

알루미늄판재 성형성 예측을 위한 평면이방성 해석기술개발

김윤근^{1, #}, 정완진², 김성태¹, 문명수¹, 윤정환³

Development of stamping analysis process for formability prediction of aluminum alloy sheets

Y. G. Kim, W. J. Chung, S. T. Kim, M. S. Moon, J. W. Yoon

Abstract

A plane stress yield function YLD2000(Yoon et al., 2000) is applied to the finite element analysis S/W Z-Stamp because it is required to conduct proper consideration of aluminum alloy which has anomalous behavior. In the previous study, verification of the yield function and developed S/W is implemented. In this paper, two real parts of automobile body are additionally considered to verify the validity of Z-Stamp. The one is the benchmark problem #2 of Numisheet 2005 and the other is a small member part. In case of benchmark problem, formability simulation result and try-out result are compared with each other. In case of the small member part, formability analysis is implemented to predict the problem during the developing time.

Key Words : Aluminum alloy, Anisotropy, Yield function, Yld2000-2d, Z-Stamp

1. 서론

자동차의 연비 향상을 위한 여러 가지 개선 요인들 중 가장 효과적인 것은 차체의 경량화이다. 차체 경량화의 소재 측면에서 강(Steel)재에서 알루미늄재로의 전환이 필수적이나 알루미늄 박판은 비철금속의 이상거동(anomalous behavior)현상으로 인하여 성형해석이 까다로운 것으로 알려져 있다. 따라서 알루미늄의 이상거동을 수용할 수 있는 평면 이방성 항복식의 개발과 성형공정의 해석기술개발이 중요한 연구과제이다. 최근 비철금속의 이상거동을 보다 정확히 모델링하기 위하여 비 이차 평면 이방성 항복 조건에 대한 연구들이 보고되어 왔다. 본 논문 이전의 연구[1]에서는 이러한 이방성 항복조건을 완벽히 적용하기 위한 유한요소해석코드를 개발하여 유한요소해석용 S/W에 적용하였으며 한 개 요소(One element) 및 원형

컵 드로잉에 대한 검토를 통하여 검증을 수행하였다. 본 연구에서는 개발된 유한요소해석 S/W를 이용하여 자동차 차체 제품의 성형성 예측에 적용하고 그 결과를 분석하였으며 대상 제품은 Numisheet 2005 학술 대회 문제#2와 본 연구를 위하여 자체 개발 및 금형을 제작한 모델인 Member 부품이다.

2. 유한요소코드 및 S/W 개발

알루미늄의 이방성 항복조건을 구현하기 위하여 Yoon 등 (2000)[2] 과 Barlat 등(2003)[3]에 의해 제시된 새로운 평면응력 항복식인 Yld2000-2d을 적용하였으며 이 식은 정확성과 알루미늄 합금박판의 광범위한 사례에 대한 수치적으로 안정성이 입증되었고, 이전 연구에서 한 개 요소(One element) 및 원형 컵 드로잉의 학술 예제에 대하여 결과를 검증하였다.

1. ㈜ 코디마

2. 서울산업대학교 금형설계학과

3. Alcoa Technical Center

교신저자: ㈜코디마, E-mail: ygkim@kodima.com

본 연구에서 Yld2000 를 적용한 박판성형 유한 요소 S/W 인 Z-Stamp 의 주요 개발 방향은 다음과 같다.

1) 유한요소해석기법의 지배방정식과 경계조건을 만족하는 해를 구해나가는 방법을 채택하고, 비선형성의 정도가 매우 크므로 해의 수렴성을 고려하여 외연적 시간 적분법을 선택하였다.

2) 4 절점 3 차원 쉘요소를 사용하고 계산시간을 고려하여 한 점 적분에 제로에너지 모드 제어기능을 포함한 요소를 선택하였다.

3) MAPLE 소프트웨어를 사용하여 응력의 일차 미분 및 이차 미분을 구함으로써 연쇄 미분에 의한 경우보다 계산시간을 획기적으로 단축하였다.

4) Yoon 등 (1999)[4]에 의해 개발된 다단계 return mapping 법으로 예기치 않은 큰 응력 증분에 대한 안정적인 응력적분을 가능하게 하였다.

5) 금형의 형상은 외곽의 표면만 막 요소로 모델링하여 표현하여 사용하고, 금형과 소재의 접촉 처리는 벌칙함수법을 사용하며, 비드의 효과는 비드의 수직력과 수평력을 분할하여 처리하였다.

3. 제품 적용을 통한 결과 검증

3.1 제품 적용 개요

Yld2000 항복식이 성공적으로 구현되었는지를 검증하기 위하여 이전 연구에서 두 가지 학술적인 예제를 검토하였으며 본 연구에서는 실제 제품을 통한 검증을 수행하였다.

첫 번째 대상 모델은 Numisheet 2005 학술대회의 문제#2 로써 학술대회에서 공개된 T/O 결과와 비교하였고, 두 번째는 자체 개발한 모델에 대하여 성형성을 예측하고 제품 및 공법을 수정하여 개발 기간을 단축하는 목적으로 활용되었다.

3.2 Numsheet2005 예제 #2

Fig. 1 은 Numsheet2005 학술대회의 두 번째 문제의 형상 데이터이며, 검토된 알루미늄합금 소재는 Al5182-O 로써 주요 물성치는 학술대회에서 공개가 되었으며 주요 공정 변수는 다음과 같다.

- 블랭크 두께 : 1.6 mm
 - 마찰계수 : 0.16
 - 블랭크 홀딩포스 : 400 kN
 - 펀치 스트로크 : 100 mm
- (1)

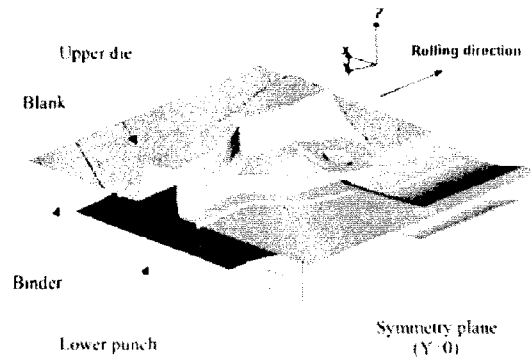


Fig. 1 Forming tool setup

Al5182-O 소재의 Yld2000 항복식의 주요 계수와 응력-변형률 관계는 다음과 같다

$$m=8.0$$

$$a_1=0.9360, a_2=1.0787, a_3=0.9669, a_4=1.0049$$

$$a_5=1.0026, a_6=1.0170, a_7=1.0326, a_8=1.1143 \quad (2)$$

$$r_0=0.96, r_{45}=0.93, r_{90}=1.06$$

$$\bar{\sigma} = 555.88(0.0094 + \bar{\epsilon})^{0.315}$$

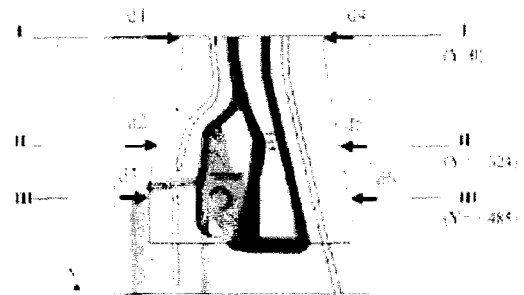


Fig. 2(a) Draw-in measurement at sections I, II & III

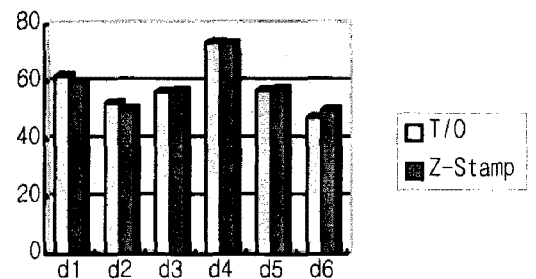


Fig. 2(b) Comparison of Draw-in measurement

Fig.2 는 성형 완료된 판넬의 유입량을 비교한 것이고 Fig.3 은 성형 완료 후의 단면에 대한 스프링 백 결과를 비교한 것으로서 실제의 T/O 결과와 Yld2000 항복식을 적용한 유한요소해석 S/W 의 예측과 잘 일치함을 확인할 수 있다.

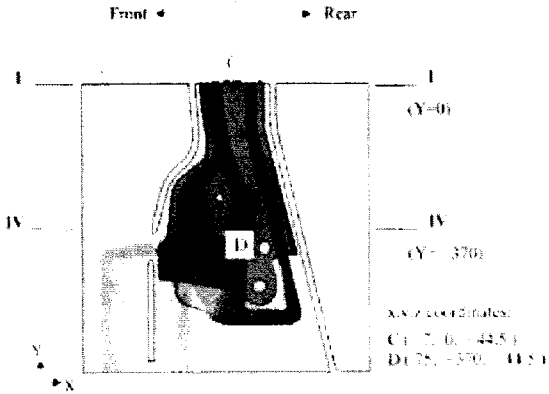


Fig. 3(a) Spring-back section profiles measurement at sections I & IV

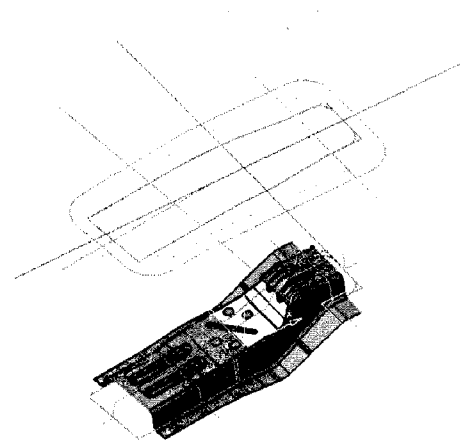


Fig. 4 3-D Layout Design

시제품 개발을 위하여 최초 검토하였던 알루미늄 소재는 4 가지였으나 제품의 성형성 검토를 통하여 선정된 소재는 A13004-O 이며 주요 계수와 응력 변형을 관계는 다음과 같다.

$$m=8.0$$

$$a_1=1.0582, a_2=0.8842, a_3=0.9548, a_4=1.9953$$

$$a_5=1.0080, a_6=1.0325, a_7=1.0321, a_8=1.1378 \quad (3)$$

$$r_0=0.86, r_{45}=0.88, r_{90}=0.68$$

$$\bar{\sigma} = 155.8(0.0017 + \bar{\epsilon})^{0.245}$$

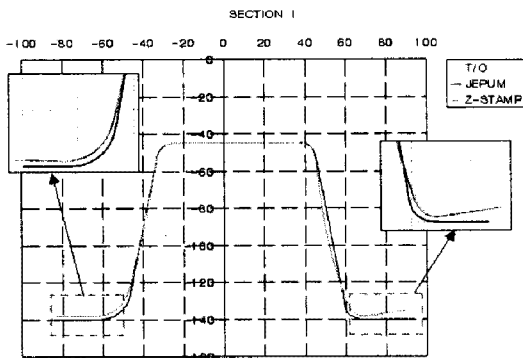


Fig. 3(b) Spring-back section profile at section I

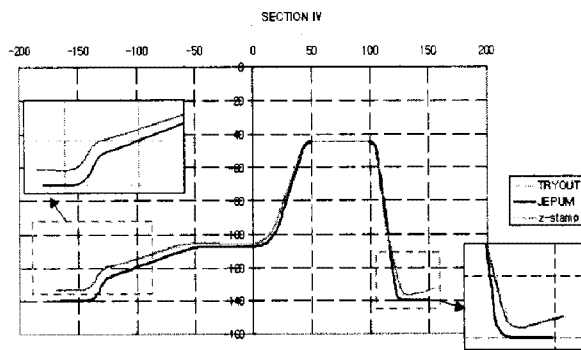


Fig. 3(c) Spring-back section profile at section IV

3.3 시제품 개발 개요

Fig.4 는 알루미늄합금 소재의 스탬핑성형을 위한 공정 기술의 개발 연구의 일환으로 자체 설계한 시제품의 3D Layout Design 으로서 금형의 최초 설계 단계부터 제품의 스탬핑 성형성을 검토하고 제품 및 공법 구상안을 수정함으로써 설계변경 및 금형의 수정에 소요되는 전체 개발 기간을 단축하는데 초점을 두었다.

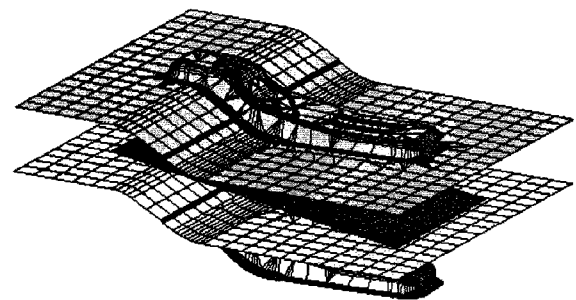


Fig. 5 Forming tool setup

Fig.5 는 개발한 시제품의 성형성 예측을 위한 형상 데이터이며 성형을 위한 주요 공정 변수는 다음과 같다.

블랭크 두께 : 1.0 mm

마찰계수 : 0.15

블랭크 홀딩포스 : 50 kN

펀치 스트로크 : 50 mm

(4)

4. 결론

본 연구의 주요 결론은 다음과 같다

(1) 알루미늄 합금 판재의 성형성 예측을 위한 평면이방성 항복식인 Yld2000 을 상용 유한요소 해석 S/W 인 Z-Stamp 에 적용하여 실제 제품 예제를 통하여 검증하였다.

(2) Numisheet 2005 학술대회의 문제#2 에 대하여 유입량과 스프링백의 예측 결과와 T/O 결과가 잘 일치함을 확인하였다.

(3) 자체 개발한 시제품의 개발단계에서 성형성을 검토하고 제품 및 공법을 수정함으로써 전체 개발 기간을 단축하였다.



Fig. 6 Photo of developed die

Fig.6 은 시제품 제작을 위하여 금형을 프레스에 장착한 사진이고 Fig.7 은 성형된 판넬과 주요 단면별 두께감소율의 비교 결과이다.

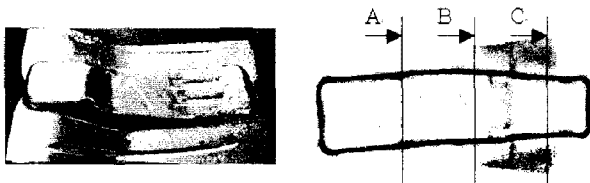


Fig. 7(a) Draw panel and (b) Thickness measurement at section A, B & C

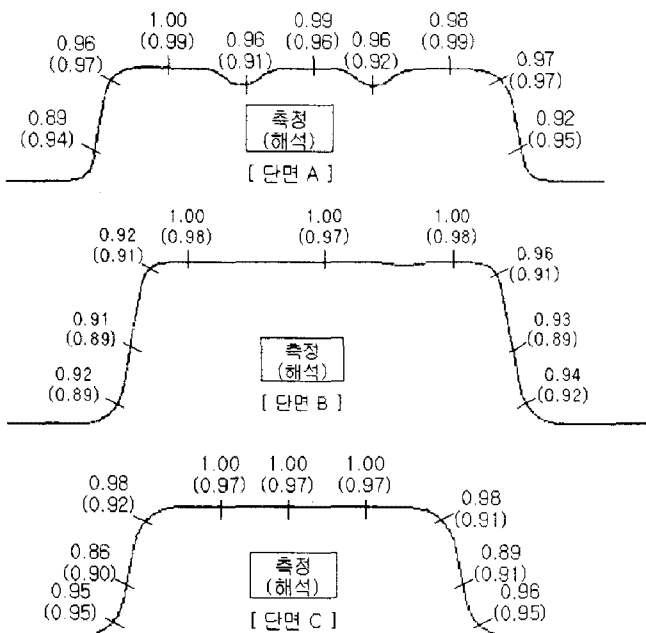


Fig. 7(c) Thickness at sections A, B & C

후 기

본 논문은 2004~2005 년 중소기업기술혁신과제로 수행된 연구 결과임. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김윤근, 김성태, 문명수, 정완진, 윤정환, 2005, 한국소성가공 추계학술대회 논문집, pp. 291~294.
- [2] J.W. Yoon, F. Barlat and R.E. Dick, 2000, Sheet metal forming simulation for aluminum alloy sheet, SAE 2000, Michigan, USA, pp. 67-72.
- [3] F.Barlat et al., 2003, Plane stress yield function for aluminum alloy sheets – Part 1: Theory, Int. J. Plasticity, Vol. 19, pp. 1297-1319.
- [4] J.W. Yoon, D.Y. Yang, K. Chung, 1999, Elastoplastic finite element method based on incremental deformation theory and continuum based shell elements for planar anisotropic sheet materials, Compt. Methods in Appl. Mech. & Eng., Vol.174, pp.23-56.