

자동비상제동 시스템의 안전성능평가

김태우* · 이경수* · 최인성** · 민경찬**

Performance Evaluation Procedure for Advanced Emergency Braking System

Taewoo Kim*, Kyongsu Yi *, In Seong Choi**, Kyong Chan Min**

Key Words : Advanced emergency braking system(자동비상제동 시스템), Longitudinal safety control(차량 종방향 안전제어), collision avoidance(충돌 회피), Safety evaluation process(성능평가방법)

ABSTRACT

This paper presents a performance evaluation procedure for advanced emergency braking (AEB) system. To guarantee the performance of AEB system, AEB test scenario should contains various driving conditions which can be occurred in real driving condition. Also, performances of each elements of AEB system, such as sensor, decision, human machine interface (HMI) and control, should be evaluated in various situations. For this, driving conditions, road types, environment, and elements of AEB system were introduced. Test scenario has been designed to represent the real driving condition and to evaluate the safety performance of AEB system in various situations. To confirm that the proposed AEB test scenario is realistic and physically meaningful, vehicle test have been conducted in two cases of proposed AEB test scenario: subject vehicle cut-out scenario and narrow street turn left scenario.

1. 서론

자동차가 대중화된 이래로 차량의 안전시스템에 대한 관심과 필요성 역시 나날이 커지고 있다. 그 예로, 안전벨트, 에어백과 같은 수동안전기술은 현재 수많은 차량에 장착되어 사고시의 상해를 줄이는 역할을 수행하고 있으며, 최근에는 사고가 발생하기 전에 이를 예방하는 능동안전시스템에 대한 관심 역시 점차 증가하고 있다. 이러한 능동안전시스템에는 전방충돌 경보시스템(Forward Collision Warning, FCW), 자동 비상제동 시스템(Autonomous Emergency Braking, AEB) 등이 있으며, 자동비상제동장치의 경우와 같이 현재

상용화가 진행되어 사고율을 줄일 수 있을 것으로 기대되는 시스템들도 존재할 정도로 많은 개발이 이루어지고 있는 상황이다.

이렇게 다양한 시스템들이 개발됨에 따라 이러한 능동안전기술을 평가하고, 이를 차량의 안정성 평가의 중요한 요소로서 이용하기 위한 노력 역시 이루어지고 있다. 그 예로, Euro-NCAP에서는 2014년 이후로 개발되는 승용차를 대상으로 자동비상제동장치의 성능을 평가하고 있으며, 미국 NCAP 및 ISO 등에서도 자동비상제동장치와 관련된 성능평가 기술을 개발하고, 적용하기 위해 노력하고 있다.^{(1),(2),(3)}

따라서 본 연구에서는 실제 주행환경에서의 자동비상제동장치의 성능을 평가하기 위한 평가 시나리오를 제시하였다. 이를 위하여 실제 주행환경을 반영하기 위해 고려해야 하는 요소들과 함께 자동비상제동장치의 성능을 평가할 때 고려해야 하는 요소들을 확인하

* 서울대학교 기계항공공학부

** 교통안전공단 자동차안전연구원

E-mail : xodn615@snu.ac.kr

고, 이를 반영하여 실제 주행환경에서의 자동비상제동 장치의 성능을 평가할 수 있는 성능평가방법을 제시하였다.

2. 자동비상제동장치 성능 평가 항목

실도로 주행환경에서의 자동비상제동장치 성능을 평가하기 위해서는 실제 도로의 환경을 대표할 수 있는 시나리오와 함께 실제 주행 중에 겪을 수 있는 다양한 상황에서 자동비상제동장치가 제대로 작동하는지 확인해야 한다. 이러한 주행환경 및 평가 요소들을 정리하면 Fig 1.과 같다.

2.1. 주행 조건

자동비상제동장치가 실제 도로 주행 환경에서 제대로 작동하는지를 확인하기 위해서는 다양한 주행 조건에서 자동비상제동장치의 성능을 평가할 필요가 있다. 이를 위해 다양한 주행 조건을 대표할 수 있는 상황을 선정해보면 전방차량이 정지 혹은 서행하는 경우, 전방차량이 감속하는 경우, 자차량 혹은 전방 차량 끼어들기와 같이 세가지로 요약할 수 있다.

전방차량이 정지 혹은 서행하는 상황과 전방차량이 감속하는 상황은 Euro-NCAP을 포함하는 여러 기관에서 자동비상제동장치의 성능을 평가하기 위해 기본적으로 시험하고 있는 상황이며, 자차량 혹은 전방 차량이 끼어들기를 하는 상황의 경우는 실제 도로 환경에서도 자주 나타나는 상황임은 물론 갑작스러운 타겟 변화에 대한 자동비상제동장치의 성능을 평가할 수 있는 시나리오이기 때문에 하나의 중요한 성능평가 시나

리오로 사용할 수 있다.

2.2. 도로 조건

차량이 실제 도로에서 주행하는 경우 직선로는 물론 곡선로 및 교차로를 포함하는 다양한 상황에서 주행을 하게 된다. 이러한 실도로 환경에서 자동비상제동장치의 성능을 보장하기 위해서는 다양한 환경에서 자동비상제동장치의 성능을 검증해야 하며, 이러한 다양한 상황을 대표하는 적절한 도로 조건을 선정해야 한다.

그 예로 곡선로에서 자차선 및 옆차선 차량에 대한 자동비상제동장치의 작동을 확인함으로써 도로에 곡률이 존재할 때 자동비상제동장치가 제대로 작동하는지를 확인할 수 있으며, 골목상황에서 좌회전, 우회전을 한 직후에 전방 정지차량을 만나는 상황에서 자동비상제동장치의 작동을 확인함으로써 갑작스러운 타겟의 발생에 대한 자동비상제동장치의 성능을 검증할 수 있다.

2.3. 주행 환경

자동비상제동장치의 경우 다양한 센서를 통해 주변 상황을 감지하고, 이를 이용하여 차량을 제어하기 때문에 차량의 주변 환경에 의해 영향을 많이 받게 된다.

대표적으로 자동비상제동장치의 성능에 영향을 주는 요소로는 기상 조건 등으로 인해 차량의 제동성능에 영향을 주는 노면 조건, 주행 시간 및 주변 환경에 의해 시각 센서에 영향을 주는 광량 조건, 자동비상제동장치가 반응하는 대상 타겟의 종류 등이 있다. 예를



Fig. 1 Representative factors of AEB scenario

들어, 노면이 젖은 경우 제동거리가 길어지게 되어 충분한 감속이 이루어지지 않을 경우 사고로 이어질 수 있으며, 야간 조건에서 시각 센서가 제대로 작동하지 않을 경우 자동비상제동장치의 작동에 문제가 발생할 수 있다. 또한 전방의 차량뿐만 아니라 보행자 등의 기타 타겟에 대해서도 반응하여 감속해야 하는데, 특히 보행자의 경우 큰 사고로 이어질 수 있기 때문에 보행자 타겟에 대한 자동비상제동장치의 성능 검증이 필요하다.

2.4. 자동비상제동장치 구성 요소

자동비상제동장치는 크게 센서부, 인지/판단 및 인터페이스 부, 제어부로 구분할 수 있다.

센서부의 경우 시각센서, 레이더센서 등을 포함한 센서를 이용하여 대상 타겟을 감지하고, 이를 제어에 이용하는 부분이다. 따라서 자동비상제동장치의 기본적인 작동을 포함하여 센서부의 작동여부 및 오감지 여부, 작동 범위, 타겟 구분 능력 등이 평가에 포함되어야 한다.

인지/판단 부는 센서를 통해 감지한 정보를 이용하여 위험성을 판단하고, 위험도에 따라 적절하게 제어 시점을 결정하는 부분이며 인터페이스 부는 위험상황을 운전자에게 알리고, 운전자의 의지에 따라 작동여부를 결정하는 등의 역할을 한다. 따라서 각 시나리오에 대해 인지/판단 부가 위험을 제대로 인지하는지 확인할 필요가 있으며, 이에 대하여 인터페이스 부가 운전자에게 적절하게 위험을 경고하고 있는지 확인해야 한다. 또한 운전자가 제어를 하고자 할 때에는 안전한 범위 내에서 제어권을 넘길 수 있어야 한다.

마지막으로 제어부의 경우 인지/판단 부에서 판단한 위험에 대해 실제로 차량을 제동함으로써 사고를 막는 부분이며, 이러한 제어부의 성능과 내구성에 문제가 있을 경우 자동비상제동장치의 성능을 보장하기 힘들어진다. 따라서 제어부의 성능을 검증할 필요가 있다.

3. 자동비상제동장치 성능 평가 시나리오

앞에서 언급한 바와 같이 실도로 주행상황에서 자동비상제동장치의 성능을 보장하기 위해서는 다양한 조건 하에서 검증이 이루어져야 한다. 그러나 각각의 자동비상제어알고리즘에 대해 모든 상황에서의 성능을 평가하는 것은 현실적으로 불가능하다. 때문에 다양한

상황을 대표할 수 있는 시나리오를 선정하는 과정이 필요하다. 이렇게 선정된 시나리오들은 최소한의 성능 평가를 통하여 다양한 상황에서의 자동비상제동장치의 성능을 보장해야 하며, 이를 위하여 위에서 언급된 성능 평가 항목들이 고려되어야 한다.

자동비상제동장치의 성능을 평가하기 위한 시나리오가 Table 1에 요약되어 있다. 전체 시나리오는 크게 2가지로 분류 되어 있으며 Test 1은 일반 직진도로 주행 상황에서 발생할 수 있는 사고상황을 기반으로 한 시나리오를, Test 2는 이 외에 추가적으로 발생할 수 있는 시나리오를 각각 포함하고 있다.

주어진 평가시나리오에서 특이한 사항으로는 곡선로 주행상황이 제외된 점을 들 수 있다. 곡선로에서 도로의 곡률이 자동비상제동장치의 성능에 영향을 주기 위해서는 차속이 일정수준 이상으로 빨라야 하는데, 이 경우 횡가속도가 매우 커지게 되어 일반적인 주행 상황으로 보기 힘들게 된다. 반대로 정상적인 주행 조건에서 곡선로를 주행할 경우 도로의 곡률로 인해 차선과 옆차선의 차량을 잘못 인지할 가능성이 있더라도 자동비상제동장치가 위험을 감지하기 시작하는 범위 내에서는 곡선로와 직선로의 차이가 줄어들게 되어 자동비상제동장치의 작동에는 큰 영향을 미치지 않게 된다. 따라서 Table 1에 주어진 시나리오에는 곡선로 주행상황이 포함되어있지 않다.

또한 Test 2의 시나리오들은 현재 Euro-NCAP에는 없는 시나리오이지만 자차량의 차선변경 상황에서의 위험도 변화 감지와 이에 대한 반응, 그리고 골목주행 상황에서의 위험도 감지와 이에 대한 반응 역시 AEB의 안전도를 평가하는데 중요한 기준이 될 수 있기에 추가하였다.

Table 1 AEB test scenario

| | Test scenario | Evaluation factor |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Test 1. | Preceding stop vehicle | Collision avoidance or mitigation |
| | Wet road preceding stop vehicle | |
| | Pedestrian | |
| | Preceding slow vehicle | Collision mitigation |
| Preceding decelerating vehicle | | |
| Test. 2. | Subject Vehicle Cut-in | Lane change |
| | Subject Vehicle Cut-Out | Control priority change |
| | 90 deg turn right/left | Unexpected target |

실제로 Table 1에 나타나 있는 시나리오를 실제 자동비상제동장치의 평가 시나리오로 이용하기 위해서는 각 경우에 대해 구체적인 시나리오를 선정하고, 실험을 통해 이를 검증하는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 시뮬레이션 결과 중 일부를 제시하고, 이에 대한 분석하였다. 특히 직선로에서 전방 차량이 정지, 서행 혹은 급감속하는 상황에 대해서는 이미 Euro-NCAP 등에서 자동비상제동장치의 평가 시나리오로 이용하는 부분이므로 이를 제외한 자차량 차선변경 상황 및 골목길 좌/우회전 상황에 대해 다룰 것이다.

3.1. 자차량의 전방 차량 회피를 위한 차선 변경 상황

자차량의 전방 차량 회피를 위한 차선 변경 상황 시나리오는 운전자가 전방의 정지차량을 발견하고 차선을 변경할 경우에 대한 자동비상제동장치의 반응을 확인하는 것을 목표로 한다. 특히 전방 정지 차량과 10 m 정도의 거리를 두고 차선을 변경할 경우 자동비상제동장치는 위험성을 인지하고 차량을 제동하기 시작하는데, 이때 운전자가 위험을 인지하여 차선을 변경하고자 할 경우에 자동비상제동장치가 지속적으로 차량을 제동할 경우 차선이 변경되는 상황에서 차량이 정지하게 되어 다른 차선의 차량들과 추가적인 사고가 발생할 가능성이 생기게 된다. 따라서 위험성을 감지하여 제동이 들어가는 상황에서도 운전자의 의지로 차선을 변경하여 위험이 제거된 경우 자동비상제동장치는 제동을 풀고 제어권을 운전자에게 넘겨야 한다.

본 시나리오는 정지해있는 전방 차량에 대하여 자차량이 10~40 km/h의 속도로 접근하는 상황에서 자동비상제동장치가 작동하기 시작하는 거리와 유사한 10 m의 간격을 두고 자차량이 좌/우의 옆차선으로 차선을 변경함으로써 충돌을 회피하는 상황이다. 여기서 10m의 간격은 실제 차량이 제동을 통해 차를 정차하는데 필요한 제동거리가 10~40 km/h의 속도에서 대략 10m 정도이므로 이를 기준으로 설정하였다. 이에 대한 성능 평가는 10 km/h의 속도에서 시작하여 속도를 높여가며 진행하게 되며, 운전자가 충돌을 회피할 수 있는 상황에서 차량이 완전히 정지해버리는 경우 AEB가 운전자에게 제어권을 정상적으로 넘기지 못하였다고 판단한다.

이때 주어진 자동비상제동장치가 더 이른 시점에서 제동하여 차선변경이 이루어지기 전에 차량이 완전히 정차하는 경우 차량이 제동하기 시작하는 위치로 차선

변경 거리를 조절하여 재시험 한다.

3.2. 골목길 좌/우회전 상황

골목길 좌/우회전 상황은 자차량이 골목길에서 좌회전 혹은 우회전을 한 직후에 전방의 정지차량을 만나는 상황에서 자동비상제동장치가 정상적으로 작동하는지 확인하는 것을 목표로 한다. 직선도로에서 주행하는 경우 전방차량을 타겟으로 인지하고, 지속적으로 확인, 감시할 수 있기 때문에 위험성에 대해 적절한 판단이 가능하지만 골목길 좌/우회전 상황의 경우 기존에 감지되지 않던 타겟이 갑작스럽게 나타나는 상황이기 때문에 자동비상제동장치가 정상적으로 작동하지 않을 수 있다. 따라서 이러한 경우에 대하여 자동비상제동장치가 정상적으로 타겟을 인지하고 위험성을 감지하여 제어를 할 수 있는지 검증할 필요가 있다.

본 시나리오는 시내의 좁은 골목길에서 10 km/h의 저속으로 주행하던 중 90 도로 좌/우회전하는 상황에서 회전 후 10m 거리에 있는 차량에 대해 운전자가 인지하지 못하고 충돌하는 상황이다. 이러한 경우 자동비상제동장치는 갑자기 나타난 전방차량을 타겟으로 인지하고, 다가오는 위험에 대해 운전자에게 알려야 하며, 위험해질 경우 제동을 시작해야 한다. 좌/우회전 각각에 대해 몇 번의 반복시험을 통해 자동비상제동장치가 제대로 작동하는지를 확인하며, 자동비상제동장치가 운전자에게 2가지 이상의 방법으로 위험성을 경고하지 못할 경우 자동비상제동장치의 인터페이스 부가 제대로 작동하지 못했다고 판단하며, 또한 자동비상제동장치가 차량을 정차시키지 못하여 전방타겟과 충돌할 경우 제어가 제대로 이루어지지 않았다고 판단한다.

4. 자동비상제동장치 알고리즘 및 실험결과

본 연구에서는 위에서 정리한 자동비상제동장치 성능 평가 시나리오를 확인하기 위하여 자동비상제동장치가 장착된 차량을 이용하여 실험을 수행하였으며, 이를 이용하여 주어진 시나리오가 현실적으로 구현 가능한 시나리오인지 확인하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 기존의 연구에서 주어진 자동비상제동장치 알고리즘이 장착된 차량을 실험에 이용하였으며, 차량에는 레이더 센서 및 시각 센서가 장착되어 있다. 차량에 장착된 자동비상제동장치의 알고리즘은 아래에 간

략하게 설명되어 있다.

4.1. 자동비상제동장치 알고리즘

본 연구에서 이용된 자동비상제동장치(자동비상제어 알고리즘)는 충돌경보지수(Warning index) 및 역충돌 시간(inverse TTC)을 이용하여 위험성을 인지하고, 이를 이용하여 제어 모드를 결정, 운전자에게 경고하고 차량을 감속하는 것을 내용으로 한다.^{(3),(4)}

충돌경보지수와 역충돌시간은 각각 자차량과 전방 차량 사이의 거리, 두 차량의 속도 및 상대속도 정보를 이용하여 충돌위험을 계산하는 안전도 지수이며, 이 두가지 안전도 지수를 이용하여 종방향 안전도 지수를 계산함으로써 현재의 위험도를 계산할 수 있다. 기존 연구에서 사용된 충돌경보지수(x), 역충돌시간 (TTC^{-1})과 이를 이용한 종방향 안전도지수 ($I_{Longitudinal}$)는 아래와 같이 정의된다.^{(5),(6)}

$$x = \frac{c - d_{br}}{d_w - d_{br}} \quad (1)$$

$$TTC^{-1} = \frac{c}{v_{rel}} \quad (2)$$

$$I_{Longitudinal} = \max \left(\frac{|x_{max} - x|}{|x_{max} - x_{th}|}, \frac{|TTC^{-1}|}{|TTC^{-1}_{th}|} \right) \quad (3)$$

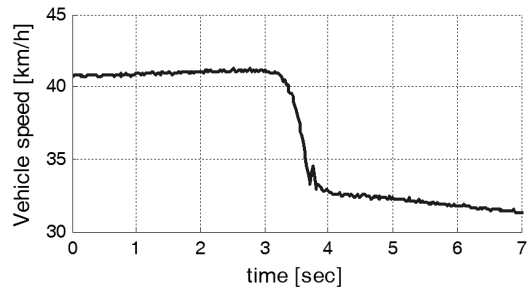
여기서 종방향 안전도 지수는 전방 차량과의 충돌 경보지수와 역충돌시간의 경계값에 대한 현재 주행상태의 위험한 정도를 비율적으로 나타내는 값이므로, 안전도 지수가 '1'일 경우 현재의 주행상태가 안전한 주행상태와 위험한 주행상태의 경계에 있다고 판단하며, 1보다 큰 경우 현재의 주행상태가 위험하다고 판단한다. 안전도 지수가 커질수록 그 위험도는 커진다고 판단할 수 있으며, 반대로 안전도 지수가 1보다 작아질 경우 위험성이 사라졌다고 판단할 수 있다.

주어진 알고리즘은 이러한 종방향 안전도 지수를 이용하여 제어모드를 결정한다. 안전도 지수 값이 일정수준 이상일 경우 차량이 위험해지기 시작했다고 인지하여 제어 모드를 1로 전환하고, 운전자에게 위험을 경고하며 이때에는 운전자의 가속 입력에 대해 추가적인 가속이 일어나지 않도록 제어한다. 안전도 지수가

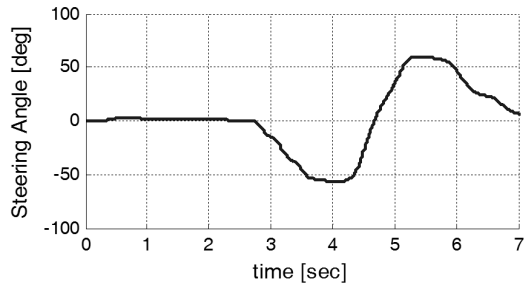
위험수준 이상으로 증가할 경우 운전자가 적절하게 반응하지 못한다고 가정하고 제어모드를 2로 전환, 차량을 감속시키기 시작하며, 초기에는 그 크기가 $4m/s^2$ 를 넘지 못하는 수준으로 제한한다. 만약 전방차량과의 충돌이 매우 임박한 경우 제어모드를 3으로 전환하고, 차량을 큰 감속도로 감속시킨다.

4.2. 실험 결과

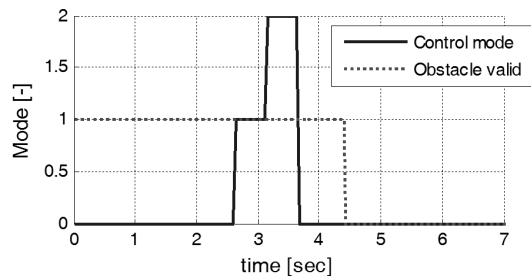
3장에서 제시된 자동비상제동장치 성능평가 시나리오를 검증하기 위하여 4.1절에서 제시된 자동비상제동장치 알고리즘이 장착된 차량을 이용하여 자차량 충돌 회피 차선변경 시나리오 및 골목길 좌회전 상황에 대한 실험 결과를 아래와 같이 제시한다.



(a) Vehicle speed



(b) Steering angle



(c) Target validation and control mode

Fig. 2 Subject Vehicle Cut-out Scenario

4.2.1. 자차량 충돌 회피를 위한 차선변경 시나리오

자차량 충돌 회피를 위한 차선변경 시나리오에 대한 실험 결과는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에 따르면, 자차량이 전방의 정지타겟에 접근하는 경우 자동비상제동장치가 정상적으로 위험을 감지하고, 차량에 제동입력을 가하는 것을 확인할 수 있다. 또한 운전자에 의한 조향 입력이 가해진 직후 자동비상제동장치가 타겟을 인지하고 있지만 제어를 해제하고 제어권을 운전자에게 넘기는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 주어진 자동비상제동장치가 운전자의 반응에 따라 적절하게 제어권을 넘길 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

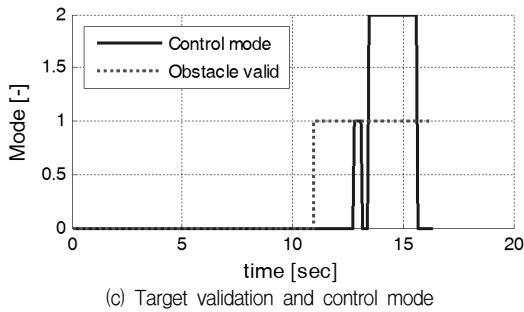
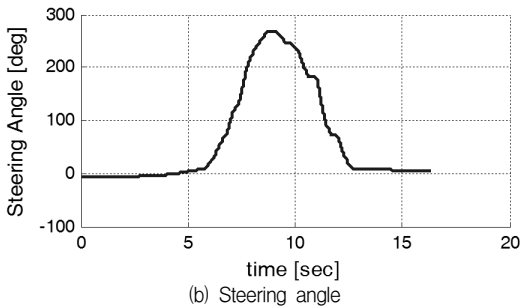
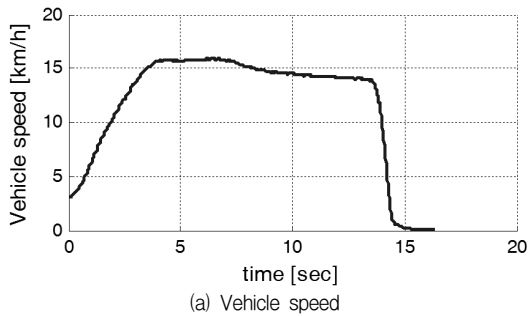


Fig. 3 Narrow Street Turn Left Scenario

4.2.2. 골목길 좌회전 시나리오

골목길 좌회전 상황에서 전방 정지차량을 만나는 경우에 대한 실험 결과는 아래의 Fig. 3와 같다.

Fig. 3에 따르면, 자차량이 좌회전을 한 직후 타겟이 인식되는 것을 확인할 수 있으며, 이에 따라 자동비상제동장치가 위험을 감지하고 운전자에게 경보하며 차량을 정차시키는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 주어진 자동비상제동장치가 갑작스러운 타겟에 대해 정상적으로 작동하는 것을 확인할 수 있으며, 운전자에게 경보를 알리는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 자동비상제동장치의 성능을 평가하기 위한 시나리오를 제시하였으며, 기존 연구의 자동비상제동장치 알고리즘이 장착된 차량을 이용하여 실험한 결과의 일부를 제시함으로써 본 연구에서 제시한 시나리오가 현실적으로 구현 가능하며, 자동비상제동장치의 성능을 평가하는데 적절한지를 확인하였다. 제시된 시나리오를 실제 자동비상제동장치의 성능평가에 이용하기 위해서는 실차 실험을 기반으로 한 검증이 이루어져야 하며, 이를 기반으로 구체적인 성능 평가 기준이 제시되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 국토해양부, SNU-IAMD, 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 (2009-0083495)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

- (1) Euro-NCAP, "Euro-NCAP_2014_AEB_Test_Protocol", 2013
- (2) Inseong, Choi, Seongwoo, Cho and Byungdo, Kang, "An Overview on Establishing Safety Assessment Standard of Longitudinal Active Safety System in Korea", ESV 2013-0490

- (3) 이태영, 이경수, 이재완, 2011, “자동비상제동장치 안전도 판단을 위한 위험도 지수 개발,” 한국자동차공학회, 한국자동차공학회 부문종합 학술대회, 2011, 1591-1596
- (4) 이태영, 이경수, 김장섭, 이재완, “상용차량을 위한 자동비상제어시스템 알고리즘 개발”, 2010 한국 자동차 공학회 추계 학술대회, 2010 한국 자동차공학회 추계 학술대회 논문집, p. 1222-1227.
- (5) 이태영, 이경수, “Robust Autonomous Emergency Braking Algorithm using the Tire-road Friction Estimation and the Sensor Uncertainties”, Seoul National University 학위논문 (박사), 2015.
- (6) Wanki Cho, Seungwuk Moon, Sihyoung Lee, and Kyongsu Yi, 2010, “Intelligent Vehicle Safety Control Based on Index plane”, AVEC 2010.