◎ 논 문

종방향 안전도 향상을 위한 자동비상제동 알고리즘 개발

이태영* · 이경수* · 이재완**

Development of Advanced Emergency Braking Algorithm for the enhanced longitudinal safety

Taeyoung Lee*, Kyongsu Yi*, Jaewan Lee**

Key Words : Advanced Emergency Braking(자동비상제동), Longitudinal Safety(종방향 안전성), Time To Collision(충돌예상시간), Last Point To Brake(LPTB,제동 한계 시점), Last Point To Steer(LPTS,조향 한계 시점)

ABSTRACT

This paper presents a development of the Advanced Emergency Braking (AEB) Algorithm for passenger vehicles. The AEB is the system to slow the vehicle and mitigate the severity of an impact when a rear end collision probability is increased. To mitigate a rear end collision, the AEB comprises of a millimeter wave radar sensor, CCD camera and vehicle parameters of which are processed to judge the likelihood of a collision occurring. The main controller of the AEB algorithm is composed of the two control stage: upper and lower level controller. By using the collected obstacle information, the upper level controller of the main controller decides the control mode based not only on parametric division, but also on physical collision capability. The lower level controller determines warning level and braking level to maintain the longitudinal safety. To decide the braking level, Last Ponit To Brake and Steer (LPTB/LPTS) are compared with current driving statues. To demonstrate the control performance of the proposed AEBS algorithm's, closed-loop simulation of the AEBS was conducted by using the Matlab simlink and CarSim software.

1. 서 론

현대사회의 다양한 기술 발전으로 인하여, 차량이 지니고 있던 이동수단의 개념이 점차 운전자의 편의와 안전을 함께 추구하는 새로운 개념으로 확장되고 있다. 이러한 추세에 따라, 네비게이션 시스템이나 DMB, 등의 운전자 편의 장비들의 보급이 활발히 이루어 졌다. 하지만, 이러한 편의장치의 확대로 인하여 운전자의 전방 주시 태만 및 운전에 대한 집중력의 하락으로 인한 사고 위험이 증가하고 있으며, 실제로도 이와 관련된 사고의 발생 빈도가 증가하는 추세이다.

이러한 종방향 사고 위험을 줄이고, 안전성을 향상시키기 위하여 자동비상제동장치(AEBS: Advanced Emergency Braking System)가 개발되고 있으며, 국제적으로도 대형차량의 의무장착을 추진하는 등의 움직임이 활발히 진행 중이다.[1)2)]

이러한 추세에 맞추어, 본 연구에서는 종방향 안전도를 향상시키기 위한 자동비상제동 알고리즘을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 자동비상제동 알고리즘은 종방향 충돌 위험도를 모니터링 하기 위하여 충돌예상시간(Time To Collision: TTC)과 충돌경보지수(Warning Index: X)를 활용한다. 두 지수를 활용하여 충돌위험도에 따른 제동모드를 구분하여 최종적으로 차량의 종방향 안전도를 향상시키고자 한다.

* 서울대학교 기계항공공학부
** 자동차안전연구원
E-mail : taengyi8@snu.ac.kr

2. 제어 목표 설정

자동비상제동 알고리즘을 구성하기 위하여, 주행속도에따른 제어 목표를 선정하여야 한다. 본 논문에서는 자동 비상제동장치의 목표를 선정하기 위하여 국제기준동향과 충돌상황에서의 탑승자 상해치를 함께 고려하였다.

2.1 국제기준동향 기준 충돌 속도 기준 수립

자동비상제동장치의 필요성이 증가됨에 따라, 시스템에 대한 평가 기준을 수립하기 위한 평가기준에 대한 논의가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 국제 표준화기구(International Organization for Standardization: ISO) 및 유럽 신차안전도평가(European New Car Assessment Program: Euro-NCAP) 등을 통하여 시스템이 갖추어야 하는 최소한의 성능기준이 논의되고 있다.

현재까지 논의된 주된 사안을 정리하여 보면, 상대속도 50kph이하의 구간에 대한 충돌은 방지하여야 하며, 그 이상의 구간에서는 충돌의 속도를 감소시켜 충격을 완화시키는 방향으로 논의되고 있다.

2.2 추돌상황에 따른 충돌 속도 기준 수립

차량간 충돌상황에서의 충돌속도에 따른 승차자 상해의 효과를 통하여, 자동비상제동장치의 목표속도를 선정할 수 있다. 관련된 연구[3]에 따르면, 후미추돌상황에서의 유효충돌속도는 다음의 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta V = \frac{m_1}{m_1 + m_2}(v_1 - v_2) = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_r \quad (1)$$

여기서, m_1, m_2는 충돌하는 차량의 질량을 의미하며, v_1,v_2는 충돌상황에서의 두 차량의 속도, v_r은 상대속도를 의미한다.

이때, “생체역학적 무상한계는 유효충돌속도 10~15kph이하 사이에서 존재한다”[3]는 기존의 연구에 따라, 목표 유효충돌속를 15kph로 설정하며, 두 차량의 무게가 유사하다고 가저하면, 최종 충돌발생시 충돌속도는 약 30kph가 됨을 확인할 수 있다. 즉, 주행상황에서 승차자의 안전을 고려하면 자동비상제동장치에 의해 충돌감소효과로 얻어지는 최종충돌속도는 30kph이하가 되어야 함을 확인할 수 있다.

2.3 자동비상제동 알고리즘의 제어 목표

앞에서 살펴본 국제기준동향과 추돌상황에 따른 탑승자의 안전을 함께 고려하여, 본 연구에서는 다음과 같은 제어 목표를 선정하였다.

- 50kph 이하 : 전방 차량과의 충돌을 방지
- 50kph이상 : 충돌완화를 수행,
  충돌속도는 30kph 이하를 유지

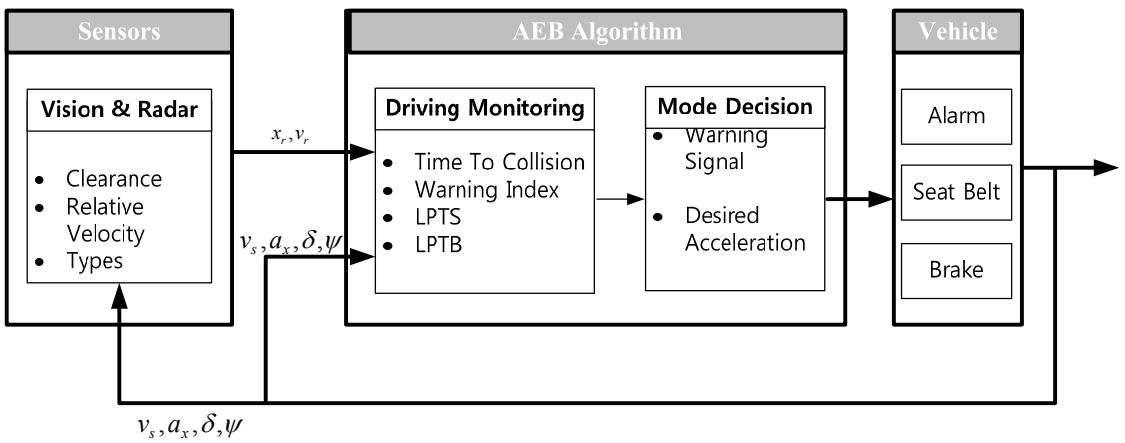

Fig.1 Control Flow of the AEB Algorithm

3. 자동비상제동 알고리즘 설계

앞에서 선정한 제어 목표를 달성하기 위하여, 본 연구에서는 충돌예상시간과 충돌경보지수를 기반으로 한 자동비상제동 알고리즘을 구성하였다. 본 논문에서 제안하는 자동비상제동 알고리즘의 구조는 다음의 Fig.1과 같이 나타낼 수 있다.

3.1 충돌예상시간 기반 주행상황 모니터링

전방 주행상황에 대한 충돌위험을 판단하기 위하여, 우선, 충돌예상시간을 기반으로 한 주행상황을 모니터링 한다.

3.1.1 충돌예상시간

충돌시간(Time To Collision: TTC)은 선행차량과 자차량의 속도가 현재상태로 유지된다는 가정하에 충돌까지 소요되는 예상시간을 의미한다. 또한, 충돌시간의 경우, 종방향의 차량거동에 대하여 운전자가 느끼는 시각적인 감각(Looming Effect)를 나타내는 요소이기도 하다. [4)]

정의에 따라 '충돌예상시간'은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$TTC = \frac{x_r}{v_r} \tag{2}$$

여기서, x_r은 차량간의 상대거리를 의미한다.

3.1.2 제동 및 조향에 대한 한계시점

종방향 위험도에 따른 충돌예상시간의 상관관계를 분석하기 위하여, 제동과 조향에 따른 한계시점을 분석할 필요가 있다. 충돌을 회피하기 위하여 운전자가 긴급제동 또는 조향을 수행할 때 충돌회피까지 필요시간을 예측하여본다. 또한, 충돌완화의 경우를 고려하여 충돌발생시 차량의 속도가 30kph가 되기 위한 한계시점을 예측한다.

전방의 차량은 정지상태라 가정하며, 충돌회피를 위하여 일정한 종방향 또는 횡방향 가속도를 유지한다고 가정하면, 다음과 같은 제동에 의한 충돌회피 필요시간(TTC_{brake})과 조향에 대한 충돌회피 필요시간(TTC_{steer})을 얻을 수 있으며, 충돌발생시 차량의 속도가 30kph가 되기 위한 필요시간($TTC_{Collision30kph}$)를 함께 얻을 수 있다.

$$TTC_{Brake} = -\frac{1}{2a_{x,\max}} \cdot v_{rel}$$

$$TTC_{steer} = \sqrt{\frac{2}{a_y}\left(w + y_r\right)} \tag{3}$$

$$TTC_{Collision_{30kph}} = TTC_{Brake} + \frac{1}{2a_{x.\max}} \cdot \frac{30^2_{[kph]}}{v_{rel}}$$

이때, v_{rel}은 전방차량과 자차량의 상대속도, $a_{x,max}$는 자차량의 최대감속도, a_y는 자차량의 횡방향 가속도를 의미하며, w는 도로폭, y_r은 차량의 초기 횡방향 offset을 의미한다.

이렇게 얻어진 충돌회피에 필요한 제동과 조향에 필요한 시간을 통하여 상대속도에 따른 충돌회피 한계거리를 나타내보면, 다음의 Fig.2와 같은 결과를 얻을 수 있다.

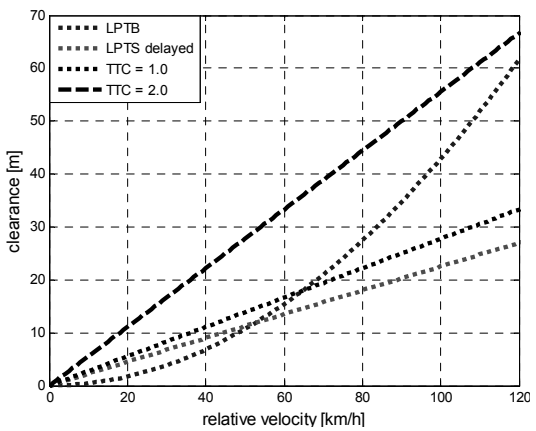

Fig.2 Last Point To Brake and Steer relation

위의 그림에서 보이는 바와 같이, 상대속도가 약 50kph이하의 상황에서는 조향에 의한 충돌회피 한계시점이 제동에 의한 충돌회피 한계시점보다 크게 나타난다. 하지만, 50kph이상의 상황에서는 반대의 경향을 확인할 수 있다.

이러한 경향을 바탕으로 앞에서 선정한 제어 목표

를 달성하기 위하여 비상제동시점은 다음과 같이 선정할 수 있다.

$$TTC_{Emergency} = \max\left(TTC_{steer}, TTC_{Collision_{30kph}}\right) \quad (4)$$

3.2 충돌경보지수 기반 주행상황 모니터링

충돌예상시간은 그 정의에 따라 전방차량과의 속도가 동일한 순간에는 차간거리에 상관없이 그 값이 발산하게 된다. 즉, 두 차량간의 거리가 매우 가까운 상황이라 할 지라도 두 차량의 속도가 동일하다면 그 위험도를 판별할 수 없게 된다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 부분을 보완하기 위하여 충돌경보지수를 함께 활용하여 주행상황을 모니터링 한다.

3.2.1 충돌경보지수

충돌경보지수(Warning Index: X)'는 전방차량과 자차량의 급감속을 가정하였을 때, 물리적 충돌한계에 대한 현재의 주행상태의 위험도를 나타내며 다음과 같이 정의할 수 있다. [5)]

$$x = \frac{x_r - d_{br}}{d_w - d_{br}} \quad (5)$$

여기서, d_{br} 과 d_w 은 제동거리 및 경보거리를 의미하며, 다음의 Fig.3과 같이 정의할 수 있다.

$$d_{br} = v_{long}T_{s,delay} + f(\mu)\left(\frac{v_s^2 - v_p^2}{2a_{\max}}\right)$$
$$d_w = v_{long}T_{s,delay} + v_sT_{h,delay} + f(\mu)\left(\frac{v_s^2 - v_p^2}{2a_{\max}}\right) \quad (6)$$

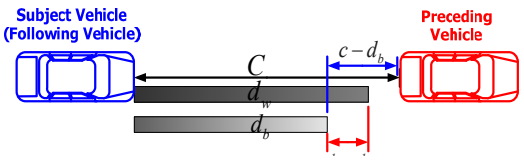

Fig.3 Definition of the Warning Index

즉, 충돌경보지수는 그 정의에 의하여, 현재의 차간거리가 지니고 있는 제동여유거리와 운전자의 제동에 의한 여유거리의 비율을 나타내며, 그 값이 클수록 제동에 대한 여유가 높음을 의미한다.

3.2.2 충돌경보지수에 따른 주행 상황 판단

충돌경보지수의 정의에 따라, 주행상황에서 나타날 수 있는 충돌경보지수의 양상은 다음과 같이 크게 3가지의 경우로 분류할 수 있다.

- 안전상황: $x_r \geq d_w > d_{br}$

충돌경보지수의 값이 1 이상의 경우는 현재의 차간거리가 경보거리에 비해 크게 유지됨을 의미하며, 선행차량과의 차간거리는 항상 안전한 영역에 존재하므로, 전방차량과의 충돌가능성은 거의 존재하지 않는다.

- 경보상황: $d_w > x_r > d_{br}$

충돌경보지수가 '1'보다 작은 양의 값으로 존재하면, 운전자의 인지지연 등의 요인에 의한 공주거리를 고려하면 충돌이 발생할 수 있는 상황이므로 잠재적인 충돌위험이 존재하는 상황으로 정의할 수 있다.

- 위험상황: $d_w > d_{br} > x_r$

충돌경보지수는 음의 값을 나타내면, 현재의 차간거리가 제동거리보다 가까운 상태를 나타내므로, 자차량의 제동만으로는 충돌을 회피할 수 없는 한계상황이라 할 수 있다. 따라서, 선행차량이 최대 감속을 수행한다면 제동만으로는 후방추돌을 회피할 수 없는 상황을 의미한다.

3.3 제어 모드 설정

전방의 차량을 정상 추종하는 상황에서 발생할 수

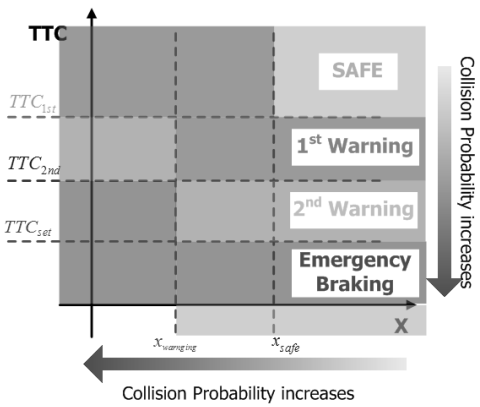

Fig.4 AEB Control Mode in x-TTC Phase

있는 위험상황의 경우, 충돌예상시간의 경향을 통하여 제어시점을 판단하여 충분히 충돌을 방지/경감 할 수 있다. 하지만, 속도가 동일한 차량의 근거리 끼어들기 상황과 같은 특수한 상황에서는 끼어들기 차량에 대한 충돌예상시간이 안전하다고 판단된다 하더라도, 운전자에게는 큰 위험이 될 수 있다.

본 논문에서는 이러한 상황을 방지하기 위하여 충돌예상시간과 충돌경보지수를 활용한 제어모드를 다음의 Fig.4와 같이 선정하여 이러한 부분을 보완하도록 하였다.

4. 시뮬레이션을 통한 알고리즘 성능 검증

설계된 자동비상제동 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 환경은 'Carsim' 차량 모델과 'Matlab-Simulink'를 기반으로 구성하였으며, 전방 저속차량에 접근하는 상황을 가정하였다.

자동비상제동 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 다음과 같은 상황을 가정하였다.

- 자차량 속도: 100kph
- 전방 차량 속도 : 50kph
- 초기 거리: 75m

Fig. 5에서 확인할 수 있듯, 전방 차량에 대하여 접근함에 따라 충돌예상시간과 충돌경보지수가 위험의 영역으로 접근하게 되며, 이를 기반으로 위험상황을 감지하여 제어 모드가 선정된다. 약 3초 지점에서 최초로 경보를 제공하며, 약 4초 지점에서 1단계 감속을 수행하게 된다. 위험도가 증가함에 따라 5초 지점에서 최종적으로 비상 제동이 시작되며, 이러한 제동을 통하여 전방 저속차량과의 충돌을 방지하게 되는 결과를 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 차량의 종방향 안전도 향상을 위한 자동비상제동 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 자동비상제동 알고리즘은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

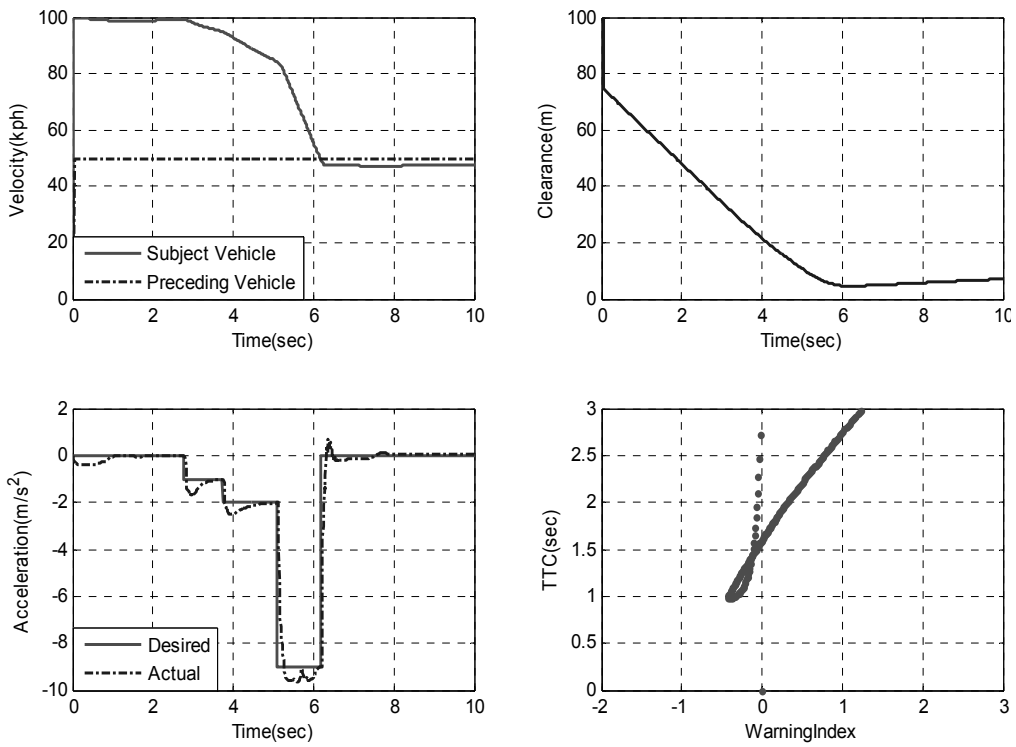

Fig.5 Simulation Results: 50kph - stopped vehicle

1) 자동비상제동 알고리즘을 구성하기에 앞서, 국제 기준동향과 추돌사고상황에서의 탑승자 부상 위험도를 고려하여 제어 목표를 선정하였다.
2) 종방향 충돌위험을 판단하고 제어 모드를 선정하기 위하여 충돌예상시간(TTC)와 충돌경보지수(Warning Index)를 활용하였다. 충돌예상시간에 대한 물리적 충돌 회피 기준과 목표성능을 만족시킬 수 있는 시점을 분석하였으며, 충돌예상시간의 측면에서 발생할 수 있는 문제점을 보완하기 위하여 충돌경보지수를 함께 고려하여 제어 모드를 구분하였다.

본 논문에서 제안하는 자동비상제동 알고리즘의 제어 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 통하여 전방 정지 차량 및 전방차량의 급감속상황에 대한 목표성능을 만족시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

본 연구에서 제안하는 알고리즘은 현재 시뮬레이션을 활용한 검증만이 수행된 상태이다. 즉, 실차량을 구현하는 과정에서 전방 감지 센서와 제동 엑츄에이터 및 도로환경, 기타 외부요인에 의한 요소 등이 제어 성능을 구현하는데 문제가 될 수 있다. 따라서, 다양한 요인을 함께 고려한 강인한 제어 알고리즘을 구성하기 위한 추가연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 연구비지원(11PTSI-C054118-03), 서울대학교 정밀기계연구소, 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(20120000922)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

(1) Report of Two Years Activities in WP29_ITS Informal Group, 2007. UN/ECE/WP29
(2) An introduction to the New Vehicle Safety Regulation. 2008. EU
(3) 강성모, 안병준, 2008, “후미추돌사고의 유효충돌속도가 승차자 상해에 미치는 영향에 관한 연구”, 2008 한국안전학회지 제 23권 제 2호.
(4) Lee, D. N. “A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision”, Perception, 1976, Vol. 5, pp. 437-459.
(5) Seungwuk Moon, “Design and Vehicle Test of a Vehicle Control Algorithm for Integrated ACC/CA System”, KSAE, No.2, pp.670~675, 2007.