

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0124

새로운 충돌 판별 알고리즘과 가속도 센서의 위치 New Crash Discrimination Algorithm and Accelerometer Locations

정 현 용*, 김 영 학**
Hyun-Yong Jeong, Young-Hak Kim

ABSTRACT

Several metrics have been used in crash discrimination algorithms in order to have timely air bag deployment during all frontal crash modes. However, it is still challenging to have timely air bag deployment especially during the oblique, the pole and the underride crash mode. Therefore, in this paper a new crash discrimination algorithm was proposed, using the absolute value of the deceleration change multiplied by the velocity change as a metric, and processing the metric as a function of the velocity change. The new algorithm was applied for all frontal crash modes of a minivan and a sports utility vehicle, and it resulted in timely air bag deployment for all frontal crash modes including the oblique, the pole and the underride crash mode. Moreover, it was proposed that an accelerometer be installed at each side of the rails, rockers or pillars to assess the crash severity of each side and to deploy the frontal air bags at different time especially during an asymmetric crash such as an oblique and an offset crash. As an example, the deceleration pulses measured at the left and right B-pillar · rocker locations were processed through the new algorithm, and faster time-to-fires were obtained for the air bag at the struck side than for the air bag at the other side.

주요기술용어 : Accelerometer(가속도 센서), Advanced air bag(스마트 에어백), Crash discrimination algorithm(충돌 판별 알고리즘), Frontal air bag(전방 에어백), Required time-to-fire(요구 점화시간), Safety electronic control unit(안전 전자 제어 장치), Time-to-fire(점화시간)

1. 서 론

1986년부터 1996년 6월 1일까지 미국에서 에

* 회원, 서강대학교 기계공학과

** 회원, 서강대학교 기계공학과 대학원

어백의 작동으로 목숨을 건진 사람은 약 3150명 이지만 목숨을 잃은 사람도 약 105명이나 된다.¹⁾ 이렇게 에어백의 작동으로 생명을 잃은 사람은 에어백이 전개될 때 에어백에 가까이 위치한 어린이나 체형이 작은 어른이 대부분이었다. 이러한 에어백의 폐해를 최소화시키며 동시에 승객을 최대한 보호하기 위하여 자동차 안전 관련 연구

자들은, 승객의 위치와 무게, 사고의 정도(crash severity) 그리고 안전띠의 착용 여부에 따라 에어백의 출력을 조절하는 에어백, 소위 스마트 에어백(advanced air bag)의 개발에 박차를 가하고 있다.¹⁻³⁾ 미국 연방 도로 교통 안전국(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)은 이러한 스마트 에어백에 대한 시험 방법과 합격 기준의 대략적인 윤곽을 이미 공포한 바 있다.^{1,2)} 이 시험 방법과 합격 기준은 2002년 9월 1일 (혹은 2003년 9월 1일)부터 적용되기 시작하여 2005년 9월 1일 (혹은 2006년 9월 1일) 이후에는 미국에서 판매될 모든 승용차와 경트럭(light truck)에 장착될 스마트 에어백에 적용될 계획이다.

한편, 이러한 스마트 에어백뿐만 아니라 현재 장착되고 있는 온-오프(on-off) 방식의 에어백에 대해서도 그 폐해를 최소화하며 승객을 최대한 보호하기 위한 노력의 일환으로 더 나은 충돌 판별 알고리즘⁴⁻⁷⁾ 및 가속도 센서의 위치와 이에 따른 안전 시스템⁸⁻¹²⁾에 대한 연구가 진행되어 왔다. 현재 생산되는 차량 중 에어백이 장착된 차량에는 터널(tunnel)의 앞부분과 뒷부분 사이에 안전 ECU(Electronic Control Unit)가 설치되어 있다. 안전 ECU 안에는 미소가공(micro-machining) 기술로 제작된 하나의 가속도 센서, 마이크로 프로세서(microprocessor), 축전기 및 주변 장치가 내장되어 있다. 사고 시에 가속도 센서는 감가속도를 측정하고 마이크로 프로세서는 감가속도 신호를 처리하여 에어백의 작동이 필요한 사고인지 그리고 언제 에어백 내의 인플레이터(inflator)에 점화할 것인지를 결정한다. 이렇게 마이크로 프로세서에서 감가속도 신호를 바탕으로 에어백의 작동 여부와 점화시간(time-to-fire, TTF)을 결정하는 프로그램을 충돌 판별 알고리즘이라고 한다.

이러한 알고리즘은 다음의 두 조건을 만족하여야 한다. 첫째, 경미한 사고에서는 절대로 에어백을 작동시키지 않아야 한다. 둘째, 에어백을 작동시켜야 하는 사고에서는 승객을 적절히 보호

하는데 요구되는 시간, 즉 요구 점화시간(required time-to-fire, RTTF) 보다 일찍 에어백을 점화해야 한다. 즉, 에어백 점화시간이 요구 점화시간 보다 작아야 한다. 이러한 조건을 만족하는 알고리즘을 개발하기 위해서는 육성하는 차량의 충돌 시험에서 얻어진 가속도 신호를 바탕으로 에어백이 작동되지 않아야 하는 상황(예를 들어 12.8 km/h 정면 고정 벽면 충돌(frontal barrier crash), 15 km/h 오프셋 충돌(offset crash), 러프 로드(rough road) 주행 등)에서 에어백 작동이 요구되지 않는지 확인하여야 한다. 또한, 고속의 정면 고정 벽면 충돌, 경사면 충돌(oblique crash), 폴 충돌(pole crash), 오프셋 충돌 그리고 언더라이드 충돌(underride crash, 사고 차량의 범퍼가 앞에 있는 차량의 범퍼나 구조물의 밑으로 들어가는 충돌 모드) 중에는 에어백이 요구 점화시간 이전에 점화되는지 확인하여야 한다.

만약 에어백이 요구 점화시간 보다 늦게 점화되면 전개 중인 에어백이 관성에 의하여 앞으로 움직이는 승객에게 충격을 가하는 소위 백 슬랩(bag slap) 현상이 발생하게 된다. 에어백의 작동을 요구하는 대개의 사고는 약 100 msec에 걸쳐 진행된다. 이러한 사고 중에 승객을 적절히 보호하기 위해서는 점화 후 약 30 msec 이내에 에어백이 완전히 전개되어야 하므로 에어백 선단의 최고 속도는 200 내지 300 km/h이다. 따라서 에어백이 늦게 점화되거나 주행 중 풀음 등의 이유로 승객이 본래의 위치 보다 앞에 있는 상황에서 에어백이 전개되면 백 슬랩 현상이 발생되고 이로 인한 충격으로 승객이 상해를 입거나 사망하게 되는 것이다.

따라서, 요구조건을 만족하는 알고리즘을 개발하는 것은 극히 중요하며 그간 이러한 알고리즘을 개발하기 위하여 많은 연구가 수행되어 왔다. 하지만, 이러한 연구가 주로 국외에서 수행되어 왔기 때문에 국내에서 육성되는 차량 중 극히 일부⁷⁾를 제외한 모든 차량의 충돌 판별 알고리즘과 안전 ECU를 외국업체에서 개발·공급하고 있는

실정이다. 안전 ECU의 개발 초기에는 감가속도의 적분값인 속도 변화(velocity change)가 임계값(threshold) 보다 크게 되면 에어백을 작동시키는 알고리즘을 사용하였으나, 속도 변화만으로는 에어백의 작동이 필요한 사고인지 분별하기 어렵다. 왜냐하면 경사면 충돌, 오프셋 충돌 및 폴 충돌과 같이 사고 초기에 속도 변화가 적은 경우에는 에어백 점화시간이 요구 점화시간 보다 늦게 되고 러프 로드 주행 중에는 속도 변화가 너무 커서 에어백이 작동될 수 있기 때문이다.^{4,5,7)}

이러한 문제를 해결하기 위하여 속도 변화 대신에 일률 변화,⁴⁾ 감가속도 변화⁵⁾ 혹은 감가속도의 제곱의 합⁷⁾ 등의 변수(metric)가 각각의 임계값 보다 크게 되면 에어백을 작동시키는 알고리즘이 개발되었다. 이러한 알고리즘에서는 변수의 값과 그 임계값을 시간의 함수로 표현하였다.

한편, 감가속도의 제곱과 그 임계값을 속도 변화의 함수로 표현하는 2차원적인 알고리즘도 개발되었다.⁶⁾ 종래의 알고리즘에서는 감가속도 신호를 사고 초기부터 적분하여 계산한 속도 변화를 사용하였다. 하지만 이 2차원 알고리즘에서는 일정한 시간 구간에 걸쳐 계산된 속도 변화를 사용하였다. 따라서, 이 2차원 알고리즘을 사용하면 감가속도의 제곱과 속도 변화를 동시에 감지할 수 있다는 장점이 있는 반면에 육성하는 차량마다 속도 변화를 계산하는 시간 구간의 크기를 조정하여야 하는 단점이 있다.

본 연구의 대상 차량은 국내에서 생산되는 일체형(unibody) 구조의 미니밴(minivan)과 차체와 프레임(body-and-frame) 구조의 스포츠 유틸리티 차량(sports utility vehicle)인데, 위에서 언급한 알고리즘의 적용 가능성을 검토하기 위하여 이들 차량의 충돌 신호를 분석하였다. 그 결과 이러한 알고리즘으로는 특별히 폴 충돌과 언더라이드 충돌 유형에 대하여 요구 점화시간 보다 빠른 점화시간을 얻을 수 없었다. 즉 본 연구의 대상 차량에 대하여 알고리즘의 요구조건을 만족시킬 수 없었다. 따라서 본 논문에서는 감가

속도 변화의 절대값과 속도 변화의 곱을 변수로 하고 그 임계값을 속도 변화의 함수로 표현한 새로운 충돌 판별 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘에서 사용한 속도 변화는 종래의 알고리즘에서와 같이 사고 초기부터 계산된 속도 변화로서 일정한 시간 구간을 고려할 필요가 없다. 이 알고리즘의 실차 적용 가능성을 판단하기 위하여 본 연구 대상 차량의 충돌 신호를 분석하였다. 그 결과 12.8 km/h 정면 고정 벽면 충돌, 15 km/h 오프셋 충돌 그리고 러프 로드 운행 중 에어백이 작동하지 않게 되었으며 고속 정면 충돌, 경사면 충돌, 폴 충돌, 오프셋 충돌 그리고 언더라이드 충돌 중에는 요구 점화시간 보다 빠른 에어백 점화시간을 얻을 수 있었다. 즉 알고리즘의 요구 조건을 모두 만족시킬 수 있었다.

이미 언급한 바와 같이 현재 터널에 장착되고 있는 안전 ECU 안에는 하나의 가속도 센서가 있다. 이 가속도 센서는 차량의 좌우의 중앙에 장착되어 있으므로 오프셋 충돌이나 경사면 충돌과 같은 비대칭 충돌 시 충돌 위치가 운전자측 혹은 승객측에 상관없이 비슷한 감가속도 신호를 얻게 된다. 또한, 현재 장착되고 있는 ECU는 운전자측 에어백과 승객측 에어백을 동시에 점화하도록 설계되어 있다. 이러한 상황에서 정면 충돌 사고 중 오프셋 충돌 사고나 경사면 충돌 사고가 50% 이상을 차지한다는 보고⁸⁾와 오프셋 충돌 사고의 경우 충돌측 승객 공간으로의 변형량(intrusion)이 많고 상해율과 치사율이 전면 정면 충돌(차량 전면의 2/3 이상이 충돌하는 물체와 접촉하는 충돌 모드) 보다 높다는 보고¹³⁾는 시사하는 바가 크다. 승객 공간으로의 변형량이 크게되면 승객의 안전 공간이 축소된다. 또한, 오프셋 충돌과 같은 비대칭 충돌 시에는 충격력이 자동차의 무게 중심점을 통과하지 않기 때문에 자동차가 회전하게 된다. 이와 같이 자동차가 회전하게 되면 관성으로 앞으로 움직이던 승객은 에어백에 안착하지 못하고 A-필러나 계기판(instrument panel)과 같은 차량 내부와 충돌할 수 있다.²⁾ 이와 같이 승객의 안전 공간이 축소되고 승객이 에

에어백에 안착하지 못하기 때문에 비대칭 사고 시 상해율과 치사율이 높은 것이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 요구 점화 시간 이전에 에어백을 점화하는 것은 물론이고 특별히 충돌측 에어백을 일찍 점화하는 것이 필요하다.²⁾ 하지만 가속도 센서를 현재와 같이 터널에 장착하거나 전방 위성센서(front satellite sensor)를 좌우의 중앙에 장착하면,¹²⁾ 충돌 위치가 좌측이거나 우측에 상관없이 거의 비슷한 감가속도 신호를 얻게 되고 따라서 에어백 점화시간이 충돌 위치와 무관하게 결정될 것이다. 그러나, 가속도 센서를 차량의 좌우에 하나씩 장착하면 좌측과 우측에 전달되는 감가속도 신호를 각각 측정할 수 있을 것이고, 이 신호를 충돌 판별 알고리즘으로 각각 처리하면 충돌측의 에어백을 빨리 점화할 수 있을 것이다.

이와 같은 충돌 감지 및 판별 방법의 실용성을 분석하기 위하여 본 논문에서는 좌사면 충돌(left oblique crash)과 우사면 충돌(right oblique crash) 및 오프셋 충돌의 경우 왼쪽 비필러·락커 지점(B-pillar·rocker location)과 오른쪽 비필러·락커 지점에서 측정한 감가속도 신호를 바탕으로 운전자측과 승객측 에어백의 점화시간을 각각 결정하였다. 이 경우 충돌측의 점화시간이 요구 점화시간 보다 빠르게 되었음은 물론이고 상대편 에어백의 점화시간 보다 빠르게 되었다. 따라서 가속도 센서를 좌우에 하나씩 설치하여 그 가속도 신호를 각각 처리하면 충돌 위치에 따라 운전자측 에어백과 승객측 에어백의 점화시간을 차별할 수 있다는 것과 그 점화시간이 적절하다는 것을 입증할 수 있었다.

2. 감가속도 신호처리

2.1 안전 ECU의 구성

안전 ECU는 크게 가속도 센서, 제어기, 출력 드라이브, 비축기(energy reserve) 그리고 기계식 안전센서(safing sensor) 등으로 구성된다. 가속도 센서에는 왜곡방지 저역필터(anti-

aliasing low pass filter)가 장착되어 있고, 제어기는 마이크로 프로세서와 주변장치로 구성되어 있는데, 마이크로 프로세서 내에는 충돌 판별 알고리즘, 임계값 그리고 자가진단 기능이 내장되어 있다. 비축기는 사고 시 전원이 차단되었을 경우 에어백을 점화하는데 필요한 에너지를 공급하게 된다. 또한, 기계식 안전 센서는 전자파에 의한 오작동을 방지한다.

2.2 왜곡방지 필터와 디지털 필터

가속도 센서로부터 아날로그 신호가 발생되지만, 디지털 제어를 수행하기 위해서는 신호를 샘플링하여 디지털화 시켜야한다. 그러나 샘플링으로 인하여 신호가 왜곡될 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 가속도 센서에는 왜곡방지 저역필터가 장착되어 있다.¹⁴⁾ 본 연구에서 FFT(Fast Fourier Transformation)를 사용하여 56 km/h 정면 충돌시험에서 얻은 감가속도 신호를 주파수 영역으로 변환한 후, 신호의 주파수 특성을 고려하여 왜곡방지 필터의 절단 주파수(cutoff frequency)와 샘플링 주기를 결정하였다.

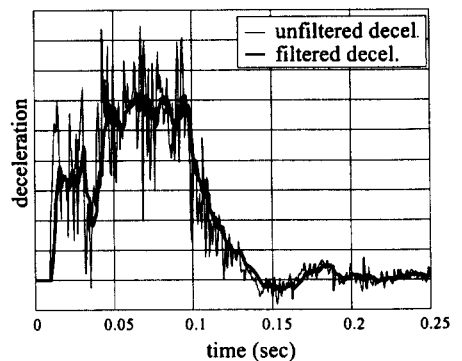


Fig. 1 Deceleration signals before and after the digital filtering

또한, 샘플링으로 얻어진 디지털 신호는 디지털 필터에 통과시켜 노이즈(noise)를 제거하는 것이 바람직하다. 만약 이러한 노이즈를 제거하지 않는다면 저속 충돌(예를 들어 12.8 km/h 이

하의 정면 충돌)에서도 에어백이 전개될 수 있기 때문이다. Figure 1에는 디지털 필터를 통과하기 전의 감가속도 신호와 통과한 후의 신호의 일례를 나타내었다. 이렇게 얻어진 감가속도 신호가 일정한 값 이상이 되면 충돌 판별 알고리즘을 수행하여 에어백 전개가 필요한 사고인지 그리고 언제 에어백을 점화하여야 하는지 결정하게 된다.

3. 새로운 충돌 판별 알고리즘과 가속도 센서의 위치

본 논문은 크게 두 가지에 중점을 두고 있다. 하나는 여러 충돌 유형에 대하여 충돌 판별 알고리즘의 요구 조건을 모두 만족하는 알고리즘을 개발하는 것이고, 다른 하나는 운전자측과 승객측에서 감가속도 신호를 각각 측정·처리하여 충돌 위치에 따라 운전자측과 승객측 에어백의 점화시간을 개별적으로 결정할 수 있는지를 검토하는 것이다.

3.1 새로운 충돌 판별 알고리즘

대개 동일한 유형의 사고 시 충돌 속도가 클수록 차체 손상도 크고 승객도 많이 다치게 된다. 따라서 사고의 정도를 나타내는 가장 기본적인 변수는 충돌 속도라고 할 수 있으며, 이는 감가속도 신호를 사고가 시작될 때부터 종료될 때까지 적분함으로써 얻을 수 있다. 만약 감가속도 신호를 사고 초기부터 어느 순간까지 적분하면 충돌 속도로부터 그 순간까지의 속도 변화를 얻을 수 있는데, 이는 안전 ECU 개발 초기에 주로 사용되었던 변수이다. 하지만, 속도 변화만을 고려해서는 알고리즘의 요구조건을 만족시킬 수 없다. 왜냐하면 사고 초기에 속도 변화가 적은 경사면 충돌, 폴 충돌, 오프셋 충돌 및 언더라이드 충돌 시에 사고 감지가 늦어 에어백 점화시간이 요구 점화시간 보다 늦게 될 뿐만 아니라 러프 로드 주행 시에 에어백이 작동될 수도 있기 때문이다.^{4,5,7)} 이러한 문제점을 해결하기 위하여 속도

변화 대신에 일률 변화,⁴⁾ 감가속도 변화⁵⁾ 혹은 감가속도의 제곱의 합⁷⁾ 등의 변수가 각각의 임계값 보다 크게 되면 에어백을 작동시키는 알고리즘이 개발되었다. 이러한 알고리즘에서는 변수의 값과 그 임계값을 시간의 함수로 표현하였다.

마이크로 프로세서의 저역 필터를 통과한 가속도 신호를 $a(t)$ 라고 하면 다음의 수식으로부터 이들 변수를 계산할 수 있다.

$$\text{속도 변화 } v(t) = \int_0^t a(\tau) d\tau \quad (1)$$

$$\text{감가속도 변화 } j(t) = \frac{da(t)}{dt} \quad (2)$$

$$\text{혹은 } \Delta a(t) = a(t_{i+1}) - a(t_i) \quad (3)$$

$$\text{에너지 } e(t) = \frac{1}{2} mv(t)^2 \quad (4)$$

$$\text{일률 } p(t) = \frac{de(t)}{dt} = mv(t)a(t) \quad (5)$$

$$\text{일률 변화 } \frac{dp(t)}{dt} \approx v(t)j(t) + a(t)^2 \quad (6)$$

$$\text{감가속도 제곱의 합 } \int_0^t a(\tau)^2 d\tau \quad (7)$$

여기서 $a(t)$ 는 충격력과 상관있는 신호라고 할 수 있다. 따라서, 정면 고정 벽면 충돌과 같이 차량의 전면이 접촉하는 사고에서는 큰 충격력이 짧은 시간에 작용하여 짧고 높은 감가속도 신호를 얻게 되고 경사면 충돌, 폴 충돌, 오프셋 충돌 혹은 언더라이드 충돌과 같이 차량의 일부분에 변형이 집중되는 경우에는 상대적으로 작은 충격력이 긴 시간에 걸쳐 작용하므로 길고 낮은 감가속도 신호를 얻게 된다.

Figure 1에서 알 수 있듯이 필터를 통과한 감가속도 신호라도 그 값이 심하게 변화하므로 감가속도의 미분값인 감가속도 변화는 더욱 심하게 변화한다. 이러한 연유로 감가속도 변화를 변수로 사용한 알고리즘은 노이즈에 민감하다는 단점이 있다.⁵⁾ 이러한 단점을 보완하기 위하여 양의 감가속도 변화만을 취하고 일정 시간에 걸쳐 평균을 계산하는 방법이 사용되었다.⁵⁾ 이렇게 노이즈에 민감함에도 불구하고 감가속도 변화를 알고리즘의 변수로 사용하는 이유는 감가속도 변화

가 감가속도의 미분값으로서 다음 순간에 작용할 충격력과 밀접한 관련이 있고 사고의 정도를 예측할 수 있기 때문이다.⁵⁾

경사면 충돌, 폴 충돌 혹은 오프셋 충돌 시에 변형이 일부분에 집중되고 프레임이 좌굴되기 때문에 감가속도 신호에 굴곡이 많이 발생한다. 이러한 사고 중에 감가속도 제곱의 합을 계산하면 사고를 일찍 감지할 수 있다고 한다. 따라서 감가속도 제곱의 합을 변수로 사용한 알고리즘이 개발되었다.⁷⁾

한편, 감가속도 제곱과 그 임계값을 속도 변화의 함수로 나타낸 2차원적 알고리즘도 개발되었다.⁶⁾ 이전의 알고리즘에서 사용한 속도 변화는 감가속도 신호를 사고 초기부터 적분하여 얻은 값이지만, 이 2차원 알고리즘에서 사용한 속도 변화는 일정한 시간 구간에 걸쳐 적분하여 얻은 값으로서 그 시간 동안에 누적된 충격량과 상관 있는 값이다. 따라서 이 알고리즘을 사용하면 매 순간에 작용하는 충격력과 일정 시간에 걸쳐 누적된 충격량을 동시에 감지할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 육성하는 차량에 따라 속도 변화를 계산하는 시간 구간을 조정하여야 하는 단점이 있다.

본 연구의 대상 차량에 대한 이러한 알고리즘의 적용 가능성을 검토하고자 이러한 알고리즘을 사용하여 본 연구 대상 차량의 하나인 미니밴의 각 충돌 유형에 대한 에어백 점화시간을 산출하였다. 한편, 각 충돌 유형에 대한 요구 점화시간도 산출하였다. 요구 점화시간을 산출하는 방법으로 125 mm - 30 msec 조건을 사용하였는데, 이 조건은 승객이 전방으로 125 mm 움직이기 30 msec 전에 에어백을 점화하여야 한다는 조건이다. 정위치(이때 의자는 중간 위치에 있음)에 있는 50th %ile 남자(중간 체격의 남자)와 완전히 전개된 에어백과의 간격이 대개 125 mm이고 에어백이 점화된 후 전개될 때까지 소요되는 시간이 약 30 msec이므로 125 mm - 30 msec 조건은 백 슬랩 현상을 방지하기 위한 조건이라고 말할 수 있다. 승객이 125 mm 움직이는데 소요

되는 시간은 충돌 시험 중에 얻어진 영상 사진을 분석하여 얻을 수도 있으나 식 (1)에 주어진 속도 변화를 다시 한번 적분하여 계산하는 것이 보통이다. 따라서 본 논문에서도 속도 변화를 다시 한번 적분하여 승객이 125 mm 움직이는데 소요되는 시간을 산출한 후 이 보다 30 msec 이전을 에어백의 요구 점화시간으로 정하였다.

위에서 언급한 5가지 알고리즘을 사용하여 얻은 에어백 점화시간을 요구 점화시간의 백분율로 Table 1에 열거하였다.

Table 1 The Ratio of TTF to RTTF for Frontal Crash Modes of a Minivan

Crash Mode \ Algorithm	vel. vs. time	power rate vs. time	Δa vs. time	$\Sigma a'$ vs. time	a'' vs. vel.
12.8 km/h frontal	No Fire	No Fire	No Fire	No Fire	No Fire
40 km/h rough road	No Fire	No Fire	No Fire	No Fire	No Fire
15 km/h offset	No Fire	No Fire	No Fire	No Fire	No Fire
22.4 km/h frontal	75%	60%	60%	68%	62%
48 km/h frontal	70%	63%	70%	70%	67%
56 km/h frontal	104%	73%	104%	89%	94%
30.4 km/h pole	158%	128%	89%	173%	155%
32 km/h underride	170%	137%	120%	178%	136%
35.2 km/h left oblique	38%	33%	56%	35%	37%
35.2 km/h right oblique	41%	36%	44%	39%	44%
48 km/h pole	173%	160%	63%	183%	108%
48 km/h right oblique	202%	41%	41%	50%	43%
56 km/h offset	92%	24%	33%	27%	27%

여기서 No Fire는 에어백이 작동되지 않는 비전개 상황을 의미하며, 100% 이상의 백분율은

에어백 점화시간이 요구 점화시간 보다 늦어지게 됨을 의미한다.

5가지 알고리즘 모두 12.8 km/h 정면 충돌, 40 km/h 러프 로드 주행 및 15 km/h 오프셋 충돌에 대하여 비전개 조건을 만족시켰다. 하지만, 32 km/h 언더라이드 충돌에 대하여 요구 점화시간 보다 늦은 점화시간을 얻게 되었다. 이 밖에도 속도 변화를 변수로 사용한 알고리즘의 경우 56 km/h 정면 고정 벽면 충돌, 30.4 km/h와 48 km/h 폴 충돌 및 48 km/h 우사면 충돌에 대하여 요구 점화시간 보다 늦은 점화시간을 얻게 되었다. 일률 변화를 변수로 사용한 알고리즘의 경우 30.4 km/h와 48 km/h 폴 충돌 및 56 km/h 오프셋 충돌에 대하여 요구 점화시간 늦은 점화시간을 얻게 되었다. 감가속도 변화를 변수로 사용한 알고리즘의 경우 56 km/h 정면 고정 벽면 충돌에 대하여 요구 점화시간 보다 늦은 점화시간을 얻게 되었다. 감가속도의 제곱의 합을 변수로 사용한 알고리즘의 경우 30.4 km/h와 48 km/h 폴 충돌에 대하여 요구 점화시간 보다 늦은 점화시간을 얻게 되었다. 또한, 감가속도의 제곱과 속도변화를 사용한 2차원 알고리즘의 경우에도 30.4 km/h와 48 km/h 폴 충돌에 대하여 요구 점화시간 보다 늦은 점화시간을 얻게 되었다. 따라서, 이들 알고리즘을 사용하였을 경우 주로 폴 충돌과 언더라이드 충돌에 대하여 요구 점화시간 보다 빠른 점화시간을 얻을 수 없었다.

위의 과정을 통하여 기존의 알고리즘은 본 연구의 대상 차량에 적합하지 않음이 밝혀졌으므로 본 논문에서는 새로운 변수를 사용한 충돌 판별 알고리즘을 개발하여야만 했다. 본 논문에서 개발한 알고리즘은 감가속도 변화의 절대값과 속도 변화의 곱, 즉 $|\Delta a(t)|v(t)$ 와 그 임계값을 속도 변화의 함수로 표현하는 것이다. 여기서 속도 변화는 감가속도를 사고 초기부터 적분하여 얻은 값으로서 속도 변화를 계산하는 시간 구간의 크기를 고려할 필요가 없다. 이미 언급한 바와 같이 감가속도 변화는 사고의 정도를 예측할 수 있다는 장점이 있는 반면에 노이즈에 민감하다는

단점을 갖고 있다.⁵⁾ 일반적으로 변수가 적분을 통하여 계산되는 증가함수일 때 노이즈에 둔감하다고 알려져 있다.^{5,7)} 감가속도 변화에 절대값을 취하고 감가속도의 적분값인 속도 변화를 곱한 이유는 이 변수를 증가함수로 만드는 동시에 사고의 정도를 예측하는 장점을 이용하기 위한 것이다. 또한 이 변수와 그 임계값을 속도 변화의 함수로 표현한 것은 이 변수와 속도 변화를 동시에 감지하는 2차원 알고리즘의 장점을 이용하기 위한 것이다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 실차 적용 가능성을 검토하기 위하여 먼저 미니밴의 여러 충돌 신호에 대하여 변수 값의 변화를 속도 변화의 함수로 나타내었다. Figure 2에는 기존의 알고리즘으로 빠른 점화시간을 얻기 어려웠던 폴 충돌과 언더라이드 충돌에 대한 변수의 값을 비전개 조건인 12.8 km/h 고정 벽면 충돌에 대한 변수의 값과 함께 나타내었다. Figure 2에 나타내었듯이 폴 충돌과 언더라이드 충돌의 초기에 변수의 값이 비전개 조건의 변수 값 보다 커짐으로써 사고 감지가 가능하다는 것을 알 수 있다.

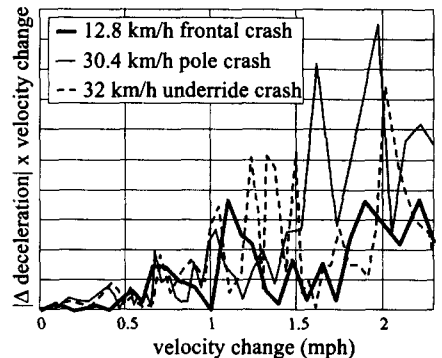


Fig. 2 Variation of the new metric for the frontal, pole and underride crashes

이와 같은 방법으로 다른 충돌 유형에 대한 에어백 점화시간도 산출하였으며, 이를 요구 점화시간에 대한 백분율로 Table 2의 왼쪽 열에 열거하였다. 이 결과에서 알 수 있듯이 에어백의

전개를 요구하지 않는 충돌에 대해서는 에어백이 전개되지 않았고 에어백의 전개를 요구하는 충돌에 대해서는 점화시간이 요구 점화시간 보다 빠르게 되었다. 즉 충돌 판별 알고리즘의 요구 조건을 모두 만족시켰다.

Table 2 The Ratio of TTF to RTTF for Frontal Crash Modes of a Minivan and a Sports Utility Vehicle with a New Crash Discrimination Algorithm Used

Vehicle Crash Mode	Minivan	Sports Utility Vehicle
12.8 km/h frontal	No Fire	No Fire
40 km/h rough road	No Fire	No Fire
15 km/h offset	No Fire	No Fire
22.4 km/h frontal	70%	81%
48 km/h frontal	67%	83%
56 km/h frontal	98%	97%
30.4 km/h pole	89%	98%
32 km/h underride	90%	88%
35.2 km/h left oblique	56%	44%
35.2 km/h right oblique	60%	41%
48 km/h pole	75%	79%
48 km/h right oblique	50%	56%
56 km/h offset	62%	40%

충돌 판별 알고리즘은 차량에 따라서도 그 성능이 달라질 수 있다. 따라서 본 알고리즘을 차체와 프레임 구조의 스포츠 유틸리티 차량에도 적용하여 보았다. 이러한 차량의 프레임은 그 강성이 크므로 구조물과의 충돌 시에 감가속도 신호가 커져 동일한 충돌 유형에 대하여 일체형 구조의 승용차 보다 요구 점화시간이 빠른 것이 보통이다. Figure 3에는 48 km/h 정면 고정 벽면 충돌 시험 중에 얻은 미니밴과 스포츠 유틸리티 차량의 감가속도 신호를 나타내었는데, 스포츠 유틸리티 차량의 감가속도 신호가 더 큰 것을 알 수 있다. 또한 이 스포츠 유틸리티 차량의 요구

점화시간을 산출하였는데 48 km/h 우사면 충돌 경우를 제외한 모든 충돌 모드에서 미니밴의 요구 점화시간 보다 빨랐다. 따라서 이와 같은 차체와 프레임 구조의 차량에 대하여 알고리즘의 요구 조건을 모두 만족시킨다는 것은 그리 쉬운 일이 아니다.

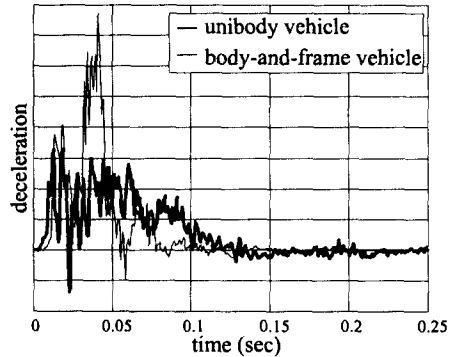


Fig. 3 Deceleration pulses of a unibody vehicle and a body-and-frame vehicle during the 48 km/h frontal crash

본 논문에서 제안한 알고리즘이 이 스포츠 유틸리티 차량에도 적용 가능한지 검토하기 위하여 이 차량의 모든 충돌 유형에 대하여 에어백 점화시간을 산출하였으며 이를 Table 2의 오른쪽 열에 열거하였다. 미니밴의 경우와 마찬가지로 에어백의 전개를 요구하지 않는 충돌에 대해서는 에어백이 전개되지 않았고 에어백의 전개를 요구하는 충돌에 대해서는 점화시간이 요구 점화시간 보다 빠르게 되었다. 이로서 본 논문에서 제안한 알고리즘은 일체형 구조의 미니밴뿐만 아니라 차체와 프레임 구조의 스포츠 유틸리티 차량에 대하여 충돌 판별 알고리즘의 요구 조건을 모두 만족시켰음을 알 수 있었다.

3.2 새로운 가속도 센서의 위치

본 연구의 대상 차량인 미니밴의 좌사면 충돌 시험(left oblique crash test)과 우사면 충돌 시험 중 터널에 위치한 가속도 센서에서 측정된 감

가속도 신호를 Fig. 4에 나타내었다.

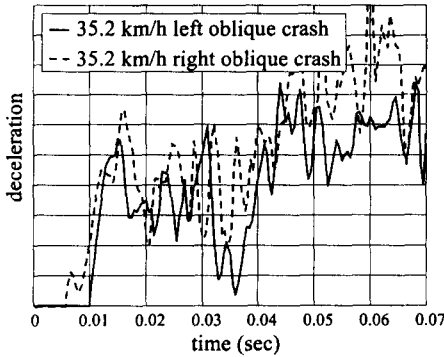


Fig. 4 Deceleration pulses measured at the tunnel during the left and right oblique crashes

후드 아래의 구조가 좌우 대칭이 아니고 시험 사이에 편차가 존재하기 때문에 두 감가속도 신호가 약간 상이하나 유형과 크기 관점에서 아주 흡사함을 알 수 있다. 또한, Table 2의 왼쪽 열에 언급하였듯이 좌사면 충돌 신호에 의한 에어백 점화시간의 백분율은 56%이고 우사면 충돌 신호에 의한 에어백 점화시간의 백분율은 60%로서 그 점화시간도 흡사함을 알 수 있다. 뿐만 아니라, 현재 장착되고 있는 안전 ECU는 전방 에어백을 동시에 점화하도록 설계되어 있어서 경사면 충돌이나 오프셋 충돌과 같은 비대칭 충돌 중에도 운전자측 에어백과 승객측 에어백을 동시에 작동시킨다.

이러한 상황에서 정면 충돌 중 비대칭 충돌이 50% 이상을 차지하고,⁸⁾ 좌측 오프셋 충돌로 인한 운전자의 상해율과 치사율이 높다는 보고는 시사하는 바가 크다.¹³⁾ 이렇게 상해율과 치사율이 높은 것은 충돌측의 변형량이 커서 안전 공간이 축소되기 때문이다. 또한, 충격력이 차량의 무게 중심점을 통과하지 않아서 차량이 회전하게 되므로 관성으로 인하여 앞으로 움직이게 되는 승객이 에어백에 안착하지 못하고 A-필러나 계기판과 같은 차량 내부와 충돌할 수 있기 때문이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 충돌측 에어백을 더욱 빨리 점화하여 승객이 에어백에 안착하도록 해야 한다. 즉 충돌 위치에 따라 운전자측 에어백과 승객측 에어백이 서로 다른 점화 시간에 점화되도록 설계하는 것이 타당하다. 이와 같은 에어백 시스템은 스마트 에어백 시스템의 목적에도 적합하다고 말할 수 있다. 이미 언급한 바와 같이 스마트 에어백은 사고의 정도에 따라 에어백의 출력을 조절하여야 한다. 비대칭 충돌 시에 충돌측과 상대측의 사고의 정도가 서로 다르기 때문에 사고의 정도에 따라 에어백의 출력을 조절하기 위해서도 운전자측 에어백과 승객측 에어백이 개별적으로 작동하도록 설계하는 것이 타당하다. 만약 좌우의 A-필러, B-필러 혹은 락커에 가속도 센서를 하나씩 장착한 후 측정된 감가속도 신호를 개별적으로 처리하면 운전자측 에어백과 승객측 에어백을 개별적으로 작동시킬 수 있을 것이다. Figure 5에 이와 같은 개념의 에어백 제어 시스템을 도식적으로 표현하였다.

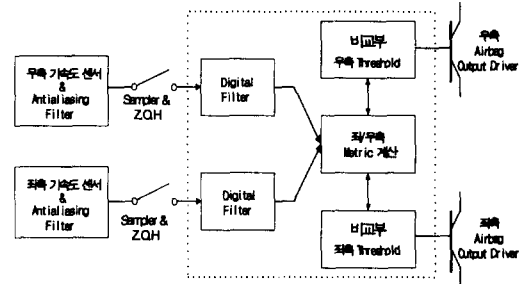


Fig. 5 Schematic diagram of a new air bag control system with two accelerometers

Figure 6(a)에는 좌사면 충돌 시에 왼쪽 비필러·락커 지점과 오른쪽 비필러·락커 지점에서 측정된 감가속도 신호를 나타내었는데, 충돌 초기에 왼쪽 비필러·락커 지점에서 측정된 감가속도 신호가 더 큰 값을 알 수 있다. 또한, Fig. 6(b)에는 우사면 충돌 시에 측정된 감가속도 신호를 나타내었는데, 오른쪽 비필러·락커 지점에서 측

정한 신호가 더 큼을 알 수 있다. 이들 신호에 대하여 본 논문에서 제안한 변수를 속도 변화의 함수로 Fig. 7(a)와 (b)에 나타내었다.

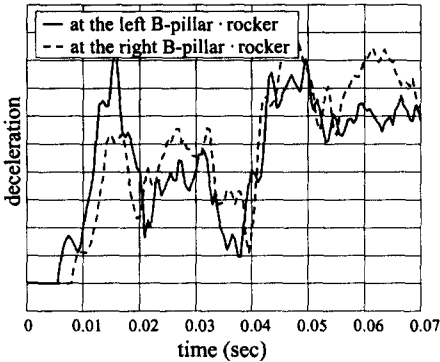


Fig. 6(a) Deceleration pulses measured at B-pillar-rocker locations during the left oblique crash

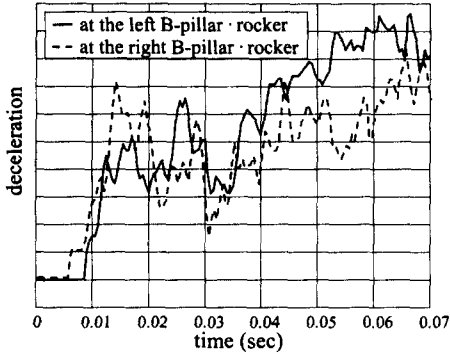


Fig. 6(b) Deceleration pulses measured at B-pillar-rocker locations during the right oblique crash

이 경우 충돌측의 변수 값이 충돌 초기에 현격히 높은 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 개발한 알고리즘을 사용하여 35 km/h 좌사면 충돌과 우사면 충돌, 15 km/h 좌측 오프셋 충돌 및 56 km/h 좌측 오프셋 충돌에 대하여 운전자측 에어백과 승객측 에어백의 점화시간을 각각 결정하였으며 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 15 km/h 오프셋 충돌에 대해서는 비전개 조건을 만

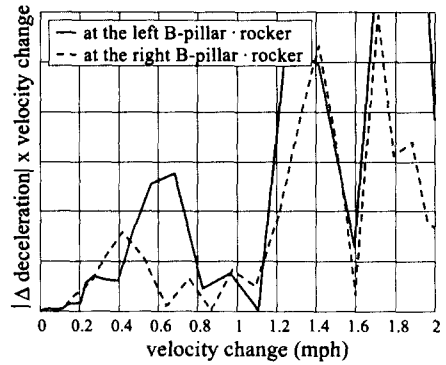


Fig. 7(a) $|\Delta \text{ deceleration}| \times \text{velocity change}$ pulses of B-pillar-rocker locations during the left oblique crash

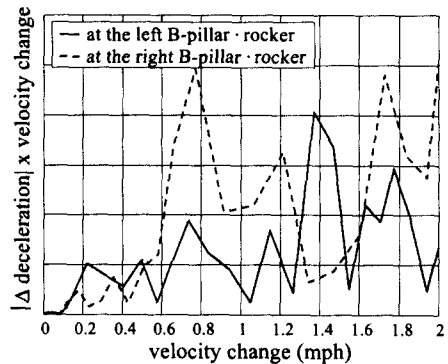


Fig. 7(b) $|\Delta \text{ deceleration}| \times \text{velocity change}$ pulses of B-pillar-rocker locations during the right oblique crash

족하였고 그 밖의 비대칭 충돌에 대해서는 충돌측 에어백의 점화시간이 상대측 에어백의 점화시간 보다 빨랐다. 또한, 충돌측 에어백의 점화시간은 물론이고 상대측 에어백의 점화시간도 125 mm - 30 msec 조건에서 산출한 요구 점화시간 보다 빠르게 되었음을 알 수 있었다.

비대칭 충돌이 아닌 대칭 충돌 유형에 대해서도 동일한 방법으로 에어백의 점화시간을 산출한 후 Table 4에 나타내었다. 예상대로 대칭 충돌의 경우 운전자측과 승객측 에어백의 점화시간이

거의 동일하였으며 요구 점화시간 보다 빨랐음을 알 수 있었다.

Table 3 The Ratio of TTF to RTTF for Asymmetric Crash Modes with Two Accelerometers Used

Crash Mode	Sensor Location	TTF/RTTF
15 km/h offset	left B-pillar · rocker	No Fire
	right B-pillar · rocker	No Fire
35.2 km/h left oblique	left B-pillar · rocker	32%
	right B-pillar · rocker	80%
35.2 km/h right oblique	left B-pillar · rocker	51%
	right B-pillar · rocker	37%
56 km/h offset	left B-pillar · rocker	28%
	right B-pillar · rocker	40%

Table 4 The Ratio of TTF to RTTF for Symmetric Crash Modes with Two Accelerometers Used

Crash Mode	Sensor Location	TTF/RTTF
22.4 km/h frontal	left B-pillar · rocker	57%
	right B-pillar · rocker	57%
48 km/h frontal	left B-pillar · rocker	60%
	right B-pillar · rocker	63%
56 km/h frontal	left B-pillar · rocker	83%
	right B-pillar · rocker	83%
32 km/h underride	left B-pillar · rocker	82%
	right B-pillar · rocker	95%
48 km/h pole	left B-pillar · rocker	95%
	right B-pillar · rocker	83%

4. 결론

본 논문에서는 감가속도 변화의 절대값과 속도 변화의 곱을 속도 변화의 함수로 표현하고 그 임계값도 속도 변수의 함수로 표현한 새로운 충돌 판별 알고리즘을 개발하였다. 본 연구의 대상 차량인 일체형 구조의 미니밴과 차체와 프레임 구조의 스포츠 유틸리티 차량의 모든 충돌 유형에 대하여 그간 개발된 알고리즘은 그 요구조건을 만족시키지 못하였으나 본 논문에서 개발한 알고리즘은 모든 요구조건을 만족시켰다. 따라서, 본

논문에서 개발한 충돌 판별 알고리즘은 일체형 구조의 차량뿐만 아니라 차체와 프레임 구조의 차량에도 적용할 수 있는 강건한 알고리즘이라고 할 수 있다.

또한, 오른쪽과 왼쪽 비필러·락커 지점에서 측정된 감가속도 신호를 바탕으로 본 논문에서 개발한 알고리즘을 통하여 운전자측 에어백과 승객측 에어백의 점화시간을 각각 결정하였다. 비대칭 충돌의 경우 충돌 초기에 충돌측 신호에 대한 변수 값이 현저히 크므로 충돌측 에어백의 점화시간이 상대측 에어백의 점화시간 보다 빨라질 수 있음을 보여 주었다. 이것은 다음의 두 가지 중요성을 갖는다. 첫째, 특별히 비대칭 충돌 시에 승객이 에어백에서 벗어나 차량의 내부와 부딪히는 2차 충돌의 가능성을 크게 줄일 수 있을 것이다. 둘째, 스마트 에어백 시스템에서 충돌 위치에 따라 운전자측과 승객측의 에어백의 출력도 차별할 수 있을 것이다. 즉, 두 개의 가속도 센서를 차량의 좌우에 장착하여 스마트 에어백 시스템을 개발하면 스마트 에어백의 목적에 합당하게 운전자와 승객에 대한 사고의 정도를 차별적으로 판단하여 운전자측 에어백과 승객측 에어백의 점화시간과 출력을 조절할 수 있을 것이다.

한편, 가속도 센서를 반드시 B-필러·락커 지점에 장착할 필요는 없고 애프트 레일(aft rail)이나 A-필러·락커 지점에도 장착하여 소기의 목적을 달성할 수 있을 것이다. 하지만, 본 논문에서 검토한 바와 같이 전방 에어백의 제어를 위하여 오른쪽과 왼쪽 비필러·락커 지점에 가속도 센서를 장착한다면 측면 충돌(side impact)의 감지를 위하여 양측에 장착한 센서와 동일한 유닛 내에 장착할 수 있는 장점도 있을 것이다.

참고 문헌

- 1) NHTSA Docket No. NHTSA 99-4405; Notice 1.
- 2) NHTSA Docket No. NHTSA 99-6407; Notice 1.

- 3) JPL Final Report, "Advanced Air Bag Technology Assesment", April 1998.
- 4) J. L. Allen, "Power-Rate Crash Sensing Method for Safety Device Actuation," SAE Technical Paper 920478, 1992.
- 5) T. Gioutsos, "A Predictive Based Algorithm for Actuation of an Airbag," SAE Technical Paper 920479, 1992.
- 6) J. Kanamoto, M. Miyamori, K. Jinno and M. Hirao, "Electronic Crash Sensing Unit for Airbag," SAE Technical Paper 940624, 1994.
- 7) 박서욱, 전만철, "전자식 에어백 제어 장치의 충돌 판정 알고리즘," 한국 자동차학회, 논문번호 98134, 1998.
- 8) T. G. Adams, M. Huang, R. W. Hultman, J. C. Marsh and S. E. Henson, "The Development of an Advanced Air Bag Crash Sensing System," SAE Technical Paper 905140, 1990.
- 9) D. S. Breed, W. T. Sanders and V. Castelli, "A Critique of Single Point Sensing," SAE Technical Paper 920124, 1992.
- 10) G. L. Mahon, R. L. Hensler, "Tradeoffs Encountered in Evaluating Crash Sensing Systems," SAE Technical Paper 930648, 1993.
- 11) J. P. Kelly, "Sensing Considerations and Tradeoffs for Single Point Sensing," SAE Technical Paper 932916, 1993.
- 12) D. B. Rich, W. K. Kosiak, G. J. Manlove and D. L. Schwarz, "A Remotely Mounted Crash Detection System," SAE Technical Paper 973240, 1997.
- 13) S. L. Stucki, W. T. Hollowell and O. Fessahaie, "Determination of Frontal Offset Test Conditions Based on Crash Data," NHTSA Paper 98-S1-O-02, 1998.
- 14) A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, "Discrete-Time Signal Processing," 2 ed., Prentice-Hall, pp. 142-147, 1989.