

## 반응표면법을 이용한 커튼 에어백 시스템의 최적설계<sup>§</sup>

윤 용 원\* · 박 경 진\*\*

\* 한양대학교 기계공학과

### An Optimal Design of the Curtain Airbag System Using the Response Surface Method

Yong-Won Yun\* and Gyung-Jin Park\*\*

\* Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang Univ.

(Received June 25, 2012 ; Revised September 11, 2012 ; Accepted September 24, 2012)

**Key Words:** Curtain Airbag(커튼에어백), Head Injury Criteria(머리상해지수), Euro Side Impact Dummy(유럽 측면충돌용 인체모형), Orthogonal Array(직교배열표), One Way Table(일원배치표), Response Surface Method(반응표면법)

**초록:** 자동차 측면 충돌사고는 충격흡수공간이 충분하지 않기 때문에 정면 충돌사고와는 달리 발생빈도에 비하여 탑승자의 상해비율이 매우 높은 경향을 나타낸다. 측면 충돌사고 발생시 탑승자를 보호하기 위하여 전세계 각국에서는 자동차안전기준 및 안전도평가 등의 법규를 시행 및 강화하고 있다. 그러나 차체 자체의 충격흡수력을 이용한 수동 안전방식으로는 협소한 공간에 기술을 적용하는데 한계가 있다. 커튼 에어백은 측면 에어백과 함께 현재로서는 측면충돌시 탑승자를 보호하는 가장 효과적인 시스템이다. 본 연구에서는 측면 충돌사고 발생시 탑승자의 머리상해지수를 감소시키기 위한 커튼 에어백의 최적설계를 수행하였다. 충돌 시뮬레이션을 바탕으로 직교배열표와 일원표, 그리고 반응표면법을 순차적으로 적용하고 각각의 결과에 대하여 확인실험으로 검증하여 커튼 에어백의 최적설계를 수행하였다.

**Abstract:** There is not enough absorption space in the side of a vehicle so injuries to a passenger are higher compared to frontal impact injuries. For the protection of the passenger in the event of a side impact, vehicle regulations and new car assessment program(NCAP) are implemented all over the world. However, passive safety such as absorption technology of vehicle body itself is limited due to the narrow space of the side part. At the present time, it is well known that a side airbag including a curtain airbag is the most effective system to protect the passenger during a side impact. In this study, optimum design of the curtain airbag is carried out to reduce Head Injury Criterion(HIC) of the passenger. Based on crashworthiness simulation, an orthogonal array is selected based on the defined design variables, the response surfaces are generated from the orthogonal array and optimization is conducted with the surfaces

### 1. 서론

탑승자 보호를 위한 자동차의 안전장치는 크게 좌석안전띠와 에어백으로 분류된다. 좌석안전띠는 1950년대 2점식으로 최초 개발되어 1970년대 3점식 일체형 안전띠 개발을 거쳐 현재는 모든 자동차에 적용되고 있다. 그러나 좌석 안전띠는

착용 시 불편함이 따르고 안전띠만으로는 탑승자의 머리 등을 충분히 보호하지 못하는 한계가 있다. 이러한 이유로 좌석안전띠를 보완하고자 에어백이 추가로 개발되었다.

에어백 기술의 개발 시초는 1970년 미국의 ESV(Experimental Safety Vehicle) 프로젝트로 시트 벨트의 보조시스템으로 개발된 것이다. 초기의 에어백은 SRS(Supplemental Restraint System) Airbag으로 명명되었고 이후 에어백의 제작회사와는 무관하게 모든 에어백이 SRS 에어백으로 불리고 있다. 이후 미연방자동차안전기준(FMVSS) 208 “충돌 시

§ 이 논문은 2012년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2012. 6. 26-27., 대전컨벤션센터) 발표논문임

† Corresponding Author, [gjpark@hanyang.ac.kr](mailto:gjpark@hanyang.ac.kr)

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

탑승자 보호기준”의 영향으로 에어백은 급속히 보급되었다. 1973년 미국의 자동차제조사인 GM 및 FORD에서 선택적으로 운전석 조향장치 에어백을 장착하였으나, 비용문제로 별다른 호응을 받지 못하였다. 이후 1981년 독일의 자동차제조사인 Mercedes Benz의 첫 번째 에어백인 정면충돌용 운전석 에어백을 상품화하면서 본격적으로 활성화되기 시작하였다. 측면에어백은 1995년 Volvo 850 모델에 최초 장착되었고 BMW는 측면충돌시 탑승자의 머리보호를 위하여 A필라와 B필라 사이에 튜브 형태로 전개되는 에어백을 출시하는 등 커튼에어백의 형태로 발전되었다.<sup>(1)</sup>

자동차 에어백은 탑승자의 신체 보호부위에 따라 정면충돌 에어백, 측면 및 커튼 에어백, 무릎 에어백, 천정 에어백, 머리지지대 에어백 등으로 구분할 수 있으며 최근에는 탑승자 뿐만 아니라 보행자를 보호하기 위한 보행자 에어백까지 개발되었다.

정면충돌의 경우 엔진룸 공간이 적절히 변형되면서 충돌에너지를 효과적으로 흡수하기 위한 생존공간을 확보할 수 있다. 그러나 측면충돌의 경우 차체 내부의 여유공간이 충분하지 않기 때문에 충분한 생존공간을 확보하기 힘들다. 차체의 변형량과 인체 상해를 감소시키기 위하여 도어에 임팩트빔을 설치하거나 차체의 강성을 강화시키는 방법 등이 적용되어왔으나 기술 적용에 한계가 있었다. 따라서 커튼 에어백은 측면 에어백과 함께 측면 충돌사고 발생시 탑승자의 머리 및 골반부위를 보호하는 보조 구속장치로서 가장 효과적인 대안으로 평가되고 있다.

본 연구에서는 측면사고 발생시 탑승자를 보호하기 위한 커튼 에어백의 최적설계를 수행하였다. 일반적으로 커튼 에어백의 설계는 에어백 및 머리상해지수의 비선형성(Nonlinearity)과 충돌 상황의 다양성 등의 이유로 매우 어렵게 사실이다. 연구방법은 먼저 문헌조사를 바탕으로 이전 연구<sup>(7~10)</sup>에서 거론된 커튼 에어백의 주요 설계변수들을 정의하였다. 정의된 설계 변수들에 대하여 실험계획법인 직교배열표와 일원배치표, 그리고 반응표면법 등의 설계기법들을 순차적으로 적용하였다. 각각의 설계기법들에 의하여 산출된 결과에 대하여 충돌 시물레이션을 이용하여 확인 실험을 수행하였다. 최종 도출된 결과를 비교·분석하여 탑승자의 머리상해를 최소화 할 수 있는

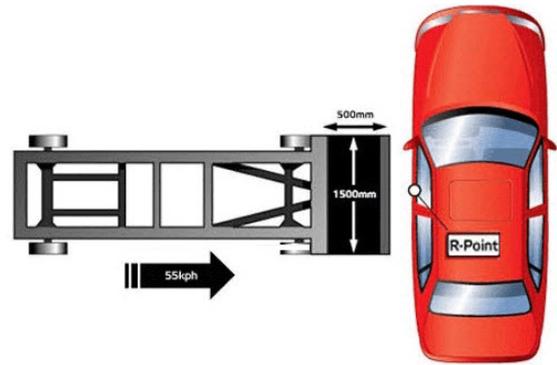


Fig. 1 Test method of NCAP side impact

커튼 에어백의 설계안을 제시하였다.

## 2. 측면 충돌시 탑승자 안전기준

### 2.1 탑승자 보호 안전기준

교통사고 발생시 자동차 탑승자를 보호하기 위하여 세계 각국에서는 자국의 교통환경 및 도로여건 등을 고려한 자동차 안전기준을 적용하고 있다. 측면충돌을 기준으로 대표적인 안전기준으로는 국내의 경우 자동차안전기준 제102조가 있으며 미국은 FMVSS(216), 유럽은 UN Regulation(95)가 있다.<sup>(2)</sup> 유럽경제위원회(UNECE)에서는 서로 상이한 각국의 자동차 안전기준을 통합하여 전세계 공통으로 사용하기 위한 세계기술규정(GTR) 제정을 추진하고 있다. 또한 안전기준과는 별개로 우리나라는 물론 유럽, 미국, 일본 등에서는 신차안전도평가(NCAP)를 수행하고 있다. 신차안전도평가는 보다 안전한 자동차의 제작을 유도하고 자동차의 안전정보를 소비자에게 전달하는데 그 목적이 있다.

### 2.2 측면충돌 안전성 시험방법

위의 Fig. 1에 신차안전도평가에서의 측면충돌 평가방법을 나타내었다. 측면충돌 안전성 시험방법은 국내 신차안전도평가 기준으로 매시 55±1킬로미터의 속도로 측면충돌 이동벽을 그 진행방향과 자동차의 길이방향 중심선이 90도가 되도록 자동차의 운전자측 옆면에 충돌시켜서 시험한다. 평가항목은 인체의 머리, 흉부, 복부와 골반에 가해지는 상해값이다. 구체적으로는 머리상해지수, 흉부압축변위량, 연성조직기준값, 복부내부하중값, 치골유착하중값으로 구분된다. 머리상해지수를 기준으로 점수를 취득하기 위해서는 최소

1,000이하, 만점을 받기 위해서는 650이하를 확보해야 한다.<sup>(3)</sup>

### 2.3 탑승자 머리상해지수

교통사고 발생시 자동차의 탑승자 보호성능을 평가하기 위해서 인체상해기준(Injury Criteria)을 적용한다. 인체상해기준은 의학적으로 인체에 상해를 입히는 물리량으로 감가속도, 충격하중, 변형량 등으로 구분된다. 자동차의 측면사고 발생시 탑승자를 보호하기 위한 대표적 인체상해기준으로는 식 (1)과 같이 정의되는 머리상해지수(Head Injury Criteria, 이하 HIC)가 있으며 현재 국내 자동차 안전기준에서는 1,000 이하를 법규로 규정하고 있다.

HIC는 아래의 식(1)에 의하여 산출되는 가속도계 이력의 계산 결과를 말한다.

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

여기서,  $a$ 는 중력가속도의 배수로 표시되는 합성가속도( $1g=9.81m/s^2$ ),  $t_1$  및  $t_2$ 는 충격 중 HIC 값이 최대가 되는 임의의 두 순간을 말한다.<sup>(3)</sup>

일반적으로 측면충돌시험에서 인체에 가장 상해를 입히는 인자로는 흉부압축변위량 등의 흉부 및 복부 상해값이라는 연구결과가 있다.<sup>(4,5)</sup> HIC의 경우 기존 평가방법에서는 HIC가 일정한 값만 초과하지 않으면 성능 기준을 만족하는 것으로 인식되었다. 그러나 강화된 평가기준(복미측면충돌신차평가시험)에서는 HIC의 수준에 따라 평가결과가 달라지게 되므로 HIC에 대한 더욱 신중한 설계 및 대응이 필요하다는 주장이 제기되었다.<sup>(6)</sup> 이는 측면 사고 발생시 중상 이상의 상해 분포에서는 가슴 및 등 부분이 주요 원인이지만 사망 사고의 상해 분포에서는 머리상해가 가장 큰 원인임을 의미한다.<sup>(6)</sup> 따라서 커튼 에어백의 최적설계를 위하여 본 연구에서는 HIC의 최소화를 목적함수로 설정하였다.

## 3. 커튼 에어백 시스템

### 3.1 구성 및 작동원리

일반적으로 에어백 시스템은 에어백 모듈, 충돌감지 센서, 컨트롤 유닛의 3가지 요소로 구성되어 있다. 에어백 모듈은 작동 기체의 팽창 장치인 인플레이터와 커버, 쿠션을 포함하는 장치



Fig. 2 Simulation model for side impact(EUROSID II)

를 의미한다. 충돌감지 센서는 자동차의 감속도를 측정하며 측면 및 커튼 에어백의 경우 양쪽 도어 부에 장착된다. 측면충돌 발생시 자동차의 충돌 감속도가 감지되면 인플레이터에 전기 신호를 보내어 커튼 에어백을 전개시킨다.<sup>(1)</sup>

### 3.2 시뮬레이션을 위한 유한요소모델

본 시뮬레이션 과정에서는 사용된 프로그램은 유한요소 프로그램인 LS-DYNA이다. 해석에 사용된 인체모형(Dummy)은 측면충돌용 EUROSID II (Euro Side Impact Dummy)이다. EUROSID II는 FTSS사에서 개발한 기존의 정면충돌용 인체모형에 대응하여 네덜란드의 TNO사에서 개발한 측면충돌 전용 인체모형이다. 충돌 시나리오는 자동차의 측면충돌 상황을 모사한 충돌모의(SLED) 시험조건으로 수행되었다. 충돌모의의 시험조건은 다양한 충돌상황을 반복하여 안정적으로 모사할 수 있는 특징이 있다. 아래의 Fig. 2에 시뮬레이션에 사용된 인체모형의 유한요소모델과 기본조건을 나타내었다.

## 4. 커튼 에어백 최적설계

### 4.1 설계정식화

에어백은 구조적으로 비선형을 갖는 동역학적 상태에서 작동되기 때문에 거동이 매우 복잡하다. 에어백의 성능을 좌우하는 주요 인자로는 질량흐름율(Mass Flow Rate, 이하 MFR), 점화시기(Time To Fire, 이하 TTF), 가스방출구면적(Vent Hole Area, 이하 VHA), 재질밀도(Material Density, 이하 MD), 테더길이(Tether Length, 이하 TL) 등이 이전 연구<sup>(7~10)</sup>에서 확인되었다. 특히 상기의 여러 가지 설계변수들에 대한 민감도 해석 결과

Table 1 Design variables and levels

	80%	100%	120%
MFR	0.0008	0.001	0.0012
TTF	6.4	8	9.6
VHA	141.28	176.6	211.92
MD	5.58E-07	6.97E-07	8.36E-07

를 바탕으로 설계변수를 선정된 연구결과<sup>(10)</sup>에서는 MFR, TTF, VHA가 가장 민감한 설계변수로 확인되었다. 그리고 TL의 경우 커튼 에어백에서는 해당되지 않기 때문에 설계변수에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 최종적으로 MFR( $x_1$ ), TTF( $x_2$ ), VHA( $x_3$ ), MD( $x_4$ ) 4가지의 설계변수를 선정하였다. 선정된 각각의 설계 변수에 대하여 이전 연구결과<sup>(10)</sup>를 참고하여 기본값을 100%로 가정할 때  $\pm 20\%$ 의 변동폭을 적용하였다.(Table 1 참조)

수준을 20% 범위 내에서 선정한 이유는 설계 변수의 수준은 주어진 상황에 따라 적절하게 선정하면 되고 일반적으로 설계변경의 범위가 크지 않고 몇가지 이내의 값에서 설계값을 선택하기 때문이다.<sup>(11)</sup>

목적함수 및 설계변수를 포함한 최적설계 정식화는 다음과 같다.

$$\text{Minimize HIC}(x_1, x_2, x_3, x_4) \quad (2)$$

$$0.0008 \leq x_1 \leq 0.0012 \quad (3)$$

$$6.4 \leq x_2 \leq 9.6 \quad (4)$$

$$141.28 \leq x_3 \leq 211.92 \quad (5)$$

$$5.58E-07 \leq x_4 \leq 8.36E-07 \quad (6)$$

#### 4.2 최적설계 방법 및 과정

선정된 4개의 설계변수를 기준으로 수준을 결정하였다. 각 설계변수의 수준은 100%를 기준으로  $\pm 20\%$  단위로 증가 및 감소시켜 총 3수준이다. 4개의 설계변수에 3수준으로 전조합실험(Full Factorial Experiment)으로 실험하면 3<sup>4</sup>으로 총 81회의 실험이 필요하다. 그러나 이를 직교배열표(Orthogonal Array, 이하 OA)를 이용할 경우 L<sub>18</sub>로서 18회의 실험만으로 유효한 해를 얻을 수 있다. 또한 직교배열표에 의한 설계값은 최적설계의 경우처럼 실제제작에 적용하기에는 어려움이 따르는 연속적인 설계값이 아닌 불연속적인 설계값을 얻을 수 있는 장점이 있다.<sup>(12,13)</sup> 또한 설계변

수의 조합에 대해 일부실험시범을 사용하므로 최소한의 해석 횟수로 이산공간에서 공학적인 설계결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다.<sup>(9)</sup> 그러나 설계 변수의 설계구간이 크거나 설계변수가 많을 경우에는 수준의 범위가 넓어지거나 인접한 인자간의 큰 수치차를 갖는 직교배열표가 요구되는데 이는 해석수를 크게 증가시켜 정확성이 낮아지고 실질적으로 최적설계 방법에 비하여 별다른 장점을 갖지 못하게 된다.<sup>(14)</sup>

실험계획법 중에서 가장 간단한 방법으로는 일원표(One-Way Table, 이하 OWT)이 있다. 일원표는 인자의 수가 하나이고 수준수가 여러 개일 때의 실험배치 방법이다.<sup>(11)</sup> 일원배치법은 특성치에 영향을 주는 여러 인자의 조사가 어느정도 진척되고 이들 인자의 정해진 조건에서 특성치에 큰 영향을 주리라고 예상되는 남은 하나의 인자의 영향을 조사하고자 할 때 주로 사용된다. 일원표는 일반적으로 수준수 3~5, 반복수 3~10 정도가 가장 많이 사용된다.<sup>(15)</sup>

반응표면법(Response Surface Method, 이하 RSM)은 여러개의 설명변수가 복합적인 작용을 함으로써 어떤 반응변수에 영향을 주고 있을 때, 이러한 반응의 변화가 이루는 반응표면에 대한 통계적인 분석방법을 의미한다. 반응표면 분석에 관한 연구는 1951년에 처음으로 Box와 Willson에 의하여 시작되었고 최근에는 많은 연구자들에 의하여 활발하게 연구되고 있다.<sup>(15)</sup> 통계학에서는 반응표면을 각종 통계자료를 얻기 위한 수단으로 사용하기도 하며, 설계에서는 주로 반응표면법으로 생성한 근사함수를 최적화 과정에서 사용하고 있다. 최적화 과정에서 반응표면법을 사용하기 위해서는 다음과 같은 사항을 결정할 필요가 있다. (1) 반응표면을 생성하기 위한 후보값의 선정, (2) 선정된 후보값으로부터 반응표면 생성 방법, (3) 생성된 반응표면을 사용하는 최적화방법 및 도출된 최적해의 해석. 위의 사항을 바탕으로 반응표면법의 최적화 과정에서의 사용흐름을 Fig. 3에 나타내었다.<sup>(11)</sup>

반응표면법은 연속 설계 공간에서 근사함수를 이용하는 접근방식을 사용하고 있기 때문에 구해지는 최적값이 매우 정확하거나 수학적인 최적값을 구하지는 못하는 단점이 있다. 그러나 탑승자상해해석에서 반응표면법을 사용함으로써 목적함수로 사용되는 HIC는 설계변수에 대하여 함축성

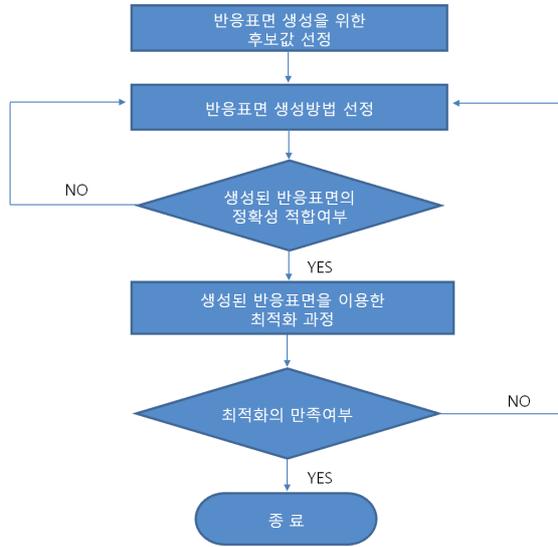


Fig. 3 Flow diagram of response surface method

과 비선형성이 매우 크기 때문에 설계상의 한계를 가지고 있는 기존 설계 방식들보다 쉽고 더 효과적인 결과를 도출할 수 있다.<sup>(9)</sup>

4.3 최적설계 결과

선정된 4개의 설계변수에 대하여 3수준의 직교배열표를 이용하여 설계해를 산출하였다. 선택한 직교배열표는  $L_{18}(3^4)$ 이며 아래의 Table 2에 그 결과를 나타내었다. 직교배열표 상에서 최적의 결과값은 10번째 실험조건에서 HIC 203을 기록하였다. 참고로 기본모델의 확인실험값은 HIC 255.6이다.

Table 2로부터 최적의 인자를 조합 추출 후 일원배치표를 구성하여 설계변수의 해를 구한 결과를 Table 3에 나타내었다. 최적의 설계변수 수준은 각각 2수준(MFR), 1수준(TTF), 1수준(VHA), 2수준(MD)이다. 구체적인 값으로는 각각 0.001(MFR), 6.4(TTF), 141.28(VHA), 6.97E-07(MD)이며, 확인실험 결과 HIC는 207로 확인되었다. 일원표의 결과가 직교배열표의 결과보다 좋지 않은 이유는 직교배열표에서는 설계변수간의 교호작용(Interaction)을 고려하지 않기 때문이다.

다음으로는 반응표면법을 이용하여 3차식(Cubic)으로 HIC를 산출한 결과를 아래의 Table 4에 나타내었다. 반응표면 생성을 위한 후보점은 앞서 수행한 Table 2의 직교배열표의 결과를 이용하였다. 사용된 프로그램은 상용 소프트웨어인 PIANO (Process Integration Automation and Optimization)<sup>(16)</sup>이다.

Table 2  $L_{18}(3^4)$  Orthogonal array

	TTF	MFR	VHA	MD	HIC
1	6.4	0.0008	141.28	5.58E-07	213
2	8.0	0.001	176.6	6.97E-07	211
3	9.6	0.0012	211.92	8.36E-07	255
4	6.4	0.0008	176.6	8.36E-07	213
5	8.0	0.001	211.92	5.58E-07	208
6	9.6	0.0012	141.28	6.97E-07	205
7	6.4	0.001	141.28	8.36E-07	208
8	8.0	0.0012	176.6	5.58E-07	217
9	9.6	0.0008	211.92	6.97E-07	217
10	6.4	0.0012	211.92	5.58E-07	203
11	8.0	0.0008	141.28	6.97E-07	213
12	9.6	0.001	176.6	8.36E-07	208
13	6.4	0.001	211.92	6.97E-07	208
14	8.0	0.0012	141.28	8.36E-07	207
15	9.6	0.0008	176.6	5.58E-07	217
16	6.4	0.0012	176.6	6.97E-07	207
17	8.0	0.0008	211.92	8.36E-07	216
18	9.6	0.001	141.28	5.58E-07	211

Table 3 One way table for HIC

	Level 1	Level 2	Level 3
MFR	215	209	216
TTF	208	212	219
VHA	209	212	218
MD	211	210	218

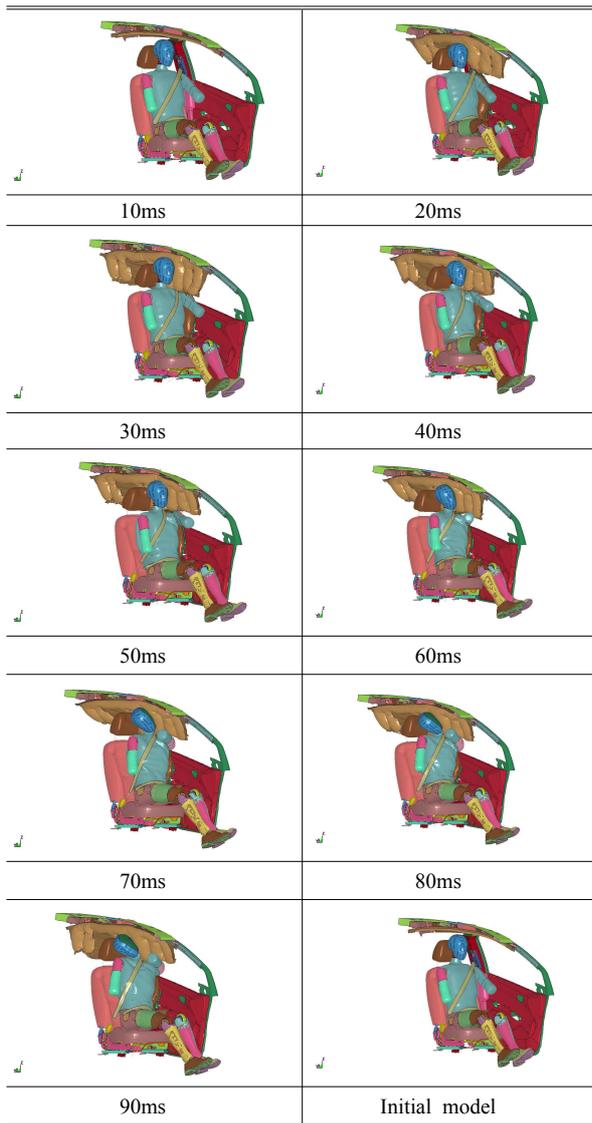
Table 4 RSM results

	Lower	Initial	Optimal	Upper
MFR	8.00E-04	1.00E-03	8.00E-04	1.20E-03
TTF	6.40E+00	8.00E+00	6.40E+00	9.60E+00
VHA	1.41E+02	1.77E+02	2.12E+02	2.12E+02
MD	5.58E-07	6.97E-07	5.58E-07	8.36E-07
HIC(Prog.)			185	

사용된 프로그램은 상용 소프트웨어인 PIANO (Process Integration Automation and Optimization)<sup>(16)</sup>이다. 반응표면법을 이용한 HIC 산출결과 각각의 설계변수들의 최적값은 각각 0.0008(MFR), 6.4(TTF), 211.92(VHA), 5.58E-07(MD)이며 이때의 반응표면상의 HIC는 PIANO 프로그램상에서는 185로 확인되었다. 위의 설계변수들을 조합하여 역시 확인실험을 수행한 결과 HIC는 213으로 최종 확인되었다.

**Table 5** Final solution(OA Vs OWT Vs RSM)

	MFR	TTF	VHA	MD	HIC
OA	0.0012	6.4	211.92	5.58E-07	203
OWT	0.001	6.4	141.28	6.97E-07	207
RSM	0.0008	6.4	211.92	5.58E-07	213



**Fig. 4** Crash simulation results

직교배열표와 일원표, 그리고 반응표면법을 이용하여 HIC를 산출하고 확인실험을 실시한 최종 결과를 아래의 Table 5에 정리하였다.

결과적으로 최적해는 직교배열표로부터 얻은 HIC 203이며 이때 각각의 설계변수들 값은 0.0012(MFR), 6.4(TTF), 211.92(VHA), 5.58E-07(MD)

이다. 이는 초기 기본값인 HIC 255.6에 비하여 머리상해지수를 약 20.5% 감소시킨 결과이다. 반응표면법을 이용한 결과는 일반적인 반응표면법의 특성상 PIAAnO 프로그램상에서는 가장 우수한 것(HIC 185)으로 나타났으나, 그때의 설계변수를 이용하여 확인실험한 최종 결과에서는 가장 좋지 않은 것(HIC 213)으로 나타났다.

마지막으로 본 연구에서 수행되었던 커튼 에어백의 충돌 시뮬레이션 결과를 10ms 단위로 Fig. 4에 나타내었다.

### 5. 결론

본 연구에서는 측면사고 발생시 탑승자를 보호하기 위한 커튼 에어백의 최적설계를 수행하였다. 일반적으로 커튼 에어백의 설계는 에어백 및 머리상해지수의 비선형성(Nonlinearity)과 충돌 상황의 다양성 등의 이유로 매우 어렵게 사실이다. 먼저 문헌조사를 바탕으로 이전 연구에서 거론된 커튼 에어백의 주요 설계 변수들을 정의하였다. 정의된 설계 변수들에 대하여 실험계획법인 직교배열표와 일원표, 그리고 반응표면법 등의 설계기법들을 순차적으로 적용하였다. 각각의 설계기법들에 의하여 산출된 결과에 대하여 충돌 시뮬레이션을 이용하여 확인실험을 수행하였다. 상기의 3가지 설계기법들을 적용한 결과를 비교 분석하여 최종 도출된 결과는 직교배열표로부터 얻은 HIC 203이며 이때 각각의 설계변수들 값은 0.0012(MFR), 6.4(TTF), 211.92(VHA), 5.58E-07(MD)이다. 이는 초기 기본값인 HIC 255.6에 비하여 머리상해지수를 약 20.5% 감소시키는 효과를 나타내었다. 일반적으로 반응표면법의 결과가 상대적으로 우수한 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서는 PIAAnO 프로그램상에서는 반응표면법의 경우에 가장 우수한 결과값(HIC 185)을 보였으나, 이때의 설계변수들을 적용하여 확인실험을 수행한 결과에서는 최종적으로 가장 좋지 않은(HIC 213) 결과를 나타내었다. 이는 반응표면법의 특성상 생성된 반응표면상의 연속성과 확인실험의 결과로 도출된 비선형상의 실제값 사이의 차이로 발생된 현상이다. 따라서 반응표면법을 이용할 때에는 반응표면상의 결과값을 그대로 받아들이지 말고 반드시 이에 대한 확인실험을 통하여 진정한 결과값을 도출해야한다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 연구비지원(12PTSI-C054118-04)으로 수행된 연구임.

## 참고문헌

- (1) Patentmap Report, 2003, *Vehicle occupant safety system*, Korean industrial property office(KIPO), Vol.2.
- (2) KMVSS 102(Side Impact), FMVSS 214(Side Impact), UN Regulation 95(Side Impact).
- (3) Korea New Car Assessment Program(KNCAP), Side Impact Test Protocol.
- (4) Chang, H. J., Song, J. H., Suk, J. S., Lee, S. Y., Kim, G. H. and Kwon, I. S., 2004, "Consideration for the vehicle side impact test results of NCAP," *Trans. of the KSAE04-S0166*, Vol.2, pp. 1049~1054.
- (5) Lee, D. J., Lim, J. M., Hong, Y. S. and Kim, G. H., 2009, "Consideration for the side impact test results of KNCAP with EuroSID-2," *Trans. of the KSAE09-B0181*, pp. 1085~1090.
- (6) Lee, K. S., Moon, K. C. and Kim, C. S., 2009, "Development of th Door Mounted Inflatable Curtain," *Trans. of the KSAE09-A0370*, pp. 2155~2160.
- (7) Kim, J. H., Lee, K. H. and Joo, W. S., 2004, "Optimization of a Driver-Side Airbag Using Kriging and Tabu Search Method," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, pp. 1035~1040.
- (8) Park, Y. S., Lee, J. Y. and Park, G. J., 1995, "An Airbag Design for the Safety of an Occupant Using the Orthogonal Array," *Trans. of the KSAE*, Vol. 3, No. 2, pp. 62~77.
- (9) Hong, E. P., Shin, M. K. and Park, G. J., 2001, "Determination of Crash Pulse to Minimize Injuries of Occupants and Optimization of Crash Components Using Response Surface Method," *Trans. of the KSAE*, Vol. 9, No. 2, pp. 116~129.
- (10) Han, S. H. and Jeon, S. K., 1996, "An Optimum Design of Airbag System Based on Crash Simulation," *Trans. of the KSAE*, Vol. 2, pp. 283~291.
- (11) Park, G. J., 2007, *Analytic Methods for Design Practice*, Dong-Myung ,Gyunggi, pp.486~489.
- (12) Phadke, M. S., 1989, *Quality engineering using robust design*, Prentice Hall.
- (13) Park, G. J., Hwang, W. J. and Lee, W. I., "Structural Optimization Post-Process Using Taguchi Method," *JSME* Vol. 37, No. 2, pp. 166~172.
- (14) Park, Y. S., Lee, J. Y., Park, G. J., Wi, I. H. and Yoo, J. S., 1993, "Modeling and Design of an Airbag in a Passenger Car for the Safety of an Occupant," *Trans. of the KSAE*, pp. 259~265.
- (15) Park, S. H., 2005, *Design of Experiments*, Min-Young, Seoul, pp. 453~457.
- (16) Yoon, S. J., Choi, D. H., 2010, "Process Integration and Design Optimization Using PIANo Software," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, pp. 254~255.