

다구찌법을 이용한 운전석 에어백의 강건설계

이 권희* · 주원식

동아대학교 기계공학과

Robust Design of a Driver-Side Airbag Using the Taguchi Method

Kwonhee Lee* · Wonsik Joo

Department of Mechanical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

(Received 13 November 2003 / Accepted 20 February 2004)

Abstract : In the proto design stage of a new car, the performances of an occupant protection system can be evaluated by CAE even though the real test should be carried out. The number of the real test is reduced by the exact predictions followed by the appropriate design recommendation. However, the existing researches using CAE in predicting the performances do not consider the uncertainties of parameters. That often leads to inconsistency between test and CAE. In this research, the robust design of a protection system such as airbag and load limiter is suggested considering the frontal crash. The parameter design scheme of the Taguchi method is introduced to obtain the robust design of arbitrary airbag and load limiter. It is performed based on the frontal crash test condition of US-NCAP with an arbitrary passenger car. The variances of the performances such as HIC, chest acceleration and probability of combined injury are calculated by the outer array and the Taylor series expansion. Through the analysis of the Taguchi method, the robust optimum is determined.

Key words : Airbag(에어백), Robust design(강건설계), Taguchi method(다구찌법), Uncertainty(불확실성), Frontal crash(정면충돌)

1. 서 론

자동차의 충돌 안전도와 관련된 구조분야의 관심은 차체 관점에서의 충돌성능(crashworthiness)과 승객 관점에서 차체의 내부와 2차 충돌을 취급하는 승객거동으로 분류할 수 있다. 이러한 충돌 성능을 취급하기 위한 시험 조건 및 기준은 각국의 기관 및 자동차 제조업체에서 제정, 시행하고 있다. 우리나라의 경우, 이것을 자동차안전기준 시행세칙에 미국의 경우, 미연방도로교통안전국(NHTSA)의 FMVSS 등에 각각 명시하고 있다.^{1,4)}

이상의 충돌 법규이외에도 충돌 성능을 평가, 비교하기 위한 미국, 유럽, 호주 등의 NCAP(New Car Assessment Program)이 있다. 관련 인터넷 홈페이지 및 잡지는 이 조건에 의한 성능의 등급을 별표 수로 나타내어 발표함으로써 소비자에게 공개하고 있다. 이러한 정보의 공개는 신차의 판매량으로 직결되므로 각 자동차 제조업체는 등급을 향상시키기 위한 노력을 기울이고 있다.

충돌 성능을 향상시키기 위해서는 차량의 시작설계 전, 후 단계에서 이에 대한 정확한 예측 및 각종 부품의 설계 개선이 필수적이다. 정확한 충돌 성능은 여러 번의 실차 시험을 통해 얻어지지만, 이는 개발 단계에서 개발비가 증가되므로 가능한 한 실차

*To whom correspondence should be addressed.
leekh@donga.ac.kr

시험횟수를 줄여야 한다. 이를 위해서는 유한요소 해석 및 다물체동역학을 이용한 차체와 승객거동 해석이 수행된다.

충돌성능을 향상시키기 위해서는 우선 1차 충돌을 고려하여 최적의 차체설계가 선행되어야 하고, 이것을 기초로 하여 다물체동역학을 이용한 승객보호장구 설계를 수행한다. 최근 들어, 하드웨어와 소프트웨어의 발전으로 인해 승객 및 관련 보호장구를 유한요소 모델링하여 1, 2차의 충돌 성능을 동시에 유한요소법을 이용하여 검토하곤 한다. 그러나 이 방법은 몇 가지 경우의 검토는 가능하지만 최적의 설계를 찾기에는 과도한 시간이 소요될 것이다. 따라서 개발초기 단계의 승객보호장구 설계를 위해서는 다물체동역학을 이용하여 설계를 수행하는 것이 바람직하다.

기존의 다물체 동역학을 이용한 최적설계에 관한 연구⁵⁻⁷⁾에서는 설계인자의 제작공차 또는 차체의 감속도 펠스의 변동 등의 불확실성을 고려하지 않은 상태에서 예측된 반응치를 갖고 평가하였다. 이것은 실차에 대한 예측에 혼란을 야기하고 잘못된 평가가 따를 수 있다. 이러한 불확실성을 고려하여 반응치가 강건해 지는 승객보호장구의 설계가 바람직하다. 여기서 반응치는 머리상해치인 HIC(Head Injury Criterion), 흉부가속도(Chest Acceleration), 대퇴부하중(Femur Load), 종합상해 가능성의 확률(Probability of Combined Injury) 등이다.

본 연구에서는 일차 충돌 시의 차체의 감속도 펠스 곡선을 가정하고, 다구찌법(Taguchi Method)을 이용하여 에어백의 강건설계를 수행하고자 한다. 이때 시험조건은 미국 NCAP 정면충돌 조건이다. 에어백의 설계변수로 써는 벤트홀 지름, 점화시간, 인플레이터 압력조절온도, 테더(Tether) 길이이다. 그리고 안전띠에 부착되는 로드리미터(Load Limiter) 하중도 설계변수로 포함시켰다. 본 연구에서는 차체의 감속도 펠스 곡선이 일정할 경우와 몇 개의 감속도 펠스 곡선이 있을 경우에 대하여 각각 강건설계를 수행하였다.

차체의 감속도 펠스 곡선이 일정 할 경우, 설계변수의 불확실성에 의한 반응치의 변동을 고려하기 위하여 외측배열과 민감도정보를 각각 이용하고 두

방법의 결과를 비교, 평가하였다. 한편, 차체의 감속도 펠스 곡선이 여러 개인 경우에는 그 곡선의 수를 세 개로 가정하고, 외측배열을 이용하여 반응치의 분산을 산출하였다. 본 연구에서의 반응치는 머리상해치와 흉부가속도의 합수로 표시되는 종합상해 가능성의 확률이다.

이 결과로부터 반응치의 분포를 산출하였으며, 강건설계를 위한 에어백의 인자에 대한 최적값을 제시하였다. 여기서 사용된 차량 모델은 임의의 승용차를 대상으로 한 것이다. 다물체동역학 해석용으로써 MADYMO Ver. 5.4.1⁸⁾이 사용되었으며 이를 내부프로그램인 TAGA와 연계하여 최적값을 산출하였다.

2. 시험조건

미국의 경우, 미연방도로교통안전국에서는 정면 충돌에 관련된 FMVSS208 법규를 제정, 시행하고 있다. 에어백은 1997년 중반 이후에 생산되는 모든 승용차의 운전석과 조수석에 장착이 의무화 되어 있다. 이 법규에 의하면, 안전띠를 착용하지 않은 Hybrid III 더미(50th Percentile Adult Male Dummy)를 태우고 30mph의 속도로 고정벽에 충돌시켰을 때 규정된 조건을 만족해야 한다. 식 (1)로 표시되는 머리상해치는 1000이하가 되어야 한다.¹⁻⁴⁾

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

여기서 $a(t)$ 는 중력가속도의 배수로 표시되는 머리 중심부의 합성가속도이며 t_1 , t_2 는 충돌 시에 36 msec 이하의 간격을 갖는 두 시간을 의미한다.

흉부가속도는 3msec 이상 연속적으로 충력가속도의 60배를 초과하지 않도록 규정하고 있으며 대퇴부 작용 하중은 10,000 N을 초과하지 않도록 규정하고 있다. 이 시험조건은 1997년 초까지 유효하였지만 저속충돌시의 문제점으로 인해 개정되었다. 그렇지만 일부 자동차 제조업체에서는 내부적인 기준으로 여전히 사용하고 있으나 스마트 에어백의 장착이 의무화 되는 시점부터는 큰 의미를 갖지 않게 될 것이다.²⁾

충돌관련 성능을 평가하는 시험은 법규이외에도

NCAP이 있는데, 미국 도로교통안전국의 NCAP이 가장 널리 알려져 있다. 이는 안전띠를 착용시킨 더미를 실차에 태우고 35mph로 고정벽에 충돌시켰을 때, 머리부와 가슴부의 상해 가능성을 계량화해 별 표시로써 등급을 부여한다. 등급과 머리상해치와 흉부가속도와의 관계는 Fig. 1과 같다.

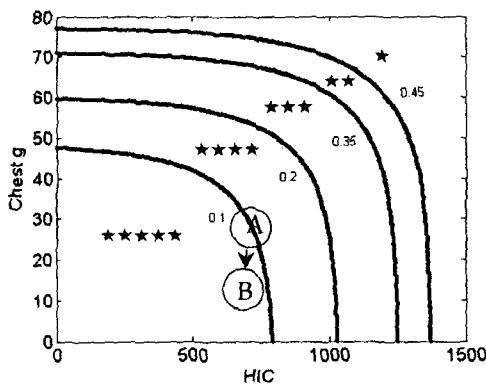


Fig. 1 Star rating of US-NCAP

여기서 각 등고선 값은 종합상해 가능성의 확률 값을 표시한 것이며 이를 기준으로 등급이 구분된다. 머리상해치, HIC와 흉부가속도 a_{chest} 로부터 종합상해 가능성의 확률 P_{com} 은 다음 식에 의해 결정된다.¹⁻⁴⁾

$$P_{com} = P_{head} + P_{chest} - (P_{head} \times P_{chest}) \quad (2)$$

$$P_{head} = [1 + \exp(5.02 - 0.00351 \times HIC)]^{-1} \quad (3)$$

$$P_{chest} = [1 + \exp(5.55 - 0.0693 \times a_{chest})]^{-1} \quad (4)$$

많은 자동차 제조사들은 정면충돌에 대한 이 조건에 대해서 비판적인 입장은 취하기도 하지만, 이 시험 결과가 신차의 판매량과 직결되면서 등급 향상을 위해 여러 가지 기술을 적용하고 있다.

3. 다구찌법을 이용한 에어백의 강건설계

차체의 감속도 펄스 곡선이 주어지면 승객거동해석 프로그램을 이용하여 종합상해 가능성의 확률 P_{com} 을 계산할 수 있다. 그러나 이 값은 실제로 차체의 감속도 특성 변동이나 승객보호 장구의 제작공차에 의해서 특정한 값이 아닌 분포의 형태로 존재

하게 될 것이다. 따라서 이 값을 특정한 값으로 제시하는 것 보다는 분포의 형태로 산출하는 것이 보다 현실적이다. 예를 들면 Fig. 1에서 등급 경계에 존재하는 설계 A의 경우, 결정론적 해석 방법으로 결과를 산출하게 되면 최상등급을 얻을 수 있으나 이는 매우 위험한 예측이다. 따라서 불확실성을 고려한 종합상해 가능성의 확률 P_{com} 을 예측하는 것이 바람직하다. 또한 불확실성을 고려하여 Fig. 1의 B와 같은 설계를 구해야 한다.

3.1 설계변수, 불확실성 및 설계목적의 정의

설계변수는 안전띠 부품인 로드리미터의 하중 (x_1), 에어백의 벤트홀 지름 (x_2), 에어백 압력 조절 온도 (x_3), 에어백 테더길이 (x_4), 에어백 점화시간 (x_5)으로써 총 5 개이다. 로드리미터는 승객과 안전띠에 작용하는 충격을 감소시키기 위하여 안전띠에 작용하는 하중이 임계하중 이상이 되면 안전띠를 일정량 풀어 주는 안전벨트에 부착되는 부품이다. 에어백의 설계변수인 벤트홀 및 테더를 Fig. 2에 표시하였다.

이때 차량은 MADYMO에서 제공하는 임의의 모델⁸⁾이며 모델링된 형상을 Fig. 3에 표시하였다. 이때 에어백은 유한요소모델로, 나머지 부품은 다물체동역학모델로 구성되어 있다.

본 연구에서는 정면충돌을 고려한 승객보호장구 중 에어백 및 로드리미터의 강건설계를 위해 다구찌법을 이용하였다. 이 때, 불확실성은 에어백과 로드리미터에 대한 설계변수의 공차로 설정하고 차체감속도 특성이 일정한 경우와 변동이 있는 경우에 대해서 강건설계를 수행하였다. 설계변수들의 제작공차에 대한 종합상해 가능성 확률의 분포를 검토하

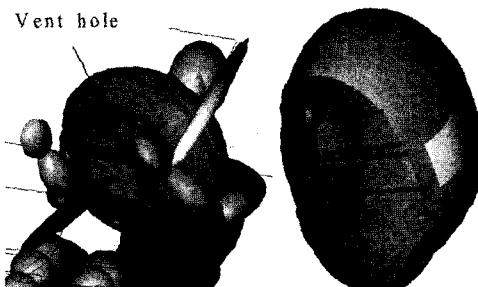


Fig. 2 Vent hole and tether of an airbag

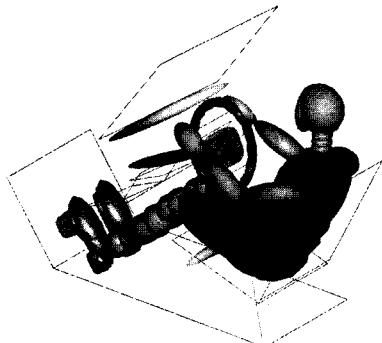


Fig. 3 Simulation model for the frontal crash

였으며 설계변수의 후보 이산값에 대하여 강건최적해를 제시하였다.

다구찌법을 적용하기 위해 정의된 특성치는 종합상해가능성확률 P_{com} 이며 강건최적해를 산출하기 위해 식 (5)와 같은 최적설계 정식화를 생각할 수 있다.

$$\text{Maximize } SN \text{ ratio} \quad (5)$$

종합상해가능성확률은 망소특성(smaller-the-better type characteristic)에 해당하므로 다음과 같은 SN 비율을 이용한다.⁹⁻¹⁰⁾

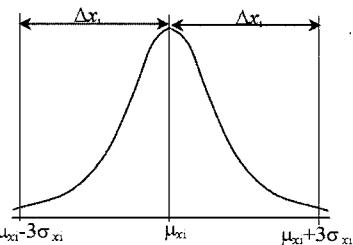
$$SN = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{N_{out}} \sum_{i=1}^{N_{out}} P_{comi}^2 \right) \quad (6)$$

여기서 P_{comi} 는 i 번째 종합상해가능성확률, N_{out} 은 잡음을 고려한 종합상해활률의 데이터 수이다. 본 연구에서는 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 직교배열표를 이용했기 때문에 N_{out} 은 18이다. 이 직교배열표를 선정한 이유는 설계변수 사이의 교호작용 영향을 실험 전에 미리 파악하는 것이 불가능하므로 각 설계변수 사이의 교호작용이 다른 열에 골고루 분산되어 나타나게 하기 위해서이다.

각 설계변수에 대한 이산값은 3개의 수준으로 설정하였고 Table 1의 내측배열(Inner Array) 행에 표시하였다. 이는 현장에서 사용될 수 있는 값으로 결정하였다. 또한 설계변수 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 의 허용공차 $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \Delta x_4, \Delta x_5$ 는 각각 225N, 1.5mm, 25K, 0.025m, 1.0msec으로 하였다. 외측배열(Outer Array)을 위한 수준 역시 3이며 이를 Table 1에 표시하였다.

Table 1 Levels of design variables

Array	Level	Design variables				
		$x_1(N)$	$x_2(\text{mm})$	$x_3(\text{K})$	$x_4(\text{m})$	$x_5(\text{msec})$
Inner array	1	3000	20	400	0.20	15
	2	4500	30	500	0.25	20
	3	6000	40	600	0.30	25
Outer array	1	x_1-225	$x_2-1.5$	x_3-25	$x_4-0.025$	$x_5-1.0$
	2	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	3	x_1+225	$x_2+1.5$	x_3+25	$x_4+0.025$	$x_5+1.0$

Fig. 4 Distribution of a design variable x_i

여기서 설계변수, x_i 의 분포를 Fig. 4와 같은 정규분포라 가정하면 x_i 의 분포의 99.7%는 $(\mu_{xi}-3\sigma_{xi})$ 와 $(\mu_{xi}+3\sigma_{xi})$ 사이에 존재하게 된다. 단 σ_{xi} 는 설계변수 x_i 의 표준편차이며 $\sqrt{3/2} \sigma_{xi} = \Delta_{xi}$ 이다.

3.2 차체 감속도 펄스 곡선이 일정한 경우의 강건설계

일차 충돌로부터 구해진 차체의 감속도 펄스 곡선이 Fig. 5와 같이 신뢰성 있게 하나로 결정되었다면 이는 잡음에 포함시킬 필요가 없다. 따라서 설계변수 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 의 공차만을 잡음으로 고려한다. 본 연구에서는 이 경우에 대하여 잡음에 대한 종합

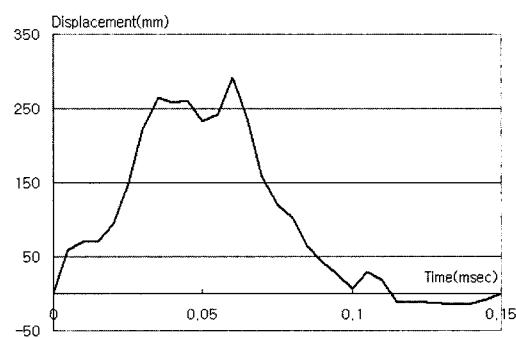


Fig. 5 Constant body pulse curve

상해가능성학률의 분포를 구하기 위해서 외측배열을 이용한 경우와 테일러급수전개를 이용한 경우에 대하여 각각 검토하였다.

먼저 외측배열을 이용하기 위해서는 Fig. 6과 같은 내측배열 및 외측배열을 구성해야 한다. 내측배열 및 외측배열 모두 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 직교배열표를 이용하였으며 표 내부의 각 숫자는 수준번호로서 Table 1

의 수준값들이 배치된다. 또한 각 외측배열에서 18 회의 승객거동해석을 통해 종합상해가능성학률의 평균 및 표준편차, 그리고 식 (6)의 SN비를 구할 수 있다. 이 경우의 SN비를 SN_a 로 표시하였다.

내측배열 및 외측배열의 직교배열표 모두 첫 두 열 및 8째 열은 오차 항으로 할당하였으며 나머지 3 채 열부터 7째 열까지 설계변수 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 의 순서로 배치하였다. 실험배치 및 이에 따른 SN비인 SN_a 를 Table 2에 수록하였다. 이 실험은 $18 \times 18 = 324$ 회의 승객거동해석을 필요로 한다. 다음은 이 실험 결과로부터 SN비에 대한 평균분석을 실시한 결과를 Table 3에 수록하였다. 평균분석으로부터 최적수준은 $[x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5] = [level2 \ level3 \ level1 \ level3 \ level3]$ 임을 알 수 있다.

다음으로 잡음으로 야기되는 종합상해가능성학률의 분포를 테일러 급수전개를 이용해서 구하는 방법이다. 테일러 1차 급수 전개에 의하여 종합상해 가능성학률의 평균, μ_{Pcom} 및 분산, σ_{Pcom}^2 을 설계변수의 민감도 및 분산, σ_{xi}^2 으로 표시하면 다음과 같이 근사화시킬 수 있다.¹¹⁻¹²⁾

Fig. 6 Arrangement of the inner and the outer arrays

Table 2 Inner array and experiments results

Exp. No.	empty	empty	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	empty	SN_a	μ_{Pcom}	σ_{Pcom}	SN_b
1			3000	20	400	0.200	0.015		15.853	0.16191	0.00656	12.972
2			4500	30	500	0.250	0.020		21.138	0.08918	0.00168	19.801
3			6000	40	600	0.300	0.025		21.470	0.08479	0.00180	20.241
4			3000	20	500	0.250	0.025		17.487	0.13353	0.00540	15.442
5			4500	30	600	0.300	0.015		21.721	0.08082	0.00204	20.410
6			6000	40	400	0.200	0.020		19.406	0.10992	0.00098	17.919
7			3000	30	400	0.300	0.020		21.546	0.08515	0.00349	18.916
8			4500	40	500	0.200	0.025		23.099	0.07110	0.00031	21.548
9			6000	20	600	0.250	0.015		14.943	0.18119	0.00720	12.942
10			3000	40	600	0.250	0.020		22.901	0.06832	0.00187	20.332
11			4500	20	400	0.300	0.025		19.157	0.10987	0.00201	17.512
12			6000	30	500	0.200	0.015		18.145	0.12459	0.00432	16.700
13			3000	30	600	0.200	0.025		19.931	0.10264	0.00392	18.285
14			4500	40	400	0.250	0.015		21.995	0.07890	0.00104	19.172
15			6000	20	500	0.300	0.020		16.760	0.14353	0.00250	14.864
16			3000	40	500	0.300	0.015		19.625	0.10384	0.00607	16.948
17			4500	20	600	0.200	0.020		13.057	0.22305	0.00784	10.605
18			6000	30	400	0.250	0.025		18.750	0.11577	0.00104	17.427

Table 3 Analysis of mean for SN_a , μ_{pcom} , σ_{pcom} and SN_b

	Level	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
SN_a	1	19.557	16.209	19.450	18.248	18.713
	2	20.027	20.205	19.375	19.535	19.134
	3	18.245	21.416	19.003	20.046	19.982
μ_{pcom}	1	0.109	0.158	0.110	0.132	0.121
	2	0.108	0.099	0.111	0.111	0.119
	3	0.126	0.086	0.123	0.101	0.103
σ_{pcom}	1	0.004	0.005	0.002	0.004	0.004
	2	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
	3	0.003	0.002	0.004	0.002	0.002
SN_b	1	17.149	14.056	17.319	16.338	16.524
	2	18.174	18.589	17.550	17.519	17.072
	3	16.682	19.360	17.135	18.148	18.409

$$\mu_{pcom} = P_{com}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \quad (7)$$

$$\sigma_{pcom}^2 = \sum_{i=1}^5 \left(\frac{\partial P_{com}}{\partial x_i} \right)^2 \cdot \sigma_{xi}^2 \quad (8)$$

여기서 Δx_i 를 알고 있으므로 σ_{xi}^2 가 구해지며 P_{com} 에 대한 민감도를 구하면 P_{com} 의 분산을 구할 수 있다. 본 연구에서는 설계변수에 대한 P_{com} 의 민감도를 유한차분법으로 산출하였다. 즉 Table 2의 내측배열에서 μ_{pcom} 과 σ_{pcom} 은 총 $18 \times 6 = 108$ 회의 해석으로부터 구해진 값들이다.

종합상해가능성확률의 평균과 표준편자는 각각 망소특성에 해당하며 두 개의 특성치를 갖는 다중 목적 문제가 된다. 따라서 각각에 대하여 평균분석을 실시한 다음 트레이드-오프에 의해 최적수준을 결정해야 한다. 각각의 특성치에 대한 평균분석 결과를 Table 3에 표시하였다. 평균분석을 해 보면 종합상해가능성확률의 평균과 분산 모두 최적수준은 $[x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5] = [level2 \ level3 \ level1 \ level3 \ level3]$ 으로 써 동일한 결과를 갖는다. 이는 우연의 일치라 할 수 있다. 만일 이 결과가 다르게 나온다면 최종 최적수준은 설계자에 의해 트레이드-오프로써 결정되어야 할 것이다. 이 결과는 SN_b 를 분석해 산출된 강건최적해와 동일한 값이다. 본 문제에서 종합상해가능성확률의 분포는 외측배열과 테일러급수전개를 이용한 방법이 동일한 결과를 주고 있다.

이 최적수준에 대하여 확인실험을 해 보면, P_{com} 의 평균은 0.0634, 표준편자는 0.817×10^{-3} 이 계산된다. 에어백 성능인 P_{com} 이 정규분포를 갖는다면 이

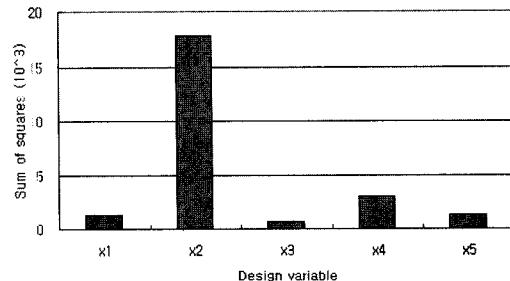
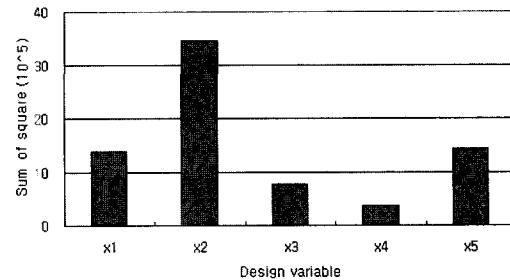
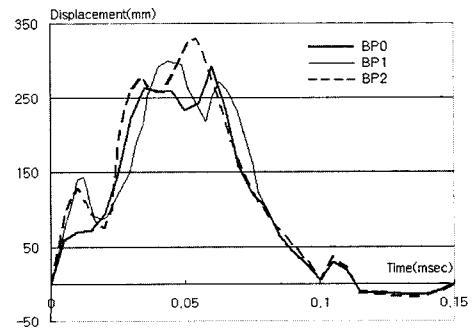
(a) Sum of squares of mean(μ_{pcom})(b) Sum of squares of standard deviation(σ_{pcom})Fig. 7 Sum of squares of mean(μ_{pcom}) and standard deviation(σ_{pcom})

Fig. 8 Uncertain body pulse curves

최적수준으로 설계된 에어백 제품의 최악조건을 고려하면 $\mu_{pcom} + 3\sigma_{pcom} = 0.0659$ 가 된다. 설계단계에서 P_{com} 의 예측치를 0.0634가 아닌 0.0659로 보는 것이 타당하다.

설계변수의 P_{com} 의 평균 및 분산에 대한 영향도를 제곱합으로 표시하면 Fig. 7과 같다. 평균에 대한 영향도는 x_2, x_4, x_5, x_1, x_3 순으로 크며, 표준편차에 대한 영향도는 x_2, x_5, x_1, x_3, x_4 순이다. 이 결과로부터 에어백의 벤트홀 크기가 다른 설계변수에 비해서 P_{com} 의 평균 및 분산에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

3.3 차체 감속도 펄스 곡선을 잡음에 포함한 경우의 강건설계

일차충돌로부터 구해지는 차체의 감속도 펄스가 변동을 가질 경우에 대한 강건설계는 외측배열만을 이용하여 P_{com} 의 평균 및 분산을 산출하였다. 식(8)을 이용할 수 없는 이유는 차체의 감속도펄스 곡선에 대한 민감도 및 분산을 알 수가 없기 때문이다. 이 때, 고려된 차체의 감속도 펄스 곡선은 Fig. 8의 BP0, BP1, BP2로써 모두 3개이다. 이는 임의로 결정된 것이다. 즉 이 문제에서 잡음은 설계변수의 공차와 차체의 감속도 펄스 곡선이다. 이 경우에 사용된 $SN비$ 는 식(6)으로써 Table 2에 SN_b 로 표시하였다. 차체의 감속도 곡선이 잡음인자로 고려되기 때문에 이를 Fig. 6의 외측배열에서 8번째 열에 배치하였다.

이 경우에 SN_b 에 대한 평균분석 결과를 Table 3에 표시하였다. 이에 의하면 각 설계변수의 최적수준은 $[x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5] = [level2 \ level3 \ level2 \ level3 \ level3]$ 이 된다. 확인실험에 의해서, P_{com} 의 평균 및 표준편차를 구해보면 $\mu_{pcom} = 0.07119$, $\sigma_{pcom} = 9.89 \times 10^{-3}$ 이다. 따라서 P_{com} 의 분포에 대한 최악조건을 고려해 보면 $\mu_{pcom} + 3\sigma_{pcom} = 0.1009$ 가 산출된다. 즉, 공칭값만을 이용하면 종합상해확률이 0.1이하의 값을 갖지만 분포를 고려한 최악조건을 이용하면 0.1이상의 값을 가질 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 정면충돌을 고려한 운전석에어백 설계를 위한 강건설계를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 에어백 설계 시 시뮬레이션을 이용할 경우, 결정론적 방법이 가지는 단점을 보완하고자 설계변수의 제작공차와 차체 감속도 펄스의 불확실성을 고려하여 종합상해가능성확률의 분포를 구하는 방법을 제시하였다.
- 2) 차체감속도 펄스 곡선을 일정하게 가정한 경우, 종합상해 가능성의 확률의 평균과 분산을 구하기 위해 테일러 급수 및 외측배열을 이용하였으며 그 결과를 비교하였다. 두 방법에 의한 최적수준은 동일한 결과가 산출되었다. 또한 차체의 감속도 펄스 곡선이 매 실험마다 변동 폭이 클

경우, 이것을 고려하여 설계를 할 수 있는 방법을 제시하였다.

- 3) 설계변수의 후보 이산값을 갖고 다구찌법을 적용함으로써 강건최적해를 산출하였다. 설계변수의 공차 등이 정규분포일 경우에는 테일러 급수를 이용하는 것이 바람직하지만 차체의 감속도펄스곡선이 잡음으로 고려 될 경우에는 외측배열을 이용해야 한다.
- 4) 본 연구에서 취급하지 않은 조향계, 안전띠 등의 관련 부품에 대한 설계변수의 불확실성도 고려하는 것이 보다 현실적인 접근이 될 것이다.

후 기

본 연구에 많은 도움을 주신 이든기술 관계자 분들께 감사드립니다.

References

- 1) J. M. Lim, "Software Development for the Occupant Crash Analysis and Recommendations for the Related Part Design," Hanyang University, Ph. D. Thesis, 1997.
- 2) H. Y. Jeong, Y. H. Kim, "New Crash Discrimination Algorithm and Accelerometer Locations," Transactions of KSAE, Vol.8, No.6, pp.182-193, 2000.
- 3) J. D. Horsch, D. C. Viano, J. Decou, "History of Safety Research and Development on the General Motors Energy-Absorbing Steering System," SAE 912890, 1991.
- 4) D. C. Viano, "Effectiveness of Safety Belts and Airbags in Preventing Fatal Injury," SAE 910901, 1991.
- 5) Y. S. Park, G. J. Park, "Crash Analysis and Design of a Belt Integrated Seat for Occupant Safety," Vol.215, No.8, pp.875-889, 2001.
- 6) J. M. Lim, D. H. Wu, G. J. Park, "Analysis and Design Consideration of an Energy Absorbing Steering System Using Orthogonal Arrays," International Journal of Crashworthiness, Vol.5, No.3, pp.271-278, 2000.
- 7) Y. S. Park, J. Y. Lee, 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.
- 8) TNO, MADYMO Users Manual, 1999.
- 9) Taguchi, Systems of Experimental Design (Vol. I , II), Kraus International Publications, New York, 1987.
- 10) M. S. Phadke, Quality Engineering Using Robust Design, Prentice Hall, New Jersey, 1989.
- 11) K. H. Lee, G. J. Park, "Robust Optimization in Discrete Design Space for Constrained Problems," AIAA J., Vol.40, No.4, pp.774-780, 2002.
- 12) K. H. Lee, G. J. Park, "Robust Optimization Considering Tolerances of Design Variables," Computers & Structures, Vol.79, No.1, pp.77-86, 2001.