

휠 하우스의 스템핑 공정설계

Design of stamping process for wheel house

*임우승¹, *김병민², 차승훈², 이찬주², 이상근¹, 김봉환³, 고대철⁴

*W.S. Lim¹, *B.M. Kim(bkim@pusan.ac.kr)², S.H. Cha³, C.J. Lee², S.K. Lee¹, B.H. Kim³, D.C. Ko⁴

¹PNU-IFAM 국제공동연구소, ²부산대학교 기계공학부, ³진주산업대학교 자동차공학과, ⁴부산대학교 ILIC

Key words : Stamping Process, Blank Offset, Blank Holding Force, Artificial Neural Network, Wheel House

1. 서론

현대 산업에 폭넓게 사용되고 있는 스템핑 공정(stamping process)은 금속 판재를 이용하여 다양하고, 비교적 복잡한 형상의 제품을 제조하는 공정으로써 저렴한 소재, 성형된 제품의 높은 강도 및 대량 생산성 등의 큰 장점을 가지고 있다. 하지만, 대부분은 제조 공정 중에 큰 소성변형을 수반하게 되어 판재의 파단 및 주름과 같은 결함이 발생하는 문제가 있다.

스템핑 공정은 블랭크 형상(blank shape), 블랭크 홀딩력(blank holding force), 드로우비드 형상(draw-bead shape), 금형과 재료간의 마찰 특성 등 여러 가지 공정변수들의 영향을 받는 성형공정이다. 이와 같은 공정변수들은 스템핑 공정에 복합적인 영향을 끼치기 때문에 최적의 공정변수를 결정하는 것은 매우 어려운 실정이다.[1,2]

본 연구에서는 차체 부품인 휠 하우스의 성형공정을 설계하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석 결과를 바탕으로 초기 블랭크 크기 및 블랭크 홀딩력의 변화에 대한 제품의 파단 및 주름을 평가하였다. 또한 산업 현장에 적용시 작업환경에 적합한 공정조건을 설계자가 쉽게 도출할 수 있도록 인경신경망을 이용하여 블랭크 크기 및 홀딩력의 가용 성형한계영역을 설정하였다.

2. 유한요소해석

휠 하우스 스템핑공정에 블랭크 크기 및 홀딩력이 제품의 결함에 미치는 영향을 평가하기 위해 판재성형해석 프로그램인 Ls-dyna 를 이용하여 Fig. 1 에 나타낸 것과 같이 유한요소해석을 수행하였다. 사용된 소재는 열간 압연 강판인 APFH440 이며, 기계적 물성을 평가하기 위하여 인장실험을 수행하였으며, Table 1 에 그 결과를 나타내었다. 또한 소재의 성형한계선도를 작성하여 Fig. 2 에 나타내었다.

블랭크의 형상 및 크기에 따라 제품의 주름 및 파단이 달라질 수 있기 때문에 본 연구에서는 사각형 블랭크에 대한 유한요소해석을 수행하고, 절점들의 이동을 예측하여 Fig. 3 에 나타낸 것과 같이 목표 외관선과 일치하는 블랭크의 형상을 도출하였다. 결정된 블랭크 형상을 기준으로 블랭크 형상을 오프셋한 블랭크 크기 및 블랭크 홀딩력을 공정변수를 선정하고, 선정된 공정변수 조합에 대한 성형해석을 수행하였다. 블랭크 홀딩력은 생산현장의 프레스 용량을 고려하여 설정하였으며, 블랭크 오프셋은 다이페이스를 고려하여 초기 블랭크로부터 균일하게 증가시켰다. 선정된 공정변수 조합에 대한 성형해석 결과와 성형한계선도를 바탕으로 파단 및 주름에 대한 특성치를 정량적으로 평가하였다.

3. 스템핑 공정설계 및 가용 성형한계영역

초기 블랭크 형상을 이용하여 터릿서스펜션의 스템핑 공정설계를 수행하였다. 생산현장의 프레스 가용용량을 고려하여 최대 블랭크 홀딩력은 50ton 으로 설정하였고, 최대 블랭크 오프셋은 최외곽 다이페이스를 고려하여 30mm 로 설정하여 성형해석을 수행해 보았다. 성형해석 결과를 나타낸 Fig. 4 에서 터릿서스펜션의 스템핑 공정동안 최종 제품에 주름은 발생하지 않으나, 파단이 발생함을 확인할 수

있다. 따라서 최소 블랭크 홀딩력 20ton 및 최대 블랭크 홀딩력 50ton 을 기준으로 등간격으로 설정하였고, 블랭크 오프셋은 최외곽 다이페이스를 고려하여 최대 30mm 를 기준

Table 1 Mechanical properties of APFH440

Parameter	Value
Yield stress	247.87 MPa
Flow stress	$\bar{\sigma} = 720.13 \varepsilon^{0.15}$
Lanford value	$R_0=0.50, R_{45}=0.87, R_{90}=0.62$

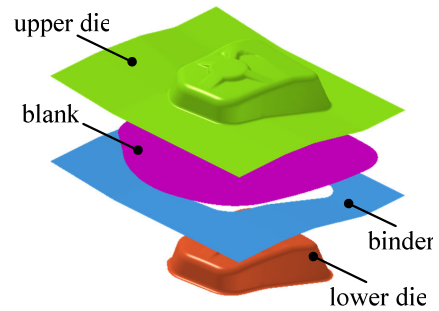


Fig. 1 FE-modeling for stamping of wheel house

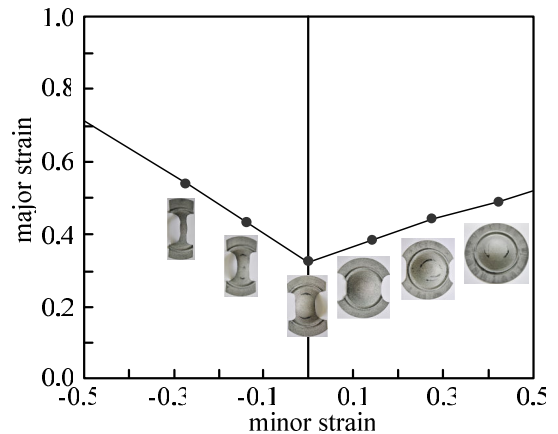


Fig. 2 Forming limit diagram for APFH440 of 2.2t

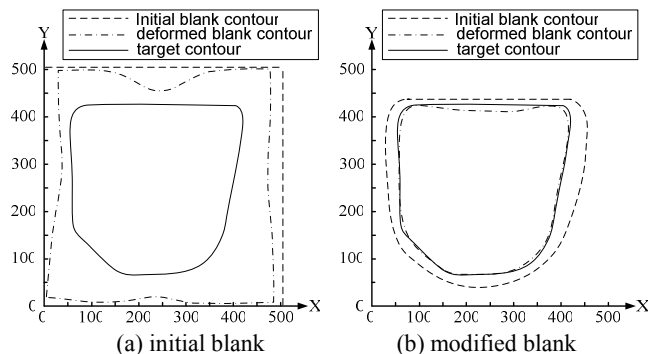


Fig. 3 Design of the initial blank for stamping of wheel house

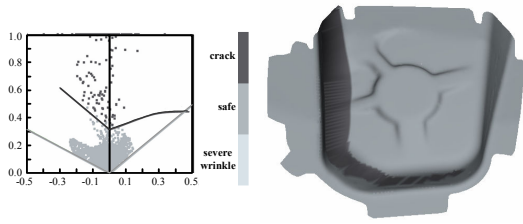


Fig. 4 Result of FE-analysis for stamping of wheel house at BHF=50ton, blank offset=30mm

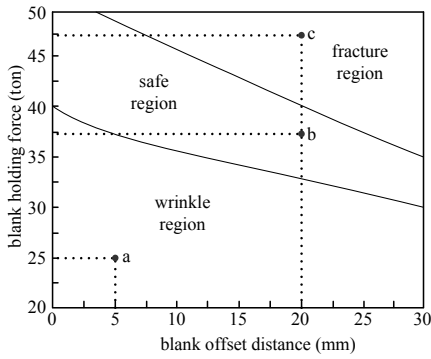


Fig. 5 Feasible formability diagram for stamping of wheel house

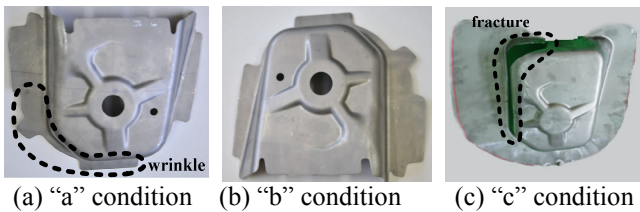


Fig. 6 Wheel house produced by experiment under stamping process condition marked in Fig. 5

으로 설정하였다. 본 연구에서는 공정변수가 2 개이므로 모든 공정변수 조합을 고려하였고, 만약 3 개 이상의 공정변수가 고려될 경우 실험계획법을 활용하여 실험 횟수를 줄일 수 있을 것으로 판단된다³⁻⁵. 각 설계변수 조합에 대하여 유한요소해석을 수행하였으며, 해석결과와 FLD 를 바탕으로 파단 및 주름에 대한 특성치를 계산하였다. 계산된 결과를 인공신경망에 적용하여 휠 하우스의 가용 성형한계영역을 Fig. 5 와 같이 작성하였다. 블랭크 홀딩력과 블랭크 오프셋이 증가할수록, 주름영역은 감소하지만 파단영역이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 소재가 금형 캐비티로 유입될 때 블랭크 홀딩력 및 블랭크 오프셋의 증가로 인한 마찰력 증가로 과도한 인장력이 발생하기 때문에 나타나는 결과라고 판단된다.

4. 휠 하우스 부품의 스탬핑 실험

Fig. 5 에 나타난 가용 성형한계영역의 타당성을 검증하기 위하여 터릿서스펜션의 스탬핑 실험을 수행하였다. 터릿서스펜션의 스탬핑 실험은 가용 성형한계영역 상에서 주름, 파단 및 안전영역을 검증할 수 있는 조건하에서 수행되었다. 터릿서스펜션의 스탬핑 실험을 위한 조건을 Fig. 6 에 a, b, c 로 나타내었다. Fig. 6 의 a 조건은 블랭크 오프셋 5mm, 블랭크 홀딩력 25ton 으로 가용 성형한계영역에서 주름영역에 있으며, 실험결과를 나타낸 Fig. 6(a)에서 볼 수 있듯이 좌측 하단부에 주름이 발생하였다. Fig. 5 의 b 조건은 블랭크 오프셋 20mm, 블랭크 홀딩력 37ton 으로 가용 성형한계영역에서 안전영역에 있으며, Fig. 6(b)와 같이 결함없는 제품을 성형할 수 있었다. 또한 Fig. 5 의 c 조건은 블랭크 오프셋 20mm, 블랭크 홀딩력 47ton 으로 가용 성형한계영역에서 파단영역에 있으며 Fig. 6(c)와 같이 좌측 측벽부에 파

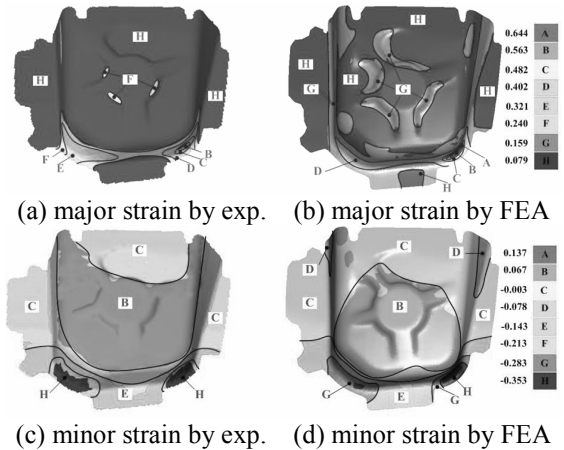


Fig. 7 Comparison between experiment and FE-analysis for stamping of wheel house under "b" condition of Fig. 5

단이 발생하였다. 이상의 실험결과로부터 본 연구에서 제시한 가용 성형한계영역은 최종 제품의 결함유무를 매우 잘 예측함을 확인할 수 있다. 해석결과와 실험결과와의 정량적 비교를 위해 Fig. 7 에 Fig. 5 의 b 조건에서 측정된 변형률 분포와 성형해석으로 구한 변형률 분포를 나타내었다.

Fig. 7(a)와 (b)에서 최대 주변형률은 실험과 해석결과 모두 우측 하단부에 나타났으며, 그 값의 범위는 0.643~0.563 였다. Fig. 7(c)와 (d)에서 최소 주변형률은 실험과 해석결과 모두 좌, 우측 하단부에 나타났으며, 그 값의 범위는 -0.353~-0.283 으로 나타났다. 이는 코너부의 유동에 의해서 소재에 압축력이 작용하였기 때문에 나타나는 결과라고 판단된다. 또한 Fig. 7 에서 전체적인 변형률 분포 값이 실험과 해석결과가 상당히 유사함을 관찰할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 가용 성형한계영역에 대한 실험 및 해석결과가 상당히 잘 일치함을 확인할 수 있으며, 가용 성형한계영역에 의한 스탬핑 공정설계 방법은 일반적인 차체 부품의 공정설계에 효율적으로 적용될 수 있다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서 설정한 가용 성형한계영역을 이용하면 생산현장의 프레스 용량, 금형의 마모, 소재의 트림량 등을 고려하여 최종 제품에 파단 및 주름이 발생하지 않는 블랭크 형상 및 블랭크 홀딩력과 같은 공정변수를 안전영역 내에서 효율적으로 선택 가능하다는 것을 알 수 있다.

후기

이 논문은 국제과학기술협력재단(KICOS, K2060100004-07E0100-00400)의 지원 및 한국산업기술재단 전략기술인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임

참고문헌

1. K.E. Yang et al., "Recent press forming technology and research trends," Journal of Korean Society of Machine Tool Engineers, **11**, No.2, pp.30-37, 2002.
2. H.H. Ko et al., "A study of tool planning for forming analysis in REF SILL OTR-R/L autobody panel stamping process," Journal of KSPE, **23**, pp. 118-124, 2006
3. K.C. Son et al., "Optimal blank shape design using the initial velocity of boundary nodes," JMPT, **134**, pp. 92-98, 2003
4. G.H. Bae et al., "Simulation-based prediction model of the draw-bead restraining force and its application to sheet metal forming process," JMPT, **187-188**, pp. 123-127, 2007