

AE-MDB시험 시 인체모형 상해치에 대한 시험 인자 영향성 연구

선홍열* · 한표경** · 오은경** · 윤일성**

The Study on influence of test factors for WorldSID injury
through AE-MDB side crash test

Hongyul Sun*, Pyokyong Han**, Eunkyung Oh**, Ilsung Yoon**

Key Words : AE-MDB(Advanced European Mobile Deformable Barrier), Worldsid(Worldwide harmonized Side Impact Dummy), Injury(상해치), Control factor(제어인자), EuroNCAP(유럽 신차 안전도평가), Input signal(입력 신호), Output response(출력 반응), Restraint system(구속 시스템)

ABSTRACT

NCAP(New Car Assessment Program) makes vehicle manufacturer improve safety performance through free competition and customers guarantee vehicle selection by providing information of vehicle safety. That's why it is important not only to meet the regulation, but also to cope with NCAP. EuroNCAP(European New Car Assessment Program) side tests have conducted by using Progressive MDB and Euro SID II in order to reproduce crash test between two vehicles over 10 years. However various researches report that Progressive MDB and Euro SID II do not reflect evolving vehicle design, impact performance and biofidelity of human. Therefore EuroNCAP has the plan to conduct AE-MDB side crash test using WorldSID which is more evolved from 2015 by replacing Progressive MDB and EuroSID II. Automobile manufacturers need to develop safety performance for new test closely.

This paper is to find test set-up parameters which affect into dummy injury instead of restraint system and to research on its tendency. It is processed with mini and small car to know influence as changing vehicle size and also analyzed by DFSS(Design for six sigma) which is one of optimization tools. DFSS is validated by simulating CAE with L_{18} orthogonal array of 6 control factors adjustable as EuroNCAP requirement.

1. 서론

신차 안전도 평가(New Car Assessment Program)는 제작사에는 평가를 통한 자율경쟁 및 차량 안전성 향상을 유도하고 소비자에게는 자동차 안전에 대한 신

뢰성과 정보 그리고 넓은 차량 선택권을 보장하게 한다. 따라서 법규를 만족하는 것뿐만 아니라 신차 충돌 안전성 평가에서 높은 등급을 받기 위해 자동차 업계는 많은 노력을 기울인다.

유럽 측면충돌 안전성에 관한 법규는 차 대 차 측면 충돌을 재현하기 위해 평가 대상 차량의 측면을 이동식 대차 앞부분에 변형벽(Deformable barrier)을 장착하여 50km/h의 속도로 충돌시키는 방법으로 시험한

* GM Korea Company, Corresponding Author

** GM Korea Company

E-mail : Hongyul.sun@gm.com

다. 또한, 신차 안전도 평가 프로그램의 (Euro NCAP) 측면 충돌은 이와 유사한 방법으로 평가하고 있다. 그러나 이 시험에서 사용하는 Progressive MDB(Mobile Deformable Barrier)와 EuroSID II는 현재 차량과 인체의 특성을 반영하지 못하고 있다는 평가가 다양한 보고서를 통해 보고되고 있으며⁽¹⁾ 이에 대처하기 위해 EuroNCAP 은 2015년부터 측면충돌 시험에서 AE-MDB와 WorldSID(Worldwide harmonized Side Impact Dummy)를 이용한 시험을 예정하고 있다.⁽²⁾ 따라서 신차평가에서 높은 등급의 점수를 획득하기 위해서는 차량의 강성 증가 혹은 구속 시스템(Constraint system)의 최적화 등 다양한 방법을 통한 대응이 요구된다.

본 논문에서는 AE-MDB 측면 충돌 시험 시 WorldSID 인체모형 상해치(Injury)에 지배적인 영향을 주는 시험 인자를 찾고 이를 분석하고자 한다. 시험 인자가 인체모형 상해치에 주는 영향을 분석함으로써 어떤 시험 조건에서도 강건하고 예측 가능한 결과를 얻기 위함이 그 목적이다. 위의 분석을 통해서 인체모형 상해치의 최적, 최악 조건을 도출하고 이를 검증할 것이다.

2. 본 론

본 논문은 DFSS(Design for six sigma) 기법으로 연구를 진행하였다. 6시그마는 고객의 관점에서 품질에 결정적인 요소인 CTQ(Critical To Quality)를 찾고 과학적인 방법을 사용하여 100만 개 중 3, 4개의 불량 수준인 무결점 품질을 달성하는 것이다. DFSS란 R&D (Research and Development)에서 사용되는 6시그마 방법론으로 새로운 프로세스를 구축하거나, 새로운 상품 기획을 추진할 때 활용되며 본 논문에서는 DFSS 방법론 중 IDDOV (Identify/Define/Develop/Optimize/Verify) 절차를 사용하였다.⁽³⁾ Identify 단계에서 시험 인자의 최적화를 통한 예측 가능한 인체모형 상해치 획득이라는 목적을 세우고 AE-MDB 시험조건에 대해 분석하였다. Define 단계에서 인체모형 상해치에 영향을 주는 제어인자를 설정하고 P-Diagram을 도식화하였다. Develop 단계에서 6개의 제어인자와 각 제어인자를 3수준으로 하여 L_{18} 직교표를 작성한 후 승객 거동 해석을 진행하였다. Optimize 단계에서 ANOVA 분석으로 제어인자의 최적화를 실시한 후 최적(Best case), 최악(Worst case)조건을 찾았다. 그리고 Verify

단계에서 Optimize 단계에서의 결과를 검증하였다.

본 논문에서는 경차(Mini)와 소형(Small) SUV 두 차량에 대한 분석을 진행하였다. 소형차는 경차보다 차체 길이가 더 길기 때문에 C-Pillar에 간섭되는 AE-MDB의 양이 달라지며 차체 높이에 따라 충격높이도 달라진다. 따라서, 차량 크기와 높이에 따른 시험 인자가 인체모형 상해치에 주는 영향도 함께 알아볼 수 있을 것이다.

2.1. 제어인자 선정과 P-Diagram

제어인자란 DFSS기법에서 결과값인 출력변수(Output response)에 영향을 주는 요소를 말하며 AE-MDB측면 충돌 시험의 경우 제어인자는 차량의 강성 및 구조, 구속 시스템, 시험 인자 등 다양하다. 하지만 본 논문의 목적은 차량의 강성이나 구조, 구속 시스템이 아닌 시험 인자가 인체모형 상해치에 주는 하기 위함이므로 차량 강성과 구조 및 구속 시스템을 배제하였다. 그 이외의 시험 인자 중 인체모형 상해치에 영향력이 큰 6개를 제어인자로 설정하였고 이를 Table 1로 나타내었다. 이때 제어인자의 수준(Level)은 EuroNCAP에서 지정하는 범위 내 최저값, 중간값, 최고값으로 정하였으며, 제어인자 A, B, C, D의 수준 변화는 Fig. 1 Vehicle coordinate system을 기준으로 작성하였다.

Table 1 Control factors

No.	Control factor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Impact point X	-25mm	0	25mm
B	Impact point Z	-25mm	0	25mm
C	H-point X	-10mm	0	+10mm
D	H-point Z	-10mm	0	+10mm
E	Test speed	49kph	50kph	51kph
F	MDB weight	1280kg	1300kg	1320kg

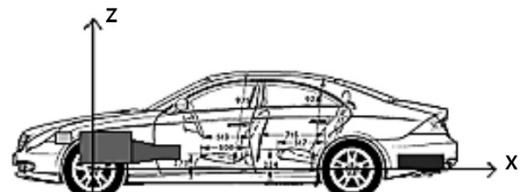


Fig. 1 Vehicle coordinate system

Fig. 2는 입력신호(Input signal), 제어인자 및 출력 반응으로 이루어진 P-Diagram이다. P-Diagram은 입력신호를 받은 System이 제어인자의 조합을 변수로, 그 결과 출력반응을 나타내는 간단한 도식이다. 본 논문에서 입력신호는 AE-MDB가 차량에 충돌하면서 발생하는 충돌 에너지(Impact Energy)로 나타내었고 제어인자는 Table 1에서 정한 인자로 설정하였다. 그리고 출력반응은 측면 충돌 시험 시 가장 치명적인 인체 모형 상해치인 상부 흉부 변위량(Upper rib displacement), 중부 흉부 변위량(Mid rib displacement), 하부 흉부 변위량(Lower rib displacement)으로 국한하였다.

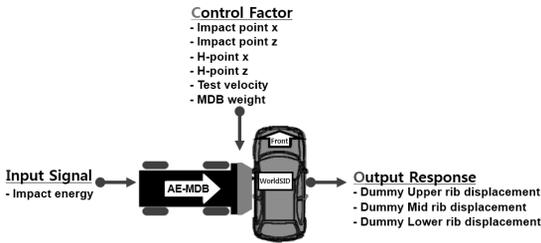


Fig. 2 P-Diagram

2.2. L₁₈ 직교표(Orthogonal array matrix)

Table 1에서 선정된 6가지 3수준의 제어인자로 L₁₈ 직교표(L₁₈ orthogonalarraymatrix)를 작성하였다. 이 직교표는 ANOVA 분산분석을 위한 승객 거동해석의 test matrix이며 18가지 조합으로 726(36)가지의 경우를 대표한다.

2.3. AE-MDB 측면충돌시험 및 CAE correlation

본 논문에서는 LS-DYNA를 이용해 승객 거동해석 모델을 구성하였다. 또한, HUMANETICS 사의 WorldSID 50% ile 인체 모형 모델(dummy model)을 적용해 상해치를 평가하였다.

신뢰성 높은 해석 결과를 얻기 위해 실제 차량 충돌 시험과 승객 거동해석 모델을 correlation 하였다. 실제 차량 측면 충돌 시험은 평가 대상 차량의 측면을 이동식 대차 앞부분에 AE-MDB를 장착하여 50km/h의 속도로 충돌시키는 방법으로 시험을 진행하였으며 충돌시험과 승객 거동해석 간의 신뢰도를 Table 3으로 나타내었다. 이때 승객 거동해석의 신뢰도는 10% 이내로 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 2 L₁₈ orthogonalarraymatrix

	Impact point x	Impact point z	H Point x	H point z	Test speed	MDB weight
1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	3
4	2	1	1	2	2	3
5	2	2	2	3	3	1
6	2	3	3	1	1	2
7	3	1	2	1	3	2
8	3	2	3	2	1	3
9	3	3	1	3	2	1
10	1	1	3	3	2	2
11	1	2	1	1	3	3
12	1	3	2	2	1	1
13	2	1	2	3	1	3
14	2	2	3	1	2	1
15	2	3	1	2	3	2
16	3	1	3	2	3	1
17	3	2	1	3	1	2
18	3	3	2	1	2	3

Table 3 CAE correlation

Car	Output reponse	Crash test	CAE	Reliability (%)
Mini Car	Upper rib displacement	1	0.99	1%
	Mid rib displacement	1	1.01	1%
	Lower rib displacement	1	1.06	6%
Small Car	Upper rib displacement	1	1.08	8%
	Mid rib displacement	1	1.05	5%
	Lower rib displacement	1	0.96	4%

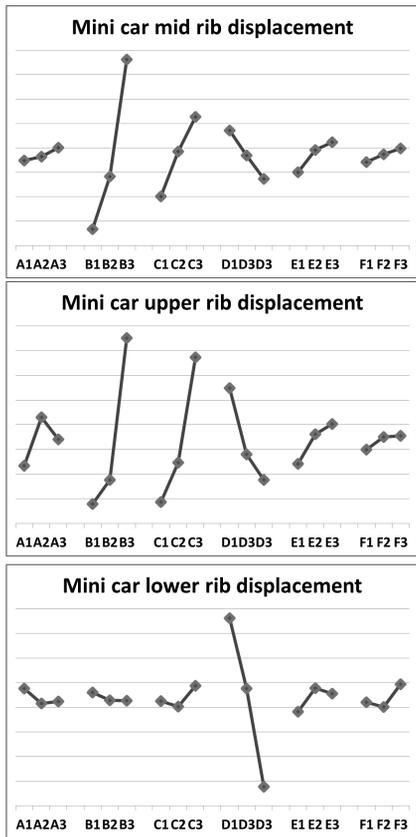
2.4. ANOVA 분산분석

2.4.1. ANOVA 분산분석(Analysis of variation)

Table 2의 L₁₈ 직교표에 따라 승객 거동해석을 하였고 그 결과로 ANOVA 분산분석을 진행하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 경차와 소형차의 주 효과 그래프이다. 주 효과 그래프는 각 제어인자의 수준이 변함에 따른 출력반응의 변화 경향을 보여준다. Fig. 3과 Fig. 4 그래프에서 x축은 각각의 제어인자와 수준이며 y축은 출력

반응을 나타내었다. 그리고 이 그래프들은 y 값이 적을수록 결과값이 좋은 망소특성을 가진다.

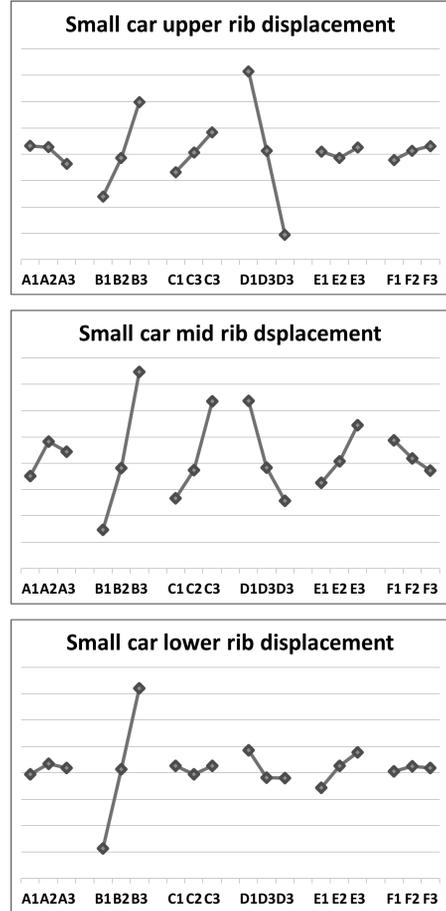
Fig. 3의 경차 주 효과 그래프에서 상부 흉부 변위량과 중부 흉부 변위량은 Impact point Z(B)와 H-point X(C)가 낮은 수준일수록 좋은 결과를 보였으며 H-point Z(D)가 높은 수준일수록 좋은 결과를 보였다. 반면, 하부 흉부 변위량은 H-point Z(D)가 높은 수준일수록 좋은 결과를 보였지만 상부 흉부 변위량과 중부 흉부 변위량에서 영향력이 있었던 Impact point Z(B)와 H-point X(C)는 결과값에 큰 영향을 주지 못했다.



No.	Control factor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Impact point X	-25mm	0	25mm
B	Impact point Z	-25mm	0	25mm
C	H-point X	-10mm	0	+10mm
D	H-point Z	-10mm	0	+10mm
E	Test speed	49kph	50kph	51kph
F	MDB weight	1280kg	1300kg	1320kg

Fig. 3 Main effect graph for Mini car

Fig. 4의 소형차 흉부 변위량에서 상부 흉부 변위량과 중부 흉부 변위량은 Fig. 3의 경차 상부, 중부 흉부 변위량과 비슷한 경향을 보였다. 다만 하부 흉부 변위량에서 Fig. 3 경차의 하부 흉부 변위량은 H-point Z(D)의 수준이 증가할수록 좋은 결과를 보였지만 소형차의 경우 Impact point Z(B)의 수준이 감소할수록 좋은 결과를 보였다.



No.	Control factor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Impact point X	-25mm	0	25mm
B	Impact point Z	-25mm	0	25mm
C	H-point X	-10mm	0	+10mm
D	H-point Z	-10mm	0	+10mm
E	Test speed	49kph	50kph	51kph
F	MDB weight	1280kg	1300kg	1320kg

Fig. 4 Main effect graph for Small car

Table 4는 제어인자가 각각의 출력반응에 주는 영향력을 나타내는 기여도 Table이다. 경차, 소형차의 출력반응에 대해 공통으로 Impact point Z(B), H-point X(C), H-point Z(D)의 기여도가 높았지만 Impact point X(A), 대차 무게(E)나 시험 속도(F)는 낮은 기여도를 차지해 제어인자와 출력반응 사이에 영향력이 적

음을 확인할 수 있었다.

2.4.2. 출력반응에 대한 최적, 최악 조건

2.4.1의 ANOVA 분산분석의 결과로 얻은 세 가지 출력반응 수치에 따른 최적조건(Best condition)과 최악조건(Worst condition)에 대한 제어인자의 조합을 Table 5에 나타내었다. 경차와 소형차의 최적, 최악조건이 동일하였다.

Table 4 Contribution of control factor for output response

Car	Output response	Control factor	Contribution [%]
Mini Car	Upper rib displacement	Impact point X	2.67
		Impact point Z	48.11
		H-point X	32.12
		H-point Z	11.14
		Test speed	0.49
		MDB weight	0.36
	Mid rib displacement	Impact point X	0.09
		Impact point Z	79.75
		H-point X	11.47
		H-point Z	4.93
		Test speed	1.03
		MDB weight	0.49
	Lower rib displacement	Impact point X	1.74
		Impact point Z	0.82
		H-point X	2.08
H-point Z		90.89	
Test speed		0.8	
Small Car	Upper rib displacement	Impact point X	0.22
		Impact point Z	21.95
		H-point X	2.92
		H-point Z	71.93
		Test speed	0.25
		MDB weight	0.44
	Mid rib displacement	Impact point X	0.01
		Impact point Z	39.09
		H-point X	24.55
		H-point Z	20.99
		Test speed	10.05
		MDB weight	0
	Lower rib displacement	Impact point X	0
		Impact point Z	88.66
		H-point X	0.37
H-point Z		4.15	
Test speed		5.45	
MDB weight		0.2	

Table 5 Control factor combination of best and worst condition

Control Factor		Base line	Best condition	Worst condition
A	Impact point X (mm)	0	-25	0
B	Impact point Z (mm)	0	-25	+25
C	H point X (mm)	0	-10	+10
D	H point Z (mm)	0	+10	-10
E	Test speed (kph)	50	49	51
F	MDB weight (kg)	1300	1280	1320

2.5. 최적, 최악조건에 대한 신뢰성 검증

2.4.2에서 정한 최적, 최악조건에 대한 신뢰성 검증을 위해 승객 거동해석을 시행하였다. Table 6은 ANOVA 분산분석의 예측결과와 승객 거동해석의 결과 비교표이다. 최적조건에서 평균 오차율 3%, 최악조건에서 13%의 값을 보여 최악조건보다 최적조건에서 분산분석의 예측 결과값이 높은 정확도를 보였다.

Table 6 Validation of ANOVA analysis by CAE

Car	Output response	Base line	Best condition			Worst condition		
			ANOVA	CAE	Error	ANOVA	CAE	Error
Mini Car	Upper rib displacement	1	0.67	0.65	2%	1.84	1.51	33%
	Mid rib displacement	1	0.76	0.76	0%	1.41	1.32	9%
	Lower rib displacement	1	0.61	0.63	2%	1.37	1.26	12%
	Mini Car average		0.68	0.68	1%	1.54	1.36	18%
	Small	Upper rib	1	0.89	0.90	1%	1.05	1.16

Car	displacement							
	Mid rib displacement	1	0.85	0.84	1%	1.35	1.27	8%
	Lower rib displacement	1	0.80	0.91	11%	1.49	1.44	5%
	Small Car Average		0.85	0.88	4%	1.30	1.29	8%
Total average			0.76	0.78	3%	1.42	1.33	13%

3. 결론

본 논문에서는 DFSS 기법과 승객 거동해석을 활용하여 AE-MDB 시험 시 인체 모형 상해치에 대한 시험 인자 연구를 진행하였고 그 결과는 아래와 같다.

- 1) AE-MDB 측면 충돌 시험 시 차량의 강성, 구속 시스템이 아닌 시험 인자를 제어인자로 선정해 인체 모형 상해치에 주는 영향에 대해 알아볼 수 있었다. 제어인자의 조합으로 직교표를 작성하였으며 이를 활용하여 승객 거동해석으로 각 조합에 대한 흉부 변위량 출력반응을 찾을 수 있었다.
- 2) ANOVA 분산분석으로 세 가지 출력반응에 대한 제어인자의 영향성과 기여도를 알 수 있었다. 경차, 소형차 모두 흉부 변위량에 대해 Impact point Z, H-point X, H-point Z의 기여도가 높았으며, Impact point Z가 감소할수록, H-point X가 감소할수록, H-point Z가 증가할수록 좋은 값

을 나타내었다. 또한, Impact point X, Test speed와 MDB weight는 출력반응에 큰 영향을 주지 못해 두 차종에 대해 각 제어인자가 출력반응에 미치는 영향성과 기여도가 유사함을 알 수 있었다.

- 3) 신뢰성 검증을 위하여 출력반응에 대한 제어인자의 최적, 최악 조건의 값을 예측하고 동일한 조합으로 승객 거동해석을 시행하였다. 최적조건에서 평균 오차율 3%, 최악조건에서 13%의 값을 보여 최악조건보다 최적조건에서 분산분석의 예측 결과값이 높은 정확도를 보였다.

본 논문에서는 인체모형 상해치에 대한 시험 인자 영향성 연구 방법론을 제시하였다. 앞으로 본 논문에서 다루었던 시험 인자 분석을 충돌 시험에서 추가 검증할 것이며 AE-MDB 측면 충돌시험 만이 아닌 다른 충돌시험에서도 이 과정을 적용해 시험 인자에 대한 영향성을 분석할 예정이다.

참고문헌

- (1) Progress on the development of the advanced european mobile deformable barrier face(AE-MDB), EEVC, 2003
- (2) EuroNCAP SIDE IMPACT MOBILE DEFORMABLE BARRIER TESTING PROTOCOL, 2014
- (3) GMK Technical Center, 2013, DFSS Fundamental Course & Advanced Course”