

< 기술논문 >

# 동승석 에어백 핵심 성능 인자 및 상해위험도 예측 기법 개발에 대한 연구

박 동 규\*

현대모비스 기술연구소

## A Study on the Key Performance Factors of Passenger Airbag and Injury Risk Prediction Technique Development

Dongkyou Park\*

Technical Center, Hyundai MOBIS, 17-2, 240 Beon-gil, Mabuk-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi 446-912, Korea  
(Received 5 November 2012 / Revised 20 February 2013 / Accepted 27 February 2013)

**Abstract** : Until now, passenger airbag design is based on the referred car design and many repetitive crash tests have been done to meet the crash performance. In this paper, it was suggested a new design process of passenger airbag. First, key performance factors were determined by analyzing the injury risk effectiveness of each performance factor. And it was made a relationship between injury risk and performance factor by using the response surface model. By using this one, it can be predicted the injury risk of head and neck. Predicted injury risk of optimal design was obtained through this injury risk prediction model and it was verified by FE analysis result within 18% error of head and 9% error of neck. It was shown that a target crash performance can be met by controlling the key performance factors only.

**Key words** : Key performance factors(핵심 성능 인자), Response surface model(반응 표면 모델), Injury prediction model(상해 예측 모델), Taguchi method(다구찌 방법)

### 1. 서론

자동차 충돌 시 동승석 승객을 보호하기 위한 동승석 에어백 설계는 Fig. 1에서와 같이 참고 차종을 기반으로 여러 개의 설계 형상을 디자인하고 해석적인 방법으로 성능을 상대 비교한 후 그 중 가장 성능이 좋은 안을 충돌시험을 통해 검증하는 방법으로 진행해 왔다. 그러나 충돌 안전도에 대한 기준이 높아져 감에 따라 과거차를 기반으로 한 설계로는 충돌 성능 목표를 쉽게 만족하지 못하고, 반복적인 충돌 시험 및 해석을 수행함으로써 차량 개발 비용과 시간이 많이 소요되고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제 개선을 위하여 충돌 성능에 영향을 주는 에어백 핵심 성능 인자 결정을

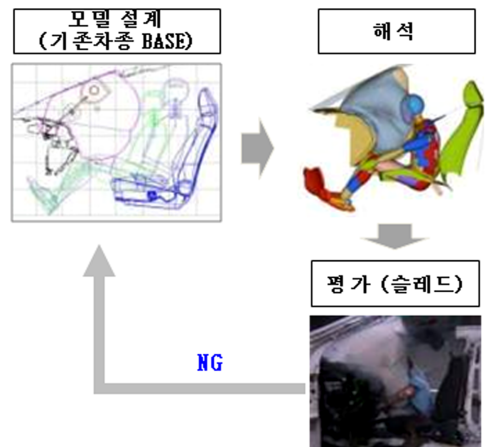


Fig. 1 Current design process of a passenger airbag

위하여 다구찌 실험계획을 기반으로 진행된 슬레드 시험을 실시하여 인자별 상해치에 미치는 영향

\*Corresponding author, E-mail: 1620955@mobis.co.kr

도를 분석하였다.<sup>1,2)</sup> 이 때, 분석한 상해위험도는 2011년부터 기준이 강화되어 적용된 북미 NCAP 시험 모드 중 에어백이 주요하게 영향을 미치는 머리 상해위험도와 목 상해위험도로 한정하였다.<sup>3,4)</sup> 이러한 인자별 상해위험도에 미치는 영향 분석 결과는 설계 인자 중 핵심인자를 도출하는데 활용하였고, 근사화 기법인 반응면 기법을 활용하여 도출된 핵심인자들과 머리, 목 상해위험도와의 관계를 정량화 하였다. 이렇게 구축된 반응면 모델은 시험해보지 않은 인자의 수준이 가져올 수 있는 상해치를 예측할 수 있는 예측기법으로서 활용이 가능하며, 슬레드 시험 비용 축소와 개발 기간 단축에 기여하게 된다.

## 2. 상해위험도에 대한 인자별 영향도 분석

### 2.1 상해위험도

상해위험도란 차량 충돌시 승객이 어떤 충격을 받았을 때, 생명의 위험도가 어느 정도로 발생하는지를 치수적으로 나타내는 지표이다. 북미 상품성 시험에서 사용되는 머리와 목 상해위험도는 식 (1), (2)와 같다.

$$P_{head} = \Phi\left(\frac{\ln(HIC_{15}) - 7.45231}{0.73998}\right) \quad (1)$$

$$P_{neck\_Nij} = \frac{1}{1 + \exp[3.2269 - 1.9688 \times Nij]} \quad (2)$$

이때,  $\Phi$ 는 누적정규분포함수,  $HIC_{15}$ 는 머리 상해치를 나타내며  $N_{ij}$ 는 목상해치를 나타낸다.

### 2.2 상해 성능 인자 도출

동승석 에어백 설계 인자들 중 승객 머리와 목 상해위험도에 영향을 줄 수 있는 인자들을 우선 선정하였다. 에어백은 가스로 팽창한 후 일정시간동안 적절한 내압의 변화를 통해 승객의 거동과 반대의 방향으로 힘을 전달함으로써, 승객이 받을 수 있는 심각한 충격을 줄이는 장치라 할 수 있다.

이러한 에어백이 내압의 압력의 크기와 방향에 있어 영향을 주는 인자들 중 통상적으로 설계에 활용되고 있는 인자 8개가 선정되었고, 이 상해 성능 인자들은 Table 1과 같다.

### 2.3 핵심 성능 인자 도출

앞에서 선정한 8개 상해 성능 인자들에 대하여 다구찌 실험 계획에 따른 슬레드 시험을 통해 상해위험도에 영향도가 강한 핵심 성능인자를 선정하였다. 다구찌 실험계획은 인자의 수가 많은 경우에 적은 실험점을 사용하여, 인자의 영향도를 비교할 수 있는 장점을 가지고 있는데, 본 연구에서는 미니탭을 활용하여, 8개의 인자에 대해 L12실험 계획법을 적용하였다. 적은 수의 실험점을 사용하여 인자수준별 상해위험도 변화 경향을 확인하기 위해 인자의 수준은 2수준을 사용하였다. 이러한 인자별 시험 수준은 Table 2와 같다. 또한, 외부 노이즈 인자 영향을 고려하여 2회 반복 시험을 수행하였다.

미니탭 프로그램을 통해 인자 수준별 상해위험도에 영향을 나타낸 그림은 Fig. 2와 같다. 영향도에서 보면 머리 상해위험도에 영향도가 큰 인자는 일반 벤트 크기, 인플레이터 압력, 쿠션 형상, 액티브 벤트 크기 및 액티브 벤트 TTF로 나타났다. 목 상해위험도의 경우는 쿠션 형상과 LRD 테더 위치로 나타났다. 실제 상해 평가에서는 머리와 목 상해위험도의 합이 영향을 미치기 때문에 머리와 목 상해위험도의 합으로 평가되는  $P_{injury\ risk}$ 의 경우도 같이 확인을 하였는데, 이때는 일반 벤트크기, 인플레이터 압력, 액티브 벤트 TTF 및 액티브 벤트 크기가 영향력이 큰 인자로 나타났다.

Table 1 Injury performance factors

① 액티브 벤트 크기	⑤ 쿠션 형상
② 일반 벤트 크기	⑥ 격막 구조 위치
③ 액티브 벤트 TTF	⑦ 폴딩 턴인 위치
④ 인플레이터 압력	⑧ LRD 테더 위치

Table 2 Level values of injury performance factors

성능 인자	수준 1	수준 2
① 액티브 벤트 크기	Φ85	Φ54
② 액티브 벤트 TTF	45ms	25ms
③ 인플레이터 압력	510kpa	550kpa
④ 격막 구조 위치	없음	하부50%
⑤ 쿠션 형상	73도 (머리 로딩부)	90도 (머리 로딩부)
⑥ 일반 벤트 크기	없음	Φ50
⑦ 폴딩 턴인 위치	기준 100mm하향	기준 100mm상향
⑧ LRD 테더 위치	기준 위치	위치 상향

형상 인자와 LRD 테더 위치 인자는 머리와 목 상해위험도의 개선 방향이 상반되어 머리와 목을 더한 상해위험도에서는 영향도가 작은 경향을 보임으로써 핵심 인자에서는 제외하였다.

한편, 상해위험도에 인자들 상호간에 미치는 영향도에 있어서는 인자들 간의 교호작용도 영향을 미치게 된다.

즉, 실험 조합에 따라 인자들 간의 영향성으로 인해 실제로는 상해위험도에 중요한 영향을 미치는 인자인데 다구찌 시험 상으로는 영향도가 작게 나오게 되는 경우가 생길 수 있다.<sup>5,6)</sup> 따라서, 위에서 영향도 분석을 통해 핵심인자가 결정되었다 하더라도 그것이 과거의 경험에 비추어 타당성이 있는지 확인해 봐야 한다. 현재 에어백 개발 시 성능 튜닝에 있어서, 머리 상해위험도가 높을 시 벤딩 기술과 인플레이터 압력을 활용하여 조절하려 하고 있고, 목 상해위험도가 높을시 에어백 형상을 튜닝하는 방법을 주로 사용하고 있다. 이러한 경향과 비교할 시 다구찌 방법에서 도출된 핵심 인자는 합리적이라고 말할 수 있다.

### 3. 상해위험도 예측 기법 개발

#### 3.1 실험 계획

본 연구에서 사용된 반응면 기법은 최적설계기법의 대표적인 방법들 중의 하나이다.

반응면 기법은 설계 변수에 대한 2차 다항식으로 반응면 모델을 구성하여 설계 최적화 과정에 적용한다. 반응면의 기본식은 식 (3)과 같다.

$$y = C_0 + \sum_{i=1}^k C_i X_i + \sum_{i=1}^k C_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j} C_{ij} X_i X_j \quad (3)$$

위의 식에서 y는 설계 인자에 대하여 나타나는 반응값이고, 우변의  $X_i, X_j$ 는 설계 인자의 수준값,  $C_0, C_i, C_j$ 는 미정계수, k는 독립변수의 수를 나타낸다. 이 때, 미정계수들을 합리적으로 결정하기 위해 설계 인자들의 수준값에 따르는 충분한 수의 실험 데이터를 최소자승법(Least Square Method)을 사용하여 수치오차를 최소화하는 방향으로  $C_0, C_i, C_j$ 를 계산한다.<sup>7)</sup>

반응면에 적합한 실험계획법으로는 이차 모형의 실험계획법으로 가장 널리 쓰이는 방법인 중심합성

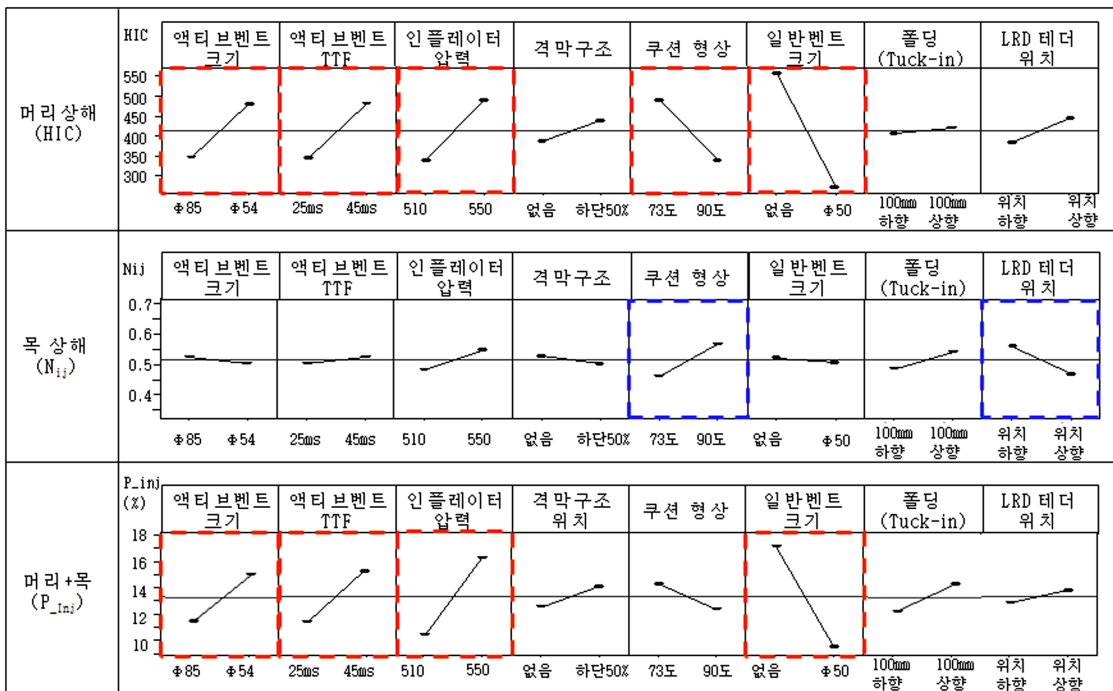


Fig. 2 Injury response graph for performance factors

Table 3 Level values of key performance factors

핵심 인자	수준 1	수준 2	수준 3
① 일반 벤트 크기	Φ50	Φ30	없음
② 액티브 벤트 크기	Φ85	Φ71	Φ54
③ 액티브 벤트 TTF	45ms	35ms	25ms
④ 인플레이터 압력	480kpa	510kpa	550kpa

Table 4 Test matrix to make a injury prediction model

사양	일반 벤트 크기	액티브 벤트 크기	액티브 벤트 TTF	인플레이터 압력
1	0	54	25	480
2	0	54	25	550
3	0	54	45	480
4	0	54	45	550
5	0	71	35	510
6	0	85	25	480
7	0	85	25	550
8	0	85	45	480
9	0	85	45	550
10	25	54	35	510
11	25	71	25	510
12	25	71	35	480
13	25	71	35	510
14	25	71	35	550
15	25	71	45	510
16	25	85	35	510
17	50	54	25	480
18	50	54	25	550
19	50	54	45	480
20	50	54	45	550
21	50	71	35	510
22	50	85	25	480
23	50	85	25	550
24	50	85	45	480
25	50	85	45	550

계획법이 있다. 본 연구에서는 중심합성계획법 중 설계 인자의 대상 수준 내에서 실험 계획을 구성하는 면 중심 설계를 사용하였고 실험 계획표는 미니탭으로 구성하였다. 설계 인자들의 수준은 Table 3과 같다. 이렇게 구성된 반응면이 실험 데이터를 잘 반영하고 있는지를 검증하는 방법으로 수정결정계수( $R_{adj}^2$ )를 활용할 수가 있다. 수정결정계수는 아래의 식 (4)와 같이 계산되어진다.

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{SS_E / (n - k)}{S_{yy} / (n - 1)} \quad (4)$$

이 때,  $SS_E$ 는 실험데이터와 반응면에서 모사한 값과의 오차 제곱의 총합이며,  $S_{yy}$ 는 반응함수에서 모사한 제곱값의 총합이고,  $(n-k)$ 와  $(n-1)$ 은 제곱합의 자유도를 의미한다. 즉, 실험계획의 실험점수와 독립변수의 수를 반영하여 반응면으로 설명이 안되는 모사오차의 변동을 나타내는 값이라 할 수 있다. 수정결정계수가 1에 가까운 값을 가질수록 반응면이 실험 데이터를 잘 모사한다고 할 수 있다.

상해위험도 예측을 위한 반응면 구성은 4개의 핵심 성능 인자에 대하여 총 25회의 해석으로 구성되었다. 미니탭으로 구성된 상해위험도 예측 모델의 해석 계획표는 Table 4와 같다.

### 3.2 상해위험도 예측 반응면 구성

상해위험도 예측 반응면 구성을 위한 인자별 상해위험도 데이터는 해석값을 활용하였다. 이를 통해 얻은 머리 상해와 목 상해에 대한 반응면의 계수들은 Table 5와 같다.

이 때, 머리 상해위험도를 반응면으로 구성하면 수정결정계수는 0.956이고, 목 상해위험도를 반응

Table 5 Coefficients of a response surface model

항목	계수	
	머리(HIC <sub>15</sub> )	목(N <sub>ij</sub> )
상수	-3.951353E+04	-2.821337E+00
일반벤트 크기	6.003195E+00	-5.765030E-03
액티브벤트 크기	-1.333193E+01	-1.746119E-03
액티브벤트TTF	-1.028051E+02	-1.140230E-02
인플레이터 압력	1.629834E+02	1.366474E-02
일반벤트크기 <sup>2</sup>	-1.184758E-01	3.562465E-05
액티브벤트크기 <sup>2</sup>	3.688854E-02	3.388603E-05
액티브벤트 TTF <sup>2</sup>	1.059526E+00	2.265404E-05
인플레이터 압력 <sup>2</sup>	-1.578728E-01	-1.374778E-05
일반벤트크기 x 액티브벤트 크기	5.895916E-02	3.563474E-05
일반벤트 크기 x 액티브벤트 TTF	-1.305000E-01	1.500000E-05
일반벤트 크기 x 인플레이터 압력	-1.238758E-02	4.187082E-06
액티브벤트 크기 x 액티브벤트 TTF	1.641352E-01	7.340023E-06
액티브벤트 크기 x 인플레이터 압력	-5.483078E-03	-7.017310E-06
액티브벤트 TTF x 인플레이터 압력	5.441570E-02	1.833077E-05

면으로 구성하면 수정결정 계수는 0.844로 나타났다. 이는 목 상해위험도의 경우 핵심인자로 구성된 반응면 모델로 설명할 수 없는 변동값이 머리 상해위험도에 대해서 더 많다는 것을 의미한다. 그럼에도 불구하고 0.844의 수정결정계수는 목 상해위험도의 변동에 대해서 핵심인자로 구성된 반응면 모델로 설명할 수 있는 변동이 84.4%라는 의미가 되기 때문에 상해위험도 예측에 있어서 어느 정도 오차는 있지만, 설계 초기 단계에서 에어백 사양 결정을 위하여 사용되는 반응면 모델로써 충분히 활용할 수 있음을 알 수 있다.

### 3.3 상해위험도 최적 조합 도출 및 확인

이렇게 핵심인자의 조합으로 구성된 상해위험도 예측 모델을 이용하여, 실험해 보지 않은 인자의 수준에 대해서 정량적인 상해위험도 예측이 가능하다. 그 중 상해위험도 최적값의 인자 수준을 도출하여 상해위험도 값을 예측한 값과 해석적으로 검증한 값은 Table 6과 같다.

예측 최적 사양과 해석 확인값을 비교하면 HIC는 18% 수준,  $N_{ij}$ 는 9% 수준 오차를 보이며 상해위험도 값을 예측함을 확인할 수 있었다. 각각을 머리와 목 상해위험도의 합으로 환산하여 계산하면 오차는 3%정도로 줄어들게 되는데, 이 값에 실차에서 발생하는 가슴과 무릎 상해위험도 수준을 반영 시 5★ 수준의 값이 되어 해석상 성능 목표 수준의 달성을 확인할 수 있었다.

이를 통하여 핵심 성능 인자의 튜닝만을 통해서 목표 성능의 도달이 가능하고, 또한 반응면을 활용한 예측기법에서 사전 최적사양의 도출을 통해 설계자의 반복적인 시행착오를 줄이며 최적 사양에 도달할 수 있음을 알 수 있었다.

Table 6 Predicted optimal design result and analysis result

구분	일반 벤트 크기	액티브 벤트 크기	액티브 벤트 TTF	인플레이터 압력	HIC <sub>15</sub>	$N_{ij}$
예측 최적 사양	50mm	68mm	30ms	550	201	0.38
해석 확인	↑	↑	↑	↑	244	0.35

## 4. 결 론

동승석 에어백 성능 인자 분석과 상해위험도 예측 모델 개발을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 동승석 에어백 상해위험도에 영향을 미치는 핵심 성능 인자는 일반 벤트 크기, 인플레이터 압력, 액티브 벤트 TTF 및 액티브 벤트 크기로 도출되었다.
- 2) 상해위험도에 영향을 미치는 핵심 성능인자로 반응면 기법을 사용하여 예측 모델을 구성하였을시 수정결정계수 0.844 이상의 신뢰도로 머리와 목 상해위험도의 변화를 설명할 수 있음을 알 수 있었다.
- 3) 상해위험도 예측 기법을 통해서 찾아낸 상해위험도 최적조합을 사용하여 시행착오를 줄이며 상해위험도 목표 수준의 최적값에 도달할 수 있음을 확인하였다.
- 4) 핵심 성능 인자의 튜닝만으로 상해위험도 성능 목표 달성이 가능함을 확인하였다.

## References

- 1) W. J. Choi, K. H. Kim, H. K. Ko, D. S. Kim and C. G. Som, "A Study on the Passenger Airbag Design Parameters Influencing Child Injury," Transactions of KSAE, Vol.17, No.1, pp.176-181, 2009.
- 2) Y. Kwon, K. H. Kim, C. K. Son and H. G. Kim, "Improvement of Passenger Airbag Based on the Injury Assessment of the 5th Percentile Female Dummy," Transactions of KSAE, Vol.20, No.5, pp.1-7, 2012.
- 3) J. W. Han, K. H. Kim, W. J. Choi, H. I. Kim and D. S. Kim, "An Analysis of the Child and Adult Dummy Injury Mechanism with Respect to the Passenger Airbag Design Parameters," KSAE09-B0216, 2009.
- 4) Y. Kwon, K. H. Kim, C. K. Son and H. G. Kim, "Injury Assessment of 5th Percentile Female Dummy with Respect to the Passenger Airbag Design Parameters," KSAE10-A0450, 2010.
- 5) Y. S. Park, J. Y. Lee and G. J. Park, "An Airbag Design for the Safety of an Occupant

Using the Orthogonal Array,” Transactions of KSAE, Vol.3, No.2, pp.62-76, 1995.

6) K. H. Lee and W. S. Joo, “Robust Design of a Driver-side Airbag Using the Taguchi Method,” Transactions of KSAE, Vol.12, No.2, pp.131-138, 2004.

7) S. W. Hong, H. M. Kang, K. H. Park, D. H. Lee, S. S. Yang and Y. S. Kang, “Aerodynamic Design Optimization of 3 Stage Axial Compressor using Response Surface Method,” KSAE 09-1004, 2009.