

〈논 문〉 SAE NO. 96370137

운전석 및 조수석 에어백 단품의 유한요소 모델링과 전개 과정 해석

Finite Element Modeling of Folded Airbag and Analysis of Deployment Process

김 헌 영,* 이 상 근,** 신 윤 재***
H. Y. Kim, S. K. Lee, Y. J. Shin

ABSTRACT

The deployment process of fully folded airbag is analyzed. The methodology of finite element modeling is presented for flat driver side airbag and 3-dimensional passenger side airbag. 'Initial metric option' is used to model 3-dimensional passenger side airbag before deployment. The deformed shapes and pressure waveforms inside cushion evaluated from simulation are compared to the test results. The agreements between the simulation and the experiments are satisfactory, and the results of simulation are confirmed to be applied to the design of airbag module.

주요기술용어 : Deployment process(전개과정), Driver side airbag(운전석에어백), Airbag module(에어백 단품), Passenger side airbag(조수석에어백)

1. 서 론

1980년대 초에 메르세데스사에 의해 운전석 에어백이 최초로 소개되면서 에어백은 최고의 안전장치로 인정을 받았으며, 80년대 중반에는 고급 차종에 장착이 되었고, 80년대 후반에는 크라이슬러가 기본 장비로 운전석 에어백을 장착하기 시작함으로써 급속히 대중화되었으며, 현재

선진국에서는 자동차 승객 보호를 위한 다각적인 조사와 연구, 안전 기준을 제정하는 등 차량 충돌사고시 승객 보호를 위한 많은 노력을 기울여 왔다¹⁾. 특히 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)에서 자동차의 정면 충돌로부터 승객을 보호하기 위하여 제정된 FMVSS208법규는 30mph에서 충돌시 머리 상해치(HIC, Head Injury Criterion), 가슴의 가중 충격도(GSI, Gadd Severity Index) 그리고 대퇴부 하중(Femur load)에 대한 한계치를 명시하고 있다^{2~4)}. Table 1에 명시된 머리상해치(HIC)는 일반적으로 1,000을 넘지 않아야 한다.

* 정회원, 강원대학교 기계공학과

** 강원대학교 대학원

*** 성우(주) 에어백기술부

Table 1 FMVSS 208 regulation for occupant protection

Spec.	Limitation
HIC (Head Injury Criterion)	$HIC = \{(t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt\}^2 (t_2 - t_1)$ $HIC < 1,000$
GSI (Gadd Severity Index)	$GSI = \int_{t_1}^{t_2} a(t)^2 dt$ $GSI < 60G$

가속가속도의 합성치(GSI)는 60G를 초과하지 않아야 하고, 가슴최대압축(Chest compression)은 등뼈를 기준으로 상대적으로 3inch, 좌석벨트에서는 2inch를 초과해서는 안된다. 대퇴부를 통해 전달되는 최대하중은 2,250lb(10,000N)를 넘지 못하도록 규정되어 있다. 이러한 규정을 만족시키기 위해서는 좌석벨트(Seat belt)와 함께 안전 장치로서 에어백(Airbag)의 사용이 충돌 사고에서 승객의 상해를 감소하는데 많은 효과가 인정되고 있다¹¹⁾. 차량의 증가와 이에 따른 차량 충돌 사고에 대한 인식이 증가하면서 운전자를 보호할 수 있도록 고안된 운전석 에어백(DAB, Driver side airbag)뿐만 아니라 조수석의 승객을 보호하기 위한 조수석 에어백(PAB, Passenger side airbag), 뒷좌석 승객을 보호하기 위한 뒷좌석 에어백(Rear seat airbag), 측면 충돌로부터 승객을 보호하기 위한 측면 에어백(Side Airbag) 등, 다양한 장치에 관한 연구가 이루어지고 있으며^{5)~13)}, 일부 차량에 대해서 실용화되고 있다. 이와 같은 차량 충돌시의 승객 보호용 안전 장치 개발을 위해서는 필수적으로 실차 테스트(Sled test), 베리어 테스트(Barrier test) 등의 충돌 실험이 요구되나 고가의 시험 장비와 시험 비용이 소요된다. 특히 에어백의 개발 초기 단계에서는 차량 부품들에 관한 정확한 충돌 특성의 파악이 어렵고, 다양한 설계 변수가 존재해서, 이들 변수들의 적절한 조합을 구하는데 많은 시행 착오가 뒤따른다. 따라서 시험 횟수를 최소화하면서 다양한 변수들의 적절한 조합을 최소 경비와 시간으로 실시할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션의 사용이 적극적으로 요구되고 있다^{14)~15)}.

본 연구에서는 인플레이터, 에어백, 커버, 마운팅 플레이트 등을 포함하는 에어백 단품의 설계에 있어서, 에어백의 열역학적 모델링과 운전석 및 조수석 에어백의 유한요소모델링의 설계방안을 제시하고, 각각에 대한 전개과정을 해석하였다. 또한 전개과정시 에어백의 변형양상 및 에어백내의 압력변화를 실험결과와 비교·분석하였으며, 이 자료를 기초로 향후 실차테스트(Sled test)에 적용하고자 한다.

2. 에어백 일반

에어백은 차량의 정면 충돌 시 승객의 상해치를 최소화하기 위해서 차량 충돌 후 승객이 전방으로 일정 기준 이상 과도하게 거동하기 전에 완전하게 전개되어야 한다. 따라서, 에어백을 작동시키기 위해서는 적절한 기준이 필요하며 대표적으로 125mm~30msec 기준(OPC, Occupant Performance Criteria)이 사용된다¹⁶⁾. 125mm~30msec 기준에서 에어백이 완전히 전개되기 위한 시간인 30msec는 승객이 차량 충돌후 앞쪽으로 125mm 이동하기 전에 에어백이 전개되어야 할 시간이다. 정면충돌시 최초의 범퍼 접촉이 시작될 때 차량의 속도는 급격히 감소되며 승객은 초기의 충돌 속도로 인해 자유 운동을 하게 되고, 이 동안 센서는 충돌을 감지하여 전기적 신호로 인플레이터(Inflator)를 작동시키게 한다. 에어백 장치의 설계는 먼저 그 차의 관성자유공간(Inertia free space)의 인지하에 감속 특성을 여러번의 충돌테스트(컴퓨터 시뮬레이션, 대차시험)로 알아내어 계산에 의해 시간경비를 설정한 후 그 시간 경비에 적합한 종류의 센서, 인플레이터, 백을 설정한다. 승객의 전방 자유거동영역(Free Occupant travel)의 제한선이 125mm일 때 충돌 그래프를 계산, 적분을 해서 속도의 변화량을 알고, 다시 적분을 해서 거리를 앞으로 거기에 따르는 총 전개시간을 결정한다.

일반적으로 충돌 후부터 에어백이 완전 전개되는 시간은 55~60msec 이며, 전개과정은 30msec을 차지하기 때문에 센서의 감지시간을 20msec 이내로 하여야 한다. 에어백 전개시간이 30msec

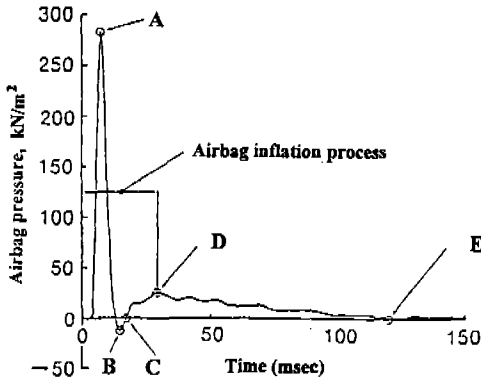


Fig.1 Typical airbag pressure from

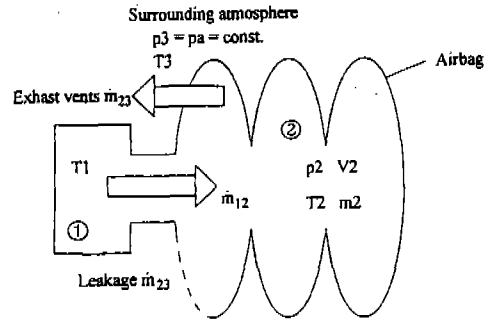


Fig.2 Idealization of airbag

인 이유는 너무 급속한 인플레이션은 소음, 열, 승객의 되튀김(Rebounding)등을 유발하고 또한 너무 느린 인플레이션은 앞으로 이동하는 승객과 반대방향으로 매우 큰 가속도의 백과 충돌을 야기하여 또다른 상해를 얻기 때문이다.

Fig.1은 에어백만을 분리하여 부풀렸을 때 에어백 압력과정의 전형적인 예이다¹⁷⁾. (A)에서 최대 피크에 도달한 후 (B)에서 순간적인 진공상태가 백안에서 일어나고 (C)에서 연속적인 여압으로 백을 부풀리며 대략 30msec 안에 두 번째 피크(D)에 도달한 후에 점차적으로 압력이 감소하여 대기압까지 도달한다. 백이 실질적으로 완전히 부풀 후 에어백 인플레이션 과정은 두 번째 피크(D) 근처까지 계속된다. 이것은 (D) 근처의 압력 과정이 운전자의 안전과 매우 밀접한 관계가 있다는 것을 의미한다. 따라서, 본 해석 작업은 에어백의 초기 개발 단계에서 위와 같은 기준을 만족시키는 운전석에어백 모듈의 개발을 위해 에어백의 1차, 2차 피크와 시간대 그리고 전개 과정 중 쿠션의 거동 분석을 통해 초기 에어백 개발의 단계에서 기초 자료를 제공하기 위해서 실시되었다.

3. 에어백의 열역학적 모델

에어백을 열역학적 모델로 단순화시킬 때, Fig.2와 같이 나타낼 수 있다. 에어백 모델은 크게 인플레이터(Inflator), 에어백(Airbag), 주위압

(Surrounding atmosphere) 부분으로 나누어지며, 백내부와 외부에서의 열의 흐름이 없다고 가정하는 단열과정(Adiabatic process)과 이상기체(Ideal gas), 그리고 압력과 온도가 백내에서 균일하게 분포한다고 가정한다¹⁸⁾.

기본 방정식은 식 (1)의 기체의 상태방정식, 식 (2)의 에너지 보존법칙과, 식 (3)의 질량보존의 법칙이다. 식 (4)는 식 (1), (2), (3)으로부터 유도된 에어백 모델의 기체 지배 방정식을 나타낸다.

$$pV = mRT \tag{1}$$

$$dU/dt = dQ/dt - p dV/dt \tag{2}$$

$$dm/dt = dm_{in}/dt - dm_{out}/dt, (dm/dt = \dot{m}) \tag{3}$$

$$dm/dt = CA(P_1/RT_1)(P_2/P_1)^{1/k} \cdot [2RT_1(1 - (P_2/P_1)^{k-1/k})(k/(k-1))]^{1/2} \tag{4}$$

윗 식에서 p 는 압력이고, V 는 체적, m 은 질량, R 은 기체상수이며, T 는 온도이다. 에너지 보존법칙에서 dU/dt 는 백에서의 에너지 변화량, dQ/dt 는 백으로 들어오는 에너지변화량, $p dV/dt$ 는 백이 일한 에너지변화량이다. 질량 보존법칙에서 dm/dt 는 백의 질량의 변화량, dm_{in}/dt 는 백으로 들어오는 질량변화량, dm_{out}/dt 은

백에서 빠져나가는 질량변화량이다. 식 (4)에 나타난 지배방정식에서 C 는 백에서의 방출계수, A 는 백에서의 방출구멍의 면적, k 는 인플레이터 가스의 비열비이다.

4. 운전석 에어백

4.1 해석모델

Fig.3는 차량 충돌시 운전자를 보호하기 위한 운전석에어백 모듈로 인플레이터, 커버(Cover), 백(Cushion), 마운팅플레이트(Mounting plate), 리테이너링(Retainer ring) 등으로 구성된다. 인플레이터는 자동차 충돌후 센서로 부터 전기적 신호를 받아서 에어백 팽창을 위한 가스발생 장치로서 뇌관(Squib)과 무해가스를 발생시키는 가스발생제(Gas generant)로 이루어져 있다. 커버는 에어백을 둘러싸고 있으면서 전개시 커버 내의 흠분리대(Tear seam)가 갈라지면서 백이 부풀어 나올 수 있는 통로를 제공한다. 쿠션

(Cushion)은 차량충돌시 운전자와 직접 접촉하여 충격 에너지를 흡수해 주는 역할을 하며, 백(Front panel, Rear panel)과 테더(Tether)로 구성되어 있다. 테더의 역할은 에어백 전개시 백의 적절한 형상을 유지하고 운전자와의 강한 접촉을 방지해 준다. 그리고 백에는 가스의 방출을 위해 두개의 방출구멍(Vent hole)이 있다. Fig.4는 운전석 에어백에 대한 유한요소 해석모델로서, 에어백 전개 시시뮬레이션을 위하여 에어백의 커버와 쿠션만을 모델링하였다. 특히 마운팅 플레이트는 해석에 소요되는 시간의 절감을 위해서 강체벽(Rigid wall)으로 처리하여 쿠션의 반동면을 정의했다. 에어백 커버는 탄소성 셸(Elastic-plastic shell)요소를 이용하였으며, 에어백의 압력에 의해서 찢어지는 에어백 커버의 흠분리대는 리벳요소를 사용하여 모델링하였다. 이때 리벳요소의 인장강도를 구하기 위하여 실험을 수행했으며, 인장강도(300Pa)를 입력값으로 사용하여 허용응력 이상에서 리벳이 끊어지도록 정의하였다. 에어백 쿠션은 다층 멤브레인(Layered membrane)요소를 사용하여 각각 -45° , 45° 를 이루는 두개의 레이어층과 코팅층을 정의하였으며, 두께는 0.33mm로 윗판넬과 아랫판넬을 모델링하였다. 에어백의 전개 후 쿠션의 형태를 유지하고 쿠션의 체적과 운전자에 대한 백슬랙

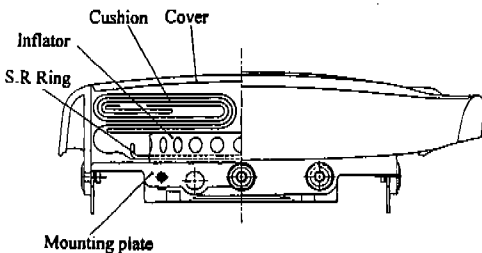


Fig.3 Driver side airbag module

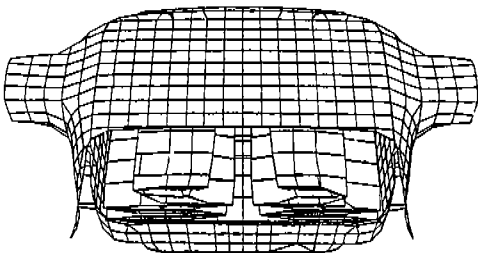


Fig.4 Finite element model of driver side airbag module(cut-away view)

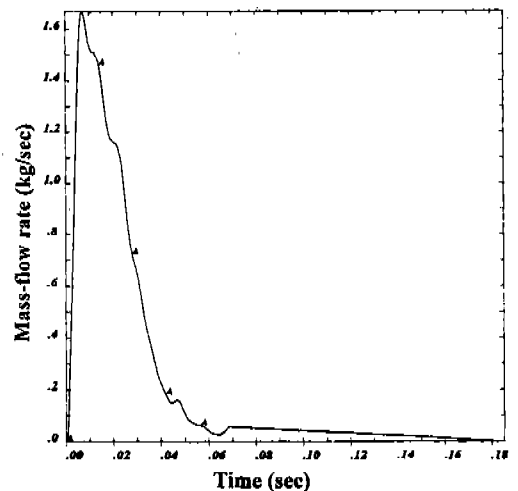


Fig.5 Mass flow rate of driver side airbag

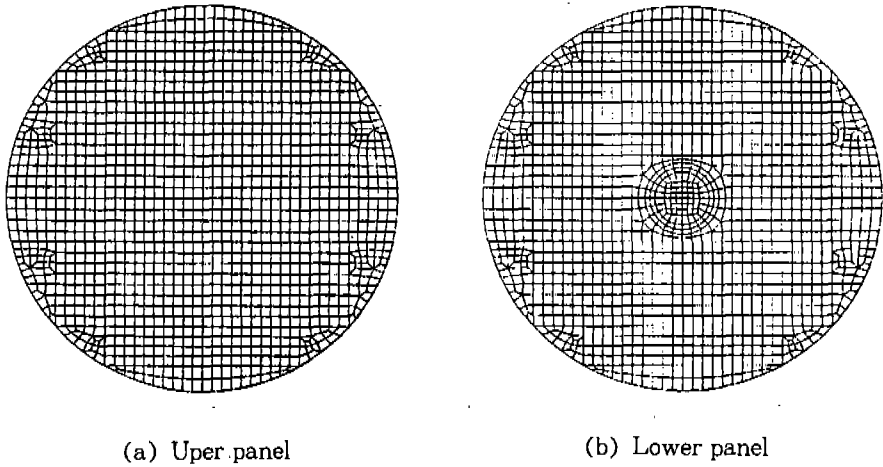


Fig.6 Finite element model of cushion

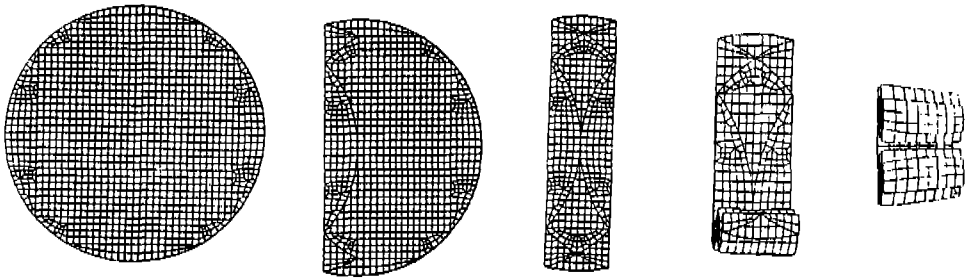


Fig.7 Folding process of driver side airbag

Table 2 Characteristics of N2 gas

Specific Heat, Cp	1,038J/(kgK)
Specific Heat, Cv	741J/(kgK)
Specific Heat Ratio, k	1.36
Gas constant, R	296J/(kgK)
Gas Temp., K	784.5K

(Bag slack)을 줄이는데 중요한 역할을 하는 테더는 인장력에 대해서 비선형적으로 거동을 하는 비선형 바(Nonlinear bar)요소를 사용하였다. 에어백 전개를 위해서 사용된 인플레이터의 특성치는 인플레이터의 질량흐름률을 입력 값으로 사용하여 Fig.5와 같이 정의하였다. 사용된 가스는 이상 기체, 단일 과정의 N₂가스로 특성치는

Table 2와 같다. Fig.6은 백 상판과 하판에 대한 유한요소모델이며 접는 과정을 Fig.7에 나타내었다. 백의 풀당시 쿠션은 필연적으로 초기침투(Initial penetration)가 발생하게 되므로 접는 과정에 있어 각 쿠션간의 간격을 1mm로 조정하여 초기 침투를 감소시켰다. 전체 해석모델에 대해서 계산시간은 80msec으로 정의했다.

4.2 해설결과 및 실험검증

Fig.8은 운전석 에어백에 대한 시뮬레이션과 시험에 대한 전개과정을 보였다. 에어백의 흠분리대의 분리는 5.8msec에서 시작해서 8msec에서 종결되었으며 백이 완전히 부풀린 시간은 30msec이다. 이러한 전개과정은 시뮬레이션과 시험에 대해서 변형양상과 시간대가 매우 잘 일

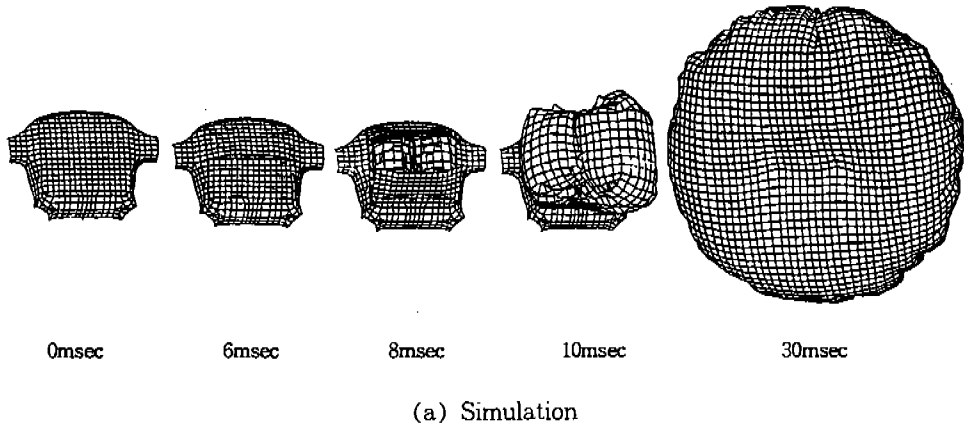


Fig.8 Inflation process of driver side airbag for simulation and test

치하고 있음을 보여준다. Fig.9는 실제 에어백 모듈에 압력 측정 기구를 설치하여 에어백 전개 시험을 실시하였으며, 그 시험치와 해석결과와 비교하였다. 전개과정시 백내의 압력변화에 대한 해석과 실험결과에서, 초기 피크압력은 9~11 msec에서 시험치가 약 122KPa 정도에서 형성 되었으며, 해석은 약 135KPa까지 압력이 상승 하지만 초기 피크압력 발생시간은 적정한 수준이다. 흡분리대의 분리는 5.8msec에서 시작해서 약 8msec에서 종결되며, 이 때의 압력값은 실험과 해석이 잘 일치한다. 시험치에서 1차 피크압력 이후 약 26msec에서 진공상태를 나타낸다. 이는 1차 피크가 이루어지면서 발생한 백의 운동 에너지에 의해서 급격히 백이 앞으로 이동함에 따라서 백내의 순간적인 와류에 의해서 백

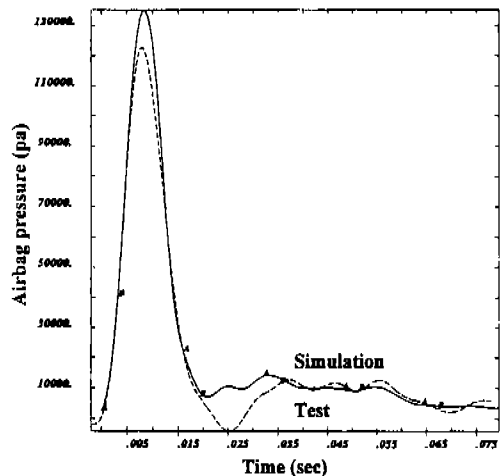


Fig.9 Pressure waveforms of test and simulation

내의 압력차가 매우 심해지며 대기압 이하로 떨어진다. 그러나 압력측정기구의 측정방법이나 위치에 따라 차이가 난다. 여기에 비해서 해석모델에서는 백내의 압력이 항상 균일하다고 가정하고 있으므로 시험치와 다소 차이가 나타난다. 해석에서는 2차 피크가 약 33msec에서 보인다. 125mm-30msec기준에서 볼 때, 이때 승객접촉이 시작되며, 실험결과는 약 36msec에서 2차 피크가 발생하는 것을 볼 수 있다.

5. 조수석 에어백

5.1 해석모델

운전석용 에어백은 차량의 핸들에 장착되어 있어 운전자와의 거리가 가깝고 운전자의 거동에 한계가 있어 빠른 팽창과 정확하고도 한정된 부분을 보호하게 되나, 조수석쪽은 에어백이 차량 내부 구조물(Instrument panel)에 장착되어 있어, 승객과의 거리가 멀어 운전석 에어백에 비해 3배정도의 용량을 요한다. 차량 충돌시 조수석 승객을 보호하기 위한 에어백 모듈의 구성은 운전석 에어백 모듈과 매우 유사하며, 인플레이터, 도어(Door), 백, 하드웨어 등으로 구성되어 있

다. 도어는 하우징(Housing)과 결합되어 에어백을 감싸고 있는 것으로 전개시 한쪽의 힌지(Hinge)를 축으로 회전하면서 열린다. Fig.10은 일반적인 조수석 에어백의 구성 및 조립상태를 보여주고 있다. 조수석 에어백의 유한요소모델은 하우징부분과 도어부분, 쿠션부분으로 구성된다. 쿠션과 인플레이터를 감싸고 있는 하우징부분은 하우징과 엔드캡(LH, RH end cap), 마운팅 브라켓(MTG bracket)으로 각각 탄소성 셀요소로 모델링하였으며 점용접(Spot weld)로 결합시켜 구성하였다. 에어백 모듈의 단품 개발시 가장 어려움을 겪고 있는 도어 및 힌지부의 브라켓은 강체(Rigid body)로 정의하고, 에어백의 전개시 쿠션의 전개를 허용할 수 있도록 하는 브라켓은 강체(Rigid body)로 정의하고, 에어백의 전개시 쿠션의 전개를 허용할 수 있도록 하는 홈분리대(Tear seam) 부분은 운전석 에어백에서와 같이 리벳으로 정의하여 실제의 인장강도(300Pa)을 입력값으로 이용하였다. 운전석 에어백과 마찬가지로 조수석 에어백에서도 실험값인 Fig.11의 질량흐름률을 해석의 입력자료로서 사용하였다. 이때 사용되는 인플레이터 가스는 운전석과는 다르게 Ar, He를 사용한다. Ar, He의 특성치는 Table 3과 같다. 에어백 전개후 쿠션의 형태를

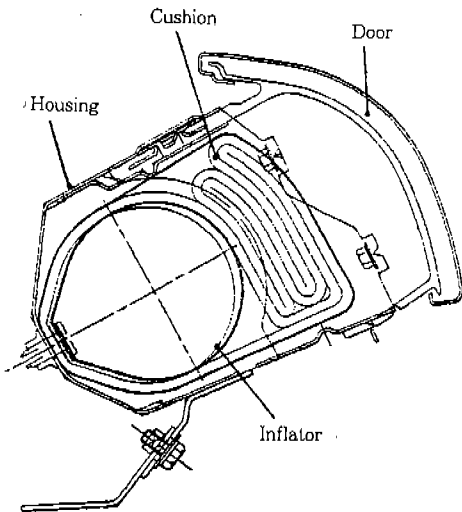


Fig.10 Passenger side airbag module

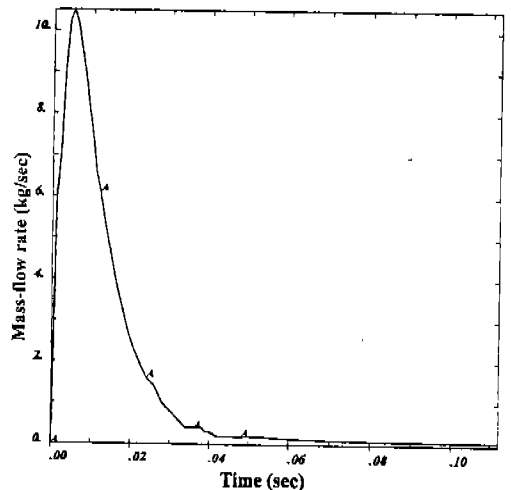


Fig.11 Massflow rate of passenger side airbag

Table 3 Characteristics of Ar, He gas

Spec. \ gas	Ar(92%)	He(8%)
Specific Heat, Cp	519J/(kgK)	14,233J/(kgK)
Specific Heat, Cv	310J/(kgK)	12,156J/(kgK)
Specific Heat Ratio, k	1.67	1.66
Gas Constant, R	208J/(kgK)	2,077J/(kgK)

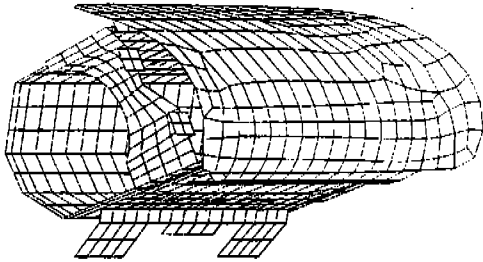
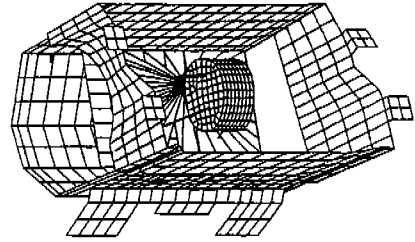


Fig.12 Finite element model of passenger side airbag module

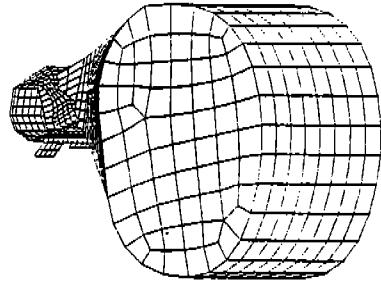
적절히 유지하여 승객을 효과적으로 구속하게 하는 테더(Tether)는 비선형 바(Nonlinear bar) 요소를 사용하였다. Fig.12는 유한요소모델을 나타낸다. 조수석 에어백의 모델링에 있어서 쿠션의 경우 운전석 에어백과 비교 할 때 그 형상이 3차원 입체로 되어 있어 정확한 폴딩라인의 설정이 어려워, 실제의 폴딩된 에어백을 유한요소 모델링할 때 막대한 시간이 소요되면서 동시에 정확한 모델링있어서도 많은 어려움을 겪는다. 본 연구에서는 조수석 에어백 쿠션의 유한요소 모델링에 있어서 시간의 절약과 해석의 실효성을 위하여 최근에 시도된 바 있는 Initial metric 방법^{19), 20)}을 사용하였다.

5.2 Initial Metric 방법

에어백의 전개 시뮬레이션을 위해서는 우선적으로 에어백이 도어와 인플레이터 사이에 접혀 넣어져야 한다. 운전석 에어백의 쿠션은 2차원의 2개의 평판으로 이루어져 있어 에어백 폴딩시 폴딩라인을 따라 작업을 용이하게 할 수 있으나,



(a) Approximate mesh model



(b) Geometric mesh model

Fig.13 F. E. model of passenger side airbag using initial metric option

조수석 에어백의 쿠션은 주판넬(Main panel)과 2개의 측면 판넬(Side panel)로 구성된 3차원 원통형의 형상을 이루고 있어 폴딩의 사전단계로 3차원의 에어백쿠션을 2차원으로 납작하게 재구성하고 접어야 한다.

Initial metric 방법^{19), 20)}은 완전히 부풀려진 상태의 실제의 에어백 형상을 제공하는 기하학적 요소 모델과, 근사 요소 모델(Approximate mesh)이 필요하다. 근사 요소 모델은 상대적으로 기하학적 요소 모델에 비해서 작고 단순화된 형상을 가지고 있으나, 접혀진 에어백쿠션의 위치와 형상을 대신하고 있어, 이에 따른 복잡한 폴딩작업의 생략을 가져다 준다. 이때 기하학적 모델과 근사 요소 모델사이에는 서로 각각의 요소와 접점에 대해 같은 연결성(Connectivity)과 같은 번호를 가지고 있다. Fig.13은 조수석 에어백쿠션의 기하학적 요소 모델과 근사 요소 모델을 보여준다. 본 연구에서 사용한 방법은 완전히 전개된 상태의 쿠션을 기하학적 요소 모델로 정의한 후, 별도의 절점이동과 같은 조작을 하지 않고

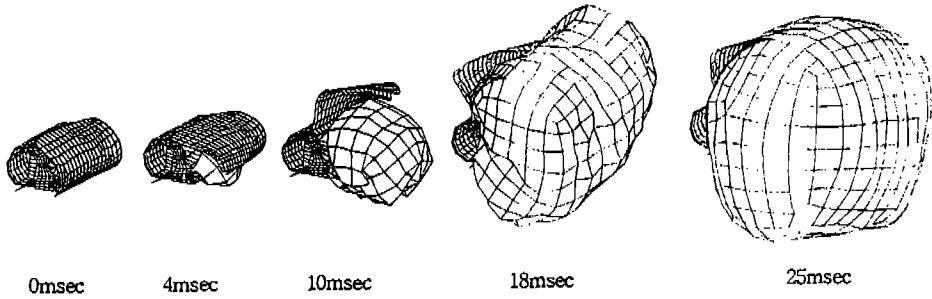


Fig.14 Inflation process of passenger side airbag

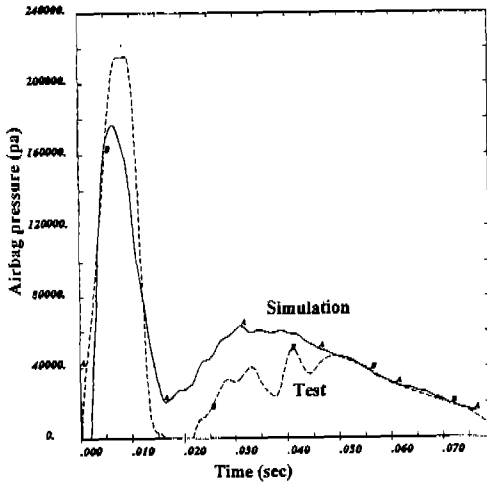


Fig.15 Pressure waveforms of test and simulation

폴딩과정을 생략한 채 축소 모델을 근사 요소 모델로 하여 하우징내에 위치 시켰다.

5.3 해석결과 및 실험검증

Fig.14는 조수석 에어백에 대하여 Initial metric 옵션을 사용하여 폴딩과정 없이 전개과정을 해석한 결과이다. 도어의 흠분리대의 분리시간은 약 3msec이며, 약 25msec에서 에어백이 완전히 부풀렸음을 알 수 있다. Fig.15는 시간대에 따르는 조수석 에어백내의 압력파형을 나타낸 것으로 해석결과와 실험 결과를 비교하였다. 해석의 초기 피크압력은 5~7msec에서 약 180KPa이고

시험결과로는 첫 피크압력이 220KPa에서 발생하며 시간대는 해석결과와 일치한다. 약 16msec에서 백내의 압력이 떨어진 후, 2차 피크는 해석과 실험 모두가 30msec에서 발생하며, 50msec 이후로는 시험과 해석 결과가 잘 일치함을 볼 수 있다. 전체적으로 해석과 실험의 압력파형은 동일한 경향을 나타내나, 운전석 에어백의 압력파형과 비교하여 피크시간대에서 압력값의 차이가 많다. 이것은 조수석 에어백의 전개과정해석에서 입력자료로 사용되는 백내의 가스방출량의 정확한 측정이 어려운 관계로 근사치를 사용했기 때문이다.

6. 결 론

본 연구에서는 승용차 운전석 및 조수석 에어백단품에 대한 유한요소모델링 기법을 제시하였으며, 각각에 대한 전개과정을 해석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 운전석 에어백의 경우 실제와 같은 전개과정을 유도하기 위해 폴딩 에어백을 모델링 하였으며, 전개과정 해석으로부터 에어백의 변형 양상, 쿠션내 압력 변화를 구하였다.
- 2) 운전석 에어백 모듈에 압력 측정 기구를 설치하여 상온에서 에어백 전개 시험을 실시하여 변형양상과 압력변화를 구하였으며, 이를 해석결과와 비교하였다. 전개과정 동안의 압력 변화와 변형양상이 해석 결과와 잘 일치된 경향을 나타내었다.
- 3) 조수석 에어백은 그 형상이 3차원 입체로

되어 있고 용량이 운전석 에어백에 비해서 약 3배정도 크기 때문에 정확한 폴딩라인의 설정과 전개시 거동의 분석이 어려워 에어백 쿠션의 유한요소 모델링에 있어서 시간의 절약과 해석상의 실효성을 위하여 Initial metric 방법을 사용하였다.

- 4) Initial metric 옵션을 사용하여 조수석 에어백 전개 과정에서 백의 변형 양상과 백내의 압력과형을 얻었으며 시험결과와 비교·분석하였다.

참 고 문 헌

1. D. otte, "Review of the Aibag Effectiveness in Real Life Accidents Demands-for Positioning and Optimal Deployment of Airbag Systems", SAE952701.
2. C. C. Chou and W. N. Gerald, "Analytical Studies of the Head Injury Criterion (HIC)", SAE Paper No. 740082.
3. C. C. Chou, R. J. Howell and B. Y. Chang, "A Review and Evaluation of Various HIC Algorithms", SAE Paper No. 880656.
4. H. J. Mertz and A. L. Lrwin, "Brain Injury Risk Assessment of Frontal Crash Test Result", SAE Paper No. 941056.
5. K. H. Yang and Y. Q. Li, "Effects of the Airbag Folding Pattern in Out-of Position Frontal Impact with and Airbag", 1993 ASME winter Annual Meeting, AMD-Vol. 169/BED-Vol. 25, pp. 255~267.
6. Charles J. Wawa, Jim S. Chandra, and Mukul K. Verma, "Implementation and Validation of a Finite Element Approach to simulate Occupant Crashes with Airbag:Part 1~Airbag model", 1993, ASME winter Annual Meeting, ADM-Vol. 169/BED-Vol. 25, pp. 269~286.
7. Charles J. Wawa, Jim S. Chandra, and Mukul K. Verma, "Implementation and Validation of a Finite Element Approach to simulate Occupant Crashes with Airbag:Part 2-Airbag Coupling with crash victim", 1993, ASME winter Annual Meeting, AMD-Vol. 169/BED-Vol. 25, pp. 287~309.
8. J. J. Nieboer, J. Wismans, and P. . A. de Coo, "Airbag Modeling Techniques", SAE Paper No. 902322.
9. T. B. Khalil and R. J. Hallquist and D. W. Stillman, "Development of a 3-Dimensional Finite Element Model of Air bag Deployment and Interactions with an Occupant Using DYNA3D", SAE Paper No. 912906.
10. B. Lundell, M. Evarrdsson, L. Johansson, J. Komer, and S. Pilhall, "SIPSEBAG-The Seat-Mounted Side Impact Protection", SAE Paper No. 950878.
11. Yih-Charng Deng, "How Air Bags and Seat Belts Work Together in Frontal Crashes", SAE Paper No. 952702.
12. A. Malczyk and H. D. Adomeit, "The Airbag Folding Pattern as a Means for Injury Reduction of Out-of-Position Occupants", SAE Paper No. 952704.
13. T. C. Lin, C. Wawa, and t. B. Khalil, "Evaluation of the Hybrid III Dummy Interactions with Airbag in Frontal Crash by Finite Element Simulation", SAE Paper No. 952705.
14. 박영선, 이주영, 박경진, 위인혁, 유재식, "승객안전을 위한 승용차에어백의 모델링 및 설계", 한국자동차공학회 1993년도 춘계학술대회, 1993.
15. 윤영한, "측면 충돌시 승객보호와 차체해석용 모델", 한국자동차공학회지 제14권 제4호, 1992.
16. F. Shokoohi, "Airbag Sensor Fire Time-Occupant Performance Criterion", SAE Paper No. 950873.
17. . Omura and M. Shimamura, "Analysis of

- Airbag Inflation”, SAE Paper No. 890192.
18. R. Hoffman, A. K. Pickett, D. Ulrich, E. Haug, D. Lasry and J. Clinkemillie, “A Finite Element Approach to Occupant Simulation: The PAM-CRASH Airbag Model”, SAE Paper No. 890754.
 19. D. Lasry, R. Hoffmann, J. B. Protard, “Numerical Simulation of Fully Folded Airbags and Their Interaction with Occupants with PAM-SAFE”, the 1991 SAE Annual Congress, 1991.
 20. “PAM-CRASH/SAFE USERS’ MANUAL”, VERSION 96.