

## 에어백 설계를 위한 비정상자세 조건의 시험과 평가

전 상 기<sup>\*1)</sup> · 이 현 중<sup>1)</sup> · 박 경 진<sup>2)</sup>

델파이 오토모티브 시스템스 성우(주)<sup>1)</sup> · 한양대학교 기계공학과<sup>2)</sup>

### Evaluation and Testing of out of Position for Airbag Design

Sang-Ki Jeon<sup>\*1)</sup> · Hyun-Joong Lee<sup>1)</sup> · Gyung-Jin Park<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Delphi Automotive Systems Sungwoo Corp., 5-30 Bangye-ri, Munmak-eup, Wonju-si, Gangwon-do 220-800, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Geonggi-do 425-791, Korea

(Received 13 May 2003 / Accepted 17 September 2003)

**Abstract** : Development of advanced restraint system challenges both restraint and automobile manufacturers to come up with proper airbag design to reduce occupant out-of-position related injury. The important component of the advanced restraint system is the multi stage inflator. The multi stage inflator can independently control two or more airbag inflation stages to maximize occupant protection. The objective of this research is to develop relationship between airbag inflation characteristics, the occupant positions and the airbag design variables. The tests are conducted using five kinds of inflators, two kinds of airbag cushion folding methods and two kinds of tear lines. In the case of inflator, the out-of-position tests are performed with a traditional inflator, a depowered inflator and a dual stage inflator. And the efficiency and injury mechanism are evaluated by analyzing the injury pulses and values. Using this relationship, airbag design guideline is established for airbag aggressivity thresholds and the risk of injury is identified according to occupant positions.

**Key words** : Airbag(에어백), Multi stage inflator(다중 가스발생기), Low risk deployment(저위험전개), Advanced restraint system(진보된 구속 장치), Out of position(비정상자세)

### 1. 서 론

1980년대부터 미국을 중심으로 자동차 충돌 법규가 시행되면서 본격적으로 자동차에 에어백이 장착되기 시작하였다. 에어백은 안전띠의 보조 구속 장치(Supplemental Restraint Systems)로서 다양한 차량의 충돌 상황에서 승객의 상해를 감소시켜 자동차의 안전성을 획기적으로 높였다.<sup>1-5)</sup> 그러나 일반 성인을 기준으로 설계된 에어백은 종종 치명적인 상해를 유발하기도 하였다. 에어백에 의하여 심각

한 상해를 입은 승객 대부분은 에어백이 전개 되는 순간에 비정상 자세(out of position)에 있던 작은 체형의 운전자나 노약자, 혹은 어린이들이었다.<sup>4,10)</sup>

따라서 미국 고속도로 교통 안전청(NHTSA, National Highway Traffic Safety Administration)은 1997년 감소된 압력을 지닌 에어백(depovered airbag)에 관한 규정을 제정하여 에어백에 의해 유발되는 위험을 개선하고자 하였다. 이와 관련된 법규<sup>11)</sup>는 2000년 5월에 발표되었는데, 이 법규의 핵심은 비정상 상태에 있는 유아와 작은 체형의 승객의 상해에 대한 시험 조건의 제정을 통하여 에어백이 유발하는 위험을 줄이는 것이다.

\*To whom correspondence should be addressed.  
sang.ki.jeon@delphi.com

에어백이 유발하는 상해를 개선하기 위한 새로운 법규 항목 중에서 가장 주목 할 만한 것은 승객의 비정상 자세에서 에어백의 전개를 억제 하는 기술 (suppression technology)과, 비정상 자세에 있는 승객 을 보호하기 위하여 저위험 에어백 전개 (low risk deployment) 시험을 실시 하는 것이다. 따라서 자동차 업체와 에어백 제조 회사들은 최종 법규를 만족 하기 위해서는 여러 상황에 대처 할 수 있는 센서의 사용과 다중 가스발생기(multi stage inflator)를 사용한 어드밴스드 에어백(advanced airbag) 설계 및 승객 구속 장치에 대한 연구와 개발이 요구되고 있다.<sup>4,5,12-15)</sup>

본 연구의 목적은 비정상 자세의 시험 법규가 법 제화됨에 따라 에어백의 주요 설계 요소에 대한 비 정상 자세의 승객 거동과 상해 특성을 분석하는데 있다. 에어백의 가속도를 가장 잘 표현하는 설계 요소는 가스발생기(inflator)이며 최대 압력이 다른 5 종류의 가스발생기에 대하여 두 가지 유형의 비정상 자세 시험을 실시하였다. 실험에 사용된 전용 지그는 인체모형이 비정상자세를 일정하게 유지하기 위하여 특별히 제작 되었다. 실험에 사용된 가스 발생기는 전통적인 단일 가스발생기(single stage inflator), 최대 압력을 감소시킨 가스발생기(de-powered inflator) 그리고 향후 어드밴스드 에어백에서 채용될 3 종류의 이중 가스발생기(dual stage inflator)이다. 인체 모형의 머리와 가슴의 가속도 파형으로부터 에어백 전개 하중에 의한 상해 메커니즘을 알 수 있으며 이중 가스발생기의 효율성을 실험적으로 평가하였다.

또한 에어백 설계시에 고려되는 에어백 접는 방법과 커버의 절개선 형태에 따른 비정상 자세 시험도 실시하였다. 비정상자세 시험에서 가장 중요한 목상해를 목적 함수로 하여 주효과를 분석 하였으며 이를 통하여 에어백 설계의 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 에어백 하중 조건 및 법규

### 2.1 에어백 하중 조건

에어백이 유발 할 수 있는 위험을 줄이기 위한 노력은 에어백이 충돌시 가져오는 이점을 고려했던

기간만큼 오랫동안 논의되어 왔다. 1970년대 초부터 산업계, 관련기관 그리고 각 연구단체에서 에어백에 의해서 유발 할 수 있는 원인과 형태 그리고 가능한 해결방법을 찾으려는 시도가 있었으며, 비록 에어백이 원치 않는 위험을 유발하지만 (예로, 화상이나 찰과상, 시력과 청력 장애, 노약자나 작은 체형의 성인에게의 부상) 그것의 전체적인 이점은 사고가 발생하는 경우보다 더 가치가 있다는 결론에 도달하게 되었다. 그 이후 자동차 안전장치로서 에어백이 정식으로 채용되기 시작하였으며 동시에 에어백에 의해 유발되는 위험을 줄이고자 하는 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>16,17)</sup>

1998년 버지니아 대학교 고속도로 교통 안전청(NHTSA)은 운전석용 지그를 제작하여 다양한 종류의 비정상자세의 시험을 실시<sup>18)</sup> 하였다. 비정상자세의 시험은 차체 환경에 거의 관계 없는 정적 시험이므로 지그 제작을 통하여 기하학적 조건을 만족시켜 에어백 자체의 성능을 평가 할 수 있다는데 착안한 것이다.

비정상 자세에서의 에어백 전개 하중에 의한 상해 메커니즘은 크게 두 가지 하중으로 이루어지는 것으로 알려져 있다.<sup>19,20)</sup> 이 두가지 하중은 펀치아웃 힘(punchout force)와 멤브레인 힘(membrane force)이다.

정상적인 에어백 전개 과정에서 가스는 에어백을 감싸는 모듈 커버의 절개선(tear line)을 따라 파단 되기 때문에 일정 압력 이상을 지녀야 한다. 그리고 백이 모듈 밖으로 나온 후 가스는 계속 주입되고 백은 팽창하게 된다. 이런 정상 전개 과정에서는 에어백이 승객과의 접촉이 거의 없기 때문에 초기에 발생하는 수직력은 무시되며 승객은 완전히 팽창된 에어백에 접촉함으로써 어깨를 비롯한 상체 전체에 구속력을 분배하게 된다.

이와 달리 에어백 전개 과정에 승객이 가로 막는 경우, 즉 에어백의 비정상적인 전개 과정에서는 가스 압력이 승객의 저항력을 극복 할 수 있도록 충분해야 한다. 가스 압력이 커버 절개선의 파단과 함께 에어백 전개 경로를 가로막는 승객의 저항력을 동시에 이겨내야 하기 때문에 에어백 내의 가스 압력은 정상적인 경우보다 순간적으로 높게 나타나며

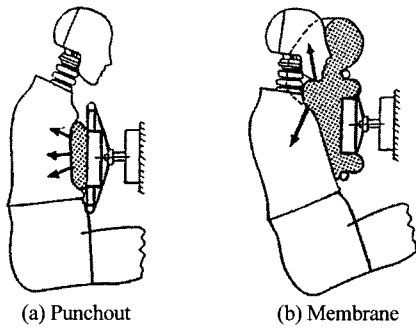


Fig. 1 Airbag loading mechanisms

승객에 대하여 마치 “편치(punch)” 하는 효과를 준다. 이 단계를 편치아웃 단계(punch-out phase)라 하며 에어백 모듈 커버가 파단 되면서 부가적인 부피와 압력을 받으면 종료 되고 약 10msec 이내에서 발생한다. 그 다음으로 팽창하는 에어백과 승객과의 상호 작용이 “멤브레인(membrane)” 처럼 감싸면서 작용하는 멤브레인 하중 단계(membrane load phase)가 일어난다. 편치아웃 단계에서는 가슴 상해가 중요하며 멤브레인 하중 단계에서는 목 상해가 중요하다. 이를 그림으로 표현하면 Fig. 1과 같다.

## 2.2 승객 충돌 보호에 관한 법규

2000년 고속도로 교통 안전청 (NHTSA)은 다양한

현장 자료와 연구를 통해서 승객 충돌 보호 규정 (occupant crash protection standard)을 최종 발표하였다. 이 법규의 주된 목적은 첫째 유아에 대한 보호, 둘째 중저속과 고속에서의 승객의 동시 보호, 셋째 다양한 승객과 비정상자세에서의 승객 보호이다. 이 중 5% 여성 인체모형 (5% female dummy)에 대한 법규는 새로 추가된 규정으로 키가 작은 승객에 대한 보호를 목적으로 하고 있다. 시트 슬라이딩의 최전방에 5% 여성 인체모형을 안착하여 시험하므로 운전자가 에어백에 근접하는 경우에 해당된다.

Fig. 2는 유아들과 5% 여성 인체모형이 만족해야 하는 시험 요구 조건으로 승객 충돌 보호 법규에 명시되어 있다. 자동차 제조사는 제시된 두 가지 방법 중 한가지 방법을 선택하여 만족해야 한다.

첫번째 방법은 일정 크기의 승객이 좌석에 위치해 있을 때 이를 감지하여 에어백 작동을 중지시키는 기술(suppression technology)을 채택하는 것이다. 에어백 작동을 중지시키는 방법은 시트나 차량에 다양한 승객 감지 센서를 장착하여 승객이 유아나 어린이, 또는 작은 체형의 운전자 인지를 감지하여 에어백 작동을 중지 시키므로 기술적 어려움이 있으며 현재까지도 다양한 연구가 진행 중이다. 다른 방법은 유아 또는 어린이 모형(운전석의 경우 5%

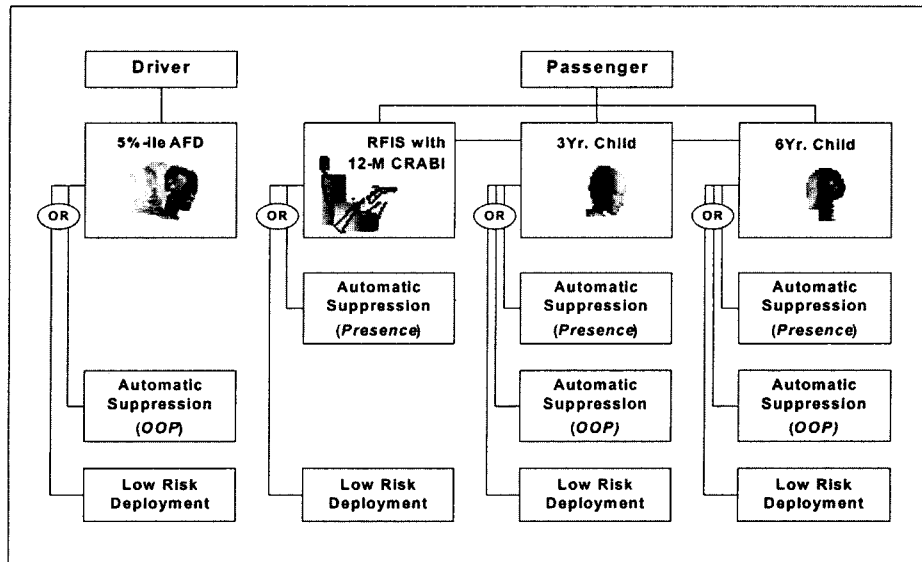


Fig. 2 Test requirements to minimize the risk caused by airbags

여성 인체모형)을 일정한 자세에 놓고 저위험 에어백 전개(low risk deployment) 시험을 실시하는 것이다. 저위험 전개(low risk deployment) 시험은 에어백이 전개되면서 규정된 비정상자세에 있던 승객이 에어백의 펀치아웃 힘과 멤브레인 힘에 의한 상해가 일정 기준을 만족하도록 하는 방법이다. 이 때 운전석과 조수석에 위치하는 인체모형은 비정상자세를 나타내는 특별한 자세가 있다. 5% 여성 인체모형이 운전석에 있는 경우 Fig. 3와 같이 두 가지 자세에서 에어백 전개 시험을 실시하여 인체모형의 머리, 가슴, 목 등으로부터 특정 물리량을 측정한다.

1) 자세 1 (Position 1)

안전띠 없이 턱이 에어백 모듈에 있는 자세 (unbelted with chin on the module)

2) 자세 2 (Position 2)

안전띠 없이 턱이 핸들 끝단에 있는 자세 (unbelted with chin on the rim)

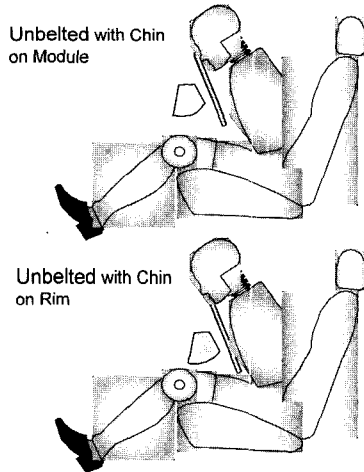


Fig. 3 Low risk deployment

각각의 인체모형에 장착되어 있는 센서에서 수집한 물리량인 가속도, 변위, 힘들을 이용하여 상해 기준을 규정하고 있는데 비정상 자세에서의 상해 기준<sup>11)</sup>은 Table 1과 같다. 여기서 머리상해도 (HIC, Head Injury Criteria)는 식 (1)에 의해서 구해지며 성인인 경우 “700”을 초과해서는 안 된다. 비정상자세에서 가장 중요한 목 상해 기준( $N_{ij}$ )은 인장, 압축 그

리고 모멘트의 조합으로 식 (2) 로부터 구하며 “1”을 초과해서는 안 된다.

$$HIC = MAX \left( \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right)^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

$$N_{ij} = \frac{F_z}{F_{zc}} + \frac{M_{ocy}}{M_{yc}} \quad (2)$$

Where,  $F_z$  = axial force

$M_{ocy}$  = occipital condyle bending moment

$F_{zc}, M_{yc}$  = critical values

Table 1 Injury criteria of out-of-position

Injury criteria	Dummy size	5%-ile AFD		6Yr. Child	3Yr. Child	CRABI	
	50%-ile AMD	IP	OOP	OOP	OOP	OOP	
HIC(15msec)	700	700		700	570	390	
$N_{ij}$	1	1	1	1	1	1	
Neck	Peak tension(N)	4170	2620	2070	1490	1130	780
	Peak compression(N)	4000	2520	2520	1820	1380	960
Chest acceleration(G's)	60	60	60	60	55	50	
Chest deflection(mm)	64	52	52	40	34	N/A	
Femur load(kN)	10	7	7	N/A	N/A	N/A	

그러나 자동차 제조사가 에어백 작동을 중지시키는 범규 항목을 선택하더라도 에어백이 유발하는 승객의 위험을 최소화 하기 위해서는 저위험 전개 범규와 함께 다양한 해결 방법이 적용되어야 한다. 에어백에 의한 상해를 경고 하는 표식의 활성화, 에어백 작동의 수동 스위치, 감소된 가스발생기의 사용이 주로 연구되고 있으며 그 중 대표적인 방법은 여러 충돌 상황에서 에어백의 전개를 조절하는 다중 가스발생기의 적용이다.

이와 같이 어드밴스드 에어백과 비정상자세의 범규 만족을 위해서는 다중 가스발생기의 필요성이 제기되고 있지만 현재까지는 이중 가스발생기 정도만이 개발되고 있다. 이중 가스발생기는 두 개의 가스발생기구와 점화장치(initiating device)를 제작하여 점화시간(TTF, time to fire)의 지연에 따라 일정 전류를 통과시키면 에어백의 압력을 조절 할 수 있다. 이 때 첫번째 점화 장치에 의한 압력이 저압(low pressure), 첫번째와 두번째 점화에 의한 압력이 고압(high pressure)이다. 이상적인 경우 점화시간의 조절에 의해 에어백 가스 압력은 최고압과 최저압 사

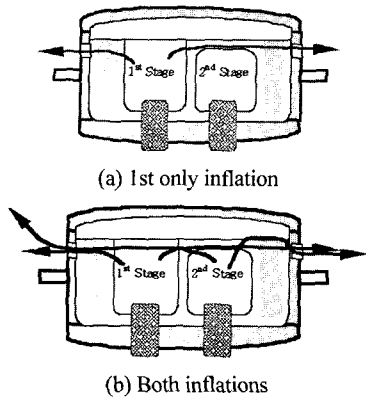


Fig. 4 Dual stage inflators

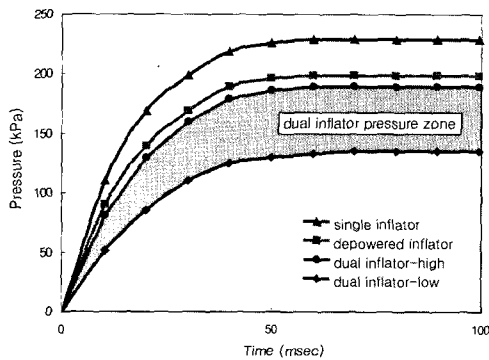


Fig. 5 Typical pressure curves of single and dual stage inflators in the tank test

이에 놓이게 된다. Fig. 4, 5는 이중 가스발생기 (dual stage inflator)의 대략적인 구조와 60 리터의 일정 부피에서 전개 시험을 실시하여 압력을 측정하는 탱크 테스트 압력 곡선이다.

### 3. 가스발생기에 대한 시험

비정상 자세의 승객에 대한 상해치 평가를 위하여 최종 범규에 있는 절차와 상해 규격에 따라 5% 여성 인체모형에 대한 저위험 전개 시험을 실시하였다. 비정상자세 시험은 Fig. 2에서와 같이 운전석과 조수석에 따라 인체모형과 시험 방법이 다르다. 운전석의 경우는 비교적 차체 환경의 영향이 적으며 전용 지그만으로도 시험이 가능하여 본 연구에서는 운전석만을 고려하였다. 비정상자세에서 에어백으로 인한 상해는 에어백 용량, 에어백을 접는 방법, 가스발생기의 가속도 또는 시험시 인체모형의

위치등과 같은 변수에 의한 영향이 매우 크다. 이런 에어백 관련 변수 중 가스발생기의 가속도가 가장 중요한 인자로 작용한다.

본 시험에서는 가스발생기의 가속도에 따른 상해 유형을 분석하기 위하여 다양한 압력 곡선을 가진 단일 가스발생기(single stage inflator) 와 이중 가스발생기(dual stage inflator)를 선정하여 시험하였다. 단일 가스발생기는 초기 에어백에서 사용 하던 전통적인 가스발생기(약 230kPa 이상)와 감소된 가스발생기(depovered inflator, 180~200kPa)를 사용하였다. 이중 가스발생기(dual stage inflator)는 최저압이 Table 2와 같이 세가지 종류의 가스발생기를 사용하였다. 여기서 압력상승율(Pressure Rise Rate)는 초기 압력을 평가하는 요소로서 초기 10msec에서의 압력변화율을 나타내고 있다.

Table 2 Inflator data

Inflator	Max pressure (kPa)	Pressure rise rate (kPa/msec)
Single inflator	231	5.8
Depowered inflator	191	4.6
Max. dual inflator-low	154	4.3
Mid. dual inflator-low	132	3.5
Min. dual inflator-low	118	3.0

또한 저위험 전개를 실시 하기 위해서는 인체모형을 일정한 자세로 맞추는 것이 중요하다. 따라서 비정상자세를 매 시험 마다 일정 하게 재현하고 차체 환경의 영향을 줄이기 위하여 본 시험에서는 별도의 비정상자세 시험용 지그를 제작 하였다. Fig. 6은 이를 설치한 그림이다.

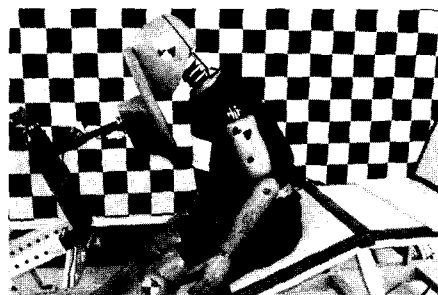


Fig. 6 Setup of unbelted with chin on the module

가스발생기의 최대 압력과 초기 기울기가 높은 정도는 에어백 전개에 많은 영향을 미친다. 이중 가스발생기에서 첫 번째 점화 시간과 두 번째 점화 시간은 에어백 전개 압력을 결정하므로 중요한 설계 요소가 된다. 일반적으로 점화 시간 간격은 썰매 시험과 고정벽 시험과 같은 동적 시험(dynamic test)을 통하여 결정하게 되며 정교한 충격 감지 기술이 필요하다. 본 연구에서 점화시간 간격을 "0"으로 한 경우(고압 조건)의 상해 결과는 최대 압력이 비슷한 감소된 가스발생기에서의 상해 결과와 유사하였다. 따라서 저압 조건과 감소된 가스발생기의 조건을 주로 비교하였으며 중간의 점화 시간의 영향은 두 구간 내에서 존재한다고 볼 수 있다.

Fig. 7~10은 머리와 가슴의 가속도 파형을 필터링 해서 도시한 그림이다. 자세 1의 경우, 비정상자세 시험의 머리와 가슴 가속도 그래프를 보면 단일 가스발생기가 감소된 가스발생기 보다 1차 최대치가 발생하는 시간이 빠르고 2차 최대치 영역에서 더 많은 충격량이 발생 하였다. 1차 최대치는 가스발생기의 초기 압력과 기울기의 특성에 의한 결과 이고, 2차 최대치는 최대 압력과 후압에 따른 에어백 전개에 의한 결과이다. 1차 최대치는 에어백이 인체모형의 가슴 사이에서 위 방향으로 부풀려 지면서 인체모형의 머리와 접촉하여 생기고 2차 최대치는 에어백이 완전히 전개 되면서 발생한다. 자세 2의 경우, 1차와 2차 최대치 값 모두 자세 1에 비하여 매우 낮은 결과가 나타났다.

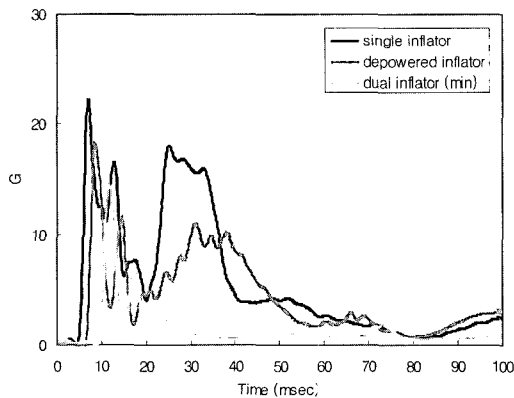


Fig. 7 Head acceleration in position 1

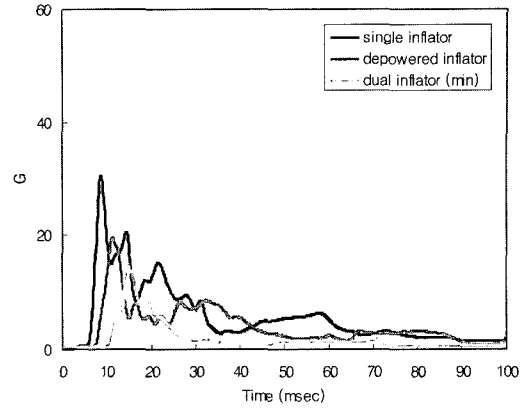


Fig. 8 Chest acceleration in position 1

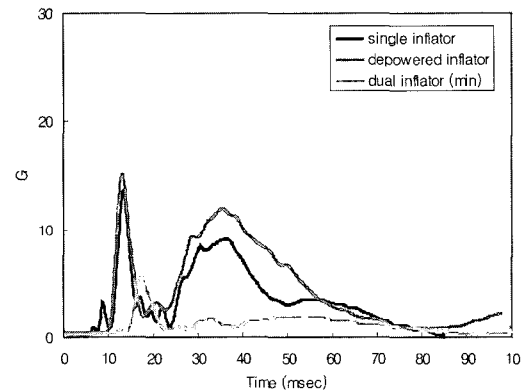


Fig. 9 Head acceleration in position 2

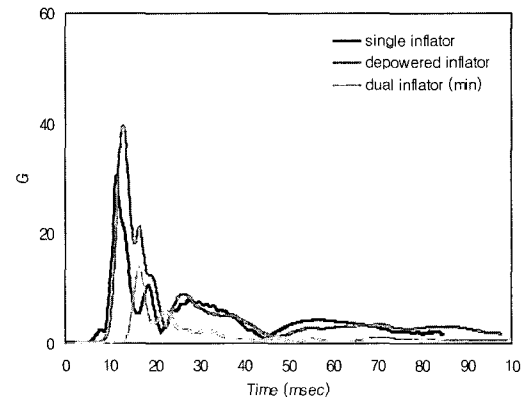


Fig. 10 Chest acceleration in position 2

목상해는 비정상자세 시험에서 가장 중요한 상해 기준이며, 에어백이 전개 되면서 초기에 정지되어 있는 인체모형의 가슴을 밀기 때문에 (인체모형 거

동 방향) 인체모형 머리와의 상대 변위 차이로 인하여 주로 발생한다. 목 인장(neck tension)은 에어백이 전개 되면서 인체모형과의 접촉에 의하여 가중되는 에어백 내압에 의해 주로 발생한다. 목 압축(Neck Compression)은 인체모형 거동과 에어백의 팽창에 따른 에어백 내압의 감소로 인한 목의 변위 변화에 따라 인장에 반작용으로 발생하는 값이다. (Fig. 11)

일반적인 동하중 시험에서는 목 압축은 인체모형의 머리 부분과 에어백의 접촉으로 인하여 발생한다. 그러나 비정상자세 시험에서는 에어백과 인체모형 머리와의 직접적인 접촉이 적기 때문에 단순히 인체모형의 기구학적 운동에 의하여 발생한 인장값의 감소로 인하여 최대값은 크지 않았다.

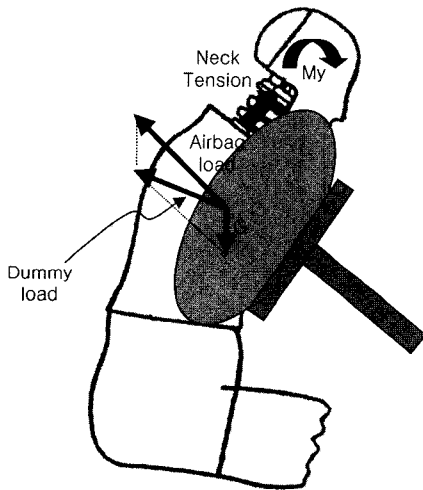


Fig. 11 Neck tension and moment

Fig. 12~17는 자세 1과 자세 2에 대해 가스발생기에 따라 각 상해 규정별로 도시한 그림으로 Table 1의 각 상해 기준에 따라 백분율로 나타내었다. 머리 상해는 상해 기준에 비해 전반적으로 현저히 낮게 나오며 가슴 상해는 자세 2가 자세 1에 비해 크게 나타난다. 각각의 상해 기준과 비교하면 목 상해( $N_{ij}$ )가 가장 큰 비율로 나타나는데 이는 비정상 자세에서 가장 중요한 상해 요소가 목 상해임을 의미한다. 특히 자세 1에서 단일 가스발생기인 경우 목 상해값인  $N_{ij}$ 는 기준치인 1을 초과하고 있어 범규 기준을 만족하지 못하고 있다.

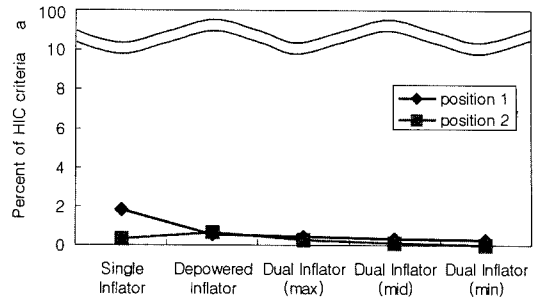


Fig. 12 HIC (Head Injury Criteria)

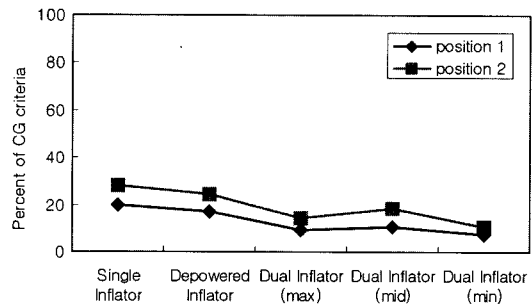


Fig. 13 Chest G

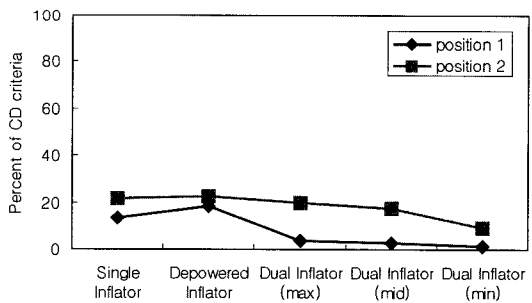


Fig. 14 Chest displacement

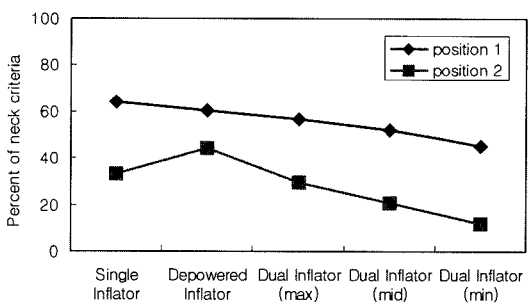


Fig. 15 Neck tension

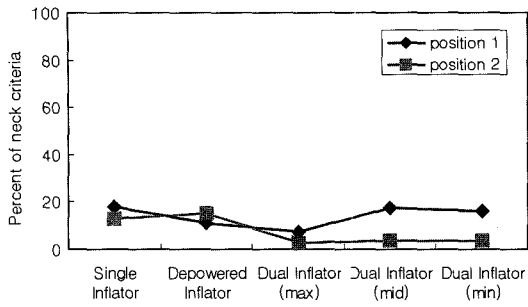


Fig. 16 Neck compression

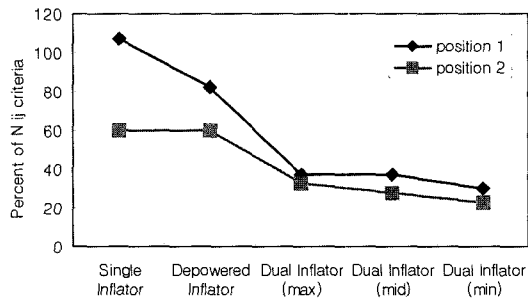


Fig. 17  $N_{ij}$

각 상세 그림과 에어백 전개 형상에 따라 각 자세 별로 상해 특성을 정리하면 Table 3와 같다.

Table 3 Influence of positions

Item	Position 1	Position 2
Airbag deployment	Right and left	Top and bottom
Head	More or less	More or less
Chest G	Low	High
Chest displacement	Low	High
Neck	High	Low

#### 4. 에어백 설계변수에 대한 시험

일반적인 에어백은 가스발생기, 절개선이 있어서 에어백을 감싸는 커버, 에어백(쿠션) 등으로 구성되어 있으며 이 중 에어백 설계 시에 고려되는 에어백 접는 방법과 커버의 절개선 형태에 따라 비정상 자세에 대한 시험을 실시하였다. 커버의 절개선 형태는 크게 “I” 형태와 “H” 형태가 있으며 에어백을 접는 방법은 아코디언처럼 접는 방법(accordion fold)과 에어백을 길게 모은 후 중심에서부터 압착

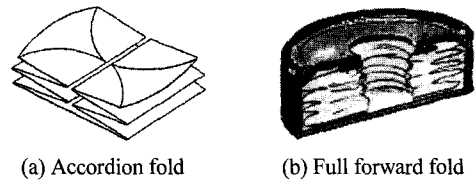


Fig. 18 Folding methods

하여 접는 방법 (full forward fold)을 설계 변수로 고려<sup>21)</sup>했다.

비정상 자세 시험에서 가장 중요한 상해는 목 상해이다. 따라서 시험 결과를 목상해치인  $N_{ij}$ 를 목적 함수로 하고 통계용 프로그램인 미니탭<sup>22)</sup>을 사용하여 설계변수의 주효과를 분석하면 Fig. 19, 20과 같다. 설계변수의 주효과는 설계변수의 수준별로 구한 평균의 차이로서 기울기의 정도를 통하여 주효과를 알 수 있으며 에어백 접는 방법보다는 절개선 형태가 목 상해에 더 큰 영향을 준다.

절개선 형태에 따라 자세 1에서는 “I” 형태가, 자세 2에서는 “H” 형태가 목 상해치가 적으며, 에어백 접는 방법에 따라서는 완전 전방 방법 (full forward fold)이 자세 1, 2 모두에서 목 상해가 적게 나오며 절개선 형태에 따른 영향 또한 적다.

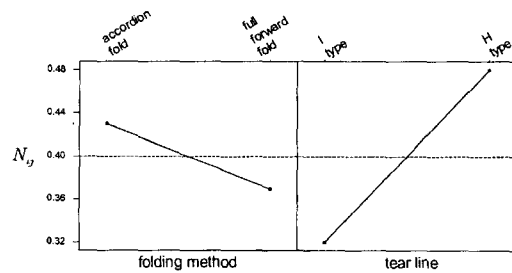


Fig. 19 Main effects plot for  $N_{ij}$  (position 1)

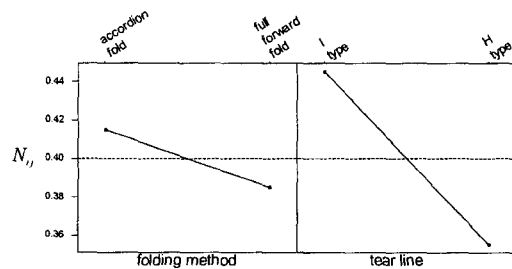


Fig. 20 Main effects plot for  $N_{ij}$  (position 2)



## 5. 결론

정적 비정상자세의 시험은 차체 특성 보다는 에어백 모듈의 성능과 관련된 시험 항목이다. 미국 고속도로 교통 안전청 (NHTSA)에서 제시한 비정상자세 법규 절차에 따라 전용 지그를 사용하여 시험을 실시 하였다. 최대 압력이 다양한 가스발생기와 에어백 접는 방법 그리고 에어백 커버의 절개선 형태에 대하여 주로 실험이 이루어졌으며 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 전통적인 단일 가스발생기와 감소된 가스발생기 그리고 이중 가스발생기에 대하여 비정상자세 시험을 실시하였다. 시험 결과를 보면 대부분의 가스발생기에서 상해 기준을 만족하였지만 기준에 사용된 압력이 높은 단일 가스발생기에서는 목 상해인  $N_{ij}$  값이 상해 기준인 "1"을 초과 하였다. 이중 가스발생기의 경우 대부분의 상해 비율이 낮아 그 효용성을 알 수 있다.
- 2) 가스발생기의 최대 압력과 압력 곡선의 초기 기울기에 따라 자세 1,2 모두에서 머리와 가슴의 가속도 곡선이 2개의 곡면 형태를 분명하게 나타내고 있다. 주요 상해 요소인 HIC는 상해 기준에 비해 현저히 낮게 나타나고 있으며 가슴 상해는 최대 압력과 기울기에 따라 적게 나타나고 있다. 목 상해( $N_{ij}$ )는 단일 가스발생기에 비해 최대 압력과 초기 기울기가 작은 이중 가스 발생기의 저압 조건에서 절반 정도로 감소하고 있다.
- 3) 인체모형의 비정상자세에 따라 자세 1에서는 목에 대한 상해가, 자세 2에서는 가슴에 대한 상해가 주요 특성값이다. 이런 결과는 자세 1에서는 에어백의 순간 가속도에 의한 멤브레인 효과가, 자세 2에서는 에어백의 편치아웃 효과가 중요한 상해 메커니즘으로 작용하기 때문이다. 따라서 에어백 설계 시에 목 상해 특성을 잘 나타내는 자세 1을 우선적으로 고려해야 한다.
- 4) 에어백 접는 방법과 커버의 절개선 형태를 설계 변수로 한 비정상 자세 시험에서는 커버의 절개선 형태가 에어백 접는 방법보다 더 많은 목 상해의 변화를 가져온다. 완전 전방 방법 (full forward fold)은 비정상 자세 1, 2 모두에서 목 상해가 적게 나오며 절개선 형태에 따른 영향 또한 적었다.

그러나 절개선 형태는 자세 1에서는 H 형태가, 자세 2에서는 I 형태가 높게 나오므로 에어백 설계시에 주의해야 한다.

## 후 기

이 연구는 한국과학재단지정 최적설계신기술연구센터와 텔파이 성우(주)의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- 1) D. C. Viano, "Effectiveness of Safety Belts and Airbags in Preventing Fatal Injury," SAE 910901, 1991.
- 2) G. Z. Libertiny, "Airbag Effective Trading Major Injuries for Minor Ones," SAE 950871, 1995.
- 3) NHTSA, Third Report to Congress, Effectiveness of Occupant Protection Systems and Their Use, <http://www.nhtsa.dot.gov/people/injury/airmags/208con2e.html>, 1996.
- 4) J. Hinch, W. T. Hollowell, J. Kianthra, W. D. Evans, T. Klein, A. Longthorne, S. Ratchford, J. Morris, R. Subramanian, "Airbag Technology in Light Passenger Vehicle," <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-11/airbags/rereport.pdf>, 2001.
- 5) G. H. Kim, "The Effects of Airbag on New Car Assessment Program," Journal of KSAE, Vol.25, No.2, pp.13-17, 2003.
- 6) L. M. Patrick, G. W. Nyquist, "Airbag Effects on the Out-of-position Child," SAE 720442, 1972.
- 7) J. D. Horsch, C. C. Culver, "Study of Driver Interactions with an Inflating Air Cushion," SAE 791929, 1979.
- 8) F. Montalvo, R. W. Bryant, H. J. Mertz, "Possible Positions and Postures of Unrestrained at Instant of Collision," SAE 826045, 1982.
- 9) A. C. Malliaris, K. H. Digges, J. H. debiois, "Injury Patterns of Car Occupants under Airbag Deployment," SAE 950867, 1995.
- 10) T. A. Kress, D. J. Porta, S. M. Duma, J. N. Snider, N. M. Nino, "A Discussion of the

- Airbag System and Review of Induced Injuries," SAE 960658, 1996.
- 11) Code of Federal Regulations (CFR) Title 49 (Transportation) Chapter V (NHTSA, DOT) Part 571.208 Occupant Crash Protection, Oct 2002.
  - 12) S. Ryan, "An Innovative Approach to Adaptive Airbag Modules," SAE 980646, 1998.
  - 13) NASA, JPL lab., Advanced Airbag Technology Assessment Final Report, 1998.
  - 14) E. P. Hong, M. K. Shin, G. J. Park, "Determination of Crash Pulse to Minimize Injuries of Occupants and Optimization of Crash Components using Response Surface Method," Transactions of KSAE, Vol.9 No.2, pp.116-129, 2001.
  - 15) S. K. Hong, "Trends of Airbag Development," Journal of KSAE, Vol.25 No.2, pp.18-22, 2003.
  - 16) J. M. Lim, C. H. Kim, G. J. Park, "A New Airbag Modeling using a Sphere and a Torus and the Occupant Analysis in the Out-of-position," Transactions of KSAE, Vol.4, No.1, pp.96-109, 1996.
  - 17) C. Short, S. Kozak, "Airbag Parameter Study with Out-of-position Small Female Test Devices," SAE 2000-01-2204, 2000.
  - 18) C. R. Bass, J. R. Crandall, W. D. Pilkey, "Out-of-position Occupant Testing," NHTSA, 1998.
  - 19) J. Horsch, I. Lau, D. Andrzejak, D. Viano, J. Melvin, J. Pearson, D. Cok, G. Miller, "Assessment of Airbag Deployment Loads," SAE 902324, 1990.
  - 20) J. W. Melvin, J. D. Horsch, J. D. McCleary, L. C. Wideman, J. L. Jensen, M. J. Wolanin, "Assessment of Airbag Deployment Loads with the Small Female Hybrid III Dummy," SAE 933119, 1993.
  - 21) Y. Mao, H. Appel, "Influence of Airbag Folding Pattern on OOP-injury Potential," SAE 2001-01-0164, 2001.
  - 22) Eretec, Minitab User's Guide, 2000.