

## 박판성형공정의 유한요소해석을 위한 드로우비드 전문모델 개발 (1부: 실험)

금영탁\*, 이재우\*\*, 박승우\*\*\*

\*한양대, \*\* 삼성중공업, \*\*\* 한양대학교 대학원

### Development of Drawbead Expert Models for Finite Element Analysis of Sheet Metal Forming Process (Part1: Experiment)

Y.T. Keum\*, J.W. Lee\*\*, S.W. Park\*\*\*

\* Han-Yang University,

\*\* Samsung Heavy Industries Co., Ltd.,

\*\*\* Graduate School, Han-Yang University

#### Abstract

During sheet metal forming on a double-action press, drawbeads on the blankholder supply a restraining force which controls the flow of metal into the die. The sheet formability can be improved by the optimum drawbeads installation when the punch enters into the die opening. Experiments on the various drawbeads, circular, step, double circular, and circular-step drawbead, have been performed under various working conditions.

**Key Words** : Expert Model, Drawbead Model, Sheet Metal Forming Analysis, Virtual Process

#### 1. 서론

자동차 차체와 같은 복잡한 형상의 대형 패널을 성형할 때에는 주름과 파단의 방지를 위하여 재료의 흐름을 제어할 필요가 있고, 또한 탄성복원 방지와 강성 증가를 위해 장력을 주어 성형하는 것이 기본이다. 이와 같은 재료 흐름의 제어와 장력 부가는 일반적으로 블랭크 홀더면에 위치한 드로우비드의 조정으로 얻어진다. 판재성형에 이용되는 드로우비드는 종류가 다양하고 치수나 형상 변화에 따라 성형 및 인출 결과에 영향을 크게 미치므로 금형 설계에서 최적의 드로우비드를 선정하는 것은 판재의 성형률을 향상시키기 위한 필수 불가결한 요소이며, 판재성형 전체의 성패에 큰 영향을 끼치는 중요한 인자이다. 본 연구에서는 유한요소법에 의한 박판 성형해석에서 정도를 높이고 수렴성을 높일 뿐만 아니라 현장에서 사용되고 있는 드로우비드를 쉽게 모델링할 수 있는 전문모델러 개발을 목표로 데이터베이스 확보를 위한 실험을 수행하였다. 이를 위하여 먼저 원형비드, 이중 원형 비드, 계단형 비드, 그리고 원형-계단형 조합 비드에 대하여 마찰 및 인출실험을 실시하고 드로우비드 저항력과 비드인출시 변형률에 영향을 주는 비드변수와 성형공정 변수들을 조사하였다.

#### 2. 실험

자동차 차체용 강판 SPC1(0.6t, 0.8t)를 드로우비드 인출특성을 규명하기 위한 일련의 실험들이 수행되었다. 박판의 물성치는 인장실험을 통하여, 박판과 비드금형간의 마찰계수는 드로우비드 마찰실험을 통하여, 그리고 드로우비드 저항력과 비드인출시 변형률은 드로우비드 인출실험을 통하여 얻었다. 여기서는 드로우비드 마찰시험과 인출시험만 언급하도록 한다.

## 2.1 드로우비드 마찰실험

본 연구에서는 Nine<sup>(1)</sup>에 의해 고안된 드로우비드 마찰시험 장치를 이용하여 박판과 비드사이의 마찰계수를 구하였다. 먼저 롤러 비드에서 유압 실린더에 연결된 한쪽 비드를 비드가압높이까지 가압하고 500mm/min 속도로 70mm를 인출하여 인출하중-변위 곡선을 구한다. 다음, 롤러 비드에서는 가압력을 제거하고 고정 비드를 비드가압높이를 갖도록 가압하여 전 실험에서와 같은 속도로 70mm를 인출한다. 인출하중 및 가압하중은 로드 셀에 의해 측정되고 정상상태가 됐을 때, 이들은 각각 드로우비드 저항력, 블랭크 가압력이 된다. 실험의 편차를 줄이기 위하여 3회 반복 실험을 실시하였으며 평균값을 구해 실험 대표값으로 하였다. 실험을 통해 얻어진 마찰계수를 Table 1에 정리하였다.

## 2.2 드로우비드 인출실험

드로우비드 인출실험은 원형 비드, 계단형 비드, 이중 원형 비드와 원형-계단형 조합 비드를 갖는 다이 세트(Fig.1, Fig.2, Fig.3, Fig.4 참조)를 제작하여 마찰시험기에서 수행하였다. 드로우비드 다이 세트의 재질은 S45C이며, 표면을 열처리하여 내마모성을 갖게 하였다.

드로우비드 인출실험은 다음과 같은 방법으로 수행되었다. 먼저, 마찰 시험기에서 고정 비드가 설치되는 부분에 제작한 드로우비드 세트를 설치하였다. 그리고 시편을 폭 45mm, 길이 300mm 크기로 절단하고 가장자리의 버어를 완전히 제거한 후 한쪽 끝을 시험기의 인장 척에 체결하였다. 유압 실린더에 의해 비드를 가압한 후 500mm/min의 속도로 인출하여 인출하중-변위 곡선을 구하고, 인출하중이 정상 상태에 달했을 때에 이 값을 드로우비드 저항력으로 하였다.

# 3. 실험결과 및 분석

## 3.1 원형 비드

원형 비드에서 인출실험은 드로우비드의 높이를 2mm, 3mm, 4.5mm, 6mm로 변화시키면서 SPC1(0.6t)와 SPC1(0.8t)를 대상으로 방청유인 P-340N과 드로잉 윤활유인 BWD-610을 윤활재로 사용하여 실시하였다. 블랭크 가압력은 108.9N/mm, 156.8N/mm의 2가지 경우로 하였으며 하형 비드의 홈견부 반경도 3.8mm, 4.5mm의 두 가지 경우로 하였다. 이와 같은 서로 다른 실험조건에서 수행한 실험의 결과를 Table 2에 정리하였다.

## 3.2 계단형 비드

계단형 비드에서의 인출실험은 비드부의 곡률반경을 3mm, 4mm로 변화시키면서 SPC1(0.6t)와 SPC1(0.8t)를 대상으로 방청유인 P-340N을 도포한 경우와 윤활유인 BWD-610을 도포한 경우에 대하여 실시하였다. 블랭크 가압력은 110.0N/mm, 181.8N/mm의 두 가지 경우로 하였다. 이와 같은 실험조건에서 수행한 실험결과를 Table 3에 정리하였다.

## 3.3 이중 원형 비드

이중 원형 비드에서의 인출실험은 드로우비드 높이를 2mm, 3mm, 4.5mm, 6mm로 변화시키면서 SPC1 (0.6t)를 대상으로 P-340N과 BWD-610을 윤활재로 사용하여 실시하였다. 블랭크 가압력은 156.8N/mm로 고정하였고 하형 비드의 홈견부 반경도 3.8mm로 일정하게 하였다. Table 4는 이와 같은 비드치수들과 윤활조건으로 실험한 결과를 정리한 것이다.

## 3.4 원형-계단형 조합 비드

원형-계단형 조합 비드에 대한 실험은 SPC1(0.6t)를 대상으로 실시하였다. 계단형 비드부의 곡률반경은 3mm, 4mm의 두 가지로 하였으며 각 경우에 대해 원형 비드의 드로우비드 높이는 3mm, 6mm의

두가지로 하였다. 윤활조건은 P-340N과 BWD-610의 두가지 경우로, 블랭크 가압력은 230.2N/mm, 344.1N/mm인 조건에서 실시하였다. 이와 같은 실험조건에서 수행한 결과는 Table 5과 같다.

#### 4. 결론

(1) 원형비드와 이중원형비드의 경우에 드로우비드 저항력과 비드인출시 변형률은 비드의 높이가 클수록, 홈경부 반경이 작을수록, 블랭크 가압력이 클수록, 마찰계수가 클수록, 그리고 소재두께가 두꺼울수록 증가한다.

(2) 계단형비드의 경우에 드로우비드 저항력과 비드인출시 변형률은 비드의 반경이 작을수록, 블랭크 가압력이 클수록, 마찰계수가 클수록, 그리고 소재두께가 두꺼울수록 증가한다.

(3) 원형-계단형 조합비드의 경우에 드로우비드 저항력과 비드인출시 변형률은 원형비드의 높이가 클수록, 계단형비드의 반경이 작을수록, 블랭크 가압력이 클수록, 마찰계수가 클수록 증가한다.

이상과 같은 실험결론으로 드로우비드의 제원과 여러 가지 성형조건이 박판성형공정을 유한요소해석할 때 경계조건으로 정의하는 드로우비드 저항력과 인출시변형률에 미치는 영향이 규명되어 2부에서 소개되는 드로우비드의 수학적 모델을 기술할 수 있는 기반을 마련하였다.

#### 후 기

본 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비(기계공학:ME96-E-36)에 의하여 연구되었습니다. 아울러 실험에 협조해주신 RIST 한수식 박사와 김정철씨께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] H. D. Nine, 1978, "Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", Mechanics of Sheet Metal Forming, pp. 179~211.
- [2] N. M. Wang, 1982, "A Mathematical Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", J. of Applied Metal Working, Vol. 2, No. 3, pp. 193~199.
- [3] B. S. Levy, 1982, "Development of a Predictive Model for Draw Bead Restraining Force Utilizing Work of Nine and Wang", J. Applied Metal Working, Vol. 3, No. 1.
- [4] T. B. Stoughton, 1988, "Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", 15th IDDRG, pp. 205~215.
- [5] 김창만, 임영석, 이항수, 전기찬, 서대교, 1994, "단일원형비드 및 환저비드의 인출 특성에 관한 연구", 한국소성가공학회지, Vol. 3, No. 4, pp. 454~467.

Table 1 Frictional coefficients for various lubrication conditions

Material	Thickness (mm)	Lubricant	Friction coefficient
SPC1	0.6	BWD-610	0.132
		P-340N	0.191
		DRY	0.171
	0.8	P-340N	0.183
		DRY	0.161
SPC3	0.8	P-340N	0.187
		DRY	0.164
SKY-AL TG25	1.0	P-340N	0.198
		DRY	Failure

Table 2 Drawbead restraining forces and bead-exit thinnings for various forming conditions and geometries of a single circular bead ( Material : SPC1 )

Thickness (mm)	BHF (N/mm)	$\mu$	R <sub>s</sub> (mm)	Bead Height	DBRF (N/mm)	Thinning (%)		
0.6	108.9	0.191	3.8	2	51.50	3.05		
				3	57.17	3.34		
				4.5	72.79	7.23		
				6	80.87	8.06		
				2	68.19	3.54		
				3	75.59	4.02		
	156.8	0.191	3.8	4.5	86.99	8.52		
				6	92.26	9.79		
				2	64.95	2.37		
				3	70.88	2.86		
				4.5	80.61	5.16		
				6	88.23	8.06		
		0.132	3.8	2	55.81	3.54		
				3	61.31	4.30		
				4.5	72.66	5.92		
				6	79.51	7.69		
				2	63.06	3.44		
				3	74.30	4.59		
0.8	108.9	0.183	3.8	4.5	96.06	7.78		
				6	108.59	9.97		
				2	79.66	3.92		
				3	94.86	5.45		
				4.5	122.32	10.33		
				6	127.74	11.40		
	156.8	0.183	3.8	2	73.85	2.47		
				3	86.10	4.02		
				4.5	104.81	8.24		
				6	127.61	11.66		
				0.132	4.5	2	73.85	2.47
						3	86.10	4.02
		4.5	104.81			8.24		
		6	127.61			11.66		

Table 3 Drawbead restraining forces and bead-exit thinnings for various forming conditions and geometries of a step bead ( Material : SPC1 )

Thickness (mm)	BHF (N/mm)	$\mu$	Bead radius (mm)	DBRF (N/mm)	Thinning (%)
0.6	110	0.191	3	77.37	8.14
			4	63.60	5.57
		0.132	3	66.63	8.25
	181.8	0.191	3	103.94	9.82
			4	87.09	6.46
		0.132	3	80.47	8.57
0.8	110	0.191	3	120.76	10.04
			4	87.60	6.92
	181.8	0.191	3	144.96	11.84
			4	113.02	8.11

Table 4 Drawbead restraining forces and bead-exit thinnings for various forming conditions and geometries of a double circular bead ( Material : SPC1 )

Thickness (mm)	BHF (N/mm)	$\mu$	R <sub>s</sub> (mm)	Bead Height	DBRF (N/mm)	Thinning (%)
0.6	156.8	0.191	3.8	2	77.24	5.64
				3	89.89	9.06
				4.5	106.46	13.93
				6	122.46	14.79
				2	66.92	5.07
				3	82.81	8.52
	0.132	3.8	4.5	98.43	11.57	
			6	103.13	12.28	

Table 5 Drawbead restraining forces and bead-exit thinnings for various forming conditions and geometries of a circular-step bead ( Material : SPC1 )

Thickness (mm)	BHF (N/mm)	$\mu$	h (mm)	Bead radius	DBRF (N/mm)	Thinning (%)			
0.6	230.2	0.191	3	3	131.53	14.29			
				4	120.05	10.38			
				3	157.60	20.18			
				4	136.71	16.36			
				3	116.65	13.55			
				4	104.24	9.74			
		0.132	3	3	134.58	17.86			
				4	121.85	14.18			
				3	141.16	15.96			
				4	135.61	11.57			
				344.1	0.132	3	3	141.16	15.96
							4	135.61	11.57
	3	164.15	22.12						
	4	150.83	17.20						

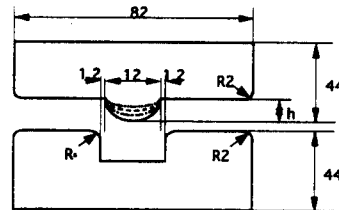


Fig.1 Sectional view of a single circular bead die set.

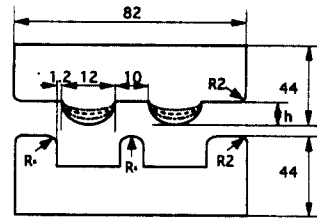


Fig.2 Sectional view of a double circular bead die set.

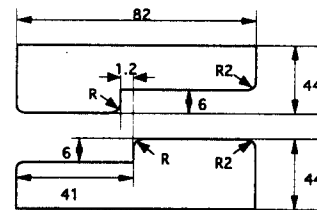


Fig.3 Sectional view of a step bead die set.

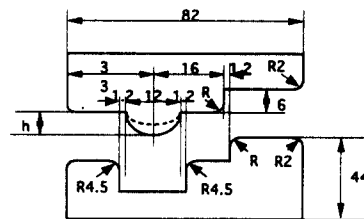


Fig.4 Sectional view of a circular-step bead die set.