

유한요소법을 이용한 가변스트레치공정 성형변수에 따른 성형오차 경향분석

서영호¹ · 허성찬¹ · 송우진² · 김 정³ · 강범수[#]

Tendency Analysis of Shape Error According to Forming Parameter in Flexible Stretch Forming Process Using Finite Element Method

Y. H. Seo, S. C. Heo, W. J. Song, J. Kim, B. S. Kang

(Received September 29, 2010 / Revised November 15, 2010 / Accepted November 17, 2010)

Abstract

A shape error of the sheet metal product made by a flexible stretch forming process is occurred by a various forming parameters. A die used in the flexible stretch forming is composed of a punch array to obtain the various objective surfaces using only one die. But gaps between the punches induce the shape error and the defect such as a scratch. Forming parameters of the punch size and the elastic pad to prevent the surface defect must be considered in the flexible die design process. In this study, tendency analysis of shape error according to the forming parameters in the flexible stretch process is conducted using a finite element method. Three forming parameters, which are the punch size, the objective curvature radius and the elastic pad thickness, are considered. Finite element modeling using the punch height calculation algorithm and the evaluation method of the shape error, which is a representative value for the formability of formed surface, are proposed. Consequently, the shape error is in proportion to the punch size and is out of proportion to the objective curvature radius and the elastic pad thickness.

Key Words : Flexible Stretch Forming, Forming Parameter, Shape Error, Tendency Analysis, Finite Element Method, Factorial Design

1. 서 론

최근 선박, 항공기, 고속철도 및 자동차의 개발에 있어서 수요자 및 개발자의 요구에 따라 다양한 형상을 가지는 박판 및 후판 성형품이 사용된다. 이에 기존의 산업구조는 소품종 대량생산체제에서 다품종 소량생산체제로 변화하고 있는 추세이다. 특히 선박의 주요 외장재의 가공은 금형개발 비용에 따르는 경제성을 만족시키기 어려워

여전히 선상가열법과 같은 수작업에 의존하고 있으며, 항공기용 다중곡률 박판을 생산하기 위하여 부득이하게 형상에 따른 다수의 금형을 사용하고 있지만 생산단가가 높은 단점이 있다. 이에 따라 관재의 가공에 있어서 신 개념의 성형방법이 요구된다[1~3].

본 연구에서 다루고자 하는 가변스트레치 성형공법은 기존의 성형공정과는 차별화되는 성형공정으로 박판성형 시 탄성회복을 억제하기 위한

1. 부산대학교 항공우주공학과 대학원
2. 부산대학교 부품소재산업협력연구소
3. 부산대학교 항공우주공학과
교신저자: 부산대학교 항공우주공학과, E-mail:bskang@pusan.ac.kr

스트레치 성형공정과 하나의 금형으로 다양한 형상의 판재를 가공할 수 있는 가변성형 기술의 융합공정이다[1]. 본 성형기술은 형상별 소요되는 금형의 개발 및 보관/설치비용과 그에 따른 노동력의 소모를 절감할 수 있다. 가변성형 기술의 핵심인 가변금형은 기존의 단일금형과는 달리 여러개의 펀치로 구성되어 있으며, 목적곡면에 따라 펀치의 높이를 조절하여 다양한 곡면의 구현 및 가공이 가능하다[1~5]. 하지만 가변금형의 개발단계에서 펀치와 판재 사이의 점접촉에 의한 표면 스크래치 및 굴곡 등의 성형결함이 예측되었으며, 특히 가변스트레치 성형의 경우 펀치의 공극에 의한 판재의 주름이 발생할 것으로 예측되었다[1].

이에 본 연구에서는 가변스트레치 성형공정의 특성에 따른 성형변수가 성형성 및 성형결함 등 성형오차에 미치는 영향성을 파악하고자 한다. 하지만 성형실험을 통하여 관련성을 규명하고자 하기 위해서 펀치크기 별 가변금형의 제작에 따른 상당한 비용이 발생하게 되므로 유한요소법을 활용하여 성형오차를 예측하였으며, 이를 근거로 성형변수가 성형오차에 미치는 경향을 확인하였다.

2. 성형변수 및 해석계획

가변금형의 성형면적 및 펀치배열과 직접적으로 연관되는 펀치의 크기, 목적곡면의 곡률반경 및 탄성패드의 두께를 포함한 총 3개의 성형변수를 고려하였다. 펀치는 소재와 직접적으로 접촉하여 표면결함을 유발할 수 있으며, 가변성형 시 공극에 의한 소재의 굴곡 역시 펀치크기에 의존하므로 성형오차에 영향을 미치는 성형변수이다. 또한 박판성형에서 탄성회복은 필연적으로 발생하므로 이와 관련되는 목적곡면의 곡률반경을 성형변수로서 고려하였다. 기존의 연구에서 성형결함을 억제하기 위하여 탄성패드를 펀치와 소재 사이에 삽입하는 방안이 제시되었고[1,5,7], 탄성패드의 두께는 성형오차와 관련성이 있을 것으로 예측하였다. 3개의 성형변수와 성형오차와의 경향을 분석하기 위하여 실험계획법의 일종인 요인배치법에 따라 해석계획을 수립하였다. 요인배치법은 인자의 수에 따라서 일원배치법(one-way factorial design), 이원배치법(two-way factorial design), 다원배치법(multi-way factorial design)으로 나누어진다[6]. 본 연구에서 고려되는 설계변수는 총 3개이므로 삼원배치법(three-way factorial design)이 사용되었다.

Table 1 Three-way factorial design

P* ¹	R* ²	T* ³		
		T ₁	T ₂	T ₃
P ₁	R ₁	X ₁₁₁	X ₁₁₂	X ₁₁₃
	R ₂	X ₁₂₁	X ₁₂₂	X ₁₂₃
	R ₃	X ₁₃₁	X ₁₃₂	X ₁₃₃
P ₂	R ₁	X ₂₁₁	X ₂₁₂	X ₂₁₃
	R ₂	X ₂₂₁	X ₂₂₂	X ₂₂₃
	R ₃	X ₂₃₁	X ₂₃₂	X ₂₃₃
P ₃	R ₁	X ₃₁₁	X ₃₁₂	X ₃₁₃
	R ₂	X ₃₂₁	X ₃₂₂	X ₃₂₃
	R ₃	X ₃₃₁	X ₃₃₂	X ₃₃₃
P ₄	R ₁	X ₄₁₁	X ₄₁₂	X ₄₁₃
	R ₂	X ₄₂₁	X ₄₂₂	X ₄₂₃
	R ₃	X ₄₃₁	X ₄₃₂	X ₄₃₃
P ₅	R ₁	X ₅₁₁	X ₅₁₂	X ₅₁₃
	R ₂	X ₅₂₁	X ₅₂₂	X ₅₂₃
	R ₃	X ₅₃₁	X ₅₃₂	X ₅₃₃

*¹ Punch size (mm): P₁=100, P₂=50, P₃=25, P₄=20, P₅=10

*² Objective curvature radius (mm): R₁=300, R₂=350, R₃=400

*³ Elastic pad thickness (mm): T₁=0, T₂=5, T₃=10

또한 실험이 아닌 유한요소법을 이용한 해석을 통하여 자료를 획득하게 되므로 반복은 무의미하다. 따라서 반복이 없는 삼원배치 모형을 사용하며, 설계변수에 따른 모형을 Table 1에 제시하였다.

3. 해석모델

3.1 펀치높이산출

가변 스트레치 성형공정에 의해 생산되는 최종 성형품의 형상은 주로 단일곡률을 가지므로 목적곡면에 부합하는 가변금형의 펀치배열은 인장방향으로 상대적인 높이가 결정되어야 하며, 폭 방향으로의 높이는 일정해야 한다. 펀치 상대높이의 오차는 성형오차와 직결되므로 단일금형과 등가인 곡면을 구현하기 위한 가변금형의 모델링 방법을 제시하였다. 성형변수의 변화에 따른 다양한 해석모델이 존재하지만 가변금형의 모델링 예로서 펀치크기 25mm(P₃), 목적곡률반경 300mm(R₁), 탄성패드의 두께가 0(T₁), 10mm(T₃)인 케이스에 대한 모델을 사용하였다.

우선적으로 CATIA에서 곡률반경이 300mm인

곡면을 모델링하며, 탄성패드가 사용되는 경우에는 펀치와 탄성패드의 접촉점을 고려해야 하므로 그 두께만큼 오프셋 된 곡면을 모델링한다. 펀치와 목적곡면과의 접촉점은 펀치끝단 형상 및 목적곡면의 형상에 따라 다르다. 즉 임의의 점에서 접촉하게 되며 이를 예측하기는 쉽지 않다. 본 연구에 사용된 펀치끝단의 형상이 반구입을 고려하면 Fig. 1과 같이 목적곡면과 펀치의 접촉점에 무관하게 펀치의 반구 중심은 목적곡면의 표면에서 반구의 반지름만큼 오프셋 된 곡면에 존재하게 된다. 이러한 관계를 이용하여 펀치 중심의 위치를 결정하고, 인장방향으로의 펀치의 상대적인 높이를 결정한 후 펀치 끝단의 반구를 모델링함으로써 가변금형의 모델링이 가능하다. 펀치반구의 반지름은 펀치크기의 1/2에 해당하므로 펀치크기가 25mm인 케이스에 대하여 오프셋 길이에 해당하는 r 의 값은 12.5mm이다. 따라서 앞서 모델링 된 곡면에 12.5mm만큼의 추가적인 오프셋을 통하여 펀치의 반구 중심이 존재하는 곡면을 모델링한다(Fig. 2, 3). 또한 펀치의 접촉점을 예측하기 위하여 오프셋 곡면을 요소(element)화 한다.

가변금형 각각의 펀치는 X 및 Y 방향으로의 위치는 고정되어 있으며, Z 방향으로의 상대적인 위치를 가지므로 Fig. 4와 같이 오프셋 된 곡면을 X - Y 평면에 투영시켜 투영면의 면적과 펀치중심의 X 및 Y 좌표를 활용하여 펀치의 중심이 존재하는 요소를 찾아낼 수 있다. 요소의 면적과 펀치 중심의 X 및 Y 좌표에 의해 생성되는 면적이 일치한다면 펀치의 중심은 해당요소에 존재하게 되며 펀치 끝단의 반구면을 모델링 함으로서 가변금형의 펀치배열 모델링이 가능하다. 펀치중심이 요소에 존재하지 않으면 펀치중심에 의해 생성되는 면적은 요소의 면적보다 크다. 펀치중심이 존재하는 요소가 결정되면 요소와 펀치중심의 기하학적 관계(Fig. 5)를 이용하여 펀치중심의 Z 좌표를 식 (1)에 의해 결정할 수 있으며, 이는 펀치높이 방향의 위치로 설정 가능하다.

$$z = \frac{-F(x-x_1)-G(y-y_1)+Hz_1}{H}$$

$$F = (y_2 - y_1)(z_4 - z_1) - (y_4 - y_1)(z_2 - z_1) \quad (1)$$

$$G = (x_4 - x_1)(z_2 - z_1) - (x_2 - x_1)(z_4 - z_1)$$

$$H = (y_4 - y_1)(x_2 - z_1) - (x_4 - x_1)(y_2 - y_1)$$

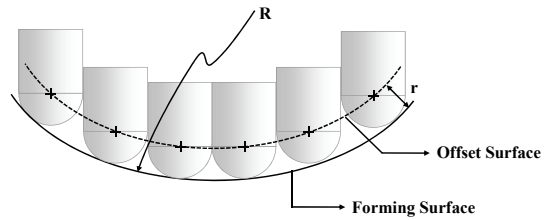


Fig. 1 Relationship among center of punch, offset and forming surfaces

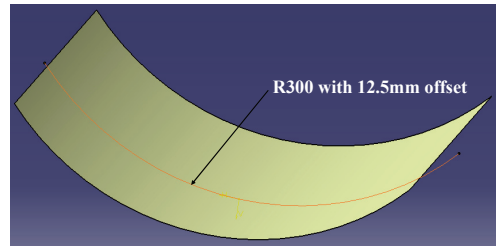


Fig. 2 Modeling of offset surface with curvature radius of 300mm

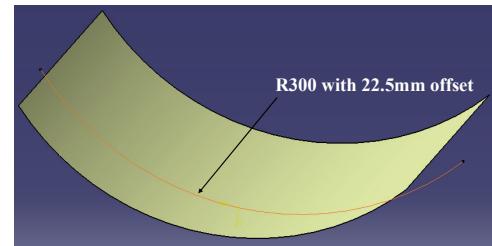


Fig. 3 Modeling of offset surface with curvature radius of 300mm with 10mm offset

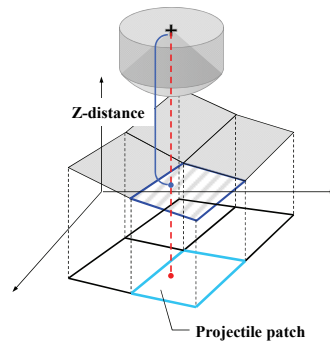


Fig. 4 Relationship between center of punch and projectile element

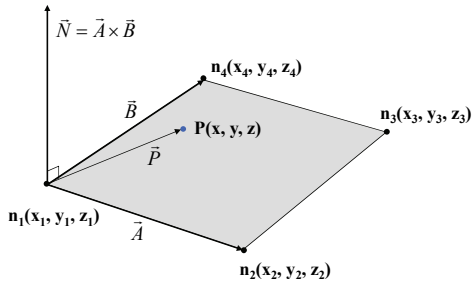


Fig. 5 Relationship between center of punch and element

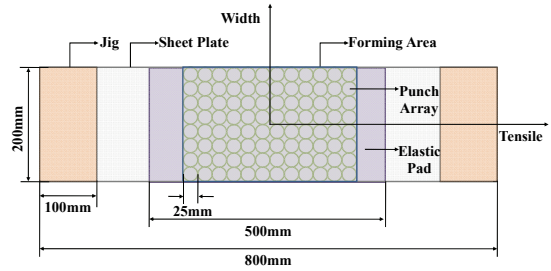


Fig. 6 Schematic diagram of simulation model for punch size of 25mm

Table 2 Punch height in case of P₃ and R₁ [mm]

Order	1	2	3	4	5	6
T ₁	37.36	24.27	14.29	7.05	2.33	0
T ₃	39.03	25.30	14.86	7.32	2.42	0

펀치크기가 25mm인 경우 200mm×300mm의 성형면적에 해당하는 펀치의 배열은 8×12이며, 인장방향으로 12개의 펀치가 존재한다. 앞서 제시한 펀치높이 산출방식에 따라 곡률반경이 300mm, 탄성패드가 0mm, 10mm인 모델에 대한 6개의 펀치높이(인장방향으로 대칭이므로)를 Table 2에 나타내었으며, 이를 이용하여 ANSYS V12.0을 통해 성형해석 모델을 구성하였다.

3.2 유한요소모델

펀치크기가 25mm인 가변금형과 탄성패드가 포함된 성형모델의 개략적인 형태를 Fig. 6에 도시하였다. 두께가 1mm인 AA 2024-O 판재는 800mm×200mm의 크기로 모델링 되었으며, 양 끝단의 지그에 해당하는 영역은 100mm×200mm로 간주하였다. 가변금형에 해당하는 성형영역은 300mm×200mm이며, 판재와 가변금형의 접촉을 방지하는 탄성패드의 효율성을 고려하여 500mm×200mm의 크기로 모델링 하였다. 가변금형의 펀치배열은 펀치크기에 의존하며, 목적곡률반경에 따른 인장방향으로의 상대높이는 3.1절에 기술한 바와 같이 결정된다. 판재의 물성 모델은 가공 경화식($\bar{\sigma} = K\bar{\epsilon}^n$)을 사용하였으며, 마찰계수는 0.2를 사용하였다[1,7]. 성형해석에는 외연적 기법(explicit method)을 기반으로 하는 상용 프로그램인 LS-DYNA를 사용하였다. 또한, 박판성형공정에서 발생하는 탄성회복을 해석하기 위하여 ANSYS 12.0을 사용하였다.

ANSYS 12.0을 이용한 유한요소모델을 Fig. 7에 도시하였으며, Table 1에 따라 해석을 수행하였다.

4. 성형오차

4.1 성형오차산출

성형변수에 대한 성형오차의 경향성을 분석하기 위해 성형오차는 정량화된 하나의 대표값으로 산출되어야 한다. 가변금형과 스트레치 성형의 특성을 고려하였을 때, 인장력이 가해지는 방향으로 탄성회복에 의한 성형오차가 발생할 것으로 예측된다. 반면 폭 방향으로는 소재에 수축력이 가해지고 성형하중과 펀치의 공극으로 인해 펀치형상을 따라 굴곡이 발생한다[1]. 따라서 인장방향과 폭 방향으로 하나의 성형모델에 대하여 총 2개의 성형오차 대표값을 산출하였다.

인장방향의 정량화된 성형오차 대표값을 산출하기 위하여 성형곡면과 목적곡면 각각의 중심점을 기준으로 하여 오버랩 시킨 후 각 샘플링 포인트에서의 높이 차를 오차 값으로서 산출하였다. 이는 성형곡면이 탄성회복 및 성형변수의 영향에 의해서 목적곡면에 비해 큰 곡률반경을 가질 것이라는 예측에 착안한 것이다. 이 때, 성형곡면 임의의 점에서의 높이는 측정의 기준으로 삼는 목적곡면의 높이보다 크거나 혹은 작는데, 그 차이 값을 더하게 되면 서로 상쇄되어 오차 값이 실제보다 작아진다. 그러므로, 각 값들을 제곱한 값을 더하여 샘플링 포인트의 수만큼 나누어준 값을 인장방향으로의 정량화된 성형오차 측정의 도구로 사용한다.

$$Error_{tensile} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{s,i} - Z_{o,i})^2}{n}} \quad (2)$$

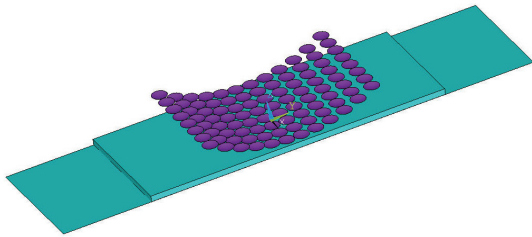


Fig. 7 Finite element model for forming simulation

여기서 $Z_{s,i}$ 는 i 번째 샘플링 포인트에서의 성형높이 즉, Z 축 좌표를 의미하며, $Z_{o,i}$ 는 같은 포인트에서 원래 성형되어져야 하는 높이, 목적곡면의 Z 축 좌표를 가리킨다. n 은 표본의 크기, 성형오차 산출시 고려되는 샘플의 수이다.

폭 방향의 성형오차 대표값은 통계학에서 사용되고 있는 표준편차를 사용하였다. 기본적으로 인장방향의 성형오차 산출식과 동일한 형태이지만 의미는 다르게 해석할 수 있다. 폭 방향의 곡률은 0으로 모든 포인트에서 높이는 일정해야 하지만 펀치사이의 공극에 의한 성형결함으로 인해 폭 방향으로의 높이는 편차를 보이게 된다. 따라서 성형오차의 측정도구로서 평균값에서 분산된 정도를 나타내는 표준편차를 이용하여 성형오차를 정량화 하였다.

$$Error_{width} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2}{n}} \quad (3)$$

여기서 Z_i 는 i 번째 샘플링 포인트에서의 Z 축 좌표이며, \bar{Z} 는 Z_i 의 평균이다.

4.2 성형오차

삼원 배치법에 따라 성형해석 수행 후 탄성회복해석을 수행하였으며, 성형오차 산출결과를 Table 3에 폭 방향, 인장 방향 순으로 도시하였다.

5. 경향분석

5.1 펀치크기 영향

펀치의 크기가 작아지면 공극의 크기가 작아지므로 폭 방향의 성형결함이 줄어들 것으로 예측되며, 인장방향 성형오차에도 영향을 미칠 것으로 예측할 수 있다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 곡률반경

Table 3 Shape Error by three-way factorial design

P	R	T		
		T ₁	T ₂	T ₃
P ₁	R ₁	3.72/11.56	3.38/11.43	2.64 / 5.63
	R ₂	3.74 / 6.56	3.38 / 6.24	2.60 / 6.20
	R ₃	3.75 / 3.69	3.40 / 3.46	2.51 / 3.03
P ₂	R ₁	1.63 / 5.63	1.09 / 4.55	0.32 / 3.57
	R ₂	1.63 / 2.13	1.03 / 1.89	0.23 / 1.58
	R ₃	1.62 / 1.13	1.01 / 0.91	0.29 / 0.85
P ₃	R ₁	0.42 / 2.72	0.24 / 1.69	0.07 / 1.31
	R ₂	0.40 / 0.86	0.17 / 0.32	0.16 / 0.29
	R ₃	0.38 / 0.50	0.26 / 0.12	0.18 / 0.11
P ₄	R ₁	0.23 / 1.96	0.05 / 1.24	0.06 / 1.08
	R ₂	0.21 / 0.59	0.05 / 0.16	0.05 / 0.17
	R ₃	0.20 / 0.47	0.05 / 0.07	0.04 / 0.07
P ₅	R ₁	0.04 / 1.30	0.02 / 0.54	0.02 / 0.51
	R ₂	0.04 / 0.51	0.01 / 0.08	0.02 / 0.07
	R ₃	0.04 / 0.42	0.01 / 0.02	0.02 / 0.02

Shape error in width direction / in tensile direction

에 상관없이 펀치크기가 작아짐에 따라 폭 방향의 성형오차가 감소하는 것을 확인 할 수 있으며, 탄성패드가 사용된 조건에 대한 성형오차는 그렇지 않은 조건($T=0\text{mm}$)의 성형오차에 비해 작을 것으로 판단된다. 또한, 펀치의 크기가 작아질수록 소재와 펀치사이에 삽입된 탄성패드의 두께가 성형오차에 미치는 영향은 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 따라서, 펀치크기 및 탄성패드 두께가 폭 방향 성형오차에 미치는 영향의 정량적인 평가를 통하여 가변금형의 설계에 활용해야 할 것으로 판단된다. 펀치크기에 따른 인장방향 성형오차 경향을 Fig. 9에 도시하였다. 앞선 결과와 유사하게 펀치크기가 작아짐에 따라 성형오차가 줄어들 것으로 예측할 수 있으며, 탄성패드의 두께인자는 인장방향으로의 성형오차에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 또한, 간접적으로 작은 목적곡률반경의 인장방향 성형오차가 크다는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 펀치크기 및 목적곡률반경 성형변수를 가변금형 설계단계에서 고려해야 된다.

5.2 목적곡률반경 영향

박판소재에 인장력을 가하였을 때 소재특성에 따라 인장되는 정도는 한계가 있으며 소재의 탄

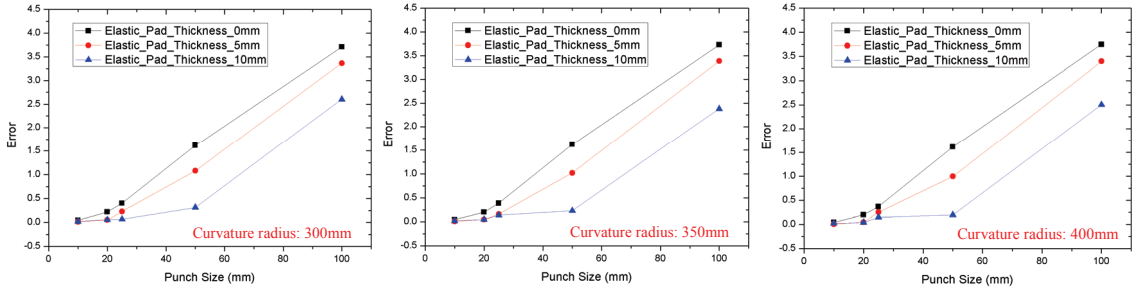


Fig. 8 Shape error in width direction with respect to punch size

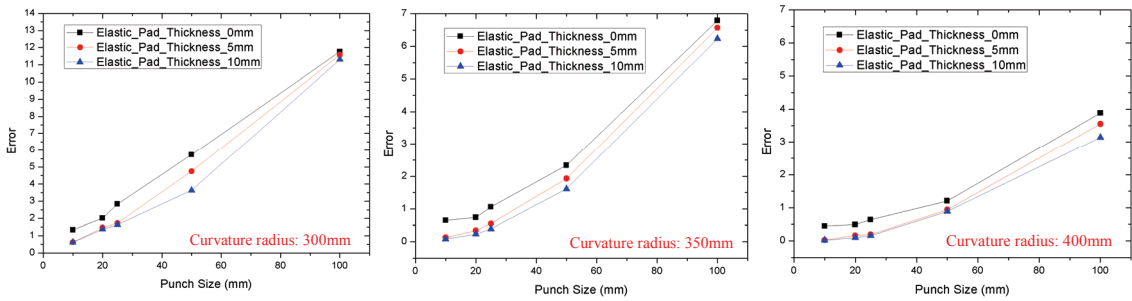


Fig. 9 Shape error in tensile direction with respect to punch size

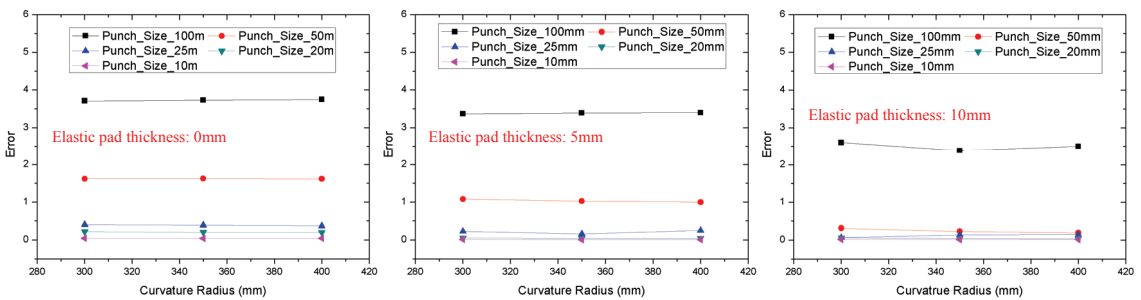


Fig.10 Shape error in width direction with respect to objective curvature radius

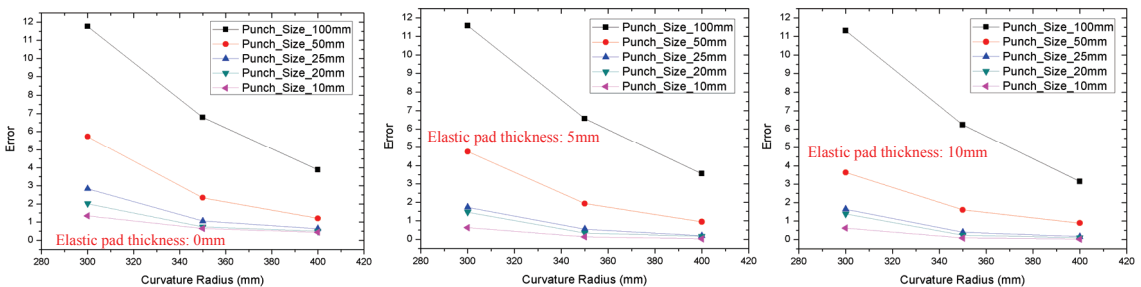


Fig.11 Shape error in tensile direction with respect to objective curvature radius

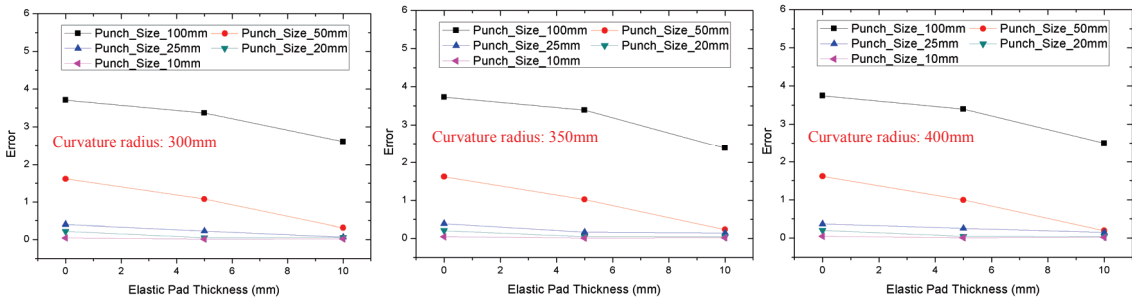


Fig.12 Shape error in width direction with respect to elastic pad thickness

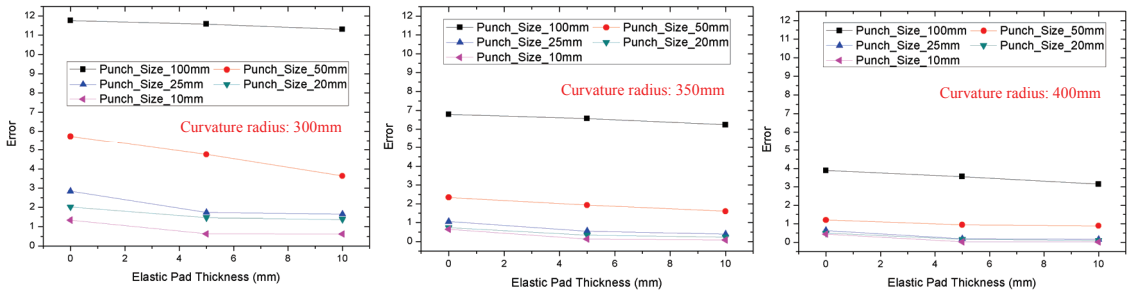


Fig.13 Shape error in tensile direction with respect to elastic pad thickness

성회복에 영향을 미칠 것이다. 따라서, 목적곡률 반경이 성형오차에 미치는 영향 정도를 파악하였다. Fig. 10에 탄성패드의 두께 별 목적곡률반경에 따른 폭 방향으로의 성형오차를 도시하였으며, 그 결과 목적곡률반경은 폭 방향으로의 성형오차에 영향을 거의 미치지 않음을 알 수 있으며, 오히려 펀치크기가 폭 방향의 성형오차에 미치는 영향이 크다는 것을 간접적으로 나타내고 있다.

Fig. 11은 목적곡률반경에 따른 인장방향의 성형오차에 대한 경향분석 결과를 도시하고 있다. 목적곡률반경이 줄어들수록 인장방향으로의 성형오차는 점차 커질 것으로 예측할 수 있다. 하지만 펀치크기가 작아짐에 따라서 목적곡률반경의 영향은 감소하므로 목적곡률반경과 펀치크기가 성형오차에 미치는 영향성을 평가하여 가변금형의 설계에 반영하여야 한다.

5.3 탄성패드두께 영향

다수의 펀치로 구성된 가변금형의 구조 특성상 소재와 금형의 불연속적인 접촉점에 의해서 성형이 이루어지며 이로 인해 성형결함 및 오차가 발생하게 된다. 비교적 작은 펀치를 사용하게 되면 펀치 사이의 공극으로 인한 성형오차를 억제할 수 있지만 펀치 수에 비례하여 가공비 역시 증가

하게 되며 성형오차에 영향을 미치는 변수들은 복합적으로 작용하므로 효율적인 성형결함의 억제를 위하여 소재와 가변금형 사이에 탄성패드를 삽입한다. 탄성패드의 유무 및 두께에 따른 영향성 평가를 수행하였다.

탄성패드의 사용으로 인해서 폭 방향으로의 성형오차가 감소하고 있음을 Fig. 12에서 확인 할 수 있다. 하지만 펀치 크기가 감소할수록 탄성패드 두께의 영향성은 감소하고 있으며, 특히 펀치크기가 25mm이하가 되면 탄성패드가 성형오차에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 판단된다. 따라서 폭 방향으로의 성형오차를 최소화하기 위해서 설계변수를 복합적으로 고려해야 한다. Fig. 13에 따르면 탄성패드의 사용으로 인해 인장 방향으로의 성형오차가 감소하지만 그 정도는 미미하다. 오히려 펀치크기에 더 민감하게 반응하고 있으며, 펀치크기 25mm이하, 탄성패드두께 5mm 이상의 케이스에 대해서는 인장방향의 성형오차에 큰 영향을 주지 못한다.

5.4 고찰

앞선 결과에서 알 수 있듯이 3개의 성형변수가 성형오차에 미치는 영향은 상당히 복잡적이다. 성형오차 경향분석 결과를 살펴보면 폭 방향으로의

성형오차에 영향을 미치는 변수는 펀치크기와 탄성패드의 두께로 예측되며, 인장방향 성형오차의 영향인자는 펀치크기와 목적곡률반경으로 판단된다. 가변금형 설계 시 폭 방향과 인장방향의 성형오차를 모두 고려해야 하므로 3개의 성형변수를 모두 고려하여 수요자의 요구에 부합하는 조건을 도출하여야 한다. 하지만 경향분석 결과만으로 가변금형을 효과적으로 설계할 수 없다. 보다 더 정량적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 즉, 성형변수와 성형오차의 정량적인 관계식을 도출하여 최종 제품의 형상의 목적곡률반경에 따른 적절한 펀치크기의 선택과 탄성패드의 사용 유무 및 두께가 결정되어야 한다.

6. 결 론

스트레치 성형공정과 가변성형기술이 결합된 가변스트레치 성형공정의 특성에 따라 펀치크기, 목적곡률반경 및 탄성패드의 두께는 폭 방향 및 인장 방향의 성형오차와 관련성을 가질 것으로 예측하였다. 각 성형변수가 성형오차에 미치는 영향을 규명하기 위하여 삼원배치법에 따른 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석 결과를 바탕으로 성형오차를 산출하였으며, 이를 바탕으로 각 성형변수에 따라 폭 방향 및 인장방향 성형오차의 경향을 분석하였다. 그 결과, 폭 방향의 성형오차에 영향을 미치는 변수는 펀치크기와 탄성패드의 두께, 인장 방향의 성형오차에 영향을 미치는 성형변수는 펀치크기와 목적곡률반경으로 판단하였다. 결과적으로 펀치크기가 증가함에 따라 성형오차는 모두 증가하며, 목적곡률반경 및 탄성패드두께가 증가함에 따라 성형오차는 감소함을 알 수 있다. 하지만 가변금형 설계 시 본 연구 데이터를 효과적으로 사용하여 최적의 조건을 도출하기 위해서는 성형변수와 성형오차간의 정량적인 평가 즉, 관계식 도출이 필요할 것으로 판단되며 이에 대한 후속 연구가 필요하다.

후 기

본 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)의 지원으로 수행되었으며, 교신저자는 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Y. H. Seo, S. C. Heo, J. W. Park, T. W. Ku, W. J. Song, J. Kim, B. S. Kang, 2010, Development of Stretch Forming Apparatus using Flexible Die, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 1, pp. 17~24.
- [2] S. C. Heo, Y. H. Seo, J. W. Park, T. W. Ku, J. Kim, B. S. Kang, 2008, Numerical and experimental study on plate forming process using flexible die, Trans. Mater. Process., Vol. 17, No. 8, pp. 570~578.
- [3] S. C. Heo, Y. H. Seo, J. W. Park, T. W. Ku, J. Kim, B. S. Kang, 2010, Application of flexible forming process to hull structure forming, J. Mech. Sci. Tech., Vol. 24, pp. 137~140.
- [4] Z. Y. Cai, M. Z. Li, 2002, Multi-point forming of three-dimensional sheet metal and the control of the forming process, Int. J. Press. Vassels and Piping, Vol. 79, pp. 289~296
- [5] L. Li, Y. H. Seo, S. C. Heo, B. S. Knag, J. Kim, 2010, Numerical simulations on reducing the unloading springback with multi-step multi-point forming technology, Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 48, pp. 45~61.
- [6] S. H. Park, J. W. Kim, 2010, Modern design of experiments using MINITAB, Min-young, Seoul, pp. 9~26.
- [7] Z. Y. Cai, S. H. Wang, X. D. Xu, M. Z. Li, 2009, Numerical simulation for the multi-point stretch forming process of sheet metal, J. Mater. Process. Technol., Vol. 209, pp. 396~407.