

측면충돌 성능 향상을 위한 고강도 강판의 적용 및 단순 센터필러 모델의 최적경량설계

배 기 현¹⁾ · 허 훈^{*1)} · 송 정 한¹⁾ · 김 세 호²⁾

한국과학기술원 기계공학과¹⁾ · 대구대학교 자동차 · 산업 · 기계공학부²⁾

Light-weight Design with a Simplified Center-pillar Model for Improved Crashworthiness

Gihyun Bae¹⁾ · Hoon Huh^{*1)} · Junghan Song¹⁾ · Seho Kim²⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology,
Daejeon 305-701, Korea

²⁾School of Automotive, Industrial and Mechanical Engineering, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea
(Received 17 March 2006 / Accepted 3 May 2006)

Abstract : This paper is concerned with the light-weight design of a center-pillar assembly for the high-speed side impact of vehicle using advanced high strength steels(AHSS). Steel industries continuously promote the ULSAB-AVC project for applying AHSS to structural parts as an alternative way to improve the crashworthiness and the fuel efficiency because it has the superior strength compared to the conventional steel. In order to simulate deformation behavior of the center-pillar assembly, a simplified center-pillar model is developed and parts of that are subdivided employing tailor-welded blanks(TWB) in order to control the deformation shape of the center-pillar assembly. The thickness of each part which constitutes the simplified model is selected as a design parameter. Factorial design is carried out aiming at the application and configuration of AHSS to simplified side-impact analysis because it needs tremendous computing time to consider all combinations of parts. In optimization of the center-pillar, S-shaped deformation is targeted to guarantee the reduction of the injury level of a driver dummy in the crash test. The objective function is constructed so as to minimize the weight and lead to S-shape deformation mode. Optimization also includes the weight reduction comparing with the case using conventional steels. The result shows that the AHSS can be utilized effectively for minimization of the vehicle weight and induction of S-shaped deformation.

Key words : Advanced high strength steel(고강도 강판), Side impact(측면충돌), Simplified center-pillar model(단순 센터필러 모델), S-shaped deformation(S형 변형형상), Weight minimization(중량최소화)

1. 서론

차량 경량화는 제조사에서 연비 효율의 개선 및 강화되는 배기가스 규제에 대응하기 위한 중점과제로 추진되고 있다. 이와 동시에 충돌 안전성에 관한 법규 및 상품성 평가가 강화되면서 충돌 안전성능

이 우수한 차량을 개발하기 위하여 노력하고 있다. 따라서 차량 경량화와 충돌 안전성 확보라는 두 가지의 상반되는 요구를 만족하면서 설계되어야 한다. 최근에는 도시 지역을 중심으로 측면충돌에 의한 사고 빈도와 사망률이 증가하고 있어 측면 충돌에 대한 안전 법규 및 상품성 평가 기준이 지속적으로 강화되고 있다. 자동차 업계는 충돌 관련법규 및

*Corresponding author, E-mail: hhuh@kaist.ac.kr

상품성 시험에서 좋은 결과를 얻기 위하여 충돌해석 및 실차실험을 수행하고 원하는 충돌성능을 확보하기 위한 연구를 진행하고 있다. 차량 측면충돌 시 측면부재의 강도를 유지하면서 차량 경량화의 요구를 만족하기 위하여 설계 구조의 최적화가 수행되고 있으며 재단용접강판(TWB), 하이드로포밍과 같은 신 성형기법을 도입함과 동시에 차체용 강판을 고강도 강판(Advanced High Strength Steel¹⁾)으로 대체하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적인 예로 국제철강협회(IISI)의 주도하에 진행한 ULSAB-AVC (Ultra Light Steel Auto Body - Advanced Vehicle Concepts)를 들 수 있다.

차체 부재의 최적 설계에 관한 연구로 Na 등¹⁾은 단순구속 경계조건에 대한 프론트사이드 멤버의 충돌성능향상 및 차량 경량화를 위하여 최적화를 수행하였다. Marklund와 Nilsson²⁾은 시간에 따른 경계조건을 적용하여 센터필러를 사각관 형상의 단순 모델을 구성하였으며, 측면충돌 시에 센터필러 모델의 형상 최적화를 수행하였다. Bae 등³⁾은 비탄성 불연속 스프링요소를 사용하여 실차와의 등가 경계조건을 적용한 단순 센터필러 모델을 제안하였으며 충돌성능 향상과 차량 경량화를 동시에 만족시키기 위하여 두께 최적화를 수행하였다.

본 논문에서는 측면충돌 시에 경량화와 충돌성능 향상의 요구를 동시에 달성하기 위하여 일반 차체용 강판으로 구성된 센터필러 부재들을 고강도 강판으로 대체하고 최적설계를 통하여 S형 변형형상을 유도하였다. 최적화에 소요되는 시간을 효과적으로 줄이기 위하여 신차 설계 단계에서도 측면부재 어셈블리 설계에 활용할 수 있는 단순 센터필러 모델을 도입하였다. 각 차체 부재에 적용될 고강도 강판의 강종 결정을 위하여 요인설계를 수행하였으며 설계 조합의 효율적인 고려를 위하여 설계 변수들을 집합으로 구성하였다. 고강도 강판으로 대체된 단순 센터필러 모델을 사용하여 경량화와 충돌성능 향상을 위한 두께 최적화를 수행하였다. 일반 차체용 강판과 고강도 강판의 경량화 효과 및 충돌성능을 정량적으로 비교하여 고강도 강판의 적용에 따른 장점을 분석하였다.

2. 단순측면충돌

2.1 측면충돌 상품성 시험

측면충돌에 관한 상품성을 평가하기 위하여 대표적인 방법 중 하나인 북미 US-SINCAP 시험법⁴⁾에 근거하여 해석을 수행하였다. US-SINCAP은 27°의 경사를 가진 이동대차(MDB: Moving Deformable Barrier)가 정지차량의 측면을 38.5 mph(62 km/h)의 속도로 충돌하는 시험 방법이다. 본 논문에서 사용한 US-SINCAP 시험 방법을 Fig. 1에 도시하였다.

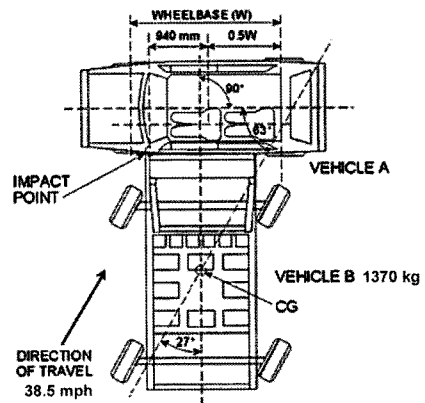


Fig. 1 Schematic description of US-SINCAP test

2.2 단순 측면충돌모델 및 해석조건

차량 전체 모델을 통한 충돌해석의 결과를 바탕으로 최적화를 수행할 경우 시간이 많이 소요되는 문제점이 발생한다. 차량 초기 설계 단계에서는 기본적인 필러 형상을 빠른 시간에 설계하는 것이 매우 중요하다. 따라서 시간효율의 개선을 목적으로 등가경계조건을 고려한 단순 센터필러 모델³⁾을 이용하여 충돌해석 및 최적화를 수행하였다. Fig. 2에 도시한 단순 모델에서는 등가 경계조건을 적용하기 위하여 지붕부와 바닥부에 비탄성불연속 스프링 요소를 사용하고 있다. 스프링 요소의 강성은 실차해석의 결과를 바탕으로 구성된 하중-변위 곡선으로 표현된다.

충돌해석은 IMB p690에서 2CPU를 사용하여 이루어졌으며 해석에 사용된 유한요소해석 프로그램은 LS-DYNA3D v970이다. 단순모델을 도입하였을 경우 약 83%의 시간 효율이 개선되었다.³⁾

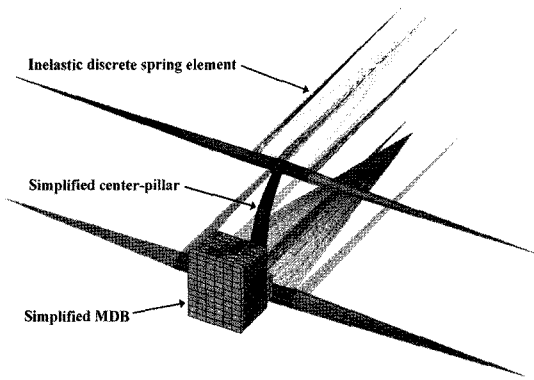


Fig. 2 Simplified center-pillar model and MDB

3. B-필러의 변형형상 최적화

측면충돌 시 차체 측면부재의 변형을 S형으로 유도하여 운전자의 안전 공간을 확보함과 동시에 차량 경량화를 달성하기 위하여 고강도 강판을 사용하여 두께 최적화를 수행하였다. 고강도 강판은 ULSAB-AVC 모델에서 측면 부재로 주로 사용되는 DP강 계열로 선정하였으며 변형률 속도에 따른 유동응력선도를 Fig. 3에 도시하였다. 단순모델에서는 유연한 형상변화를 위하여 재단용접강판을 사용하였으며 민감도 해석을 수행하여 설계 대상 부재 중 Fig. 4와 같이 기여도가 높은 7개의 부재를 설계 대상부재로 선정하였다. 각 부재의 초기 두께와 재료의 물성은 Table 1에 제시하였다. 최적화는 반응표면법을 사용하여 수행하였으며 일반 차체용 강판을 통한 최적화 결과³⁾를 초기 설계로 선정하였다.

3.1 목적함수 및 제한조건

고강도 강판의 최적화를 위하여 목적함수와 제한

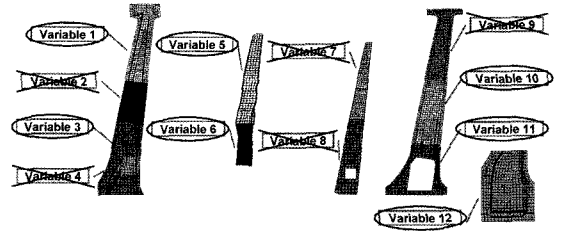


Fig. 4 Selected design variables after the sensitivity analysis

Table 1 Initial sheet thickness and mechanical properties of conventional steels

Variable	Thickness (mm)	Material Name	E (GPa)	ν	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)
1	2.53279	SPRC35E	207	0.29	197	350
3	1.47201	SPRC35E	207	0.29	197	350
5	1.90156	SPRC35E	207	0.29	197	350
6	1.88330	SPRC35E	207	0.29	197	350
10	0.92457	SPRC35E	207	0.29	197	350
11	1.50266	SPRC35E	207	0.29	197	350
12	1.43755	SAPH38	207	0.29	268	380

조건은 일반 차체용 강판의 최적화에 사용한 수식³⁾을 사용하였다. 목적함수의 정의를 위한 목표 변형형상은 IIHS(Insurance Institute of Highway Safety)의 구조등급⁵⁾을 참고하고 있으며 이를 Fig. 5에 도시하였다. 목표 변형형상은 골반부에서는 IIHS의 구조등급을 만족하며 흉부와 두부에서 안전공간을 확보할 수 있도록 정의하였다. 목적함수는 단순모델 해석에서 얻어진 변형형상과 목표 변형형상 간의 차를 최소자승법으로 수식화하여 구성하였다. 최대 침입량이 발생하는 골반부에서는 125 mm의 제한선을 만족하며 흉부에서는 초기 침입량을 하한선으로 선정하여 제한조건을 부가하였다. 본 논문에서는

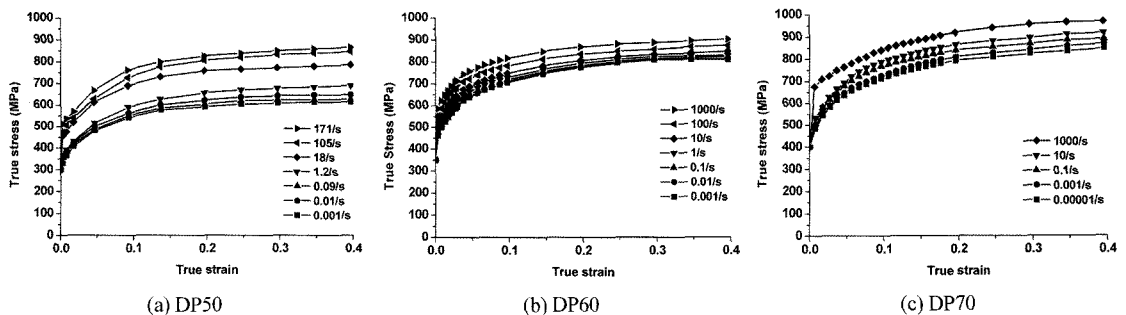


Fig. 3 Flow stress curves of DP steels with the variation of strain rates

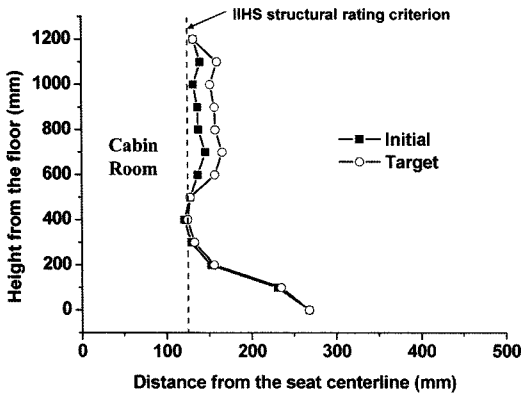


Fig. 5 Target shape for the thickness optimization

고강도 강판의 도입을 통한 차량 경량화를 위하여 기존의 중량 상한선을 초기중량 대비 90% 수준으로 수정하였다. 이를 통하여 구성된 목적함수와 제한 조건의 식은 아래와 같다.

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{y_i}{y_t}\right)^2 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{subject to } & 125.00 \text{ mm} \leq y_p \\ & 145.70 \text{ mm} \leq y_r \\ & m \leq 0.90m_0 \end{aligned}$$

y_i 는 좌석 중심선과 목표형상 간의 거리, y_p 는 좌석 중심선과 골반부 간의 거리, y_r 은 좌석 중심선과 흉부 간의 거리를 나타내며 Fig. 5에 도시한 바와 같이 바닥부로부터 100 mm 간격으로 측정점을 두어 총 13개의 측정점을 가진다. m_0 는 최적화 대상 부재의 초기 중량이다.

3.2 고강도 강판의 도입

충돌 안전성을 만족함과 동시에 차량 경량화를 달성하기 위하여 측면부재에 고강도 강판을 도입하였다. 고강도 강판은 일반 차체용 강판에 비해 강도 면에서 우수하기 때문에 차량 경량화와 충돌안전성의 요구를 동시에 만족할 수 있는 장점이 있다.

3.2.1 설계변수의 분류

고강도 강판을 사용하기 위해서는 어느 부품에 어떤 강종을 사용해야 할지를 결정하여야 한다. 그러나 고강도 강판의 모든 설계조합을 고려하는 것은 현실적으로 불가능하므로 합리적인 고강도 강판의 도입을 위하여 같은 경향을 가지는 부재를 분류하여 집합으로 구성하였다. 본 논문에서는 세 가지의 분류 방법을 제안하였다. 첫 번째 방법은 차체 플로어로부터의 높이를 고려한 분류이다. 이 방법은 부재의 높이에 따른 변형 형상의 직접적인 영향을 고려한 것이다. 골반부와 흉부의 위치를 고려하여 300 mm와 600 mm의 높이를 분류 기준으로 선정하였다. 두 번째 방법은 일반 차체용 강판에 대한 단순 센터필러 모델의 최적화에서 중량 제한조건을 적용한 경우의 결과를 두께 변화량에 따라 분류한 것이다. 세 번째 방법은 중량 제한조건을 제거하여 최적화를 수행한 경우의 두께 변화량을 고려하여 분류한 것이다. 높이에 따른 분류 방법은 Fig. 6에 도시하였고 단순 센터필러 모델의 최적화 결과를 바탕으로 한 두 번째, 세 번째 분류 방법은 Table 2에 분류 기준과 함께 제시하였다.

Table 2 Grouping of design variables with the thickness change (Method 2 & 3)

Design variable	Initial thickness (mm)	Method 2: with weight constraint (mm)		Method 3: without weight constraint (mm)	
		Optimum (thickness change)	Set number	Optimum (thickness change)	Set number
1	1.4	2.53279 (+1.13279)	1	2.42110 (+1.02110)	1
3	1.4	1.47201 (+0.07201)	2	1.42987 (+0.02987)	2
5	2.3	1.90156 (-0.39844)	3	2.73219 (+0.43219)	1
6	2.3	1.88330 (-0.41670)	3	2.47744 (+0.17744)	2
10	1.2	0.92457 (-0.27543)	2	1.64509 (+0.44509)	1
11	2.8	1.50266 (-1.29734)	3	2.46092 (-0.33908)	3
12	1.6	1.43755 (-0.16245)	2	1.57651 (-0.02349)	3

* Thickness change with weight constraint (method 2): Set3 ≤ -0.3mm, -0.3mm ≤ Set2 ≤ 0.0mm, 0.0mm ≤ Set1

* Thickness change without weight constraint (method 3): Set3 ≤ 0.0mm, 0.0mm ≤ Set2 ≤ 0.3mm, 0.3mm ≤ Set1

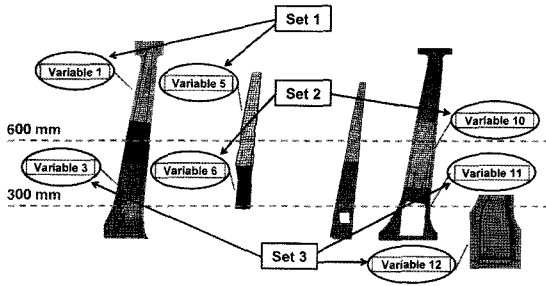


Fig. 6 Grouping of design variables with the height from the floor (Method 1)

3.2.2 요인설계법을 통한 고강도 강판의 도입

제시된 세 가지 분류 방법으로 기존에 사용하던 일반 차체용 강판을 고강도 강판으로 대체하여 3수준의 요인설계를 수행하였으며, 각 분류 방법의 결과를 Table 3, 4, 5에 제시하였다. 해석에 사용된 각 부재의 두께는 고강도 강판의 최적화를 위한 초기 설계값이며 이는 일반 차체용 강판의 최적화 결과이다. Table 1에 자세한 값이 제시되어 있다. 설계조합은 (set1, set2, set3)를 나타내며 강도에 따라

Table 3 Results of factorial design - Method 1 (height from the floor)

Run	Design set	Objective value	Distance (mm)		Variation (mm)	Run	Design set	Objective value	Distance (mm)		Variation (mm)
			Pelvis	Rib					Pelvis	Rib	
1	(1,1,1)	0.41387	114.12	141.79	-21.09	15	(2,2,3)	0.04057	127.49	155.85	6.34
2	(1,1,2)	0.10515	124.61	144.68	-7.71	16	(2,3,1)	0.10373	116.39	146.01	-14.6
3	(1,1,3)	0.05832	132.11	153.90	9.01	17	(2,3,2)	0.03841	128.89	156.81	8.70
4	(1,2,1)	0.13981	114.39	142.60	-20.01	18	(2,3,3)	0.04824	125.21	153.95	2.16
5	(1,2,2)	0.07970	126.33	148.92	-1.75	19	(3,1,1)	0.12680	114.17	143.33	-19.50
6	(1,2,3)	0.06174	128.47	152.39	3.86	20	(3,1,2)	0.05780	125.27	151.51	-0.22
7	(1,3,1)	0.14561	112.89	142.36	-21.75	21	(3,1,3)	0.03750	130.07	156.86	9.93
8	(1,3,2)	0.07853	126.32	149.04	-1.64	22	(3,2,1)	0.09979	116.61	146.30	-14.09
9	(1,3,3)	0.07034	123.41	150.63	-2.96	23	(3,2,2)	0.04083	126.80	155.52	5.32
10	(2,1,1)	0.11681	115.11	144.25	-17.64	24	(3,2,3)	0.05177	123.92	153.23	0.15
11	(2,1,2)	0.05753	125.51	151.63	0.14	25	(3,3,1)	0.12629	112.63	144.65	-19.72
12	(2,1,3)	0.03884	132.47	158.04	13.51	26	(3,3,2)	0.04060	128.74	156.04	7.78
13	(2,2,1)	0.10318	116.12	146.10	-14.78	27	(3,3,3)	0.05214	123.87	153.17	0.04
14	(2,2,2)	0.04751	126.56	154.16	3.72						

Table 4 Results of factorial design - Method 2 (thickness change with the weight constraint)

Run	Design set	Objective value	Distance (mm)		Variation (mm)	Run	Design set	Objective value	Distance (mm)		Variation (mm)
			Pelvis	Rib					Pelvis	Rib	
1	(1,1,1)	0.15036	113.69	141.22	-22.09	15	(2,2,3)	0.04685	127.48	154.37	4.85
2	(1,1,2)	0.12281	115.92	144.10	-16.98	16	(2,3,1)	0.04246	132.91	157.54	13.45
3	(1,1,3)	0.12853	115.54	143.48	-17.98	17	(2,3,2)	0.04700	127.37	154.38	4.75
4	(1,2,1)	0.04609	130.78	156.59	10.37	18	(2,3,3)	0.05086	124.40	153.39	0.79
5	(1,2,2)	0.04765	127.77	155.59	6.36	19	(3,1,1)	0.14238	113.52	141.35	-22.13
6	(1,2,3)	0.05775	128.03	153.61	4.64	20	(3,1,2)	0.10953	115.76	154.10	-7.14
7	(1,3,1)	0.04807	128.79	155.22	7.01	21	(3,1,3)	0.11017	116.35	144.70	-15.95
8	(1,3,2)	0.05910	126.48	153.24	2.72	22	(3,2,1)	0.07321	121.28	149.37	-6.35
9	(1,3,3)	0.06271	124.12	152.43	-0.45	23	(3,2,2)	0.03768	128.24	156.65	7.89
10	(2,1,1)	0.13643	114.48	141.58	-20.94	24	(3,2,3)	0.04711	127.20	154.29	4.49
11	(2,1,2)	0.12619	114.09	143.57	-19.34	25	(3,3,1)	0.04056	128.87	155.80	7.67
12	(2,1,3)	0.11212	115.85	144.64	-16.51	26	(3,3,2)	0.04308	127.14	155.20	5.34
13	(2,2,1)	0.04021	127.22	155.41	5.63	27	(3,3,3)	0.04472	127.27	154.72	4.99
14	(2,2,2)	0.03673	128.15	156.81	7.96						

Table 5 Results of factorial design - Method 3 (thickness change without the weight constraint)

Run	Design set	Objective value	Distance (mm)		Variation (mm)	Run	Design set	Objective value	Distance (mm)		Variation (mm)
			Pelvis	Rib					Pelvis	Rib	
1	(1,1,1)	0.16300	112.30	140.32	-24.38	15	(2,2,3)	0.04245	125.59	155.30	3.89
2	(1,1,2)	0.04140	134.21	159.21	16.42	16	(2,3,1)	0.08747	118.36	148.01	-10.63
3	(1,1,3)	0.03763	133.63	159.68	16.31	17	(2,3,2)	0.04670	124.05	154.46	1.51
4	(1,2,1)	0.12753	118.11	142.22	-16.67	18	(2,3,3)	0.04946	124.33	153.81	1.14
5	(1,2,2)	0.09272	129.16	146.75	-1.09	19	(3,1,1)	0.12504	113.01	144.83	-19.16
6	(1,2,3)	0.06945	126.63	150.08	-0.29	20	(3,1,2)	0.02563	129.99	160.63	13.62
7	(1,3,1)	0.12466	118.15	142.69	-16.16	21	(3,1,3)	0.02775	133.92	163.95	20.87
8	(1,3,2)	0.09382	123.27	146.12	-7.61	22	(3,2,1)	0.09135	117.45	147.63	-11.92
9	(1,3,3)	0.08397	127.05	147.65	-2.30	23	(3,2,2)	0.03976	130.87	157.28	11.15
10	(2,1,1)	0.12610	112.70	144.90	-19.4	24	(3,2,3)	0.04166	125.91	155.35	4.26
11	(2,1,2)	0.02611	130.17	160.65	13.82	25	(3,3,1)	0.09287	117.14	147.48	-12.38
12	(2,1,3)	0.02358	129.39	161.02	13.41	26	(3,3,2)	0.04395	127.65	154.88	5.53
13	(2,2,1)	0.09183	117.45	147.75	-11.80	27	(3,3,3)	0.05047	124.31	153.47	0.78
14	(2,2,2)	0.04628	127.64	154.62	5.26						

1(DP50), 2(DP60), 3(DP70) 으로 표기하였다. 경량화는 두께의 감소를 통하여 이루어지며 두께의 감소는 침입량의 손실을 가져오므로, 경량화 달성을 위하여 변형형상의 개선량이 가장 큰 강판의 설계조합을 선정하여야 한다. 이를 위하여 고강도 강판의 도입에 따른 흉부와 골반부에서의 침입량 변화를 합산한 침입의 개선량을 정량적으로 제시하였다.

요인설계의 결과를 비교하면, 세 번째 분류 방법으로 집합을 구성한 경우의 (DP70, DP50, DP70) 설계조합에서 가장 효과적으로 침입량이 개선되었음을 확인할 수 있다. 중량의 제한조건을 부가하지 않은 경우, 최적화 결과에서 강판의 두께가 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 이는 강도의 증가를 의미하며 고강도 강판의 도입을 통한 효과와 동일하다. 따라서 세 번째 방법이 고강도 강판의 도입을 위한 가장 효과적인 분류 방법으로 활용될 수 있을 것으로 분석되며 요인설계의 결과에서 확인할 수 있듯이 세 번째 분류 방법을 사용하였을 경우 가장 효과적으로 침입량이 개선되었다. 위의 결과에 근거하여 세 번째 분류 방법에 의한 (DP70, DP50, DP70)의 설계조합으로 고강도 강판을 도입하였다.

3.3 두께 최적화

일반 차체용 강판의 최적화 결과를 고강도 강판을 적용한 최적화의 초기 설계로 사용하였다. 두께

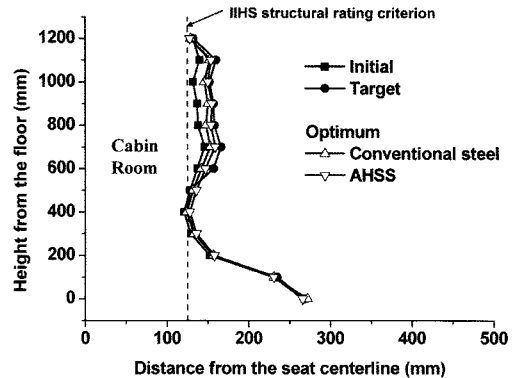


Fig. 7 Comparison of deformed shapes

최적화를 위하여 반응표면법을 사용하였으며 3 수준 요인설계를 통하여 실험표를 구성하였다. 두께 설계변수의 초기 선통량은 0.4 mm이며 최적점 근처에서는 0.1 mm이다. 최적화의 정밀도를 높이기 위하여 2차의 회귀곡선으로 근사하였으며 총 2회의 반복계산을 수행하였다. Fig. 7에 최적화 전후의 변형형상을 도시하였으며, 두께의 변화에 따른 강도의 재배치로 인하여 IIHS의 구조안전기준을 만족하면서 목표형상이 유도되어 운전자의 안전공간이 효율적으로 확보하였음을 확인할 수 있다. Table 6과 Table 7에 최적화 결과를 정량적으로 제시하였다. 측면부재의 중량은 초기 센터필러의 설계와 비교하여 약 14% 감소하여 차량 경량화를 달성하였다.

Table 6 Results of the thickness optimization

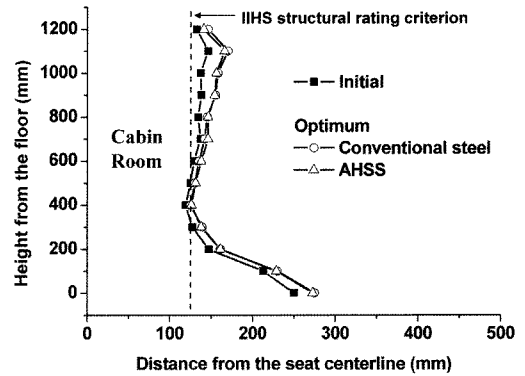
Result	Initial	Optimum (C. S.)	Factorial design	Optimum (AHSS)
Distance from seat centerline (mm)	Head	137.22	149.56 (+12.34)	156.75 (+19.53)
	Rib	145.70	152.89 (+7.19)	163.95 (+18.25)
	Pelvis	121.03	124.11 (+3.08)	133.92 (+12.89)
Objective	0.13791	0.04933 (-0.08858)	0.02775 (-0.11016)	0.02619 (-0.11172)
Weight (kg)	6.721	6.309 (-6.13%)	6.309 (-6.13%)	5.781 (-13.99%)

Table 7 Optimum design and regulated thicknesses

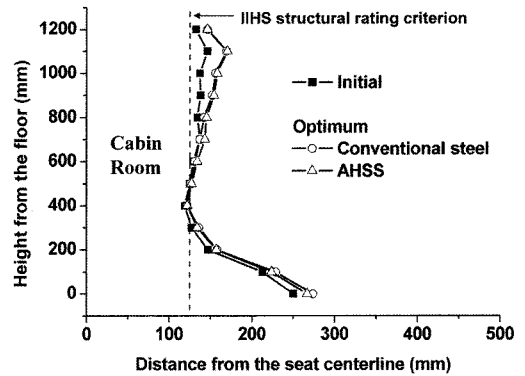
Variable number	Before optimization (mm)	After optimization (mm)	
		Conventional steel	AHSS
1	1.4	2.53279	2.51598 (2.5)
3	1.4	1.47201	1.31936 (1.3)
5	2.3	1.90156	1.84388 (1.8)
6	2.3	1.88330	1.79619 (1.8)
10	1.2	0.92457	0.71158 (0.7)
11	2.8	1.50266	1.41567 (1.4)
12	1.6	1.43755	1.20161 (1.2)

4. 최적화 결과의 실차해석 적용

단순모델의 최적화 결과를 실차해석에 적용하여 단순모델 및 최적화 과정의 효용성을 평가하였다. 최적화 결과를 참조하고 실제로 생산되는 강판의 두께를 고려하여 Table 7에 제시된 것과 같이 정규화한 두께를 실차해석에 적용하여 최적화 결과를 평가하였다. 최적화 결과를 실차해석에 재적용할 경우, 경계조건의 변화로 인하여 해석 결과에 차이가 발생하지만 실차해석에서도 단순모델의 최적화 결과와 마찬가지로 센터필러의 단면 형상이 S형으로 개선됨을 확인하였다. 최적화 전후의 두께를 통한 실차해석의 결과를 비교하여 Fig. 8에 도시하였으며 해석 결과를 정량적으로 Table 8에 정리하였다. 정규화한 두께를 적용한 경우, 이 과정에서 발생한 두께 변화에 따른 변형형상의 차이가 발생하지만 S형 변형형상의 경향이 그대로 유지되는 것을 확인하였다. 따라서 단순모델은 실제 차량설계에 효율적으로 적용될 수 있다.



(a) Before regulation



(a) After regulation

Fig. 8 Comparison of deformed shapes of full vehicle analysis

Table 8 Results of full vehicle analysis

Distance from the seat centerline (mm)	Steel type	Pelvis	Rib	Head
	Conventional steel	120.04	137.05	137.57
AHSS	Optimum design	128.16 (+8.12)	145.73 (+8.68)	153.87 (+16.30)
	Regulation	124.03 (+3.99)	142.84 (+5.79)	154.34 (+16.77)

5. 결론

본 논문에서는 운전자 안전 공간의 확보와 차량 경량화를 동시에 달성하기 위하여 일반 차체용 강판을 고강도 강판으로 대체하였으며 단순 센터필러 모델의 두께 최적화를 수행하였다. 최적화의 과정을 통하여 얻은 결과를 아래와 같이 정리하였다.

- 1) 최적화의 시간을 효과적으로 줄이기 위하여 단순 센터필러 모델을 도입하였으며 약 83%의 시간효율이 개선되었다.

- 2) 고강도 강판을 적용하기 위하여 요인설계를 수행하였으며 고강도 강판의 적용을 통한 강도의 증가를 가장 합리적으로 대변하는 설계조합에 근거하여 고강도 강판을 적용하였다.
- 3) 고강도 강판을 적용한 단순 센터필러 모델의 최적화를 통하여 보다 개선된 변형형상을 유도함과 동시에 약 14%의 중량 개선 효과를 얻었다.
- 4) 최적화의 결과를 실차해석에 재적용하였으며 단순모델이 실제 차량설계에 효율적으로 적용될 수 있음을 검증하였다.

References

- 1) S. Y. Na, J. H. Song, H. Huh and H. S. Kim, "Design Optimization of Auto-body Members for Crashworthiness Enhancement with the Response Surface Method," Transactions of KSAE, Vol.13, No.4, pp.1-8, 2005.
- 2) P. O. Marklund and L. Nilsson, "Optimization of Car Body Component Subjected to Side Impact," Multidisc. Optim., Vol.21, pp.383-392, 2001.
- 3) G. H. Bae, J. H. Song, H. Huh and S. H. Kim, "Optimum Design of a Center-pillar Model with a Simplified Side Impact Analysis," Transactions of KSAE, Vol.13, No.6, pp.84-92, 2005.
- 4) NHTSA, Laboratory Test Procedure for New Car Assessment Program Side Impact Testing, 2002.
- 5) IIHS, IIHS Side Impact Test Program Rating Guidelines, 2004.
- 6) H. Huh, J. H. Lim, J. H. Song, K. S. Lee, Y. W. Lee and S. S. Han, "Crashworthiness Assessment of Side Impact of an Auto-Body with 60Trip Steel for Side Members," Int. J. Automotive Technology, Vol.4, No.3, pp.149-156, 2003.