◎ 논 문

http://dx.doi.org/10.22680/kasa2018.10.3.013

일체형 핫스템핑 사이드 아우터 레인프 개선 구조 연구

이해훈* · 위성개* · 김원건* · 박대명*

Improvement of Structure for Single-piece Side-otr reinforcement applied Hot-stamping

Hae Hoon Lee*, Sung Gae Wee*, Won Gun Kim*, Dae Myoung Park*

Key Words : Hot-stamping(핫스템핑), Single-piece Side otr reinf(일체형 사이드 레인프)

ABSTRACT

This research is to optimize Single-Piece Side otr reinforcement using Hot-stamping and to strengthen weak regions on Single-Piece Side otr reinforcement. As a consequence, the weight and the number of parts were reduced and resulting in improvement of impact and stiffness performance when compared to multi-piece construction.

1. 서 론

IIHS(미국 고속도로 안전보험 협회) 스몰오버랩 평가 및 NHTSA(미국도로교통안전국)에서 도입 예정인 新 경사 충돌 평가 등 최근 자동차 충돌 성능의 상품성 및 법규는 강화되고 있다. 이와 같은 가혹한 충돌 평가를 만족시키기 위해서, 최근에는 소재를 열간 상태에서 가공하여 1470MPa의 인장강도를 확보하는 핫스템핑 공법 적용의 비율이 지속적으로 증가하고 있다.

특히 사이드 아우터 레인프 컴플에는 충돌 강건성을 확보하기 위해 각 주요 부재에 핫스템핑을 적용 한 후, 부재 간 상호 용접하는 일반적인 멀티피스 구조를 채택해 왔다. 멀티피스 구조에서는 각 부재 별 충돌 영향도에 따라 강판의 두께를 상이하게 적용할 수 있으므로, 부재별 두께를 최적화 하여 중량 상승을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 반면에, 핫스템핑-핫스템핑 부재 간 용접 강도 문제, 충돌 시 부재간 접합부 파단 문제 등의 단점이 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해서 부재 간 접합부의 오버랩구간을 증대하거나, 접합부 파단 예상 부위에 추가적인 보강재를 적용하고 있지만, 이에 따른 중량 증가가 멀티피스 구조 본연의 장점을 상쇄시키고 있다. 따라서 멀티피스 구조의 단점을 근본적으로 해결 하기 위해 최근에는 사이드 아우터 레인프 컴플을 핫스템핑 재질의 하나의 부품으로 통합하여 성형하는 일체형 핫스템핑 사이드 레인프 구조가 개발되어 적용 되고 있다.

일체형 핫스템핑 사이드 레인프 구조의 효과는 기존 멀티피스 구조 대비 중량, 부품수, 용접점 축소가 기대 되나, 필러부와 사이드실을 일체 성형함에 따라 발생하는 A필러, B필러 하단 및 B필러 상단에 취약 공간이 생겨 구조 최적화 및 성능 확인이 필요하다.

본 논문에서는 위에서 언급한 일체형 핫스템핑 사이드 레인프 구조와 멀티피스 구조에 대한 정강성, 천정강도, IIHS 측면 충돌에서의 해석을 수행하여 구조별 성능을 비교하였다. 또한, 현재 일체형 핫스템핑 사이드 레인프를 적용하여 신규 개발 중인 차종의 해석 및 실차 평가 데이터를 바탕으로, A필라, B필라 등의 주요 부위에 대하여, 일체형 핫스템핑 사이드 레인프 구조에 최적화된 차체 단면 구조를 연구 및 제안하고자 한다.

* 현대자동차 스트럭처설계3팀
E-mail : gohooni@hyundai.com

논문접수일: 2018.05.25, 논문수정일(1차: 2018.08.22, 2차: 2018.09.03), 게재확정일: 2018.09.21

2. 본 론

2.1. 일체형 핫스템핑 사이드 레인프 구조

일체형 핫스템핑 사이드 레인프 구조는 A필러, B필러, 루프사이드 레인프, 사이드실로 구성되어 있는 사이드 주요 충돌 부재를 통합하여 일체로 핫스템핑 공법으로 성형하는 구조이다. 기존 멀티피스 레인프 부품을 일체화 시킴으로서, Fig. 1과 같이 최소 부품수 4EA, 용접점 100점, 중량 1kg 절감 효과가 기대된다.

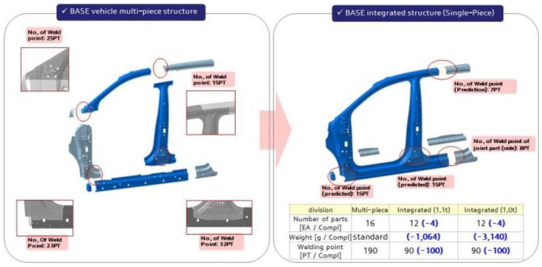


Fig.1 Multi-piece / Single-piece Comparison

2.2. 일체형 구조 / 멀티피스 구조 성능 비교

일체형 핫스템핑 사이드 레인프 구조는 Fig. 2와 같이 기존 필러부와 사이드실을 일체 성형함에 따라 A필러, B필러 상단/하단에 취약 공간이 생긴다.

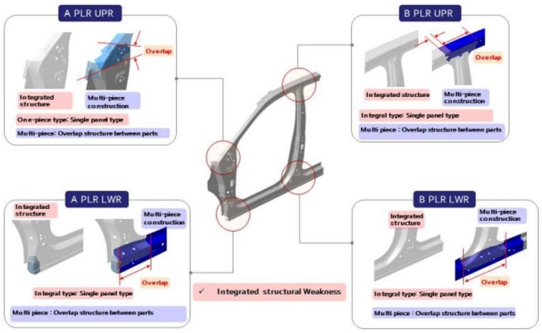


Fig. 2 Weakness area of Single-piece Structure

이에 따른 성능을 보완 하기 위하여, 상기 기술한 취약부에 차체 구조를 보강하여 Fig. 3과 같이 일체형 구조를 구성하였으며, 추가적으로 5kg의 중량과 33개의 부품수 절감을 하였다.

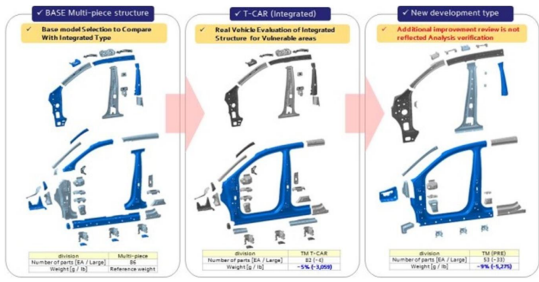


Fig. 3 Definition of Base model

상기 일체형구조 과 멀티피스 구조의 모델 간 정강성, 천정강도, 스몰오버랩, 측면충돌 성능을 해석 및 실차평가를 통해 비교 하였다.

2.2.1. 정강성, 천정강도 해석 비교

일체형구조와 멀티피스구조의 정강성 천정강도 해석 결과 Fig. 4와 같이 동등수준의 성능을 확보했음을 확인하였다.

Fig. 4 Torsion Stiffness (Left)/Roof Crush (right) Analysis Data

Fig. 5와 같이 초기 반력이 우세하였고, 최대 반력 이후 지지력도 멀티피스 대비 우수하다.

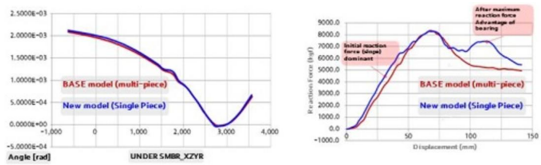


Fig. 5 Torsion Stiffness (Left)/Roof Crush (right) Analysis Graph

2.2.3. IIHS 측면 충돌 평가 비교

일체형 구조(T-CAR)의 IIHS측면 충돌 평가 결과 Fig. 6과 같이 동등수준의 생존공간을 확보하였다.

Fig. 6 IIHS Side Impact Analysis

하지만 Fig. 7과 같이 일체형 구조의 B 필러 하단 취약부로 인해 B 필러하단부에 파단이 발생하였다.

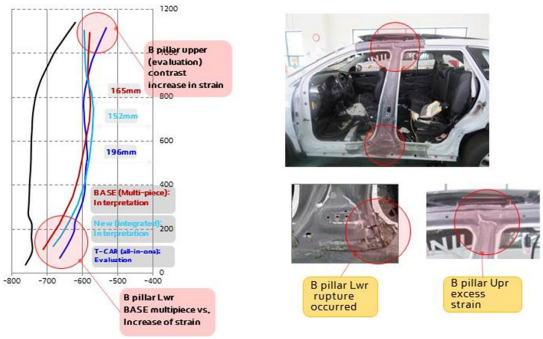


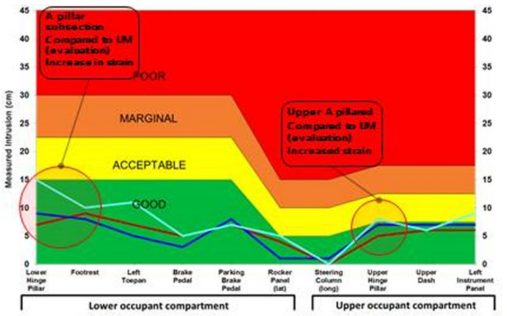
Fig. 7 IIHS Side Impact deformation data

2.2.4. IIHS 스몰오버랩 평가 비교

일체형구조의 IIHS스몰오버랩 평가 결과 신규(일체형)는 Table 1과 같이 차체A, T-CAR(일체형)는 차체 G 등급을 확보하였다.

하지만, Fig. 8과 같이 멀티피스 대비해서 UPR HINGE 부의 변형량이 과다하여, 차체 G등급 마진이 부족하였다. 이는 일체형 구조의 A 필러 하단 취약부로 인한 결과로 판단되며, 안정적인 성능 확보를 위해서 보강이 추가로 필요하다.

Table 1 IIHS Smalloverlap Rating (Analysis and Test)



division	Lwr Hng	Foot rest	Left ToeP	Brk Pdl	Pk Brk	Rcker Pnl (lat)	Strg Clm (x)	Upr Hng	Upr Dash	Left IP	Body Com plex
Good	15	15	15	15	15	5	5	7.5	7.5	7.5	-
BASE (Multi-piece)	7	9	7	5	7	4	0	5	6	6	G
New (Single)	15	10	11	5	7	5	0	8	6	9	A
T-CAR (Single)	9	8	5	3	8	1	1	7	7	7	G

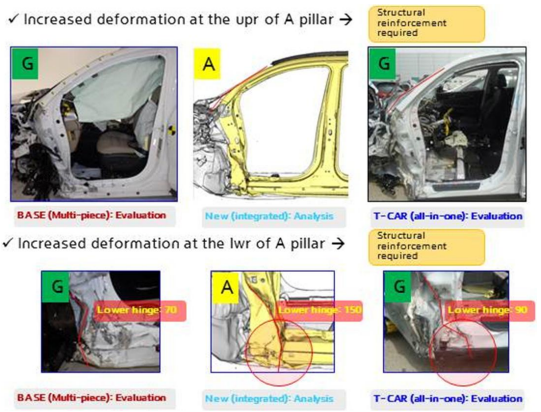


Fig. 8 IIHS Smalloverlap Analysis and Test data

2.3. 일체형 구조 최적화 연구

2.2에서 성능비교를 통해 일체형구조는 멀티피스대비해서 대표적인 성능(정강성, 천정강도, IIHS 측면 충돌, IIHS 스몰오버랩)에 대해 동등수준 이상의 성능확보가 가능한 것을 확인하였다.

이러한 일체형(신규개발, T-CAR) 모델을 바탕으로, 구조적 취약부와 주요 부분별로 적용 가능한 구조를 세분화하여 성능비교(정강성, 천정강도, IIHS측면, IIHS스몰오버랩)하였고, 이를 통해 일체형 구조의 최적화를 진행하였다.

2.3.1. 일체형 파팅구조

핫스템핑공법에 사용되는 소재폭은 약1600mm로 생산이 되고 있다. 따라서, 일체형 핫스템핑 사이드 레인프 모델의 블랭크 사이즈는 전고 또는 전장의 길이가 1600 mm이하로 구성이 되어야 한다.

중대형 SUV급의 차종의 경우 멀티피스 구조를 단순히 일체형으로 변경 시 블랭크 사이즈의 전고와 전장이 모두 1600mm 이상이 된다. 따라서 블랭크 사이즈의 전고 또는 전장을 축소해야 한다. 이를 만족하기 위해서는

블랭크 사이즈가 가능한 부분까지 파팅을 하여 일체성형을 하고, 나머지 부분은 별도 부품을 용접하는 방법으로 해결할 수 있다.

따라서 Fig. 9와 같이 파팅 구조(전고축소 / 전장축소)에 따른 성능 비교를 하였다.

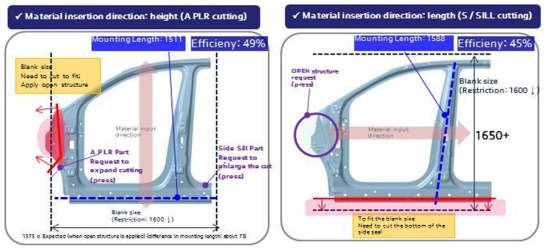


Fig. 9 Parting Type According To Material Input Direction

전고 축소 방안인 사이드실을 파팅 하는 구조와 전장축소 방안인 A 필러부를 파팅하는 구조에 대해 비틀림 강성 성능을 비교한 결과 Table 2과 같이 모두 동등한 수준의 성능을 확보하였으며, 제품 수율은 A 필러 부를 파팅하는 것이 유리하였다.

Table 2 Torsion Stiffness / Material Efficiency According To Parting type

Parting structure	Torsional stiffness [GJ]	Product Material Efficiency
BASE (Multi-piece)	30.56	-
A PLR Cutting	29.54	49%
S / SILL Cutting	29.53	45%

개선(일체형)구조 에서는 Fig. 10과 같이 A 필러 파팅 구조를 적용하였고, A 필러 멀티 연결구조를 개발하였다.

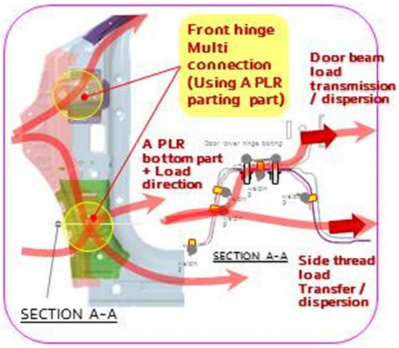


Fig. 10 Front Hinge Multi Connection Structure

2.3.2. A 필러 단면 구조

A 필러의 경우 기존 멀티피스 구조에서는 A 필러 LWR 레인프와 UPR 레인프가 각각 별도의 부품으로 성형되고 상호 부품의 일부 구간을 오버랩 시켜 용접하는 구조이다. 오버랩 구간은 각 부품의 두께가 겹쳐지는 구간으로, 강도가 보강이 되는 효과가 있으며, 이를 이용하여 전방 충돌 시 하중이 집중되는 조인트부에 오버랩 구간을 설정하여, 차량 비틀림 강성에 기여하고, 충돌 시 변형을 억제하는 역할을 수행한다.

일체형구조에서는 오버랩구간을 설정할 수 없으므로, A 필러부의 개선이 필요하다. 이를 위해 Fig. 11과 같이 일체형 레인프의 A 필러 부의 형상을 변형하여, 단면 극대화와 로드 패스 지지 방향의 단면 연속성을 확보 하였다.

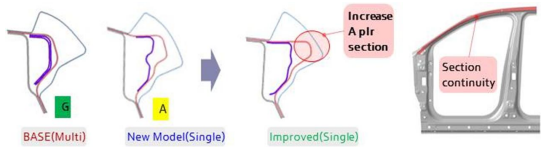


Fig. 11 A Pillar Section

위의 두가지 모델(신규/개선)의 스몰오버랩 해석결과 Fig. 12와 같이 A 필러레인프 단면 증대 시 어퍼/로워힌지의 변형량이 각각 1.3mm, 3.8mm감소하였다.

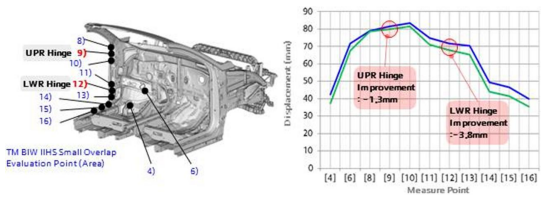


Fig. 12 A Case Analysis Data of A Pillar Section

2.3.3. A 필러 하부 구조

일체형 구조에서는 사이드실이 A 필러 하부와 연결 및 동시성형 되면서 기존의 A 필러 하단 사이드실이 일부 탈락되는 취약부가 발생한다. 이를 보강하기 위해서, Fig. 13과 같이 기존 탈락된 공간을 격벽구조로 막아주는 부품을 추가하여, A 필러 인너와 선조립 후 일체형 레인프을 후조립하여, 인너와 레인프 양방향 연결성을 확보하였다. 또한 격벽구조 부품과 벌크 헤드 형상의 전방 구조물

간 4면 다중결합을 통하여, 충돌 시 파단 억제를 극대화 하였다.

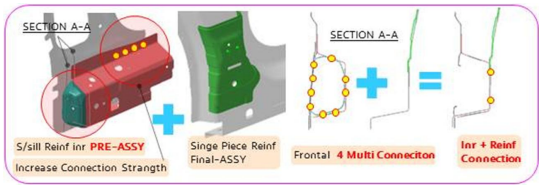


Fig. 13 Side Sill Front Bi-directional Joint

Fig. 14와 같이 처럼 격벽구조는 "ㄷ" 단면으로 전방부를 둘러쌓은 구조와 "ㄱ" 단면으로 길이 방향 연결성을 증대한 구조를 비교하였으며, Fig. 15 및 Fig. 16과 같이 ㄱ단면이 충돌 스몰오버랩 성능면에서 우세한 것을 확인하였다.

Fig. 14 A Pillar Lwr Concept ("ㄷ", "ㄱ" Section)

Fig. 15 A Pillar Lwr Hinge Deformations of Smalloverlap test

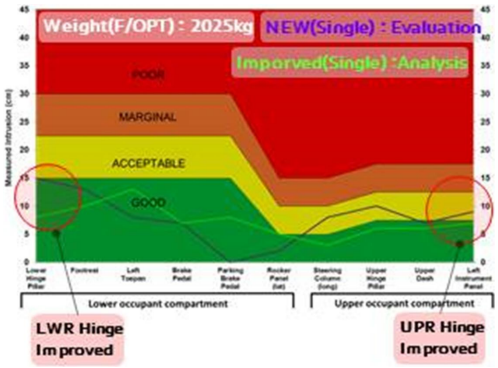


Fig. 16 Smalloverlap Deformations Graph

2.3.4. B 필러 상부 구조

B 필러 상부는 멀티피스 구조 대비하여 일부 공간이 탈락되어 빈공간이 발생하나, 천정강도 보강재를 통해 탈락된 공간을 보강할 수 있다. 따라서, 보강재의 단면에 따른 성능비교를 하였다.

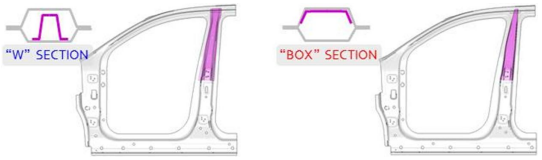


Fig. 17 B Pillar UPR section

보강재는 Fig. 17과 같이 인너와 일체형 레인프를 연결하여 W 단면을 구성하는 구조와 인너와 레인프의 박스 단면에서 레인프쪽을 추가 보강하는 박스형 보강 구조를 비교한 결과, Fig. 18 및 Fig. 19와 같이 W 단면 구조가 천정강도 및 측면 반력에서 우세하였다.

Fig. 18 B Pillar Case analysis data of Roof Crush

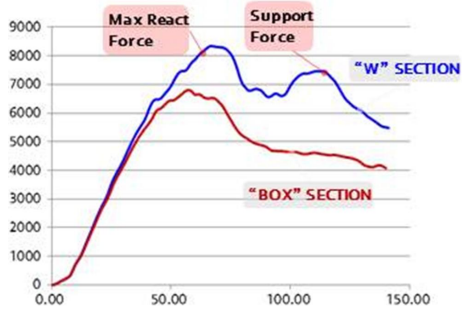


Fig. 19 B Pillar Case (W/BOX) Analysis Graph of Roof Crush

또한 W단면구조에서 루프레일과 센터필러 보강재가 단절되어, 환형구조를 구성함에 있어 미흡한점을 개선하여, 루프레일과 센터필러 보강재를 직접 연결하는 센터필러 어퍼-루프레일 구조를 개발하였다. 이를통해 Fig. 20과 같이 차체 환형구조를 극대화하여, 효율적인 천정강도 대응이 기대된다.

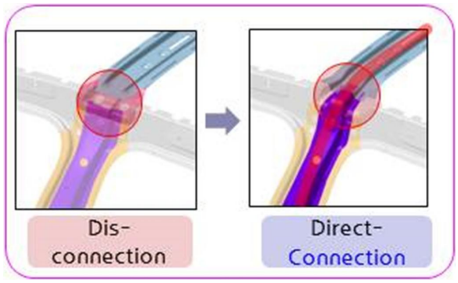


Fig. 20. CTR Pillar UPR-Roofrail Direct Connection

2.3.5. B 필러 하부 구조

B 필러 하부는 A 필러 하부와 마찬가지로, 멀티피스에서의 사이드실이 필러부와 연결 및 동시성형 되면서, 사이드실이 일부 탈락되는 취약부가 발생한다. 일체형 구조에서는 이러한 기존의 탈락된 공간을 복원 및 보강 하는 구조가 필요하다. 이를 위해서, Fig. 21과 같이 탈락된 사이드실 부분과 동일한 형상의 "ㄱ" 부품을 사이드실 리어에서 연장한 구조와 B 필러 인너의 하단 플랜지를 "ㄱ" 연장하여, 탈락된 사이드실의 공간을 격벽구조로 막는 구조를 비교하였다.

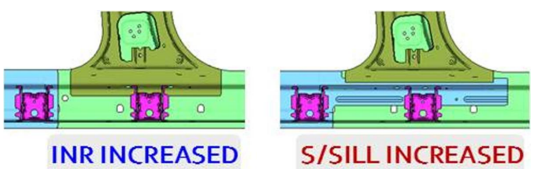


Fig. 21 B Pillar LWR Structure Type

추가로 Fig. 22와 같이 벌크헤드 채움 및 단면 밀착 구조와 벌크해드 축소 및 단면 형성구조를 비교하였다.

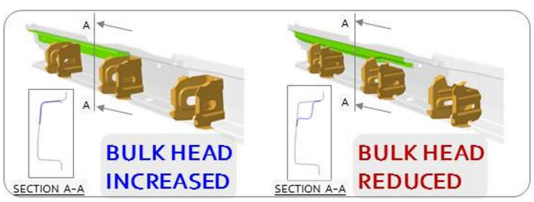


Fig. 22 Comparison of Bulk-head type of B Pillar LWR

측면 충돌 반력 해석 결과 Fig. 23과 같이 사이드실 아우터측에서는 인너 연장구조가 유리(반력 : +249.9kgf) 하였으며, 사이드실 인너측에서는 벌크해드 채움구조가 효과적이었다(반력 : +131.3kgf).

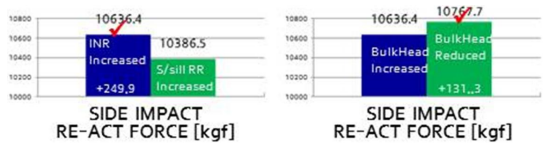


Fig. 23 Case Analysis of B Pillar LWR Structure type of Side impact

이를 통해 개선(일체형)구조에서는 Fig. 24와 같이 성능적으로 가장 유리한 B 필러 인너를 "ㄱ" 연장하는 구조를 채택하였고, 인너에 하단에 결합되는 시트벨트 리트렉터 브라켓을 상단에 벌크헤드와 추가적으로 결합하여, 박스 단면을 형성하여 측면 충돌 시 사이드실의 회전을 최대한 억제하는 구조를 개발하였다.

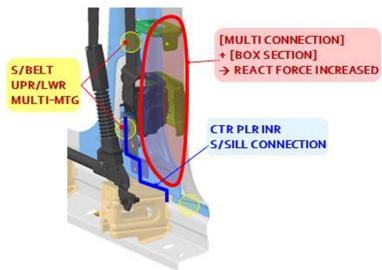


Fig. 24 CTR Pillar INR Multi-Connection Mounting and Jointing

3. 결 론

본 연구를 통해 일체형 핫스템핑 사이드 아우터 레인프 구조에서 발생하는 취약 공간에 대해 최적화 하여 보강할 수 있는 구조를 개발하였다.

최종적으로 Table 3과 같이 신규(개선)차종에 적용하

Table 3 BASE (Multi) / Single / Improved Model (Singe)

Division	BASE (Multi)	New (Single)	Improve (Single)
Parts [EA/Vehicle]	86	▲ 53 (-33)	▲ 74 (-12)
Weight [g/Vehicle]	BASE	▲-9.3% (-5,275)	▲-3.65% (-2,068)
Roof crush [kgf]	8,217.8	▲8,345 (+127.2)	▲8,782 (+564.2)
Small overlap (Weight)	G (1,886kg)	A (2,025kg)	G (2,025kg)
IIHS Side Impact (safety Space) [mm]	165	▼152 (-13)	▲166 (+1)

▲ : Imporved ▼ : Worse

여, 사이드 아우터 레인포스 및 인너 기준 중량 2kg/대, 부품수 12 EA/대 절감 하였고, 충돌성능 및 정강성 성능 또한 멀티피스 구조의 BASE 차종 보다 개선되었다.

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 일체형 파팅 구조는 소재의 폭으로 인해서, 파팅을 해야 함에 따라, 상하의 힌지와 연결을 하여, 스몰 오버랩 충돌 시 하부에서 상부로 로드 패스를 연결 시키는 구조가 효과적이다.
2) A 필러 단면 구조는 외판의 사이드 아우터 스킨 공간을 이용하여, 단면을 극대화 하고, 로드 패스 지지방향의 단면 연속성을 확보하는 것이 유리하다.
3) A 필러 하부 구조는 기존의 탈락된 취약부분에 격벽구조의 부품을 추가하여, 인너와 레인프 양방향 연결성을 확보하고, 격벽구조 부품과 전방의 벌크헤드 타입의 구조물 4면 다중 결합한다.
4) B 필러 상부 구조는 인너와 일체형 레인프를 연결하여 W단면을 구성하는 구조가 효율적이다.
5) B 필러 하부 구조는 B 필러 인너의 하단 플랜지를 연장하여, 탈락된 사이드실의 격벽구조를 형성하고, 사이드실 벌크헤드 채움 구조를 적용 시, 충돌 반력을 극대화 시킬 수 있다.

참고문헌

(1) Dr Don Malen, “Fundamental of Automobile Body Structure Design”.
(2) J. Michael Chang, Miinshiou Huang, Tau Tyan, G.Li, L. Gu, “Structural Optimization for Vehicle Pitch and Drop”.
(3) Saunders, J., Craig, M., and Parent, D., “Moving Deformable Barrier Test Procedure for Evaluating Small Overlap/Oblique Crashes”, SAE Int.J.Commer.
(4) Dr. Mikael Fermer, “Designing Body Structure for Real Life Safety”, Strategies in Car Body Engineering, 2013.
(5) Anders kullgren, Anders Ydenius, Clase Tingvall, “Frontal impacts with small partial overlap”.
(6) Shawn Morgans, “Advanced High-Strength Steel Technologies in The 2013 Ford Fusion”.
(7) Steel Market Development Institute, “Future Steel Vehicle”.