

샌드위치 판재의 성형성을 고려한 차체 부품의 개발

최 원 호¹⁾ · 최 보 성¹⁾ · 이 덕 영²⁾ · 황 우 석^{*2)}

대구대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 대구대학교 기계·자동차공학부²⁾

Development of Automotive Structural Part Considering the Formability of Sandwich Panel

Wonho Choi¹⁾ · Bosung Choi¹⁾ · Dug Young Lee²⁾ · Woo Seok Hwang^{*2)}

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Daegu University, Daegu 712-714, Korea

²⁾School of Mechanical and Automotive Engineering, Daegu University, Daegu 712-714, Korea

(Received 23 June 2011 / Revised 19 October 2011 / Accepted 23 November 2011)

Abstract : Sandwich composite panel with high strength steel face can reduce the weight of the automotive structural parts. Unlike the parts in aerospace application, the automotive parts are made by the forming process for mass production. The CAE simulation can predict the failures caused by forces and deformation during the forming process. Since the material properties are very important factor for the simulation, we performed the tensile test to get the material properties. The inspections by the optical microscope at each strain level show the states of the polymer resin. The material properties measured by the tensile tests are used for the input data of simulation. The simulation predicts the forming process of the bumper back beam very exactly compared with the try out results.

Key words : Sandwich composites(샌드위치 복합재료), Sheet metal forming(박판 성형), Bumper back beam(범퍼 백 빔), Optical microscope(광학 현미경), Tensile test(인장시험)

1. 서 론

자동차의 연비 향상은 엔진 출력의 향상, 차체의 형상 설계 변경을 통한 공기저항 감소, 차체의 소형화 및 자동차 경량화 등으로 가능하다. 그동안 많이 시도되어 온 엔진 출력 향상이나 공기저항의 감소 등은 설계 측면에서 고려되는 것으로, 현재 기술개발이 한계에 도달하였다고 판단되며 더 이상의 급격한 개선은 어려운 실정이다. 또한 차체의 소형화는 자동차 연비 향상의 가장 확실한 방법이나, 고기능성, 고출력, 고안전성 등을 선호하는 소비자의 욕구를 만족시키기에는 한계가 있다. 최근 들어서는 경량 신소재나 신공법의 적용을 통하여 차량의 경량화를 시도하는 연구가 많이 시도되고 있다.¹⁾

본 논문에서는 이종의 재료가 결합되어 구성된 샌드위치 구조재료를 사용하여 자동차 구조부품의 개발에 적용하고자 한다. 샌드위치 구조재료는 경량화가 극대화된 항공우주 구조물에 널리 사용되는 재료로서, 인장과 굽힘을 전담하는 고강성 외피와 전단을 지지하는 경량 심재로 구성되어 있다. 항공우주 구조물의 경우, 탄소섬유/에폭시로 만들어진 외피와 노멕스나 알루미늄으로 만들어진 심재를 사용하지만, 응용목적에 따라 외피나 심재를 선택할 수 있다.²⁾

샌드위치 복합재료(Sandwich Composites)의 심재는 비중이 낮아 구조물의 경량화에 기여하며 외부에서 작용하는 하중에 의한 변형에너지를 흡수한다. 또한 면재는 비강성과 비강도가 높은 재료 등을 사용하여 하중지지능력을 향상시키고 좌굴의 발생

*Corresponding author, E-mail: whwang@daegu.ac.kr

을 억제시켜주는 역할을 한다.³⁾ 이제까지 샌드위치 구조재료의 연구는 이의 적용을 통해 원하는 강성을 갖는 구조물의 설계에 치중되어 왔다. 이를 위하여 항공우주 분야에서는 심재를 원하는 모양으로 가공한 후 외피를 접착하는 방식을 사용해 왔다. 하지만 대량생산이 요구되는 자동차 부품의 경우, 이러한 방법보다는 생산성이 높은 성형가공을 이용하는 연구가 필요하다.

김기주 등은 알루미늄 판재와 폴리프로필렌 코어재로 구성된 샌드위치 판재의 성형성을 확인하기 위하여 평면변형 시험과 한계돌 높이 측정을 실시하였다.⁴⁾ 본 연구에서는 알루미늄보다 성형이 용이하지 않는 강판을 사용한 샌드위치 판재로 형상이 매우 복잡한 차체 부품인 범퍼 백 빔(Bumper Back Beam)을 제작하기 위한 성형성을 분석하였다. 범퍼 백 빔은 각 차종에 따라 형태와 크기가 다르지만 아래 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 차량의 전면부에 장착되는 차체 구성부품이다.⁵⁾

현재 범퍼 백 빔의 경량화를 위한 한 방안으로 핫스탬핑 공법을 이용하여 제품개발을 시도하고 있다. 핫스탬핑 공법의 경우 상변태를 통한 제품의 강도변화로 소재 경량화는 이룰 수 있으나 강도가 급격하게 상승하여 충격흡수능에서는 부족한 면이 존재한다. 범퍼 백 빔의 경우 강도뿐 아니라 그에 못지않게 충격흡수 능력이 필요한 부품이므로 본 논문에서는 충격흡수력과 복원력이 뛰어난 소재를 심재로 사용하고자 한다.^{6,7)}

본 연구에서는 우수한 물성을 갖는 경량 샌드위치 복합재료를 개발하고 이 소재를 차체부품에 적용가능한지를 검토하였다. 이 과정에서 샌드위치 판재의 성형성에 대한 분석이 필요하므로 상용 프

로그래밍인 PAMSTAMP 2G를 사용하여 판재의 성형 해석을 수행하였다. 해석 프로그램에서는 샌드위치 판재의 성형성을 분석하기 위한 세 가지 방법을 제시하고 있다. 솔리드를 이용하여 소재의 두께 및 접착면의 물성을 고려한 방법과 멀티 레이어 셸 인터페이스(Multi Layer Shell Interface)라고 하는 셸 요소를 사용하는 방법, 그리고 샌드위치 판재를 하나의 새로운 물성치로 가정하고 해석하는 방법이 있다. 본 논문에서는 초기 설계단계에서 가장 쉽고 간단하게 성형성 분석이 가능한 마지막 방법을 이용하여 성형성 분석을 수행하였다. 성형성 해석을 위해서는 소성을 고려한 탄성계수와 항복응력의 정보가 필요하지만 본 연구에 사용된 샌드위치 판재의 구성에 대한 물성이 확보되지 않은 상태이다. 그러므로 샌드위치 복합재료의 단축 인장시험을 통하여 레진(Resin)층의 거동을 분석하여 성형한계를 정의하였다. 또한 단축 인장시험을 통해 구한 응력-변형률 곡선을 활용하여 탄성계수를 확보하였다. 이러한 물성을 이용하여 성형해석을 수행하고, 생산된 시제품과의 비교를 수행하였다.

2. 인장시험을 통한 파단기준 설정

샌드위치 복합재료는 경량화 목적의 구조재료로 사용이 적합하며 심재 및 면재에 따라 재료특성 구현이 가능하다. 심재에 쓰이는 복합폴리우레탄은 알코올기와 이소시아네이트기의 결합으로 만들어진 고분자 화합물의 총칭이다. 본 연구에서 사용된 복합폴리우레탄은 접합성 향상 및 통전성을 부여하기 위해 철망을 삽입하였다. Fig. 2는 샌드위치 복합재료의 개념도를 보여준다.

면재로 사용된 강판은 이방성을 가지는 고장력강판인 SPRC 440이고 두께는 0.8mm이다. 심재로 사용된 레진 층은 원형의 동일 재질의 격자로 형성되



Fig. 1 Bumper back beam part

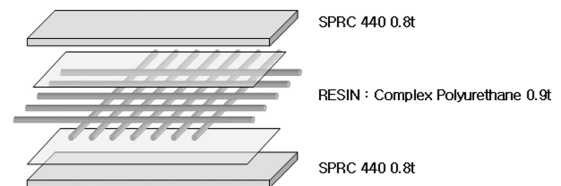


Fig. 2 Sandwich composites

어 등방성을 가지는 복합폴리우레탄이며 두께는 0.9mm이다. 그러므로 샌드위치 복합재 판재(Sandwich Composite Panel)의 총 두께는 2.5mm이며, 해석을 위한 물성치는 면재의 이방성계수를 사용하였다.

응력-변형률 선도를 구하고 변형률별 레진 층의 거동을 분석하기 위하여 인장시험을 실시하였다. 시험에 사용된 장비는 기계식 만능재료시험기인 INSTRON 5569 기종이며, 인장시험 속도는 2mm/min로 하였다. 시험에 사용된 인장시험편의 규격은 KS B 0801 13B호에 의거하여 제작하였다.

인장시험을 통하여 Fig. 3과 같은 응력-변형률 선도를 얻을 수 있었으며, 변형률이 18%내외인 구간에서 최대 인장강도를 가짐을 확인할 수 있었다.

변형 정도에 따른 레진 층의 거동을 분석하기 위하여 여러 개의 시험편을 준비한 후 변형률이 각각 0, 3, 6, 9, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 27, 28, 29, 30% 까지 인장을 가하였다. 일단 Fig. 3의 결과로부터 변형률이 18% 근처가 중요함을 알았으므로, 18% 근처에 대하여는 변형률 1% 간격으로 실험하고 나머지 구간은 3% 구간으로 나누어 실험하였다. 광학현미경(Optical Microscope)을 이용하여 서로 다른 변형률로 인장된 시험편에 대한 단면분석을 실시하였다. Fig. 4는 대표적인 경우에 대한 단면분석 사진을 보여준다.

예상한 대로 18%의 변형률로 인장되면서 크랙이 발생되기 시작하여 변형률이 커질수록 레진 층의 파단이 급격하게 진행됨을 확인할 수 있었다. 그러므로 단축 인장모드에서의 샌드위치 복합재의 파단 한계가 변형률 18%로 정하였다.

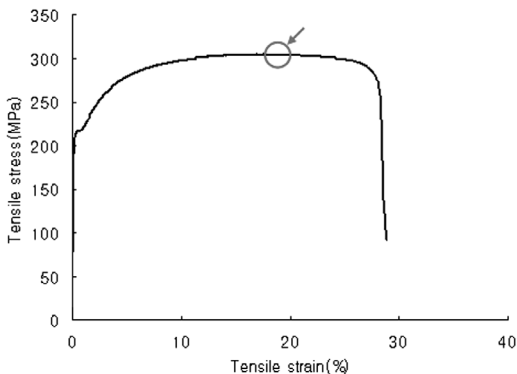


Fig. 3 Stress strain curve of sandwich composites

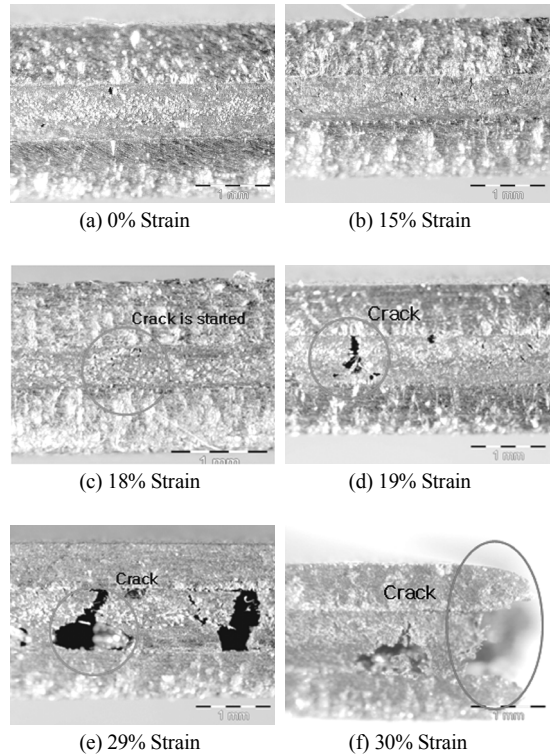


Fig. 4 Changes of resin layer with strains

3. 성형해석 및 설계변경

프레스 공법을 이용한 샌드위치 복합재 판재의 성형성을 분석하기 위한 툴 구성은 Fig. 5와 같다.

물성치는 인장시험을 통해 구한 샌드위치 복합재 판재의 응력-변형률 선도를 이용하였고 성형 타입은 포밍(Forming) 공법으로 성형 깊이는 190mm이다. 마찰계수는 상형 다이, 펀치 모두 0.12, 성형 속도는 10m/s, 이방성 계수 값은 앞에서 언급한대로 SPRC 440의 수직이방성계수 $R=1.48$ 을 적용하였다. 해석에 사용된 사각 블랭크 사이즈는 1440mm×233mm이며, 초기 메시 사이즈는 20mm에서 시작하여 성형이 진행됨에 따라 메시가 3단계로 조밀하게 분할되어 최종 2.5mm의 메시 사이즈를 갖는다. Fig. 6은 성형이 진행되는 동안 상형 다이에 대한 블랭크의 접촉력을 보여주는데, 최종성형 35mm진 즉, 155mm 정도의 성형이 진행되었을 때 갑자기 접촉력이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 제품에 파단이 발생한 것으로 나타난다. 이 상태에서 판재 신을 분포는 Fig. 7과 같으며, 과도한 두께 감소로 인하여 판

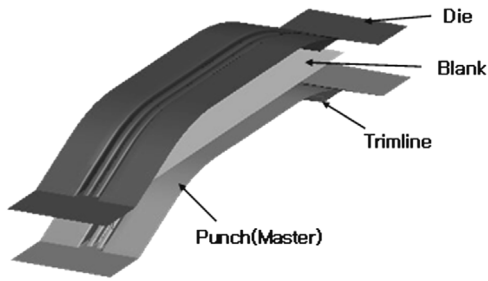


Fig. 5 Tool setup of press method

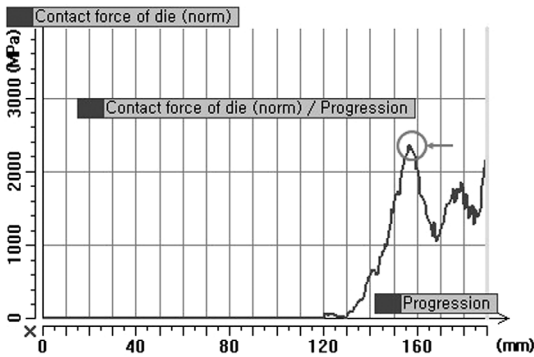


Fig. 6 Contact force of die

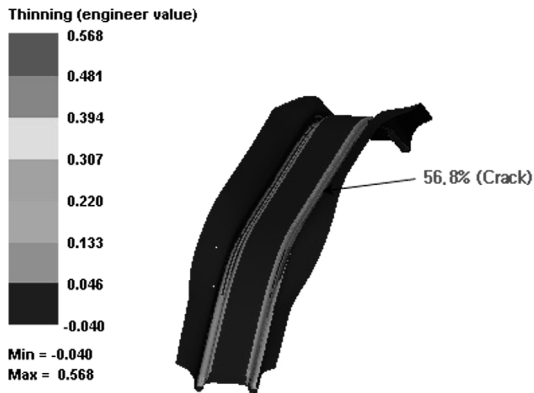


Fig. 7 Thinning distribution in the state of 155mm

재가 파단되었음을 확인할 수 있었다.

파단 문제를 해결하기 위해 구조성능에 문제가 없는 범위에서 제품을 Fig. 8과 같이 수정하였다. 단면은 제품의 중심부위를 표현하였으며 제품내부의 형상 깊이를 20mm에서 10mm로 수정하였고 제품 트림라인 바깥의 금형 측벽도 내려 성형에 유리하게 금형을 수정하였다.

제품 및 금형을 수정 후 실시한 성형해석의 결과

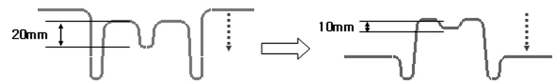


Fig. 8 Modifications of product and die

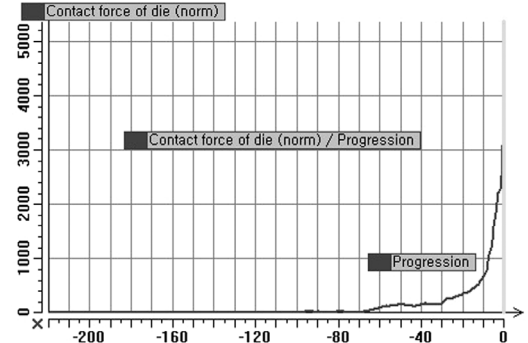


Fig. 9 Contact Force of modified die

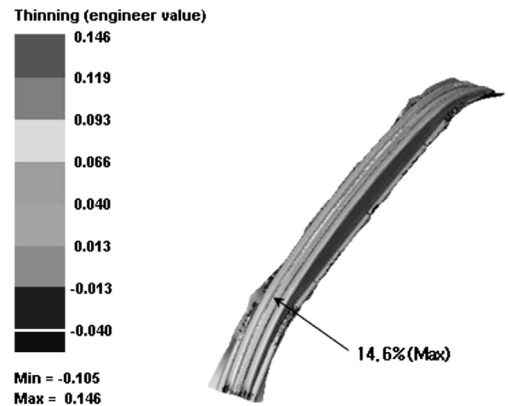
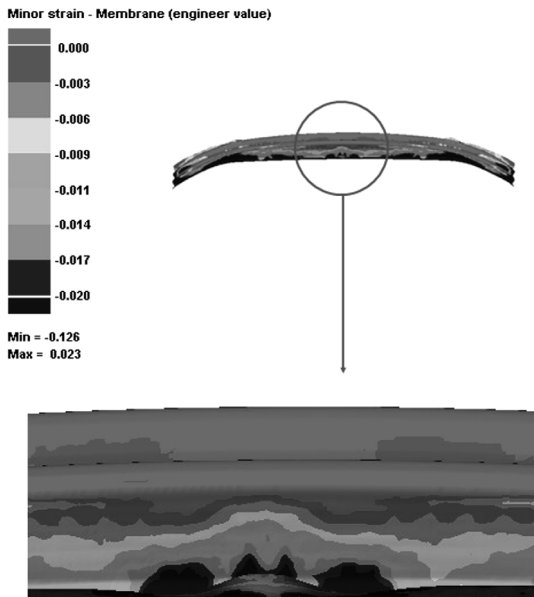


Fig. 10 Thinning distribution in the final state

는 Fig. 9와 10에 있다. 성형이 진행되는 동안 상형금형에 대한 블랭크의 접촉력을 보면 값이 계속 증가함을 볼 수 있고, 최종 성형시 범퍼 백 빔 판재의 신율 분포도 Fig. 10과 같이 적절함을 볼 수 있다. 최종 성형시 변형률의 최대치는 14.6%이므로 인장시험과 광학현미경을 통해 구한 파단 한계인 18%에 미치지 않음을 알 수 있다.

일단 파단이 일어나지 않는 변형률 한계 내에서 성형이 이루어짐을 확인하였지만, 포밍 형태의 성형 타입으로 인해 주름이 발생할 가능성이 있다. 주름을 예측하는 방법으로 성형과정에서의 살물림을 확인하는 방법과 부변형률 분포를 이용하는 방법 등이 있다.



(a) Simulation result



(b) Tryout result of the panel

Fig. 11 Comparison of the wrinkle with simulation and tryout

본 논문에서는 부변형률 분포를 이용하여 주름 발생 여부를 예측하고, 제품 트라이아웃의 주름 (Wrinkle) 결과를 비교하였다. 부변형률은 두 축방향의 면변형률 중에서 가장 작은 변형률을 나타내며, 부변형률 분포의 변화가 심할 경우 Fig. 11과 같이 성형된 판재에서 주름으로 나타난다.

주름을 없애기 위해 제품의 트림라인과 유입량을 고려해 초기 블랭크 사이즈를 조절하였으며 프랜지 양을 줄임으로서 양품의 제품을 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 고장력강판과 수지 층을 접합한 샌드위치 복합재 판재의 인장시험을 통하여 파단

한계를 예측하였다. 구해진 파단한계를 이용한 성형해석은 제품의 성형성에 대한 매우 유용한 정보를 제공하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 인장시험을 통하여 본 연구에서 사용된 샌드위치 복합재 판재의 최대 인장강도는 인장 변형률이 18%인 구간에서 얻어짐을 확인하였다.
- 2) 광학현미경 분석을 통하여 인장 변형률이 18%인 구간에서 레진 층의 파단이 시작되고 그 이후 파단의 진행이 빨라짐을 알 수 있었다. 그러므로 본 연구에서의 파단 평가기준으로 18% 인장 변형률이 적합함을 확인하였다.
- 3) 샌드위치 복합재를 이용한 프레스 성형은 신율이 작고 국부변형이 심한 부품에는 적합하지 않음을 확인하였으며, 제품 수정을 통해 성형이 가능한 제품 조건을 제시하였다.
- 4) 부변형률 검토를 통해 주름을 예측하였으며 실제 판재 트라이아웃 결과와의 비교를 통해 해석의 타당함을 증명하였다.

References

- 1) S. Lee, J. Park and D. Koo, "The Development of Material Technology for Weight Reduction of Automotive Body and Its Application," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.1145-1151, 2002.
- 2) A. F. Johnson and G. D. Sims, "Mechanical Properties and Design of Sandwich Materials," Composites, Vol.17, pp.321-328, 1986.
- 3) S. J. Lee and K. B. Shin, "Experimental Study on the Characteristics for Static Behavior of Stitched Sandwich Composite," Spring Conference Proceedings, KSAE, Vol.2, pp.1103-1109, 2008.
- 4) K. J. Kim, H. T. Jeong, I. S. Sohn, C. W. Kim and J. B. Kim, "Formability of Aluminum 5182- Polypropylene Sandwich Panel for Automotive Application," Transactions of KSAE, Vol.15, No.2, pp.175-181, 2007.
- 5) T. Mori, H. Hamano and K. Suzuki, "Structural Performance and Weight Reduction of Steel, Aluminum and Stampable Sheet for Bumper Beams," SAE 940757, 1994.

- 6) S. Schuler and F. Mooijman, “Bumper Systems Designed for Both Pedestrian Protection and FMVSS Requirements,” SAE 2003-01-0214, 2003.
- 7) EEVC Working Group 17 Report, Improved Test Methods of Evaluate Pedestrian Protection Afforded by Passenger Cars, 2002.