

차체 스탬핑 해석에 등가 드로우비드 모델의 적용

이자연¹, 문성준², 김영탁[#]

Application of Equivalent Drawbead Model to Auto-Body Stamping Analysis

J. Y. Lee, S. J. Moon, Y. T. Keum

Abstract

The application of an equivalent drawbead model(EDM) for sheet metal forming analysis, which adopts the forces instead of complex geometries in modeling the drawbead, to the numerical simulation of auto-panel stamping process is introduced in this study. In terms of the thinning and draw-in, better agreement with experimental measurements was found in EDM than in commercial code models so that the excellence of EDM in the accuracy of drawbead forces for the simulation of auto-body stampings was revealed.

Key Words : Drawbead(드로우비드), Equivalent Drawbead(등가 드로우비드), Drawbead Restraining Force(드로우비드 저항력), Drawbead Opening Force(드로우비드 상압력)

1. 서론

스탬핑 공정에서 사용하는 드로우비드는 박판성형시 주름, 파단, 스프링백 등의 성형 결함을 방지하는 가장 중요한 설계인자들 중의 하나임에도 명확히 규명되지 않고 있는 실정이다. 특히, 등가 드로우비드로의 근사는 관련업체마다, 또 소프트웨어마다 서로 다른 드로우비드력을 제시하고 있어 이에 대한 보다 명확한 정립과 검증이 필요하다.

드로우비드에 관한 연구는 Nine에[1,2] 의해 드로우비드 실험이 시작된 후, Wang이[3] 원형비드의 수학적 모델을 제시하였고, Levy는[4] 저항력을 예측하기 위한 가상일의 원리를 도입하였다. 또한, Stoughton은[5] 프레스 성형에서 여러가지 인자를 고려한 드로우비드의 수학적 모델을 제시하였고,

Carleer등은[6] 2차원 유한요소 해석을 이용한 등가 드로우비드 모델을 제안하였으며, Lee등은[7] 혼합 등방-이동경화 식을 통해 드로우비드력 산출을 하였고, Keum등은[8,9,10] 유한요소 해석을 위한 등가 드로우비드 모델과 드로우비드력의 결정을 위한 실험을 제안하였다.

본 연구에서는 등가 드로우비드 모델과 상업용 코드로 산출된 드로우비드력을 리프트게이트 아우터 금형의 성형해석에 적용하고 등가 드로우비드 모델의 정확성을 확인하고자 한다.

2. 등가 드로우비드

스탬핑 공정중 박판이 드로우비드를 통과하면서 물성과 모양을 변화시키는데 필요한 힘들의 합이 드로우비드 저항력이다. 이 드로우비드력을 구

1. GM대우 Die & Press, 금형기술팀

2. 한양대학교 일반대학원, 자동차 공학과

교신저자: 한양대학교 기계공학부, ytkeum@hanyang.ac.kr

하기 위하여 드로우비드 부에서 박판이 평면변형 모드를 가진다고 가정하였다. 그리고 반복적인 굽힘과 되굽힘에 의한 Bauschinger 효과와 transient 거동을 나타내기 위하여 Chaboche 단표면 모델에 기초한 혼합 등방-이동경화식을 이용하고, 드로우비드 입구에서 탈출구까지 주어진 시간증분 동안 드로우비드 형상에 의한 요소의 변형경로를 변형증분 이론에 기초한 구성방정식의 적분을 통해 박판의 경화를 구현하였다[7]. 그리고 드로우비드의 형상을 수학적으로 묘사하기 위하여 원형 드로우비드와 박판의 접선 방정식을 개선하여 접촉각을 구하고, 이를 사각 드로우비드와 계단 드로우비드의 기하학 모델에도 적용하였다[8].

2.2 상압력

드로우비드 상압력(Drawbead Opening Force: DBOF)은 박판이 드로우비드를 통과할 때 박판이 상형다이를 들어 올려 다이세트를 열리게 하는 힘이다. 이 상압력은 박판이 드로우비드부를 통과하면서 생기는 마찰력과 탄성복원력의 수직 성분이다. 즉, 마찰면압에 의한 수직력과[5] 박판이 드로우비드 부를 따라 인출되면서 발생하는 탄성 복원력의 수직 성분이다[8].

3. 적용

등가 드로우비드 모델로부터 구한 드로우비드력과 상용코드들에서 구한 드로우비드력들을 각각 리프트게이트 아우터 패널의 드로우공정의 성형해석에 적용하고 얻은 두께 변형률과 드로우인량을 트라이아웃 패널의 것들과 비교하였다.

3.1 해석조건

리프트게이트 아우터 금형의 드로우공정 성형해석을 위해 다이, 홀더 및 펀치는 3, 4 절점의 강체 요소로, 블랭크는 초기 크기 2mm×2mm, 두께방향으로 적분점 5개를 갖는 4절점 쉘 요소로 모델링하였고, remesh 기법을 통해 요소크기가 최적화될 수 있게 하였다(Table 1 참조). 블랭크 홀딩력은 110ton을, 펀치 속도와 홀더 속도는 각각 5m/s, 2m/s를 적용시켰다. 금형과 블랭크 사이의 마찰계수는 마찰실험을 통해 구한 $\mu=0.11$ 이 적용되었다.

Table 1 Number of finite elements for analyzing draw process of lift-gate outer panel

Tools	Holder	3-node and 4-node rigid elements	16,172
	Punch		95,067
	Die		111,238
Blank Sheet (SPCEN, 0.65mm, Bare)		3-node shell elements	52,106

3.2 드로우비드 레이아웃

Fig.1은 리프트게이트 아우터 패널의 드로우비드 배치도이다. 드로우비드들은 가운데 중심선을 대칭으로 좌우에 위치한다. 클리어런스와 비드폭이 각각 0.8mm, 10mm인 원형비드(비드높이 5mm)와 타원형비드(어깨반경 3mm)가 0도부터 7도까지 경사진 다이페이스에 단일 혹은 이중비드로 배치되어 있다. 이들 드로우비드의 종류와 크기 그리고 기울기각도에 따라 등가 드로우비드 모델과 상업용 코드 모델로 부터 계산된 드로우비드력들이 (Table 2 참조) 성형해석에 사용되었다.

3.3 두께 변형률

등가 드로우비드 모델과 상업용 성형해석 코드로부터 구한 드로우비드력들로 리프트게이트 성형해석을 수행한 후 얻은 두께 변형률과 트라이아웃 패널로부터 측정된 실측치를 서로 비교하였다.

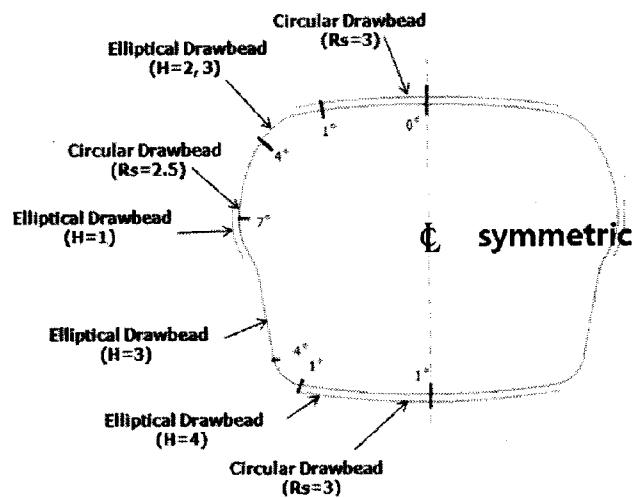


Fig. 1 Layout of drawbeads in liftgate draw die

Table 2 Drawbead forces determined by equivalent drawbead model(EDM) and commercial code models

Drawbead Type	Angle [°]	Drawbead forces [N/mm]							
		EDM		Commercial1		Commercial2			
		DBRF	DBOF	DBRF	DBOF	DBRF	DBOF		
Circular (H=5, Rs=2.5)	0	79.3	77.1	68.2	59.3	64.3	47.9		
	1	78.9	76.4	68.2	59.5				
Circular (H=5, Rs=3)	1	62.4	64.7	55.8	49.0	52.6	39.0		
	2	62.1	64.2	55.8	49.2				
	3	61.8	63.7	55.8	49.4				
	4	61.6	63.2	55.8	49.6				
	5	61.3	62.7	55.8	49.8				
	6	61.1	62.3	55.8	50.0				
	7	60.8	61.8	55.8	50.3				
Elliptical (H=4, Rs=3)	1	52.0	55.1	42.2	37.1	39.5	27.1		
	2	51.7	54.5	42.2	37.2				
	5	51.1	52.9	42.3	37.5				
	6	51.0	52.5	42.4	37.6				
Elliptical (H=3.5, Rs=3)	6.5	46.7	47.1	36.2	32.4	33.4	22.3		
Elliptical (H=3, Rs=3)	2	42.7	43.6	30.2	27.7	27.7	18.4		
	3	42.5	43.0	30.2	27.7				
	4	42.4	42.4	30.2	27.7				
	5.5	42.5	41.9	30.2	27.8				
Elliptical (H=2.5, Rs=3)	4.5	38.2	36.7	24.7	24.0	22.3	15.3		
Elliptical (H=2, Rs=3)	5	34.3	31.2	19.7	20.8	17.4	12.9		

Table 3는 성형이 취약한 16지점에서 성형 해석에서 얻은 두께변형률(thinning)과 이의 실측치(Tryout), 그리고 이들의 상대오차(Error)이다. 등가 드로우비드로 드로우 비드력을 구해 성형해석했을 경우는 최대 7.4%, 평균 2.6%의 상대오차를, 그리고 상업용 코드가 제공하는 드로우 비드 모델에 의한 성형해석으로 부터는 최대 8.3%, 평균 4.2%~4.7%의 상대오차가 있었다.

3.4 드로우인량

드로우비드력의 차이가 드로우인량에 미치는 영향을 평가하기 위하여 리프트게이트 금형의 드로우비드 위치를 고려하여 패널 가장자리의

Table 3 Comparison of thinning and relative error among equivalent drawbead model(EDM) and commercial code models

Position No.		1	2	3	4	5	6	7	8
Tryout	Thinning	0.210	0.108	0.117	0.108	0.105	0.095	0.043	0.122
EDM	Thinning	0.212	0.085	0.056	0.108	0.097	0.077	0.082	0.057
	Error [%]	0.3	27	68	0	09	20	4.1	74
Commercial 1	Thinning	0.174	0.054	0.048	0.086	0.089	0.074	0.085	0.049
	Error [%]	45	61	78	24	18	23	44	83
Commercial 2	Thinning	0.155	0.059	0.044	0.084	0.088	0.073	0.080	0.052
	Error [%]	70	55	82	28	19	25	38	79
Position No.		9	10	11	12	13	14	15	16
Tryout	Thinning	0.095	0.110	0.088	0.088	0.103	0.152	0.167	0.223
EDM	Thinning	0.063	0.085	0.081	0.096	0.055	0.151	0.147	0.211
	Error [%]	35	29	09	08	54	0	23	16
Commercial 1	Thinning	0.049	0.078	0.069	0.074	0.046	0.141	0.133	0.186
	Error [%]	50	36	21	1.6	64	12	40	48
Commercial 2	Thinning	0.050	0.076	0.057	0.074	0.043	0.125	0.124	0.167
	Error [%]	50	38	34	1.6	67	3.1	5.1	72

22개 지점에서 빨려 들어 간 거리를 측정하였다. Table 4는 22개 지점에서 드로우인 실측치(Tryout)와 드로우비드력을 적용하여 얻은 성형해석 결과와의 상대오차 (Error)를 보여 준다. 측정지점 번호22에서 모든 드로우비드의 성형해석에서 최대 상대오차를 보여 등가 드로우비드에서 21mm, 상업용 코드 드로우비드에서 29mm~32mm이었다. 드로우인량의 평균 상대오차는 등가드로우비드 모델이 9.8mm, 상업용 코드 드로우비드 모델이 13.4mm~14.2mm이었다.

4. 결론

박판 성형공정을 고정도로 성형해석하기 위하여 등가 드로우비드 모델을 리프트게이트 아우터 패널의 성형해석에 적용하고 상업용 코드들의 드로우비드 모델에 의한 성형해석과 비교한 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 등가 드로우비드 모델을 사용하여 드로우

Table 4 Comparison of relative errors of draw-in amounts among equivalent drawbead model(EDM) and commercial code models

Position No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Draw-in [mm]	Tryout	30	33	24	35	25	50	60	53	25	33	20
	EDM	21	9	6	10	11	2	1	2	6	-1	10
Error [mm]	Commercial 1	29	15	10	15	15	2	2	4	8	-1	14
	Commercial 2	30	16	11	15	15	8	3	5	8	2	15
Position No.		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Draw-in [mm]	Tryout	20	33	22	40	32	32	22	25	24	33	30
	EDM	9	-3	9	13	13	11	11	20	5	9	21
Error [mm]	Commercial 1	14	-1	11	15	17	17	15	24	9	15	29
	Commercial 2	15	1	11	17	16	16	15	25	10	16	32

비드의 복잡한 기하학 형상을 단순화하여 성형 해석시간을 줄일 수 있다.

(2) 상업용 코드의 드로우비드 모델들은 드로우비드력을 작게 평가한다.

(3) 등가 드로우비드 모델을 사용하면 상업용 코드 모델들보다 Thinning과 드로우인량의 정확도를 37~59%, 27~47% 각각 개선시킬 수 있다.

후 기

본 연구결과에 이르기까지 후원해 주신 (주) GM대우 자동차 Die & Press의 최오영 부장님, 이형진 부장님, 권성오 차장님, 그리고 KIMS의 이명규 박사님께 진심으로 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] H. D. Nine, 1978, Drawbead Forces in Sheet Metal Forming, Mechanics of Sheet Metal Forming, pp. 179~211.

[2] H. D. Nine, 1982, New Drawbead Concepts for sheet Metal Forming, American Society for Metals, Vol. 2, No. 3, pp. 185~192.

[3] 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.

[4] 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, pp. 38-44

[5] T. B. Stoughton, 1988, Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming, 15th IDDRG, pp. 205~215.

[6] B. D. Carleer, T. Meinders, and H. Huetink, 1996, Equivalent Drawbead Model in Finite Element Simulations, Numerical Simulations of 3-D Sheet Metal Forming Processes (NUMISHEET'96), pp.25-31

[7] M. G. Lee, K. Chung, R. H. Wagoner, Y. T. Keum, 2008, A numerical method for rapid estimation of drawbead restraining force based on non-linear, anisotropic constitutive equations, International Journal of Solids and Structures, Vol. 45, No. 11-12, pp. 3375~3391

[8] Y. T. Keum, J. H. Kim, B. Y. Ghoo, 2001, "Expert Drawbead Models for Finite Element Analysis of Sheet Metal Forming Processes", International Journal of Solids and Structures, Vol. 38, No.30-31, pp. 5335~5353

[9] S. J. Moon, Y. T. Keum, R. H. Wagoner, 2007, "Study on the Characteristics of Drawbead Forces in Automotive Stamping Dies", Transactions of Materials Processing, Vol. 16, No. 6, pp. 457~462

[10] S. J. Moon, M. G. Lee, Y. T. Keum, 2008, "Experimental Drawbead Dies for Measuring Drawbead Forces", Transactions of Materials Processing, Vol. 17, No. 7, pp. 217~219