

# 첨단 운전자지원시스템의 교통안전 효과추정 방법론

## Methodology for Estimating Safety Benefits of Advanced Driver Assistant Systems

정은비\*  
(Eunbi Jeong)

오철\*\*  
(Cheol Oh)

### 요 약

최근 교통사고 및 교통사고로 인한 사상자수의 감소를 위해 기존의 자동차에 각종센서나 통신기술 등의 첨단 ICT기술을 융합한 첨단안전자동차에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 이러한 첨단안전자동차 기술의 시장진입 및 관련 기술 도입을 위해서는 자동차에 도입되는 첨단안전 기술에 대한 효과 분석에 따른 도입 타당성 평가가 필요하다. 본 연구에서는 첨단안전자동차 기술 중 운전자지원시스템(ADAS: Advanced Driver Assistant System)을 대상으로 효과분석 방법론을 개발하고, 개발한 방법론을 차선이탈경고장치(LDWS: Lane Departure Warning System)와 자동비상제동장치(AEBS: Automatic Emergency Braking System)에 적용한 사례분석을 통해 사고감소효과를 추정하였다. 분석결과, 차선이탈경고장치는 관련 사고유형(정면충돌, 도로외이탈, 공작물추돌, 전도전복)에 대해 약 10~14%의 사고감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 자동비상제동장치는 추돌사고에 대하여 약 50%의 사고감소 효과를 보이는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 추후 첨단안전자동차 기술 개발에 따른 효과분석시 기초자료로 활용이 가능할 것이며, 운전자, 탑승자, 보행자를 위한 자동차 기술의 발전 및 기술도입 타당성을 제시하기 위한 근거 자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

핵심어 : 운전자지원시스템, 차선이탈경고장치, 자동비상제동장치, 사고회피시간

### Abstract

Recent advanced sensors and communication technologies have been widely applied to advanced safety vehicle (ASV) for reducing traffic accident and injury severity. To apply the advanced safety vehicle technologies, it is important to quantify the safety benefits, which is a fundamental for justifying application. This study proposed a methodology for quantifying the effectiveness of the advanced driver assistant system (ADAS), and applied the methodology to lane departure warning system (LDWS) and automatic emergency braking system (AEBS) which are typical advanced driver assistant systems. When the proposed methodology is applied to 2008-2010 gyeonggi-province crash data, LDWS would reduce about 10~14% of relevant crashes such as head-on, run-off-the road, rollover and fixed-object collisions on the road. In addition, AEBS could potentially prevent about 50% of total rear-end crashes. The outcomes of this study support decision making for developing not only vehicular technology but also relevant safety policies.

**Key words** : advanced driver assistant systems, lane departure warning system, automatic emergency braking system, time to avoid crash

† 본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(11PTSI-C054118-03)으로 수행된 연구임

\* 주저자 : 한양대학교 교통공학과 박사과정

\*\* 교신저자 : 한양대학교 교통·물류공학과 교수

† 논문접수일 : 2013년 3월 13일

† 논문심사일 : 2013년 5월 25일

† 게재확정일 : 2013년 6월 3일

## I. 서 론

지속적인 자동차의 이용증가는 교통사고, 환경오염, 교통혼잡 등으로 인한 손실을 증가시키고 있다. 특히 교통사고의 경우 각국의 교통사고 사상자수 감소를 위한 각종 연구 및 정책 등 많은 노력의 결과로 지속적인 감소추세에 있지만 국내 사고건수는 다각적 노력에도 불구하고 감소추세가 둔한 실정이다. 최근 교통사고 및 교통사고로 인한 사상자수의 감소를 위해 기존의 자동차에 각종센서나 통신기술 등의 첨단 ICT(Information Communication Technology) 기술을 융합한 첨단안전자동차에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으며, 이미 상용화되어 보급되고 있는 장치도 있다. 첨단안전자동차란 수동적인 차량 제어기술에서 전자, 기계, 제어를 접목하여 능동적인 차량제어기술을 통해 ICT인프라 구축에 의한 고도화된 정보수집, 처리 및 제공 등이 가능하도록 하는 지능화된 자동차를 의미한다.

첨단안전자동차 기술의 시장진입 및 관련 기술 도입을 위해서는 첨단안전자동차 기술에 대한 효과 분석을 통한 도입 타당성 평가가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 첨단안전자동차 기술 중 운전자지원 시스템(ADAS: Advanced Driver Assistant System)에 대한 효과분석 방법론을 개발하고, 개발한 방법론을 이용하여 대표적인 운전자 경고정보시스템(Warning system)인 차선이탈경고장치(LDWS: Lane Departure Warning System)와 차량제어시스템(Control system)인 자동비상제동장치(AEBS: Automatic Emergency Braking System)에 대한 사례분석을 통해 사고감소효과를 추정하고자 한다.

본 연구에서는 운전자지원시스템의 효과평가 방법론을 네 부분으로 구성하여 제시하였다. 첫째, 시스템 장착 효과의 과추정을 방지하기 위해 운전자 지원시스템을 통해 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되는 사고에 대한 수혜자 그룹을 설정하였다. 둘째, 경고정보 제공 유무에 따른 운전자 행태를 반영한 사고회피시간과 Exponential Decay Function을 이용하여 사고발생 확률을 추정하였다. 셋째, 운전자 지원시스템 도입 전후의 사고발생확률을 이용하여

사고감소효과를 산출하였다. 마지막으로, 2008~2010년 경기도 교통사고자료를 이용하여 앞서 제시한 방법론을 적용한 사례분석을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 첨단 안전자동차 기술 소개 및 첨단안전자동차 효과분석 관련 기존문헌을 고찰하였고, 3장에서는 연구방법론을 소개하였다. 4장에서는 연구방법론을 적용하여 운전자지원시스템에 대한 사례분석을 수행하였으며, 5장에는 결론을 제시하였다.

## II. 기존문헌 고찰

본 연구에서는 첨단안전자동차 기술의 기능분석 및 첨단안전자동차 효과분석 관련 기존문헌을 고찰하였다.

### 1. 첨단안전자동차 기능분석

첨단안전자동차(ASV: Advanced Safety Vehicle)는 수동적인 차량제어기술에서 전자, 기계, 제어를 접목하여 능동적인 차량제어기술을 통해 IT인프라 구축에 의한 고도화된 정보수집, 처리 및 제공 등이 가능하도록 하는 지능화된 자동차를 의미한다[1]. 첨단안전자동차 기술은 사고발생 전에 작동하여 사고를 예방하는 기능과, 사고발생시 또는 사고발생 후에 작동하여 사고심각도를 감소시키는 기능을 수행한다. 본 연구에서는 사고발생을 예방하는 기능을 수행하는 운전자지원시스템(ADAS: Advanced Driver Assistant System)에 대한 효과분석 방법론을 제시하고자 한다.

운전자지원시스템은 그 기능에 따라 경고시스템(Warning System)과 제어시스템(Control System)으로 구분할 수 있다. 경고시스템은 사고의 위험이 존재하는 경우 운전자에게 경고정보를 제공함으로써 운전자가 돌발상황에 대한 회피행동을 보다 신속하게 할 수 있도록 지원하는 시스템이다. 제어시스템은 사고의 위험이 감지되었으나 운전자의 반응이 없는 경우 자동으로 자동차를 제어하는 시스템으로 사고 예방 및 사고시 충돌속도를 감소시켜 사고심각도를

감소시키는 기능을 가지고 있다.

본 연구에서는 경고시스템 중 차선이탈경고장치, 제어시스템 중 자동비상제동장치에 대한 효과분석을 수행하고자 한다. 차선이탈경고장치는 운전자의 부주의 또는 졸음운전 등으로 주행 중 차선을 이탈하게 되면 운전자에게 경고를 제공하는 시스템으로 도로이탈로 인한 단독사고, 전복사고, 차선이탈로 인한 정면충돌사고 등의 사고방지 효과가 있다. 자동비상제동장치는 주행차선 전방에 위치한 자동차와의 충돌가능성을 감지하여 운전자에게 경고정보를 제공하며, 운전자의 반응이 없거나 충돌이 불가피하다고 판단되는 경우 충돌완화 및 회피목적으로 자동차의 속도를 자동적으로 감속시키는 시스템이다. 본 연구에서는 경고 및 제어시스템으로 인한 사고회피시간 증가분을 추정하여 사고감소확률을 추정하는 방법론을 개발하였다.

## 2. 첨단안전자동차 효과분석 관련

Sugimoto and Sauer(2005)는 후미추돌을 방지하기 위한 운전자 지원시스템인 Collision Mitigation Brake System(CMBS)의 효과를 분석하였다. 사고 시나리오자료, 차량모델, 운전자모델을 적용하여 시뮬레이션을 통해 충돌속도, 충돌각, 주행궤적, 위치 등의 결과를 도출하여 시스템의 효과를 평가하였다[2]. Coelingh et al.(2007)은 실제 안전성 측면에서 시뮬레이션 및 물리실험을 통하여 자동제어시스템이 장착된 충돌경고시스템을 평가하였으며, 시스템의 유무에 따른 충돌시 부상위험 노출정도를 추정하여 분석을 수행하였다[3]. 오철 등(2007)은 보행자 안전기준이 도입될 경우 얻게 될 교통안전측면의 효과를 계량화 할 수 있는 방법론을 정립하고 실제 사고자료를 적용하여 분석하였다[4]. Farmer(2008)은 사각지대 감지·경고 시스템, 충돌경고·완화시스템, 긴급제동시스템, 차선이탈방지시스템, 자동전조등 시스템 등 5개의 사고회피기술을 평가하였다[5]. Kuehn et al.(2009)은 독일의 보험 사고 자료 데이터베이스를 이용하여 Advanced Driver Assistance System(ADAS)의 효과를 계량화하는 연구를 수행하

였다. 분석결과 Lane Keeping Assistant System은 2.2%의 사고건수 감소 효과를 보이는 것으로 나타났다[6]. Page et al.(2009)은 TRACE project에서 수행한 19가지의 첨단안전시스템의 효과분석 결과를 제시하였다. 19가지 첨단안전시스템 중 본 연구와 관련이 있는 Lane Keeping Assistant System은 심각한 부상자수의 감소 효과가 5.7%로 나타났으며, 자동비상제동장치의 경우 심각한 부상자를 최대 9.1%까지 감소시킬 것이라고 추정하였다[7]. 유병용 등(2009)은 주행로이탈예방지원시스템(LDWS: Lane Departure Warning System) 구축에 따른 사회경제적 효과를 분석하기 위해 비용-편익분석을 수행하였으며, 주행로이탈예방지원기술은 경제성이 있다고 제시하였다[8]. 최지은 등(2010)은 ITS서비스 중 첨단차량의 도로 도입시 온실가스를 정량적으로 산정하는 방법론을 개발하여 첨단차량의 환경적 효과를 분석하였다[9]. Unsel et al.(2011)은 실제 주행실험과 시뮬레이션 실험을 통해 사전충돌방지시스템(Pre-crash System)에 대한 시스템 성능평가 위해 운전자의 행동 변화를 제시하였다. 실험결과 사고발생 전 운전자 확보시간은 경고정보를 제공하지 않았을 때 평균 1.5초, 경고정보를 제공하였을 때 평균 1.68초로, 경고정보를 제공하는 경우 운전자가 사고를 회피할 수 있는 반응시간을 0.18초 확보하는 것으로 나타났다[10]. Yoo et al.(2011)은 차선이탈경고장치의 성능에 운전자요인이 미치는 영향을 분석하기 위한 시뮬레이션을 수행한 결과 차량의 속도 및 분산이 증가하면 사고발생 가능성이 높아지며 운전자 반응시간이 1초 이상 지연된다면 사고발생 가능성이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다[11].

## 3. 기존 연구와의 차별성

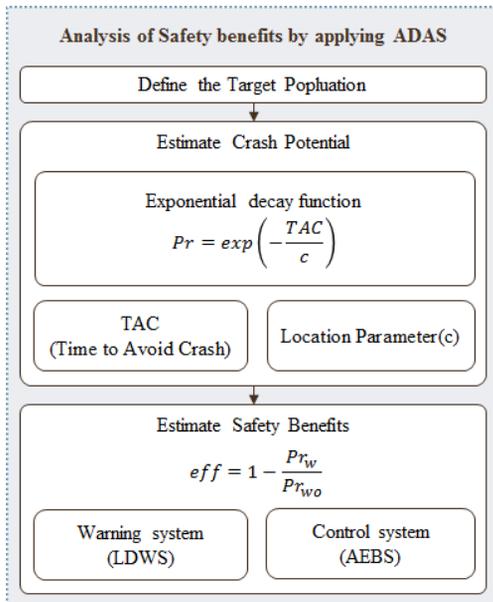
기존 운전지원시스템에 대한 연구는 시스템의 성능평가 등을 위한 시뮬레이션 및 비디오분석을 통하여 효과를 평가하였다. 기술적인 측면에서의 안전성 효과평가 및 사고자료를 이용한 사고감소 효과분석에 관한 연구는 진행되었으나, 새로이 도입되는 장치에 대하여 실제 국내 사고자료 분석을

통한 정량적인 사고감소효과 분석에 대한 연구가 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 국내 사고자료를 이용하여 사고유형, 도로유형을 고려한 운전지원시스템의 사고감소효과를 정량적으로 추정하여 시스템 도입시 국내 도로유형에 따른 사고유형별 사고감소효과를 추정하는 방법론을 제시하는데 의의가 있다.

### Ⅲ. 연구방법론

차선이탈경고장치, 자동비상제동장치와 같은 운전지원시스템은 경고정보제공 및 자동제어를 통해 사고를 예방하는 시스템으로, 경고 및 제어시스템의 효과평가를 위해서는 운전자의 인지반응이 구성요소로 포함된 새로운 측정지표가 필요하다. 이에 본 연구에서는 사고회피시간(TAC: Time to Avoid Crash)의 변화에 따른 사고발생확률 감소효과를 추정함으로써 운전지원시스템의 효과를 평가하는 방법론을 제시하고자 한다. 운전지원시스템의 효과 분석을 위한 사고감소 효과분석 방법론은 3단계로 구성되어 있으며, 연구의 흐름은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구 흐름도  
<Fig. 1> Procedure of study

#### 1. 수혜자그룹 설정

전체 교통사고를 대상으로 사고감소 효과를 분석할 경우 운전지원시스템의 효과가 과추정 될 수 있다. 따라서 운전지원시스템을 통해 효과를 얻을 수 있는 사고유형에 대한 수혜자 그룹 설정이 필요하다. 본 연구에서는 2008-2010년 교통사고 자료에서 차종별 분류를 통해 자동차(승용차, 승합차, 화물차)와 관련이 있는 사고와, 사고유형별 분류를 통해 차대차, 차량단독 사고를 추출하였다. 추출한 사고 중 분석대상 시스템인 차선이탈경고장치 및 자동비상제동장치와 관련이 있을 것으로 예상되는 사고유형을 최종 수혜자 그룹으로 설정하여 분석을 수행하였다.

#### 2. 사고발생확률 추정을 위한 파라미터 설정

운전지원시스템의 효과를 평가하기 위해서는 운전자의 인지반응이 구성요소로 포함된 새로운 측정지표가 필요하다. 본 연구에서는 운전지원시스템의 장착여부에 따라 운전자가 추가로 확보할 수 있는 사고회피시간을 독립변수로 설정하고 사고발생 확률을 종속변수로 설정하여 Exponential Decay Function을 통해 사고발생확률을 추정하였다.

##### 1) Exponential Decay Function

본 연구에서는 사고발생확률을 추정하기 위한 방법으로 Exponential Decay Function을 활용하였다. Exponential Decay Function은 어떤 한 독립변수에 의해 지수형태로 곡률이 변화하며 감소하는 현상을 보이는 함수로, 사고개연성 추정시 응용하여 활용할 수 있다.

기존연구에서 운전자의 반응에 따른 사고발생확률을 추정한 결과, 운전자의 인지반응시간이 감소할수록 사고를 회피할 개연성이 감소한다는 연구결과를 제시하고 있으며, 운전자 반응시간과 사고발생확률은 비선형적 관계를 가지는 것을 확인할 수 있다[10-13]. Exponential Decay Function 함수는 종속변수와 독립변수의 비선형적인 관계를 규명하는데

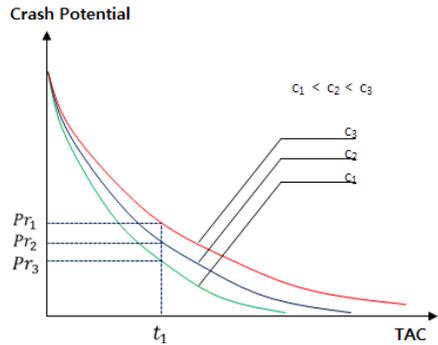
있어 간단하게 적용이 가능하며, 기존 연구에서 독립변수에 따른 사고개연성 추정에 응용하여 활용한 사례를 참고하여 분석을 수행하였다[14-16]. Exponential Decay Function의 기본 함수식은 식 (1)과 같다.

$$y = a + b \times \exp\left(-\frac{x}{c}\right) \Rightarrow Pr = \exp\left(-\frac{TAC}{c}\right) \quad \text{식 (1)}$$

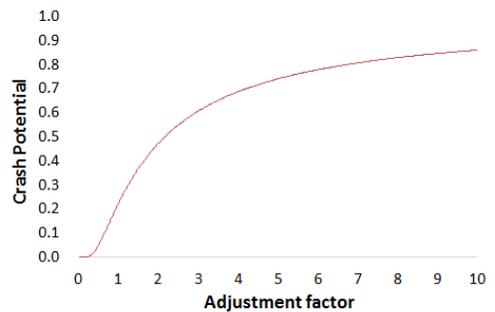
독립변수의 단위가 증가할수록 종속변수의 값은 감소하는 현상을 보이며, 지수함수이므로 0~1사이의 값을 가지게 된다. Exponential Decay Function의 기본식을 사고발생확률로 전환하기 위해  $a=0, b=1$ 로 설정하고,  $y$ 는 사고발생확률,  $x$ 는 사고발생확률에 영향을 미치는 독립변수,  $c$ 는 EDF의 곡률 보정계수로 정의할 수 있다. <그림 2>, <그림 3>과 같이 곡률 보정계수인  $c$ 값이 클수록 높은 사고발생확률이 나타나며, 본 연구에서는 독립변수인  $x$ 를 사고회피 시간으로 설정하였다. 또한 곡률 보정계수인  $c$ 는 과거 사고발생 빈도 추세를 반영하기 위해 과거 수집된 사고자료를 이용하여 설정하였으며, 본 연구에서는 도로유형을 기반으로 EDF의 곡률 보정계수를 설정하였다.

2) EDF 곡률 보정계수

본 연구에서는 Exponential Decay Function 곡선의 곡률을 결정하는 곡률 보정계수인  $c$ 를 도로유형별 사고확률의 변화를 나타내는 값으로 정의하였다. 곡률 보정계수는 그 값이 증가할수록 사고발생확률이 증가하게 되며, <그림 3>에 곡률보정계수 변화에 따른 사고발생확률을 제시하였다. 본 연구에서는 과거 사고자료를 이용하여 과거 사고발생빈도 추세를 반영한 상대적인 사고발생확률을 추정하기 위해 2008~2010년 경기도 사고자료를 이용하여 도



<그림 2> 교통사고 발생확률 예시  
<Fig. 2> Example of exponential decay function



<그림 3> EDF 곡률 보정계수에 따른 사고발생확률  
<Fig. 3> Crash potential by adjustment factor of EDF curve

로유형별, 사고유형별 사고발생 특성을 반영하여 곡률 보정계수를 설정하였다. 본 연구에서는 도로 유형에 따른 곡률 보정계수를 제시하였지만, 곡률 보정계수는 기상상황, 차종 등의 다양한 기준으로 설정이 가능하다. 곡률 보정계수는 사고특성별로 상대적인 사고감소 효과를 평가하기 위한 파라미터로, 본 연구에서는 도로유형을 고속도로, 일반국도 및 지방도, 시군도 3가지로 구분하였다. 곡률 보정계수를 설정하기 위해 <표 1>과 같이 도로유형에 따른 사고빈도, 사고율, 사망사고율, 사고심각도를

<표 1> 곡률 보정계수 설정 방법

<Table 1> Methods for determining adjustment factor of EDF curve

| Method           | Definition                                | Application                                   |
|------------------|---|---|
| Crash frequency  | # of crash per 1km                        | Greater 'c' value for higher crash frequency  |
| Crash rate       | # of crash per 10 <sup>8</sup> vehicle-km | Greater 'c' value for higher crash rate       |
| Fatal Crash rate | # of fatal per 10 <sup>8</sup> vehicle-km | Greater 'c' value for higher fatal crash rate |
| Crash severity   | Crash severity by road type               | Greater 'c' value for greater crash severity  |

적용하는 방법을 제시하였다.

사고빈도는 1km당 사고건수를 나타내며, 사고위험에 대한 노출을 도로연장으로 반영한 방법이다. 세 가지의 도로유형에 대해 1km당 사고건수를 산출하고, 사고빈도가 가장 높은 값을 가지는 도로유형은 동일한 사고회피시간을 적용했을 때 더 높은 사고발생확률을 가지게 된다.

사고율은 자동차 1억대·km당 사고건수를 의미하며 사고율은 식 (2)에 의해 산출된다. 사고율 적용 방법은 주행에 있어 사고위험에 대한 노출에 대해 도로연장과 교통량을 반영한 방법으로, 사고율이 증가할수록 사고발생 확률이 증가하게 된다.

$$Crash\ Rate = \frac{N \times 10^8}{365 \times AADT \times L} \quad \text{식 (2)}$$

*N*: 사고건수, *AAADT*: 교통량(대/일), *L*: 도로연장(km)

사망자율 적용방법은 사고율 적용방법과 유사한 개념으로, 자동차 1억대·km당 사망자수를 의미하며, 사고빈도와 사고심각도의 조건을 동시에 반영하는 방법이다.

마지막으로 사고심각도의 경우 도로유형특성별 제한속도 설정으로 그에 따른 운전자의 주행속도가 달라지며, 이러한 주행속도는 사고발생시 충돌속도로 이어져 사고심각도에 영향을 미치게 된다는 개념을 반영한 방법이다. 따라서 사고심각도를 적용한 방법에 의하면 고속도로와 같이 주행속도가 높아 사고발생 시 심각도가 크게 나타날 수 있는 도로에 대해서 일반국도 또는 시군도보다 큰 값의 곡률 보정계수를 적용하여야 한다.

곡률 보정계수는 분석목적 및 활용이 가능한 자료에 따라서 다양한 방법의 적용이 가능하며, 본 연구에서는 네 가지 방법 중 사고빈도와 사고심각도 방법을 적용하여 사례분석을 수행하였다.

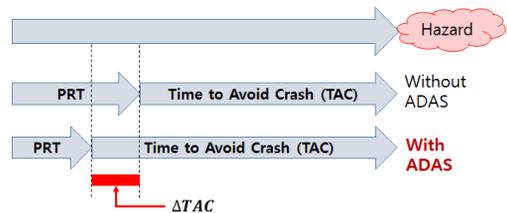
3) 사고회피시간(TAC: Time to Avoid Crash) 정의

사고회피시간(TAC: Time to Avoid Crash)은 전방의 위험상황에 대하여 현 시점에서 운전자가 사고회피를 위해 사용 가능한 시간으로 정의할 수 있다. 경

고정보를 제공하게 되면 운전자가 위험상황에 대한 인지시간이 감소하게 되며, 인지시간이 감소함으로써 운전자가 위험상황에 대해 안전하게 대처할 수 있는 추가적인 시간을 확보할 수 있게 된다. 제어시스템의 경우 경고정보 제공 후 운전자의 반응이 없거나 사고회피를 위한 시간이 충분하지 않은 경우 강제성을 부여하여 더 빠른 감속을 유도하기 때문에 인지시간 뿐만 아니라 반응시간도 함께 감소시켜 경고시스템 보다 추가적인 사고회피시간을 확보할 수 있다. 운전지원시스템에 따른 사고회피시간 변화의 개념을 식 (3)과 <그림 3>에 제시하였다.

$$\begin{aligned} TAC_{ws} &= TAC_{No} + \Delta TAC_{ws} \\ TAC_{cs} &= TAC_{No} + \Delta TAC_{cs} \\ \Delta TAC_{cs} &> \Delta TAC_{ws} \\ \Delta TAC_{cs} &= \Delta TAC_{ws} + X' \end{aligned} \quad \text{식 (3)}$$

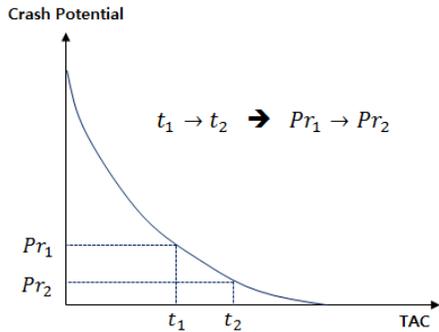
- $TAC_{ws}$ : 경고시스템 적용시 사고회피시간
- $TAC_{cs}$ : 제어시스템 적용시 사고회피시간
- $TAC_{No}$ : 첨단안전자동차 기술 도입 전 사고회피시간
- $X'$ : 제어시스템으로 인해 추가확보된 사고회피시간



<그림 3> 운전지원시스템에 따른 사고회피시간  
<Fig. 3> Time to avoid crash by ADAS

첨단안전자동차 기술 도입으로 인해 사고회피시간을 추가로 확보하게 되면 사고발생확률이 감소하게 된다. <그림 4>에 Exponential Decay Function에서 사고회피시간과 사고발생확률의 관계에 대한 개념도를 제시하였다.

경고시스템 및 제어시스템 적용유무에 따른 추가적인 사고회피시간 확보량을 산출하기 위해서는 시뮬레이션 등의 운전자 행태 변화 및 제어기술에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 방법론 적용을 위해 기존연구를 통해 도출된 연구결과를 이용하여 운전지원시스템 도입으로 인한 추가적인 사고회피시간을 산출하였다.



〈그림 4〉 사고회피시간과 사고발생확률의 관계  
 〈Fig. 4〉 Relationship between TAC and crash potential

### 3. 사고감소효과 추정

앞서 제시한 방법을 이용하여 Location parameter와 사고회피시간을 설정하고, 설정된 값을 Exponential Decay Function에 적용하여 운전자지원시스템 도입 유무에 따른 사고발생확률을 식 (4)와 식 (5)에 의해 추정할 수 있다. 도로유형 및 사고유형에 따라 시스템 도입 유무에 따른 사고발생확률을 산출하여 사고 감소 효과를 추정할 수 있다.

식(4-5)를 통해 산출한 사고발생확률을 이용하여 식 (6)에 대입함으로써 최종적인 운전자지원시스템 도입에 따른 사고유형별 사고감소 효과를 추정할 수 있다.

$$Pr_{w(i,j)} = \exp\left(-\frac{TAC_w}{c_{(i,j)}}\right) \quad \text{식 (4)}$$

$$Pr_{wo(i,j)} = \exp\left(-\frac{TAC_{wo}}{c_{(i,j)}}\right) \quad \text{식 (5)}$$

$$eff_{(i,j)} = 1 - \frac{Pr_{w(i,j)}}{Pr_{wo(i,j)}} \quad \text{식 (6)}$$

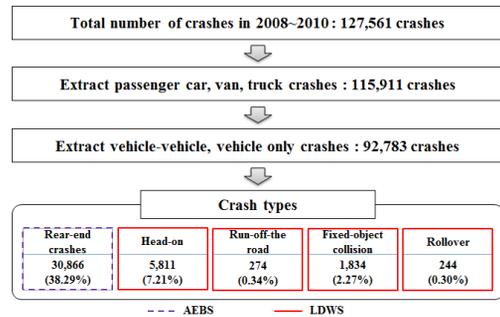
- $eff_{(i,j)}$ : 사고감소효과
- $Pr_{w(i,j)}$ : 시스템 도입시 사고발생확률
- $Pr_{wo(i,j)}$ : 시스템 미도입시 사고발생확률
- $TAC_w$ : 시스템 도입시 TAC
- $TAC_{wo}$ : 시스템 미도입시 TAC
- $c$ : Location parameter
- $i$ : 도로유형
- $j$ : 사고유형

## IV. 방법론 적용 사례분석

### 1. 수혜자그룹 설정

2008~2010년 경기도에서는 총 127,561건의 교통사고가 발생하였다. 그 중 운전자지원시스템을 접목시킬 수 있는 승용차, 승합차, 화물차 관련사고 외의 사고인 11,650건의 사고를 분석대상에서 제외하였으며, 차대차, 차량단독 사고 외의 차대사람 사고 등 23,128건의 사고를 분석대상에서 제외하였다.

본 연구에서는 연구목적과 관련 없는 사고를 제외한 92,783건의 사고 중 차선이탈경고장치와 자동비상제동장치와 관련이 있을 것으로 예상되는 사고유형을 최종 수혜자 그룹으로 설정하여 분석을 수행하였다. 차선이탈경고장치는 운전자가 주행차선을 이탈할 경우 경고정보를 제공하여 차선의 이탈을 방지하는 시스템이므로 정면충돌, 도로외이탈, 공작물추돌, 전도전복 사고를 대상으로 분석을 수행하였으며, 자동비상제동장치는 전방차량에 대한 경고정보제공 및 사고방지를 위한 자동제어 시스템이므로 추돌사고를 분석대상으로 설정하였다.



〈그림 5〉 수혜자그룹 설정  
 〈Fig. 5〉 Define the target population

### 2. 사고발생확률 추정을 위한 파라미터 설정

#### 1) EDF 곡률 보정계수 설정

본 연구에서는 앞서 제시한 네 가지 방법 중 사고빈도와 사고심각도를 적용하여 곡률 보정계수를 설정하는 방법을 적용하였다. 사고빈도를 이용한 방법은 <표 2>와 같이 추돌, 정면충돌, 도로외이탈, 공작

물/추돌, 전도전복 사고에 대해 사고유형별 교통사고 건수를 도로유형별 도로연장으로 나누어 산출한 사고건수/km에 대한 상대적인 비율을 곡률 보정계수로 적용하였다. 고속국도에서 발생한 정면충돌 사고의 경우 전체 정면충돌사고의 약 1%를 차지함으로써, 고속국도에서는 중앙분리대로 인한 정면충돌의 가능성이 낮기 때문에 본 연구에서는 고속국도에 대한 정면충돌사고는 분석에서 제외하였다.

사고빈도를 이용한 곡률 보정계수 산출 결과 전체적으로 일반국도 및 지방도에서 도로연장 1km당 사고가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 Exponential Decay Function을 통해 사고발생확률 추정시 일반국도 및 지방도의 경우 동일한 사고회피 시간을 확보하더라도 고속국도, 지방도에 비해 사고발생확률이 더 높게 나타나게 된다.

두 번째로 사고심각도를 반영한 곡률 보정계수 적용 방법은 고속도로와 같이 주행속도가 높아 사고발생시 심각도가 크게 나타날 수 있는 도로에 대해서 더 큰 값의 곡률 보정계수를 적용하는 방법이다. 도로유형에 따라 제한속도가 다르고, 제한속도는 주행속도에 영향을 미치며, 주행속도는 충돌속도로 이어지기 때문에 고속도로와 같이 주행속도가

〈표 2〉 EDF 곡률 보정계수 설정 (사고빈도)  
 〈Table 2〉 Derivation of adjustment factor of EDF curve (crash frequency)

| Crash type             | Road type | # of crashes | Length (km) | Crash per km | c    |
|------------------------|-----------|--------------|-------------|--------------|------|
| Rear-end               | 1         | 1,942        | 611         | 3.18         | 1.76 |
|                        | 2         | 15,620       | 3,883       | 4.02         | 2.23 |
|                        | 3         | 13,306       | 7,364       | 1.81         | 1.00 |
| Head-on                | 1         | 57           | 611         | 0.09         | -    |
|                        | 2         | 3,015        | 3,883       | 0.78         | 2.09 |
| Run-off-the road       | 3         | 2,739        | 7,364       | 0.37         | 1.00 |
|                        | 1         | 14           | 611         | 0.02         | 1.58 |
|                        | 2         | 153          | 3,883       | 0.04         | 2.71 |
| Fixed-object collision | 3         | 107          | 7,364       | 0.01         | 1.00 |
|                        | 1         | 124          | 611         | 0.20         | 2.25 |
|                        | 2         | 1,045        | 3,883       | 0.27         | 2.98 |
| Rollover               | 3         | 665          | 7,364       | 0.09         | 1.00 |
|                        | 1         | 25           | 611         | 0.04         | 3.28 |
|                        | 2         | 127          | 3,883       | 0.03         | 2.62 |
|                        | 3         | 92           | 7,364       | 0.01         | 1.00 |

\* 1: Expressway, 2: National highway, 3: Arterial

〈표 3〉 이항 로지스틱 회귀분석 결과 예시  
 〈Table 3〉 Example of BLR results

|              | B     | S.E  | Wals  | df | Sig. | Odds |
|--------------|-------|------|-------|----|------|------|
| Time of day  | 0.05  | 0.01 | 19    | 1  | 0.00 | 1.05 |
| Weather      | 0.13  | 0.02 | 71    | 1  | 0.00 | 1.14 |
| Road type    | 0.26  | 0.01 | 865   | 1  | 0.00 | 1.30 |
| Seat belt    | 0.34  | 0.02 | 311   | 1  | 0.00 | 1.40 |
| Vehicle type | -0.12 | 0.01 | 91    | 1  | 0.00 | 0.89 |
| Constants    | -2.00 | 0.02 | 14154 | 1  | 0.00 | 0.14 |

〈표 4〉 EDF 곡률 보정계수 설정 (사고심각도)  
 〈Table 4〉 Derivation of adjustment factor of EDF curve (crash severity)

| Crash type             | Road type | Odds ratio | c    |
|------------------------|-----------|------------|------|
| Rear-end               | 1         | 1.28       | 1.65 |
|                        | 2         |            | 1.28 |
|                        | 3         |            | 1.00 |
| Head-on                | 1         | 1.30       | -    |
|                        | 2         |            | 1.30 |
|                        | 3         |            | 1.00 |
| Run-off-the road       | 1         | 1.30       | 1.68 |
|                        | 2         |            | 1.30 |
|                        | 3         |            | 1.00 |
| Fixed-object collision | 1         | 1.36       | 1.85 |
|                        | 2         |            | 1.36 |
|                        | 3         |            | 1.00 |
| Rollover               | 1         | 1.33       | 1.77 |
|                        | 2         |            | 1.33 |
|                        | 3         |            | 1.00 |

\* 1: Expressway, 2: National highway, 3: Arterial

높아 사고발생시 심각도가 크게 나타날 수 있는 도로에 대해서는 일반국도 또는 시군도보다 큰 값의 곡률보정계수를 적용해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 이항 로지스틱 회귀분석(BLR: Binary Logistic Regression)을 이용하여 2008~2010년 사고자료에 대한 사고심각도 모형을 추정하고 추정된 모형에서 도로유형 변수의 Odds ratio를 이용하여 곡률 보정계수를 설정하였다. <표 3>에 정면충돌사고에 대한 이항 로지스틱 회귀분석 결과 예시를 제시하였으며, 사고심각도를 이용한 곡률 보정계수 산출 결과를 <표 4>에 제시하였다.

## 2) 사고회피시간(TAC) 설정

본 연구에서는 운전지원시스템 도입 유무에 따

<표 5> 경고시스템 유무에 따른 사고회피시간  
 <Table 5> TAC with/without warning system

|                 | Average | Variance |
|-----------------|---------|----------|
| With warning    | 1.68s   | 0.23     |
| Without warning | 1.50s   | 0.25     |

큰 사고발생확률 산출을 위한 독립변수인 사고회피시간을 기존연구 결과를 적용하여 분석을 수행하였다.

경고시스템에 의한 추가적인 사고회피시간( $\Delta TAC_{w,s}$ )은 <표 5>에서 제시하고 있는 기존 연구결과에서 도출된 값을 적용하였다[10].

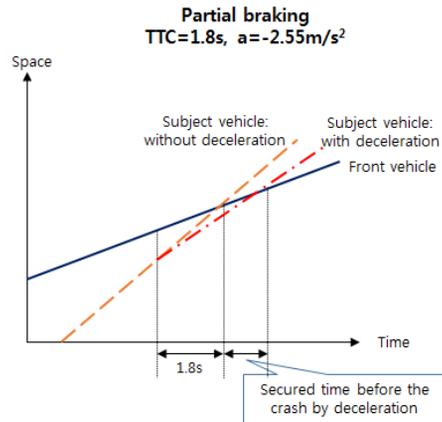
경고시스템에 의한 사고회피시간은 운전자의 반응이 포함되어 있기 때문에 운전자의 행태를 반영할 수 있도록 <표 5>에 제시된 평균과 분산을 이용하여 식 (7)과 같이 사고회피시간의 신뢰구간을 추정하였다. 본 연구에서는 사고회피시간이 정규분포를 따른다고 가정하고, 무작위로 난수를 발생시켜 사고감소 확률의 신뢰구간을 추정하였다.

$$\overline{TAC} - t_{\alpha/2,v} \sigma_{TAC} \leq TAC \leq \overline{TAC} + t_{\alpha/2,v} \sigma_{TAC} \quad \text{식 (7)}$$

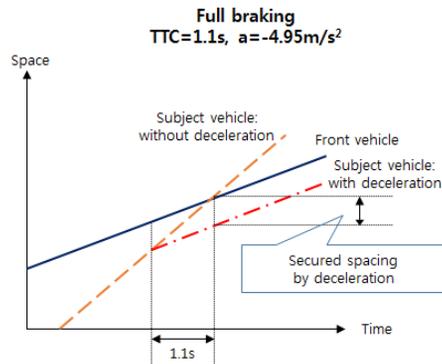
제어시스템인 자동비상제동장치는 1차적으로 경고정보를 제공하고, 경고정보 제공 후 운전자의 반응이 없는 경우 **Partial braking**을 제공하며, 사고발생 위험도가 높아지게 되면 **Full braking**을 제공하는 시스템이다. 본 연구에서는 이러한 자동비상제동장치의 특성을 반영하여 사고회피시간을 추정하는 방법을 세 가지로 제시하였다.

첫째, 기존연구에서 제시하는 감속제어로 인해 운전자가 정지하기 위한 **Braking pedal duration** 감소량을 통해 사고회피시간을 설정할 수 있다. NHTSA(2000)에서 제시한 자동비상제동장치 유무에 따른 시뮬레이션 분석결과, 자동비상제동장치가 존재하는 경우 **Braking pedal duration**이 2.69초로 나타났으며, 존재하지 않는 경우 3.12초로 나타났다. 따라서 제어시스템에 의한 추가적인 사고회피시간은 0.33초(3.12초-2.69초)로 적용할 수 있다[17].

둘째, <그림 6>과 같이 자동비상제동장치의 **Partial braking**으로 인해 확보된 추가적인 사고회피시간을 산출할 수 있다. ADAC(2011)에서 제시한 **Field Test Report**결과를 이용하여 사고회피시간을 산출하였다



<그림 6> Partial braking 제공시 시공도  
 <Fig. 6> Time-space diagram by partial braking



<그림 7> Full braking 제공시 시공도  
 <Fig. 7> Time-space diagram by full braking

[18]. 5종의 차량에 대한 실험결과 전방차량과 TTC(Time to Collision)가 평균 1.8초일 때, 평균  $2.55\text{m/s}^2$ 의 감속을 제공한다고 제시하였다. 이러한 실험결과를 이용하여 산출한 추가적인 사고회피시간은 0.74초로 나타났다.

마지막으로, <그림 7>과 같이 자동비상제동장치의 **Full braking**으로 인해 확보된 공간에 대한 시간을 산출하는 방법이 있다. ADAC(2011)에서 제시한 **Field Test Report**에서 5종의 차량에 대한 실험결과 전방차량과 TTC가 평균 1.1초일 때, 평균  $4.95\text{m/s}^2$ 의 감속을 제공한다고 제시하였다. 이러한 감속으로 인해 확보된 공간에 대한 시간을 산출하여 사고회피시간 추가분으로 활용하였으며, 1.89초의 사고회피시간을 추가적으로 확보하는 것으로 나타났다.



전자동차 기술에 영향을 미칠 것으로 예상되는 사고유형을 수혜자 그룹으로 설정하였다. Exponential Decay Function을 이용하여 사고발생확률을 추정하기 위해 Location parameter는 사고빈도, 사고율, 사망사고율, 사고심각도를 적용하는 방법을 제시하였으며, 경고시스템과 제어시스템에 따른 사고회피시간을 기존연구 결과를 활용하여 설정하였다.

분석결과, 경고시스템인 차선이탈 경고장치는 관련된 사고유형(정면충돌, 도로외이탈, 공작물추돌, 전도전복)중 정면충돌 사고에 가장 큰 감소효과를 보이는 것으로 나타났으며, 관련 사고에 대해 약 10~14%의 사고감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 제어시스템인 자동비상제동장치는 추돌사고에 대하여 47.61~56.82%의 사고감소 효과를 보이는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 추후 첨단안전자동차 기술 개발에 따른 효과분석시 기초자료로 활용이 가능하며, 기술적인 측면의 효과가 아닌, 실제 국내 사고자료 분석 및 적용을 통한 정량적인 사고감소 효과 분석 방법론을 제시함으로써 운전자, 탑승자, 보행자를 위한 자동차 기술의 발전 및 기술도입 타당성을 제시하는 자료로써 활용이 가능할 것이다.

본 연구에서 제시한 방법론 및 결과에 대한 보다 높은 신뢰성을 확보하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다. 첫째, 사고회피시간 산출에 있어 신뢰성을 향상시키기 위해 사고자료, 사회경제지표 자료 등의 추가적인 자료조사 및 분석이 필요하다. 둘째, Exponential Decay Function 적용시 EDF 곡률 보정계수에 대해 도로유형을 적용한 사례 외에 시거에 영향을 미치는 기상상황, 사고발생 차종 및 사고에 영향을 미치는 요인을 종합적으로 고려하는 등의 다양한 요인들을 고려한 곡률 보정계수 산출을 통한 효과분석 결과의 비교가 필요하다. 즉, 곡률 보정계수를 다양하게 적용하여 운전자 지원시스템에 대한 추가적인 민감도 분석을 수행할 필요가 있다. 셋째, 차선이탈경고장치와 자동비상제동장치 외의 타 첨단안전자동차 기술과 관련하여 다양한 기술에 대한 특성을 분류하고 그에 따른 효과를 분석하여 첨단안전자동차 기술에 대한 전반적

인 효과분석이 필요하다.

## 참고문헌

- [1] B. Kim, "Advanced Safety Vehicle", The Korean Society of Automotive Engineers, Transactions of the KSAE of Korean, nol. 26, no. 4, pp.23-25, 2004.
- [2] Y. Sugimoto and C. Sauer, "Effectiveness Estimation Method for Advanced Driver Assistance System and its Application to Collision Mitigation Brake System", Proceedings of 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Washington, Paper No. 05-0148-O, 2005.
- [3] E. Coelingh, L. Jakobsson, H. Lind and M. Lindman, "COLLISION WARNING WITH AUTO BRAKE -A REAL-LIFE SAFETY PERSPECTIVE", The 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper No. 07-0450, 2007.
- [4] C. Oh, B. Kim, Y. Kang and M. Shin, "Assessing Traffic Safety Benefits of Technical Regulation for Pedestrian Leg", The Korean Society of Automotive Engineers, Transactions of the KSAE of Korean, vol. 15, no. 4, pp.1-9, 2007.
- [5] C. M. Farmer, "Crash Avoidance Potential of Five Vehicle Technologies", Insurance Institute for Highway Safety, 2008.
- [6] M. Kuehn, T. Hummel and J. Bende, "Benefit Estimation of Advanced Driver Assistance Systems for Cars Derived from Real-Life Accidents", Proceedings of the 21st (ESV) International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 09-0317, 2009.
- [7] Y. Page, T. Hermitte, C. Chauvel, P. V. Elslande, J. Hill, A. Kirk, H. Hautzinger, S. Shick, W. Hell, K. Alexopolous, M. Pappas, A. Molinero, J.M. Perandones and J.M. Barrios, "Reconsidering

- Accident Causation Analysis and Evaluating the Safety Benefits of Technologies: Final Results of the TRACE Project”, Proceedings of the 21st (ESV) International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 09-0148, 2009.
- [8] B. Ryu, J. Choi and S. Bae, “An Analysis of Economic Evaluation Related to Lane Departure Warning System”, The Korean Institute of Intelligent Transport Systems, The Journal of The Korean Institute of Intelligent Transportation Systems, vol. 8, no. 5, pp.85-97, 2009.
- [9] J. Choi and S. Bae, “Development of Quantitative Analysis Methodology on environmental Effect through adaptation of Advanced Safety Vehicle”, The Korean Institute of Intelligent Transport Systems, The Journal of The Korean Institute of Intelligent Transportation Systems, vol. 9, no. 6, pp.94-104, 2010.
- [10] T. Unselt, C. Mayer, E. Chin, A. Aparicio, O. Muniz, M. Ranovona, J. Tsuchida and B. Winkler, “ASSESSMENT OF BEHAVIORAL ASPECTS IN INTEGRATED SAFETY SYSTEMS (EU FP7 project ASSESS)”, Proceedings of the 22st (ESV) International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 11-0284, 2011.
- [11] H.G. Lee, H.S. Park and S.M. Yoo, “LDWS PERFORMANCE STUDY BASED ON HUMAN FACTORS”, Proceedings of the 22st (ESV) International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper No. 11-0147, 2011.
- [12] M. Enke, “Collision probability related to the shift forward of driver reaction”, National Highway Traffic Safety Administration: 7th International Technical Conference on experimental Safety Vehicles, June 5-8, Washington D.C., pp.789-802, 1979.
- [13] B. Cheng, Q. Lin, T. Song, Y. Cui, L. Wang and S. Kuzumaki, “Analysis of Driver Brake Operation In Near-Crash Situation Using Naturalistic Driving Data”, International Journal of Automotive Engineering 2 (2011), pp.87-94, 2011.
- [14] C. Oh and T. Kim, “Estimation of rear-end crash potential using vehicle trajectory data”, Accident Analysis and Prevention, vol.42, Issue6, pp.1888-1893, 2010.
- [15] W. Hu, X. Xiao, D. Xie and T. Tan, “Traffic accident prediction using 3-D model-based vehicle tracking”, IEEE Transactions on Vehicular Technology 53 (3), pp.677-694, 2004.
- [16] H. Yang and K. Ozbay, “Estimation of Traffic Conflict Risk for Merging Vehicles on Highway Merge Section”, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, no. 2236, pp.58-65, 2011.
- [17] NHTSA Final Report, “NHTSA Light Vehicle Antilock Brake System Research Program Task 5, Part 1: Examination of Drivers’ Collision Avoidance Behavior Using Conventional and Antilock Brake Systems on the Iowa Driving Simulator”, NHTSA, 2000.
- [18] ADAC Test Report, “Comparative test of advanced emergency braking systems”, ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club), 2011.

저자소개



**정 은 비 (Jeong, Eunbi)**

2007년 3월 ~ 2010년 8월 : 한양대학교 교통시스템공학과 공학사  
2010년 8월 ~ 현 재 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석·박사통합과정  
e-mail : jeb0120@hanyang.ac.kr  
연락처 : 010-7392-5141



**오 철 (Oh, Cheol)**

1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사  
1993년 3월 ~ 1997년 8월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사  
1999년 9월 ~ 2003년 12월 : University of California, Irvine, 토목환경공학과  
공학박사(교통시스템전공)  
1998년 9월 ~ 1999년 8월 : 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원  
2004년 1월 ~ 2004년 3월 : Post-Doctorate Researcher, Institute of Transportation Studies,  
University of California, Irvine, CA, USA  
2004년 4월 ~ 2006년 2월 : 한국교통연구원 첨단교통기술연구실 책임연구원  
2006년 3월 ~ 현 재 : 한양대학교 교통시스템공학과 교수