

400계 스테인리스 판재의 가전 부품 적용을 위한 전산해석 기반 다단 금형설계

박기동^{1,3}, 장정호^{1,3}, 김세호^{#2}, 김기풍⁴

Simulation-based Multi-stage Tool Design for an Electronic part with Ferritic Stainless Steel Sheet

K. D. Park, J. H. Jang, S. H. Kim, K. P. Kim

Abstract

This paper replaces an conventional 300-austenitic stainless steel sheet to a 400-ferritic stainless steel for the cost reduction of a pulsator cover of a washing machine. However, ferritic stainless steel has poor formability in comparison with austenitic one. The low formability of ferritic steel results in problems during stamping such as fracture, wrinkling, shape inaccuracy and so on. Design modification of the stamping tool is carried out with the aid of the finite element analysis for multi-stage stamping process. The simulation results show that fracture occurs on top of the product while wrinkles are generated by the excess metal near the wing part. Modification of the initial stamping die is performed to improve metal flow and to eliminate problems during the stamping process. Simulation with the modified design fully demonstrates that safe forming is possible without inferiorities.

Key Words : Tool design, Ferritic stainless steel, Stamping process, CAE

1. 서론

스테인리스 판재는 우수한 내식성 및 기존 강판 대비 동등한 강도 수준 등으로 머플러 등의 차량 부품, 싱크대 등의 주방용품, 전자부품 등에 널리 사용되고 있으며 전자 및 자동차 등의 산업에서 성형성이 우수한 300 계열 스테인리스 판재가 많이 사용되고 있다. 그러나, 원소재인 니켈 가격의 상승으로 원가부담이 가중되어 원소재로 니켈을 사용하지 않는 400 계열 스테인리스 판재의 사용이 점점 증가하고 있는 추세이다. 400 계열 판재의 원가는 300 계열 대비 1/3 수준이나 성형성이 떨어지는 문제가 있다. 기존의 300 계열 스테인리스 판재를 적용한 부품을 400 계열 스테인리스 판재로 대체하는 경우에 기존 금형설계 기법을 동일하게 적용한다면 성형성이 낮은 문제로 인하여

제품에 파단, 주름 및 형상 정밀도 저하 등의 문제가 발생할 것으로 예상된다[1].

본 논문의 목적은 현재 생산중인 300 계열 스테인리스 판재를 이용한 세탁기 부품의 원가절감을 위한 400 계열 판재로의 대체에 있다. 300 계열 강판을 400 계열 강판으로 대체할 경우 생기는 문제점을 유한요소해석을 통해 파악하였고, 낮은 성형성의 문제점을 해결하기 위하여 다단 금형설계안을 제시하고 해석을 통하여 파단 및 주름발생을 확인하여 설계안을 검증하였다.

2. 기존모델의 유한요소해석

2.1 해석 모델

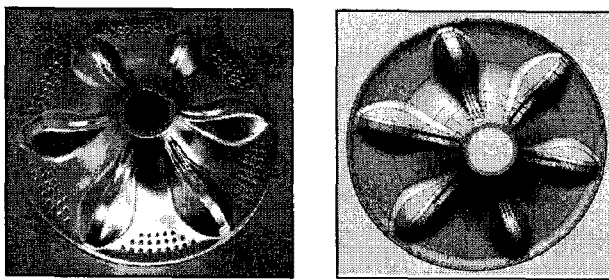
대상 제품은 와류식 세탁기의 세탁조 하부에 있는 회전날개 (Pulsator Cover)이다. 대상제품의 실

1. 대구대학교 대학원 기계공학과
2. 대구대학교 자동차·산업·기계공학부
3. 한국생산기술연구원 디지털성형공정팀
4. 한국생산기술연구원 동력부품지원센터
교신저자: mvksh@daegu.ac.kr

제형상과 역공학을 통해 추출된 3 차원 CAD 형상을 Fig. 1 에 도시하였다. 부재의 생산 공정은 ① 블랭킹, ② 드로잉, ③ 트리밍, ④ 피어싱, ⑤ 버링, ⑥ 컬링과 플랜징으로 크게 6 단계로 나누어 지지만 성형불량이 주로 발생하는 드로우 성형공정만을 대상으로 해석을 실시 하였다.

2.2 해석 조건

성형해석을 위한 유한요소 시스템은 Fig. 2와 같이 금형 및 블랭크의 요소는 쉘요소로 모델링하고 1/4모델만을 해석하였다. 재료는 평면이방성을 고려한 3-Parameter Barlat 항복방정식[2]을 사용하여 300계열과 400계열강판의 성형결과를 비교하였다. 해석에 사용한 물성치를 Table 1에 비교 도시하였다. 강판두께는 0.4mm이고, 초기 블랭크의 직경은 474mm이다. 성형공정해석은 외연적 상용프로그램인 LS-DYNA3D v971[3]을 사용하였다. 제품 생산 시 우수한 면품질을 위해 표면에 비닐을 부착하므로 금형과 판재사이의 쿨롱 마찰계수를 0.05로 가정하였다. 성형해석 시 다이속도는 2m/s으로 고정하였고 단동식 프레스 공정으로 설정하였다. 해석 시 발생할 수 있는 주름 및 여육을 방지하기 위해 블랭크홀더에 드로우 비드를 설치하였다. 비드모델을 비드선 및 상당비드력만을 사용하여 구속력을 부과하는 방법으로 해석을 수행하였다.



(a) Product (b) CAD data

Fig. 1 Shape of the pulsator Cover

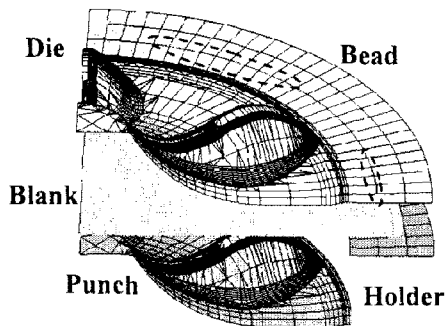
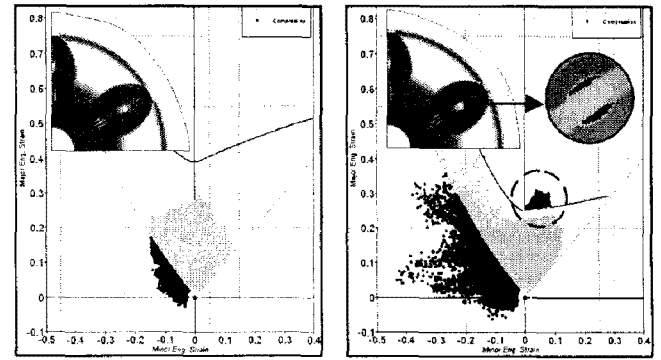


Fig. 2 Initial setting of tools and the blank for analysis

Table 1 Plastic mechanical properties obtained from tensile test

	STS304	STS430J1
K (MPa)	1696.6	880
n	0.6976	0.2537
r0 / r45 / r90	0.879/1.1417/0.741	1.588/1.597/1.842



(a) STS304 (b) STS430J1

Fig. 3 Comparison of deformed shapes and STS430J1 strain distributions on FLD

2.3 해석 결과

Fig. 3에 300계열 및 400계열 강판적용 시 성형결과를 성형한계곡선과 함께 도시하였다. STS304의 경우 불량없는 성형이 가능한 것으로 예상되었으며, STS430J1의 해석 경우 성형한계도 확인결과 날개 최상부 부근에서 파단이 발생됨을 확인하였다. 400계열의 경우 1단계 성형으로는 성형이 불가능하며, 다단성형공정을 통한 설계변경이 필요하다는 결론을 얻을 수 있었다.

3. 다단 성형공정

제2절의 해석결과 400계열 스테인리스강판으로 1단계 성형이 불가능함을 확인하였다. 문제의 해결을 위해 2단 성형공정 설계를 위한 유한요소해석을 실시하고, 설계안을 검증하였다.

3.1 제1단계 금형설계 (초기설계안)

최초 제1단계 금형형상 선정 시 초기 형상 중앙 부를 기준으로 높이방향으로 85% 축소하여 설계하였다. 추가적으로 날개부의 라운드부 반경을 변경하고, 날개 안쪽 부분의 포밍 형상을 제거하였다. 제1단계 성형 시 드로우 비드는 적용하지 않았다.

최종성형 중 주름불량 발생이 예상되는 날개부

의 원주방향 단면의 길이를 측정하여 비교한 결과를 Fig. 4에 도시하였다. 1단계 금형의 날개부분의 길이와 2단계 금형의 길이가 큰 차이를 보이지 않으므로 2단계 성형 시 날개부분의 살물림 및 여육주름은 많지 않으리라 판단된다.

3.2 제 1단계 해석결과 (초기설계안)

초기 설계한 제1단계 형상을 토대로 해석을 수행하였다. 블랭크 변형형상 및 접촉조건을 Fig. 5에 도시하였으며, 날개 안쪽부의 주름이 발생함을 확인 할 수 있었다. 이러한 불량은 높이 차이를 갖는 날개 형상으로 인해 성형 중 ①중앙부 구간과 ③날개 최상부 구간의 우선 접촉 이후 ②구간에서 블랭크가 펀치와 접촉하지 못하여 원주방향 인장력이 부과되지 못한 결과로 사료되며, 또한 블랭크의 변형량이 날개 최상부 구간과 타 구간에서 불균일하게 적용되어 도시된 결과가 발생되었다고 판단 된다.

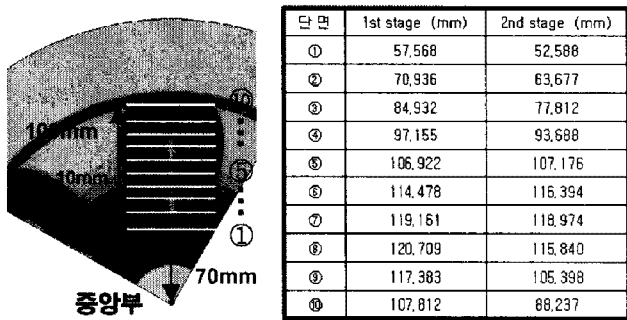


Fig. 4 Sections for measurement to evaluate the formability

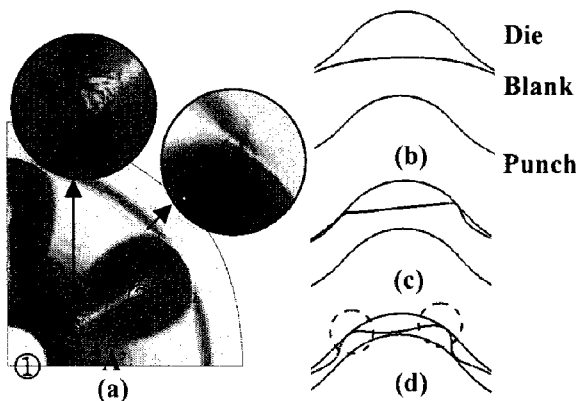


Fig. 5 Deformed shape and section shape at the section A-A' with the initial design at the first stage when the stroke is (a) final stroke; (b) 31.7mm; (c) 44.1mm; (d) 49.7mm

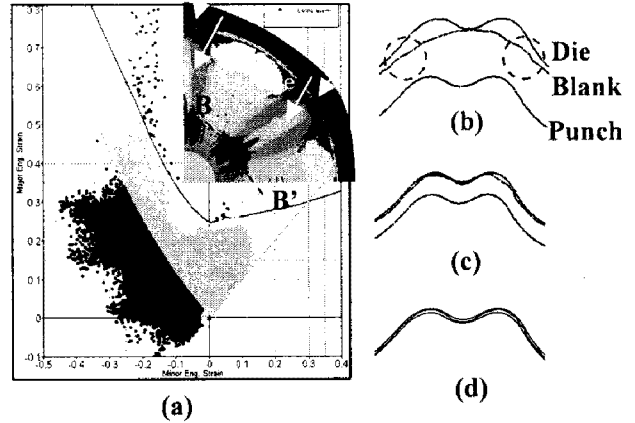


Fig. 6 Strain distribution on the FLD and deformed shapes at the section B-B' with the initial design at the second stage when stroke is (a) FLD; (b)12.9mm; (c)18.9mm; (d)22.5mm

이를 해결하기 위해 ②구간의 높이를 높일 경우 주름을 미연에 방지 할 수 있으나 2단계 성형 시 과도한 재료유입으로 인한 여육주름이 발생하리라 예상된다.

3.3 제2단계 해석결과 (초기설계안)

제1단계 해석결과를 이용하여 제2단계 해석을 수행하고, Fig. 6에 최종 성형 결과를 도시하였다. 최종 성형 시 제1단계 성형 시 생성된 주름이 최종 형상에 존재함을 단면 B-B'를 통해 확인 할 수 있다. 또한 1, 2단계의 외곽라인의 위치 차이로 인한 제2단계 성형 시 날개 외곽 어깨부에서 펀치와 블랭크의 우선 접촉이 발생하였다. 이 현상으로 의하여 판재유입량에 차이가 생겨 주름이 발생되고 후에 소재 유입이 원활하지 않아 파단이 일어나게 된다. 이러한 현상 해결을 위해 제1단계 날개 외곽라인을 최종 단계 외곽라인과 동일하게 설계하여야 한다.

해석에서 발생한 불량해결을 위해 다른 접근방법을 통한 제1단계 형상의 수정설계를 실시하였다.

3.4 금형설계 수정안

3.1절에 제안한 제1단계 금형 설계형상으로는 400계열 다단성형이 불가능함을 확인하였다 특히, 날개부의 접촉 및 불균일 변형문제로 인한 성형 실패가 주요인이므로 제1단계 형상을 최종형상과 최대한 유사한 형상으로 설계 하였다.

설계방법은 전체적인 높이를 축소하는 기존방식과 다르게 날개 주변의 플랜지부를 15% 만큼

상승시켜 전체높이를 최종형상의 85%가 되도록 설계하였으며, 날개부의 라운드형상만을 변경하여 형상을 제작하였다.

3.5 수정설계안 해석 결과

3.4절에서 설명한 수정설계안의 제1단계 해석 결과는 Fig. 7에 도시하였으며 날개 포밍부 및 날개 외곽 어깨부에서 약간의 주름이 확인 되었다. 이러한 현상은 초기 단계의 해석결과와 유사한 변형기구에 의하여 발생한 것으로 보인다.

제2단계 해석 결과를 Fig. 8에 도시하였다. 여육 주름 및 날개 외곽부 주름의 경우 초기 1단계 성형 시 생성된 주름이며 최종 성형 중 추가 주름 발생은 발생되지 않았다. 성형한계도를 확인한 결과 파단은 발생되지 않았다.

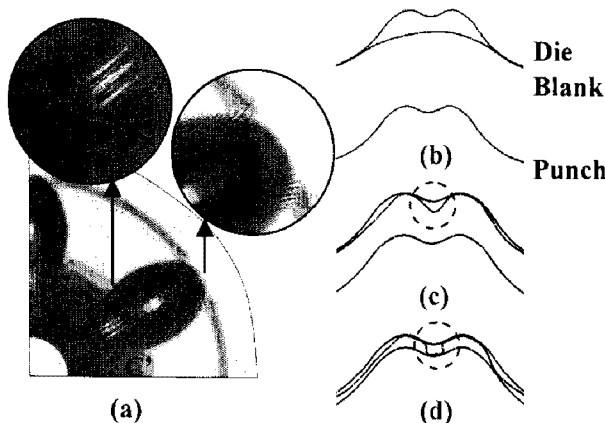


Fig. 7 Deformed shape and section shape at the section C-C' at the first stage with the modified design when the stroke is (a) final stroke; (b) 36.8mm; (c) 50.8mm; (d) 55.8mm

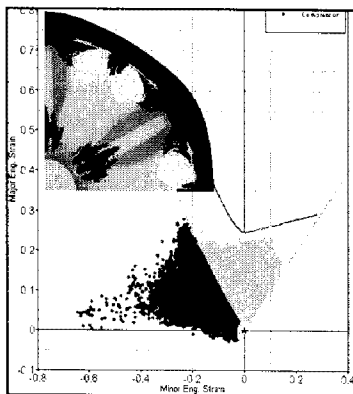


Fig. 8 Strain distribution of the blank on the FLD with the modified design

4. 결론

본 논문에서는 기존의 300계열 스테인리스판재로 생산되던 세탁조 회전날개(Pulsator Cover)를 400계열강판으로의 대체하기 위하여 다단금형설계안을 도출하였으며 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 300계열과 대비 성형성이 열위인 400계열 스테인리스 판재를 사용한 드로우 공정 성형해석을 실시하였으며, 성형이 가능한 300계열에 비교하여 400계열에서는 파단이 발생하였다.

(2) 성형해석 중 발생한 주름 및 파단을 방지하기 위하여 2단계의 금형설계안을 제안하였으며, 유한요소해석을 이용한 설계안 검증을 실시하였다.

(3) 초기설계안의 해석결과 여육발생으로 인한 날개부 주름이 발생하였고 날개 외곽부에서 주름 및 파단이 발생하였다.

(4) 수정설계안의 해석결과로부터 약간의 주름이 잔존하나 파단현상을 제거하였으며, 추후 시험성형과정을 거치면 성공적인 성형이 가능할 것으로 기대할 수 있다.

후 기

본 연구는 광주지역 첨단부품 소재산업육성사업의 지원으로 수행되었으며, 관계자분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김세호, 김기풍, 2007, 강종에 따른 스테인리스 판재 성형성의 해석적 비교, 한국소성학회 춘계학술대회 논문집, pp. 331.
- [2] Barlat, F. and Lian, J., 1989, "Plastic Behavior and Stretchability of Sheet Metals Part I : A Yield Function for Orthotropic Sheet Under Plane Stress Conditions", Int. J. Plasticity. Vol.5, pp. 51~66.
- [3] LSTC, 2007, LS-DYNA3D Keyword User's Manual-Version 971