

초고강도강 적용 차체 부재의 경량 설계를 위한 정면 충돌성능 최적화

김기풍¹⁾ · 김세호²⁾

한국생산기술연구원 동력부품지원센터¹⁾ · 대구대학교 자동차 · 산업 · 기계공학부²⁾

Optimization of Frontal Crashworthiness for the Weight Reduction Design of an Auto-body Member with the Advanced High Strength Steels

Keepoong Kim^{*1)} · Seho Kim²⁾

¹⁾Automotive Components Service Center, Korea Institute of Industrial Technology, Gwangju 500-460, Korea

²⁾School of Automotive, Industrial and Mechanical Engineering, Daegu University, Gyeongbuk 721-714, Korea

(Received 3 July 2008 / Accepted 18 August 2008)

Abstract : In this paper, optimization for frontal crashworthiness is carried out for the weight reduction design of an auto-body member with the advanced high strength steels(AHSS) such as 780TRIP and 780DP. The frontal crashworthiness is evaluated in order to optimize thicknesses for the front rail member of the ULSAB-AVC. Thicknesses of the front rail member with AHSS are optimized by comparison of crushing distance, absorbed energy and the deceleration for the auto-body with the response surface methodology. The results demonstrate that the crashworthiness of the front rail member with the optimum thicknesses of the AHSS is similar to analysis results obtained from the ULSAB-AVC project. The results also show that the weight reduction design is performed by substituting the AHSS for conventional structural steels such as 440E in the auto-body members.

Key words : Frontal crashworthiness(정면충돌성능), ULSAB-AVC(Ultra Light Steel Auto Body-Advanced Vehicle Concept), AHSS(초고강도강), Response surface methodology(반응표면법), Weight reduction design(경량 설계)

1. 서론

최근 자동차 관련 업계에서는 연비 효율의 개선 및 세계적으로 강화되고 있는 배기 가스의 규제에 대처하기 위하여 차량 경량화가 중점 추진되고 있다. 철강업계에서는 차량 경량화에 대처하기 위하여 TRIP(transformation induced plasticity)강, DP(dual phase)강과 같은 초고강도강을 개발하고, 신규 개발 차종에 적용이 확대되도록 관련 기술을 연구하고 있다. 대표적인 예가 국제철강협회(IISI)의 주도로 수행된 ULSAB-AVC(Ultra Light Steel Auto Body-Advanced Vehicle Concept) 프로젝트이다.¹⁾ ULSAB-

AVC 프로젝트에서는 차체의 83%를 초고강도강판을 대체 적용하여 경량화하였으며 하이드로포밍, TWB 등의 초고강도강판 성형기법을 제안하였다. 이와 동시에 충돌 안전성에 관한 법규와 상품성 평가 강화되면서 충돌 안전성을 확보하기 위하여 초고강도강을 적용한 차체의 최적 설계 및 성형 기술도 차량 제조사를 중심으로 적극 연구되고 있다.^{2,3)}

자동차의 충돌 부재에 초고강도강을 적용하기 위해서는 강판의 변형률 속도 경화를 고려하는 설계의 과정이 필요하다.⁴⁾ 차체 부재의 소재를 설계 변경 없이 단순히 초고강도강으로 대체하면 안전성의 측면에서 차체의 전체적인 충돌 특성은 저하될 수 있다. 특히 초고강도강을 Front Rail Member와 같

*Corresponding author, E-mail: keepkim@kitech.re.kr

은 부재에 적용하는 경우에는 차체 전체적인 충돌 특성을 고려하여 적용 소재의 강도에 따른 부품의 두께 및 형상 등을 설계하여야 한다.

본 논문에서는 780TRIP강 및 780DP강과 같은 초고강도강이 적용된 ULSAB-AVC의 Front Rail Member의 경량 설계 수행하기 위하여 정면 충돌 성능의 최적화를 수행하였다. 충돌 성능 최적화를 수행하기 위하여 반응표면법(response surface methodology)을 응용하였다.⁹⁾ 최적화 과정에서는 적용 강판에 따른 차체 변형량과 에너지 흡수량을 비교하여 Front Rail Member의 최적의 두께를 선정하였다. 강판에 따라 최적화된 두께를 갖는 Front Rail Member를 적용한 차체의 충돌 성능은 감속도의 관점으로도 평가하여 최적화 결과를 확인하고 최적 두께를 재선정하기도 하였다. 적용된 초고강도강에 따른 경량화 정도는 440E급 강판을 적용한 경우를 기준으로 하여 비교하였다.

2. ULSAB-AVC의 정면 충돌 해석

2.1 해석 모델 및 조건

충돌 해석에 적용된 시험법은 북미지역에서 활용되고 있는 신차 평가프로그램인 US-NCAP(United States - New Car Assessment Program)을 이용하였다. 이 시험법은 차체가 강체벽에 수직으로 56 km/h(35 mph)의 속도로 정면 충돌하는 방법이다. 해석에 사용한 ULSAB-AVC의 모델은 PNGV(Partnership New Generation Vehicle)-Class로서, 그 외형은 Fig. 1과 같고, 차체의 구조는 Fig. 2와 같다. 충돌 해석에 사용된 유한요소 모델은 Fig. 3으로서 334,090개의 쉘 및 솔리드 요소와 205,001개의 절점으로 구성되어 있



Fig. 1 Exterior styling of the ULSAB-AVC PNGV-Class

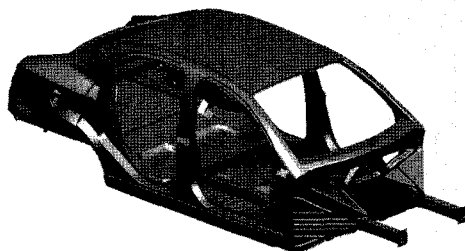


Fig. 2 Body Structure of the ULSAB-AVC PNGV-Class

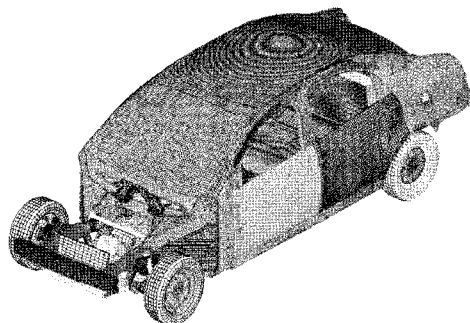


Fig. 3 Finite element model of the ULSAB-AVC PNGV-Class for the frontal crash analysis

다. 충돌해석은 충돌 시작 후 120 msec가 경과할 때까지 수행하였고 사용된 해석 프로그램은 LS-DYNA v970이며 HP xw8000(2CPU, 3GHz)에서 약 11시간 정도의 해석 시간이 소요되었다.

2.2 정면 충돌 해석 결과

차체 구조의 83%가 초고강도강으로 이루어진 ULSAB-AVC의 강체벽과의 정면 충돌 후 변형 형상은 Fig. 4와 같다. Front Rail Member와 주변의 피라미드 형상 등의 부재들이 충돌에너지를 흡수하면서 변형된 것을 볼 수 있다. 충돌에너지의 많은 부분을 Front Rail Member에서 흡수하는 것은 Fig. 5에서 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 정면 충돌시 에너지의 많은 부분을 흡수하는 Front Rail Member를 최적화 및 경량 설계의 대상으로 선정하였다.

Front Rail Member는 1.5 mm와 1.3 mm의 튜브를 접합한 TWT(tailor welded tube)가 하이드로포밍된 부재로 그 형상과 위치는 Fig. 6과 같고, 재질은 DP500/800강으로 항복강도 500 MPa, 인장강도 800 MPa이다. 변형률속도에 따른 응력-변형률 곡선은

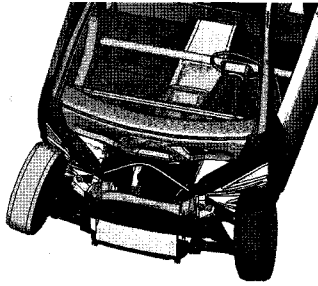


Fig. 4 Deformed shape obtained from frontal crash analysis of the ULSAB-AVC

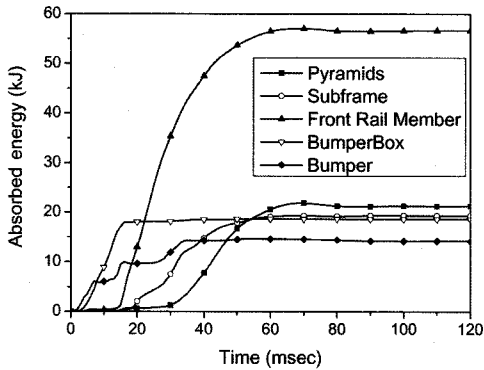


Fig. 5 Energy absorption characteristics of important members during the frontal crash analysis

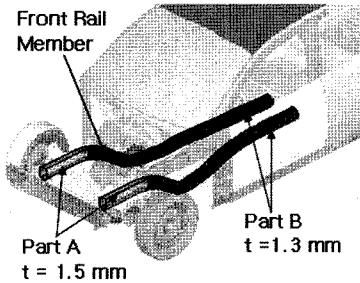


Fig. 6 A critical member for energy absorption during the frontal crash analysis

Fig. 7로서 초기 항복강도가 변형률 속도에 관계없이 일정하게 나타나는 문제점이 있었다. 충돌 시간 동안의 차체 변형량과 B-필라(pillar)의 감가속도 (deceleration)를 Fig. 8에 도시하였다. 차체의 최대 변형량은 650mm 이하로 ULSAB-AVC 프로젝트 제시한 안전 기준을 만족하였다.

3. ULSAB-AVC의 정면 충돌 최적화

3.1 개요

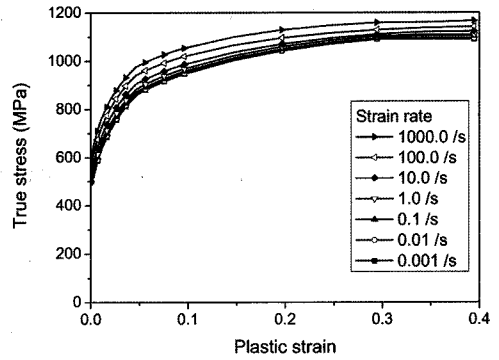


Fig. 7 Dynamic stress-strain curves of the DP500/800 steel with various strain rate level used in the ULSAB-AVC project

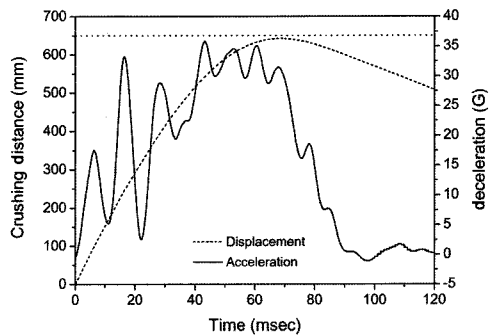


Fig. 8 Analysis results for the crushing distance and the deceleration

ULSAB-AVC의 Front Rail Member에 다른 강판을 대체 적용하는 경우에도 충돌 성능은 ULSAB-AVC 프로젝트와 유사한 수준으로 유지하거나 우수해야 한다. 따라서 본 논문에서는 Front Rail Member에 여러 강판을 적용하는 경우에도 ULSAB-AVC 프로젝트와 충돌 성능의 차이가 최소화되도록 다음과 같은 최적화 문제를 설정하였다.

$$\text{Minimize } \Delta E = \sqrt{W_A(\Delta E_A)^2 + W_B(\Delta E_B)^2}$$

$$\text{subject to } d_{\max} \leq 650 \text{ mm}$$

$$\text{where } \Delta E_A = \frac{E_A - E_A^0}{E_A^0}, \Delta E_B = \frac{E_B - E_B^0}{E_B^0} \quad (1)$$

$$E_A^0 = 45.49 \text{ kJ}, E_B^0 = 11.19 \text{ kJ}$$

$$E_A = E_A(t_A, t_B), E_B = E_B(t_A, t_B)$$

여기에서 E_A 는 Fig. 6의 Front Rail Member에서 A 부분이 흡수하는 에너지이고, E_B 는 B부분에서 흡수하는 에너지로서 각각 두께인 t_A 와 t_B 의 함수이다. E_A^0 와 E_B^0 는 Fig. 5의 그래프에서 나타낸 ULSAB-AVC의 Front Rail Member에 흡수되는 에너지를 A부분과 B부분으로 나눈 것이다. W_A 와 W_B 는 E_B^0 가 E_A^0 에 비하여 값이 작기 때문에 ΔE_B 가 ΔE_A 에 비하여 높은 비중으로 평가되는 현상을 막기 위한 가중치로서 아래의 식 (2)와 같이 계산하여 적용하였다.

$$W_A = \frac{E_A^0}{E_A^0 + E_B^0} = 0.803, W_B = \frac{E_B^0}{E_A^0 + E_B^0} = 0.197 \quad (2)$$

제한 조건은 안전기준으로서 차체의 최대 변형량 d_{max} 가 650 mm 이하이어야 한다는 조건으로 ULSAB-AVC 프로젝트에서 제시한 조건과 동일하게 적용하였다.

ULSAB-AVC의 Front Rail Member에 여러 강판을 적용하는 경우의 충돌 성능을 ULSAB-AVC 프로젝트와 유사한 수준으로 도출하기 위하여 에너지 흡수량의 차이를 최소화하고, 차체변형량을 안전기준에 만족시키는 것을 최적화 문제로 설정하였다. 최적화 문제에 관한 최적 두께 t_A 와 t_B 는 반응표면법을 응용하여 도출하였다. 우선 차체 구조용강으로 널리 이용되는 440E강을 Front Rail Member에 적용하여 두께 최적화를 수행하였고, 초고강도강으로는 780TRIP강 및 780DP강을 Front Rail Member에 적용하는 경우에 관하여 최적 두께를 선정하였다. 강판에 따라 최적화된 두께를 갖는 Front Rail Member를 적용한 차체의 충돌 성능은 감속도로 다시 평가하여 최적화 결과를 확인하거나 재선정하였다.

3.2 440E강을 적용한 충돌 성능 최적화

Front Rail Member에 440E강을 적용한 경우에 t_A 와 t_B 의 최적의 값을 결정하기 위하여 반응표면법을 응용하였다. 본 논문에서 적용한 440E강의 변형률 속도에 따른 응력-변형률 곡선은 Fig. 9와 같다.⁶⁾ 설계 인자인 t_A 는 1.6, 1.9, 2.2 mm, t_B 는 1.4, 1.8, 2.2 mm의 3수준으로 하여 반응표면을 중심 합성 설계 (central composite design)의 2차로 구성하였다.⁵⁾ 구

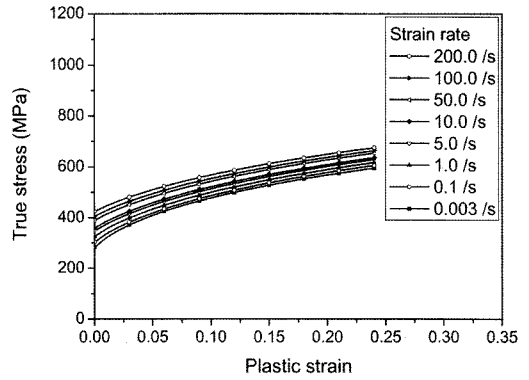


Fig. 9 Dynamic stress-strain curves of the 440E steel with various strain rate level used in the simulation

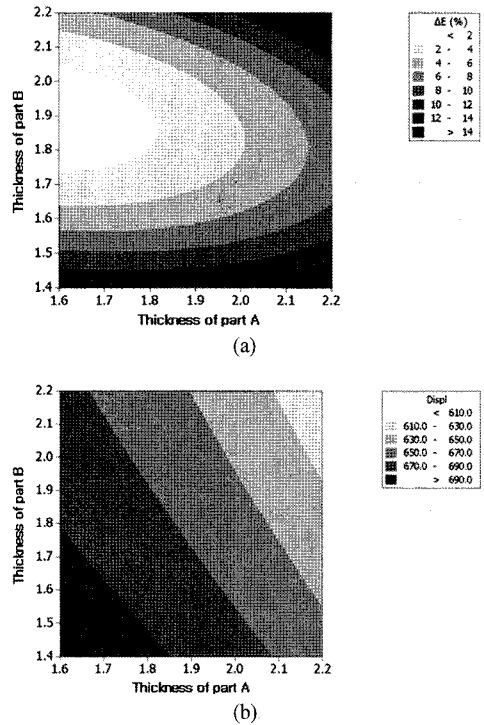


Fig. 10 Response surfaces of (a) ΔE and (b) d_{max} in the optimization of the front rail member with the 440E steel

성된 반응 표면은 Fig. 10과 같다.

구성된 반응표면들의 적합도는 R_{adj}^2 값으로 판단하였다.⁵⁾ ΔE 에 관해서는 R_{adj}^2 값이 76.7%로 적합도가 낮지만, d_{max} 에 관하여는 R_{adj}^2 이 99.4%로 높게 나타났다. ΔE 반응표면의 적합도를 높이기 위해서는 고차의 반응표면을 구성하여야 하고, 고차의 반

응 표면을 구성하기 위해서는 설계인자 수준을 높여서 많은 회수의 충돌해석을 수행하여야 하므로 많은 계산 시간이 필요하게 된다.

본 논문에서는 최적화의 효율을 높이기 위하여 Fig. 10의 반응표면들로부터 두께 t_A 와 t_B 의 최적 두께의 후보들을 선택한 후에 선택한 후보 두께를 적용한 충돌해석을 수행하여 수치 계산의 회수를 최소화하였다. 충돌 해석 결과를 토대로 ΔE 와 d_{max} 가 최적화 문제를 만족하는지를 평가하여 최적 두께를 선정하였다. 후보 두께는 0.1 mm 단위로 구분하여 선택하였으며, 이는 차체 부재 설계 및 제작 시 실제로 세밀한 두께의 선택이 어렵다는 점을 고려한 것이다. 후보 두께를 선택하기 위하여 Fig. 10의 반응 표면을 Fig. 11과 같이 겹쳐서 나타내었다.

Fig. 11에서 볼 수 있듯이 5가지의 후보 두께 조합을 선정하였고, 선정된 5가지의 두께 조합을 적용하여 차체의 정면 충돌해석을 수행하였다. 수행된 충돌 해석 결과는 ΔE 와 d_{max} 에 관하여 Table 1에 정리하였다. 해석 결과 중에서 ΔE 를 비교해 보면 반응 표면 상에서 가장 작을 것이라 예측되는 두께 조합 ③의 값이 두 번째로 크게 나타났고, 두께 조합 ⑤에서 값이 가장 작게 나타났다. 특히 두께 조합 ③의 d_{max} 반응표면에서는 $d_{max} < 650$ mm의 안전 조건을 만족하지 않았으나 충돌 해석 결과에서는 안전 조건을 만족하여 2차로 근사된 d_{max} 의 반응표면 적합도가 예측된 것보다는 높지 않다는 것을 유추할 수 있었다.

5가지 두께 조합 모두 d_{max} 에 대한 안전조건을 모두 만족하였으나, ΔE 를 비교해 보면 두께 조합 ④가 5.05%로 가장 작게 나타났다. 따라서 440E강을 적용한 경우에는 $t_A = 2.1$ mm와 $t_B = 1.9$ mm를 최적 두께로 선정하였다.

지금까지는 충돌 성능으로서 에너지 흡수량 및 차체 변형량을 비교하여 최적 두께를 선정하였다. 차체의 충돌 성능은 에너지 흡수량이나, 차체 변형량 뿐만 아니라 다른 지표로도 평가가 되어야 한다. 본 논문에서는 Front Rail Member에 최적 두께의 강판을 적용한 차체의 감속도를 비교하여 충돌성능을 비교 평가하였다. Fig. 12는 Front Rail Member에 최

Table 1 Results of frontal crash analyses for the auto-body with 440E steel in the front rail member

Case	①	②	③	④	⑤
t_A (mm)	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1
t_B (mm)	2.1	2.0	1.9	1.8	1.9
ΔE (%)	11.64	5.34	6.68	6.13	5.05
d_{max} (mm)	639.8	641.5	645.2	635.9	632.2

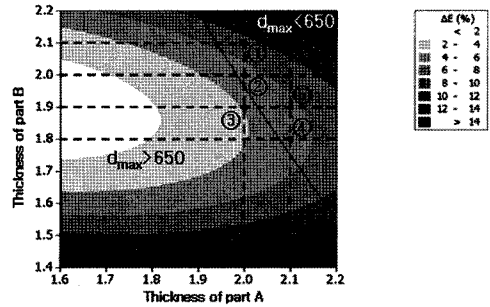


Fig. 11 Overlapped response surfaces of ΔE and d_{max} for the crashworthiness optimization of the front rail member with the 440E steel

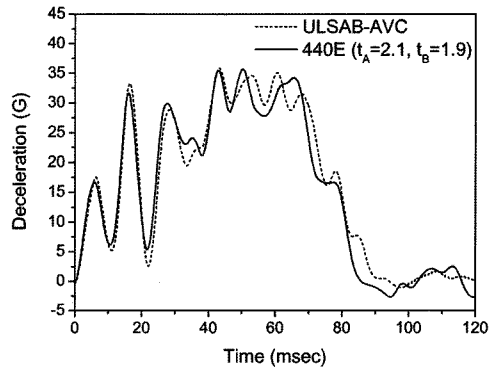


Fig. 12 Deceleration curve for an auto-body with 440E steel in the front rail member and comparison with ULSAB-AVC project

적의 두께 $t_A = 2.1$ mm와 $t_B = 1.9$ mm의 440E강을 적용한 차체의 감속도를 ULSAB-AVC 프로젝트와 비교하여 나타낸 것이다. 440E강을 적용한 차체의 감속도가 형상이나 최대값 비교에서 ULSAB-AVC 프로젝트의 결과와 매우 유사한 결과를 나타내었다. 이는 Front Rail Member에 최적 두께의 440E강을 적용한 경우의 충돌성능이 ULSAB-AVC 프로젝트와 유사하고 최적화되었다는 것을 의미한다.

4. 초고강도강을 적용한 최적화 및 경량 설계

초고강도강으로서는 780TRIP강과 780DP강을 Front Rail Member에 적용하여 충돌해석을 수행하고 두께 최적화를 수행하였다. 충돌해석에 사용된 780TRIP강 및 780DP강의 변형률 속도에 따른 응력-변형률 곡선은 Fig. 13과 같다.⁷⁾ 적용 소재별로 반응 표면을 구성하기 위한 충돌 해석은 설계 인자 t_A 를 1.2, 1.5, 1.8 mm, t_B 를 1.0, 1.3, 1.6 mm의 3수준으로 하여 두께 조합별로 9회를 수행하였다. 이 충돌 해석 결과를 이용하여 ΔE 와 d_{max} 에 관한 반응 표면을 도출하고 반응표면을 이용하여 t_A 와 t_B 의 최적의 값을 선정하는 순서로 충돌 성능 최적화를 수행하였다.

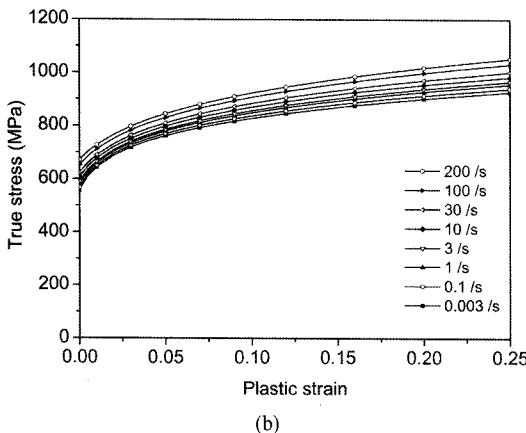
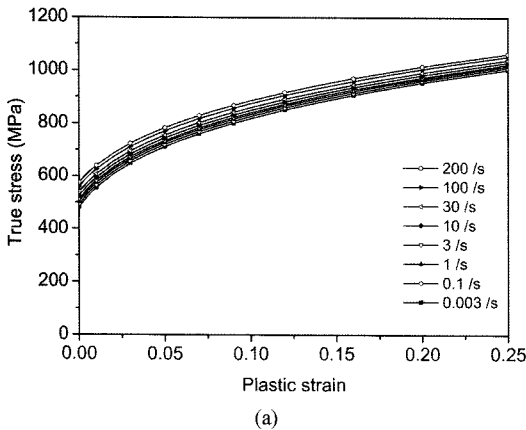


Fig. 13 Dynamic stress-strain curves of the advanced high strength steels with various strain rate level used in the simulation: (a) 780TRIP steel; (b) 780DP steel

4.1 780TRIP강을 적용한 충돌 성능 최적화

Front Rail Member에 780TRIP강을 적용한 경우에 관하여 설계 인자의 수준 별로 충돌해석을 수행하고 ΔE 와 d_{max} 의 반응표면을 도출한 후 중첩하여 나타내면 Fig. 14와 같다. 두께 t_A 와 t_B 의 최적 후보들의 조합은 Fig. 14에서 볼 수 있는 5가지로 선정하였고, 선정된 5가지의 두께 조합을 적용하여 차체의 정면 충돌해석을 다시 수행하였다.

수행된 충돌 해석 결과는 ΔE 및 d_{max} 에 관하여 Table 2에 정리하였다. 충돌 해석 결과 두께 조합 ①, ②와 ④는 $d_{max} < 650$ mm의 안전 조건을 만족하지 못하였고, ΔE 가 가장 작게 나타난 두께 조합 ③의 $t_A = 1.6$ mm와 $t_B = 1.4$ mm를 최적 두께로 선정하였다.

최적 두께의 780TRIP강을 적용한 경우에도 차체의 감속도를 비교하여 충돌성능을 ULSAB-AVC 프로젝트와 비교·평가하였다. Fig. 15는 Front Rail Member에 최적의 두께 $t_A = 1.6$ mm와 $t_B = 1.4$ mm의 780TRIP강을 적용한 차체의 감속도를 ULSAB-AVC 프로젝트의 해석 결과와 비교하여 나타난 것이다. Front Rail Member에 최적 두께의 780TRIP강을 적용한 경우에도 차체의 감속도가 형상이나 최

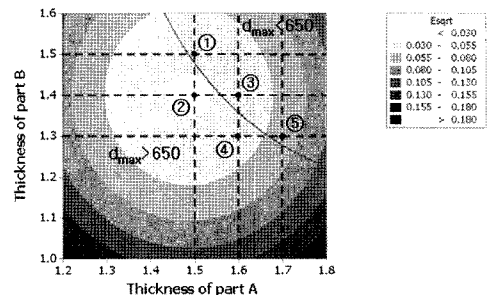


Fig. 14 Overlapped response surfaces of ΔE and d_{max} for the crashworthiness optimization of the front rail member with the 780TRIP steel

Table 2 Results of frontal crash analyses for the auto-body with 780TRIP steel in the front rail member

No.	①	②	③	④	⑤
t_A (mm)	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7
t_B (mm)	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3
ΔE (%)	4.99	1.64	4.44	1.46	6.73
d_{max} (mm)	656.8	658.3	647.0	657.2	644.4

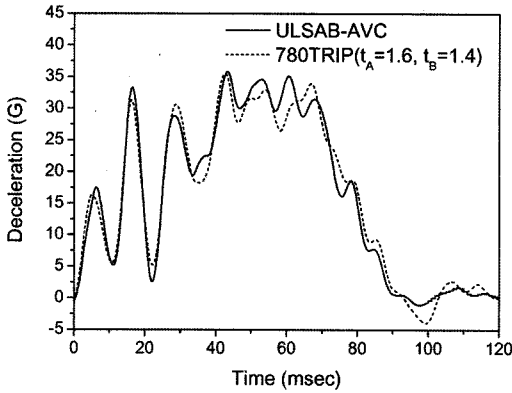


Fig. 15 The deceleration curve for an auto-body with 780TRIP steel in the front rail member and comparison with ULSAB-AVC project

대값 등에서 ULSAB-AVC 프로젝트의 결과와 매우 유사한 결과로 나타나, 충돌 성능이 ULSAB-AVC 프로젝트의 결과와 유사하다는 것을 알 수 있었다.

4.2 780DP강을 적용한 충돌 성능 최적화

Front Rail Member에 780DP강을 적용한 경우도 앞서와 같은 방법으로 최적의 두께를 도출하였다. 780DP강을 적용한 경우의 ΔE 와 d_{max} 의 반응 표면을 도출하였고, 겹쳐서 나타내면 Fig. 16과 같다.

두께 t_A 와 t_B 의 최적 후보들의 조합은 Fig. 16에서 볼 수 있는 것처럼 5가지를 선정하였고, 선정된 5가지의 두께 조합을 적용하여 차체의 정면 충돌 해석을 수행하여 그 결과를 Table 3에 정리하였다. 충돌 해석 결과 두께 조합 ①과 ④는 $d_{max} < 650$ mm의 안전 조건을 만족하지 못하였다. 두께 조합 ②의 $t_A =$

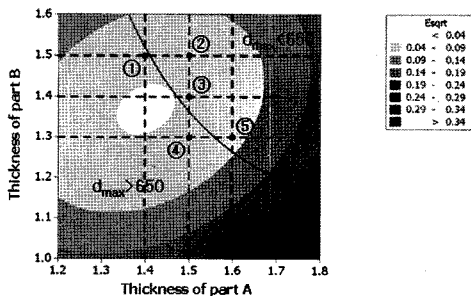


Fig. 16 Overlapped response surfaces of ΔE and d_{max} for the crashworthiness optimization of the front rail member with the 780DP steel

Table 3 Results of frontal crash analyses for the auto-body with 780DP steel in the front rail member

No.	①	②	③	④	⑤
t_A (mm)	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6
t_B (mm)	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3
ΔE (%)	8.24	3.93	4.29	5.65	6.49
d_{max} (mm)	657.3	635.1	646.3	658.5	629.5

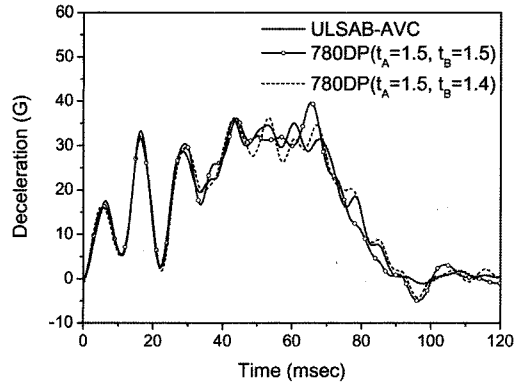


Fig. 17 The deceleration curves for an auto-body with 780DP steel in the front rail member and comparison with ULSAB-AVC project

1.5 mm, $t_B = 1.5$ mm는 ΔE 가 가장 작게 나타났으나 ULSAB-AVC 프로젝트 및 다른 강판을 적용한 경우와는 다르게 $t_A > t_B$ 의 관계를 갖지 않아서, ΔE 가 두 번째로 작게 나타난 두께 조합 ③의 $t_A = 1.5$ mm, $t_B = 1.4$ mm도 함께 감속도를 비교하여 최적 두께를 선정하였다. 두께 조합 ②와 ③을 적용한 차체의 감속도를 ULSAB-AVC 프로젝트와 비교하여 Fig. 17에 나타내었다. ΔE 가 가장 작게 나타난 $t_A = 1.5$ mm와 $t_B = 1.5$ mm의 두께 조합 ②를 적용한 차체의 감속도는 충돌 시작 후 65.5 msec의 시간이 경과하였을 때 39.7G까지 상승하여 최대 감속도가 35.8G인 ULSAB-AVC 프로젝트에 비하여 높게 나타나 충돌 성능이 저하되었다. $t_A = 1.5$ mm 및 $t_B = 1.4$ mm의 두께 조합 ③을 적용한 차체의 감속도는 ULSAB-AVC 프로젝트의 감속도와 유사한 형상을 갖고 최대 감속도는 36.2G로 그 차이가 작게 나타나, 두께 조합 ②를 적용한 차체보다는 충돌 성능이 우수하였다. 따라서 Front Rail Member에 780DP강을 적용한 경우에는 $t_A = 1.5$ mm 및 $t_B = 1.4$ mm의

두께 조합 ③을 최적의 두께로 선정하였다.

4.3 경량화 정도의 비교 및 평가

최적 설계안의 경량화 정도를 평가하기 위하여 적용소재에 따른 Front Rail Member의 중량을 비교하였다. 비교된 경량화 정도는 Table 4에 나타내었다. Front Rail Member에 440E강을 적용한 경우를 기준으로 780TRIP강을 적용한 경우에는 25.85%의 경량화를 달성할 수 있었고, 780DP강을 적용한 경우에는 26.79%의 경량화를 달성할 수 있었다. DP500/800강을 적용한 ULSAB-AVC 프로젝트에서는 440E강을 적용한 경우에 대비하여 30.94%의 경량화가 되어 780DP강 및 780TRIP강을 적용한 경우에 비하여 경량화 정도가 높게 나타났다. 이는 Fig. 7과 Fig. 13에서 볼 수 있듯이 DP500/800강의 강도가 780DP강 및 780TRIP강의 강도에 비하여 높기 때문에 나타난 현상이다. 결국, 최적 두께의 780TRIP강 및 780DP강을 Front Rail Member에 적용하면 충돌성을 유지하면서 차체 경량화를 달성하는 것이 가능하다는 것을 확인하였다.

Table 4 Comparison of weight reduction ratio for the front rail members with optimum thicknesses

No.	DP500/800	440E	780TRIP	780DP
t_A (mm)	1.5	2.1	1.6	1.5
t_B (mm)	1.3	1.9	1.4	1.4
Weight (kg)	8.449	12.235	9.080	8.957
Weight reduction ratio (%)	30.94	-	25.79	26.79

5. 결론

본 논문에서는 780TRIP강 및 780DP강과 같은 초고강도강이 적용된 ULSAB-AVC의 차체부재의 경량 설계 수행하기 위하여 정면 충돌 성능의 최적화를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) ULSAB-AVC의 정면충돌해석을 수행하여 가장 많은 에너지를 흡수하는 Front Rail Member를 경량화 대상 부재로 선정하였다.
- 2) 정면 충돌성능 최적화는 차체 변형량 및 에너지 흡수량 뿐만 아니라 차체 감속도의 평가를 통하여 적용된 초고강도강에 따른 Front Rail Member

의 최적 두께를 선정하였다.

- 3) 충돌 성능 최적화 결과 780TRIP강 및 780DP강과 같은 초고강도강을 차체 부재에 적용하면 기존의 440E강에 대비하여 25% 이상의 경량화가 가능하다는 것을 확인하였다.
- 4) 반응표면법을 활용하는 방법을 차체 부재에 초고강도강을 적용하기 위한 충돌 성능 최적화 기법으로서 도입하였으며 이 기법은 초고강도강 적용하는 다른 차체 부재에도 두께 최적화 기법으로서 활용될 수 있다.

References

- 1) ULSAB-AVC Engineering Report, Porsche Engineering Services, Inc., 2001.
- 2) A. Yoshitake, K. Sato and Y. Hosoya, "A Study on Improving Crashworthiness of Automotive Parts by Using High Strength Steel Sheets," SAE 980382, 1998.
- 3) 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.
- 4) W. J. Kang and H. Huh, "Crash Analysis of Autobody Structures Considering the Strain-rate Hardening Effect," Int. J. Automotive Technology, Vol.1, No.1, pp.35-41, 2000.
- 5) R. H. Myers and D. C. Montgomery, Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiment / 2nd Edn, A Wiley-Interscience Publication, 2002.
- 6) H. J. Lee, J. H. Song and H. Huh, "Dynamic Tensile Tests of Auto-Body Steel Sheets with the Variation of Temperature," Solid State Phenomena, Vol.116-117, pp.259-262, 2006.
- 7) S. B. Kim, H. Huh, S. H. Park and J. H. Lim, "Dynamic Tensile Characteristics of TRIP-type and DP-type Sheets for an Auto-body," Key Engineering Materials, Vol.340-341, pp.255-262, 2007.