

## 감응순항제어장치(ACC)의 안전성 평가

용 부 중<sup>\*1)</sup> · 심 소 정<sup>2)</sup> · 윤 경 한<sup>2)</sup>

경일대학교 기계자동차학부<sup>1)</sup> · 교통안전공단 자동차성능연구소<sup>2)</sup>

### Safety Evaluation of the Adaptive Cruise Control System

Boojoong Yong<sup>\*1)</sup> · So-Jung Shim<sup>2)</sup> · Kyong-Han Yoon<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>School of Mechanical & Automotive Engineering, Kyungil University, Gyeongsbuk 712-701, Korea

<sup>2)</sup>Korea Automobile Testing & Research Institute Safety Lab., 625 Samjon-ri, Songsan-myeon, Hwasung-si, Gyeonggi 445-871, Korea

(Received 30 August 2006 / Accepted 13 October 2006)

**Abstract** : The Advanced Safety Vehicle (ASV) allows drivers not only convenience and safety, but also many useful services provided by the Telematics technology. Since ASV is expected to be widely used in the near future, it is necessary to ensure the safety of ASV systems. Among several aspects of ASV, this paper investigates the safety of the Adaptive Cruise Control (ACC) system. Field tests are carried out under the domestic roadway and traffic conditions, according to International Standard Organization (ISO) requirements for ACC. The test data are analyzed whether the requirements are adequate for domestic circumstances, and the suggestions for findings are given.

**Key words** : ASV(첨단안전차량), Telematics(텔레매틱스), ACC(감응순항제어장치), RC car(무인주행차량), Time Gap(차간거리)

### 1. 서 론

자동차기술, 전자 및 정보통신기술 등의 급속한 발달에 따라 오늘날의 자동차는 운전자들에게 더욱 향상된 안전성과 편의성을 제공하게 되었다. 특히 자동차 제작사를 비롯한 통신 사업자들의 최근 관심사인 텔레매틱스(Telematics) 분야는 자동차 운전자에게 각종 정보와 편의성을 제공하는 주요 수단으로 급속한 성장이 예상되고 있다. 그러나 발달된 정보통신 기술을 기반으로 제공되는 정보가 아무리 풍부해도 운전자가 운전 중에 이를 안전하게 활용하지 못한다면, 그 유용성 및 실효성은 없을 것이다. 안전 운행과 편리한 정보 활용이 병행되기 위해서는 운전자가 느끼는 운전부하가 최소화되어야 하

며, 이를 위해서는 자동차의 첨단화가 필수적이다.

자동차 첨단화를 위한 주요 시스템에는 감응순항 제어장치(Adaptive Cruise Control System), 전방차량 충돌경고장치(Forward Vehicle Collision Warning System) 등이 대표적이며, 현재 국제표준화회의(ISO)에서 이에 대한 기술 및 쟁점 사항들이 논의되고 있다.<sup>1-3)</sup> 또한 세계 주요 자동차 회사는 이러한 장치를 조속히 개발하여 실차에 적용하고자 노력하고 있다. 첨단자동차는 운전자에게 편의성과 안전성을 제공할 뿐만 아니라 운전 중 다양한 서비스 활용의 기회를 줄 수 있으나, 주행 중에 시스템 활용으로 인한 사고 위험 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 첨단자동차가 일상화되기 전에, 첨단자동차를 이루는 각 시스템에 대한 안전성이 충분히 검토 및 확보되어야 할 것이다.<sup>4)</sup>

\*Corresponding author, E-mail: yongb@asme.org

이 연구는 텔레매틱스 기술의 발전에 따라 수요의 증가가 예상되는 첨단안전자동차의 여러 기능 중 감응순항제어장치(ACC)의 안전성 확보를 위해 ISO의 ACC 기능 요건을 검토하였다.<sup>5,6)</sup> 이를 위해 몇 가지 위험 상황을 인위적으로 구성하여 실차 시험을 실시한 후, ACC의 안전성과 직결되는 여러 파라미터를 분석하였다. 이 결과를 바탕으로 ISO의 기준이 국내의 교통 환경 및 여건과 부합될 수 있도록 ACC의 주요 기능 요건들에 대한 개선 방안을 제시하였다.

## 2. ACC 시스템의 개요

ACC는 전방차량과의 거리, ACC 차량의 거동, 운전자 명령 등의 정보를 바탕으로 엔진, 동력전달계 및 브레이크를 제어하여 전방차량과 적당한 거리를 유지하며 전방차량을 추종하는 기능을 수행하는 시스템이다. ACC 시스템은 최소한 추종제어전략(Following Control Strategy)과 상태전환전략(State Transition Strategy)을 동시에 제공해야 한다. 이 절에서는 ISO가 제시하는 ACC 시스템의 기능과 작동 요건을 살펴본다.<sup>3)</sup>

추종제어전략은 ACC 시스템의 가장 기본적인 기능으로서, ACC가 작동되면 전방차량과의 Time Gap을 유지하거나 설정속도를 유지하기 위해 차량의 속도가 자동으로 제어되어야 한다. 또한 제어모드(Time Gap 제어 및 설정속도 제어) 사이의 변경은 ACC 시스템에 의해 자동으로 이뤄져야 한다. ACC 차량의 속도가 최소작동속도보다 낮은 경우에는 “ACC-stand-by”에서 “ACC-active”로 상태전환이 일어나지 않아야 하며, 만일 ACC 시스템이 작동 중인 상태에서 차량의 속도가 최소작동속도 이하로 떨어질 경우, ACC에 의한 자동 가속이 금지되어야 한다. 아울러 전방 차량이 2대 이상 존재할 때, ACC 시스템은 1대의 차량을 자동으로 선택하여 추종하여야 한다.

ISO가 제시한 ACC 시스템의 작동 요건을 보면, 자동가속은 최소작동속도( $V_{low}$ ) 5m/s의 차량속도를 필요로 하며,  $V_{low}$  이하에서 ACC시스템이 자동으로 해제되는 경우 급격한 제동력 감소가 없어야 한다. 최소설정속도( $V_{set-min}$ )는  $V_{set-min} \geq 7m/s$  또는  $V_{set-min} \geq$

$V_{low}$ 이다. ACC 시스템 자동제동의 평균 감속도는 평균 2초 동안  $3m/s^2$ 을 초과하지 않아야 하고, 자동감속의 평균변화율은 평균 1초 동안  $2.5m/s^3$ 을 초과하지 않아야 한다.

## 3. ACC 시스템 시험 및 결과 분석

### 3.1 시험 차량 구성

이 연구는 현재 ACC 시스템이 장착, 판매되고 있는 일부 차종 중, ISO가 제시하는 ACC의 기능 요건을 충실히 만족시킨다고 판단된 Benz S280 모델을 시험 대상 차량으로 선정하였다. 따라서 Benz S280의 ACC 시스템을 활용한 시험 데이터가 ACC 시스템을 대표하는 데이터로 가정하여 연구를 수행하였으며, 이 시스템의 작동가능속도범위는 30~180km/h이다( $V_{low}=30km/h$ ,  $V_{max}=180km/h$ ). Time Gap은 1.0~2.0sec. 범위 내에서 다이얼 방식으로 운전자가 자유롭게 설정할 수 있도록 하였고, ACC 시스템 기능 구축에 사용된 센서는 FM 도플러 레이더 방식을 채택하였다.

한편 시험 대상차량의 전방차량으로 RC Car (Remote-Controlled Car)를 구성하였다. RC Car는 운전자가 주행하고자 하는 속도프로파일 데이터를 입력하면 이 데이터에 따라 일정한 시점에서 일정한 감가속도로 가속 및 제동장치를 자동으로 제어하며 주행하는 차량이다. RC Car로 시험할 경우 하나의 시나리오를 동일한 조건에서 여러 차례 반복 수행할 수 있으므로, 균일한 시험 데이터를 얻을 수 있게 된다. 아래의 Fig. 1은 시험에 사용된 차량의 구성도로서, 차량 간 송·수신되는 데이터 항목들을 개괄적으로 나타낸 것이다.



Fig. 1 RC Car의 주행모드를 이용한 ACC 추종능력 평가 시험 개요도

### 3.2 시험 방법

시험 방법은 우리나라 교통 여건에서 빈번히 발

생할 수 있는 감가속 상황을 인위적으로 구성하여 ACC의 전방차량(RC Car)이 이러한 상황을 연출하도록 하였다.<sup>8)</sup> ACC 차량은 Time Gap을 각각 다르게 설정하며 전방차량을 추종함으로써, ACC의 추종능력이 평가될 수 있도록 구성되었다. 따라서 ACC의 설정 Time Gap과 전방차량의 주행속도 및 감속수준이 시험 방법에서 명확히 제시되어야 한다. 시험 과정에서 전방차량의 주행속도는 서해안고속도로를 기준으로, 최고 주행속도를 최고제한속도(110km/h)보다 +10km/h인 120km/h로, 최저 주행속도는 최저제한속도인 60km/h로 구성하였다. 전방차량 감속도는 올림픽대로 성수대교 남단과 서해안고속도로 비봉IC 부근에서 실제로 실시한 감속도 조사 데이터에 근거하여 구성하였다. 조사 결과 실제 도로상에서 발생하는 감속도 평균은  $2.98\text{m/s}^2$ 인 것으로 나타났으나, 이 연구의 시험에는 조사 결과보다 가혹한  $3.27\text{m/s}^2(1/3g)$ 를 적용하여, 자동차성능연구소 주행시험장의 고속주회로 도로제원을 기초로 Table 1 및 Fig. 2와 같이 구체화하였다.<sup>8)</sup>

Table 1 추종능력 평가를 위한 주행속도 시나리오

	초기 속도	곡선부 진입	직선부	곡선부 진입	직선부
속도	100km/h	80km/h	120km/h	60km/h	100km/h
감속도	-	$3.27\text{m/s}^2$	최대 가속	$3.27\text{m/s}^2$	최대 가속
감속 시간	-	1.7초	-	5.0초	-
시험 횟수	30회				

Table 1과 Fig. 2에 의한 주행속도 시나리오를 정리하면 다음과 같다. 직선부에서는 100km/h와 120km/h로 정속주행한다. 100km/h 주행 직선부 끝단에서 곡선부로 진입할 때는 감속도  $3.27\text{m/s}^2$ 로 1.7초 동안 80km/h까지 감속하여 곡선부에서 정속주행한다. 이후 곡선부 끝단에서 120km/h까지 최대 가속하여 직선부를 정속주행한다. 다시 직선부 끝단에서 곡선부로 진입하기 전까지 감속도  $3.27\text{m/s}^2$ 로 5.0초 동안 60km/h까지 감속하여 곡선부를 정속주행하여 고속주회로를 한 바퀴 주행함으로써 시험을 종료한다.

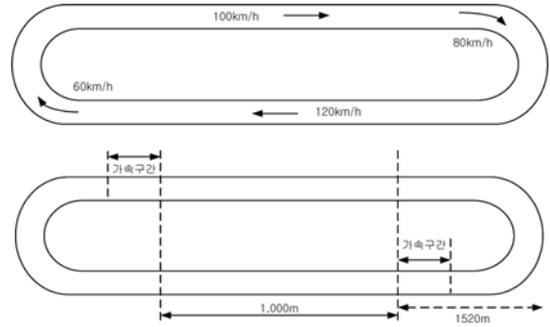


Fig. 2 시험로 상의 주행속도 시나리오

여기서의 설정 Time Gap 또한, 올림픽대로 성수대교 남단과 서해안고속도로 비봉IC 부근에서 실제로 실시한 차간시간 조사 데이터에 근거하여 구성하였다. 이 조사 데이터에 의하면 조사대상 도로의 침두 및 비침두시 차간시간이 1.0초~1.75초 사이에 분포하는 것으로 파악되어, 이를 평가시험 시나리오에 반영하였다. 즉 위 주행속도 시나리오에 따라 전방차량이 주행할 때, ACC 차량의 Time Gap을 이 조사 데이터 사이 존재 값인 1.0초, 1.2초, 1.4초, 1.5초로 각각 설정하였다. 이러한 조건에서 ACC의 전방차량 추종능력을 평가하는 시험이 수행되었으며, 데이터의 통계적 정규성 확보를 위해 각 시험 시나리오에 따라 Time Gap 별로 동일한 시험이 30회 이상 반복되었다.

### 3.3 데이터 수집 및 분석

ACC의 추종능력 평가시험을 통해 얻고자 하는 ACC 시스템의 중요 파라미터는 ACC의 안전성과 직결된다고 판단된 ACC의 자동감속 반응지연시간과 감가속 능력 등이다. 이들 파라미터값을 얻기 위해 1차적으로 시험을 통해 수집되어야 할 데이터는 RC Car와 ACC 차량의 감가속도와 감가속 시점 등이며, 이를 기초로 ACC 자동감속 반응지연시간, 감가속 수준 등의 데이터를 구하였다. 추종능력 평가 시험에서의 수집 및 가공 데이터는 Table 2와 같다. Table 2의 가공 데이터 항목 중 ACC의 자동감속 제어 반응지연시간은 Fig. 3과 같이 전방차량의 제동시점과 ACC 차량의 자동제동시점의 차이로 구하였다.

ACC 차량의 자동제동시점은 ACC 차량의 제동

Table 2 추종능력평가시험 수집 및 가공 데이터

수집 데이터	가공 데이터
- RC Car, ACC 차량의 속도 [km/h]	- RC Car, ACC 차량간의 상대거리[m]
- RC Car, ACC 차량의 속도 [m/s <sup>2</sup> ]	- 실제 Time Gap[sec]
- RC Car, ACC 차량의 주행 누적거리[m]	- ACC의 평균가속도[m/s <sup>2</sup> ]
- ACC의 제동등 신호	- ACC의 자동감속 제어 반응 지연시간[sec]
- ACC의 운전자 개입 제동신호	

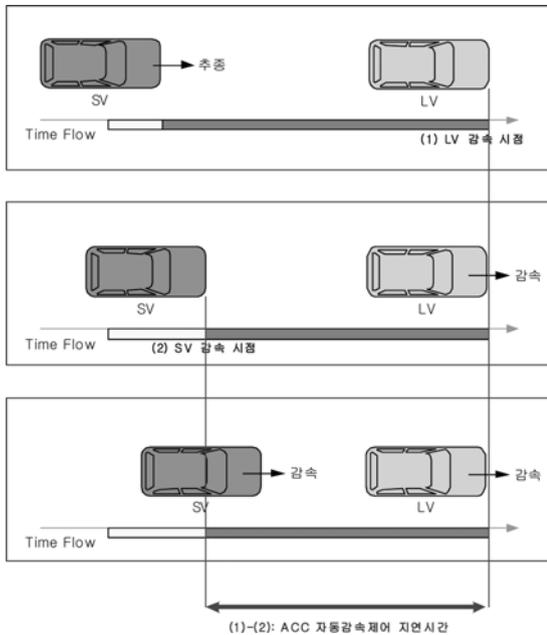


Fig. 3 ACC 자동감속제어 반응지연시간 산출

등 전원에서 신호를 받아 처리하였다. ACC의 자동제동과 별개로 운전자가 개입하여 제동장치를 작동시키는 경우에 대비해서는 운전자 제동이 ACC의 자동제동과 구별될 수 있도록 별도의 ON/OFF 스위치를 장착하였다. 이렇게 함으로써, 제동 관련 데이터가 운전자 제동과 ACC 자동제동으로 확실히 구분될 수 있도록 하였다.

### 3.4 시험 결과 분석

실제 시험의 모든 설정 Time Gap에 대해 100km/h

Table 3 Time Gap별 유효한 시험 데이터 수

Time Gap	시험 데이터 수
1.0 초	30 개
1.2 초	32 개
1.4 초	32 개
1.5 초	33 개

에서 80km/h로 감속하는 경우의 ACC는 전방차량을 적절히 추종하여 감속하는 양상을 보였다. 그러나 120km/h에서 60km/h로 감속하는 경우에는 운전자가 충돌의 위험을 느끼고 ACC의 자동제동에 개입함으로써, 즉 운전자가 직접 제동하여 충돌을 피하고자 하였다. 이러한 현상을 볼 때 우리나라의 교통 여건에서 ACC만에 의한 주행은 안전상 문제를 야기할 수 있다는 결론에 도달할 수 있다.

Table 3에서와 같이 설정 Time Gap별로 수집된 데이터를 분석하여 평균가속도, 평균감속도, ACC의 자동감속제어 반응지연시간 데이터를 구해 이 중 Time Gap 1.0초와 Time Gap 1.4초의 데이터를 plotting 한 결과는 다음 Figs. 4~9와 같다. 이들 분석 데이터 중에서 평균감속도는 ACC가 자동제동하여 감속한 구간에 대해서만 분석한 결과값이다.

분석한 데이터를 살펴보면 ACC의 자동가속도 값은 대부분 1.5~2.0m/s<sup>2</sup> 범위에 존재하며, ACC 자동제동 최대감속도 값은 1.8~2.2m/s<sup>2</sup>의 범위 내에 분포하는 것으로 나타났다. 그리고 ACC의 자동감속제어 반응지연시간은 1.6~1.8초 사이에 분포하며, 그 평균값은 약 1.7초 정도인 것으로 확인되었다.

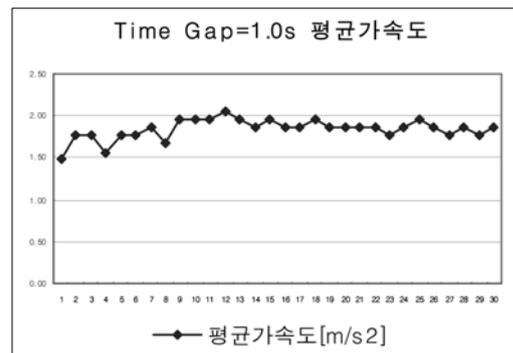


Fig. 4 설정 Time Gap(1.0초)에 대한 ACC 평균가속도

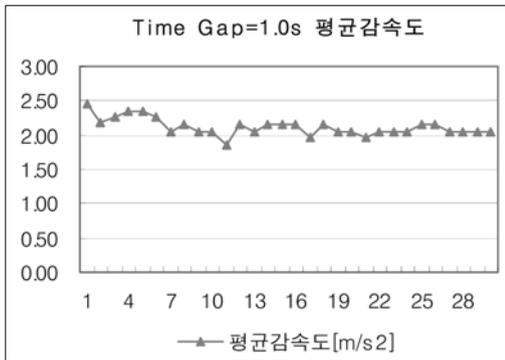


Fig. 5 설정 Time Gap(1.0초)에 대한 ACC 평균감속도

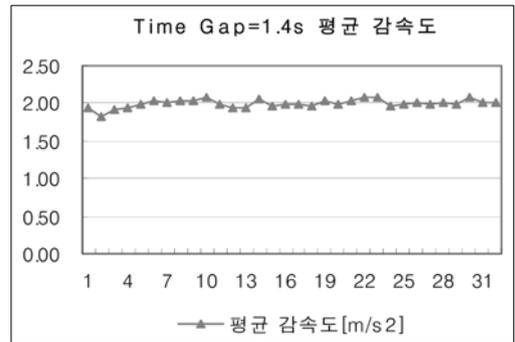


Fig. 8 설정 Time Gap(1.4초)에 대한 ACC 평균감속도

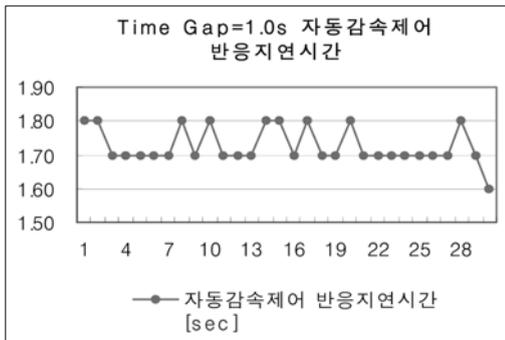


Fig. 6 설정 Time Gap(1.0초)에 대한 ACC의 자동감속 제어 반응지연시간

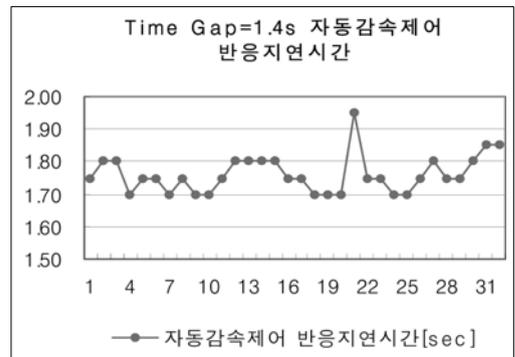


Fig. 9 설정 Time Gap(1.4초)에 대한 ACC의 자동감속 제어 반응지연시간

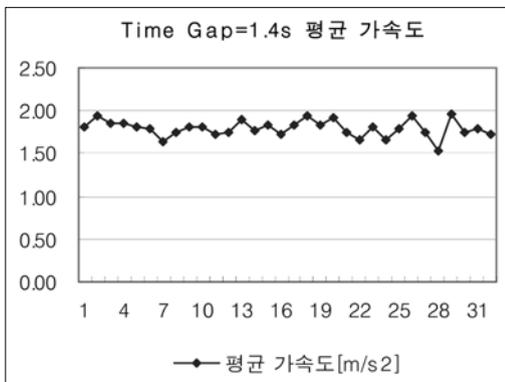


Fig. 7 설정 Time Gap(1.4초)에 대한 ACC 평균가속도

Table 4 ACC 설정 Time Gap별 주요 파라미터 분석결과

Time Gap 항목	1.0초	1.2초	1.4초	1.5초	전체 평균
평균 가속도 (m/s <sup>2</sup> )	1.84	1.86	1.79	1.78	1.82
평균 감속도 (m/s <sup>2</sup> )	2.12	1.76	1.79	2.02	1.92
자동감속제어 반응지연시간(sec)	1.68	1.73	1.61	1.68	1.68

다음의 Table 4는 설정 Time Gap 별 주요 파라미터를 분석한 결과이다.

Table 4에 의하면, 현재 ISO 기준을 만족하는 ACC시스템으로는 우리나라에서 빈번히 발생하는 급감속 상황에서 ACC가 전방차량에 적절히 반응

· 추종하기에는 역부족인 것으로 판단된다. 따라서 ACC의 추종능력 기능향상을 위해, 위 분석 결과 중 “ACC 자동감속제어 반응지연시간-ACC 감속수준”의 두 파라미터값을 연계한 새로운 추종능력 요구조건을 ISO의 ACC 기능요건으로 제시해 줘야 할 필요가 있을 것으로 판단된다. 두 파라미터값을 연계한 ACC의 자동제동 감속도 기준을 구하기 위해서는 더욱 다양한 경우의 시험수행과 데이터 분석이 필요하다.

#### 4. 결론

이 연구는 ACC가 우리나라 교통여건에서 빈번히 경험할 수 있는 감가속 상황에 대해 적절히 반응하면서 전방차량을 잘 추종하는가를 실차 시험을 통해 살펴보고, 이를 통해 얻은 데이터를 분석하여 ACC의 안전성과 직결되는 파라미터값을 구해 분석하는 과정으로 수행되었다.

안전성 시험 평가의 결과를 종합하면: 1) Benz S280에 장착된 ACC 시스템의 자동제동 최대 감속도는 평균  $1.92\text{m/s}^2$ 인 것으로 분석되었고, 2) 이 시스템의 자동감속제어 반응지연시간이 1.68초인 것으로 분석되었으며, 3)  $3.27\text{m/s}^2$  ( $1/3g$ )로  $100\text{km/h}$ 에서  $80\text{km/h}$ 로 1.7초 동안 감속하는 경우, ACC는 전방차량을 적절히 추종하였으나, 4)  $3.27\text{m/s}^2$ 로  $120\text{km/h}$ 에서  $60\text{km/h}$ 로 5.0초 동안 감속하는 경우, ACC의 추종능력만으로는 안전한 제동이 미흡하였다.

이러한 결과를 볼 때 ACC 차량이 국내 도로 및 교통여건에서 발생할 수 있는 감가속 상황에 적절히 반응하여 전방차량을 추종할 수 있도록 하기 위해서는 ACC의 감속수준과 자동감속제어 반응지연시간을 연계한 새로운 ACC의 성능요건(예를 들면, “ACC의 자동감속제어 반응지연시간이 1.5초 이상이면 ACC의 최대 감속도는  $3\text{m/s}^2$ 이어야 한다” 등) 이 추가 제시되어야 할 것이다. 또한 시스템 성능이나 센서의 성능한계로 인한 ACC 자동감속제어 반응지연시간이 고려된 ACC 자동제동 감속도 수준을 요건으로 제시하고, 이를 향후 ACC 성능 향상 및 발전에 반영하게 된다면, 우리나라 교통여건을 감안한 도로주행에서 일정 수준의 안전성이 보장될 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 이 연구에서는 안전성 향상을 위해 추가되어 한다고 판단되는 새로운 성능요건 항목만을 제안하고, 시험 및 데이터 분석을 통한 구체적인 기준 값은 향후 이 연구를 더욱 발전시켜 제시할 수 있도록 해야 할 것이다.

#### 후 기

본 연구는 건설교통부의 “건설교통부 ITS 연구개발사업”의 일환으로 수행된 “첨단안전차량(ASV)에 대한 성능시험사이트 구축 및 평가기술 개발”과제의 일부임.

#### References

- 1) Road Vehicle - Adaptive Cruise Control Systems - Performance Requirements and Test Procedures, ISO/TC204/WG14N 143.17, 1999.
- 2) Transport Information and Control Systems - Adaptive Cruise Control Systems - Performance Requirement and Test Procedures, ISO 15662, 2002.
- 3) International Standard, Adaptive Cruise Control Systems, ISO 15622, 2002.
- 4) Ford Motor Company, Driver Preferences and Usability of Adjustable Distance Controls for An Adaptive Cruise Control (ACC) System, 1996.
- 5) US DOT, Evaluation of the Intelligent Cruise Control System Volume I - Study Results, NHTSA, DOT HS 808 969, 1999.
- 6) US DOT, Intelligent Cruise Control Field Operational Test, Final Report, DOT HS 808 849, 1998.
- 7) Y.-J. Moon and Y. Park, “Development of Evaluation Programs for Adaptive Cruise Control System,” Transactions of the Korean Institute of Intelligent Transportation System, Vol.1, No.1, pp.70-78, 2002.
- 8) Development of Performance Test Site and Technical Evaluation System for Advanced Safety Vehicle (II), Annual Report, KOTI, KATRI, Hyundai Motor Co., 2004.