

에어백 제어 시스템의 기술 동향

- 스마트 에어백 제어기술을 중심으로 -

박 서 욱 박사, 수석 연구원 · (주)현대 오토넷 전장 연구소

1. 서론

초기 에어백 제어 시스템은 차량 내 충돌 부위(Crash Zone)에 장착된 여러 개의 기계식 충돌센서 및 중앙 제어 유닛(DERM : Diagnostic and Energy Reserve Module)으로 구성된 다점 감지 방식(Multi-point Sensing Type)이 주류를 이루었다.

그러나 1990년대 이후 반도체 기술의 급속한 발달로 인하여 고성능 반도체 가속도 센서가 개발되어졌으며 이를 전자 제어장치 내의 회로 기판 상에 실장할 수 있게 되었다. 이에 따라서 비충돌 부위(Non-crash Zone)에 위치한 전자 제어장치 내의 전자식 반도체 가속도 센서가 기존의 충돌 부위에 위치한 여러 개의 기계식 충돌 센서를 대신할 수 있게 되었다. 이렇게 함으로써

전기배선이 단순하게 되고 전체 시스템의 가격이 저렴하게 되었다. 이러한 전자식 단일 감지 시스템(Electronic Single-Point Sensing system: ESPS)이 요구하는 요소 기술로는 고도의 자기 고장 진단 기능에 의한 고신뢰성의 구현 및 전자식 가속도 센서로부터 얻어지는 충돌신호를 이용한 충돌 판정 알고리즘의 개발 등이 있다.

한편 에어백 시스템의 출력 장치인 에어백 모듈의 기술도 급속히 발달하여 초기에는 운전석 에어백(주로 화약식 가스발생기 채택)을 주로 장착하였으나 차츰 조수석 에어백(주로 화약 및 압축 가스의 복합식 가스발생기 채택)의 적용이 보편화되기 시작하였다. 최근에는 벨트 프리텐셔너의 장착률도 높아지고 있는 추세에 있다. 또한 가스 발생기(Inflator)도 비 유독성인 비 질

화 나트륨계(Non-azide Type)로 점차 대체되고 있으며, 최근에는 저속 충돌에서 에어백 전개 에너지로 인한 승객의 상해치를 감소하기 위해서 저압팽창식 에어백(Depowered Airbag)이 많이 보급되고 있다. 향후에는 다단 가스발생기(Multi-stage Inflator)의 도입으로 차량 충돌의 심각도에 따른 에어백 전개 에너지를 보다 효율적으로 제어할 수 있게 될 것이다.

다른 한편으로의 추세로는 다양한 형태를 갖는 에어백의 등장이다. 1990년대부터 본격적으로 장착되기 시작한 측면 에어백을 비롯하여, 최근에는 측면 충돌 및 전복 시 승객의 두부를 보호하기 위한 팽창형 커튼 에어백(Inflatable Curtain Airbag)이 소개되어지고 있다.

또한 목 부위를 보호하기 위한 헤드 레스트 에어백(Head

Table 1. 에어백 시스템의 요구 및 이것이 전자 제어장치 개발에 미치는 영향

시스템 요구 (기술 동향 및 신 법규 동향)	전자 제어장치 개발에 미치는 영향
<ul style="list-style-type: none"> ● 추가적인 구속 시스템의 도입 (Side Airbag, Inflatable Curtain, Knee Airbag, Head Rest Airbag 등) ● 승객 상해치 관련 복미 법규 강화 ● 다양한 형태의 승객 감지 ● 시험용 더미의 종류 증대 ● Out-of-Position 감지 ● 벨트 착용 유무에 따른 승객 보호 ● 보다 복잡한 제어 시스템의 구성 ● 충돌 시험 요건의 추가 	<ul style="list-style-type: none"> ● 점화 회로 수의 증가에 따른 Firing ASIC의 집적도 증가 ● 점화 버스를 이용한 분산 제어 시스템의 도입 ● 이단 또는 다단 가스 발생기(Multi-stage Inflator)의 도입에 따른 점화 회로 수의 증가 ● 고성능 충돌 판정 알고리즘의 개발 ● 추가적인 센서(IR, Ultra-sonic, Weight Sensor 등)를 사용한 승객 위치 및 무게 감지 기능의 도입 ● 시트 벨트 스위치 감지 회로 추가 ● 고성능 마이크로컨트롤러의 사용 ● 충돌 심각도 감지 센서의 추가 ● 고성능 충돌 판정 알고리즘의 개발

Rest Airbag), 무릎을 보호하기 위한 무릎 에어백(Knee Airbag), 발목 부위를 보호하기 위한 팽창형 카펫 에어백(Inflatable Carpet Airbag) 등의 매우 다양한 형태의 에어백이 소개되고 있다.

이에 따라서 에어백 전자 제어장치는 더욱 많은 수의 점화 회로(Firing Circuit)가 필요하게 되었다. 대개 12개 정도까지의 점화회로는 하나의 제어 유닛 내에 집적이 가능하지만, 그 이상의 경우에 대해서는 제어 유닛의 크기, 콘넥터 크기, 전기 배선 등에 따르는 제약이 발생하게 된다. 따라서, 점화 버스(Firing Bus) 및 원격 점화 장치(Remote Firing Device) 등으로 구성된 분산 제어 시스템

(Distributed Control System)의 개발이 요구되어지고 있다.

기존의 에어백 시스템은 여러 가지 제한된 조건 하에서 개발이 이루어졌다.

즉, 정해진 자세와 위치를 갖는 몇 가지 표준화된 테스트 더미(Test Dummy, 예로써, Hybrid III 50th Percentile Dummy)를 사용하여 정해진 충돌 조건 하에서의 상해치를 만족하기 위한 에어백 시스템의 개발이 그것이다. 그러나 실제 차량 사고는 무수히 다양한 상황에서 일어난다.

즉, 여러 가지 형태를 갖는 탑승자가 다양한 위치 및 자세를 취할 수 있으며, 차량 충돌도 예측치 못하는 매우 다양한 상황에

서 일어나는 것이다. 최근 몇 년 간의 통계에 의하면 노약자나 몸집이 작은 운전자가 비정상적인 위치 조건(Out-of-Position)에서 오히려 에어백 전개로 인해 상해를 입을 수 있다는 것이 밝혀졌다. 또한 조수석에 탑승한 유아가 에어백 전개로 인하여 심각한 상해를 입거나 심지어는 사망하는 사고가 많이 발생하였다.

따라서, 이러한 문제점들을 개선하기 위해서 미연방 도로 교통 안전국(NHTSA)을 중심으로한 소위 스마트 에어백에 관한 법규 제정이 추진 중에 있다.

이와 같은 에어백 시스템에 관한 최근의 기술 동향 및 신 법규 제정이 에어백 전자 제어장치의 개발에 미치는 영향을 Table 1에 요약해서 정리하고 있다.

2. 스마트 에어백의 기술 동향

스마트 에어백의 세계적인 기술 동향은 미연방 도로교통 안전국(NHTSA)이 추진 중인 신 법규가 좌지우지하고 있다고 해도 과언이 아니다. 이러한 신 법규에서 요구하고 있는 스마트 에어백의 기본 개념은 다음과 같이 요약할 수 있을 것이다.

- 시트 벨트 착용 유무에 따른 승객 구속 시스템 동작 기준의 최적화.
- 비정상적인 위치나 자세 (Out-of-position) 의 승객에 대해서는 에어백 전개를 금지하거나 전개 에너지를 감소함(Depowered 또는 Dual-stage Initiator 의 채택).
- 조수석이 비어있는 경우에는 조수석 에어백 전개 금지.
- 거꾸로 놓인 유아 시트(RFIS : Rear-facing Infant Seat) 가 조수석에 있는 경우 조수석 에어백 전개 금지.

● 몸집이 큰 승객 또는 시트 벨트 미착용 승객에 대해서는 구속의 강도 (Stiffness of Restraint)를 증대 시키고, 반대로 몸집이 작은 승객(여자, 노약자 등) 또는 시트 벨트를 착용한 승객에 대해서는 구속의 강도를 저하시킨다.

이러한 스마트 에어백의 요구 사항을 구현하기 위한 요소 기술들의 개발은 관련 기술의 발달에 따라 단계적으로 도입될 것으로 예상하고 있다. Table 2 는 이러한 기술 개발의 도입 단계에 관한 하나의 시나리오를 보여주고 있다.

이러한 에어백 시스템의 기술적 변천은 다음과 같고 있는 입출력 신호 수 및 그 동작률로 식해보면 쉽게 알 수 있다. Table 3 은 스마트 에어백 시스템이 요구하는 입,출력의 종류에 대해 설명하고 있다.

3. 스마트 에어백 시스템의 요소 기술

Table 3 에서 보는 바와 같이 입출력의 종류가 다양해진 만큼 에어백 전자제어 장치의 하드웨어 및 소프트웨어는 더욱 고집적화, 고성능화가 요구되어지고 있다.

즉, 제한된 회로 기판 내에서 많은 수의 입출력 신호를 처리하기 위해서는 점차 하드웨어의 복잡해 질 수 밖에 없으며, 따라서 스마트 파워형 주문형 반도체 (Smart Power ASIC)를 통한 하드웨어의 구현이 필수적이다.

반도체 기술의 입출력 용량 증가에 따라 스마트 파워형 주문형 반도체의 기능도 더욱 고성능, 고집적화의 추세에 있다.

이러한 주문형 반도체의 개발은 우선 경제성 문제가 해결되어야 하며 그 개발기간도 대개 3년이상이 소요된다. 따라서, 이미 이 확보된 고성능 주문형 반도체의 개발은 스마트 에어백용 전자제어 장치 개발에 있어 필수

Table 2. 스마트 에어백 시스템 기술의 발전 단계

Step 1 (스마트 초기 단계)	Step 2 (스마트 중간 단계)	Step 3 (스마트 성숙 단계)
<ul style="list-style-type: none"> ● Driver & Passenger Seat-belt Buckle Switches ● Dual Threshold Algorithm ● Passenger Presence Detection ● Rear Facing Child Seat Detection (by Tag or Transponder System) 	Step 1 + <ul style="list-style-type: none"> ● Crash Severity Algorithm ● Crash Severity Sensor ● Multi-stage Inflator (Driver & Passenger Airbag) ● Inflatable Curtain 	Step 2 + <ul style="list-style-type: none"> ● Weight Sensor ● Occupant Sensing (OCF) ● Smart Load Limiter ● Distributed Firing ● Rollover Sensing

Table 3. 스마트 에어백 시스템이 요구하는 입,출력

입 력	출 력
<ul style="list-style-type: none"> ● Dual-axis Accelerometer (Front and Side Impact Sensing) ● Crash Severity Sensor ● Seat-belt Buckle Sensor ● Occupant Position Sensor ● Occupant Weight Sensor ● Child Seat Detection ● Seat Position Sensor ● Side Impact Sensor ● Roll-over Sensor ● Pre-Collision Detection 	<ul style="list-style-type: none"> ● Multi-stage Front Airbag ● Seat-belt Pretensioner ● Side Airbag(Head, Thorax Airbag) ● Rear Airbag ● Inflatable Curtain Airbag ● Inflatable Tubular Structure ● Knee Airbag ● Inflatable Carpet Airbag ● Head Rest Airbag ● Smart Load Limiter ● Rollover Bar Release ● Fuel Cutoff ● Emergency Call

불가결한 것이다.

전체 시스템 구조가 복잡해짐에 따라 보다 고성능의 마이크로 컨트롤러의 사용이 필수적이다. 주된 요구 사항은 보다 많은 입출력 핀, 큰 메모리 용량(ROM, RAM, EEPROM 등), 빠른 처리 속도등이다.

충돌을 감지하는 핵심 부품인 가속도 센서도 지난 몇 년 동안 큰 기술적 진보를 이룩하였다.

반도체 기술과 MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 기술의 발달에 힘입어 고성능, 다축 감지 기능의 가속도 센서가 개발되었다.

초기에는 신호처리부를 별개의 외부 회로로 구현함에 따라, 차지하는 면적이 크고 신뢰도가 낮은 편인 반면 가격은 비교적 고가였다. 그러나 최근에는 전기적 노이즈에 민감하고 복잡한 신

호 처리부가 센서와 일체형으로 개발되어짐에 따라 신뢰성, 성능은 향상되고 가격은 오히려 낮아졌다.

3.2. 승객 무게 감지 센서

미연방 도로교통 안전국(NHTSA)에서 추진하고 있는 스마트 에어백 관련 법규 제정에 있어서 가장 주목 할만 한 것 중의 하나는 다양한 신체 조건에 해당되는 여러 가지 테스트 더미

Table 4. 기존의 가속도 센서와 스마트 에어백용 가속도 센서의 비교

	초 기	스마트 에어백용
Type	Piezo-resistive or Piezo-electric Type	Piezo-capacitive Type
제조 기법	Bulk Machining	Surface Machining
신호 처리 회로	별개의 외부 회로로 구현	센서와 일체형(one-chip type)
감지 축	Single-axis	Multi-axis (2축 또는 3축)
Package	SIP or DIP	SOIC or PLCC

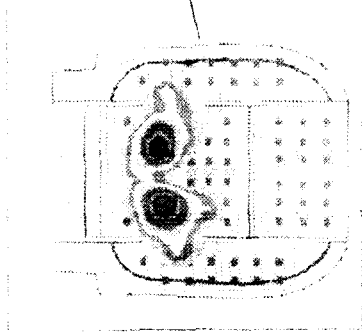
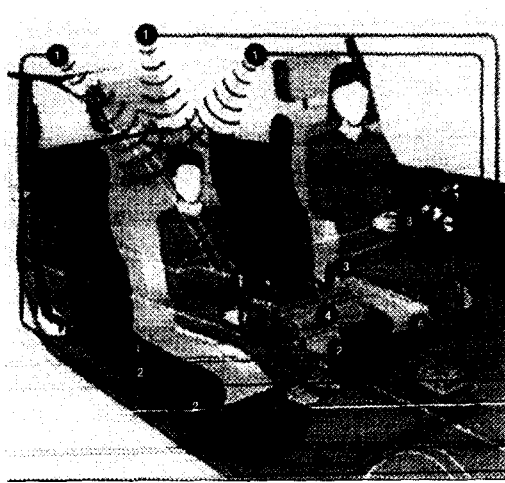


Fig.1 FSR(Force Sensitive Resistor) Sensormat (by IEE)



- ① 초음파 센서
- ② Weight Sensor
- ③ Buckle Sensor
- ⑥ Seat Position Sensor

Fig.2 Example of Occupant Sensing System (by Autoliv)

의 추가이다. 즉, 기존의 50% 성인 남자 터미에 몇 가지 터미 즉, 5% 성인 여성 터미 및 12개월, 3살 및 6살 유아 터미를 추가하는 것을 검토 중에 있다.

따라서 이러한 다양한 신체 조건의 탑승자에 대한 식별을 위해서는 승객의 무게를 감지할 수 있는 센서가 필요하다. 이러한 승객 무게 센서의 형태로는 그 장착 위치에 따라서 시트 쿠션 형태와 시트 프레임 형태로 크게 나뉘볼 수 있다.

시트 쿠션 형태는 압력 감지용 센서 매트를 시트 쿠션 내에 장착하여 승객의 무게 분포를 감지하도록 되어있다. Fig.1은 IEE사의 FSR(Force Sensitive Resistor) 센서 매트에 대한 예

를 보여주고 있다. 그 밖에, TRW, Autoliv, Siemens 등은 시트 프레임에 로드셀이나 스트레인 게이지 등을 장착하여 승객 무게를 감지하는 방식을 개발하고 있다.

이러한 센서로부터 유아(33Kg 이하)의 탑승이 감지되면 조수석 에어백 전개를 금지할 수 있다.

또한 승객 몸무게를 여러 단계로 분류하여(예로써, 승객 없음< 유아 < 가벼운 성인 < 평균 성인 < 무거운 성인의 다섯 단계) 감지함으로써 보다 최적의 탑승자 보호가 가능하다.

그러나, 승객에 대한 보다 신뢰성 있는 정보를 얻기 위해서는 승객 무게 감지 센서만으로는 불

충분한 정보를 얻기 어렵다. 시 정보(예로써 승객 위치)와 결합하여야 할 것으로 사료된다. Fig.2는 승객 무게 및 위치 센서와 시트 위치 센서등을 조합하여 구현한 Autoliv사의 승객 감지 시스템의 한 예로 보여 주고 있다.

시트 프레임 시스템에서 요구하는 정보에 대한 정보는 탑승 상태

의 탑승 유무 뿐만 아니라, 유아로 놓인 유아 시트(Rear Facing Infant Seat)가 유아 시트가 전체 좌 안 좌면 영역(Out-of-Position) 영역에 존재 금지 영역 내에 있는지에 대한 여부도 감지해야 한다. 이를 구현하기 위해 대개는 초음파 센서나 적외선 센서등을 차량 내부 상단(Headliner) 또는 인스터루먼트 판넬(IP) 상면에 장착하여 승객의 외곽선을 감지한다.

적외선 센서는 응답 속도가 비교적 빠르고 무생물과 생물간의 식별이 가능한 이점이 있으나, 처리 알고리즘이 복잡하고 일반적으로 많은 센서가 필요한 단점이 있다.

반면에, 초음파 센서는 처리 알고리즘이 단순하고 적은 수의 센서로도 구현이 가능한 장점이 있다. 그러나 정확도가 다소 떨어질 뿐 아니라 응답속도가 낮은 점도 갖고 있다.

충돌 심각도 감지 알고리즘
(John Haworth, "Northrup")

충돌 심각도(Crash Severity)는 승객 상해치 측면에서의 차량 충돌 크기의 척도이다. 이러한 충돌 심각도를 감지하여 다단 가스 발생기를 제어하기 위한 알고리즘은 스마트 에어백 시스템의 두뇌에 해당되는 중요한 부분이다. 이단 가스 발생기(Dual-stage Inflator)를 사용하는 경우에 대한 충돌 심각도 감지 알고리즘의 기본 동작 원리는 다음과 같다.

계산된 알고리즘 변수 값이 정해진 임계치(Threshold)에 이르면 1단계 가스 발생기를 점화

시킨다. 이때 이 임계치는 기존의 에어백 시스템의 전개 속도에 해당되는 저속 고정벽 충돌 또는 저속 오프셋 충돌 데이터로 결정할 수 있다.

1단계와 2단계 가스 발생기 사이의 점화 지연 값은 충돌 심각도에 따라 결정된다. 즉, 시간 지연이 없는 경우(1단계 및 2단계 동시 점화)는 최대의 전개 에너지를 나타내며 이는 충돌 심각도가 매우 큰 경우에 해당된다. 충돌 심각도가 다소 낮은 경우는 수십 msec의 시간 지연을 가지고 2단계 가스 발생기를 점화시킨다.

Table 5. 4단계 임계치 알고리즘의 한 예

충돌 심각도	벨트 착용 유무	가스 발생기 점화
1단계	미 착용	Stage 1
2단계	착용	Stage 1
3단계	미 착용	Stage 2
4단계	착용	Stage 2

Fig.3은 운전석 이단 가스 발생기의 한 예를 보여주고 있으며, Fig.4는 이단 가스 발생기의 최대 및 최소 압력곡선을 나타내고 있다.

만일 벨트 착용 유무 감지를 고려한다면 Table 5와 같은 4단계 임계치 알고리즘을 생각할 수 있다. 즉, 알고리즘은 충돌 심각도를 4단계로 구별하여 각 단계에 해당되는 가스 발생기를 점화시킨다.

이와 같이 충돌 심각도의 단계가 늘어나면 단일 감지 시스템으로는 원하는 성능을 얻기가 매우 힘들며, 따라서 추가적인 충돌

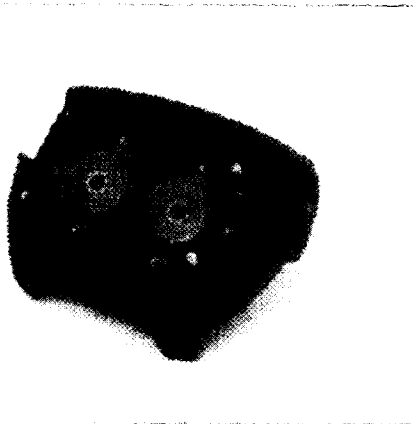


Fig.3 Driver-side Dual-stage Inflator (by Delphi)

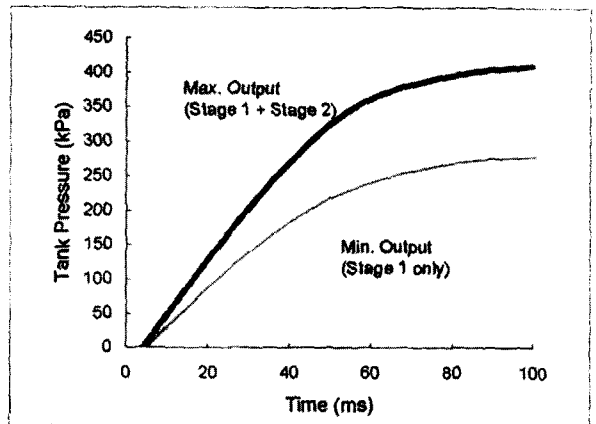


Fig.4 Max. and Min. Output for Dual-stage Inflator

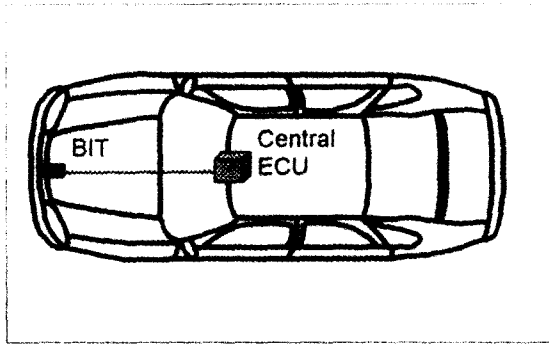


Fig.5 Crash Severity Sensor

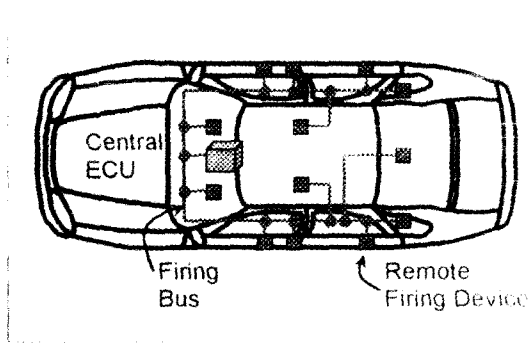


Fig.6 Distributed Architecture

심각도 감지 센서의 도입이 필요해지는 것이다.

3.5. 충돌 심각도 감지 센서 (Crash Severity Sensor)

충돌 심각도 및 안전 벨트 착용 유무를 감시하여 다단 가스 발생기(Multi-stage inflator) 및 시트 벨트 프리텐서너를 제어하기 위해서는, 충돌 판정 알고리즘이 다단계 임계치(Multi-level Threshold)에 대한 구별 능력을 가져야 한다. 이러한 요구를 충족시키기 위해서는 비충돌 부위에 위치한 단일 감지 시스템으로는 많은 기술적 난제가 있다.

이러한 점을 개선하기 위해서 충돌 부위에 한 개 또는 두 개의 충돌 감지 센서를 장착하여 충돌 신호를 조기감지 하는 시도를 하고 있다. 부가적 충돌 감지 센서의 장착에 따라 오작동 및 비전개 조건에 대한 알고리즘의 강건성(Robustness)을 개선할 수 있을 뿐 아니라, 상해 위험이 높

은 충돌 상황을 조기 감지할 수 있는 이점이 있다. 이러한 충돌 심각도 감지 센서로서는 전자식 가속도 센서 또는 기계식 충격 센서가 검토되어지고 있다. Fig.5는 한 개의 기계식 충돌 센서(BIT: Ball-in-Tube Type)를 사용한 한 예를 보여주고 있다.

3.6. 분산 구조 (Distributed Architecture)

스마트 에어백 시스템에서는 점차 여러 가지 형태의 에어백에 대한 적용이 검토되고 있다. 최근의 고급 승용차의 경우는 대개 6~8개(또는 최대 12개)의 점화회로가 사용되고 있다(즉, 운전석, 조수석 정면 및 측면 에어백, 벨트프리텐서너 등). 최근에는 커튼 에어백, 무릎 에어백, 헤드 레스트 에어백 등 매우 다양한 형태의 에어백이 개발 중에 있다.

따라서 점차 더 많은 수의 점화회로가 필요하게 될 것이다.

대개 12개까지의 점화회로는 하나의 제어 유닛으로 구현이 가능하지만 그 이상의 경우엔, 하나의 유닛의 구조가 매우 복잡해지고 크기도 기껏 두 배에 이른다. 이러한 단점을 극복하기 위해 분산 구조를 도입하는 것이 분산 제어 시스템이다. 즉, 공용 버스(Common Firing Bus)를 도입하고 중앙 제어 장치에 10년 점화 회로 및 12단 점화회로 가스 발생기측으로 이진 신호를 보낸다. Fig.6은 이러한 분산 제어 시스템의 한 예를 보여주고 있다.

이 경우 점화 회로 수가 늘어나더라도 전용 점화 버스선에 원격 점화회로를 연결하면 설계 장치가 가능하다. 따라서 전체 시스템 구성이 단순해지고 저적외 가격으로 구현이 되며 유연성, 확장성이 향상된다. 그러나 버스 시스템의 안정성, 신뢰성이 확보되어야 하며, 점화 신호 전송을 위한 시간을 최소화해야 한다. 또한, 버스 신호의 강건성이 요구

된다. 즉, 전원 단락 또는 접지 단락, 단선 또는 전자파등의 외란 요인에 대해 안정적인 동작이 이루어져야 한다.

4. 맺은 말

이상에서 살펴 본 바와 같이 최근의 기술 동향 및 미연방 도로교통 안전국(NHTSA)에서 추진하고 있는 신 법규를 구현하기 위해서는 많은 요소 기술들이 요구되고 있다.

이러한 요소 기술의 진보에 따라 스마트 에어백 시스템은 수년 내에 현실로 구체화 될 것이다. 그러나 스마트 에어백에서 요구하는 매우 다양한 상황에서 신뢰성 있는 성능을 얻기 위

해서는 아직도 많은 기술적 난제들이 산적한 것도 사실이다.

실제로 많은 차량 메이커 및 전장품 메이커에서는 미연방 도로 교통 안전국(NHTSA)이 1998.9.1에 제시한 제안 법규(NPRM)에 여러 가지 다양한 기술적 이견을 보이고 있다. 따라서 NHTSA는 이러한 이견들을 취합하고 정리하여 최종 법규를 제정코자 하고 있으나 여러 번 목표 시한을 연기하고 있다.

스마트 에어백에서는 기본적으로 보다 많은 센서를 요구하고 있기 때문에 매우 다양하고 가변적인 환경에 대해 신뢰성 있는 센서 정보를 획득하는 것이 가장 큰 과제 중의 하나이다.

또한 스마트 에어백 시스템의

두뇌에 해당되는 충돌 심각도 알고리즘은 여러 센서 정보를 효과적으로 이용하여 다양한 출력 구속 장치를 최적으로 제어하는 것이 필수적이다.

이러한 요소 기술의 개발이 단지 실험실에서의 시뮬레이션 또는 테스트만으로 무수히 다양한 실제 세계를 충분히 고려할 수 있을 지에 대한 큰 의문을 가질 수 밖에 없다. 따라서 세계적인 전장 메이커 및 차량 메이커들은 누가 제일 먼저 본격적인 스마트 에어백 시스템을 시장에 내놓을 지에 대해 조심스럽게 주목하고 있다.

〈박서욱박사: airbag@hei.co.kr〉