

대형차량의 프레스타입 도어힌지 적용을 위한 최적화 연구

The Optimization of the Press-type Door Hinge of the Full-sized Car

양지혁^{1,✉}
Ji Hyuck Yang^{1,✉}

1 현대자동차 연구개발총괄본부 해석기술팀 (CAE Tech team, Hyundai Motors R&D Division)
✉ Corresponding author: sunnyspot@hyundai.com, Tel: 031-368-6545

Manuscript received: 2009.11.3 / Accepted: 2010.2.5

The Door hinge is a very important part for door sagging performance of a vehicle. It is divided into two classes as a forge- and press-type according to a manufacturing technique. The press-type door hinge is cheap, but shows low strength. To apply the press-type door hinge to a full-sized car with satisfactory door sagging performance, we optimized the design parameters of the door hinge using the DFSS method. As a result, the effective design parameters of the press-type door hinge with good door sagging performance were obtained.

Key Words: Door Hinge (도어 힌지), Door Sagging (도어 처짐), DFSS (Design For Six Sigma, 6 시그마 설계), DOE (실험계획법), CAE (전산해석)

1. 서론

최근 자동차 개발은 연비향상을 위한 경량화 및 원가절감이 중요한 과제가 되었다. 자동차부품의 경량화를 위해서는 설계 및 제조 기술의 향상, 첨단 경량화 소재 기술의 개발 등이 필요하다.^{1,2}

도어 힌지(Door Hinge)는 도어를 차체에 장착하고 도어의 여닫음을 가능케 하는 부품으로서, 제작방식에 따라 단조타입과 프레스타입으로 나뉜다. 프레스타입은 제작방법이 간편하고 원가가 싸지만 단품 강성이 약하여 일반적으로 중형 이하 차종에 사용되고, 단조타입은 강성이 높으나 제작공정이 복잡하고 비용이 많이 들어 도어가 큰 대형 이상 또는 쿠페 차종에 적용되고 있다.

BENZ E320, LEXUS LS430 등과 같은 해외 고급 승용차에는 주로 단조타입 도어 힌지가 적용되고 있으며, 이는 원가 및 중량 증가의 원인이 되고 있다. 따라서 원가절감 차원에서 프레스타입 도어 힌지 적용이 필요하나 단순히 단조타입에서 프레

스타입으로 변경할 경우 도어상품성 평가항목 중 하나인 도어 처짐(Door Sagging) 성능이 악화된다.

일반적으로 설계 초기 단계에 도어힌지 제작방식을 결정하고 차량의 디자인, 도어 열림성, 주변 패키지 등에 따라 상세 설계를 실시한다. 이 과정에서 도어 처짐 성능이 불만족하면 설계자유도 부족으로 성능 만족이 쉽지 않으며, 특히 시스템이 제조 산포 등의 노이즈(Noise)에 많은 영향을 받게 되면 강건한 설계는 더욱 어렵게 된다. 당사에서 2000 년 이후 제조 산포, 하중 조건 등의 노이즈에 둔감한 강건 설계를 위하여 DFSS(Design For Six Sigma)를 도입하여 최적설계 기술 발전에 큰 효과를 보고 있다.³

그 동안 자동차 도어에 대한 최적화 및 경량화 설계에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔다. Song and Park⁴과 Hwang 등⁵은 합체박판기술을 통해 도어힌지와 이너패널(Inner panel)의 보강제 대신 이너패널과 아우터패널(Outer panel)만으로 프레임강성, 처짐 강성, 벨트라인강성 등을 유지할 수 있음을

보였다. Shin 등⁶은 형상최적설계 기법을 적용하여 도어의 구조 최적 설계안을 제시하기도 하였다. Kang 등⁷은 크리깅 근사모델과 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘에 기초하여 도어 경량화를 위한 구조 최적설계를 실시하였다. 또한, Seo 등⁸은 민감도 해석을 통해 도어프레임 정강성 및 횡강성의 주요 설계인자를 도출하였다.

그러나 조사된 바로는 도어 힌지에 대한 경량화 및 원가절감을 위한 최적설계 연구는 시행된 바 없으며, DFSS 기법을 이용한 강건설계 연구도 시도된 바가 없다. 따라서 본 논문에서는 설계 초기 단계에 DFSS를 이용한 최적설계^{9,10}를 통해 대형차량에 도어 처짐 성능을 만족하는 프레스타입 도어힌지 설계안을 제시함으로써 노이즈에 강건하면서 원가 및 중량을 절감하는 설계를 구현하고자 하였다.

2. 도어 힌지

2.1 도어 힌지 타입 비교

단조타입과 프레스타입 도어힌지를 단품 강성, 원가 및 중량 면에서 비교하면 Table 1 과 같다. 단조타입은 후처리 공정이 복잡하여 원가가 비싸나, 강성 취약부에 대한 국부적인 두께 증대가 가능하여 강성 측면에서 우수하다. 반면에 프레스타입은 간단한 프레스공정에 의해 가공되어 원가가 저렴하나 두께가 일률적인바 강성 측면에서 취약하다.

Table 1 Comparison of door hinge type

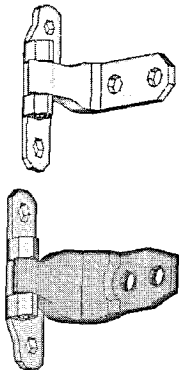
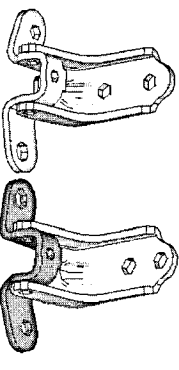
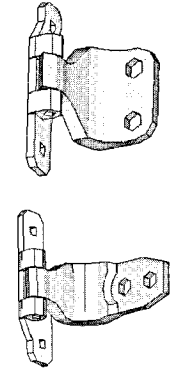
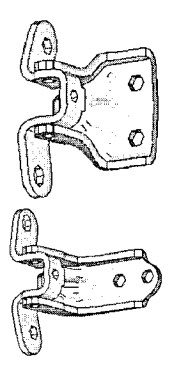
Type	Forge	Press
Strength	high	low
Cost	high	low (1/4 of forge-type)
Weight	high	Low (in general)
Vehicle	E320, LS430, 530i	CAMRY, AVALON

2.2 도어 처짐 성능

도어의 성능을 평가하는 항목은 매우 다양하나 그 중에서 도어힌지와 밀접한 관계가 있는 항목은 도어 처짐 성능이다. 이는 도어에 과도한 하중이 가해졌을 때 도어의 탄성변위가 일정치를 넘지 않도록 규제하는 상품성 항목으로 도어를 닫았을 때 도어 및 차체의 외관품질과 큰 연관이 있다. 실차 상태에서 도어를 약간 열고 래치부에 일정량의 수

직 하방 하중을 가한 후 변위량을 측정한다. 목표치는 경쟁차 성능을 고려하여 설정하며 본 차량에 서는 front door 4.5mm, rear door 5.5mm 이다.

Table 2 Comparison of door sagging performance between forge- and press-type

(a) Front door		
Target 4.5mm ↓	Forge	Press
Shape		
Door sagging (CAE)	4.5mm	5.28mm
(b) Rear door		
Target 5.5mm ↓	Forge	Press
Shape		
Door sagging (CAE)	3.8mm	5.24mm

본 논문에서는 최적설계를 위한 성능평가에 해석(CAE)을 이용하였다. 해석은 범용 CAE TOOL 인 ABAQUS¹¹ 를 사용하였으며 차체와 도어 및 도어 힌지를 모델링하여 도어를 약간 열고 시험 방법대로 하중을 가하여 변위를 측정하였다. 당사 본 해석

과 시험 오차는 약 10% 이내로 양호하게 평가된다.

본 차종에서는 초기 단계부터 단조와 프레스 타입을 모두 검토하였다. 도어힌지와 관련된 도어와 차체의 설계는 동일한 상태에서 도어힌지만 단조에서 프레스타입으로 변경할 경우에 대한 선행 해석을 수행하여 결과를 Table 2 에 나타냈다. 프레스타입 도어힌지를 사용할 경우 rear door 는 목표 만족 수준이나 마진이 크게 줄어들고, front door 는 목표 불만족 수준으로 악화됨을 알 수 있다. 따라서 원가절감을 위해 프레스타입 힌지를 사용할 경우 기본적으로 도어 처짐 성능을 개선하기 위한 추가의 보강재 적용 등의 설계변경이 요구되며 도어 처짐 성능 특성상 도어부와 차체부 단순 보강만으로는 성능 목표 만족이 매우 어려울 것으로 예상된다.

3. DFSS 기법을 이용한 최적설계

본 절에서는 DFSS 기법을 이용한 최적설계 방법으로 도어 처짐 성능에 영향이 큰 설계변수들을 도출하고 이에 대한 개선을 통해 중량을 최소화하면서 도어 처짐 성능을 만족시키는 최적안을 제시하고자 한다.

DFSS 기법의 주요 변수인 S/N 비는 유해한 출력에너지 대비 유용한 출력에너지, 또는 노이즈가 한 일(Work done by Noise) 대비 신호가 한 일(Work done by Signal)로 정의되며, S/N 가 작으면 노이즈의 영향이 큰 것인바 S/N 비를 높이도록 제어인자를 조절하여 노이즈에 영향을 적게 받는 강건한 설계를 얻는 것이 목표이다. 본 시스템의 출력반응인 도어 처짐량은 적을수록 좋으므로 정특성 중 망소특성으로 분류하였고 이때의 S/N 비는 다음과 같다.

$$S/N = 10\log\left(\frac{1}{\bar{y} + \sigma_{n-1}^2}\right) \quad (1)$$

여기서 \bar{y} 는 평균, σ_{n-1} 는 표준편차이다.

시스템에 의도하지 않은 출력을 발생시키는 원인인 노이즈는 타 시스템의 영향과 환경조건과 같은 외부 노이즈, 노화, 열화, 그리고 마모와 같은 내부 노이즈, 제조 산포와 같은 제품간 노이즈가 있다. 여기서는 Table 3 과 같이 노이즈인자를 선정하였고 N1 은 출력반응이 불리한 조합, N2 는 유리한 조합이다.³

Table 3 Noise parameters

	N1	N2
Door welding scattering	10% ↓	10% ↑
Door part thickness scattering	Decrease (design value -3%)	Increase (design value +3%)
Door hemming hardening scattering	Poor (design value -20%)	Excess (design value +20%)

3.1 Front door 최적화

먼저 front door 에 대한 최적화를 실시하였다. Table 4 와 같이 제어인자와 그 수준을 선정하였다. 여기서 초기 수준은 모든 제어인자에서 1 수준이며 프레스타입 단품강성이 불리한 바 제어인자의 수준을 강성이 개선되는 방향으로 설정하였다.

Table 4 Control factors and their levels for the front door

	Control factor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Span length	353mm	358mm	-
B	Vehicle front direction bolting position of door-side upper hinge lower part	present	6mm move	12mm move
C	Vehicle front direction bolting position of door-side lower hinge upper part	present	4mm move	8mm move
D	Length of bolting positions of door-side lower hinge	84mm	90mm	96mm
E	Length of bolting positions of body-side lower hinge	25.3mm	30.3mm	35.3mm
F	Body-side flange length of body-side hinge	11mm	12mm	13mm
G	Hinge pin-side flange length of body-side hinge	16mm	18mm	20mm
H	Neck-part flange length of body-side hinge	15mm	16mm	17mm

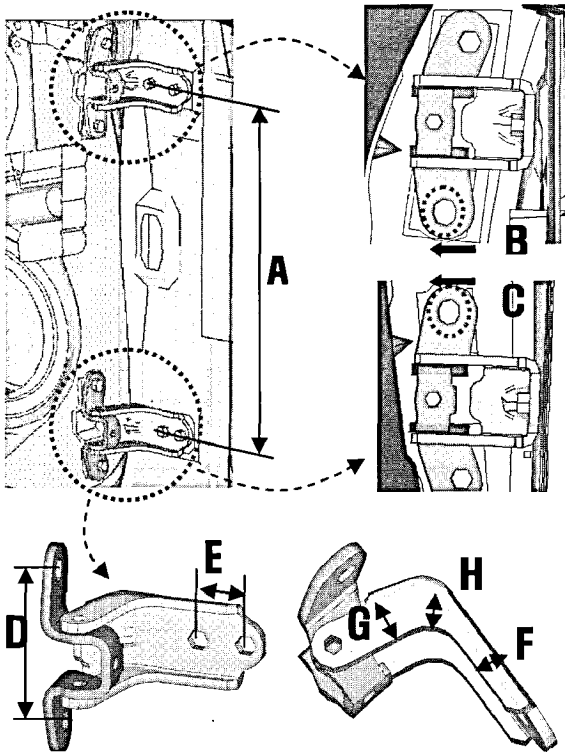


Fig. 1 Control factors for the front door

Fig. 1 에 제어인자의 상세 그림을 나타냈다.

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 직교표를 이용하여 Table 5 와 같이 18 개의 case 에 대해 모델을 구성하고 도어 처짐 해석을 실시하여 노이즈 조건 별로 얻은 출력값으로부터 평균과 S/N 를 계산하였다. 직교표의 특성을 이용하여 18 개 case 결과만으로 제어인자 8 개의 민감도를 파악할 수 있다.

Table 5 에 직교표에 의한 해석결과를 나타내었다. 모든 실험에서 가혹 조건 N1 의 처짐 결과가 높게 나와 노이즈 전략 수립 시 조합이 올바르게 선정되었음을 알 수 있다.

Fig. 2 에 제어인자의 영향도를 도식적으로 나타냈다. S/N 비 및 평균값의 주 영향 인자는 A,B,C,E 로 평가되는데, 제어인자 A,B,C,E 를 최적으로 설계하면 도어처짐량을 줄이면서 산포 역시 줄일 수 있을 것으로 기대된다

Table 6 에 초기사양과 최적사양에 대한 추정값을 비교하였다. 초기설계 대비 S/N 비 8.63 이득으로 63%의 산포감소 효과와 도어처짐량 5.22mm 에서 3.97mm 로 1.25mm 개선되는 효과가 예상된다

Table 5 Mean and S/N ratio of L_{18} orthogonal array for the front door

	Inside array								Outside array		Mean	S/N ratio
	A	B	C	D	E	F	G	H	N1	N2		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	5.66	4.78	5.22	-5.0
2	1	1	2	2	2	2	2	2	5.22	4.39	4.81	-2.7
3	1	1	3	3	3	3	3	3	4.85	4.05	4.45	-0.2
4	1	2	1	1	2	2	3	3	5.12	4.31	4.72	-2.1
5	1	2	2	2	3	3	1	1	4.93	4.16	4.55	-0.9
6	1	2	3	3	1	1	2	2	5.12	4.36	4.74	-2.2
7	1	3	1	2	1	3	2	3	5.01	4.26	4.64	-1.5
8	1	3	2	3	2	1	3	1	4.89	4.18	4.54	-0.8
9	1	3	3	1	3	2	1	2	4.63	3.96	4.30	1.3
10	2	1	1	1	3	3	2	1	5.02	4.21	4.62	-1.5
11	2	1	2	1	1	3	3	2	5.08	4.28	4.68	-1.9
12	2	1	3	2	2	1	1	3	4.99	4.23	4.61	-1.4
13	2	2	1	2	3	1	3	2	4.86	4.10	4.48	-0.4
14	2	2	2	3	1	2	1	3	4.97	4.23	4.60	-1.3
15	2	2	3	1	2	3	2	1	4.71	4.00	4.36	0.7
16	2	3	1	3	2	3	1	2	4.73	4.02	4.38	0.5
17	2	3	2	1	3	1	2	3	4.57	3.91	4.24	1.9
18	2	3	3	2	1	2	3	1	4.65	4.01	4.33	1.1

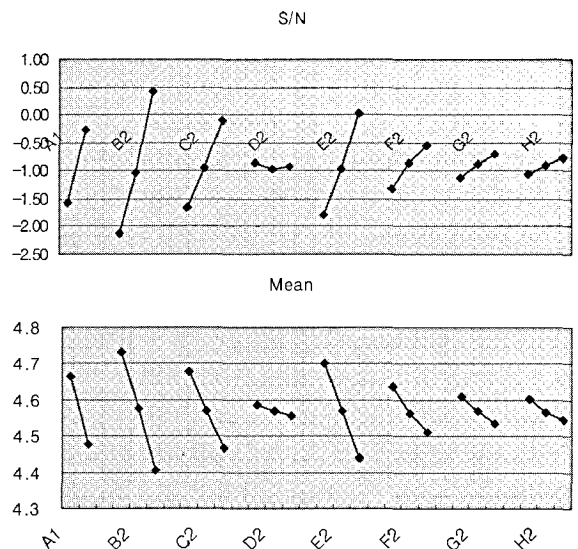


Fig. 2 The effect of control factors for the front door

Table 6 The estimation of the initial and optimum values for the front door

factor	A	B	C	D	E	F	G	H	Prediction	
									S/N ratio	Mean
Initial	1	1	1	1	1	1	1	1	-5.08	5.22
Optimum	2	3	3	1	3	3	3	3	3.55	3.97
gain									8.63	1.25

Table 7 The optimum design for the front door

Control factor	Present	Optimum design at orthogonal array		Final optimum design	Remarks
		S/N ratio	Mean		
A	1	2	2	1	Trade off
B	1	3	3	3	S/N ratio ↑, Mean ↓
C	1	3	3	3	S/N ratio ↑, Mean ↓
D	1	1	3	1	Trade off
E	1	3	3	3	S/N ratio ↑, Mean ↓
F	1	3	3	3	S/N ratio ↑, Mean ↓
G	1	3	3	1	Trade off
H	1	3	3	2	Trade off

그러나 실제로는 여러 설계 제한성으로 인해 모든 제어인자를 최적사양으로 선정하는 것이 불가능한 경우가 많다. 여기서도 S/N 비와 평균값에 영향도가 높은 B,C,E,F 인자는 최적사양으로 선정하였으나, A 인자는 설계 변경량 과다, D 인자는 원가절감(Hinge bracket 변경불가), G 와 H 인자는 도어 최대 열림 시 간섭 문제로 trade off를 허용하여 Table 7 과 같이 최종 최적사양을 선정하였다.

선정된 최종 최적사양에 대한 확인 해석 결과를 Table 8 에 나타냈다. Table 6 의 S/N 비 최적사양과 비교하면 trade off 의 영향으로 S/N 비나 평균값의 이득이 감소함을 알 수 있다.

Table 8 Verification of the optimum design for the front door

Design	N1	N2	S/N ratio	Mean
Initial	5.66	4.78	-4.97	5.22
Optimum	4.57	3.90	1.89	4.24

Table 9 에 초기 및 최적사양에 대한 추정치와 확인 해석 결과를 비교하였다. 직교표의 가법성을 이용한 추정치와 실제 모델에 대한 확인 결과가 초기사양이나 최적사양 모두에 대해 잘 맞고 있음을 알 수 있다.

따라서 최적사양을 적용하면 S/N 비 6.86 이득으로 55%의 산포 감소와 도어처짐량 5.22mm 에서 4.24mm 로 0.98mm 의 개선효과를 얻을 수 있다. 또한, 원가는 대당 12,000 원이 절감되고, 증량은 대당 198g 절감이 예상된다.

Table 9 Comparison of the estimation and verification of the initial and optimum design for the front door

	Prediction		Verification	
	S/N ratio	Mean	S/N ratio	Mean
Initial design	-5.08	5.22	-4.97	5.22
Optimum design	1.72	4.25	1.89	4.24
Gain	6.80	0.97	6.86	0.98

Table 10 Control factors and their levels for the rear door

	Control factor	Level 1	Level 2	Level 3
A	Span length	339mm	344mm	-
B	Vehicle front direction bolting position of door-side upper hinge lower part	present	4.5mm move	9mm move
C	Vehicle front direction bolting position of door-side lower hinge upper part	present	1.5mm move	3mm move
D	Length of bolting positions of door-side lower hinge	84mm	90mm	96mm
E	Length of bolting positions of body-side lower hinge	25.3mm	30.3mm	35.3mm
F	Body-side flange length of body-side hinge	11mm	12mm	13mm
G	Hinge pin-side flange length of body-side hinge	17mm	18mm	20mm
H	Neck-part flange length of body-side hinge	12mm	14mm	16mm

3.2 Rear door 최적화

3.1 과 같은 방법으로 rear door 에 대한 최적화를 실시하였다. Table 10 과 같이 제어인자와 그 수준을 선정하였고, Fig. 3 에 선정된 각각의 제어인자의 그림을 자세히 나타냈다.

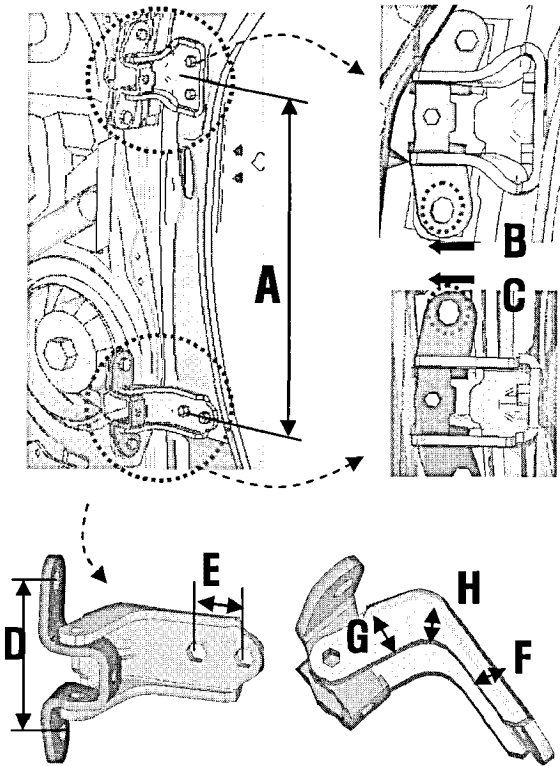


Fig. 3 Control factors for the rear door

다. 여기서 front door 보다 S/N 비와 도어처짐량의 개선 효과가 적은 이유는 rear door 에서의 설계 자유도 제약으로 주요 인자인 B 와 C 인자의 변경 폭이 front door 대비 적었기 때문이다.

Front door 에서와 마찬가지로 rear door 에서도 설계 자유도를 고려하여 S/N 비와 평균값에 영향도가 높은 B,C,E,F 는 최적사양으로 선정하고, G 인자는 S/N 비 우선, A 인자는 설계변경량 과도, D 인자는 원가절감(Hinge bracket 변경불가), H 인자는 도어 최대 열림 시 간섭 문제로 trade off 를 허용하여 Table 13 과 같이 최종 최적사양을 선정하였다

Table 11 Mean and S/N ratio of L_{18} orthogonal array for the rear door

	Inside array								Outside array		Mean	S/N ratio
	A	B	C	D	E	F	G	H	N1	N2		
	1	2	3	4	5	6	7	8				
1	1	1	1	1	1	1	1	1	5.70	4.79	5.24	-1.26
2	1	1	2	2	2	2	2	2	5.51	4.64	5.08	0.05
3	1	1	3	3	3	3	3	3	5.35	4.51	4.93	1.33
4	1	2	1	1	2	2	3	3	5.48	4.59	5.04	0.31
5	1	2	2	2	3	3	1	1	5.38	4.54	4.96	1.04
6	1	2	3	3	1	1	2	2	5.50	4.64	5.07	0.13
7	1	3	1	2	1	3	2	3	5.43	4.57	5.00	0.65
8	1	3	2	3	2	1	3	1	5.36	4.54	4.95	1.18
9	1	3	3	1	3	2	1	2	5.29	4.46	4.88	1.82
10	2	1	1	3	3	2	2	1	5.26	4.42	4.84	2.10
11	2	1	2	1	1	3	3	2	5.43	4.55	4.99	0.74
12	2	1	3	2	2	1	1	3	5.33	4.49	4.91	1.47
13	2	2	1	2	3	1	3	2	5.24	4.40	4.82	2.36
14	2	2	2	3	1	2	1	3	5.29	4.45	4.87	1.89
15	2	2	3	1	2	3	2	1	5.29	4.45	4.87	1.85
16	2	3	1	3	2	3	1	2	5.15	4.34	4.75	3.14
17	2	3	2	1	3	1	2	3	5.16	4.33	4.74	3.10
18	2	3	3	2	1	2	3	1	5.26	4.44	4.85	2.12

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 직교표를 이용하여 Table 11 과 같이 18 개의 case 에 대해 모델을 구성하고 도어 처짐 해석을 실시하여 노이즈 조건별로 얻은 출력값으로부터 평균과 S/N 를 계산하였다.

Table 11 에 직교표에 의한 해석결과를 나타내었고, Fig. 4 에 제어인자의 영향도를 도식적으로 나타냈다. S/N 비 및 평균값의 주 영향 인자는 A,B,E 인자로 평가되는데, 제어인자 A,B,E 를 최적으로 설계하면 도어처짐량을 줄이면서 산포도 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

Table 12 에 초기사양과 최적사양에 대한 추정값을 비교하였다. 초기설계 대비 S/N 비 5.38 이득으로 46%의 산포감소 효과와 도어처짐량 5.24mm 에서 4.62mm 로 0.62mm 개선되는 효과가 예상된

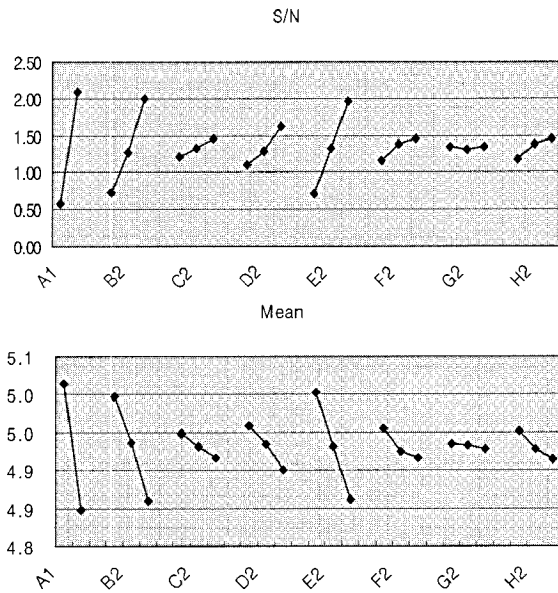


Fig. 4 The effect of control factors for the rear door

Table 12 The estimation of the initial and optimum values for the rear door

								Prediction		
factor	A	B	C	D	E	F	G	H	S/N ratio	Mean
Initial	1	1	1	1	1	1	1	1	-1.32	5.24
Optimum	2	3	3	3	3	3	1	3	4.06	4.62
gain									5.38	0.62

Table 13 The optimum design for the rear door

Control factor	Present	Optimum design at orthogonal array		Final optimum design	Remarks
		S/N ratio	Mean		
A	1	2	2	1	Trade off
B	1	3	3	3	S/N ratio↑, Mean↓
C	1	3	3	3	S/N ratio↑, Mean↓
D	1	3	3	1	Trade off
E	1	3	3	3	S/N ratio↑, Mean↓
F	1	3	3	3	S/N ratio↑, Mean↓
G	1	1	3	1	S/N ratio↑
H	1	3	3	1	Trade off

선정된 최종 최적사양에 대한 확인 해석 결과를 Table 14 에 나타냈다. Table 12 의 최적사양과 비교하면 trade off 의 영향으로 S/N 비나 평균값의 이득이 감소함을 알 수 있다.

Table 14 Verification of the optimum design for the rear door

Design	N1	N2	S/N ratio	Mean
Initial	5.70	4.79	-1.26	5.24
Optimum	5.31	4.47	1.71	4.89

Table 15 에 초기 및 최적사양에 대한 추정치와 확인 해석 결과를 비교하였다. 가법성을 이용한 추정치와 실제 모델을 이용한 확인치가 초기설계나 최적사양 모두에 대해 잘 맞고 있음을 알 수 있다.

따라서 최적사양을 적용하면 S/N 비 2.97 이득으로 29%의 산포 감소와 도어 처짐량 5.24mm 에서 4.89mm 로 0.35mm 의 개선효과를 얻을 수 있다. 또한, 원가는 front door 에서와 마찬가지로 대당 12,000 원이 절감되고, 중량은 대당 435g 절감이 예상된다

Table 15 Comparison of the estimation and verification of the initial and optimum design for the rear door

	Prediction		Verification	
	S/N ratio	Mean	S/N ratio	Mean
Initial design	-1.32	5.24	-1.26	5.24
Optimum design	1.73	4.89	1.71	4.89
Gain	3.05	0.35	2.97	0.35

본 연구의 결과를 토대로 front 및 rear door 힌지 최적화 사양이 설계에 반영되었다. 최종적으로 도어힌지를 단조타입에서 프레스타입으로 대체하면서 강건성 증대, 원가 절감, 중량 절감 효과를 얻을 수 있었으며 도어 처짐 강성은 front door 는 단조대비 우세, rear door 는 다소 불리하나 목표 만족 수준을 달성하였다.

4. 결론

본 연구에서는 대형차 도어힌지에 기존에 사용되던 단조타입 대신 제조원가가 저렴한 프레스타

입을 사용하면서 강성 저하를 막기 위하여 DFSS 기법에 의거한 최적화 해석을 수행하였고 그 결과를 설계에 반영하여 다음과 같은 효과를 얻었다.

(1) 차종 개발 시 도어힌지는 주로 전(前)차종에 공용화되어 왔기 때문에 도어 처짐 강성에 영향을 미치는 주요 설계 변수를 알 수 없었다. 이에 최초 시도된 본 연구를 통해 도어힌지 설계변수들이 도어 처짐 성능에 미치는 정량적 영향을 파악할 수 있었다. 특히 도어쪽 힌지의 차량전방 방향 마운팅 위치가 큰 영향을 미침을 파악하였으며, 이는 별도의 중량 증대없이 도어 처짐 성능을 향상시킬 수 있는 매우 효과적인 설계변수로 밝혀졌다. 통상적으로 도어 처짐 성능을 0.1mm 개선하기 위해서 강성보강에 100g 정도가 소요됐던 것을 고려하면 상기 설계변수를 이용하여 중량 증대없이 도어 처짐을 개선할 수 있다는 것은 매우 고무적인 효과라 할 수 있다.

(2) 단조타입 대신 제조원가가 저렴한 프레스타입 도어힌지를 사용함으로써 대당 24,000 원의 원가 절감 효과를 얻었으며, 이는 판매대수를 감안하면 연간 수십억 원의 효과라 할 수 있다.

(3) 도어 처짐 강성 측면에서는 front door 는 단조 대비 동등 수준 이상의, rear door 는 단조 대비 다소 불리하나 개발 목표 만족 수준의 성능을 얻었다.

(4) 최적화 해석 결과로 얻어진 최적 설계안은 프레스타입이 단조타입보다 중량 면에서도 절감이 가능함을 보였다. 이는 통상적으로 프레스타입이 강성이 부족하여 단조타입과 같은 강성을 위해서는 중량이 오히려 증대되어야 했던 단점을 극복할 수 있음을 의미한다.

참고문헌

1. Shin, D. M. and Lim, S. H., "Vehicle design - Development and Body," Hyung Sul, 1997.
2. Lee, H. B., "Vehicle design," Won Chung, 1998.
3. Hyundai-Kia Motors, "DFSS Black Belt Process - 1,2,3,4," 2005.
4. Song, S. I. and Park, G. J., "Optimal Design of Lightweight High Strength Door with Tailored Blank," Transactions of KSAE, Vol. 10, No. 2, pp. 174-185, 2002.
5. Hwang, W. S., Lee, D. Y. and Ha, M. S., "Structural Design of Door Assembly to Apply Tailor Welded Blanks Technique," Transactions of KSAE, Vol. 10, No. 2, pp. 228-233, 2002.
6. Shin, J. K., Lee, K. H., Song, S. I. and Park, G. J., "Automotive Door Design with the ULSAB Concept Using Structural Optimization," Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol. 23, No. 4, pp. 320-327, 2002.
7. Kang, D. H., Lee, K. H., Park, Y. C., Song, B. C., Kong, H. G. and Song, X., "Shape Optimization of an Automotive Door," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 481-482, 2007.
8. Seo, K. D., Kim, D. H. and Oh, S. H., "Analysis of major Design Factors for Door Frame Stiffness At a High Speed Wind Tunnel Test," Proc. of KSAE Spring Conference, Vol. 3, pp. 1289-1294, 2007.
9. Ranjit, K. R., "Design of Experiments Using the Taguchi Approach," Wiley-Interscience, 2001.
10. Park, S. H., "Modern Design of Experiments - Revised edition," Min Young, 2003.
11. Habbitt Karlsson & Sorensen Inc., "ABAQUS Keywords Manual Ver.6.6," 2005.