

굴삭기 Tank Cover 부품 뒤틀림 불량 저감에 대한 연구

전용준¹ · 이하성¹ · 김동언¹ · 허영무[†]

한국생산기술연구원 금형기술그룹^{1,†}

A study on reduction of springback defects in excavator tank cover part

Yong-Jun Jeon¹ · Ha-Sung Lee¹ · Dong-Earn Kim¹ · Young-Moo Heo[†]

Molds & Dies Technology R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology^{1,†}

(Received February 22, 2018 / Revised March 20, 2018 / Accepted April 01, 2018)

Abstract: With the recent strengthening of environmental regulations and the need for cost reduction, excavators, a type of construction equipment, are being miniaturized while components are being developed in consideration of stability. In the case of excavator press parts, mainly high-strength steel sheets are being used to enhance stability and reduce weight. However, in the case of high-strength materials, there is a need to research product forming methods to reduce Springback in defects arising in parts assembly due to Springback that result from the internal residual stress that occurs in press forming being released after product forming. Accordingly, regarding the tank cover, an excavator press-forming part, this study selected a method to reduce distortion through analysis of the Springback occurrence rate and Springback causes through a forming analysis. A forming analysis was conducted for the Springback of the tank cover. Deformations of 13.714 mm in the upper part and 6.244 mm in the inner part of the product occurred, while wrinkles occurred on the sides of the product due to uneven thickness. A forming analysis was conducted for the major shapes of the product to investigate the causes of Springback. Distortion deformation due to the bead in the center of the product was confirmed to be a large factor. A Springback reduction method of correcting uneven thickness in the product sides, a Springback reduction method of removing the bead, and a correction method of restriking after the final forming were used in a forming analysis to determine the degree of Springback reduction. For the forming method to correct uneven thickness in the sides, deformation was reduced by 12% in the upper side compared to the existing model, but deformation in the inner side increased by 1%. For the restriking forming method, deformation decreased by 25% in the upper side and 13% in the inner side. For the bead removal method, deformation decreased by 28% in the upper side and 13% in the inner side, the largest Springback correction results. This indicates that the bead has a large affect on Springback.

Key Words: Construction equipment, Excavator, Sheet metal forming, Spring-back, Tank cover

1. 서 론

최근 강화되고 있는 환경 규제와 운전자의 안전성 확보 요구에 따라 자동차 뿐만 아니라 건설기계 시장 또한 안전성 향상 및 소형화, 경량화에 제품 생산에 대한 요구가 증대되고 있다.

이에 따라 주요 건설기계장비 중 하나인 굴삭기의 외관을 이루는 프레스 성형품에 대한 경량화, 고강도 제품 개발이 확대 되고 있어, 고강도 소재를

적용한 제품 생산 중에 있다¹⁾. 그러나 고강도 소재의 경우 제품 성형 시 소재 내부의 잔류응력이 발생 되고, 최종 성형 후 소재 내부에 잔류되어 있는 응력이 풀리면서 최종 성형품의 뒤틀림이 발생되게 된다^{2,3)}. 이러한 뒤틀림의 경우 부품 간 조립 공정 시 조립 공차가 맞지 않아 조립 불량을 일으키게 된다. 고강도 소재 적용 증대에 따라 프레스 성형품의 조립 불량 방지를 위해 제품 성형 후 발생하는 뒤틀림 변형을 최소화 하는 성형 방법이 요구되고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 굴삭기 프레스 성형 부품인 탱크 커버(tank cover)에 대하여 성형해석을 통해 기존 성형 공정에서의 응력 분포, 뒤틀림 발생

1. 한국생산기술연구원 융합공정소재그룹
† 교신저자: 한국생산기술연구원 금형기술그룹
E-mail: ymheo@kitech.re.kr

정도를 파악하고, 제품 주요 형상 인자별 뒤틀림 발생 정도 파악을 통한 뒤틀림 발생원인 분석을 하였다.

주요 형상별 뒤틀림 분석 결과를 활용하여 뒤틀림 발생 최소화를 위한 성형 불량 보정, 형상 변경, 후 보정의 성형 방법을 도출 한 뒤 각 성형해석을 통하여 각 성형 방법에 따른 뒤틀림 변형 저감 정도를 파악하였다.

2. 대상 모델 및 성형 공정 분석

2.1. 대상 모델

뒤틀림 저감 대상 모델은 굴삭기 엔진 커버류인 side cowl assembly의 부품인 탱크 커버로 front support, hood 등의 부품과 조립이 된다. 탱크 커버 뒤틀림 변형 발생 시 front support, hood 등의 부품과의 조립 공차가 맞지 않아 조립 불량을 야기한다.



Fig. 1 Shape of the Target model(tank cover)

2.2. 성형 공정 및 제품 분석

탱크 커버 성형의 경우 1차 공정에서 제품의 형상 성형과 동시에 제품 하측 부와 측면 1면을 플랜지(flange) 성형을 한 뒤 2차 공정에서 나머지 측면 플랜지 성형을 한다. 이후 제품 상단부 후 변형 보정을 위해 3차 공정에서 제품 상단부 리스트라이킹(restriking) 성형을 한다.

기존 성형된 탱크 커버의 경우 Fig. 2와 같이 제품 측면부에 살물림에 의한 주름 발생, 제품 상단부 뒤틀림 변형이 발생되어 조립 불량이 발생되고 있다.



Fig. 2 Examination of problems in existing forming process

2.3. Tank Cover 성형 해석

기존 성형 공정에서의 제품 뒤틀림 발생 정도 및 원인 분석을 위해 성형해석 기반 성형 공정 해석을 수행하였다.

2.3.1. Tank Cover 성형 해석 조건

Tank Cover 성형공정은 2.2.절에 언급 한바와 같이 1차 폼(form)과 플랜징(flanging) 공정 후 2차 플랜징, 3차 리스트라이킹 공정을 통해 성형이 이루어진다. 본 논문에서는 실제 양산 공정과 동일 한 성형 공정과 각 공정 사이에 스프링백(springback) 해석을 통해 최종 성형품의 뒤틀림량을 분석하였다.

성형해석에 적용된 소재의 경우 SPCC 두께 2 mm의 소재로 물성은 Table 1과 같다. 해석을 위한 블랭크와 금형의 유한요소모델을 Fig. 3에 도시하였다. 1차 공정 시 제품 비드와 단차부를 성형하기 위한 패딩력은 500 kN을 부과하였으며 상형의 하강속력은 233 mm/s을 사용하였다. 금형과 블랭크의 마찰계수는 0.15를 적용하였다. 성형해석은 상용프로그램인 AutoForm을 사용하였다⁴⁶⁾. 성형해석 결과를 통해 기존 성형 공정에서 발생하는 뒤틀림 변형 발생 정도를 파악하였다.

2.3.2. Tank Cover 성형 해석 결과 분석

2.2.1. 절에서 명시한 공정 조건에 대하여 성형해석을 수행 한 결과 Fig. 4에 보는 바와 같이 실제 공정에서 발생하는 문제점과 동일하게 곡면 성형부 측면에서 제품 살 물림에 의한 두께 증가 및 주름이 발생하고 제품 코너부의 경우 두께 감소에 의한 파단이 일어남을 확인할 수 있다.

또한 Fig. 5에서 보는 바와 같이 각 공정에서의 응력 분포의 경우 각 공정에서 성형되는 플랜지 코너부, 비드 및 단차의 주요 성형부에서 높은 잔류응력을 보이며 마지막 공정에서는 비드부에서 가장 높은 응력 분포를 보이고 있다.

Table 1 Meshanical Properties of the blank sheet

Young's Modulus(GPa)	210
Poisson's Ratio	0.3
Yield Strength(MPa)	229.9
Tensile Strength(MPa)	343.6
n	0.163
Rmax	1.48

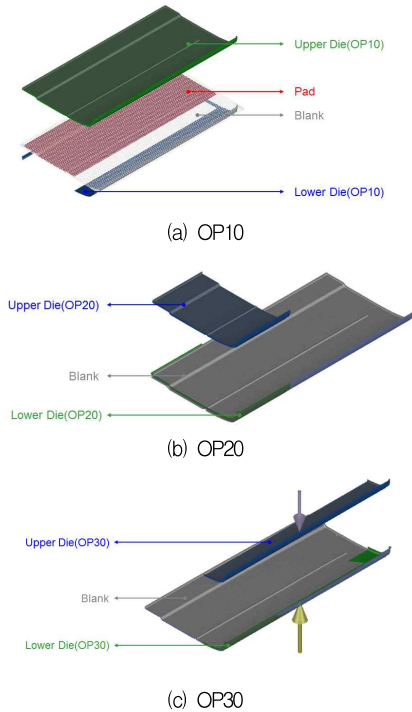


Fig. 3 Finite element model for the forming analysis of the tank cover part

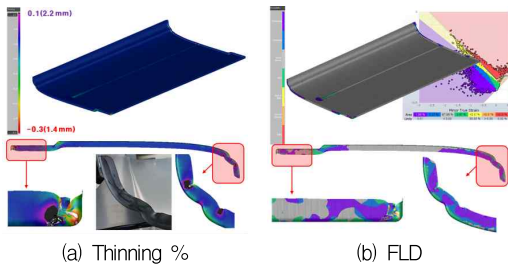


Fig. 4 Existing process Forming analysis results

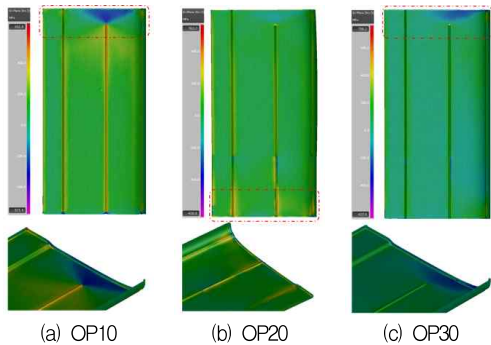


Fig. 5 Forming shape stress distribution

2.3.3. Tank Cover 뒤틀림 변형 분석

탱크 커버 제품의 뒤틀림 변형 측정의 경우 Fig 6에서 보는 바와 같이 제품 상단 양측 코너부를 기준으로 제품 상단 변형(y 변형), 내측 변형(z 변형)을 측정하였다.

각 성형 공정에서의 뒤틀림 변형의 경우 Fig. 7에서 보는 바와 같이 플랜지 성형이 되지 않는 반대쪽 부위에서 변형이 발생됨을 확인할 수 있으며, 최종 성형품에서의 변형량은 y 변형 13.714 mm, z 변형 6.244 mm가 발생됨을 확인할 수 있다. 이는 각 공정 성형시 플랜지 성형에서 발생하는 잔류응력이 풀림과 비드 형상에 의한 비틀림 변형이 발생된다고 판단된다.

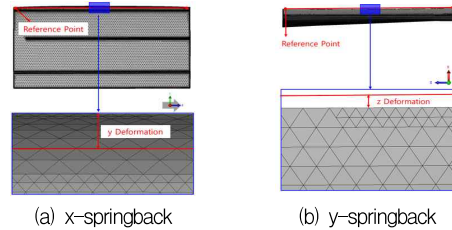


Fig. 6 Springback deformation analysis method

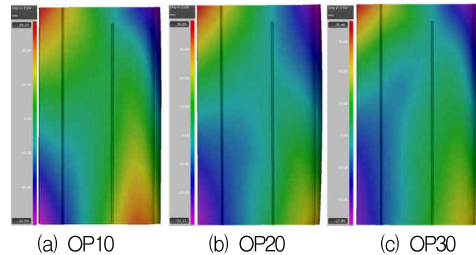


Fig. 7 Forming shape Springback analysis results

3. 뒤틀림 변형 원인 분석

3.1. 뒤틀림 변형 주요 인자 선정

탱크 커버 제품의 뒤틀림 변형 원인 분석을 위해 제품 성형 형상 주요 변형 인자로 선정하고 각 성형 형상에 따른 성형해석 후 형상별 뒤틀림 발생 정도를 파악하였다.

주요 성형 인자의 경우 Fig. 8에서 보는 바와 같이 탱크 커버 주요 외관 형상이 되는 곡면 성형 형상, 제품 중앙에 위치한 비드 형상, 제품 측면과 하단에 위치한 플랜지 성형 형상의 3개의 형상을 주요 변형 인자로 선정 하였으며 각 형상에 대하여 단일 공정 성형 후 변형 해석을 수행하였다.

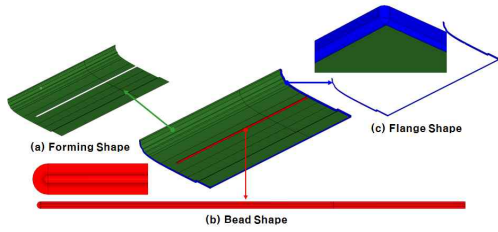


Fig. 8 Main product forming factors

3.2. 주요 인자별 뒤틀림 변형 분석

3.2.1. 성형 형상에 따른 뒤틀림 변형

탱크 커버 전체 성형 형상이 되는 곡면 형상의 경우 Fig. 9, Fig. 10에서 보는 바와 같이 전체적으로 낮은 응력 분포와 두께 변형량을 보이며, 뒤틀림 변형 또한 y 변형 0.3916 mm, z 변형 0.1625 mm로 포밍 형상의 경우 뒤틀림 변형에 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

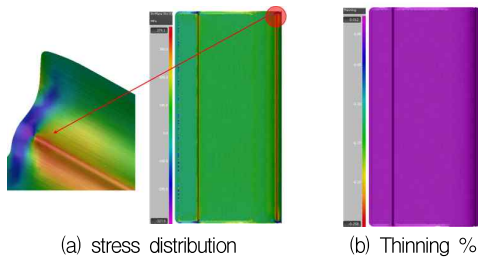


Fig. 9 Forming shape stamping analysis results

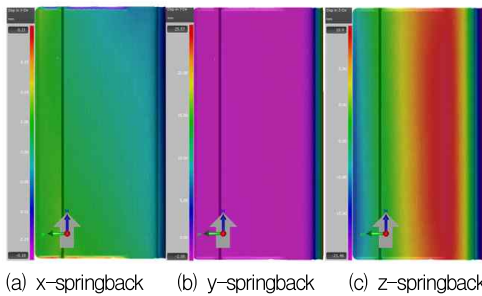


Fig. 10 Forming shape Springback analysis results

3.2.2. 비드 형상에 따른 뒤틀림 변형

비드 성형 형상의 경우 Fig. 11, Fig. 12와 같이 전체적으로 높은 응력 분포를 보이지 않으나 비드 성형부 끝단에 상대적으로 높은 응력이 분포됨을 확인할 수 있으며, 뒤틀림 변형의 경우 y 변형 3.301 mm, z 변형 2.088 mm로 탱크 커버 성형품에 비해 낮은 변형량을 보이지만 비드 영향에 의해 뒤틀림 변형이 발생된다고 판단된다.

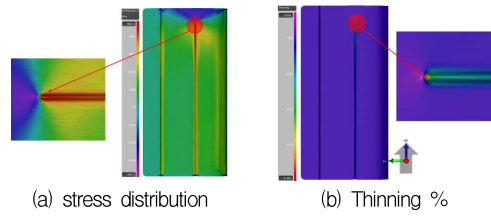


Fig. 11 Bead shape stamping analysis results

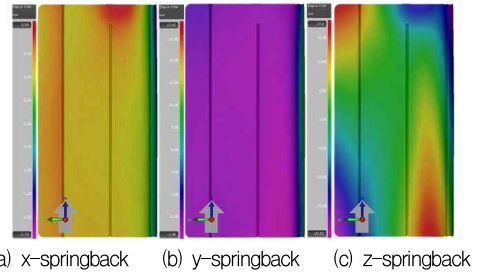


Fig. 12 Bead shape Springback analysis results

3.2.2. 플랜지 형상에 따른 뒤틀림 변형

플랜지 성형 형상의 경우 Fig. 13에서 보는 바와 같이 높은 응력 분포를 보이지 않으나 상대적으로 플랜지 코너부에 높은 응력과 두께 감소 경향을 보인다. 뒤틀림 변형의 경우 Fig. 14와 같이 y 변형 0.008 mm, z 변형 0.966 mm로 곡면 성형 형상과 동일하게 뒤틀림 변형에 영향을 미치지 않는 것을 확인하였고, 제품 뒤틀림의 경우 비드 형상과 곡면-플랜지 동시 성형에 의한 측면부 살물림에 의한 높은 응력 발생이 원인 인 것으로 판단된다.

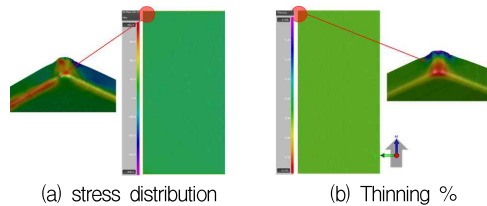


Fig. 13 Flange shape stamping analysis results

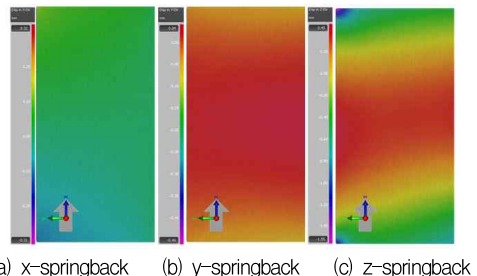


Fig. 14 Flange shape Springback analysis results

4. 뒤틀림 변형 저감 방안 도출

4.1. 뒤틀림 변형 저감 성형 공정 선정

탱크 커버 제품의 뒤틀림 변형 원인 분석 결과를 활용하여 뒤틀림 변형 저감 성형 공정을 선정 하고 성형해석을 통한 저감 방안을 도출하였다.

선정된 방법의 경우 측벽 살물림 부 제거 성형 방법, 비드 제거 성형 방법, 최종 성형 품 리스트라이킹을 통한 후 보정 방법의 3가지 방법을 선정하고 해석을 수행하였다.

4.2. 뒤틀림 변형 저감 성형 공정 해석

4.2.1. 제품 살물림 부 제거 해석

기존 제품 성형 시 측면부 살물림에 의한 높은 응력 발생을 저감시켜 뒤틀림 변형을 감소시키기 위해 살물림 예측 부위에 Fig. 15와 같이 트리밍(trimming)이 되는 형상을 최종 제품으로 선정 하여 해석을 수행 하였으며, 초기 블랭크 형상은 최종 제품에 트리밍 후 역해석을 통해 블랭크 형상을 도출 하였다.

살물림 부 제거 성형품의 응력 분포를 보면 Fig. 16과 같이 살물림 부 응력이 200 MPa로 기존 대비 30%수준의 응력이 분포됨을 확인 할 수 있으며, 플랜지 코너부와 비드 성형부에 비교적 높은 응력이 분포됨을 확인할 수 있다.

뒤틀림 변형의 경우 Fig. 17과 같이 y 변형 12.092 mm로 기존 대비 12 % 감소하였으나, z 변형의 경우 6.332 mm로 비슷한 경향을 보였다. 측면 살물림 제거의 경우 응력 감소를 통한 뒤틀림량 감소 경향을 보이나 그 영향은 미미하다고 판단된다.

4.2.2. 비드 제거 해석

주요 성형 인자 중 뒤틀림 변형에 가장 큰 영향을 보이는 비드 성형 부를 제거 한 뒤 성형 해석 수행 후 뒤틀림 변형 정도를 확인하였다.

비드 제거 성형의 응력 분포를 보면 Fig.18과 같이 대체로 낮고 균일한 응력 분포를 보이고 있으며 상대적으로 플랜지 코너부, 단차 성형부에서 높은 응력 분포를 보이고 있다.

뒤틀림 변형의 경우 Fig.19와 같이 y 변형 9.876 mm, z 변형 5.604 mm로 기존 대비 각각 28 %, 10 % 감소함을 확인 하였으며, 비드 제거로 인해 제품

중심축을 기준으로 비틀림 변형이 감소되어 전체적인 뒤틀림량이 감소된다고 판단된다.

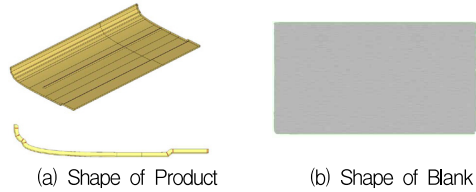


Fig. 15 Sidewall uneven thickness removal analytical model

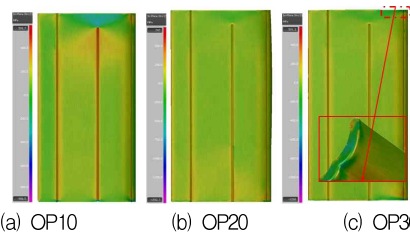


Fig. 16 Result of stress distribution(Sidewall trimming model)

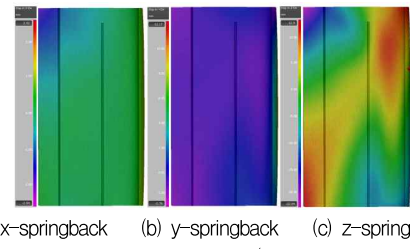


Fig. 17 Springback analysis results(Sidewall trimming model)

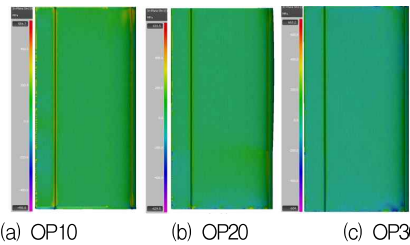


Fig. 18 Result of stress distribution(Bead removal model)

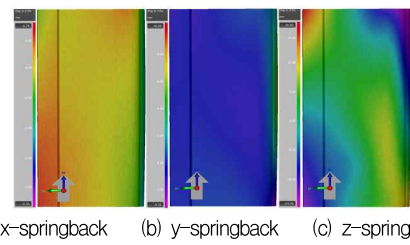
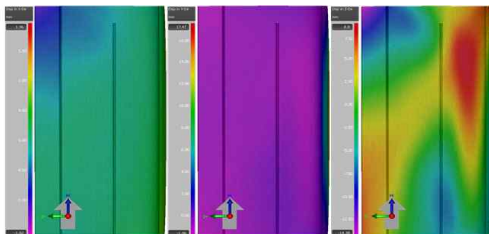


Fig. 19 Springback analysis results(Bead removal model)

4.2.3. 리스트라이킹 후 보정 해석

리스트라이킹 후 보정의 경우 제품 상단 중심 변형 부위에 역방향으로 성형 하여 뒤틀림 변형을 저감을 유도하고자 기존 리스트라이킹 급형에서 급형상단 중심부에 내측으로 6 mm 구배 부여 후 해석을 수행하였다.

뒤틀림 변형의 경우 Fig. 20과 같이 y 변형 11.661 mm, z 변형 5.425 mm로 기존 대비 각각 15 %, 13 % 감소함을 확인 하였으며, 역 방향 성형에 의한 제품 상단 중심 부 뒤틀림이 보정됨을 확인할 수 있었으며 탱크 커버 제품의 뒤틀림 변형 저감의 경우 비드 제거 또는 리스트라이킹 공정에서의 역 방향 보정이 효과적이라고 판단된다.



(a) x-springback (b) y-springback (c) z-springback
Fig. 20 Springback analysis results(Bead removal model)

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 굴삭기 엔진 커버류 side cowl assembly의 부품인 탱크 커버 프레스 성형품의 뒤틀림 불량 저감을 위해 성형 해석을 통한 주요 성형 인자별 뒤틀림 영향 분석을 통한 뒤틀림 저감 방안을 도출하였다.

- 1) 성형 해석을 통해 기존 제품의 경우 측벽부 살물림에 의한 주름 불량 및 뒤틀림 변형이 발생되었다.
- 2) 주요 성형 인자에 따른 뒤틀림 영향 분석 결과 제품 성형 형상과 플랜지 성형의 단일 성형에 의한 뒤틀림 영향이 크지 않으나, 제품 형상 성형과 플랜지 동시 성형 시 의한 측벽부 살물림에 의한 높은 응력 발생이 뒤틀림 변형의 원인이라 판단되었다.
- 3) 제품 중심부에 위치한 비드에 의한 뒤틀림 변형이 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

- 4) 뒤틀림 변형 보정을 위하여 살물림 제거 방법, 비드 제거 방법, 리스트라이킹 공정 역 방향 성형 방법의 뒤틀림 저감 방안을 선정하고 성형해석을 통해 검증 한 결과 비드 제거의 경우 기존 대비 y 변형 28 %, z 변형 10 % 감소하여 가장 큰 저감 효과를 보임을 확인하였다.

후기

본 연구는 미래창조과학부 민간수탁 활성화 지원 사업(Go together program)의 지원으로 수행하였습니다.

참고문헌

- 1) Yong-Jun Jeon, Dong-Earn Kim, Min-Soo Kim, Se-Ho Na "Reduction of Spring-back Defects in press-forming process of excavator parts", In : Proceeding of the 2018 Summer Conference Korea Society of Die & Mold Engineering, Cheonan, Korea, pp. 71-71, 2018.
- 2) W. L. Xu, C. H. Ma, C. H. Li, W. J. Feng, "Sensitive factors in springback simulation for sheet metal forming", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 151, pp. 217-222, 2004.
- 3) Peng Chen, Muammer Koc,. "Simulation of springback variation in forming of advanced high strength steels", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 190, pp. 189-198, 2007.
- 4) AutoForm Engineering, Process Engineering I R7, www.autoform.kr.
- 5) D. G Ahn, D. H. Song, G. Y. Han, "Springback analysis for the forming process of automotive inner reinforced plate using AUTOFORM", In : Proceeding of the Fall Conference Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Gwangju, Korea, pp. 47-50, 2008.
- 6) S. A. Asgari, M. Pereira, B. F. Rolfé, M. Dingle, P. D. Hodgson, "Statistical analysis of finite element modeling in sheet metal forming and springback analysis", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 203, pp. 129-136, 2008.