

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0056

고속 측면 충돌 감지 알고리즘의 개발

Development of Fast Side-impact Sensing Algorithm

박 서 욱*, 김 현 태*
Seo-Wook Park, Hyun-Tae Kim

ABSTRACT

Accident statistics shows that the portion of fatal occupant injuries due to side impacts is considerably high. The side impact usually leads to a severe intrusion of side structure into the passenger compartment. Furthermore, the safety zone for the side impact is relatively small compared to the front impact. Those kinds of physics for side impact frequently result in a fatal injury for the occupant. Therefore, NHTSA and EEVC are trying to intensify the regulation for the occupant protection against side impact. Both the regulation and recent market trends are asking for an installation of side airbag. There are several types of system configuration for side impact sensing. In this paper, we adopt the acceleration-based remote sensing method for the side airbag control system. We mainly focus on the development of hardware and crash discrimination algorithm of remote sensing unit. The crash discrimination algorithm needs fast decision of airbag firing especially for high-speed side impact such as FMVSS 214 and EEVC tests. It is also required to distinguish between low-speed fire and no-fire events. The algorithm should have a sufficient safety margin against any misuse situation such as hammer blow, door slam, etc. This paper introduces several firing criteria such as acceleration, velocity and energy criteria that use physical value proportional to crash severity. We have made a simulation program by using Matlab/Simulink to implement the proposed algorithm. We have conducted an algorithm calibration by using real crash data for 2,500cc vehicle. The crash performance obtained by the simulation was verified through a pulse injection method. It turned out that the results satisfied the system requirements well.

주요기술용어: Acceleration-based Remote Sensing Unit(원격 가속도 감지부), Current Modulation(전류변조), Side-impact Sensing Algorithm(측면 충돌 감지 알고리즘), Firing Criterion(전개조건), Firing Zone(전개영역), No-fire Safety Margin(비전개 안전여유), Pulse Injection Method(펄스분사법)

1. 서론

교통사고 유형별 부상자 및 사망자 통계를 살펴보면, 미국의 경우 10년간(1978~1987) 전체 승용차 교통사고 사망자의 30.6%, 중상자의 34%

* 회원, (주)현대 오토넷 전장 연구소

가 측면 충돌 사고와 연관된 것으로 밝혀졌다.¹⁾ 정면 충돌의 경우 엔진룸에 의한 안전공간(Safety Zone)이 확보되어 있는 것에 비하면, 측면 충돌의 경우는 생존 공간이 매우 협소 할 뿐만 아니라 측면 구조물의 밀림(Intrusion)으로 인하여 승객의 심각한 상해를 유발할 가능성이 높다. 따라서 최근에는 이러한 측면 충돌에 대해 승객의 안전을 확보하기 위하여 측면 에어백을 장착하는 사례가 급증하고 있다. 1994년에 Volvo 850 모델에 기계식 측면 에어백이 최초로 장착된 이후, 그 기술이 급속히 발전하여 북미의 자동차 메이커 3사의 경우 1999년 식 차량부터 거의 측면 에어백을 기본 장착하여 판매하고 있다. 국내의 경우 현대자동차의 1997년형 그랜저 차량에 측면 에어백을 옵션으로 장착한 이후, 최근의 신차 개발에 있어서는 중형급 이상의 고급 차량 뿐 아니라 소형차에 대해서도 대부분 측면 에어백을 개발하는 추세에 있다.

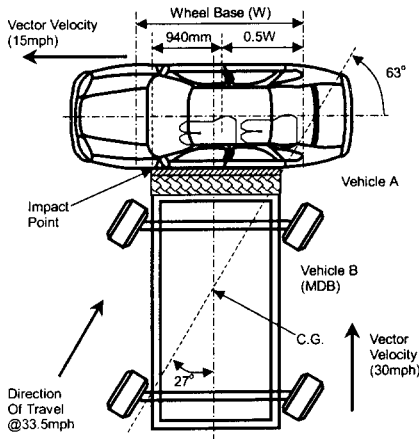
전자식 측면 에어백 시스템 개발에 있어서 측면 충돌 감지 알고리즘이 핵심 기술 중의 하나이다. 유럽과 북미의 몇몇 전장품 회사(예로써, TRW, Siemens, Bosch, Delco 등)만이 이 기술을 보유하고 있으며, 국내 자동차 메이커는 이러한 측면 충돌 감지 센서를 전량 수입에 의존하고

있는 실정이다.

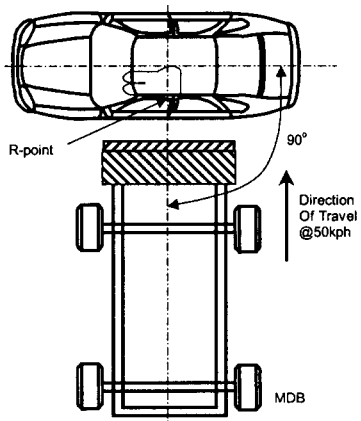
본 연구를 통해서 이러한 핵심 기술을 순수 국내 독자기술로 확보하였으며, 개발된 측면 충돌 감지 센서를 2000년 초부터 본격 양산에 들어갈 예정에 있다.

2. 측면 충돌시 승객 보호에 대한 법규 동향^{1)~2)}

실차 충돌시험에 의한 측면 충돌 시, 승객 보호에 대한 법규 제정은 주로 미국과 유럽연합에 의해 주도되고 있다. 미국의 법규동향을 살펴보면 미연방 도로교통 안전국(NHTSA)에 의해서 FMVSS 214 에 측면 충돌 보호에 대한 요건을 명시하고 있다. 1990년 10월부터는 MDB(Moving Deformable Barrier)에 의한 동적 시험 요건을 추가하였다. 그 이전에는 주로 측면 도어에 대한 정적 시험에 의한 강도 요건을 규정하고 있었다. Fig.1(a)는 NHTSA에서 규정하고 있는 MDB에 의한 동적 시험에 대해 설명하고 있다. 이는 MDB 가 27도의 각도를 유지하면서 33.5mph(54kph)의 속도로 시험차량의 측면과 부딪치는 것이다. 이 방법은 15mph의 속도로 진행하는 차량의 측면에 30mph의 속도로 움직이는 차량이 수직으로 충돌하는 측면 충돌



(a) FMVSS 214



(b) EU Directive 96/27/EC

Fig. 1 Side Impact Regulation

사고를 재현하기 위한 방법이다.

반면에 유럽 연합에서 규정하고 있는 법규(EU Directive 96/27/EC)는 1996년 10월에 법규가 승인되어 1998년 10월 이후의 모든 신규 승용차에 적용되고 있다. 여기서 규정하고 있는 측면 충돌 시험의 방법은 Fig.1(b)와 같다. 즉, 950Kg의 MDB가 50kph의 속도로 정지하고 있는 차량에 수직으로 충돌하게 되어 있다. 이러한 법규 시험에서 요구하는 측면 에어백의 요구 전개 시간은 대개 5ms 이내로서 이를 만족하는 고속 측면 충돌 감지 알고리즘의 개발이 요구되고 있다.

3. 측면 충돌 감지 방식 및 시스템 구성

측면 충돌 감지 방식으로는 기계식 충격 센서, 스트레인게이지, 가속도 센서 및 압력 센서 등을 이용한 감지 방식이 있다. 이 중에서 가속도 감지 방식이 가장 널리 사용되어지고 있는 방식이다.

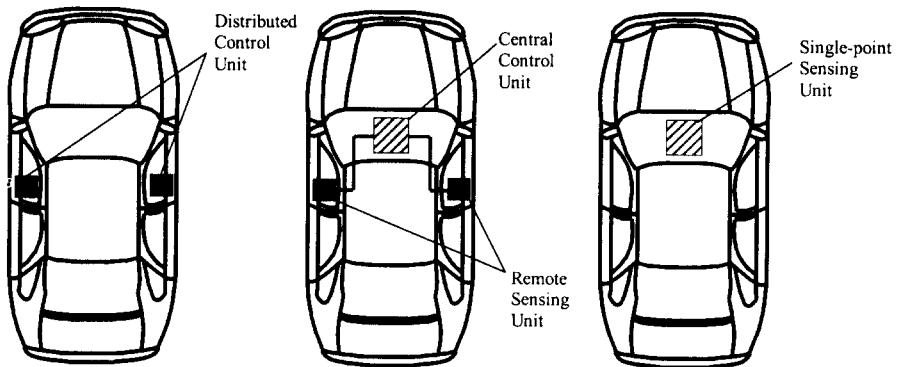
이는 정면 충돌 감지 방법의 기본 원리를 이용할 수가 있는 장점이 있다. 즉, 가속도 감지 방식에 의한 정면 충돌 감지 시스템 개발의 풍부한 경험을 활용하여 이미 검증된 기술을 적용할 수 있는 이점이 있다.

그러나 이 방식을 통해 최적의 성능을 얻기 위해서는 가속도 센서의 장착위치를 적절히 선정하

는 것이 중요하며, 전기적, 기계적 오작동 조건에서의 에어백 전개 금지를 보장할 수 있어야 한다. 또한 법규 시험과 같은 고속 측면 충돌 상황에서 5ms 이내의 짧은 시간에 에어백 전개를 결정해야 한다.³⁾

이러한 기술적인 난제들은 결국 측면 충돌 감지 시스템의 핵심 기술에 해당되는 측면 충돌 감지 알고리즘의 성능과 직접적으로 연관되어 있다.

측면 충돌 감지 시스템의 구성형태에 따라서 Fig.2와 같은 세 가지의 종류가 있다. 이 중에서 현재 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 방식은 원격 감지 방식이다. 이 방식은 차량의 충돌 부위(Crash Zone)에 장착된 원격 감지부(Remote Sensing Unit)와 중앙 제어부(Central Control Unit) 간의 인터페이스에 의해 시스템이 구성된다. 즉, 원격 감지부는 충돌 감지 센서 및 마이크로컨트롤러로 구성되어 측면 충돌 신호 감지 및 충돌 감지 알고리즘을 수행하는 역할을 하며, 중앙 제어부는 원격 감지 센서에 전원을 공급하며 동시에 원격 감지부로부터 자기 고장 진단 상태 및 전개 메시지를 수신한다. 전개 메시지가 수신되면 중앙 제어부는 측면 에어백 모듈에 점화 전류(Firing Current)를 흘려주어 에어백을 전개시킨다.



(a) Stand-alone Type (b) Remote Sensing Type (c) Single-point Sensing Type

Fig. 2 System Configuration for Side Impact Sensing

본 논문에서는 이러한 여러 가지 관점에서의 고찰을 통하여 측면 에어백 시스템의 세계적인 기술 추세인 “원격 가속도 감지 방식”을 채택하기로 하였다. 본 논문의 주된 관심 사항은 이러한 감지 방식의 원격 가속도 감지부에 대한 하드웨어 및 고속 측면 충돌 감지 알고리즘의 개발에 있다.

4. 원격 가속도 감지부

4.1. 하드웨어 구성

Fig.3은 개발된 원격 가속도 감지부의 하드웨어 구성도를 보여주고 있다.

이 감지부는 중앙 제어부와 연결되는 Vsup 와 Vgnd 의 두 선을 통해 중앙 제어부로부터 전원을 공급 받으며, 동시에 이 전원선의 전류 변조 (Current Modulation) 방식에 의해 중앙 제어부와 의 통신이 가능하도록 설계되어 있다. 구성도 상의 Voltage/Current Interface Circuit은 이러한 전원 공급 및 전류 변조에 의한 통신 기능을 구현하는 회로이다. 중앙 제어부로부터 전원을 공급받기 때문에 원격 감지부의 전원단 회로가 단순해지고 크기 및 가격면에서 유리하다. 마이크로컨트롤러는 측면 충돌 감지 알고리즘을 내장하고 있으며, 주요 부품들에 대한 주기적 고장 진단을 수행하여 그 진단 결과 또는 전개 메시지를 중앙 제어부로 송신하는 기능을 갖고 있다. 측면 충돌 신호를 감지하는 가속도 센서는 필터, 증폭기 등을 내장한 전자식 가속도 센서를 채택하였다.

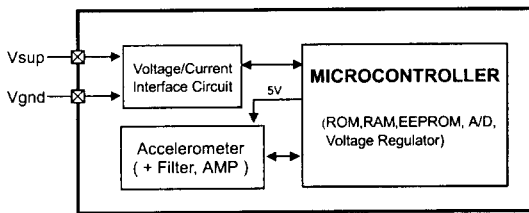


Fig. 3 Hardware Structure of Remote Sensing Unit

4.2. 측면 충돌 감지 알고리즘

4.2.1. 요구 사항

측면 충돌 감지 알고리즘 (Side-impact Sensing Algorithm) 개발 시에 일반적으로 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

- 충돌의 물리적 현상에 근거를 둔 알고리즘이 요구된다. 이는 여러 차종의 다양한 충돌 형태에 대한 실차 측면 충돌 데이터의 반복적 분석을 통해 가능하다.
- 알고리즘의 구성 및 계산이 단순하여 저가의 마이크로프로세서로써 구현이 용이해야 한다.
- 알고리즘 변수들의 보정을 통해 하나의 로직으로 여러 차종에 적용할 수 있는 적응성이 요구된다.
- 보정된 알고리즘 변수들의 메모리 크기가 마이크로컨트롤러의 비활성 메모리 영역에 기록하기에 적당해야 한다. 대개 보정된 변수들의 메모리 크기는 수십 바이트 정도가 적당하다.

그밖에, 충돌 감지 성능 측면에서의 일반적인 요구 조건들로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 저속 전개 충돌과 비전개 충돌과의 구별
- 저속 전개 충돌과 오작동 조건과의 구별 및 안전 여유 확보
- 고속 전개 충돌에서의 에어백 요구 전개 시간 만족

4.2.3. 알고리즘 로직의 구성

충돌 신호의 감지는 전자식 가속도 센서를 통해 이루어지며, 센서와 일체형으로 구현된 하드웨어 저역 통과 필터를 거쳐 마이크로컨트롤러의 A/D 변환기로 입력된다. 센서 출력 신호의 오프셋 값 보정을 위해 고역 통과 필터를 사용한다. 이렇게 얻어진 가속도 신호로부터 알고리즘 변수 값들을 계산한다. 이는 에어백 전개를 결정하는 중요한 변수 값으로서 충돌 데이터 분석을 통해 충돌 심각도(Crash Severity)에 비례하는 물리량으로서 얻어진 값이다. 본 논문에서 사용하는 전개 조건(Firing Criterion) 및 이들이 사용하는

알고리즘 변수 값들은 다음과 같다.

1) 가속도 조건(Acceleration Criterion)

이는 가속도 신호를 저역 통과 필터링한 값이 주어진 임계치(Threshold)를 넘는 경우에 한해서 전개 조건으로 판정된다. 저역 통과 필터링된 가속도 값은 순간 충격 에너지에 비례하는 물리량으로서, 이 조건을 이용하면 센서 근방의 망치 가격(Hammer Blow) 또는 도어 램 닫기(Door Slam) 등의 신호를 비전개 조건으로 판정할 수 있게 한다. 이러한 오작동 조건에 해당되는 충돌 신호는 일반적으로 펄스 폭이 작은 고주파 성분이 대부분이므로, 저역 통과 필터를 거치면 진폭이 낮아지게 되고 따라서 전개 조건을 만족하지 못하게 된다.

2) 속도 조건(Velocity Criterion)

가속도 값의 수치 적분으로부터 얻어지는 속도 값이 전개 영역(Firing Zone)으로 들어가면 전개 조건으로 판정된다. 계산된 속도 값은 측면 충돌 시 차량 승객실에 대해 승객이 받는 상대적인 감속도에 해당되는 값이다. 전개 영역은 비 전개 충돌 조건을 배제하도록 결정된 면적에 해당되며, 이는 충돌 데이터 분석 및 알고리즘 보정을 통해 선형보간법으로 구해진다.

3) 에너지 조건(Energy Criterion)

어떤 특정한 충돌 조건에서는 가속도 및 속도 조건만으로 전개 조건을 판정하기가 힘들 수도 있다. 이때, 전개 조건의 보조적인 수단으로서 가속도 신호로부터 얻어지는 진동 에너지 값으로부터 전개 조건을 판정한다.⁴⁾

4) 오작동에 대한 안전 기능(Side Safing)

충돌 감지용 가속도 센서는 기본적으로 전자식 센서이므로 전자기파 등의 외란에 대해 오작동할 가능성이 있다. 또한 측면 감지 센서는 차량의 충돌 부위 또는 그 근방에 위치하고 있기 때문에 센서 근방을 가격하는 기계적 외란(예로써, Hammer Blow, Door Slam 등)에 특히 취약할 수 있다. 이러한 전기적 또는 기계적 오작동의 가능성을 제거하기 위해 정면 충돌 감지 센서의 경우에는 기전식 안전센서(Electro-mechanical Safing Sensor)와 하드웨어적으로 “AND” 로직을 구성하고 있다.⁴⁾ 그런데 측면 충돌 감지 시스템의 경우에는 이러한 안전 센서를 장착하게 되면 센서의 크기가 커질 뿐 아니라 하드웨어 구조가 복잡해지고 시스템 가격이 비싸지는 단점이 있다.

본 논문에서는 저가로 단순한 구조를 갖는 안

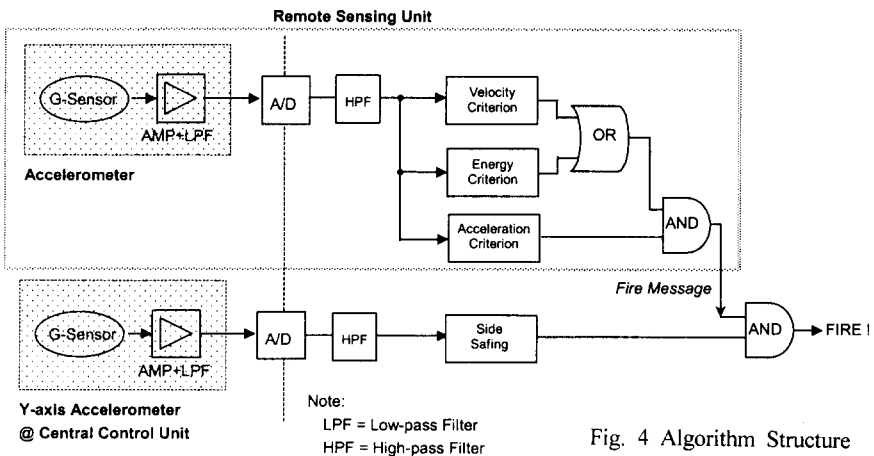


Fig. 4 Algorithm Structure

전 기능을 다음과 같이 구현하였다.

즉, 원격 가속도 센서는 전자식 가속도 센서만을 장착하며, 이 센서 신호로부터 얻어지는 충돌 신호를 마이크로컨트롤러로 처리하여 에어백 전개 조건을 만족하면 중앙 제어부로 전개 메시지(Fire Message)를 송신한다. 중앙 제어부는 차량 횡 방향의 가속도 신호를 감지할 수 있는 y-축 가속도 센서를 장착한다. 측면 충돌 신호는 차량의 구조물을 통해 중앙 터널 부위에 장착된 중앙 제어부로 전달되어 진다. 이러한 신호 전달 특성은 차량의 횡 방향 강성(Lateral Stiffness)에 따라 다르다. 대개 이 신호는 원격 가속도 센서 위치에 비해 진폭 감소 및 시간 지연이 발생한다. 여러 충돌 유형에 대한 이 신호의 분석을 통해 전개 조건 판정을 위한 임계치(Threshold)를 결정한다. 즉, 중앙 제어부의 y-축 가속도 신호가 정해진 임계치를 넘게 되면 실제적인 기계적 충돌이 발생한 것으로 보고 원격 감지부로부터의 전개 메시지를 인정하며 따라서 측면 에어백을 전개시키는 것이다.

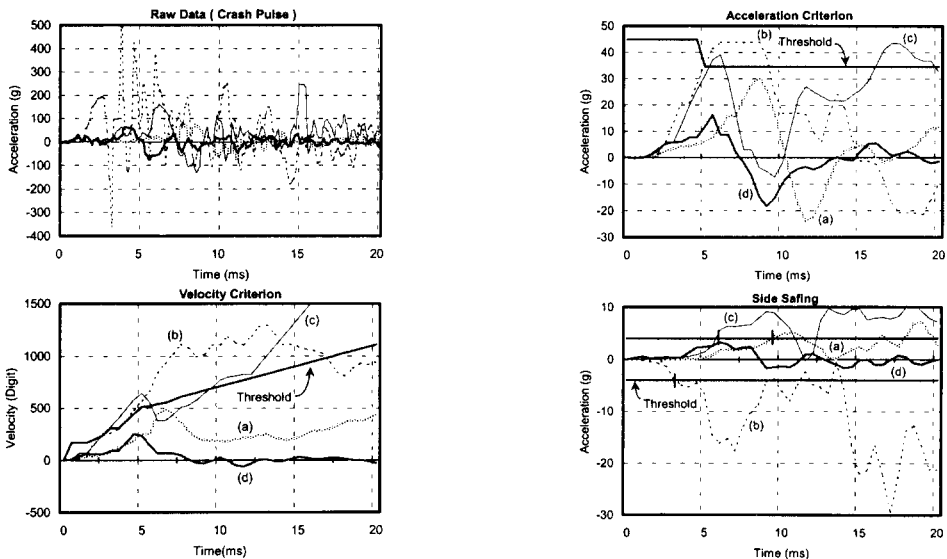
이러한 여러 가지 조건들로 구성되는 전체 알고리즘 로직의 구성도는 Fig.4와 같다.

5. 전산 모의 실험

앞 절에서 제안된 알고리즘은 Matlab/Simulink를 이용하여 프로그래밍 하였다.

이 프로그램을 이용하여 2,500cc 급 중형 승용차의 실차 충돌 데이터에 대해 전산 모의 시험을 실시하였다. 실차 충돌 시험 시 원격 센서 장착 위치는 B 필라 하단부이다. 각종 해석적 방법 및 시험적 방법(Sled Test, 실차 충돌 시험 등)에 의해 각 충돌 유형 별에 대한 승객 상해치를 최소화하는 최적의 에어백 전개시간이 주어졌다(이 과정은 본 논문의 범위를 벗어나므로 상술하지 않음). 이 요구 전개시간(Required Time-To-Fire)을 만족하기 위해 반복적인 충돌 데이터 분석을 통하여 알고리즘 변수들을 보정(Calibration)하였다.

Fig.5 는 3가지 충돌 유형 및 1가지 오작동 조건에 대해 보정된 알고리즘 변수 값들을 보여주고 있다. 여기서 에어백 비전개 조건은 “(a)저속 EC 측면 충돌” 및 “(d)도어 광 닫기”이며, 전개 조건은 “(b)54kph FMVSS 214 시험” 및



(a): Low-Speed EC Side, (b): 54kph FMVSS 214, (c): 50kph EC Side Impact, (d): Door Slam
Fig. 5 Simulation Result (Crash Pulse and Firing Criteria)

“(c)50kph EC 측면 충돌 시험” 이다. Fig.5에서 각 조건들에 대한 임계치 곡선(Threshold Curve)은 에어백 비전개 조건에 해당되는 알고리즘 변수 곡선을 배제하도록 결정되어진 것이다. 즉, 이 임계치 곡선을 넘게 되면 전개 조건을 만족하게 되는 것이다.

중앙 제어부에서 구현되는 측면 안전 기능(Side Safing Function)의 경우에 대한 임계치는 오작동 조건에 대해 에어백 전개를 금지하도록 결정되어진 값이다. 좌,우측 측면 충돌에 대해 대칭적으로 안전 기능을 구현하기 위해서는 (+) 및 (-)임계치를 함께 고려해야 한다. 본 전산 모의 시험의 경우 에어백 비전개 조건인 “(a)저속 EC 측면 충돌” 은 안전 기능의 임계치를 넘지만 오작동 조건인 “(d)도어 쿵 닫기” 의 경우는 임계치를 넘지 않도록 결정하였다.

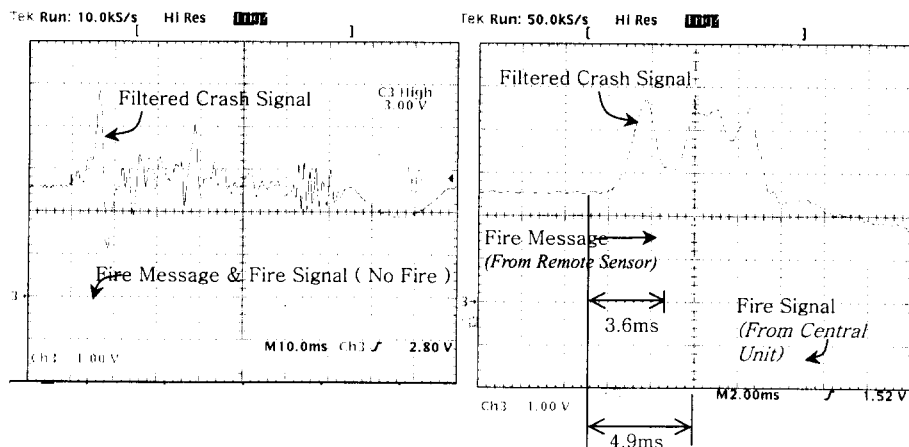
실차 시험에서 얻어진 충돌 데이터(Raw

Data) 는 실제 구현 시 여러 가지 오차 요인이 존재한다. 즉, 센서 장착 오차, 전자 제어부의 하드웨어 오차, 전자식 가속도 센서 오차 등이 존재한다. 대개 이러한 오차요인은 최대 $\pm 15\%$ 의 진폭 오차 범위 이내에 있다고 알려져 있다. 이러한 오차 요인을 감안하여 얻어진 전산 모의 시험의 결과는 Table 1과 같다. 이 결과를 통해서 에어백 비전개 충돌 조건과 전개 충돌 조건간의 구별이 가능함을 알 수가 있었다. 또한, 전형적인 몇 가지 오작동 조건에 대해서 +100% 이상의 충분한 비전개 안전 여유(No-fire Safety Margin)를 가지는 것으로 판명되어졌다. 더욱이, 측면 충돌 감지의 중요한 과제중의 하나인 “54kph FMVSS 214 시험” 같은 고속 측면 충돌에서 5ms 이내의 짧은 시간 이내에 에어백 전개가 가능함을 보여 주었다.

Table 1 Simulation Result (Time-To-Fire for $\pm 15\%$ Amplitude Variation)

Test Type	Impact Angle	Required TTF	Simulation Result		
			-15%	0%	+15%
Low-Speed US Side Impact, FMVSS 214	27	NF	NF	NF	NF
Low-Speed EC Side Impact	90	NF	NF	NF	NF
54kph US Side Impact, FMVSS 214	27	5.0	4.5	4.0	4.0
50kph EC Side Impact	90	6.0	6.5	6.0	6.0
Low-Speed Car-To-Pole Impact	90	NF	NF	NF	NF

Note) TTF=Time-To-Fire, NF=No Fire



(a) Low-Speed US Side Impact (No Fire)

(b) 54kph FMVSS 214 Test (Fire)

Fig. 6 Algorithm Verification by Pulse Injection Method

6. 검증

Matlab/Simulink 로 구현된 알고리즘의 전산 모의 시험 결과를 검증하기 위해서 펄스 분사법 (Pulse Injection Method)을 사용하였다.

우선, 알고리즘을 원격 감지부의 마이크로콘트롤러 수준의 언어로 프로그래밍하였다. 이때, 보정된 알고리즘 변수 값들은 비활성 메모리 영역에 기록되어 진다. 실차 충돌 데이터를 D/A 변환기를 이용하여 아날로그 신호로 발생시켜, 이를 마이크로콘트롤러의 A/D 변환기로 입력한다. 마이크로콘트롤러에 프로그래밍된 알고리즘에 의해 에어백 전개가 결정되면 중앙 제어부로 전개 메시지를 송신한다. 중앙 제어부는 y-축 가속도 신호를 참조(안전 기능)하여 최종적으로 에어백 전개를 결정한다. Fig.6은 에어백 전개 및 비전개 충돌조건에 대한 대표적인 경우에 대하여 얻어진 펄스 분사법의 결과를 보여주고 있다.

즉, 비전개 조건인 “(a)저속 FMVSS 214 충돌 시험”의 경우는 전개 메시지가 발생하지 않으므로 비전개로 판정된 것을 알 수 있다. 또한, 전개 조건인 “(b)54kph FMVSS 214 시험”의 경우는 원격 감지부로부터 3.6ms에 펄스 형태의 전개 메시지가 발생된 것을 알 수 있다. 즉, 원격 감지부가 3.6ms에 전개로 판정한 것이다. 이 전개 메시지가 중앙 제어부로 전송되면 전개 메시지를 해석한 후 안전 기능에 의해 최종 에어백 전개를 결정한다. 이 경우 중앙 제어부는 4.9ms에 에어백 전개 명령을 발생하였으며, 이는 Table 1의 전산 모의 시험 결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

7. 결론 및 향후 과제

본 연구는 원격 가속도 감지 방법에 의한 고속 측면 충돌 감지 알고리즘의 개발에 대한 내용으로서, 얻어진 주요한 성과 및 향후 과제는 다음과 같다.

- 1) 에어백 전개 및 비전개를 판정할 수 있는

가속도, 속도, 에너지 조건 및 안전 기능을 제시하였으며, 이러한 조건들로 구성된 알고리즘 로직을 개발하였다.

- 2) 제안된 알고리즘을 Matlab/ Simulink로 구현하였으며 이를 이용한 전산 모의시험을 실시하였다. 또한 펄스 분사법에 의해 그 성능을 검증하였다. 이것을 통하여 비전개 충돌 조건과 전개 충돌 조건간의 구별이 가능함을 알 수가 있었다. 또한, 오작동 조건에 대해서 충분한 비전개 안전 여유를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 더욱이, 측면 충돌 감지의 중요한 과제중의 하나인 “54kph FMVSS 214 시험”과 같은 고속 측면 충돌에서 5ms 이내의 짧은 시간 이내에 에어백 전개가 가능함을 보여 주었다.
- 3) 개발된 알고리즘을 실차 충돌 시험에 적용하여 에어백 전개 시간 및 승객 상해치 검토 등을 통해 알고리즘의 성능을 최종적으로 검증해야 하는 과제를 남겨두고 있다.

참고 문헌

- 1) 김규현, “측면충돌시 승객보호 기준에 관한 연구”, 대한기계학회지 제 35 권 제 6 호, pp.525~541, 1995.
- 2) NHTSA, “NHTSA Plan for Achieving Harmonization of the U.S. and European Side Impact Standards”, Report to Congress, April 1997.
- 3) Klaus Friedewald, “Design Methods for Adjusting the Side Airbag Sensor and the Car Body”, Volkswagen AG Germany Paper Number 98-SS-W-17, 1998.
- 4) 박서욱, 전만철, “전자식 에어백 제어 장치의 충돌 판정 알고리즘”, 자동차 공학회 논문집 제 7 권 제 3 호, pp.301~309, 1999.