

안전띠 착용 유무에 근거한 두 단계의 충돌 가혹도 수준을 갖는 충돌 판별 알고리즘

박 서 욱^{*1)} · 이 재 협²⁾

한국과학기술원 기계공학과¹⁾ · (주) 현대 오토넷 Safety Electronics 팀²⁾

Crash Discrimination Algorithm with Two Crash Severity Levels Based on Seat-belt Status

Seo-Wook Park^{*1)} · Jae-Hyeob Lee²⁾

^{*1)}Department of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

²⁾Hyundai Autonet Co., Ltd., San 136-1, Bubal-eub, Incheon-si, Gyeonggi-do 467-860, Korea

(Received 14 June 2002 / Accepted 16 January 2003)

Abstract : Many car manufacturers have frequently adopted an aggressive inflator and a lower threshold speed for airbag deployment in order to meet an injury requirement for unbelted occupant at high speed crash test. Consequently, today's occupant safety restraint system has a weakness due to an airbag induced injury at low speed crash event. This paper proposes a new crash algorithm to improve the weakness by suppressing airbag deployment at low speed crash event in case of belted condition. The proposed algorithm consists of two major blocks - crash severity algorithm and deployment logic block. The first block decides crash severity with two levels by means of velocity and crash energy calculation from acceleration signal. The second block implemented by simple AND/OR logic combines the crash severity level and seat belt status information to generate firing commands for airbag and belt pretensioner. Furthermore, it can be extended to adopt additional sensor information from passenger presence detection sensor and safing sensor. A simulation using real crash data for a 1,800cc passenger vehicle has been conducted to verify the performance of proposed algorithm.

Key words : NCAP(New Car Assessment Program; 신차 평가 제도), Airbag-induced injury(에어백으로 인한 상해), Depowered airbag(저압형 에어백), Multi-stage inflator(다단계 가스 발생기), Crash severity level(충돌 가혹도 수준), Required time-to-fire(R-TTF, 요구 점화 시간), Belt pretensioner(안전띠 조임기), Deployment logic(전개 로직), Passenger presence detection sensor(조수석 승객 유무 감지 센서), Safing sensor(안전 센서)

1. 서 론

자동차 충돌 시의 승객 안전에 관한 사항은 세계 각 국에서 법규로 규정되어 있어서, 자동차 메이커는 자동차 판매 대상국에서 요구하는 법규를 만족

시키기 위한 고안전 차체 설계 및 승객 보호 장구 개발이 필수적이다. 정면 충돌 시의 승객 보호요건을 규정한 미연방 도로 교통 안전국(NHTSA)의 FMVSS 208은 자동차 충돌 안전 법규의 대표적인 예라고 하겠다.¹⁾ 이 법규에서 요구하고 있는 시험조건은 안전띠 착용 및 미 착용인 상태에 대해서 각각 30mph의 속도로 정면 및 30도 좌우측으로 고정벽에

* To whom correspondence should be addressed.
Seowook.Park@mclab3.kaist.ac.kr

충돌하는 것이다. 이때 승객 상해치(HIC 또는 Chest G 등)가 정해진 한계치를 초과하면 안된다.

유럽에서의 대표적인 자동차 안전에 관한 법규는 유럽 연합에 의한 오프셋 변형벽 충돌 시의 승객 보호요건에 관한 법규(EU Directive 96/79 EC)이다.²⁾ 이 법규는 1998년 10월부터 모든 신차에 적용되고 있다. 여기서 규정하고 있는 시험 조건은 35mph의 속도로 변형벽(Deformable Barrier)에 40% 오프셋 충돌하는 것이다.

이 밖에 잡지사, 기관, 단체 등에서 자동차의 안전성을 평가하여 소비자에게 공개함으로써 자동차 선택의 기준으로 사용하게 하는 이른바 준법규 시험이 있다. 이 중 정면 충돌과 관련하여 대표적인 것이 신차 평가 제도(NCAP; New Car Assessment Program)로서, 국내에서는 56kph 정면 고정벽 충돌 시험이, 유럽(Euro NCAP)은 64kph 40% 오프셋 변형벽 충돌 시험이, 호주(ANCAP)는 56kph 정면 고정벽 충돌 시험과 64kph 40% 오프셋 변형벽 충돌 시험이, 미국에서는 56kph 정면 고정벽 충돌 시험이 있다.³⁾

이와 같은 자동차 안전과 관련된 법규 또는 준법규 제도를 만족하기 위해서 자동차 메이커는 대개 고압의 에어백 가스 발생기(Inflator)를 주로 채택하였다. 특히, 북미의 FMVSS 208 시험 조건 중에서 안전띠 미 착용 상태(Unbelted condition)에서의 충돌 시험 조건이 고압의 에어백 가스 발생기의 사용을 불가피하게 만드는 요인이 되어 왔다.

또한, 고속 충돌에서 에어백 전개 시간을 최대한 빠르게 하기 위하여 에어백 전개를 위한 임계 속도는 다소 낮게 설정하는 경향이 강했다. 따라서 저속의 충돌 상황에서 고압 팽창 에어백이 전개될 가능성이 높게 된다. 더욱이 에어백에 근접한 위치(Out-of-Position)에 있는 승객은 에어백으로 인한 상해(Airbag-induced injury)를 입을 수 있는 위험이 존재한다.

체구가 작은 여성 운전자나 조수석에서 뒤보기로 장착된 유아시트(Rear-facing infant seat)에 있는 유아가 고압으로 전개된 에어백으로 인해 심각한 상해를 입거나 사망할 수도 있다고 알려졌다. 실제로 NHTSA의 조사에 의하면 미국 내에서 1999년부터 2000년 3월까지 조수석에 앉은 112명의 유아, 운전

석에 앉은 71명의 성인, 조수석에 앉은 11명의 성인이 저속 충돌에서 에어백으로 인해 치명적인 상해를 입은 것으로 알려졌다.⁴⁾

이러한 사고는 근본적으로 안전띠 착용 유무는 무시한 채, 저속의 충돌에서 에어백을 민감하게 전개하고 고압의 에어백 가스 발생기를 사용하는 데에 원인이 있다고 사료된다. 즉, 안전띠를 착용한 상태에서는 저속 충돌에서 안전띠 또는 안전띠 조임기(Belt Pretensioner)만으로도 승객을 충분히 구속할 수 있음에도 불구하고, 불필요하게 에어백을 전개 시킴에 따라 오히려 에어백으로 인한 상해를 입을 가능성이 발생하는 것이다. 또한, 안전띠를 착용하지 않은 상태의 자동차 사고 시, 에어백 전개 시점이 지연되면 승객의 전방 이동 변위가 과다한 상태에서 에어백이 전개 될 가능성이 있다. 이때 결과적으로 승객과 에어백이 지나치게 근접함으로써 에어백으로 인한 상해를 입게 되는 것이다.

이러한 기존의 에어백 시스템의 문제점을 개선하기 위해서 다음의 몇 가지 해결 방안을 고려할 수 있다.

- 1) 기존의 에어백 가스 발생기와 비교해서 낮은 전개 압력을 갖는 가스 발생기를 사용하는 방법. 즉, 소위 저압형 에어백(Depowered airbag)을 채택하는 방법
- 2) 여러 가지 센서를 사용하여 안전띠 착용 유무, 승객의 체구, 무게 및 위치 등에 대한 정보 및 충돌 가혹도(Crash severity)에 따라 다단계 가스 발생기(Multi-stage inflator)를 제어하는 스마트 에어백 시스템(Smart airbag system)을 채택하는 방법
- 3) 안전띠의 착용 유무를 감지해서, 안전띠를 착용한 경우에는 에어백 전개를 위한 임계 충돌 속도를 높여주는 방법

여기서, 첫 번째 방법으로는 현재의 에어백 문제점을 근본적으로는 해결하기는 힘든 실정이다. 특히, 저압형 에어백은 고속 충돌 사고 시 안전띠를 착용하지 않은 성인 남성에게 대한 구속력이 저하될 수 있는 문제점을 안고 있다. 이러한 이유로 저압형 에어백은 스마트 에어백의 도입이 기술적으로 가능한 시점 이전까지 한시적으로 적용하도록 되어 있다.⁵⁾

기존 에어백 시스템의 문제점을 근본적으로 해결

하기 위한 대안은 스마트 에어백 시스템의 도입이다. 미국의 NHTSA 는 2000년 5월에 스마트 에어백에 대한 최종 범규를 확정하여 발표하였다.⁶⁾ 스마트 에어백 시스템에서 요구하는 것은 다양한 신체조건에 승객에 대한 상태를 인식하여 에어백으로 인해 유발될 수 있는 승객 상해의 위험을 최소화하는 것이다.

이러한 스마트 에어백 시스템은 Table 1의 예에서 보는 바와 같이 기존의 시스템에 비해 요구하는 입, 출력 신호가 매우 복잡해진다.⁷⁾ 더욱이, 스마트 에어백의 핵심 기술이라고 할 수 있는 승객 감지 센서, 충돌 가속도 감지 센서, 충돌 가속도 판별 알고리즘 등의 성능에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서는 아직도 많은 기술적 난제들이 존재한다.

따라서 본격적인 스마트 에어백 시스템이 도입되기 이전에, 기존 에어백 시스템의 문제점을 개선할 수 있는 단계적이며 현실적인 방안이 위의 세 번째에 기술한 방법이다. 즉, 승객의 안전띠 착용 유무에 근거한 에어백 시스템의 제어가 그것이다.

시스템 요건에 의해 에어백 전개를 위한 임계충돌 속도가 안전띠 착용 유무에 따라 두 단계로 설정되면, 충돌 신호 분석을 통해 두 단계의 충돌 가속도 수준을 판별할 수 있는 충돌 판별 알고리즘이 요구된다. 또한, 판별된 충돌 가속도에 의해 에어백 및 안전띠 조임기 등의 구속 장구를 제어할 수 있는 전개 로직(Deployment logic)의 개발도 필수적이다.

본 논문에서는 충돌 가속도에 비례하는 물리량으

로서 속도와 충돌 에너지를 도입하여, 두 단계의 충돌 가속도 수준을 판별하는 알고리즘을 소개하고자 한다. 또한, 판별된 두 단계의 충돌 가속도 수준과 안전띠의 상태 및 안전 센서, 조수석 승객 유무 감지 센서로부터의 센서 정보를 종합적으로 판단하여 에어백 및 안전띠 조임기를 제어할 수 있는 전개 로직을 개발하였다. 이것은 간단한 AND 및 OR로직으로 쉽게 구현할 수 있는 방법이다. 실제로 제안된 알고리즘을 저가형 8비트 마이크로컨트롤러로 구현하였다.

안전띠 착용 유무에 따른 두 단계의 충돌 가속도 판별 알고리즘은 Siemens, TRW, Delco 등 몇몇 에어백 전장 메이커에서 일부 채택하고 있는 것으로 알려져 있으나 그 구체적인 방법은 업체의 노하우로서 핵심 기술이 공개적으로 발표된 사례가 거의 없다. 본 논문 저자의 현장 경험을 통해 알고 있는 바로는, 대부분의 회사에서 안전띠의 착용 및 미 착용 상태에서 각각 얻어진 알고리즘의 임계치를 메모리에 저장해서 그 값을 참조하는 방식, 즉 소위 테이블 검색(Table look-up) 방식으로 구현하고 있다. 그러나 알고리즘이 복잡하고 변수 값 보정(Parameter calibration)이 까다로운 뿐 아니라, 보정된 변수값은 많은 메모리를 필요로 하기 때문에 저가의 마이크로컨트롤러로 구현하기에는 어려움이 많다.

2. 에어백 전개 및 비 전개를 위한 임계 속도

Fig. 1은 충돌 감지 시스템의 개발을 위한 간략화된 흐름도를 보여주고 있다. 개발 초기에 자동차 메이커에서는 시스템의 요건을 결정한다. 즉, 에어백 전개 및 비 전개를 위한 임계 속도 및 요구 에어백 점화시간(Required time-to-fire; R-TTF) 등을 결정한다. 여기서, 에어백 전개를 위한 임계 속도는 시험 또는 해석적인 방법에 의해, 구속되지 않은 승객의 상해가 우려되는 임계 충돌 속도를 분석하여 결정한다. 이러한 임계 속도는 자동차 구조 특성 및 자동차 메이커의 개발 목표 등에 따라서 다소 차이가 있다. Table 2는 안전띠 착용 유무에 따른 에어백 전개 및 비 전개를 위한 임계 속도의 한 예를 설명하고 있다.

Table 1 Example of inputs/outputs for smart airbag system

Input	Output
• Dual-axis accelerometer	• Multi-stage front airbag
• Crash severity sensor	• Seat-belt pretensioner
• Seat-belt buckle sensor	• Side airbag(Head, Thorax Airbag)
• Occupant position sensor	• Rear airbag
• Occupant weight sensor	• Inflatable curtain airbag
• Child seat detection	• Inflatable tubular structure
• Seat position sensor	• Knee airbag
• Side impact sensor	• Inflatable carpet airbag
• Rollover sensor	• Head rest airbag
• Pre-collision detection	• Smart load limiter
	• Rollover bar release
	• Fuel cutoff
	• Emergency call

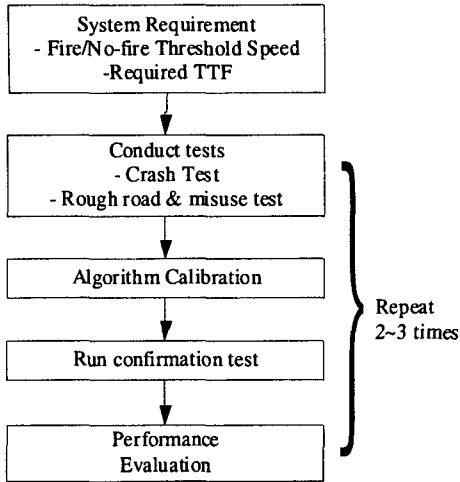


Fig. 1 Development process for crash sensing system

Table 2 An example of no-fire and must-fire threshold speed for airbag deployment

Seat-belt status	No-fire threshold speed	Must-Fire threshold speed
Unbelted	8mph, Front	14mph, Front
Belted	12mph, Front	18mph, Front

주어진 예를 보면, 안전띠 미 착용 상태의 경우, 정면 고정벽 충돌 8mph 이하에서는 에어백이 전개되면 안되며, 정면 고정벽충돌 14mph 이상에서는 반드시 에어백이 전개되어야 한다. 8mph에서 14mph 사이는 전개될 수도 안 될 수도 있는 그레이 존(Gray Zone)이다.

안전띠를 착용한 경우에는 안전띠에 의해 승객 전방 이동 변위가 구속이 되므로, 에어백 전개를 위한 임계 속도를 다소 상향 조정할 수 있다. 주어진 예에 대해서는 안전띠 착용의 경우 14mph에서 18mph로 임계 속도를 상향 조정하였다.

즉, 안전띠를 착용한 경우에 대해서는 지속 충돌에서의 불필요한 에어백의 전개를 억제함으로써 에어백 전개로 인한 승객 상해 감소 및 수리비 절감의 이득을 얻을 수 있다.

에어백 전개를 위한 임계 속도 외에, 자동차 메이커에서 주어지는 시스템의 요건 중에서 중요한 것은 요구 에어백 전개 시간(Required time-to-fire; R-TTF)이다. 승용차의 경우는 대개 5"-30ms 조건으로 알려진 다음 식으로부터 R-TTF를 구한다.⁸⁾

$$R-TTF = T_{(dx=5")} - T_{inf}(=30ms) \quad (1)$$

여기서, $T_{(dx=5")}$ 는 승객이 승객실에 대해서 자유 질량 운동으로 정해진 전방 변위(예로써, 5인치) 만큼 도달하는 시간을 의미하며, 이는 충돌 시험에서 얻어진 B-필러 가속도 신호의 이중 적분 또는 고속 필름 분석을 통해 구해진다. 또한, T_{inf} 는 에어백 전개 시간(예로써, 30ms)이다.

이와 같은 에어백 시스템의 요건이 주어지면, 충돌 시험 및 험로 주행 시험으로부터 얻어진 데이터를 이용하여 시스템 요건을 만족하기 위한 알고리즘 보정(Calibration)을 실시한다. 보정된 알고리즘의 성능은 확인 충돌 시험을 통해 검증한다. 이러한 과정을 개발 완료시까지 두서너 번 반복해서 최종적으로 원하는 성능을 얻게 된다.

3. 두 단계의 충돌 가속도 수준을 갖는 충돌 판별 알고리즘

이 절에서는 Table 2와 같이 주어지는 시스템 요건을 만족하는 충돌 판별 알고리즘에 대해 기술하고자 한다.

본 논문에서 제안하고자 하는 전체 알고리즘의 구성도는 Fig. 2와 같다. 전체 알고리즘은 충돌 가속도를 판별하는 부분과 전개 로직을 수행하는 두 가지 부분으로 크게 나뉜다.

3.1 두 단계의 충돌 가속도 판별

알고리즘은 가속도 센서로부터 감지되는 충돌 신호를 디지털 필터를 통과시킨 후, 알고리즘 변수 값을 계산한다. 이때 알고리즘 변수는 충돌 가속도에 비례하는 특성을 지니고 있어야 한다. 본 논문에서 채택한 알고리즘 변수는 다음 식으로 주어지는 속도, v 및 충돌 에너지 E 이다.⁹⁾

$$v(t) = \sum_{k=0}^t \tilde{a}(k) \Delta t \quad (2)$$

$$E(t) = \sum_{k=0}^t |\Delta \tilde{a}(k)| \quad (3)$$

여기서, \tilde{a} 는 디지털 필터링된 가속도 신호이며, Δt 는 적분 시간 간격이다. 또한,

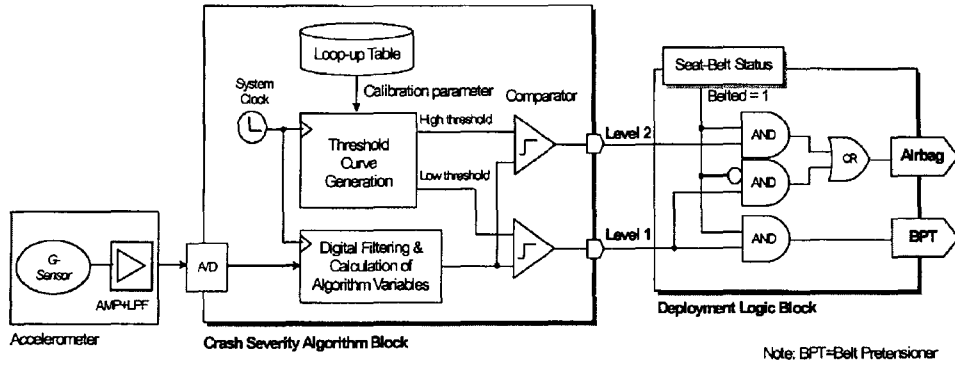


Fig. 2 Block diagram of proposed crash discrimination algorithm with two crash severity levels

$$\Delta \tilde{a}(k) = \tilde{a}(k) - \tilde{a}(k-1)$$

여기서, $\Delta \tilde{a}$ 는 가속도의 변화 량으로서 저크(jerk)에 해당되는 물리 량이다. 충돌 가속도에 따라 단조 증가하는 형태의 알고리즘 변수 값을 얻기 위하여, $\Delta \tilde{a}$ 의 절대치를 취하고 적분 값을 구해서 이를 충돌 에너지로 정의한다. 이 변수 값은 충돌 시 자동차 구조물에 의해 감소되는 에너지의 척도가 될 수 있다.

계산된 알고리즘 변수는 보정되어 메모리에 저장된 두 단계의 임계치와 비교하여 충돌 가속도 수준을 판별한다. 즉, 알고리즘 변수가 하위 임계치(Low threshold)를 넘으면 1단계 수준(Level 1)의 충돌 가속도로, 상위 임계치(High threshold)를 넘으면 2단계 수준(Level 2)의 충돌 가속도로 판별한다.

Fig. 3은 임의의 동일한 충돌 유형에 대해 충돌 속도에 따른 두 단계의 충돌 가속도 수준의 개념을 설명하고 있다. 고속 충돌의 경우, 충돌 가속도가 t_1 에서 1단계 수준으로 감지되고, t_2 에서는 2단계 수준으로 감지되었다. 중속 충돌의 경우는 t_3 에서 1단계 수준으로 감지되었으나, 2단계 수준은 감지되지 않은 경우이다. 또한 저속 충돌의 경우는 1단계 수준도 감지되지 않았다.

이와 같은 방법으로 각 충돌 조건에 대해서 계산된 알고리즘 변수 값을 미리 구해진 두 개의 임계치와 비교함으로써, 두 단계로 분류된 충돌 가속도를 판별할 수 있다.

여기서, 두 개의 임계치는 에어백 비 전개를 위한 임계 충돌 시험 데이터로부터 보정된 값이다. 주어진 Table 2 및 Fig. 3의 예에 대해서는, 하위 임계치는

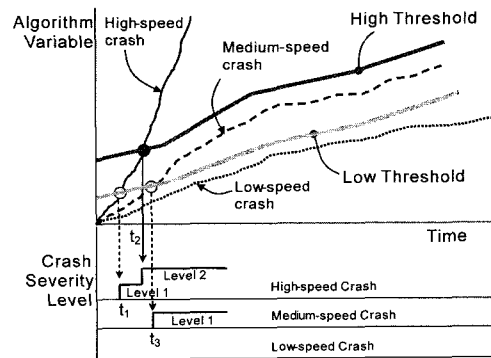


Fig. 3 Concept for two crash severity levels

8mph 정면 고정벽 충돌 데이터로부터 얻어진 것이고, 상위 임계치는 12mph 정면 고정벽 충돌 데이터로부터 얻어진 것이다.

3.2 전개 로직

앞 절에서 설명한 바와 같은 방법으로 충돌 가속도 수준이 판별되고 나면, 다음에는 안전띠 착용 여부에 따라 에어백 및 안전띠 조임기의 동작 여부를 결정해야 한다. 이것은 Fig. 2의 전개 로직 부분에서 이루어진다. 이 그림에서 AND 및 OR 로직으로 표시한 전개 로직을 표로써 다시 정리하면 Table 3과 같다.

이 표에 의하면 에어백이 전개되기 위한 조건은 다음과 같다.

- 1) 안전띠를 착용하지 않은 경우는, 1단계 충돌 가속도 수준에서 에어백이 전개 된다.
- 2) 안전띠를 착용한 경우에는, 1단계의 충돌 가속도 수준에서는 에어백이 전개되지 않고, 2단계 충돌

가속도 수준이 감지되어야 에어백이 전개된다.

Table 3에서 2단계 충돌 가속도 수준에서 안전띠를 착용치 않은 경우에는, 1단계 충돌 가속도 수준에서 이미 에어백이 전개된 상황이다. 충돌 가속도 수준은 항상 시간에 따라 단계 별로 나타난다. 즉, 2단계 충돌 가속도 수준이 감지된 경우는 그 시점 이전에 또는 동시에 1단계충돌 가속도 수준이 감지된 것을 의미한다.

또한, 안전띠 조임기는 안전띠를 착용한 상황에서 1단계 충돌 가속도 수준에서 동작이 된다. 안전띠 미 착용 시에는 충돌 가속도와 상관없이 동작시키지 않는다. 왜냐하면 이 경우에는 안전띠 조임기의 동작이 무의미하기 때문이다.

Table 3 Deployment logic for airbag and belt-pretensioner based on seat-belt status

Crash severity	Seat-belt status	Restraint system control	
		Airbag	BPT
Level 1	Belted	NF	Fire
	Unbelted	Fire	NF
Level 2	Belted	Fire	Already fired at Level 1
	Unbelted	Already fired at Level 1	NF

Note) BPT=Belt Pretensioner, NF=No-fire

4. 추가적인 센서 정보를 이용한 확장된 전개 로직

앞 절에서 제안한 충돌 판별 알고리즘은 전자식 반도체 가속도 센서 및 안전띠 착용 감지 센서의 사용을 전제로 하였다.

이밖에, 에어백 동작의 신뢰성 및 성능 향상을 위해 몇 가지 추가적인 센서를 사용하는 경우가 많다. 본 논문에서는 기전식 안전 센서(Electro-mechanical Safing Sensor) 및 조수석 승객 유무 감지 센서(Passenger Presence Detection sensor; PPD Sensor)를 추가적으로 사용한 경우에 대해서, 앞서 제안한 전개 로직의 확장된 개념을 소개하고자 한다.

4.1 안전 센서(Safing Sensor)

본 논문에서 채택한 기전식 안전 센서는 Fig. 4에

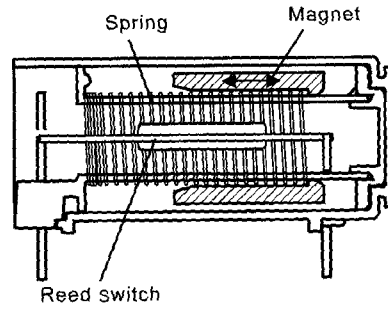


Fig. 4 Schematic of electro-mechanical safing sensor

서 보는 바와 같이 스프링, 자석 및 자석의 자기장에 의해 동작되는 전자식 리드 스위치로 구성되어 있다. 설정된 임계치를 넘는 감속도가 감지되면 안전 센서는 닫히게 된다. 이러한 안전 센서는 외부적인 전기적 노이즈에 의해 에어백이 오작동하는 것을 방지하는 역할을 한다.

대부분의 에어백 제어장치가 이러한 안전센서를 채택하고 있지만 대개 하드웨어적으로만 에어백 점화 회로와 연결되어 있다. 그러나 본 논문에서는 하드웨어적인 연결뿐만 아니라, 안전 센서의 상태를 마이크로컨트롤러가 감지하여 충돌 판별 알고리즘과 소프트웨어적으로 AND 로직을 구성하도록 하였다. 이와 같은 방법으로 추가적인 신뢰성을 확보할 수 있었다.

4.2 조수석 승객 유무 감지 센서

Fig. 5는 조수석 승객 유무 감지 센서의 구성도를 보여주고 있다. FSR(Force Sensing Resistor) 이라고 부르는 무게 감지용 센서매트를 시트 쿠션에 장착하여 승객의 무게를 감지한다. 감지된 승객에 대한 정보는 PPD 전자장치에 의해 에어백 제어장치로 전송되어 조수석 에어백 전개 유무를 판별하는 데 사용된다.

즉, 에어백 전개 조건에 해당되는 충돌 사고가 발생했을지라도, 만일 실제로 조수석에 승객이 탑승하고 있지 않다면 조수석 에어백을 전개할 필요가 없다. 이렇게 함으로써 불필요한 조수석 에어백 전개에 의한 수리비를 절감할 수 있는 이점이 있다.

본 절에서 소개한 추가적인 센서 정보를 이용한 확장된 형태의 전개 로직은 Fig. 6과 같다. 여기서 제안된 전개 로직의 기본 개념은 스마트 에어백 시스템

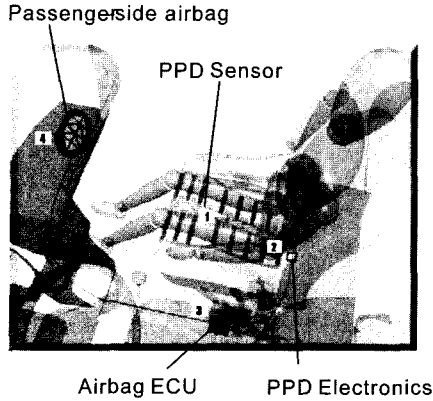


Fig. 5 Configuration of PPD sensor (Courtesy IEE)

템에도 쉽게 확장해서 적용이 가능하다. 즉, 스마트 에어백의 경우 충돌 가속도 수준의 단계가 증가되고(예로써, 4, 5단계), 승객 무게 분류 센서(Occupant weight classification sensor), 시트 트랙 센서(Seat track sensor) 등이 추가되게 되는 데, 이에 대한 전개 로직도 Fig. 6에서 제시한 기본 개념을 확대 적용해서 용이하게 구현이 가능하다.

5. 전산 모의 실험

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 전산 모의 실험을 수행하였다.

1,800cc급 승용차에 대한 여러 가지 충돌 유형에 대하여 실차 충돌 파형을 획득하였으며, 이를 이용하여 실시한 전산 모의 실험의 결과는 Table 4와 같다.

에어백 전개 및 비 전개를 위한 시험 유형은 고정

벽 정면 충돌이며, 그 임계 속도는 충돌 파형을 제공한 자동차 메이커에서 결정하여 시스템 요건으로 주어졌으며, 각 충돌 유형에 대한 정확한 충돌 속도 값은 자동차 메이커의 요구에 의해 공개할 수 없음을 밝혀둔다.

임계 충돌 시험의 회수를 줄이기 위해 안전띠 미착용 상태에서의 에어백 전개를 위한 임계 충돌 시험(Unbelted, ABG MF threshold test)은 안전띠 착용 상태에서의 에어백 미 전개를 위한 임계 충돌 시험(Belted, ABG NF threshold test)과 동일한 조건으로 설정하였다. 또한, 안전띠미착용 상태에서의 에어

Table 4 Simulation result(in msec)

Crash Type	Belted		Unbelted	
	R-TTF	Result	R-TTF	Result
15kph, 40% offset rigidbarrier	NF	NF	NF	NF
Unbelted, ABG NF Threshold =Belted, BPT NF Threshold	NF	NF	NF	NF
Unbelted, ABG MF Threshold =Belted, ABG NF Threshold =Belted, BPT MF Threshold	NF	NF	29	23
Belted, ABG MF Threshold	21	20	21	17
30mph, frontal barrier, FMVSS 208	16	17	16	15
Low speed, oblique barrier	35	25	35	20
30mph, left oblique barrier, FMVSS 208	26	23	26	16
Low speed, car-to-pole	42	53	42	45
35mph, 40% offset deformable barrier, EU directive 96/79 EC	33	22	33	18

Note) ABG: Airbag, BPT: Belt Pretensioner
 NF: No-fire, MF: Must-fire,
 R-TTF: Required Time-To-Fire

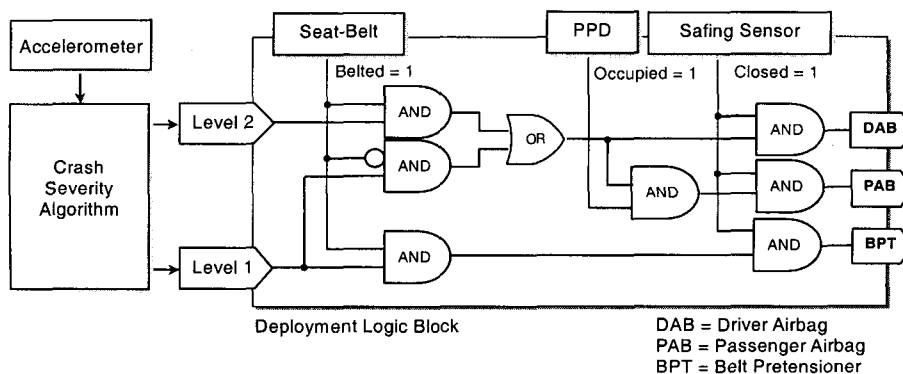


Fig. 6 Block diagram of crash discrimination algorithm including extended deployment logic

백 임계 충돌 시험(Unbelted, ABG NF/MF threshold test)은 안전띠 착용 상태에서의 안전띠 조임기 임계 충돌 시험(Belted, BPT NF/MF threshold)과 함께 설정하였다. 이에 대한 도식적인 설명은 Fig. 7과 같다.

또한, 요구 에어백전개 시간(R-TTF)은 2절에서 언급한 바와 같이 B-필러 가속도 신호를 이중 적분한 값에 5"-30ms 조건을 적용하여 얻었다. 이때, 안전띠 착용 유무와 상관없이 동일한 R-TTF 를 적용하였다. 실제로는 안전띠를 착용한 조건에 대해서는 승객의 전방 이동 변위가 구속되기 때문에 에어백 전개 시간의 여유가 존재한다. 일반적으로 에어백 전개 시간은 빠를수록 유리하므로 안전띠 착용 상태에 대해서 다소 엄격한 요구 시간을 적용한 것이다.

충돌 감지(Crash sensing) 측면에서의 에어백 충돌 성능을 평가할 때 일반적으로 다음의 두 가지가 제일 중요한 점이다.

- 1) 안전띠 착용 유무에 따라 에어백 전개 및 비 전개 요구 조건을 만족하는지의 여부
- 2) 에어백 전개 조건에서 요구 전개 시간을 만족하는지의 여부. 이때, 요구 전개 시간 대비 시간 지연의 정도가 허용할 만한 수준인지를 판단해야 한다.

Table 4의 결과를 분석하면, 우선 위의 첫 번째 사항은 잘 만족하는 것을 알 수 있다. 이것은 본 논문의 요지라고 할 수 있는, 안전띠 착용 유무에 따라 에어백 전개를 두 단계로 제어할 수 있다는 것을 보여주는 것이다.

위의 두 번째 검토 사항에 대해 Table 4의 결과를

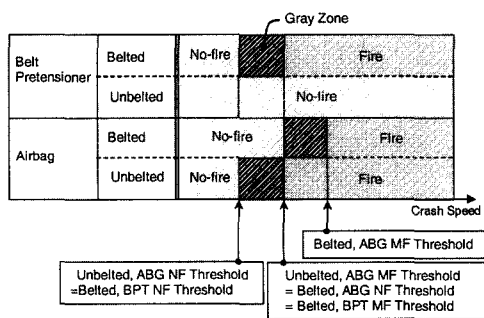


Fig. 7 Graphical interpretation of threshold speed for airbag and belt pretensioner

분석하면, 다음의 두 가지 충돌 조건을 제외하면 요구 전개 시간 대비 시간 지연이 없는 만족할 만한 결과임을 알 수 있다.

30mph 정면 고정벽 충돌 시험의 안전띠 착용 조건에서 요구 시간 대비 1msec의 시간 지연이 발생했다. 그러나, 1msec의 시간 지연으로 인해 승객 상해 치에 악영향을 주거나, 에어백 전개시 승객에게 충격을 가하는 소위 백 슬랩(Bag slap)현상은 발생되지 않는- 것이 고속 필름 분석 및 슬레드 시험(Sled test)을 통해 확인되었다.

또한, 저속 폴 충돌(Low-speed, car-to-pole)에서 발생한 3~11msec의 시간지연도 허용할 수 있는 것으로 고속 필름 분석을 통해 확인되었다. 실제로 저속 폴 충돌의 경우 폴에 의한 자동차 구조물의 밀림(Intrusion)현상은 발생하지만, 승객의 전방 이동량은 그리 심하지 않기 때문에 에어백 전개 시간에 여유가 다소 있는 편이다. 즉, B-필러 이중 적분을 통해 구한 승객 전방 이동 변위는 필름 분석을 통해 확인한 것보다 다소 빠른 경향을 보인다.

6. 결론

본 논문은 안전띠 착용 유무에 근거한 두 단계의 충돌 가혹도 수준을 갖는 충돌 판별 알고리즘의 개발에 관한 내용으로서, 얻어진 주요한 성과는 다음과 같다.

- 1) 기존의 에어백 시스템이 안고 있는 문제점중의 하나인, "저속 충돌에서의 에어백으로 인한 승객의 상해 위험"을 개선할 수 있는 방안을 제시하였다. 즉, 안전띠를 착용한 승객에 대해서는 저속에서의 불필요한 에어백의 전개를 억제함으로써 에어백 전개로 인한 상해 감소 및 수리비 절감의 이득을 얻을 수 있다.
- 2) 속도와 충돌 에너지라는 알고리즘 변수를 도입하여 두 단계의 충돌 가혹도를 판별할 수 있는 방법을 제시하였다.
- 3) 두 단계로 판별된 충돌 가혹도 수준과 안전띠 착용 유무 및 조수석 승객 유무 감지 센서, 안전 센서 등의 정보를 AND 및 OR 로직으로 구성하여 에어백 및 안전띠 조임기의 동작을 제어하는 전개 로직을 개발하였다. 이 기본 개념은 스마트 에어백 시

스텝에도 쉽게 확장해서 적용할 수 있는 방법이다.

4) 제안된 알고리즘에 대한 성능을 검증하기 위한 전산 모의 시험을 1,800cc급 승용차의 실차 충돌 데이터에 적용하여 수행하였다.

전산 모의 시험을 통하여 얻어진 결과를 통해서, 제안된 알고리즘은 안전띠 착용 유무에 따라 에어백 전개를 두 단계로 제어할 수 있다는 것을 보여 주었으며, 요구 전개 시간도 만족할 만한 수준임이 밝혀졌다.

본 논문에서는 두 단계의 충돌 가속도 수준에 대해서만 고려했지만, 향후 충돌 가속도 수준의 단계가 증가하는 경우에 대해서도 연구를 계속 진행해야 하는 과제를 남겨두고 있다. 또한, 다 단계의 충돌 가속도 수준이 요구되는 경우에 임계 충돌 시험 및 변형벽 오프셋 충돌, 폴 충돌, 저속 경사 충돌 등에 대한 충돌 판별 성능을 보다 향상시켜야 할 것으로 사료된다.

References

- 1) NHTSA, FMVSS 208.
- 2) EEVC, EU Directive 96/79 EC, 1996.
- 3) Sang-Gyu Lee, "Recent Trend of Safety Test and Crash Test Regulation," Journal of KSAE, Vol.22, No.2, pp.20- 26, 2000.
- 4) NHTSA, Overview & Status of Special Crash Investigations, Special Crash Investigations NHTSA/Industry Quarterly Meeting in Detroit, MI, March 2000.
- 5) NHTSA, Depowering of Air Bags in New Vehicles, 49 CFR Part 571, 1997.
- 6) NHTSA, "Advanced Airbag Final Rule," Federal Register, Vol.65, No.93, May 2000.
- 7) Seo-Wook Park, "Technical Trend of Airbag Control System-Focusing on Smart Airbag Control Technique," Journal of KSAE, Vol.22, No.2, pp.27-34, 2000.
- 8) D. S. Breed, V. Castelli, "Problems in Design and Engineering of Airbag Systems," SAE 880724, pp.1-30, 1988.
- 9) Seo-Wook Park, Pyoung-Hee Yim, "Airbag Deployment Time Controller," Korean Patent No.10-0121429-0000, 1997.