

## 자동순항제어기에 의한 안전도 향상 효과 분석

이태영\* · 이경수\* · 이찬규\*\* · 이재완\*\*\*

### Evaluation of the Safety impact by Adaptive Cruise Control System

Taeyoung Lee\*, Kyongsu Yi\*, Chankyu Lee\*\*, Jaewan Lee\*\*\*

*Key Words* : ACC(자동순항제어기), Safety Impact(안전 효과), Test Scenario(평가시나리오), Field Operation Test Data(실도로 주행 데이터), Near Crash Rate (사고가능확률)

#### ABSTRACT

This paper discusses the evaluation of the safety impact of the Adaptive Cruise Control (ACC) system in Korea. To evaluate the safety impact, this paper suggests an analysis method by using the test scenario and field operational test data. The test scenario is composed to represent the main component factor of the ACC system and ACC related accident situation such as rear-end collision, lane-change, and road-curvature, etc. Also, from the field operation test data, the system's potential to increase the safety can be measured ideally. Besides, field operational testdata was used to revise the expected safety impact value as Korean road conditions. By using the proposed evaluation method, enhanced safety impact of the ACC system can be estimated scientifically.

#### 1. 서론

현대사회의 다양한 기술 발전으로 인하여, 차량이 지니고 있던 이동수단의 개념이 점차 운전자의 편의와 안전을 함께 추구하는 새로운 개념으로 확장되고 있다. 이러한 추세로 인하여 다양한 편의 시스템이 양산 되어 시장에 선보이고 있으며, 그러한 대표적인 시스템 중 하나가 바로 자동순항제어기(ACC: Adaptive Cruise Control)이다.

이러한 다양한 신기술의 시장진입이 진행됨에 따라서, 새로운 시스템에 의한 효과와 그 필요성에 대한 연구 역시 활발히 진행되고 있다. 특히, 해외의 경우 다양한 프로젝트를 통하여 체계적이고 분석적인 연구가

진행되었다. 유럽의 SEISS(Socio-Economic Impact of intelligent Safety Systems)<sup>1)</sup>, 미국의 IVBSS(Integrated Vehicle-Based Safety Systems)<sup>2)</sup> 등의 프로젝트 등의 결과를 통하여 해외에서는 첨단시스템에 의한 안전도 효과 및 사회적 효과에 대한 검토가 체계적으로 이루어졌다. 이에 반하여, 국내의 연구는 기반 데이터 확보의 문제, 비용의 문제 등에 의하여 체계적 접근이 어려워 상당부분을 해외의 연구결과에 의존하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 국내 도로상황에서 예측할 수 있는 ACC시스템의 효과를 평가할 수 있는 방법에 대하여 제안하고자 한다. 또한, 보다 객관적이고 현실적인 예측을 위하여, 평가 시나리오에 대한 성능과 실제 도로에서 수집된 주행데이터를 기반으로 한 효과 예측 방법론을 제시하고자 한다.

\* 서울대학교 기계항공공학부

\*\* 현대자동차

\*\*\* 자동차안전연구원

E-mail : taengy8@snu.ac.kr

## 2. 기존의 안전도 효과 분석

기존에 수행된 안전도 효과에 대한 연구는 주로 유럽과 미국, 일본에서 수행되었다. 특히 유럽에서 진행된 SEiSS와 미국에서 진행된 IVSS는 가장 대표적인 프로젝트라 할 수 있다.

### 2.1 SEiSS(Socio-Economic Impact of intelligent Safety Systems) Project <sup>1)</sup>

SEiSS 프로젝트는 다양한 지능형 안전 시스템에 의한 효과를 분석하기 위하여 European Commission의 주관으로 수행된 프로젝트이다.

해당 프로젝트에서는 양산된 시스템인 ACC, LDW(Lane Departure Warning) 및 eCall(in-vehicle emergency calls)을 대상으로, 시스템에 의한 물리적 효과에 의한 사고 감소 효과를 예측하고, 그에 따른 부상/사망/경상자 수의 감소효과를 예측하였다.

ACC시스템의 경우, 시스템에 의한 물리적 효과를 분석하기 위하여 시스템에 의하여 얻을 수 있는 운전자의 반응성 향상효과와 그에 따른 충돌 가능성의 감소효과를 일괄적으로 유럽의 교통사고 발생 비율에 대입하여 사고 감소 효과를 유추하였다. 그리고, ACC에 의한 충돌속도의 감소량을 가정하여, 그에 따른 경상/중상/사망감소량을 예측하였다.

또한, 그에 따른 경제적 이득과 함께 실제 시장에서의 시스템 장착을 위한 소비비용 및 장착을 등을 함께 고려하여 해당 시스템에 의한 사회/경제적 효과 예측을 통하여 다음의 Table 1과 같이 ACC시스템에 의한 효과를 예측하였다.

Table 1 Safety Impact and Benefit-Cost Assessment of the ACC system by SEiSS project

	Aggregated Safety Impact (EU-25)	
	2010	2020
Accidents	3,849	8,491
Fatalities	213	332
Severe Injuries	1,348	2,667
Slight Injuries	3,346	6,654
	Benefit-Cost Assessment in Mill. € per Year(EU-25)	
	2010	2020
Benefit-Cost Ratio	0.9	1.2

하지만, ACC시스템에 의한 효과는 세부 사고 상황이나 도로상황에 따라 그 정도가 다르게 나타나며, 그에 따라 얻을 수 있는 안전도 향상효과 역시 다르게 나타날 수 있다. 따라서 일괄적으로 예측된 효과는 실제의 다양한 사고 상황에서 발생할 수 있는 변수를 반영하기 어려우며, 보다 정확한 안전도 효과 분석을 위해서는 다양한 사고 상황에 의한 요인을 반영한 효과 예측을 수행할 필요가 있다.

### 2.2 IVBSS(Integrated Vehicle-Based Safety Systems) Project <sup>2)</sup>

IVBSS 프로젝트는 미시간대학교교통연구소(UMTRI)와 미국 도로교통안전국(NHTSA)에서 수행된 프로젝트이다. IVBSS프로젝트에서는 통합 안전 시스템에 의한 안전도 향상효과와 함께 운전자의 주행 성향의 변화를 함께 확인하기 위하여, 경보 시스템을 작동하며 주행하는 기간과 작동하지 않는 기간을 구분하여 데이터를 수집을 수행하였다. 이를 위하여 승용차량과 대형차량에 각각 전방 추돌 경보장치(FCW: Forward Crash Warning), 차선이탈 경보장치(LDW: Lateral Departure Warning)와 차선변경 경보장치(LCW: Lane-Change/Merge Warning) 등을 장착하여 실제 도로상황에서의 주행데이터를 수집하였다.

수집된 데이터에 대하여 주행거리당 경보가 작동된 횟수의 변화를 살펴보고, 운전자의 주행패턴의 변화를 분석하였다. 또한, 사고가능상황(Near Crash Situation)의 기준을 선정하여 주행데이터상의 사고가능상황의 비율의 변화를 분석하였다.

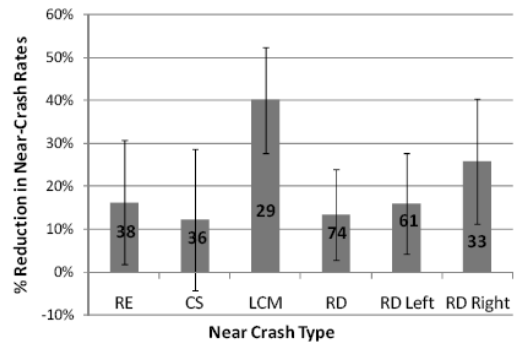


Fig. 1 Reduction of efficiency with the tip clearance and attack angle (Cal. by WFM)

하지만, 실제 주행데이터를 활용한 효과분석은 데이터의 대표성, 복합적 요인의 상관관계 등에 따라서 그 신뢰도가 상당부분 좌우될 수 있는 한계가 존재한다. 일정기간 실험에 의하여 수집된 주행데이터는 실제 주행상황에서 드물게 발생할 수 있는 위험상황을 모두 반영하기 어렵고, 주행상황을 구성하게 되는 변수들이 다양하기 때문에 데이터의 대표성을 확보하기 어렵다. 또한, 다양한 시스템이 함께 작동되는 경우에는 시스템 상호간의 관계에 의한 안전도 향상효과가 존재할 수 있기 때문에, 단일시스템에 의한 안전도 효과를 구분하여 분석하는데 한계가 존재할 수 있다

### 3. 평가시나리오 기반 ACC 안전도 효과 분석

ACC시스템에 의한 객관적 효과를 분석하기 위해서는 이를 확인할 수 있는 객관적 평가 시나리오와 판단 기준이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 ACC시스템의 효과를 객관적으로 평가 할 수 있는 평가 시나리오 구성하고, ACC시스템이 장착된 실제차량의 평가시험을 활용하여 ACC시스템에 의한 안전도 향상효과 분석하고자 한다.

#### 3.1 ACC 시스템의 성능 요소 분석

객관적인 평가시나리오를 구성하기 위해서는 실제 발생할 수 있는 여러 주행상황의 위험요소를 반영함과 동시에 제어성능에 영향을 줄 수 있는 주요 요소를 평가 할 수 있도록 구성하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 ACC 시스템을 구성하는 주요 성능 요소에 대하여, 세부적인 평가 요소를 선정하였다.

Table 2 main component factor of the ACC system

Performance Factors	Assessment Elements
Detection	In-lane Vehicle Detection
	Side-lane Vehicle Detection
	Multi-vehicle Detection
Decision	Following Performance: Curved Road
	Following Performance: Multi-Vehicle
	Following Performance: In-path Vehicle
Control	Control Performance: Deceleration
	Control Performance: Cut-In Vehicle
	Control Performance: Lane Change

#### 3.2 ACC 성능 평가를 위한 평가 시나리오 구성

ACC 성능 평가 시나리오가 주행상황에서 발생할 수 있는 다양한 위험상황을 반영할 수 있도록 하기 위하여 ACC 시스템이 적용될 수 있는 주행상황을 4가지의 상황(곡선주행상황, 전방 끼어들기 차량이 존재하는 경우, 자차량의 차선변경 상황, 직선주행상황)으로 구성할 수 있다.

이렇게 구성된 ACC 주행상황에 대하여, 앞에서 구성한 ACC 시스템의 주요 성능 요소를 반영할 수 있는 평가 시나리오를 구성하면 다음의 Table 3과 같이 정리할 수 있다.<sup>3)</sup> 이렇게 구성된 세부 시나리오에 대하여 고속 상황과 중/저속 상황에 따라, ACC의 설정에 따라 평가 할 수 있도록 세부 주행 환경을 선정하였다.

Table 3 Test Scenario for evaluation of ACC systems

Driving Situation		Scenario	
Curved Road	Entrance	In-path Vehicle	Side-lane Vehicle
	Following	In-path Vehicle	Side-lane Vehicle
Cut In		Straight Road	Curved Road
Lane Change		Subject Vehicle's Lane Change	
Straight Road		Detection Range	Distance Control

또한, 평가 결과를 분석하기 위한 성능 기준은 Table 2에서 구분된 감지, 판단 및 제어성능의 세부 요소로 구성하였다. 예를 들면, 직선로의 전방 끼어들기 차량에 대한 세부시나리오는 전방 끼어들기 차량을 자차선 주행 차량으로 인식하는 소요시간과, 그 시점에서의 자차선과 끼어든 차량의 Offset 거리를 평가 요소로 선정하였다. 또한, 끼어들기가 진행되는 상황에서 종방향 안전도 지수<sup>4)</sup>가 기준을 초과할 경우, 기준 지점에서부터 시스템이 운전자에게 경보를 제공하는데 까지 걸리는 시간 등을 성능평가요소로 정의하였다.

Table 4 Test result of ACC systems

Test Vehicle A				
Driving Situation		Scenario		Sum
Curved Road	Entrance	8.4	10	38.4/40
	Following	10	10	
Cut In		9.5	8.2	17.7/20
Lane Change		-		-
Straight Road		9.4	7.5	16.9/20

본 연구에서는 이렇게 구성된 평가 시나리오에 대하여 실제 ACC 시스템이 장착된 차량에 대한 성능 평가를 수행하였다. 성능 평가 결과를 통하여 실제 ACC 시스템에 의하여 각 세부상황에 대한 시스템의 성능을 확인할 수 있으며, 이를 통하여 각 세부상황에서 ACC 시스템에 의하여 실제로 얻을 수 있는 안전도 효과의 향상 정도를 유추할 수 있다.

#### 4. 주행데이터 기반 ACC 안전도 효과 분석

앞에서 선정된 시나리오에 대한 안전도 효과와 함께, 국내 주행환경에서 얻을 수 있는 ACC 시스템의 이점을 분석하기 위하여 주행데이터 기반의 안전도 효과 분석을 함께 수행할 필요가 있다. 주행데이터 기반의 안전도 향상 효과는 IVBSS 프로젝트에서 수행하였던 주행데이터기반의 분석방식을 도입하였다.

##### 4.1 주행데이터 수집을 위한 차량 구성

주행데이터 수집을 위하여 DAQ장비와 GPS, ACC 시스템 등이 장착된 차량을 구성하였다. 여러 안전시스템을 설치하여 복합적인 안전도 향상 효과를 분석할 수도 있지만, 본 연구에서는 다양한 시스템의 개입으로 인한 상관관계 등을 제거하기 위하여 ACC 단일 시스템이 장착된 차량을 구성하였다.

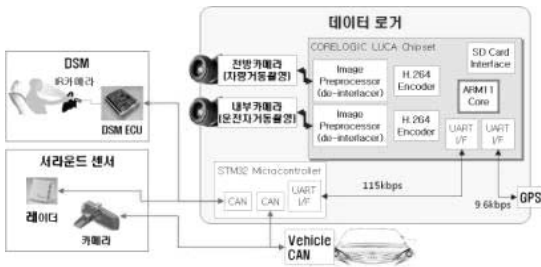


Fig. 2 Test vehicle configuration

구성된 차량을 통하여 운전자의 조작입력(조향, 가속/감속 입력)과 함께 ACC 시스템에 의한 제어 입력 및 선행차량에 대한 정보(상대속도, 차간거리, 등), 차량정보(차속, 중/횡가속도, 요속도, 등)와 GPS신호를 주행영상과 함께 저장한다.

#### 4.2 사고가능상황 분석을 위한 기준 선정

수집된 주행데이터를 통하여 안전도 향상효과는 전체 주행상황에서 사고가능상황의 증감정도의 분석을 통하여 그 효과를 예측할 수 있다. 이를 위하여, 사고가능상황에 대한 공통의 정의가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 운전자의 주행 특성을 기반으로 한 사고가능상황의 기준을 선정하였다.

##### 4.2.1 충돌예상시간(TTC: Time To Collision)

충돌예상시간은 현재의 상대속도와 상대거리가 유지될 때 충돌까지 예상되는 시간을 의미한다. 사고위험이 없는 일반적인 주행상황에서의 충돌예상시간의 분포를 살펴보면 다음의 Fig.3과 같이 충돌예상시간이 2.5초 이상의 분포를 나타냄을 확인할 수 있다. 즉, 충돌예상시간의 기준에서 볼 때, 2.5초 미만의 상황은 사고위험이 없는 일반적인 주행상황보다 상대적으로 위험한 상태를 나타내며, 이를 바탕으로 충돌위험시간에 대한 기준으로 수립하였다.

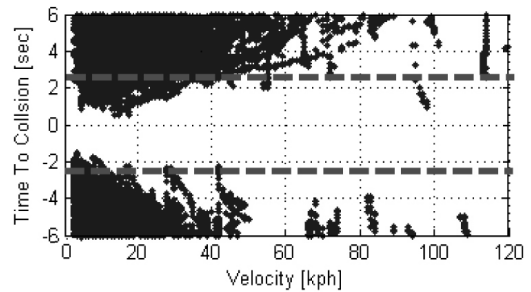


Fig. 3 TTC tendency relative to the velocity

##### 4.2.2 종방향가속도<sup>5)</sup>

운전자의 종방향 가속도 특성을 확인하기 위하여, 다양한 주행상황에서의 주행속도에 따른 종방향 가속도 분포 영역 및 밀도 분석하면, 다음의 Fig. 4와 같은 운전자가 사용하는 종방향 가속도의 허용 범위를 확인할 수 있다. 그 결과를 살펴보면, 주 사용 가속도 영역은 속도에 반비례하는 형태를 지니며, 일반적으로  $\pm 2.0\text{m/s}^2$  이내의 가속도를 주로 사용함을 확인할 수 있다.

따라서, 운전자가 주로 사용하지 않는  $-2.0\text{m/s}^2$ 보다 작은 가속도가 나타나는 구간은 사고위험이 존재하는 구간으로 선정하였다.

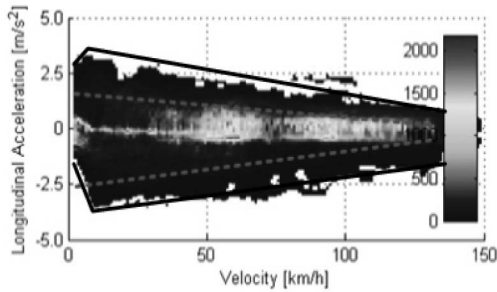


Fig. 4 Longitudinal acceleration tendency relative to the velocity

#### 4.2.3 최소차간거리 <sup>5)</sup>

전방에 차량이 존재하는 경우, 종방향 속도에 따라 운전자가 유지하는 차간거리의 관계는 다음의 Fig. 5와 같은 분포로 나타나며, 식(1)과 같은 일차선형계수로 근사화가 가능하다.

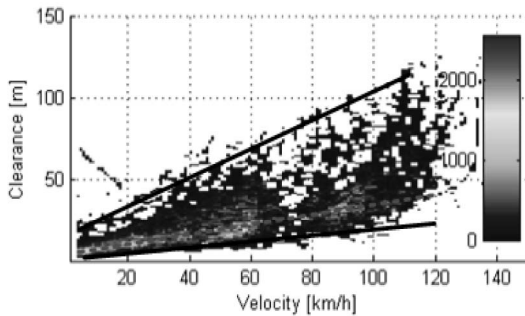


Fig. 5 Clearance-Velocity Relation

$$c = c_0 + \tau \cdot v_p \quad (1)$$

이때,  $c_0$ 는 정지상태에서의 최소차간거리를 의미하며,  $\tau$ 는 시상수(Time-gap)을 의미한다.

이 시상수에 대한 분포를 살펴보면 다음의 Table 5와 같이 나타난다.

이를 기준으로 차량의 주행속도에 따른 전방차량과의 최소안전거리는 다음과 같이 정의할 수 있다.

Table 5 Distribution of linear coefficient in following data

Following-Data ( 15 person, 342min)					
Index-Percentile	5%	25%	Mean	75%	95%
Linear coefficient [s]	0.72	1.07	1.36	1.69	2.27

$$c_{\min} = 0.7 \cdot v_s + 1.0 \quad (2)$$

이러한 경향을 근거로, 본 연구에서는 주행데이터가 최소안전거리보다 가까운 경우를 사고위험이 존재하는 상황으로 정의하였다.

#### 4.2.4 사고가능상황 기준 검증

이렇게 정의된 사고가능상황의 기준을 검증하기 위하여, 도심과 고속도로에서 수집된 다양한 주행데이터를 기반으로 사고가능상황의 발생횟수를 살펴보면 다음의 Table 6과 같은 결과를 얻을 수 있다.

Table 6 Near crash rate in sample data

Test Data Based	
Driving Distance(km)	279.5
Near Crash No.	23
Average	1회/12.2km

IVBSS 프로젝트에서 나타난 종방향 사고가능상황의 평균값이 7마일(11.2km)에 1번의 정도로 비율이므로, 본 연구에서 선정한 사고가능상황의 기준 역시 적절한 범위임을 확인할 수 있다.

### 5. ACC 시스템의 안전도 향상 효과 분석

#### 5.1 사고발생 비율 및 요소 분석

일정 시나리오에 대한 ACC의 효과를 바탕으로 실제 주행상황에서의 효과를 예측하기 위하여, 실제 교통사고 발생비율을 활용하여야 한다. 하지만, 국내의 교통사고 데이터의 경우에는 자세한 사고 상황에 대한 정보가 부족한 현실이다. 따라서, 본 연구에서는 미국교통부에서 조사한 연구를 참고하였다.<sup>6)</sup> 또한, 본 연구에서 참고로 한 미국 교통부의 조사 내용에는 사고상황에서의 도로상황 및 운전자의 반응을 포함하고 있다. 다양한 사고상황 중에서 종방향 교통사고 중에서 종방향 안전시스템이 적용되었을 경우 직접적인 영향이 존재하는 항목은 다음의 Table 7과 같이 구분할 수 있다.

이렇게 구분된 각 상황에서의 운전자 반응과 해당 상황에 해당하는 시나리오에 대한 ACC의 안전도효과를 연결하면, 각각의 세부 사고시나리오에 대한 ACC의 안전도 향상 효과를 예측할 수 있다.

Table 7 Traffic Accidents Scenario by NHTSA research

Pre-Crash Scenario	%
Following Vehicle Approaching a Lead Vehicle	27.46
Vehicle Taking Evasive Action Without Prior Vehicle Maneuver	0.95
Vehicle(s) Changing Lanes - Vehicles Traveling in Same Direction	5.69
Following Vehicle Making a Maneuver and Approaching Lead Vehicle	1.44
Sub-total	35.54

5.2 주행데이터분석을 기반으로 한 안전도 효과 분석<sup>2)</sup>

수집한 주행데이터를 기반으로 한 안전도 향상효과는 실제 국내 도로환경에서의 안전도 효과를 예측하는데 활용할 수 있는 가장 중요한 요소이다.

우선, ACC가 작동되는 상황과 그렇지 않은 상황 각각에 대하여 사고가능확률의 변화가 변화하는 정도를 통하여 다음의 식(3)과 같이 ACC시스템에 의한 실제로 안전성 향상 효과를 분석할 수 있다.

$$E(S_i) = 1 - \frac{PNC_w(S_i)}{PNC_{wo}(S_i)} \quad (3)$$

where,  $PNC_w(S_i)$  = Near crash rate with System  
 $PNC_{wo}(S_i)$  = Near crash rate without System

또한, 수집된 데이터를 기반으로 미국 교통부에서 조사하였던 사고상황의 비율을 국내 도로환경을 반영한 비율로 보정하면, 국내 도로에서 발생하는 다양한 사고상황을 반영한 현실적인 ACC의 안전도 향상 효과를 예측할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 기존에 해외에서 진행되었던 안전도 효과분석의 장단점을 분석하여, 국내환경에서 얻을 수 있는 ACC시스템의 안전도 향상효과를 분석하기 위하여 다음과 같은 안전도 효과 분석방법제안 하였다.

- 1) 다양한 사고 가능 상황에서의 객관적으로 검증된 ACC시스템의 안전도 효과를 분석하기 위하여, 실제 ACC 시스템의 주요 성능요소와 사고 발생 상황을 고려한 평가 시나리오를 구성하였다.
- 2) 구성된 평가시나리오에 대한 평가 결과와 실제

교통사고 상황을 고려하여, 실제 발생할 수 있는 다양한 사고상황에서 얻을 수 있는 ACC시스템의 효과를 예측한다.

- 3) 실제 국내 도로상에서 얻을 수 있는 ACC효과를 분석하기 위하여, ACC 시스템이 장착된 차량을 구성하여 다양한 주행상황에서의 주행데이터를 수집한다. 수집된 데이터를 기반으로 종합적인 주행상황에서의 안전도 향상 효과를 분석함으로써 국내의 도로상황을 반영한 ACC안전도 향상 효과를 예측할 수 있도록 한다.

물론, 본 연구에서 제안한 안전도 효과 분석방식이 현재의 단계에서는 수집된 데이터 및 평가 결과가 미비하여 실질적인 분석의 결과를 얻기는 어려운 단계이다. 하지만, 지속적인 데이터 수집 및 평가결과를 통한 데이터베이스를 수립한다면, 본 연구에서 제안하는 안전도 효과 분석의 결과를 통하여 실제 국내 도로상황에서 얻을 수 있는 ACC의 안전도 향상효과를 확인할 수 있을 것이라고 생각한다.

후 기

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 연구비지원(11PTSI-C054118-03), the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government (MEST) (KRF-2009-200-D00003), National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (2011-0001277)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

- (1) S Krueger, J Abele, C Kerlen, H Baum, 2005, "Exploratory Study on the potential socio-economic impact of the introduction of Intelligent Safety Systems in Road Vehicles", SEiSS FINAL REPORT, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
- (2) EE Nodine, AH Lam, WG Najm, 2011, "Safety Impact of an Integrated Crash Warning System Based on Field Test Data", 22nd ESV
- (3) 이동우, 이태영, 이경수, 2011, "자동차순항제어 시스템 안전성 평가기준 도출 및 실차실험을 통한 안전도 평가", 2011 대한기계학회 추계학술대회, vol 11, pp. 955~960.
- (4) Wanki Cho, Seungwuk Moon, Sihyoung Lee, and

- Kyongsu Yi, 2010, "Intelligent Vehicle Safety Control Based on Index plane", AVEC 2010
- (5) Taeyoung Lee, Kyongsu Yi and Changhyun Jeong, 2011, "Integrated Stochastic Driver Model for Evaluation of the Vehicle Active Safety Systems", FAST-zero'11 (Future Active Safety Technology)
- (6) Najm, Wassim G, Smith, John D, Yanagisawa, Mikio. "Pre-Crash Scenario Typology for Crash Avoidance Research", NHTSA, Springfield, Virginia 22161