

## 유한요소법에 의한 Al합금의 용기 성형시 주름의 거동에 관한 연구

고대림\*, 전치용(울산대 대학원 기계자동차공학부), 김진무(울산대 기계자동차공학부)

A Study on the Behavior of Wrinkles in Cup Drawing with Al alloy by FEM

D. L. Ko, C. Y. Jeon(School of Mech.&Auto. Eng., UOU), J. M. Kim(School of Mech.&Auto. Eng., UOU)

### ABSTRACT

The wrinkling in the flange and wall of a part is a predominant failure mode in stamping of sheet metal parts. In many cases this wrinkling may be eliminated by appropriate control of the blank holding force(BHF), but BHF affects the draw depth. Gotoh had studied the wrinkles under  $20\mu$  in height. In general, the height of wrinkles could be limited under  $200\mu$  practically. Therefore small BHF can be allowed so that the depth of drawing could be increased.

This paper represents the variation of the wrinkles of flange in the part of cup drawing by using aluminium alloy A1050 and A5052. This simulation is used by the explicit finite elements code PAM-STAMP<sup>TM</sup>. The computed results are compared with the experimental results to show the validity of the analysis.

**Key Words** : FEM(Finite Element Method: 유한요소법), BHF(Blank Holder Force: 블랭크홀더력), Wrinkle(주름), Drawing Ratio(성형비), Cup Drawing(용기 성형)

### 1. 서론

판재의 프레스 성형에서 주된 불량현상으로는 재료의 부족부분에 발생하는 균열과 재료의 여분이 생기는 부분에서 발생하는 주름을 들 수 있다. 균열과 주름에 대해서는 현재까지 실험과 이론의 양면에서 많은 연구가 이루어져 있다. 그러나 주름은 소재의 재질과 두께 이외에도 제품의 형상, 소재의 구속조건 등에 크게 영향을 받으므로 극히 한정된 상황에 대해서만 주름을 억제하는 조건에 관해서 연구가 행해지고 있다. 원통용기의 성형시 플랜지에 발생하는 주름을 억제하는 조건에 관해서는 Miyagawa<sup>1, 2</sup>, Kawai<sup>3-5</sup> 등에 의해서 상세히 연구된 바 있다. 그러나 실제 프레스 가공품의 형상은 복잡하고 다양한데 비해서 연구의 대부분은 원통용기에 관한 것이고, 정사각형을 포함해서 원통 이외의 형상을 가진 용기의 성형에 관한 것<sup>6, 7</sup>은 많지 않다. 일반적으로 주름을 억제하는 방법으로 블랭크홀더력을 가하는데 블랭크홀더력이 커지면 펀치력이 증가하고 한계드로잉비는 감소한다. Gotoh<sup>8</sup>는 주름높이가  $20\mu$  이하일 때 블

랭크홀더력에 관해서 연구한 바가 있다. 그러나 일반적으로 실용적인 면에서 인지되는 주름의 높이는  $200\mu$  이상으로 하고 있다<sup>9</sup>. 따라서 주름을 억제하는데 블랭크홀더력이 작아도 되므로 블랭크홀더력의 사용영역이 넓어지고, 펀치력의 감소로 한계드로잉비가 증가되어서 용기의 성형에 유리하다.

본 연구에서는 실험적으로 조사된 알루미늄 합금의 사각 용기를 성형할 때 블랭크홀더력의 변화에 따른 주름의 높이( $20\sim 200\mu$ ), 및 그때에 요구되는 블랭크홀더력과 상용소프트웨어인 PAM-STAMP를 이용하여 성형해석 결과를 비교 분석하고자 한다.

### 2. 유한요소해석

#### 2.1 모델링

해석을 위한 모델링 작업은 4개의 요소(다이, 펀치, 블랭크홀더, 블랭크)가 대칭이므로 1/2 모델링을 하였다. Fig. 1(a)는 다이, 펀치, 블랭크홀더 및 블랭크의 FE 모델 등을 나타내고, Fig. 1(b)는 초기 접촉 상태를 나타낸 것이다.

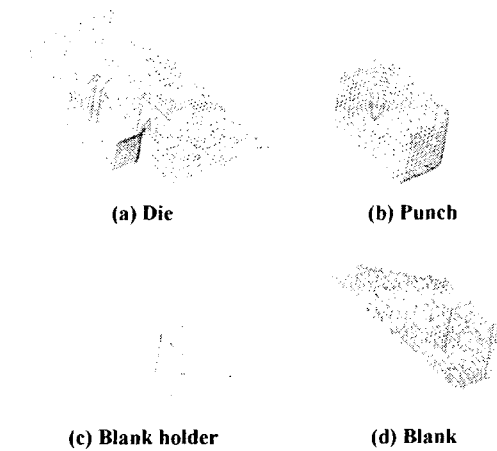


Fig. 1(a) FE models used for analysis

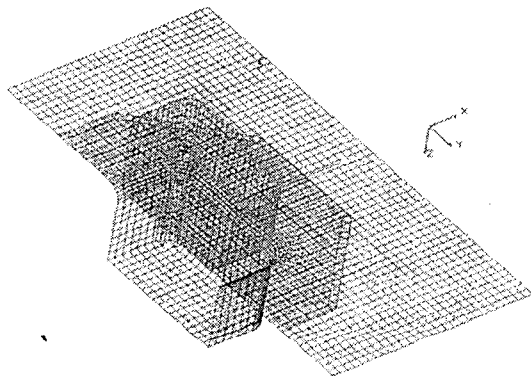


Fig. 1(b) FE model before deformation for FEM

그리고 해석에 사용된 펀치, 블랭크홀더 및 다이의 결점수와 요소 수는 Table 1과 같다. 그리고 판재 시편은 KS 13B호에 의해 제작 하였으며 A1050, A5052의 기계적 물성치는 Table 2와 같다.

Table 1 Detailed characteristics used for models

	punch	blank	holder	die
number of nodes	885	1444	427	2309
number of elements	846	1392	370	2230
thickness	rigid	1.2	rigid	rigid
element type	-	shell	-	-

## 2.2 구성방정식

모델에 사용된 재료형식은 블랭크를 이방성 탄소성체로 선택하고, 펀치, 다이 블랭크홀더 부분은 null material로 선택하였다. 또 재료의 소성거동은 다음식과 같이 Hollomon law을 사용하였다.

$$\bar{\sigma} = K \cdot \bar{\epsilon}^n$$

여기서  $\bar{\sigma}$ 는 유효응력,  $\bar{\epsilon}$ 는 유효변형률, K는 강도 계수, n은 가공 경화지수 이다.

Table 2 Mechanical properties used for models

	blank	
	A1050	A5052
material type	elastic/plastic anisotropy	
$\rho$ density(kg/mm <sup>3</sup> )	2.71e-06	2.68e-06
E: Young's mod.(Gpa)	70.303	74.035
$\nu$ Poison's ratio	0.33	0.32
K: strength coeff.(Gpa)	0.160	0.362
n: hardening exp.	0.034	0.130
R: Lankford coeff.	0.578	0.765
thickness(mm)	1.2	1.2

## 3. 실험

### 3.1 사각컵 드로잉 실험

#### 3.1.1 실험장치

본 연구에 사용한 실험장치는 프레스(side frame type, PHD-250, 북동, 250ton, 120ton, 동성개발(주))에 펀치, 다이, 블랭크홀더, 로드셀 등을 설치하여 구성하였다.

#### 3.1.2 실험조건

실험에 사용된 판재의 재질은 알루미늄합금 A1050과 A5052이고 두께는 1.2mm이다. Fig 2는 실험에 사용한 금형의 형상과 치수를 나타낸 것으로 한 변의 길이가 105mm인 정사각단면이고, 다이의 모서리 반경은 15mm이며 형상계수(shape factor, SF=모서리반경/한 변의 길이)는 0.14이다. 펀치와 다이 사이의 틈새는 판두께에 20%를 주었으며 펀치와 다이의 어깨반경은 각각 10mm와 12mm이다. 시험편에는 성형이 용이하게 되도록 유체 윤활제를 사용하였다.

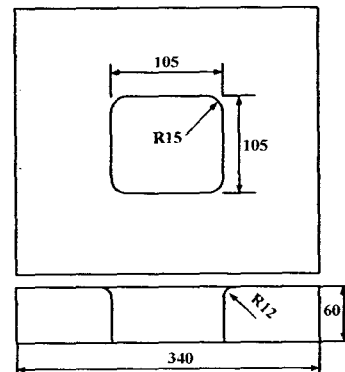


Fig. 2 Shape of die with square section

#### 3.1.3 실험방법

시험편의 형상은 정사각형 판재의 모서리를 코너 컷한 팔각형이고, 성형된 용기의 표면적과 팔각형소재의 표면적이 거의 같도록 정사각형소재의 모서리를

코너 컷하였다. 시험편의 드로잉비(drawing ratio,  $DR=(\text{블랭크단면적}/\text{판치의 단면적})^{1/2}$ )는 1.89이다. 용기의 성형 초기에 발생한 플랜지의 주름을 전자 마이크로메타로 측정된 후, 계속 성형하여 초기에 주름이 발생했던 플랜지부분이 용기 벽의 일부분이 되도록 하였다.

블랭크홀더력은 Gotoh의 식에서의 산출 값을 근거로 15.1, 19.2, 22.0, 38.4kN을, 성형깊이는 25, 35, 40mm에 대해서 각각 실험을 수행하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 3은 시뮬레이션과 실험의 최종형상을 나타낸 것으로 주름발생의 위치 및 경향이 유사하게 나옴을 알 수 있었다.

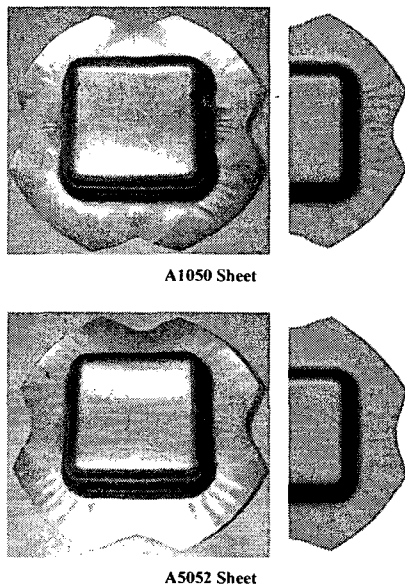


Fig. 3 Wrinkles of flange in the experiment and simulation(depth\_40mm)

Fig. 4는 플랜지 직변부에서의 성형깊이 및 블랭크홀더력에 따른 주름의 높이를 나타낸 것으로 성형깊이가 25mm, 블랭크홀더력이 15.1kN A5052판재에서 실험이 시뮬레이션보다 50%정도 높게 나타났는데 이것은 성형된 후의 플랜지 형상을 살펴보면 직변부와 코너부의 플랜지 프로파일이 다르게 나타나는데 비해 시뮬레이션에서는 이와 같은 현상이 나타나지 않는 이유 때문인 것 같다. 나머지 성형깊이에 대해서는 시뮬레이션과 실험이 유사한 주름높이를 보이고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 5는 플랜지 코너부에서의 주름높이를 나타낸 것으로 25mm의 성형깊이에 대해서는 직변부와 같은 플랜지 프로파일 형상의 불균일에 의한 측정오

차와 시뮬레이션에서 나타나지 않는 프로파일에 의한 오차로 생각된다. 성형깊이가 35, 40mm에서는 시뮬레이션과 주름이 유사하게 나타남을 알 수 있다. 그리고 주름높이가 최대인 지점은 판재의 종류 및 블랭크홀더력, 성형깊이와는 무관하게 플랜지 코너부로 실험과 시뮬레이션이 모두 동일하게 나왔다.

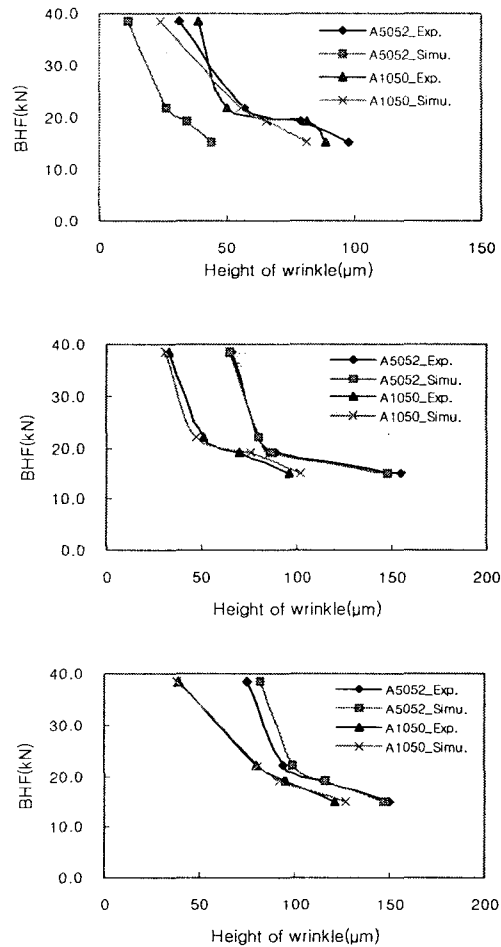
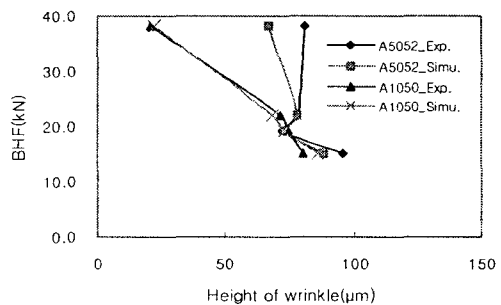


Fig. 4 Hight of wrinkles versus BHF in straight side with A1050 and A5052 sheet(depth\_25,35,40mm)



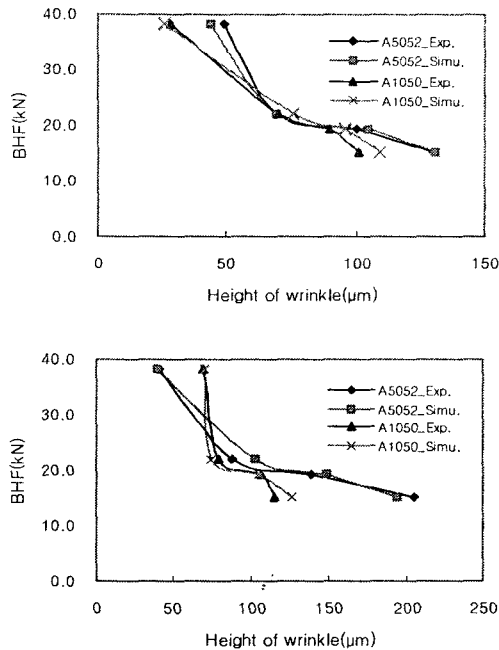


Fig. 5 Hight of wrinkles versus BHF in the coner with A1050 and A5052 sheet(depth\_25,35,40mm)

### 결론

본 논문은 AI합금의 사각집 성형시 발생하는 주름의 높이 및 경향을 알아보기 위해 상용소프트웨어인 PAM-STAMP를 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 실험과 비교하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 주름의 발생 경향은 시뮬레이션과 실험이 유사하게 나왔다.
2. 주름 발생의 높이 및 최대위치는 시뮬레이션과 실험이 유사하게 플랜지 코너부에서 나타났다.
3. 시뮬레이션에 의한 주름의 높이를 예측할 경우 적당한 블랭크 크기에서 유효함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. Matsuo Miyagawa, "Mechanism of Wrinkling in Deep Drawing of Sheet Metals, 1st Report", J. of JSME, Vol. 23, No. 130, pp. 390-398, 1957.
2. Matsuo Miyagawa, "Mechanism of Wrinkling in Deep Drawing of Sheet Metals, 2nd Report", J. of JSME, Vol. 23, No. 130, pp. 399-407, 1957.
3. Nozomu Kawai, "Critical Conditions of Wrinkling in Deep Drawing of Sheet Metals, 1st Report", J. of JSME, Vol. 26, No. 166, pp. 850-857, 1960.
4. Nozomu Kawai, "Critical Conditions of Wrinkling in

- Deep Drawing of Sheet Metals, 2nd Report", J. of JSME, Vol. 26, No. 166, pp. 857-863, 1960.
5. Nozomu Kawai, "Critical Conditions of Wrinkling in Deep Drawing of Sheet Metals, 3rd Report", J. of JSME, Vol. 26, No. 166, pp.864-873, 1960.
6. Ahmetoglu M. et al., "Control of Blank Holder Force to Eliminate Wrinkling and Fracture in Deep Drawing Rectangular Parts", CIRP 44, pp. 347-350, 1995.
7. Murata A., Ebine Y. & Matsui M., "Effect of Blank Holding Force Control on Deep Drawability of Square Shell", J. of JSTP 33-375, pp. 411-416, 1992.
8. Gotoh, M Lim, C. R., "Conditions for Flange Wrinkling Prevention in the Drawing Process of Circular and Square Shells from Irregularly Shaped Blanks? J. of JSME(c) 58-556, pp. 299-306.8., 1992
9. 薄鋼板 成形 技術 研究會 press 成形 難易 Hand book, 日刊工業新聞社 東京 pp. 85-94, 1987.