

## 조수석 에어백 성능 개선을 위한 형상 설계연구

양 성 훈<sup>1)</sup> · 임 종 현<sup>2)</sup> · 김 승 기<sup>2)</sup> · 채 수 원<sup>\*1)</sup>

고려대학교 기계공학과<sup>1)</sup> · 한국지엠 안전성능개발담당<sup>2)</sup>

### A Study on Shape Design of the Passenger Airbag for Efficiency Improvement

Sunghoon Yang<sup>1)</sup> · Jonghyun Yim<sup>2)</sup> · Seungki Kim<sup>2)</sup> · Soo-Won Chae<sup>\*1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea

<sup>2)</sup>Safety Integration Division, GM Korea Company, 233 Bupyeong-daero, Bupyeong-gu, Incheon 21334, Korea

(Received 2 December 2016 / Revised 7 February 2017 / Accepted 13 February 2017)

**Abstract** : In this study, the relationship between the shape of a passenger airbag and the possibility of injury is analyzed using the Taguchi method. The optimal shape combination is proposed for a design guideline that can reduce the possibility of injury to the dummy. The airbag FE model for analysis is obtained using a CAD system that can change the shape through several independent variables. The widths of the left / right, top / bottom, and back / forth direction of the airbag shape are set as the design factors, and the effect of the combination injury probability according to the shape is analyzed. The minimum geometric combinations are obtained using the orthogonal array method. The signal to noise ratio is calculated and the optimal shape combination is obtained through sensitivity analysis. The obtained optimal shape combination is compared with the possibility of injury of the initial airbag shape to confirm improved airbag performance.

**Key words** : Passenger airbag(조수석 에어백), Shape of airbag(에어백 형상), Taguchi method(다구찌 기법), Orthogonal array(직교 배열표), Signal to noise ratio(신호잡음비), Crash simulation(충돌 시뮬레이션)

#### Nomenclature

P : injury possibility, %

#### Subscripts

COMB : combination

L,R : left, right

#### 1. 서 론

에어백과 안전벨트가 교통사고 발생 시 시트에 구속시킴으로써 승객의 상해가능성을 효율적으로

줄일 수 있다는 사실이 알려지면서, 여러 자동차 회사에서는 다양한 안전구속장치 연구에 노력을 기울이고 있다.<sup>1-4)</sup> 특히 에어백의 경우, 자동차 제조회사에서는 설치되는 위치나 대상에 따라 조수석 에어백, 무릎에어백, 커튼에어백, 사이드에어백, 보행자 에어백 등과 같이 다양한 종류의 에어백을 개발하여 장착하고 있으며, 이에 대한 전개 패턴 및 형상에 대한 연구도 활발하게 수행되고 있다.

에어백 전개 패턴의 경우, 사고발생시 순간적으로 전개되어 차량의 다른 구조물이나 외부로의 이탈을 막아야 하기 때문에 충돌 감지 후 에어백 내부의 가스발생기에서 화약이나 압축가스를 폭발시켜 전개시킨다. 이로 인해 체구가 작은 여성승객이나

\*Corresponding author, E-mail: swchae@korea.ac.kr

어린이들이 오히려 에어백의 폭발력 때문에 더 큰 부상을 당하는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위하여 에어백 전개 시 가스의 압력을 줄인 저압형 에어백(De-powered airbag)이나 안전벨트의 착용여부를 판단하여 가스의 압력을 나누어서 전개하는 듀얼 스테이지 에어백(Dual stage airbag), 탑승자의 무게나 위치, 자세에 따라 에어백 내부의 가스 압력을 조절할 수 있는 어드밴스드 에어백(Advanced airbag)과 같이 에어백 내부 압력을 조절하는 연구나 OOP(Out-Of-Position)상태의 탑승자를 보호하기 위해 가스의 전개 방향을 양 옆으로 분산시키는 저위험 전개 에어백(Low risk deployment airbag) 등 다양한 전개 패턴에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>5-8)</sup>

에어백 전개 형상의 경우, 에어백의 전개된 부피나 승객과의 거리에 따라 흡수되는 충격량이 달라지기 때문에 에어백 성능을 평가하는 상해가능성에 영향을 미치게 된다.<sup>9)</sup> 큰 부피를 가진 에어백은 높은 압력으로 팽창하여 승객에게 빠른 속도로 접촉하게 되고, 승객은 차량의 충격량과 함께 에어백이 전개될 때의 가스 압력이 더해져 더 큰 충격량이 야기된다.<sup>10,11)</sup> 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 연구기관에서 에어백 형상에 대한 연구를 시도하였지만 설계가 변경될 때마다 실물 에어백을 제작해야 될 뿐만 아니라 해석용 에어백을 모델링하는 시간 또한 오래 걸리기 때문에 형상에 대한 매개변수 분석 연구에 있어 많은 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 다른 에어백에 비해 부피가 크고 형상이 복잡한 조수석 에어백을 초기 형상으로 지정하여, 제품의 품질 개선 방법인 다구찌 방법과 다양한 독립변수들을 이용하여 변경된 형상의 Ls-Dyna의 in-put 모델을 만들 수 있는 CAD 시스템을 이용하여 에어백의 부피와 더미와의 거리에 연관된 설계 인자들의 민감도를 분석하였다.<sup>12)</sup> 또한, 최적의 에어백 형상 조합 획득하여 더미의 종합 상해가능성을 감소시킬 수 있는 에어백 형상 설계 가이드라인을 제안하고자 한다.<sup>13)</sup>

## 2. 조수석 에어백 해석 모델

### 2.1 PAB 모델링 CAD 시스템

본 연구에서 사용된 CAD 시스템은 경형 차량에

장착되는 가장 일반적인 조수석 에어백 형상을 분석하여 여러 독립변수들을 통해 조수석 에어백 형상을 손쉽게 변경할 수 있다. 에어백 형상을 결정하는 12개의 키포인트(Key-point)와 2개의 폭(Width)이 설계 인자로 추출되었고, 에어백 설계 시 중요하게 고려해야하는 부피와 더미의 거리에 연관되는 키포인트들이 주요 설계인자로 지정되었다. 주요 설계인자의 좌표들은 주변에 위치한 다른 키포인트들과의 상대적인 위치를 수식으로 정의하여 간단하게 다양한 에어백 형상을 얻어낼 수 있다. CAD 시스템에서 형상이 결정되면 동일한 크기의 삼각형 요소가 도포되어 참조형상요소(Reference mesh)를 얻을 수 있으며, 에어백이 위치하는 하우징 모듈의 크기에 맞게 x축, y축, z축 방향으로 독립적인 비율로 축소되어 초기형상요소(Initial mesh)가 생성된다. 에어백 내부에 위치하여 에어백 전개 시 과도한 팽창을 억제하는 테더(Tether)는 일반적으로 셸요소(Shell element)를 사용하여 생성되지만, 초기형상요소를 생성하는 과정에서 요소간의 자체접촉(Self contact)이나 간섭이 발생할 수 있기 때문에, 인장력에 저항하는 기능만을 살린 이차원 요소(2D Discrete element)를 사용하여 생성된다. 그러나 본 연구에서는 에어백 형상에 따른 더미의 상해가능성과의 관계를 연구하기 위해 테더 요소는 생략하였다. 마지막으로 에어백이 장착되는 차량충돌모델에 맞게 접촉조건을 입력하여 해석용 에어백 모델은 완성된다. 해석용 에어백을 모델링하는 과정은 Fig. 1에 그림으로 설명하였다.

### 2.2 정면 충돌 해석 모델 검증

CAD 시스템을 통해 생성된 해석용 에어백 모델의 검증을 위해 Hybrid-III 5th%tile 정면충돌실험 데이터와 비교하였다. 에어백의 전개과정을 5 ms 시간 간격으로 캡처한 사진과 더미의 부위별 상해가능성을 산출하여 비교하였다.

여성더미 정면충돌 시뮬레이션 모델은 Fig. 2와 같이 Hybrid-III 5th%tile 여성 더미와 CAD 시스템을 통해 얻어진 에어백, BIW(Body In White), IP(Instrument Panel), 시트(Seat), 안전벨트(Seat-belt), 그리고 US-NCAP 규정에 부합하기 위해 무릎에어백(Knee

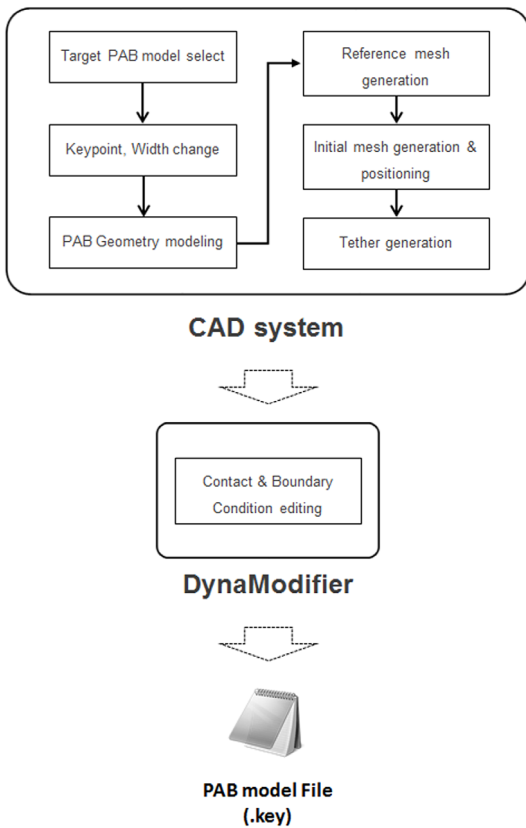


Fig. 1 Passenger airbag FE model generation procedure

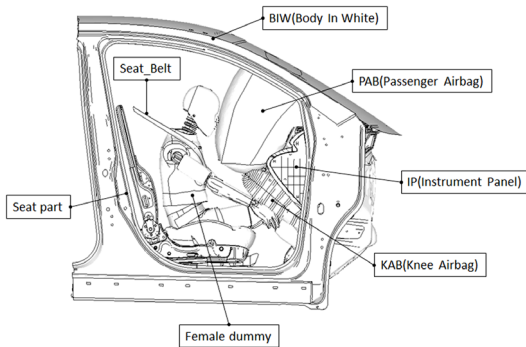


Fig. 2 Car crash simulation model for finite element analysis

airbag)이 포함되어 있다. 검증에 사용된 충돌해석 모델은 약 3백 개의 빔 요소를 가지고 있으며, 총 968 개의 파트를 가지고 있다. 접촉이 발생하는 더미와 에어백을 제외하고는 강체로 모델링하고, 에어백끼리의 접촉 또한 고려하였다. 차체에 적용되는 감속도 곡선은 실제 56 km/h 정면 충돌을 통해 얻어진 시

험 결과 데이터가 삽입되었으며, 상용 동적 해석 프로그램인 Ls-Dyna v971 R7.1.2가 사용되었다.

### 2.2.1 에어백 전개과정 비교(45~70ms)

에어백의 전개과정은 에어백이 전개되기 시작하는 순간부터 승객이 에어백에 완전히 안착하는 순간까지 5 ms 간격으로 전개 형상을 비교하였다. 실제 정면충돌실험과 해석 모두 에어백이 완전히 전개된 상태에서 더미가 안착하는 모습을 확인하였으며, 최초 접촉시간의 경우 Fig. 3과 같이 정면충돌실험은 45 ms에서 최초 접촉하였으며, 해석모델의 경우 48 ms에 접촉하여 시간에서 큰 차이가 발생하지 않았다.

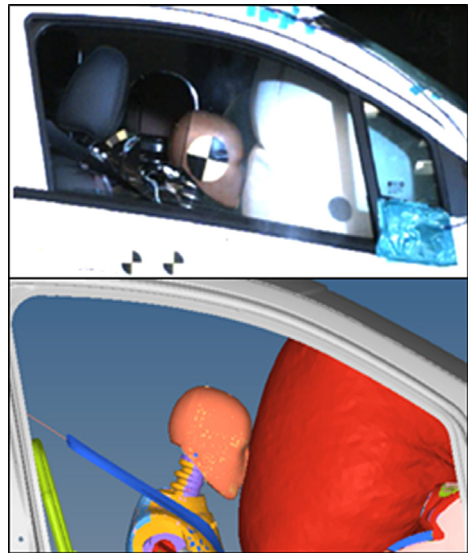


Fig. 3 PAB contact motion of crash test and simulation

### 2.2.2 부위별 상해가능성 비교

충돌실험이나 해석 결과 데이터에서 발생한 잡음(noise)는 데이터 분석에 혼란을 줄 수 있다. 특히 에어백 성능 평가에서 상해가능성은 더미의 각 부위에서 발생하는 수치의 최대값을 이용하여 산출되는 것이 많기 때문에 이러한 잡음을 처리하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 자동차뿐만 아니라 비행기나 선박 등과 같은 내연 기관 관련 산업에서 필요한 규격을 제정하는 SAE 기관(Society of Automotive Engineers)에서 권장하는 필터를 적용하였다. 부위마다 적용되는 필터는 아래 Table 1에 정리하였다.

Table 1 SAE filter classes for evaluation measurements

Measurements	Data	Filter
Head	Acceleration	SAE 1000
Neck	Force	SAE 1000
	Moment	SAE 600
Chest	Deflection	SAE 180
	Acceleration	SAE 180
Lumbar	Force	SAE 1000
	Moment	SAE 1000

상해가능성은 더미의 부위별로 측정되는 데이터를 이용하여 미국의 신차안전도평가제도인 US NCAP의 정면충돌평가에서 사용되는 부위별 상해가능성과 이를 조합하여 만들어진 종합상해가능성을 산출하여 비교되었다. 부위별 상해가능성 산출식은 아래 Table 2와 같다. 머리 상해가능성은  $HIC_{15}$  (Head Injury Criterion)에 의해 산출되며,  $HIC_{15}$  값은 더미의 머리 무게중심에서 측정된 3축 가속도가 최대 발생하는 임의의  $t_2 - t_1$ 에서의 적분값을 나타낸다. 목 상해가능성은 더미의 머리와 가슴의 상대적인 움직임에 의해 발생하는 상해를 평가하기 위해서, 목 상부에서의 인장, 압축, 굽힘, 젖힘 모멘트에 의해 산출된  $N_{ij}$ (Neck injury criterion)값으로 평가된다. 가슴 상해가능성은 충돌 과정에서 발생한 가슴부위의 변형량에 의해 산출된다. 대퇴부 상해가능성은 더미의 좌우 대퇴부에 있는 로드셀에서 측정된 압축힘에 의해 평가된다.

정면 충돌실험과 해석 후 나온 각 부위의 측정값과 상해가능성은 Table 3에 나타내었다. 각각의 결과 모두  $HIC_{15}$  값에서는 큰 차이가 발생하지 않아 머리 상해가능성은 동일하게 평가되었다. 가슴과 대퇴부의 경우 측정값에서 큰 차이가 있었지만, 상해가능성 산출 시 크게 영향이 없는 것으로 확인되었다. 목 부위의 경우 해석결과가 충돌실험의 결과에서 보다  $N_{ij}$ 값이 낮게 측정되어 결과적으로 목 상해가능성이 저평가되는 것을 확인하였다. 이로 인해 각 부위의 상해가능성을 조합한 종합상해가능성이 충돌실험의 경우 0.103, 해석에서는 0.097로 약 6.2% 정도 감소된 값을 확인하였다. 비록 정면 충돌실험에 비해 저평가되는 경향을 보였지만 형상에 대한 상해가능성 영향 분석하려는 본 연구 목적에 문제가

Table 2 Injury risk curve for frontal NCAP

$P_{head}$	$\Phi\left(\frac{\ln(HIC_{15} - 7.45231)}{0.73998}\right)$
$P_{neck}$	$\frac{1}{1 + e^{3.2269 - 1.9688 \times N_{ij}}}$
$P_{chest}$	$\frac{1}{1 + e^{10.5456 - 1.7212 \times (Chest\ Deflection)^{0.4612}}}$
$P_{femur}$	$\frac{1}{1 + e^{5.7946 - 0.7619 \times (Femur\ Force)}}$
$P_{comb}$	$1 - (1 - P_{head})(1 - P_{neck})(1 - P_{chest})(1 - P_{femur})$

Table 3 Injury probability of crash experiment and simulation

		Experiment	Simulation
Head	HIC	330.386	332.112
Neck	Nij	0.371	0.277
Chest	Acceleration	42.6	45.1
	Compression	10.205	14.065
Pelvis	Tibia axial comp.LH	545.817	1480
	Tibia axial comp.RH	850.336	1221
Injury risk	$P_{head}$	0.013	0.013
	$P_{neck}$	0.076	0.064
	$P_{chest}$	0.011	0.011
	$P_{femur}$	0.006	0.007
	$P_{comb}$	0.103	0.093

없는 것으로 판단하였다.

### 3. 다구찌 방법 적용

#### 3.1 실험 목적함수

조수석 에어백을 장착한 정면 충돌실험에서 얻은 더미 상해가능성과 비교하여 검증된 해석용 에어백 모델을 다구찌 방법에 적용하기 위해서는 먼저 분석하는 대상의 문제를 정의해야 한다. 본 연구의 목표는 최적의 에어백 형상조합을 획득하고 더미의 상해가능성을 저감시키는 방법을 제안하는 것이다. 따라서 더미의 종합상해가능성을 목적 함수로 설정하여 이를 최소화 하는 형상조합을 획득하도록 문제를 정의하였다.

### 3.2 설계 요인 선택

에어백의 설계 요인은 경형 차량에 탑재되는 조수석 에어백의 초기 형상을 기준으로 전후·좌우·상하 방향 폭의 길이가 선정되었다. 실험의 목적함수가 설계를 위한 출력 값이라면, 설계 요인은 출력 값에 영향을 주는 입력 값이다. 다구찌 방법에서 설계 요인은 출력 값에 큰 효과를 나타내는 요인으로 선정하여 요인의 변화에 따라 결과를 명확하게 비교할 수 있도록 선정한다.

상해가능성은 에어백이 완전히 전개된 상태에서의 형상과 내부에 주입되는 가스 패턴에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 특히 에어백 형상은 에어백의 부피와 더미까지의 거리를 고려하여 설계되기 때문에 Fig. 4와 같이 에어백의 폭을 변화시켜 각 요인에 대한 민감도를 분석하고 이를 통해 최적의 에어백 형상 조합 획득하였다.

선정된 설계 요인의 수준은 변화에 따라 출력 값에 변화가 크도록 선정한다. 그러나 전개된 에어백의 형상이 과도하게 크게 설계될 경우 전개되는 초기과정에서 BIW나 앞 유리, IP에 접촉하여 전개 패턴에 영향을 받아 승객의 상해가능성 평가가 어려울 수 있다. 이러한 문제를 고려하여 주변 차량 구조물과 간섭이 일어나지 않도록 폭의 증감률을 각각  $\pm 10\%$ 로 설정하였다. 조수석 에어백 초기 형상의 경우 폭이 각각 Width 1 = 365 mm, Width 2 = 648 mm, Width 3 = 577 mm 였으며, 폭의 Table 4와 같이 설계 요인과 수준을 분류하였다.

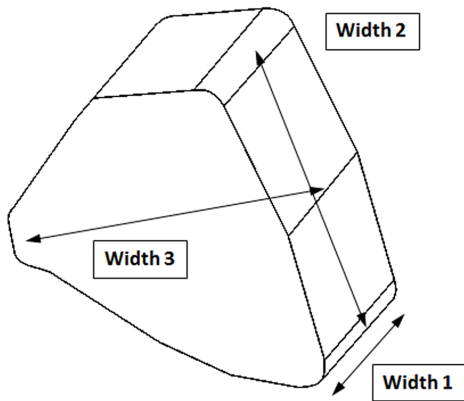


Fig. 4 Selection of PAB model design parameters

Table 4 Design parameters and levels

Level	Width 1(A)	Width 2(B)	Width 3(C)
-1	328.5(90%)	583.2(90%)	519.3(90%)
0	365(100%)	648(100%)	577(100%)
1	401.5(110%)	712.8(110%)	634.7(110%)

### 3.2 실험 배치 및 수행

다구찌 방법에서는 최소한의 실험횟수를 이용하여 제품 성능에 대한 각 설계 요인들의 영향을 분석하기 위해 직교배열법을 이용하여 실험배치를 얻어낸다. 직교배열법에서 직교란 어떤 수준에서나 다른 요인의 전체 수준이 같은 횟수씩 나타나도록 구성하는 배열을 말한다. 만약 본 연구에서 선정한 설계 요인과 수준인 3요인 3수준을 완전요인배치(Full factorial experiment)할 경우 27개의 해석을 수행하여야 하기 때문에 시간도 많이 소요될 뿐만 아니라 각 설계 요인에 대한 상해가능성 영향을 분석하는 것도 어렵다. 따라서 본 연구에서는 직교배열법을 이용하여 Table 5와 같이 9개의 에어백 형상 조합을 얻어내었다. 얻어진 에어백 형상 조합들은 앞서 CAD 시스템에서 생성한 해석용 에어백 모델의 검증에 사용된 여성더미 정면충돌 시뮬레이션에 삽입되어 해석이 수행되었다.

Table 5 Design parameter orthogonal array

Coded variables			
Run	Width 1(A)	Width 2(B)	Width 3(C)
1	-1	-1	-1
2	-1	0	0
3	-1	1	1
4	0	-1	0
5	0	0	1
6	0	1	-1
7	1	-1	1
8	1	0	-1
9	1	1	0
Real variables			
1	328.5	583.2	519.3
2	328.5	648	577
3	328.5	712.8	634.7
4	365	583.2	577
5	365	648	634.7
6	365	712.8	519.3
7	401.5	583.2	634.7
8	401.5	648	519.3
9	401.5	712.8	577

#### 4. 형상에 대한 최적설계

##### 4.1 민감도 및 상해가능성 분석

다구찌 방법에서는 제품의 품질을 사회에 주는 손실로 정의하여 제품의 성능이 목표로 설정한 값에 근접할수록 높은 점수를 받도록 하는 손실함수 개념이 적용된다. 또한 설계 요인의 변화에 대한 효과와 조합에 대한 효과를 대수적으로 비교하기 위해 목표 값을 S/N(Signal to Noise)비로 환산한다. 이러한 S/N 비는 목표 값의 특성에 따라 망대특성(LB: Larger is Better), 망소특성(SB: Smaller is Better), 망목특성(NB: Nominal is Better) 3가지로 분류된다. 망대특성은 목표 값이 클수록 좋고, 망소특성은 목표 값이 작을수록, 망목특성은 목표 값이 특정 값이 가까울수록 높은 점수를 받게 된다. 각각의 산출식은 아래와 같다.

$$(S / N)_{LB} = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}$$

$$(S / N)_{SB} = -10 \log \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n}$$

$$(S / N)_{NB} = 10 \log \frac{y_i^2}{V}$$

본 연구에서는 더미의 종합상해가능성을 목표로 값으로 설정하여 최종적으로 종합상해가능성을 최소로 하는 최적 조수석 에어백 형상조합을 획득하는 것을 목표로 하였기 때문에 망소특성에 적용하는 S/N 비 산출식을 이용하여 설계 요인의 민감도와 최적 형상 조합을 확인하였다.

9개의 에어백 조합 형상에 대해 각각의 더미 상해상해가능성을 아래 Table 6과 같이 구하였다. 해석 결과, 에어백 형상이 목 부위의 상해가능성에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인하였고, 머리, 대퇴부, 가슴 부위 순서였다. 이중 대퇴부와 가슴 부위는 9개의 해석 결과 모두 동일하게 평가 되거나 변화가 미비하였지만, 머리와 목 부위는 형상에 따라 차이가 많이 발생하는 것을 확인하였다.

설계 요인의 폭 변화에 따른 종합상해가능성의 영향은 Table 7과 같이 S/N 비를 산출하여 대수적인 비교를 할 수 있다. Table 7과 Fig. 5를 통해 Width 2(B)

Table 6 Result of simulation

Run	$P_{head}$	$P_{neck}$	$P_{chest}$	$P_{femur}$	$P_{comb}$
1	0.012	0.085	0.011	0.006	0.111
2	0.014	0.085	0.011	0.007	0.114
3	0.013	0.063	0.011	0.007	0.092
4	0.017	0.071	0.011	0.006	0.102
5	0.012	0.064	0.011	0.007	0.092
6	0.013	0.064	0.011	0.006	0.092
7	0.014	0.081	0.011	0.006	0.109
8	0.023	0.065	0.011	0.006	0.102
9	0.015	0.067	0.011	0.007	0.097
Diff	0.011	0.022	-	0.001	0.022

Table 7 Factor response Table for S/N ratio of injury probability

Level	Width 1(A)	Width 2(B)	Width 3(C)
-1	19.56	19.37	19.88
0	20.43	19.81	19.63
1	19.76	20.57	20.24
Diff	0.87	1.2	0.61
Rank	2	1	3

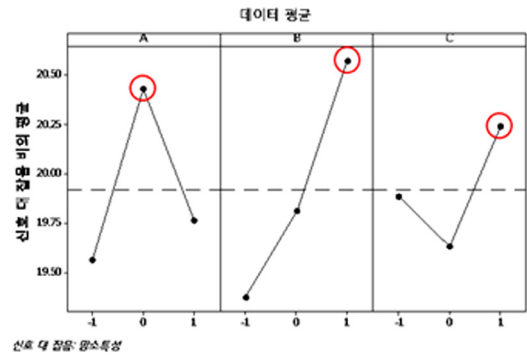


Fig. 5 Main effects for S/N ratio of injury probability

가 목표 값인 종합 상해가능성에 가장 큰 영향을 미치는 설계 요인으로 확인하였고, 다음으로 Width 1(A), Width 3(C) 순임을 알 수 있었다. Fig. 5에서 S/N 비를 최대라 갖게 하는 각 설계 요인들의 수준을 조합하여  $A_2B_3C_3$  가 최적의 에어백 형상조합임을 확인하였다.

##### 4.2 에어백 최적 형상조합 검증

S/N 비 산출을 통해 획득한 에어백 최적 형상조합

$A_2B_3C_3$ 은 초기 형상과 비교하여 개선된 성능을 확인하였다. 검증에 사용된 데이터는 더미와 에어백이 접촉하는 시간과 부위별 상해가능성이다.

더미의 부위별 상해가능성은 Fig. 6과 Table 8과 같이 비교하였다. 초기 에어백 형상에 비해 최적 형상조합의 종합 상해가능성이 약 4% 감소한 것을 확인하였다. 가슴과 대퇴부의 상해가능성은 에어백의 형상에 크게 영향을 받지 않아 동일하게 평가 되었으며, 머리 상해가능성의 경우 최적 형상조합이 조금 높게 평가되었지만 목 상해가능성이 크게 저감되어, 결과적으로는 종합 상해가능성이 감소하였다. 이러한 목 부위의 상해가능성은 머리와 가슴의 상대적인 움직임의 차이로 발생하는 힘과 모멘트 값에 의해 산출된다. 각각의 에어백 형상에서 더미

의 머리와 에어백이 최초로 접촉하는 순간을 Fig. 7에 나타내었다. 초기 에어백 형상과 달리 최적 형상조합은 머리와 가슴이 동시에 에어백에 접촉하여 상대적인 움직임을 감소시켜 결과적으로 더미의 종합 상해가능성을 감소시킨 것으로 보인다. 따라서 에어백 형상 설계 시 제품에 대해 높은 평가를 받기 위해서는 목표 값인 종합 상해가능성에 가장 큰 영향을 주는 목 부위의 상해가능성을 줄이는 것이 중요하며, 이를 위해서는 더미의 머리와 가슴을 동시에 보호하여 상대적인 움직임을 줄이는 것이 유리한 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 조수석 에어백 형상에 따른 더미의 상해가능성의 영향을 다구찌 방법을 이용하여 수치적으로 분석하고 더미의 종합상해가능성을 저감시키는 에어백 개선 방향에 대해 연구하였다.

- 1) 에어백 형상에 대한 매개변수 분석을 위해 다양한 독립변수를 이용하여 손쉽게 형상을 변경할 수 있는 CAD 시스템을 이용하였으며, 실제 정면 충돌실험에서 얻은 더미 측정 데이터, 에어백 전개 사진과 비교하여 검증하였다.
- 2) 경형차량에 탑재되는 조수석 에어백 형상의 좌우·상하·전후 방향의 폭을 설계 요인으로 선정하고, 직교배열법을 통해 9개의 에어백 형상조합을 획득하였다.
- 3) 에어백 모델은 US-NCAP 정면충돌해석 모델에 삽입하여 해석하였고, 에어백 형상과 더미 상해가능성의 영향을 대수적으로 비교하기 위해 망소 특성의 S/N 비를 산출하였다.
- 4) 상하방향의 폭이 가장 영향이 컸으며, 이를 통해 동시에 머리와 가슴을 에어백에 안착시켜 목 상해가능성을 줄이는 것이 더미의 상해가능성을 감소시키는데 유리한 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 조수석 에어백 개발과정에서 초기 형상을 결정하는 가이드라인을 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

### 후 기

이 논문은 한국지엠(주) 산학과제(Q1304931)의

Table 8 Injury probability comparison

Level	Default	$A_2B_3C_3$
$P_{head}$	0.013	0.015
$P_{neck}$	0.069	0.063
$P_{chest}$	0.011	0.011
$P_{femur}$	0.006	0.006
$P_{comb}$	0.097	0.093

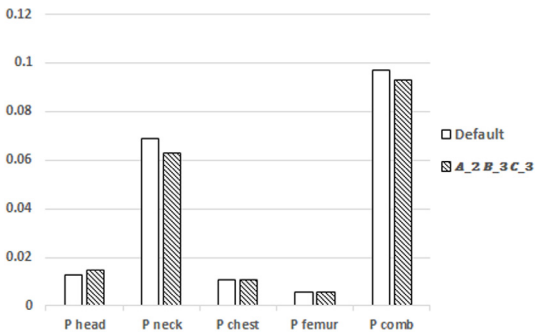


Fig. 6 Injury probability comparison graph

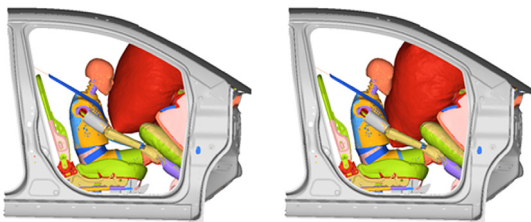


Fig. 7 PAB deployment comparison

지원과 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2016R1A2B4013885).

### References

- 1) T. Iyota and T. Ishikawa, "The Effect of Occupant Protection by Controlling Airbag and Seat-belt," 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, No.198, 2003.
- 2) Y. B. Kim, H. J. Kim, J. N. Han, H. I. Kim and S. W. Chae, "The Optimization of Passenger Seat Belt Design for Female Passenger," Transactions of KSAE, Vol.20, No.4, pp.10-15, 2012.
- 3) Y. W. Yun, G. J. Park and T. K. Kim, "Effectiveness of Active Hood and Pedestrian Protection Airbag Based on Real Vehicle Impact Test," Transactions of KSAE, Vol.22, No.1, pp.36-45, 2014.
- 4) K. S. Lee, D. Y. Kim, H. S. Yun and K. S. Lee, "Improvement of the Correlation between Sled FEA and Test of Vehicle Seatbelt System Using the Statistics Technique," Transactions of KSAE, Vol.23, No.4, pp.454-461, 2015.
- 5) M. V. Jernigan, A. L. Rath and S. M. Duma, "Severe Upper Extremity Injuries in Frontal Automobile Crashes: the Effects of Depowered Airbags," American Journal of Emergency Medicine, Vol.23, Issue 2, pp.99-105, 2005.
- 6) W. T. Hollowell, L. K. Summers, A. Prasad, G. Narwani and T. Ato, "Performance Evaluation of Dual Stage Passenger Air Bag Systems," SAE 2001-06-0190, 2001.
- 7) D. E. Kim, W. I. Park, B. S. Shin and M. C. Kang, "Optimized Low-risk Deployment of a Passenger Airbag with a Passenger Protection Wrap Considering Pressure Dispersion," Proc. IMechE Part D: J Automobile Engineering, Vol.231, No.1, pp.27-34, 2017.
- 8) S. K. Jeon and G. J. Park, "Injury Patterns of the Hybrid III Fifth Percentile Female Dummy According to Airbag Inflation," Proc. IMechE Part D: J Automobile Engineering, Vol.220, No.1, pp.15-25, 2006.
- 9) K. Koichi, M. Yoshihiko and N. Makoto, "Study of Test Procedure to Evaluate Airbag Deployment Force," 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, No.98-S5-O-12, 1998.
- 10) T. Deguchi, K. Tatsu, H. Saeki and T. Okabe, "Design Sensitivity Study of Passenger Airbag Shape to Meet Head Restraint Performance for Different Occupant Size in Frontal Impact," 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles(ESV), No.13-0415, 2013.
- 11) Z. Bai, B. Jiang, F. Zhu and L. Cao, "Optimizing the Passenger Air Bag of an Adaptive Restraint System for Multiple Size Occupants," Traffic Injury Prevention, Vol.15, Issue 6, pp.556-563, 2014.
- 12) T. J. Huang, J. T. Wu, C. Y. Hsiao, M. S. Wang and K. C. Lee, "Design of a Bumper System for Pedestrian Lower-leg Protection Using the Taguchi Method," Proc. IMechE Part D: J. Automobile Engineering, Vol.225, No.12, pp.1578-1586, 2011.
- 13) E. K. Oh, K. S. Lee, C. K. Son, D. S. Kim and S. W. Chae, "Optimization of Passenger Safety Restraint System for USNCAAP by Response Surface Methodology," Transactions of KSAE, Vol.22, No.6, pp.1-8, 2014.