

# 에어백 기술의 발전 동향

## Trends of Airbag Technology

김 권 회  
K. H. Kim



김 권 회  
 • 1956년 8월생  
 • 정회원  
 • 고려대학교 공과대학 기계공학부 교수  
 • 자동차 충돌안전관련 부품의 개발, 에어백 충돌감지 알고리즘 및 센서 개발, 금속박판의 이방성 연구

### 1. 서 론

에어백은 60년대 말 독일의 Mercedes-Benz 사가 개발에 착수하여 대량 생산의 기초를 만들었다. 개발 초기에 Mercedes-Benz 사에서는 여러 회사에 공동 개발을 제의하였으나 너무 획기적인 아이디어여서 이 제의를 받아들인 회사가 없었다고 한다. 상품의 개발이 끝난 후에도 미국과 일본에서는 반대가 있었으므로 수출차에 대한 에어백의 장착이 늦어졌다. 그러나 70년대 초반부터 에어백의 효용성과 신뢰성에 대한 연구가 진행되어 왔고 현재는 좌석벨트와 함께 가장 유력한 승객보호장구로 인식되고 있다. 초기에는 유럽의 고급 차종에만 장착되었으나 1980년대 후반부터 기술의 발전으로 가격이 저렴하여 지고 차량 안전도에 대한 일반인들의 관심이

높아지면서 선진국에서 본격적으로 보급되기 시작하였다. 미국등 선진국에서는 에어백의 장착이 의무화 되어가고 있으며 국내에서도 이 같은 추세가 조만간에 법제화 될 것으로 예상된다. 국내에서도 에어백에 대한 일반인의 관심이 높아지고 있다. 현재는 충돌감지 센서, 가스발생장치 등 대부분의 기능 부품을 수입에 의존하고 있는 실정이다. 에어백 시스템이 고가이므로 국산 차량의 국제 경쟁력을 향상시키기 위하여는 에어백 부품들의 국산화가 중요하다.

에어백 관련 기술은 차체 충돌특성 평가, 승객거동분석, 좌석벨트/조향축/에어백의 조화설계 등을 포함하는 시스템 엔지니어링 기술과 충돌감지센서, 가스발생기, 모듈 등을 포함하는 주요 기능 부품의 설계 및 제조 기술로 구분된다. 이 중 시스템 엔지니어링 기술은 국내의 완성차 업계의 노력에 의하여 선진국의 수준에 근접하고 있으나 부품의 설계 및 제조기술은 매우 취약한 상황이다.

80년대 후반부터 각국의 에어백 관련 특허 출원 건수가 급증하고 있으며 새로운 기능의 부품들이 속속 개발되고 있다. 에어백 기술

의 발전 방향은 소형화, 경량화, 저렴화로 요약된다. 차량의 전방 충돌에 대비한 에어백이 주종을 이루고 있으나 측면 충돌에 대비한 side bag, 뒷좌석 승객을 보호하기 위한 rear bag 등이 개발되고 있고 최근에는 버스 등 대형 차량이나 모터사이클 등에도 에어백을 부착하기 위한 연구가 추진되고 있다<sup>1),2)</sup>.

에어백은 충돌센서(crash sensor), 가스발생장치(inflator), 공기주머니(bag), 덮개(cover), 배선(wire harness) 등으로 구성된다. 이 들 중에서 공기주머니, 덮개, 가스발생장치를 결합한 부분 조립품을 모듈(module)이라고 부르고 있다. 그림 1은 운전자와 승객 측의 에어백 모듈을 보이고 있다. 이하에서는 에어백을 구성하는 주요 기능부품들의 종류, 특성과 기술개발 동향을 알아보기로 한다.

## 2. 충돌감지센서

에어백 센서는 차량의 충돌을 감지하여 에

어백을 작동시키는 장치로 기계식(mechanical), 전기-기계식(electro-mechanical), 전자식(electronic) 등으로 분류된다. 본 절에서는 각각의 구조적 특성과 장단점을 요약해서 설명하기로 한다.

기계식은 감지질량(sensing mass), 감지질량에 편향력을 가하기 위한 용수철 또는 자석, 감쇄기구(damping mechanism) 등에 의하여 격침을 작동시켜 충격식 뇌관을 포함하는 가스발생기를 작동시키는 구조로 되어 있다. 그림 2는 기계식 센서의 일례를 보이고 있다. 기계식 센서는 백모듈, 가스발생기와 일체로 구성이 되어 조향핸들 내부에 장착이 된다. 외부와 연결을 위한 전선이 필요 없으므로 장착성이 우수하며 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 그러나 고장 유무를 사전에 확인하기가 어렵고 조향핸들의 위치에서 다양한 충돌 상황에 대하여 적절히 작동하는 센서를 설계하기가 어렵다는 단점이 있다. 예컨대 Toyota 사의 경우 기계식 센서를 채택하기 위하여 차량의 일부를 재설계해야 하

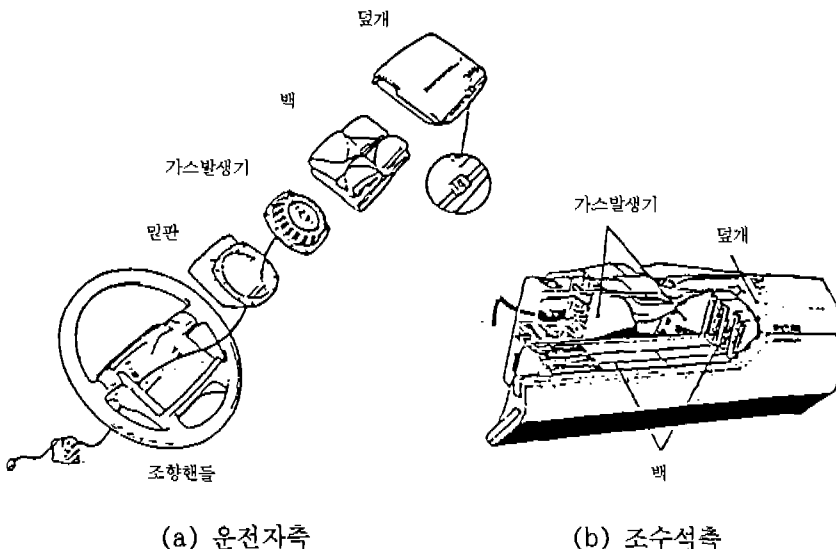


그림 1 에어백 모듈

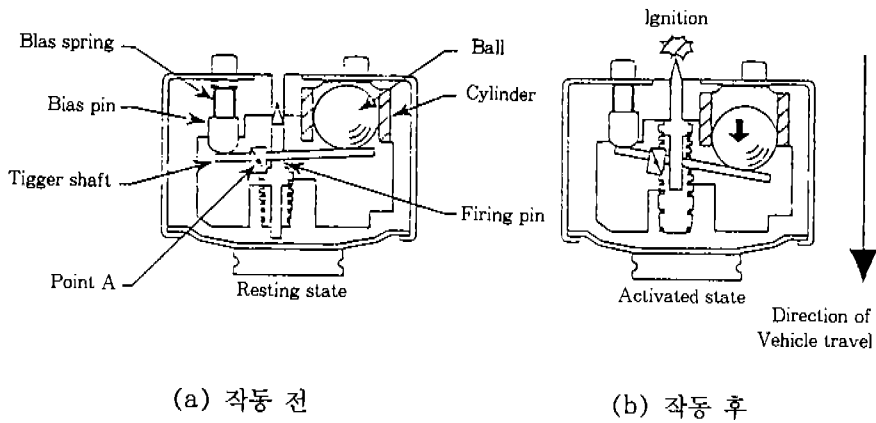
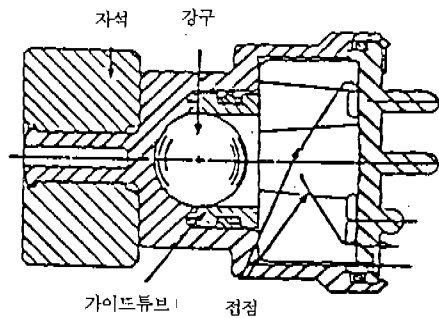
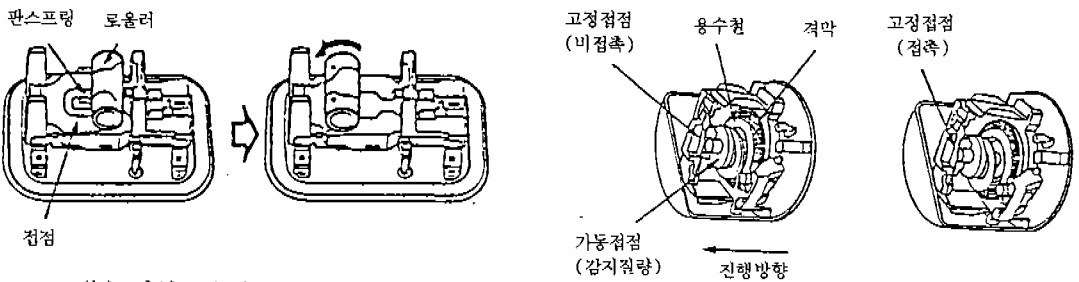


그림 2 기계식 에어백 센서



(a) 자석-강구-튜브형, Breed Automotive Technology, Inc.



(b) 편향롤러(rollermite) 형, TRW Technar 사

(c) 박막(diaphragm) 형, TRW Technar 사

그림 3 전기-기계식 에어백 센서

는 어려움을 겪은 예가 있다. 따라서 기계식 센서는 보편적으로 채택되지 못하고 일부 모델에 제한적으로 사용되고 있다.

전기-기계식 센서는 그림 3에 보인 것처럼

여러 종류가 있다. 구조는 서로 상이하지만 작동원리 상에서는 기계식 센서와 유사하며 단지 감지질량의 운동을 전기신호로 바꾸기 위한 전기 스위치가 내장되어 있다는 점이

다르다. 즉 차량의 충돌시 감지질량이 편향력을 극복하고 정지위치에서 이동하여 내장된 전기 접점을 닫아 센서에 연결된 외부의 스위치 회로가 작동하도록 되어있다. 보통 2~3개의 주센서가 차량의 전방에, 그리고 보조센서가 후방에 설치된다. 그리고 이들의 작동을 감지하여 에어백의 전개 여부에 대한 최종 판단을 내리는 제어장치(ECU)가 운전자 또는 승객의 좌석 밑부분에 설치된다. 각각의 센서는 ECU와 배선(wire harness)을 통하여 연결된다. ECU가 에어백의 작동여부를 결정하여 전기식 뇌관(squib)을 작동시키면 가스발생기가 작동하여 에어백이 전개되게 된다. 여러 개의 센서를 사용하므로 다양한 상황에 대하여 충돌감지를 하기에 편리하다. 따라서 지금까지는 전기-기계식 센서가 가장 널리 보급되어 있다. 그러나 긴 배선을 통하여 각 부품들이 연결되므로 장착성이 나쁘고 다수의 전기 연결구(connector)를 필요하므로 신뢰성의 측면에서 다른 방식에 비하여 불리하다.

전자식 에어백 센서는 ECU의 전자 기판위에 반도체 가속도 센서와 마이크로프로세서를 내장하여 가속도 신호를 처리함으로써 에어백의 전개여부를 결정하고 전기식 뇌관을

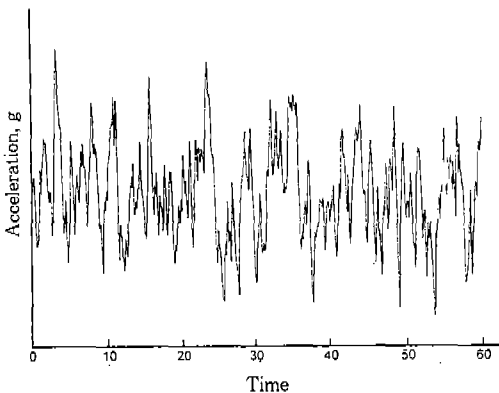


그림 4 충돌가속도 파형의 일례

점화하도록 설계되어 있다. 따라서 전기-기계식의 경우처럼 차량 여러 부위에 분산 배치된 센서들과 ECU를 연결할 필요가 없게 되어 배선이 단순해지고 장착성이 우수하다. 또한 차체의 충돌특성에 적합한 신호처리 알고리즘을 사용하면 ECU 설치위치에서 다양한 충돌상황에 대하여 적절한 뇌관 점화 시간(firing time)을 얻는 것이 가능하므로 전기-기계식과 대등한 충돌감지 성능을 확보할 수 있다. 그러나 차체의 강성이 낮은 경우에는 이 같은 일점감지(single point sensing)가 불가능한 경우도 있다. 종래에는 차체 강성이 높은 일부 고급차종에만 전자식 일점감지가 적용되었으나 최근 충돌감지 알고리즘 기술이 발달하여 소형 차량에도 전자식 에어백 센서가 적용되고 있다. 또한 micro-machining 기술의 발전으로 반도체 가속도 센서의 가격이 저렴해지고 있어 전자식 에어백 센서가 전기-기계식을 대체해나가고 있는 실정이다.

전자식 에어백 센서의 핵심은 미세가공기술(micro-machining)을 응용한 반도체형 가속도센서와 센서로부터 얻어진 가속도 신호의 처리를 위한 충돌감지 알고리즘에 있다고 볼 수 있다. 반도체형 가속도 센서는 미국, 일본, 유럽 등 선진국에서 경쟁적으로 개발에 참여하고 있어서 가격이 지속적으로 하락하고 있다. 최근에는 차량의 측면 충돌을 감지하기 위하여 가속도 대신 door 내부 공간의 압력을 측정하는 방법도 개발되고 있다<sup>3)</sup>.

여러 충돌 조건에 대하여 측정된 가속도 파형으로부터 적절한 충돌감지 알고리즘을 도출하는 것은 전자식 충돌감지센서의 핵심 기술이다. 전자식 충돌감지센서의 hardware 자체는 대동소이하지만 각 차량의 충돌특성은 매우 상이하다. 모든 차량에 적용가능한 보편적인 알고리즘은 만들기 어렵지만 충돌

감지의 기본적 방법은 다음과 같다. 충돌시에 측정된 가속도  $a(t)$ 로부터 차체의 감속도  $\Delta V$ 를 다음과 같이 얻는다.

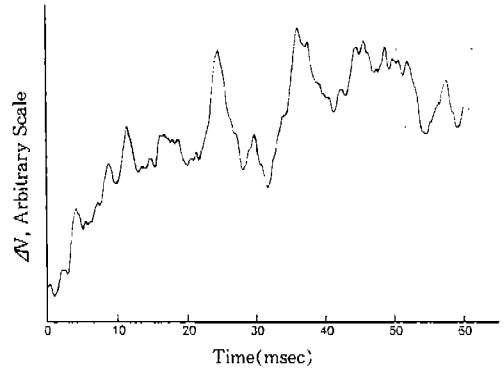
$$\Delta V = - \int_0^t a(t) dt \quad (1)$$

충돌이 일어나면 차체가 감속되면서 차체의 일부분이 변형하기 시작한다. 이러한 변형 과정에서 차체 구조에 진동이 발생한다. 구조진동에 대한 정보는 가속도 신호  $a(t)$ 에 포함되어 있다. 충돌 과정에서 발생하는 차체의 구조진동이 모두 감쇄(damping) 되어 소멸한다고 생각하면 시간에 대하여 단순증가하는 누적진동에너지  $E(t)$ 를 다음과 같이 정의할 수 있다.

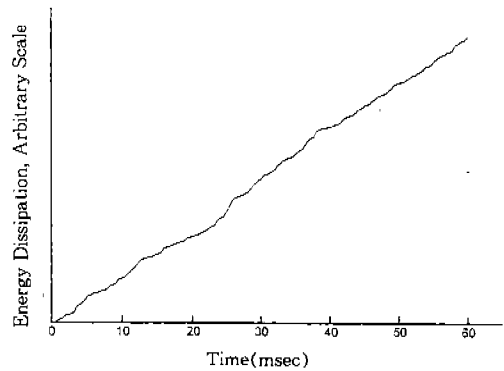
$$E(t) = \int_0^t F(a(t), f_1, f_2) dt \quad (2)$$

여기서  $f_1, f_2$ 는 적절한 band pass filter의 주파수를 나타내며 함수  $F$ 의 형태는 충돌가속도 파형  $a(t)$ 에 대한 충돌감지시간으로부터 결정된다. 감속도  $\Delta V$ 와 누적진동에너지  $E$ 의 시간에 따른 변화를 분석하여 충돌감지 조건을 산정할 수 있다. (1), (2)식의 적분은 차량의 충돌 개시 시점으로부터 수행해야 하므로 가속도 파형  $a(t)$ 로부터 충돌 개시 시점을 판단하는 기준을 필요로 한다. 충돌 감지시간은 정면충돌의 경우 15~45msec 범위에 있으므로 충돌개시의 판단은 시간은 1~2msec 범위에서 이루어져야 한다. 정면충돌의 경우 충돌감지 알고리즘의 발달로 최근에는 충돌특성이 취약한 소형 차량에도 전자식 에어백센서가 널리 보급되고 있다.

측면 충돌에 대비한 side airbag의 경우는 충돌 감지시간이 5msec 내외로 정면충돌의 경우에 비하여 매우 짧기 때문에 가속



(a)  $\Delta V-t$  파형



(b)  $E-t$  파형

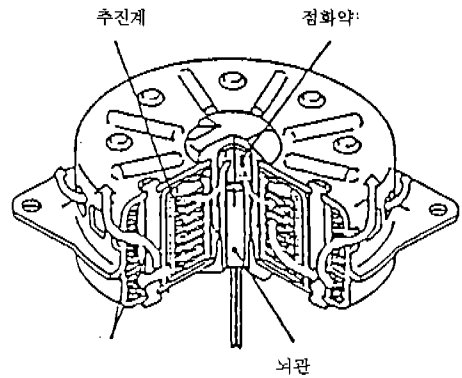
그림 5 감속도  $\Delta V$ , 누적진동에너지  $E$  파형

도 측정부위를 충돌부위에 가깝게 설정하는 것이 보통이다. 따라서 floor나 tunnel쪽에 설치되는 정면충돌용 airbag ECU를 side airbag의 ECU로 활용하기 어려운 경우가 많다. 정면충돌, 측면충돌에 대한 통합 일점 감지를 구현하기 위하여는 차체 구조의 강성이 이에 적합해야 한다. 즉 floor나 tunnel 등의 위치에서 측면충돌의 감지가 가능해야 한다. 강성이 낮은 차체 구조에서는 측면충돌 초기의 미세한 진동이 floor나 tunnel까지 충분히 전달되지 못하므로 일정감지를 포기해야 한다. 즉 충돌감지 알고리즘은 차체 구조와 밀접한 관계를 갖게된다. 이상적으로

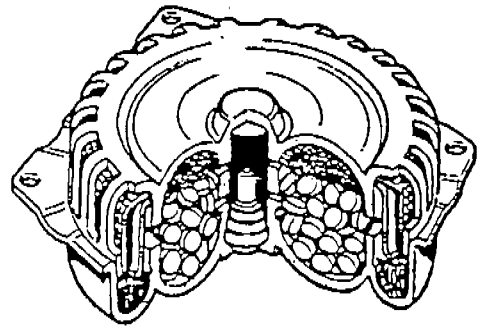
는 차체구조의 변경이 가능한 단계에서 알고리즘의 작성, 평가, 보완이 이루어져야 하므로 차체 충돌특성을 정확하게 예측하는 기술이 충돌감지 알고리즘 개발에 매우 중요하다. 측면충돌을 감지하는 것은 정면충돌에 비하여 매우 어렵다. 선진국에서도 side air-bag의 충돌감지기술은 아직 개발중에 있다고 볼 수 있으며 국내에서도 완성차 업체를 중심으로 이에 대한 연구가 진행중에 있다<sup>4)</sup>.

### 3. 가스발생장치

가스발생장치는 센서에서 에어백 전개 결정이 내려져 신호를 보내면 이를 받아 대량의 질소가스를 방출하여 30msec 이내에 백을 완전히 전개하여야 한다. 가스발생장치는 운전자측의 경우 조향핸들 내부에 장착되므로 크기의 제한을 받는다. 초기에는 압축가스를 쓰는 방법에 대하여 많은 연구를 하였으나 이 경우 압축가스의 단일 팽창에 의한 냉각 때문에 소형의 가스발생장치로는 백을 충분히 부풀리기 어려운 문제가 있었다. 70년대 중반에 들어서 현재와 같이 화약(고체 추진제)을 사용하는 방식의 가스발생기가 성능과 신뢰성 면에서 우수하다는 결론이 내려졌다. 가스발생장치는 구조와 성능면에서 대부분 비슷하다. 운전자측의 경우 bag의 용량이 40~50리터, 승객측의 경우 170~200리터 이므로 가스발생장치의 크기도 이에 따라 정해지게 된다. 그림 6은 화약식 가스발생장치의 구조를 보이고 있다. 화약식 가스발생장치(pyrotechnic inflator)는 대부분 전기식 뇌관(electric squib), 보조장약(booster), 질화나트륨(sodium azide,  $\text{NaN}_3$ )계 추진제(propellant), 여파기(filters) 및 금속용기 등으로 구성되어 있다. 뇌관에서 발생한 충격파에 의하여 보조장약이 점화되고 이어서



(a) TRW사 제품



Gas Generator

(b) Temic/Bayern Chemie사 제품

그림 6 화약식 가스발생장치(pyrotechnic inflator), 운전자 에어백용

추진제가 점화되어 연소가 진행된다. 질화나트륨계 추진제가 연소하여 발생한 고온, 고압의 질소가스는 여파기를 거치면서 냉각이 되고 유독가스 성분이 제거된다. 냉각, 여파된 가스는 금속 용기를 빠져나오면서 단일 팽창에 의하여 온도와 압력이 더욱 낮아진다<sup>5), 6)</sup>. 화약식 가스발생장치는 많은 양의 화약을 사용하므로 제조 공정 중의 폭발과 화재를 방지하기 위하여 고가의 생산 설비와 막대한 면적의 설비공간을 필요로 한다. 이러한 점은 화약식 가스발생장치의 제조원가를 높이는 요인이 되고 있다. 또한 고체추진



그림 7 복합식 가스발생장치(hybrid inflator), 조수석 에어백용, Bendix Atlantic Inflator Co. 제품

제( $\text{NaN}_3$ )의 연소가스는 자극성이 강하고 폐기시에 환경문제를 유발한다. 이에 따라 최근에는 압축가스와 고체추진제를 함께 사용하는 복합식(hybrid type)의 가스발생기가 개발되어 실용화되고 있다. 하이브리드 방식은 에어백의 개발 초기에 일단 부정되었던 고압가스식 가스발생장치를 보완한 것이다. 그림 7은 복합식 가스발생장치의 예를 보이고 있다. 기본 원리는 압축된 불활성가스(Argon 등)를 봉입한 고압 용기의 출구를 화약으로 날려버리고 소량의 추진제를 발열원으로 하여 압축가스의 단열팽창에 의한 냉각을 보상하는 것이다<sup>7-9)</sup>. 이렇게 하면 추진제는 순수 화약식에 비하여 1/10 만 있으면 된다. 또한 추진제 발생가스를 냉각하기 위한 여과기도 필요없게 된다. 또 내열성을 위하여 필요한 bag의 내부 코팅층을 생략하여 천이 얇아지므로 백을 작게 접을 수 있다. 하이브리드 방식은 미국에서 적극적으로 개발되어 조수석 에어백에는 이미 실용화되고 있다. 조수석 에어백에는 하이브리드 방식이 기존의 화약식을 대체해나가는 추세에 있다. 그러나 하이브리드 방식은 긴 실린더 형태의 구조를 갖고 있고 아직까지는 운전석 에어백 모듈에 적합한 형태가 실용화되지 않은 상태이다. 따라서 운전석에는 화약식이 지속적으로 사용되고 있다.

화약식의 경우 가스발생기의 개발 방향은

다른 자동차 부품과 마찬가지로 소형화, 경량화, 저렴화라고 볼 수 있다. 이를 위하여 개발의 초점은 금속용기를 제작하는 방식, 즉 스테인레스나, 알루미늄 합금제나 하는 문제와 이에 따른 용기 결합방법(용접, 나사 체결, 리베트 체결 등), 그리고 여과기의 구성방법 등에 있다. 화약식 가스발생기의 소형화, 경량화는 꾸준히 진행되고 있다. 하이브리드 방식의 경우는 좀 더 개발의 방향이 다양하다. 즉 불활성 압축가스와 소량의 화약을 사용하는 방식의 경우 운전석 에어백 모듈에 적합한 구조를 개발하는 것이 현안 과제로 되어 있다. 다른 한편으로는 불활성 가스 대신 수소와 공기의 혼합물등 연료형 압축가스를 이용하는 방안도 연구되고 있다. 소형화, 경량화와 더불어 자원재생(recycling)을 고려한 제품들이 개발되고 있다<sup>3)</sup>.

#### 4. 백과 모듈

운전자용 에어백의 경우 백, 뚜껑, 가스발생장치를 결합하여 조향핸들에 장착할 수 있는 조립 단위를 모듈이라고 한다(그림 1참조). 가스발생장치로부터 방출된 가스가 백에 유입되면 백의 압력이 증가하면서 뚜껑이 파열되고 백이 뚜껑 외부로 빠져나와 부풀도록 되어있다. 운전자측 모듈은 대략 4각형 형상을 하고 있고 조향핸들에 4점으로 지지

되고 있다. 에어백에 대한 소비자들의 큰 불만은 디자인이 획일적이라는 점이다. 큰 모듈이 조향핸들 중심에 4점으로 지지되어 있어 계기판의 시야를 가리고 답답한 느낌을 갖게 한다. 따라서 모듈의 크기를 줄이는 것이 개발의 초점이 되고 있다. 이를 위하여는 백의 천을 얇게 하고, 가스발생기를 작게 하는 것이 필요하다. 모듈을 소형화하려는 노력이 결실을 맺어 크기가 작고 조향핸들 중심에 3점으로 지지되는 모델도 개발되고 있다<sup>10)</sup>. 3점 지지가 가능해진 것은 백의 천을 얇게 할 수 있는 방법이 개발되었기 때문이다. 종래는 840 데니어(1 denier 는 1 gr 당 9000m 가 되는 실의 굵기)짜리 범용 등급을 썼으나 420데니어의 에어백 전용 등급이 사용되고 있다. 또 백의 내열성을 위하여 내부에 클로로플렌 코팅을 하였으나 이것은 단단하여 백이 잘 접혀지지 않는다. 최근에는 백의 접은 크기를 줄이기 위하여 실리콘 고무를 사용하는 방법이 등장하고 있다. 실리콘은 클로로플렌과 내열온도 면에서는 큰 차이가 없으나 녹아서 잠열을 흡수하는 기능이 부족하다. 하이브리드형 가스발생기를 사용하는 경우에는 백의 내열성이 요구되지 않으므로 내부 코팅을 생략할 수 있고 이것은 백의 접은 크기를 줄이는데 크게 도움이 된다.

현재 모듈은 운전자측과 조수석측이 주종을 이루고 있으나 뒷좌석 승객에 대한 에어백도 개발되고 있다. 앞으로는 뒷좌석 에어백이 큰 비중을 차지하리라는 전망도 나오고 있다. 뒷좌석 에어백은 승객의 착석자세, 체격조건 등이 매우 다양하므로 기술적으로 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 전후방을 통털어 3개 이상의 에어백 모듈을 장착하면 에어백 작동시 차체 실내 기압이 높아져 승객의 고막에 손상이 오는 것으로 알려져 있다.

기존 에어백의 성능은 평균 체격의 성인 남자를 기준으로 결정되고 있다. 그러나 동일한 조건에서도 어린이나 노약자들의 경우에는 충돌에 의한 상해의 정도가 성인 남자의 경우에 비하여 높아질 수가 있다<sup>11)</sup>. 최근에는 승객의 신체 조건에 따라서 에어백의 작동특성을 조절하는 기술도 개발되고 있다.

## 5. 결 론

에어백은 첨단 승객보호장치로서 급속히 보급되고 있는 신상품이다. 미국의 경우 교통사고 사망자 중 18% 정도는 에어백에 의하여 목숨을 건질 수 있는 것으로 분석되고 있으며 유럽, 일본 등 선진국에서도 에어백의 효용성에 대한 연구가 활발히 추진되고 있다. 이러한 연구 결과에 근거하여 미국에서는 연방도로안전국(NHTSA, National Highway Traffic Safety Administration)에 의하여 제정되는 연방차량안전규격(FMVSS, Federal Motor Vehicle Safety Standard) 208조에 의하여 1997년 부터는 모든 승용차와 상용차(소형트럭, Van 등)에 에어백의 장착이 의무화된다. 국내에서도 에어백에 대한 일반인의 관심이 높아지고 있으며 앞으로 에어백의 장착이 의무화될 가능성이 높다고 생각된다. 국산 자동차의 국제 경쟁력 제고를 위하여 국내의 완성차 및 부품업체들은 에어백의 국산화에 지대한 관심을 가지고 있으나 아직은 대부분의 기능부품을 수입하고 있는 실정이다. 에어백은 선진국에서도 새로운 제품이 계속 개발되고 있으며 기술이전이 어려운 제품이다. 선진국의 전문업체들과의 기술격차를 줄이기 위하여는 국내 관련업체의 비상한 노력이 있어야 할 것이다.



참 고 문 헌

1. A. Spornier, K. Langwieder and J. Polauke, "Passive safety for motorcyclists—from the legprotector to the air-bag", SAE 900756, 1990.
2. B. P. Chinn, J. A. Okello and P. M. McDonough, "Development and testing of a purpose built motorcycle air-bag restraint system", Paper No. 96-S7-O-13, 15th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Melbourne, May 1996.
3. K. Jost, "Air-bag inflator alternatives", Automotive Engineering, Vol. 103, No. 5, pp.66~67, 1995.
4. 김권희, "승용차용 side airbag을 위한 측면충돌감지 알고리즘 개발", 고려대학교 연구보고서, 1996. 3.
5. G. Adams 외, "Light weight welded aluminum inflator", U. S. Patent 4,547, 342(출원인 : Morton Thiokol Inc.), Oct. 15, 1985.
6. R. Zander 외, "Deflector ring for use with inflators with passive restraint devices", U. S. Patent 4,902,036(출원인 : Talley Automotive Products, Inc.), Feb. 20, 1990.
7. C. Woods 외, "Hybrid inflator", U. S. Patent 5,076,607(출원인 : Bendix Atlantic Inflator Co.), Dec. 31, 1991.
8. J. L. Blumenthal 외, "Apparatus for inflating a vehicle occupant restraint", U. S. Patent 5,230,532(출원인 : TRW Vehicle Safety Systems Inc.), Jul. 27, 1993.
9. S. M. Frey 외, "Hybrid air bag inflator", U. S. Patent 5,263,740(출원인 : TRW Inc.), Nov. 23, 1993.
10. 김권희, "승용차용 에어백의 개발 동향", 자기연정보 Vol. 2, No. 2, pp.71~84, 1993.
11. M. Mackay, "Crash protection for older persons", Transportation Research Board Special Report N218, pp. 158~193, Transportation Research Board Publications, 1988.