하이드로포밍 공법을 이용한 천정강도 특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of Roof Crush Using Hydroforming Method

*장종민 [1], #김효섭 [1], 김윤규 [1], 문만빈 [2]
*J. M. Jang[1], #H.S. Kim(hskim@hysco.com)[1] , Y.G.Kim [1], M.B.M.B.Moom
[1] 현대하이스코 기술연구소

Key words : Hydroforming, Roof Crash, FMVSS, Hotstamping, Finite Element Analysis

1. 서론

과거에 자동차 산업은 차량의 성능에 중점을 두고 있었지만 최근 자동차 산업은 환경문제에 따른 배기가스 규제 및 고유가에 맞추어 차량의 경량화를 추구하고 있다. 또한 성능뿐 아니라 안정성에 대해서도 많은 관심을 기울이고 있는 추세이다. 이에 따라 차체 경량화를 위해 하이드로포밍 및 핫스탬핑 공법기술 개발, 최적화 설계기법 적용, 초고강도 소재 적용등의 신기술을 적용하고 있다.

차량 구조물의 충돌에서 구조물에 사용되는 재료 선택은 매우 중요하다. 전통적으로 차체의 재료는 제조의 용이성, 에너지 흡수능력, 형상성형, 경제성등을 고려하여 현재까지 스틸(steel)을 주요재료로 채택 사용하고 있다.

또한 충돌에 대한 각종 안전 법규에 대처하기 위한 설계뿐만 아니라 차량의 무게, 제조상의 제한점, 소음 및 진동과 차량의 내구성 등의 측면도 동시에 고려 되어야 한다.

차량 경량화 및 에너지 절감 요구를 실현시키기 위하여 차체용 강판의 85% 이상을 고강도 강판으로 대체하는 시도를 하였으며 이러한 추세와 더불어 차량의 안전성 확보에 대한 관심이 늘어 나고 있으며 엄격한 법규의 제정이 이루어지고 있는 실정이다.

일반적으로 하이드로포밍이 적용된 차체는 기존 철강 제대비 동일한 차체 강성을 만족시킬 때 약 15% 의 경량화를 이룰 수 있다고 한다. 또한 동일한 차체강성을 보상하기 위한 소재 두께를 약 30% 정도 증가함에 따라 차체강도 및 내구수명적인 측 면에서 매우 우수할 뿐 아니라 경량화에 따른 차체굽힘 및 회전 고유진동수의 증가로 인하여 NVH(Noise Vibration Harshness) 성능의 향상도 기대할 수 있다. 더 나아가 경량화와 소재 두께의 증가는 기존 차체와 비교하여 충돌에너지 흡수능을 향상 시킬 수 있는 장점이 있다.

차량의 전복시 전체 외부에서 발생하는 충돌 에너지의 대부분은 차량의 Roof 로 에너지가 밀려 들어오게 된다. 이에대해 A/B-PLR(필러)는 차량의 승객을 보호해주는 역할을 하는 동시에 전복시 충돌 안전성과 밀접한 관계가 있는 부품으로 단순한 경량화 뿐만 아니라 구조 및 강도상의 문제와 조립되는 상관 판넬과의 관계를 고려해야만 하는 매우 중요한 부품이다.

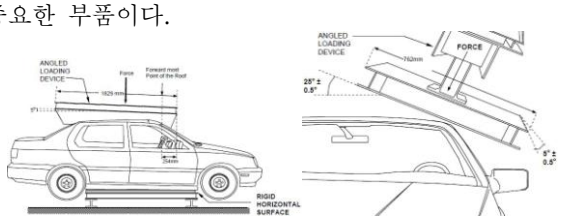


Fig.1 Test Equipment for FMVSS 216

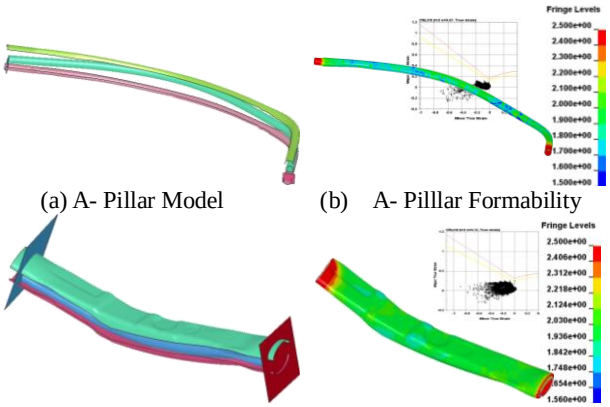
북미 자동차의 천정강도에 대한 규정은 Fig.1 과 같이 시험장치의 길이 방향 중심선을 통과하는 수직면에 대해 평행을 이루고 있도록 하고, 가로방향 축은 정면에서 보았을 때 측면 외곽으로 수평선 하향 25 도 기울어져 있도록 한다. 또한 시험 장치와 자동차 표면의 초기 접촉점 또는 초기 접촉면적의 중심이 시험장치 바닥면의 길이 방향 중심선상에 있고 그 중심선의 가장 앞쪽 지점으로부터 254mm 떨어져 있도록 규정하고 있다.

본 연구에서는 차량의 전복시 충돌에너지를 가장 많이 흡수하는 차체골격 부품중의 하나인 A/BPLR(필러)를 대상으로 LS-Dyna971 을 사용하여 하이드로포밍 공법적용 필러의 성형성 평가와 동시에 차체의 천정강도를 평가하기 위해 유한 요소해석을 실시하여 기존 프레스 대비 천정강도 특성 및 경량화 효과를 평가하고자 한다.

2. 차체부품의 성형 및 천정강도 해석

2.1 A/B-PLR(필러) FE 성형모델링 및 해석

프레스 스탬핑 기준으로 설계된 A/B-PLR(필러)를 기준으로 하이드로포밍 파이프로 설계 변경하여 이에대해 성형해석을 실시하였는데 A-필러는 590MPa 급 소재를 적용하였고 B-필러는 440MPa 급 소재를 적용하였다.



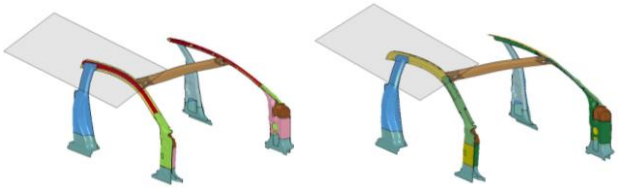
(a) A- Pillar Model (b) A- Pilllar Formability

(c) B- Pillar Model (d) B- Pilllar Formability

Fig.2 Pillar Hydroforming FE-Model

Fig 2 는 하이드로포밍 A/B PLR(필러) FE 모델 및 성형해석 결과 A-필러의 경우 두께감소율이 최대 26%이고 FLD 선도 기준 소재의 터짐발생이 없었으며 성형성이 양호한 편이고 B 필러의 경우 두께감소율이 최대 22% 및 FLD 선도 기준 터짐 발생이 없이 성형성이 양호하게 나타나는 결과를 얻을 수 있엇다.

2.2 천정강도 (Roof Crash) 해석



(a) Hydroforming Model (b) Press Model

Fig.3 Hydroforming Pillar and Press Pillar

Fig 3 은 기존 프레스 스탬핑 구조대비 하이드로포밍 설계 구조를 나타내엇으며 하이드로포밍 일체화 설계로 인해 부품수는 50% 감소되었으며 추가적으로 약 10%의 경량화 효과를 볼 수 있었다.

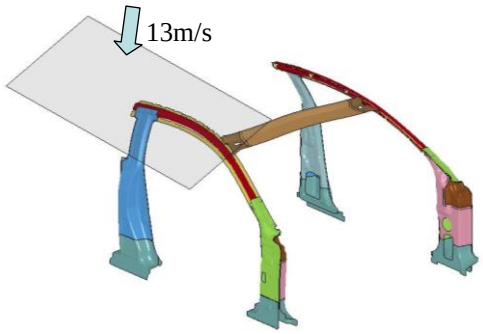
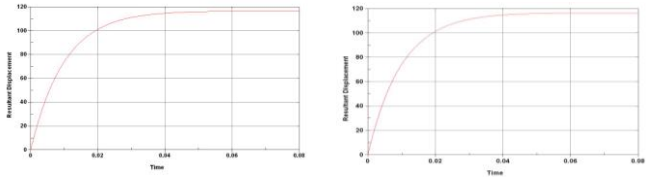


Fig.4 FE-Model of Roof Crash Analysis

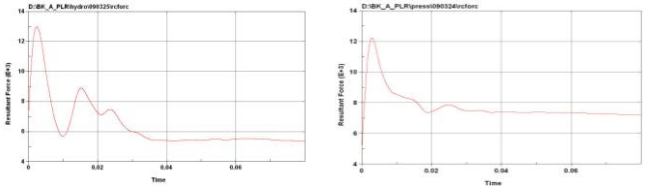
Fig 4 는 천정강도 해석을 위한 FE 로 FMVSS 216 Roof Crash Resistance 를 기준으로 하였으며 차량중량의 2.5 배를 부여하여 Crash Pad 를 이동시켜 평가하였다. FE 모델은 Crash Test 와 직접적으로 연계되는 A/ B- Pillar 및 Roof Cross Member Modeling 실시하였고 A/ B-Pillar 하단부는 법규 만족을 위해 고정시켰다. 또한 해석 시간 단축을 위해 속도 및 시간을 1/1000 Scaling 실시 하였고 기존 프레스와 하이드로포밍 A,B Pillar 의 Crash Pad 의 밀림량 및 반력으로 천정강도를 비교 평가 하였다.



(a) Hydroforming Type (b) Press Type

Fig.5 Crash Pad Displacement

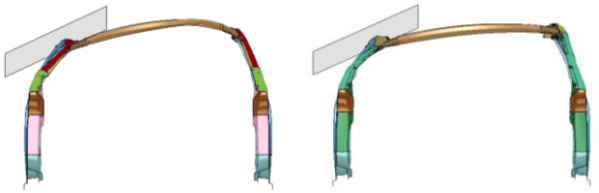
Fig 5 의 해석결과 기존 프레스공법 구조는 116.7mm 이동되었으며 하이드로포밍 공법구조는 116.6mm 이동하였다. 두 모델 모두 법규 127mm 이내로 만족하나 하이드로포밍이 동등이상으로 나타남을 알 수 있다.



(a) Hydroforming Type (b) Press Type

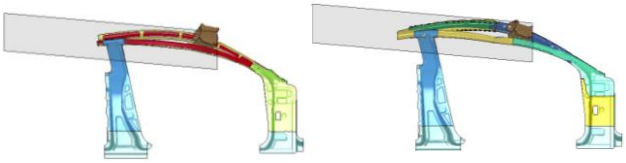
Fig.6 Roof Reaction Force

Fig 6 은 Roof 반력 해석결과로 SAE60 필터를 적용해서 나타내었다. 하이드로포밍은 12990N, 프레스는 12233N 의 초기 피크값을 가져 하이드로포밍이 757N 의 높은 피크값을 가짐을 알 수 있다.



(a) Hydroforming Type (b) Press Type

Fig.7 Deformation of Front View



(a) Hydroforming Type (b) Press Type

Fig.8 Deformation of Side View

Fig 7 과 Fig 8 은 충돌후 각각의 변형을 보여주고 있다. 정면의 형상에서는 별 차이를 느끼지 못하게 보이나 측면에서 보면 하이드로포밍 타입 경우에는 완만한 변형을 보여주나 프레스 구조의 경우에는 중간에 좌굴이 발생함을 알 수 있다. 이는 프레스 경우 하이드로포밍 공법적용 대비하여 차량의 전복시 승객의 보호에 상대적으로 열위임을 알 수가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 양산되는 프레스 공법을 이용한 차체 프로파일을 기본으로 하여 하이드로포밍 공법을 적용한 프로파일 형상설계 및 비교 분석하였다.

1. 기존의 프레스 필러를 기준으로 중량과 강도면에서 우수한 하이드로포밍 필러를 설계하였다.
2. 하이드로포밍 필러 설계시 기존 프레스 대비약 10%의 경량화 효과를 얻었다.
3. 천정강도 해석시 기존 프레스 필러 대비 천정강도 향상을 얻게 되었다.

참고문헌

1. 장종민, 김윤규, 나상묵, “유한요소해석을 이용한 토션빔 형상 최적화”, 대한기계학회지, 추계학술대회, 1147~1152, 2006.
2. 임종수, 이광규, 심일섭, “국내 및 향후 법규강화를 고려한 북미 시험 절차에 따른 천정강도 시험 특성에 관한 고찰”, 한국자동차공학회, 1005~1010, 2006.
3. 김은희, 이재광, 이문구, 홍민성 “북미 법규 강화를 고려한 국내 자동차의 천정강도 시험특성에 관한 연구”, 한국공작기계학회지, 348~345, 2009.
4. “LS DYNA 970 USER’S MANUAL”, 2009.