project includes LDWS (Lane Departure Warning System), a system to prevent broadside collisions and accidents, as a sub-technology of road-vehicle associating technologies. This system warns drivers when their vehicle deviates from the lane where they are traveling at high-speed on the highway. In this paper, the LDWS was evaluated using CBA to analyze the socio-economic consequences. Estimated benefits include reduction of accidents and convenience of drivers. In addition, the economics according to the distribution rate is various when it comes to Lane Departure Warning Technology, the economics of both cases - positive scenario and negative scenario, which was analyzed. As a result, the Benefit-Cost ratio(B/C) of negative scenario showed 0.97 in 2020 and 1.36 in 2030 while B/C ratio of the positive scenario showed 1.04 in 2020 and 1.59 in 2030, which indicated that the higher distribution rate is, the higher the economics generates. Therefore, it is judged that the introduction of Lane Departure Warning Technology will result in high economics.

Key words: Smart highway, lane departure warning system, socio-economic impact assessment, cost-benefit analysis

† 본 연구는 국토해양부 SMART Highway 사업(07기술혁신 A01) 지원으로 수행되었음.
* 주저자 : 부경대학교 위성정보과학과 박사과정
** 공저자 : 부경대학교 위성정보과학과 석사과정
*** 공저자 : 부경대학교 위성정보과학과 부교수
† 논문접수일 : 2009년 6월 26일
† 논문심사일 : 2009년 7월 26일(1차), 2009년 8월 30일(2차)
† 게재확정일 : 2009년 8월 31일

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

지속적인 교통수요 증가로 인하여 만성적인 교통혼잡, 연료소비 증가, 대기오염과 교통사고 등의 심각한 문제가 야기되고 있다. 하지만 증가하는 교통수요를 충족하기 위한 교통시설의 공급은 공간부족, 재원확보문제, 민원제기 등과 같은 어려움으로 한계성을 가지고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 2007년 국토해양부 주관으로 스마트하이웨이 사업이 시작되었으며, 첨단 토목기술, IT 기술, 차세대 자동차기술을 상호 접목하여, 빠르고 안전한 지능형 고속도로를 개발하여 도로의 효율성과 안전성을 극대화하고자 한다. 스마트하이웨이 사업의 주요 분야는 도로 기반시설, 교통운영기술, 도로-자동차 연계기술 등이 있으며 각 기술에 대해 세부적인 연구가 진행 중에 있다. 또한 도로-자동차 연계기술 중 하부 기술인 주행로이탈예방지원시스템(Lane Departure Warning System : LDWS)은 운전자가 고속도로에서 고속 주행 중 차로를 이탈할 경우 운전자에게 경고를 제공하는 시스템으로 측면충돌과 도로이탈사고를 예방하는 기술이다.[1] 본 사업을 수행하기에 앞서 본 기술을 도입하여 발생되는 경제성을 분석하여 타당성을 검증할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 CBA(Cost-Benefit Analysis : CBA) 분석을 통해 주행로이탈예방지원기술의 도입으로 인한 사회경제적 효과를 분석하고, 사업의 타당성을 검증하고자 한다.

Ⅱ. 이론적 고찰

1. 국내사례 분석

국내에서 수행한 대표적인 경제성 분석 사례로는 한국교통연구원에서 수행한 “첨단안전차량(ASV)에 대한 성능시험 사이트 구축 및 평가기술개발”사업을 수행하였으며 ASV 도입 시 발생되는 편익을 분석하였다. 이 연구에서는 ASV 기능에 대한 잠재적인 사고방지기능을 분석하고 궁극적으로는 교통사고 감소효과에 따른 비용효과를 분석하였다. 또한 경제성 평가에서 ASV의 기술개발과 시장보급에 대한 많은 요인들이 불확실성이 커 예측이 어려우므로 현 시점의 데이터를 위주로 분석하였다. ASV의 세부 기술로는 감응식순항제어(Adaptive Cruise Control : ACC), 전방차량충돌경고장치(Forward Vehicle Collision Warning System : FVCWS), LDWS 등이 있다. 각 시스템 별 얻을 수 있는 운전자 이득시간과 충돌사고 감소확률을 산정하여 시장보급률에 따라 시나리오를 설정하여 발생되는 사고 감소비용을 통해 편익을 산정하였다 [1].

이상건 외(2001)는 자동요금징수시스템에 대한 효과를 분석하고자 수행 중인 시범사업을 통하여 정성적인 측면과 정량적인 측면에서 사업 시행 전·후의 상황에 대해 비교 분석하였다. 분석결과 사용률이 높은 오전 첨두시에 3개 톨게이트 모두 효과가 있는 것으로 나타났으며, 정성적 측면의 운전자 만족도 조사결과 자동요금징수시스템에 대한 효과가 있는 것으로 분석되었다 [2].

오철 외 (2006)는 첨단안천차량기술 중 보행자 보호를 위한 차량기술의 적용에 따른 교통안전 측면에서 발생되는 효과를 분석하였다. 실제 보행자-차량 충돌사고 자료와 시뮬레이션자료를 이용하여 모형을 구축하고 통계적분석을 통하여 Active Hood Lift System(AHLS)의 효과를 계량화하는 방법론을 제시하였으며 실제 사고 자료로부터 얻어진 모형과 시뮬레이션 자료를 이용하여 구축된 모형을 활용하였다 [3].

2. 국외사례 분석

U.S. DOT에서는 트럭에 LDWS를 장착하여 발생되는 편익산정을 통하여 경제성평가를 수행하였다. LDWS를 장착하여 평가기간동안 발생된 사고감소효과를 산정하였으며, 평가결과 사고유형별, 충돌유형에 따라 23~53%의 사고감소효과가 발생되는 것으로 나타났다. 따라서 2001년부터 2005년까지 발생된 사고감소효과에 대하여 대물, 부상, 사망사고에 대해 발생된 편익을 산정하였다 [4].

1) http://www.smarthighway.or.kr/

유럽의 ADVISORS(Action for advanced Driver assistance and Vehicle control systems Implementation, Standardisation, Optimum use of the Road network and Safety)프로젝트에서는 stakeholder analysis를 중심으로 ASV의 영향분석을 수행하였다. ADAS(Advanced Driver Assistance and Vehicle Control System)의 개발과 관련된 stakeholder의 요구사항들을 기반으로 분석을 하였다. 경제성평가를 수행 시 항목간의 가중치를 적용하여 정성적인 비용편익 항목의 중요성을 반영하였다 [5].

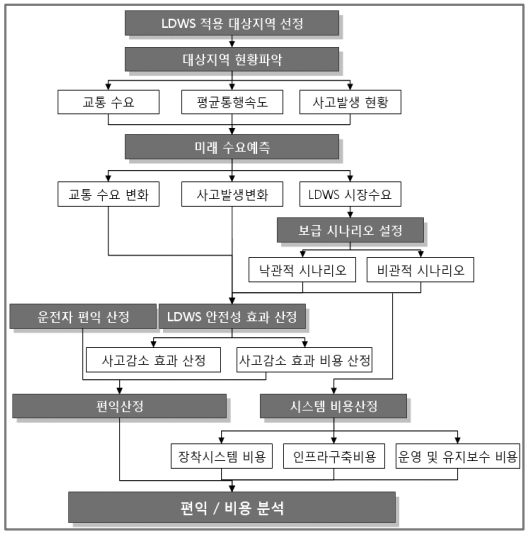
유럽의 elMPACT-Project에서는 IVSS(Intelligent Vehicle Safety System)를 도입함으로써 2010년과 2020년에 발생되는 사회/경제적 효과를 분석하였다. 경제성 평가를 수행하기 위해서 전반적인 경제성 평가의 절차를 마련하고, 해당 년도에 대한 수요예측과 편익산정 방법론을 설정하였다. IVSS 도입으로 인하여 발생되는 편익은 사고감소효과, 여행시간비용 감소효과, 차량운영비용 감소효과, 공기오염감소효과, CO_2 배출 감소효과 등이 있으며 각 효과에 대한 화폐가치화를 통해 편익을 산정하였다. 경제성 평가에 대한 절차마련을 통해 IVSS의 대표적인 시스템인 ACC에 대한 실제 경제성평가를 수행하였으며, 비용 편익비(B/C 비)를 통하여 경제성을 분석하였다. B/C 비 분석결과 2010년에는 2.1, 2020년에는 2.6으로 ACC 도입을 통해 경제성이 있는 것으로 분석되었다 [6].

Ⅲ. 경제성 평가방안 및 기초자료분석

1. 경제성 평가 방안

1) 경제성평가 방법 및 절차

본 연구에서는 유럽에서 수행한 경제성 평가과정을 기초자료로 활용하였으며, 추가적으로 편익산정 방안 중 교통사고비용 예측에서 시스템 장착차량 뿐만 아니라 장착하지 않은 차량에 대한 편익 산정 방안을 마련하였다. 또한 사고로 인한 운전자의 정신적 피해감소 비용 산정 및 시스템 장착을 통해 발생되는 운전자 편익 산정하였다.



<그림 1> 경제성평가 절차
<Fig. 1> Flow chart of economic evaluation

경제성 평가에 앞서 스마트하이웨이 사업은 2007년을 시작으로 2015년 연구가 완료되는 사업으로 시스템이 구축되지 않았기 때문에 시스템 구축지역과 유사한 고속도로를 선정, LDWS가 구축되었을 것으로 가정하여 경제성 평가를 수행하였다. 경제성 평가의 시간적 범위는 2015년 시스템 구축이 완료되는 것으로 가정하고 5년 동안 시장도입기간을 거쳐 2020년과 2030년에 대한 경제성 평가를 수행하였다. LDWS가 도입되지 않았을 경우 발생되는 사고에 대한 경제적 손실 비용과 예측되는 시스템 시장점유율을 낙관적 시나리오, 비관적 시나리오 설정을 통해 경제성 평가의 타당성을 높이는 방안을 적용하였다. 본 연구의 세부적인 경제성 평가 절차는 <그림 1>과 같다.

2) 경제성 평가를 위한 주요 요소 추정

경제성 평가를 위한 주행로이탈예방지원기술의 주요편익은 물적, 인적, 심리적 편익과 시스템 장착을 통한 운전자 편익이 발생된다. 따라서 이러한 편익을 산정하기 위하여 각각의 요소에 대한 추정이 필요하며, 추정항목 및 편익의 적용 및 활용방안은 <표 1>과 같다.

<표 1> 경제성평가를 위한 추정요소 및 적용방안
<Table 1> Estimated factors related to benefits

추정요소	사고감소편익			운전자 편익
	물적	인적	심리적	
대상지역 통행량	○	○	○	○
이용차량 대수	○	○	○	○
사고발생 건수	○	○	○	
사고유형별 비율	○	○	○	
LDWS 시장수요	○	○	○	○
물적피해비용	○			
인적피해비용		○		
심리적비용			○	
운전자 보험료				○

3) 전제조건 설정

본 연구는 2020년과 2030년에 대한 거시적인 편익과 경제성을 위하여 다음과 같은 전제조건이 필요하다.

① 통행량, 차량대수, 보급률은 연도별로 일정한 추세를 가지고 변화한다.
② 시스템의 편익 비용과 시스템의 구축비용은 연도별로 일정한 할인율을 반영한다.
③ 주행로이탈예방지원기술은 기존의 차량안전장치와 편의장치 등과 같은 시스템과 유사한 형태로 보급된다.
④ 개발시스템의 가격은 GPS 가격변화율과 동일한 비율로 변화한다.
⑤ 개발시스템의 내구성은 차량의 평균수명과 동일하다.

2. 대상지역 설정

주행로이탈예방지원기술에 대한 경제성평가를 수행하기 위하여 향후 스마트하이웨이 구축대상 지역과 유사한 성격의 도로를 선정하였다. 대상지역 선정을 위한 도로의 특징은 제한속도 110km/h 구간, 도로의 선형이 곡선부가 적은 구간, 차로 수 4차로 이상, 사고발생이 잦은 구간을 기준으로 가장 적합한 고속도로를 선정하였다. 본 연구에서는 서해안고속도로를 대상지역으로 선정하였으며, 서해안 고속도로의 경우 제한속도 110km/h이며, 선형이 곡선부가 적은 것으로 판단되었다. 또한 현재 사고발생률이 2003년부터 2007년까지 평균 354건으로 타 고속도로에 비해 높은 것으로 판단되어 주행로이탈예방지원기술 도입 시 효과가 가장 높을 것으로 판단되었다.

<그림 2> 경제성 평가 대상 지역
<Fig. 2> Region of Economic Evaluation

서해안고속도로의 특징 및 범위는 <그림 2>와 같다.

3. 대상지역 현황분석 및 수요예측

대상지역인 서해안고속도로의 교통량 및 사고 등에 대한 자료를 2002년부터 2007년까지 8년간 자료를 바탕으로 현황분석을 통해 2020년과 2030년에 대한 수요를 예측하였다.

1) 통행 교통량 현황 및 수요예측

서해안고속도로는 2001년 개통되어 2002년부터의 자료를 활용하였으며 교통량 현황을 분석한 결과 2002년부터 2007년까지 교통량은 2006년을 제외하고 꾸준히 증가하는 추세를 타나내었으며 연도별 세부 교통량은 <표 2>와 같다 [7].

2020년과 2030년에 대한 교통량 수요를 예측하기 위하여 추세모형(외삽모형, Extrapolation Model)을 적용하였다. 추세모형은 과거의 추세가 미래에도 계속된다는 가정을 통해 수요를 예측하는 방식이며 일반

<표 2> 서해안고속도로의 연도별 통행량
<Table 2> Traffic volume of seohaean-highway per year
(단위 : 대/년)

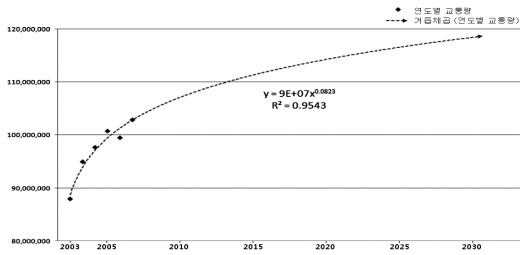
년도	통행량	년도	통행량
2002	87,973,883	2005	100,761,037
2003	94,977,691	2006	99,510,846
2004	97,695,327	2007	102,886,448

출처 : 도로공사 홈페이지 자료(http://www.ex.co.kr)[7]

적인 경제·사회적 환경이 예측기간까지 크게 변하지 않는다는 가정 하에 적용하는 모형이다. 따라서 서해안 고속도로의 교통량 또한 이러한 추세를 따른다고 가정하여 추세선 모형을 적용하였으며 도출된 추세선 모형식과 예측그래프 및 예측값은 식 (1)과 <그림 3>, <표 3>과 같다. 또한 추세선의 적합도를 나타내는 R^2값이 0.95로 추세선 모형을 잘 따르는 것으로 나타났다. 또한 회귀모형에 대한 적합성 검정(T-test) 결과도 t=9.14로 유의수준 5%이내에서 적합한 것으로 나타났다.

$$y = 88,790,293.54 \times x^{0.0823} \quad (1)$$

분석결과 2020년의 교통량은 현재보다 약 11% 증가하는 것으로 조사되었으며, 2030년에는 15.1% 증가하는 것으로 예측되었다.



<그림 3> 교통량 분석을 통한 장래 교통량 수요 예측
<Fig. 3> Prediction of traffic demand using regression model

<표 3> 서해안고속도로의 통행량 예측 결과
<Table 3> Predicted demand
(단위 : 대/년)

	실제 교통량		예측 교통량	
	2007	2007	2020	2030
교통량	102,886,448	102,886,448	114,169,852	118,397,795

<표 4> 자동차 수요 예측 결과
<Table 4> Prediction of vehicle demand
(단위 : 대/년)

실제 자동차 수	예측 자동차 수		
2005	2010	2020	2030
16,690,286	20,486,218	24,928,180	27,040,727

출처 : 한국자동차공업협회(2003), 한국 자동차 수요 중장기 예측모형(Ⅳ)[8]

2) 서해안 고속도로 이용차량 대수 산정

서해안고속도로를 통행하는 차량대수를 산정하기 위하여 연도별 차량통행량 분석을 통하여 전체 차량대수를 예측하여 증가율을 산정하였다. 이 중 서해안고속도로를 통행하는 차량 대수는 일평균 통행 차량 대수에 전체 차량 증가율을 적용하여 2020년과 2030년에 대한 수요를 예측하였다.

전체 차량대수 증가율을 산정하기 위하여 한국자동차공업협회에서 개발한 “한국 자동차 수요 중장기 예측모형”을 적용하였다 [8]. 예측방법은 자동차의 소비주체를 가계(household)로 정의하여 가계단위의 자료를 이용하여 승용차 보급을 분석하는 방법을 적용하였으며, 로지스틱 함수를 이용하여 승용차 대수를 예측하였다. 자동차 예측 결과는 <표 4>와 같다.

자동차 수요예측 결과 2005년을 기준으로 2020년에는 49.3%, 2030년에는 62.0% 증가할 것으로 예측되었다.

서해안고속도로를 이용하는 차량대수를 산정하기 위하여 일평균 이용차량대수를 분석한 결과 2005년도 일평균 전체 차량 교통량은 1,250,794대/일 인 것으로 나타났으며 2020년과 2030년에 대한 수요를 예측하기 위하여 증가율을 적용한 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 서해안고속도로 이용차량 대수 예측결과
<Table 5> Prediction of vehicle demand using seohaean-highway
(단위 : 대/년)

실제 자동차 수	예측 자동차 수	
2005	2020	2030
1,250,794	1,867,435	2,026,286

<표 6> 서해안고속도로 사고발생 현황
<Table 6> Number of accident by year

(단위 : 건/년)

년도	사고 건수	사망자 수	부상자 수	백만 Km 당 사고건수
2003	372	48	1037	0.011585
2004	342	56	1008	0.009865
2005	346	28	1075	0.009703
2006	357	49	928	0.009707
2007	355	53	884	0.009774

출처 : 도로교통공단(2008), 2008년판 교통사고 통계분석[9]

<표 7> 사고발생 예측 결과
<Table 7> Prediction of number of accident

(단위 : 건/년)

구분	사고건수	사망자수	부상자수
예측 결과	354	47	986

3) 서해안 고속도로 사고발생 현황 및 예측

서해안 고속도로에서 발생 한 2003년부터 2007년까지 5년 동안 발생된 사고를 분석하였으며[9] 그 결과는 표 6과 같다. 분석결과를 바탕으로 향후 발생할 사고건수를 예측하였다.

사고조사결과 통행량과는 달리 사고건수와 사상자 수는 일정한 패턴을 가지지 않는 것으로 나타났다. 교통량이 증가하더라도 교통사고건수와 사상자 수가 증가하지 않는 것은 교통안전사업과 차량의 안전성이 향상되어 사고 감소 효과가 나타나는 것으로 판단된다.

따라서 2020년과 2030년에 대한 사고발생 건수와 사상자 수를 예측하기 위하여 2002년부터 2007년에 발생한 사고발생건수와 사상자 수의 평균을 적용하여 예측하였으며 결과는 <표 7>과 같다.

4) 사고유형별 비율 산정

주행로이탈예방지원기술과 관련된 사고를 분석하기 위하여 전국 고속도로 사고유형별 사고발생 건수를 분석하였다. 고속도로별로 사고유형은 대체적으로 비슷하다는 전제로 분석을 시행하였다. 주행로이탈예방지원기술과 관련된 사고는 정면충돌사고, 측면충돌사고, 공작물충돌사고, 도로외이탈사고에 영향을 미치며, 2005년부터 2007년까지의 전체 사고에 대한 관련사고의 비율을 조사하였으며[9], 사고유형별 관련사고 비율은 <표 8>과 같다.

<표 8> 사고유형별 비율 산정
<Table 8> The rate of accident type

(단위 : %)

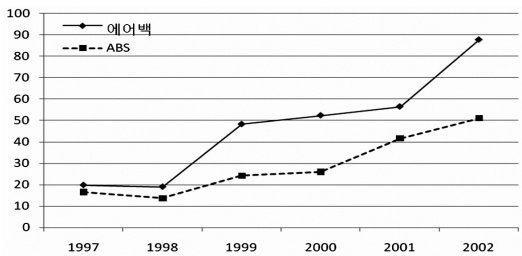
	측면 충돌	공작물 충돌	도로외 이탈	합계
사고발생건수 비율	75.61	4.03	1.01	80.65
사망자 비율	40.52	20.05	5.68	66.25
부상자 비율	80	1.78	0.61	82.39

출처 : 도로교통공단(2008), 2008년판 교통사고 통계분석[9]

전체 사고건수 중 주행로이탈과 관련된 사고가 80.65%, 사망자 비율은 66.25%, 부상자 비율은 82.39%로 주행로를 이탈하여 발생되는 사고 비율이 높은 것으로 나타나 주행로이탈예방지원기술의 중요성이 높은 것으로 판단된다.

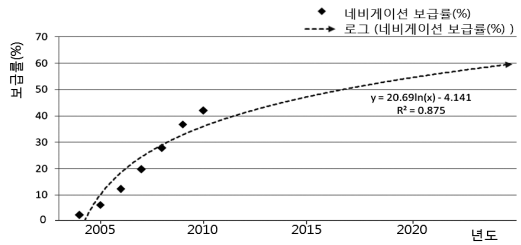
5) 주행로이탈예방지원기술 시장수요 예측

주행로이탈예방지원기술에 대한 시장수요를 예측하기 위하여 차량의 안전장비(에어백, ABS)와 내비게이션 보급률을 통하여 낙관적 시나리오와 비관적 시나리오를 적용하여 경제성평가를 수행하였다. 신기술에 대한 시장 확산은 고급차량에 먼저 장착되어 보급되며 일반차량에 적용하기 위해서는 약 10년이 소요되는 것으로 예측된다 [6]. 하지만 에어백과



출처 : 국토해양부, 한국교통연구원(2002), 지능형교통시스템(ITS) 연구, 개발사업 최종보고서[1]

<그림 4> 에어백과 ABS의 시장보급률
<Fig. 4> Market penetration rate of air bag and ABS



<그림 5> 내비게이션 시장보급 현황과 예측
<Fig. 5> Prediction of navigation market penetration

ABS의 경우 안정성 효과가 높으며, 이를 장착함으로 인하여 보험료 할인과 같은 정책적인 지원으로 보급률이 빠른 것으로 조사되었다. <그림 4>는 1997년부터 2002년까지 에어백과 ABS의 보급률을 나타낸다.

에어백의 경우 1997년에는 약 20%, 2000년에는 약 50%, 2002년에는 85%로 보급률이 높은 것으로 조사되었다 [1]. 따라서 낙관적인 시나리오는 2020년에는 40%, 2030년에는 80%의 보급률을 나타낼 것으로 예측하였다.

차량안전장치의 경우 차량 보급 시 기본 옵션으로 장착되어 시장에 판매가 되고 있으나 네비게이션의 경우 운전자의 선택에 의해 장착되는 After Market 형식으로 보급될 경우 보급률이 떨어질 수 있다. 내비게이션의 2005년부터 2020년까지 보급률에 대한 예측은 <그림 5>와 같다.

따라서 내비게이션이 시장에 보급된 후 향후 5년 후와 15년 후의 시장보급률을 예측하기 위하여 추세선을 적용하였으며 추세모형식과 예측결과는 식 (2)와 같다.

$$y = 20.69\ln(x) - 4.141 \quad (2)$$

예측결과 R^2값은 0.875로 추세선 모형을 잘 따르는 것으로 나타났으며 회귀모형에 대한 적합성 검정 (T-test) 결과도 t=5.93로 유의수준 5%이내에서 적합한 것으로 나타났다 (<표 9>).

내비게이션이 도입 5년 후에는 27.8%, 15년 후에는 56.8%로 예측되었다. 따라서 주행로이탈예방지원기술의 비관적 시나리오는 보급 5년 후 30%, 보급 15년 후 50%로 설정하여 경제성평가를 수행하였다.

<표 9> 내비게이션 보급률 및 예측결과
<Table 9> Prediction of navigation market penetration
(단위 : %)

실제 보급율				향후 보급율	
2004	2005	2006	2007	보급 후 5년	보급 후 15년
2.4	6.3	12.3	19.8	27.8	56.8

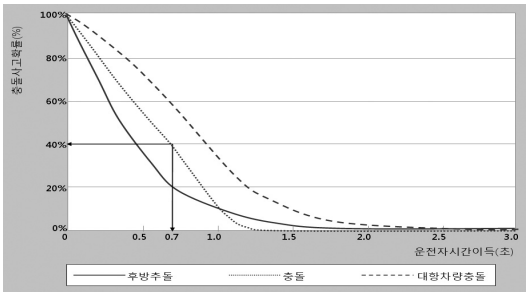
4. 주행로이탈예방지원기술 관련 사고감소효과 산정 및 교통사고 비용 산정

1) 주행로 이탈예방지원기술 안전성 효과 산정

Enke(1979)의 연구에서는 운전자의 반응시간에 따른 사고발생가능성을 분석하여 제시[6]하였으며 SEiSS의 연구에서는 주행로이탈예방지원기술 도입 시 0.5초의 반응시간 단축효과가 있는 것으로 나타났다 [5]. 따라서 0.5초의 반응시간 단축 시 25%의 사고감소효과와 15%의 사고심각도 경감효과가 있는 것으로 나타났다.

측면충돌사고의 경우 0.7초의 반응시간 단축효과를 통해 60%의 사고감소효과와 10%의 사고심각도 경감효과가 있는 것으로 조사되었다. <그림 6>은 운전자의 반응시간에 대한 충돌사고 확률의 변화를 나타낸다.

주행로이탈예방지원기술의 사고감소효과는 단독사고에는 장착차량에만 영향을 미치지만 차대차 사



출처 : eIMPACT(2006), Socio-economic Impact Assessment of Stand-alone and Co-operative Intelligent Vehicle Safety Systems(IVSS) in Europe[6]

<그림 6> 운전자 반응시간 단축으로 인한 측면충돌 사고발생 관계
<Fig. 6> Relation between reduced driver's rate time and collision

고의 경우 장착차량 뿐만 아니라 장착하지 않은 차량에도 영향을 미치게 된다. 이러한 효과는 장착차량이 장착하지 않은 차량과 사고를 일으키는 확률이므로 장착차량과 장착하지 않는 차량과의 사고발생 비율의 1/2과 같다.

$$P(E) = (E_{LDWS} \times E_{NON}) / 2 \quad (3)$$

$P(E)$ = 장착차량과 장착하지 않은 차량과 사고발생 확률
E_{LDWS} = 장착차량의 비율
E_{NON} = 장착하지 않은 차량의 비율

따라서 최종적으로 산정된 사망사고와 부상사고의 감소효과는 식 (4)와 같다.

$$I = (N \times S_n \times i) + (N \times (S_n \times (1 - S_n)) \times i) / 2 \quad (4)$$

I = 사망자 및 부상자 감소효과
N = 사망자 부상자 발생 건수
S_n = 해당 년도의 보급률
i = 시스템 도입으로 인한 사고감소 효과

2) 교통사고 비용 산정

(1) 물적피해 비용

교통사고의 물적피해를 산정하기 위하여 보험개발원에서 제시한 자료를 바탕으로 사고 발생 시 지급된 보험료를 기준으로 적용하였다 [10]. 사고가 발생하여 요구되는 차량손해비용은 차량 당 지급된 보험료로 결정된다. 차량 1건당 평균지급보험금은 사업용의 경우 117만 7천원, 비사업용의 경우 약 96만 2천원으로 산출되었다. 또한 사고로 인하여 발생되는 대물피해비용은 동일한 방식으로 산정하였을 경우 사고 1건당 사업용의 경우 약 154만원, 비사업용의 경우 101만 6천원이 지급되는 것으로 조사되었다.

(2) 인적피해 비용

인적피해비용을 산정하기 위하여 도로교통공단에서 제시한 “인적피해비용산정 모형”을 적용하였다 [11].

사망자의 피해비용은 성별, 연령별, 장래노동생산력을 이용하여 2007년도 사망자의 총생산손실을 계산하여 1인당 평균생산손실액을 산출하였다. 지급보험금 중 상실수익을 산출된 사망자 1인당 평균 생산손실액으로 대체하여 2007년도의 사망자 1인당 순평균비용을 추계하였다. 사망자 1인당 지급된 평균비용은 위자료, 장례비, 생산손실, 의료비 및 기타금액의 합을 통하여 산출하였으며, 산출 금액은 417,873천원으로 도출되었다.

부상자의 피해비용 중 가장 큰 비용을 차지하는 것은 부상자들의 노동력 상실로 인해 발생되는 비용이다. 또한 의료비와 휴업손해, 위자료, 문병비용 등 부수적으로 발생되는 비용을 합하여 부상자에 대한 비용을 산정하였으며 산정 금액은 3,958천원으로 도출되었다 [11].

하지만 사고 발생의 경우 중상사고와 경상사고로 구분 되며 고속도로에서 발생되는 사고의 경우 44%가 후유장애가 있는 중상사고이며[11], 이 경우에는 기존의 부상사고 비용보다 높게 산정되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 중상사고 비용은 사망사고의 1/4 금액으로 측정하였다.

(3) 심리적 비용 산정

경제성장과 더불어 삶의 질이 향상됨에 따라 정신적인 비용에 대한 관심이 급증하고 있다. 심리적 비용의 경우 정신적인 충격을 보상하기 위해 위자료의 형태로 심리적 비용이 사용된다. 심리적 비용을 산정하기 위하여 교통개발원에서는 특별시 및 광역시 7개소와 수도권을 대상으로 하였으며 사고 경험자에 대한 조사는 도로교통사고 경험자를 대상으로 유의표집방법(Purposive sampling)을 사용하여 비용을 추정하였다 [12]. 연구결과에 따르면 심리적인 비용은 사망사고는 1억 784만원, 5급 후유장애가 있는 중상사고의 경우 6,834만원, 후유장애가 없는 중상사고의 경우 1,206만원으로 추정되었으며 경상사고는 126만원으로 추정되었다.

(4) 교통사고발생비용 예측

앞서 도출된 교통사고 비용은 2008년도를 기준으로 산출되었으나 주행로이탈예방지원시스템의 경우 2020년과 2030년 감소되는 교통사고 감소비용을 산출하여야 하기 때문에 미래가치로 환산되어야 한다. 미래가치로 환산하기 위하여 미래가치법을 적용하였으며 현재의 비용이 미래에 얼마가 될 것인가를 예

<표 10> 사고비용 산정결과
<Table 10> Cost categories per fatal and injury crash
(단위 : 백만원)

항목		현재가치	미래가치	
			2020년	2030년
물적피해비용		0.97	1.85	3.16
대물피해비용		1.06	2.03	3.47
사망비용		417.87	794.46	1,245.63
중상사고 비용		104.47	198.62	311.41
부상비용		3.96	7.52	11.80
정신적 피해비용	사망사고	107.84	214.45	336.19
	부상사고	27.72	62.26	97.63

측하는 방법이며 산정공식은 식 (5)와 같다.

$$C_2 = C_1(1+r)^n \quad (5)$$

C_1 : 현재가치
C_2 : 미래가치
r : 할인율n : 기간

따라서 최종적으로 2020년과 2030년에 대한 사고비용 가치를 산정하기위하여 국토해양부 교통시설투자평가지침에서 제시한 할인율 5.5%를 반영하였다 [13].

3) 운전자 편익비용 산정

주행로이탈예방지원기술의 장착을 통해 운전자는 운행의 편의성과 안전성을 확보할 수 있으므로 운전자의 심리적 안정을 얻을 수 있다. 하지만 이러한 심리적 측면을 산정하기에는 어려움이 있으므로 시스템 장착에 대한 정량적인 운전자 편익 산정이 필요하다. 따라서 운전자 편익을 산정하기 위하여 운전자에게 발생되는 보험료 할인부분을 적용하였다. 보험 회사별로 안전장비에 대한 할인율이 다르게 적용되고 있으나 에어백 장착 차량의 경우 보조석 장착 여부에 따라 기본보험료의 80%~90%를 적용한다. 또한 차량 도난경보기, GPS, 이모빌라이져 및 모젠 장착차량에 대해 5%의 할인율을 적용하며, 최근 차량

<표 11> 보험료 예측결과
<Table 11> Prediction of car insurance
(단위 : 억원)

	실제 보험료	예측 보험료	
		2004	2020
보험료 예측	85,208	149,356	212,111

출처 : 보험개발원, 연구보고서 2005-9 보험산업 주요 지표의 중장기 전망, 2005.12[10]

용 블랙박스 장착 차량에 대해서는 기본 보험료의 3%의 할인 혜택을 적용하고 있다. 따라서 주행로이탈예방지원기술은 안전성과 긴밀한 연관성을 가지고 있기 때문에 최소한 7.5% 이상의 할인가능성이 있을 것으로 판단하였다.

보험료를 예측하기 위하여 보험개발원에서 제시한 예측방식을 적용하였으며 자동차보험료의 중장기 예측에서 가장 중요한 변수로 자동차보유대수를 설명변수로 설정하여 인플레이션을 반영하여 전체 보유 자동차의 경상 가치라는 개념을 적용하였다 [10].

따라서 본 연구에서는 1인당 발생되는 편익을 산정하기 위하여 앞서 예측한 차량대수를 고려하여 1인당 평균 보험료를 산출하였으며 총 보험료 예측결과와 전체 차량대수를 나누어 1인당 평균 보험료를 산출하였다(<표 12>).

산출된 보험료를 바탕으로 할인율 5.5%를 적용하

<표 12> 1인당 평균 보험료 예측결과
<Table 12> Prediction of car insurance per person

년도	총 보험료	보급 차량대수	1인당 평균 보험료
2020	149,356억원	24,928,180대	599,147원
2030	212,111억원	27,040,727대	784,414원

<표 13> 7.5% 할인율 적용 시 연도별 차량당 보험료 할인 금액
<Table 13> Discount charge of car insurance per vehicle for 7.5% of discount rate
(단위 : 원)

할인율	보급년도	
	2020	2030
7.5% 적용	44,936	58,831

여 차량당 보험료 할인금액을 산출하였다.

Ⅳ. 편익/비용 분석을 통한 경제성평가

1. 편익산정 결과

1) 주행로이탈예방지원기술 도입 시 사고감소효과 산정

예측된 향후 사고발생 건수 중 주행로이탈과 관련된 사고를 예측하고 주행로이탈예방지원기술의 도입을 통해 발생되는 사고감소효과를 적용하였다.

또한 사고감소 및 사상자감소 효과는 주행로이탈예방지원기술의 보급률에 따라 달라진다. 따라서 앞서 설정한 낙관적, 비관적 보급률에 따라 발생되는 사고 건수를 산정해야한다(<표 14>, <표 15>).

2) 시나리오 별 편익분석

<표 14> 비관적 보급률에 따른 사고 및 사상자 감소 효과
<Table 14> The reduced impact of casualties according to negative scenario

년도	구분	측면직각 충돌	공작물 충돌 및 이탈사고	합계
2020년	사고건수(건/년)	56.5	2.1	58.6
	사망자(명/년)	8.0	0.9	8.9
	부상자(명/년)	223.6	3.5	227.1
2030년	사고건수(건/년)	94.2	3.5	97.7
	사망자(명/년)	12.3	1.5	13.8
	부상자(명/년)	345.1	5.9	351

<표 15> 낙관적 보급률에 따른 사고 및 사상자 감소 효과
<Table 15> The reduced impact of casualties according to positive scenario

년도	구분	측면직각 충돌	공작물 충돌 및 이탈사고	합계
2020년	사고건수(건/년)	75.3	2.8	78.2
	사망자(명/년)	10.3	1.2	11.5
	부상자(명/년)	287.1	7.7	294.8
2030년	사고건수(건/년)	150.7	5.7	156.3
	사망자(명/년)	17.4	2.4	19.8
	부상자(명/년)	485.9	9.5	495.4

<표 16> 비관적 보급률에 따른 사고감소 편익산정
<Table 16> Benefit of reduced casualties according to negative scenario

(단위 : 천원)

구분		2020	2030
사고감소 비용	사고건수	227,476	594,431
	사망자	7,068,419	10,996,563
	중상사고	19,852,989	30,675,625
	경상사고	957,310	2,319,194
	합계	28,106,194	44,585,813
심리적 비용	사망자	1,714,480	4,147,689
	중상사고	6,223,810	9,616,651
	경상사고	318,771	492,546
	합계	8,257,061	14,256,886

<표 17> 낙관적 보급률에 따른 사고감소 편익산정
<Table 17> Benefit of reduced casualties according to positive scenario

(단위 : 천원)

구분		2020	2030
사고감소 비용	사고건수	303,301	951,090
	사망자	9,110,905	24,635,663
	중상사고	25,764,079	67,875,009
	경상사고	1,242,343	3,272,930
	합계	36,420,628	96,734,692
심리적 비용	사망자	3,855,375	6,648,942
	중상사고	13,571,364	21,278,467
	경상사고	413,683	1,089,841
	합계	17,840,422	29,017,250

보급률에 따른 사고 및 사상자 감소 건수와 각 각의 비용을 반영하여 산출된 사고 발생에 대한 편익은 <표 16>, <표 17>과 같다.

3) 운전자 편익 산정

운전자 편익은 보험료 할인 비용을 통하여 산정되며 시스템의 보급률에 따라 운전자 편익이 차이가 발생한다. 운전자 편익 산정 방법 및 결과는 식 (6), <표 18>과 같다.

<표 18> 운전자 편익산정 결과
<Table 18> The benefit of drivers

(단위 : 천원)

비관적 시나리오		낙관적 시나리오	
2020	2030	2020	2030
25,174,531	59,604,266	33,566,042	95,366,826

<표 19> 비관적 보급률에 따른 편익분석 결과
<Table 19> The analysis of benefit according to negative scenario

(단위 : 천원)

구분	2020		2030	
	편익	비율	편익	비율
사고감소 편익	28,106,194	45.7	44,585,813	37.6
심리적 비용	8,257,061	13.4	14,256,886	12.0
운전자 편익	25,174,531	40.9	59,604,266	50.3
합계	61,537,786	100.0	118,446,965	100.0

<표 20> 낙관적 보급률에 따른 편익분석 결과
<Table 20> The analysis of benefit according to positive scenario

(단위 : 천원)

구분	2020		2030	
	편익	비율	편익	비율
사고감소 편익	36,420,628	41.5	96,734,692	43.7
심리적 비용	17,840,422	20.3	29,017,250	13.1
운전자 편익	33,566,042	38.2	95,366,826	43.1
합계	87,827,092	100.0	221,118,768	100.0

$$\text{운전자편익} = \text{이용차량 대수} \times LDWS \text{ 보급률} \times \text{평균 보험료} \times \text{보험료 할인율} \quad (6)$$

사고 발생에 대한 편익분석과 운전자 편익분석을 통해 산정된 주행로이탈예방지원기술에 대한 최종 편익산정결과는 <표 19>, <표 20>과 같다.

2. 비용 산정

경제성평가를 수행하기 위하여 주행로이탈예방지원기술의 도입에 대한 비용을 산정하였다. 현재 스마트하이웨이 사업에서 개발 중인 기술은 레이저 센서를 이용하여 차선 인식을 통해 이탈여부를 검지하며, 차선인식에 필요한 센서의 가격은 현재 약 10만원 인 것으로 조사되었다. 따라서 장착비용과 기타 비용을 합산하여 약 15만원으로 예측하였다. 개발 시스템의 경우 초기 개발비용과 상용화 되었을 경우 발생되는 비용은 차이가 있으며, 2020년과 2030년도의 비용예측을 위하여 현재 차량에 장착되는 GPS의 가격 변화를 바탕으로 레이져 센서의 가격 변화를 예측 하였다. 한국과학기술정보연구원의 보고서에 따르면 GPS의 가격변화는 2009년부터 2004년까지 약 -8%의 가격 변화를 나타냈다 [14]. 따라서 본 연구에서는 할인율과 장비의 가격 동향을 바탕으로 2020년과 2030년에 대한 비용을 예측하였다. 또한 해당 시스템의 경우 일정 기간 후 감가상각과 유지관리비용이 발생 할 수 있으나, 아직 해당 시스템이 개발 전이므로 이를 고려하지 않고, 차량수명과 동일하다는 전제하에 경제성 분석을 시행하였다. 개발 시스템의 감가강각과 유지비가 발생될 경우 도출된 경제성 보다 다소 낮아질 가능성이 있으나, 미미한 것으로 판단되어 이를 배제 하였다.

경제성 분석을 위한 비용분석은 차량대수와 보급률, 장비가격을 통해 산정하였으며 산정결과는 <표 20>과 같다.

<표 21> 비용분석 결과
<Table 21> The result of cost analysis

(단위 : 천원)

비관적 시나리오		낙관적 시나리오	
2020	2030	2020	2030
63,607,566	87,068,999	84,810,088	139,310,399

3. 경제성 분석

본 연구에서 산정된 주행로이탈예방지원시스템에 대한 편익분석과 시스템 구축 비용분석을 통하여 B/C비 분석을 통해 경제성을 평가하고자 한다. B/C비의 경우 결과 값이 1 이상이면 경제성이 있는 것으로 판단하며 2020년과 2030년에 대한 B/C비 분석결과는 <표 22>와 같다.

주행로이탈예방지원기술에 대한 B/C비 분석결과

<표 22> B/C비 분석결과
<Table 22> The result of cost-benefit analysis

보급률	년도	편익(천원)	비용(천원)	B/C 비
비관적	2020	61,537,786	63,607,566	**0.97**
	2030	118,446,965	87,068,999	**1.36**
낙관적	2020	87,827,092	84,810,088	**1.04**
	2030	221,118,768	139,310,399	**1.59**

비관적 시나리오의 경우 2020년에는 0.97, 2030년에는 1.36로 나타나 2020년에는 경제성이 다소 낮은 것으로 나타났으나 2030년에는 경제성이 있는 것으로 나타났다. 낙관적 시나리오에서는 2020년 1.04, 2030년 1.59로 주행로이탈예방지원기술의 보급률이 높아질수록 경제성이 높아지는 것으로 나타났다. 따라서 주행로이탈예방지원기술의 도입을 통하여 발생되는 편익이 높은 것으로 나타났으며 보급률이 편익에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Ⅴ. 결론 및 향후연구 과제

본 연구에서는 스마트하이웨이사업 중 주요한 기술인 주행로이탈예방지원기술의 도입에 대한 경제성을 판단하기 위해 B/C 비 분석을 수행하였다. 불확실한 미래를 분석하기 위해 현실에 맞는 예측 및 가정을 통하여 경제성을 분석하였으며 개발 기술의 보급률에 따라 경제성이 달라지는 것을 고려하여 비관적 시나리오와 낙관적 시나리오로 구분하여 각각에 대한 분석을 수행 하였다.

분석 결과 비관적 시나리오의 경우 2020년 1.01, 2030년 1.59로 경제성이 있는 것으로 나타났으며, 낙관적 시나리오에서는 2020년 1.08, 2030년 1.84로 보급률이 높아질수록 경제성 또한 높아지는 것으로 나타났다.

따라서 보급률에 따라 경제성이 달라지는 결과가 도출되었으며 개발 기술의 보급률을 높이기 위한 방안과 정책이 뒷받침되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 서해안고속도로에 시스템이 적용되었을 시 발생되는 편익을 산정하였으나 현재의 구축비용으로 타 고속도로에도 적용이 가능하게 되므로 시스템 확장 시 편익이 더 높게 발생할 것으로 판단된다.

하지만 현재 개발 중에 있는 시스템에 대해 발생 가능한 편익을 산정하는 단계이므로 다양한 가정을 설정은 불가피하며, 향후 시스템 개발이 완료 후 체계적인 경제성 분석이 필요한 것으로 판단된다.

또한 스마트하이웨이 사업의 경우 주행로이탈예방지원기술 외에 도로기반시설과 도로-IT 기반 교통운영기술, 도로-자동차 연계기술 등과 같은 다양한 시스템의 개발이 이루어지고 있어 전체 시스템에 대한 경제성평가가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 국토해양부, *한국교통연구원, 2001년도 지능형 교통시스템(ITS) 연구 개발사업 최종보고서: 첨단안전차량(ASV)에 대한 성능시험 사이트 구축 및 평가기술개발 연구보고서(I),* 2002. 12.

[2] 이상건, 조용성, 오세창, “자동요금징수 시스템(ETCS)의 시범사업 효과분석,” *대한교통학회지*, 제19권, 제4호, pp. 59-69, 2001. 8.

[3] 오철, 강연수, 김범일, 김원규, “첨단안전차량 효과분석(보행자보호를 위한 Active Hood Life System(AHLS)을 중심으로),” *대한교통학회지*, 제24권, 제3호, pp. 95-102, 2006. 5.

[4] U. S. Department of Transportation Federal Motor Carrier Safety Administration, *Analysis of Benefits and Costs of Lane Departure Warning Systems for the Trucking Industry*, pp. 1-55, Feb. 2009.

[5] SEiSS, *Exploratory Study on the potential socio-economic impact of the introduction of Intelligent Safety Systems in Road Vehicles*, pp. 1-166, Nov. 2004.

[6] eIMPACT, S*ocio-economic Impact Assessment of Stand-alone and Co-operative Intelligent Vehicle Safety Systems(IVSS) in Europe*, pp. 1-162, Dec. 2006.

[7] 도로공사 홈페이지(http://www.ex.co.kr)

[8] 한국자동차공업협회, *한국 자동차 수요 중장기*

예측모형(IV), 2003. 4.

[9] 도로교통공단, *2008년판 교통사고 통계분석*, 2008. 8.

[10] 보험개발원, *보험산업 주요 지표의 중장기 전망, 연구보고서*, p. 92, 2005. 9.

[11] 도로교통공단, *'07도로교통 사고비용의 추계와 평가*, 2008. 12.

[12] 유정복, *교통사고의 심리적 비용 산정모형개발에 관한 연구*, 서울시립대학교 박사학위 논문, 2008. 6.

[13] 국토해양부, *교통시설 투자평가지침 :제2차개정*, 2007. 12.

[14] 한국과학기술정보연구원, *기술산업정보분석 GPS*, p. 71, 2003. 12.

저자소개

유 병 용 (Ryu, Byung-Yong)

2007년 : 부경대학교 학사과정 수료(위성정보과학전공)
2009년 : 부경대학교 석사과정 수료(지능형교통시스템전공)
2009년 : 부경대학교 대학원 박사과정

최 지 은 (Choi, Ji-Eun)

2009년 : 부경대학교 학사과정 수료(위성정보과학전공)
2009년 : 부경대학교 석사과정 (지능형교통시스템전공)

배 상 훈 (Bae, Sang-Hoon)

1995년 : 미국 Virginia Tech. 박사 수료
2002년 : 한국교통연구원 ITS 팀장
현재 : 부경대학교 부교수(위성정보과학과)