

박판용 가변성형공정의 수치적 연구

허성찬¹ · 서영호¹ · 박중원¹ · 구태완¹ · 송우진² · 김 정³ · 강범수[#]

Numerical Study on Flexible Forming Process for Sheet Metal

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

Abstract

Flexible forming process for sheet metal using reconfigurable die is introduced based on numerical simulation. Numerical simulation of sheet metal forming process is carried out by using flexible dies model instead of conventional matched die set. Elastic cushion which has high resilience behavior from excessive deformation are inserted between forming punches and blank material for smoothing the forming surface which has discrete due to characteristics of the flexible die. As an elastic cushion, urethane pads are utilized using hyperelastic material model in the simulation. Formability in view of surface defect such as onset of dimple is compared with regard to various punch sizes. Consequently, it is confirmed that the flexible forming process for sheet material has appropriate capability and feasibility for manufacturing of smoothly curved surface instead of conventional die forming process.

Key Words : Flexible die (가변금형), Flexible forming process (가변성형공정), Elastic pad (탄성패드), Finite element analysis (유한요소해석)

1. 서론

가변성형기술(flexible forming technology)은 Fig. 1과 같이 부드러운 곡면을 갖는 성형편치(forming punch)를 다수 배열시키고 높이를 적절히 배치하여 단일 금형에 준하는 성형면(forming surface)을 구현함으로써 금형의 유연성을 극대화하는 성형기술이다 [1,2]. 이와 같은 유연성으로 인하여 조선 분야에서는 이를 응용한 선체 구조의 가공에 관한 연구가 일부 진행되고 있으며 건축용 구조물 등과 같이 후판의 곡면 가공이 필요한 분야에서 관련 연구가 이루어지고 있다 [3~5]. 상기의 연구 분야는 주문 기반의 다품종 소량 생산에 의존적이기 때문에 숙련된 전문가의 경험에 의존적인 경향이 짝으며 제품의 생산성과 재현성이 떨어진

다 [6,7]. 박판을 주로 이용하는 자동차 산업에서는 양산을 기반으로 하며 금형과 프레스를 이용한 성형 공정이 주를 이루고 있다. 하지만, 자동차의 개발에 있어서 차체 형상 설계 단계에서는 다수의 초기 원형(prototype) 가공을 위하여 시제작용 금형을 제작하고 이를 수정하는 과정을 반복하는 방식을 이용하고 있다. 이로 인하여 초기 금형 가공 비용과 형상 수정을 위한 금형 재가공 공정에 적지 않은 시간이 소요된다. 따라서 높은

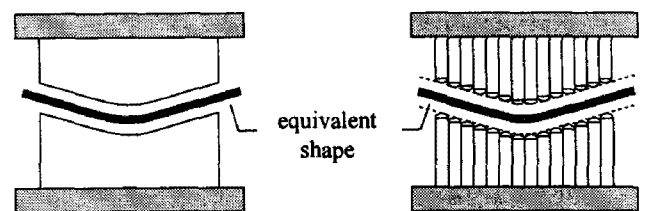


Fig. 1 Schematic diagram of flexible die equivalent to conventional matched die

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

유연성을 가지고 있는 가변금형을 이용한 자동차 외장재의 원형 제작 공정에 대한 적용 가능성을 고려해볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 후판의 곡면 가공 공정을 중심으로 개발되고 있는 가변성형 공정을 박판의 성형 공정에 적용하기 위한 수치적 연구를 수행하였다. 유한요소해석에서는 펀치로 구성된 불연속 성형면을 매끄러운 곡면으로 보정하기 위하여 탄성패드를 고려하였다. 유한요소해석을 기반으로 한 박판용 가변성형 공정에 대한 연구를 수행하였으며 펀치의 크기에 따른 성형성을 비교하였다.

2. 펀치 위치 산출 기법

가변성형공정에서 가장 중요한 성형인자는 목적곡면에 대한 펀치 높이이다. 본 연구에서는 임의의 목적곡면에 대하여 펀치의 높이를 산출할 수 있는 기법을 개발하였다. Fig. 2와 같이 펀치 끝 반경이 r 인 펀치 배열이 곡률 반경 R 인 성형면에 접촉하고 있는 경우를 고려하면 펀치의 곡률 중심점들은 성형면으로부터 오프셋 된 가상의 면 즉, 곡률 반경이 $R-r$ 인 곡면 상에 존재하게 된다. 이를 이용하여 오프셋 면을 이산화시키고 펀치의 중심점이 존재하는 패치(patch)를 추출하여 Fig. 3과 같이 해당 패치 상에 중심점이 존재하는 조건을 만족시키는 평면 방정식을 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$F(x-x_1)+G(y-y_1)+H(z-z_1)=0 \quad (1)$$

여기서, $F=(y_2-y_1)(z_4-z_1)-(y_4-y_1)(z_2-z_1)$,

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

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

이다. 그러면 여기에 펀치의 중심점에 해당하는 좌표, $P(x_p, y_p, z_p)$, 를 식 (1)에 대입하여 펀치의 중심이 패치 상에 존재하는 높이, z_p , 를 계산할 수 있다. 식 (1)로부터 성형 장치의 펀치 배열이 결정되어 있으므로 x_p 와 y_p 는 주어진 값이고 따라서 해당 펀치의 높이 z_p 만 남게 된다. 이를 정리하여 펀치 높이 산출식을 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$z_p = \frac{-F(x_p - x_1) - G(y_p - y_1) + Hz_1}{H} \quad (2)$$

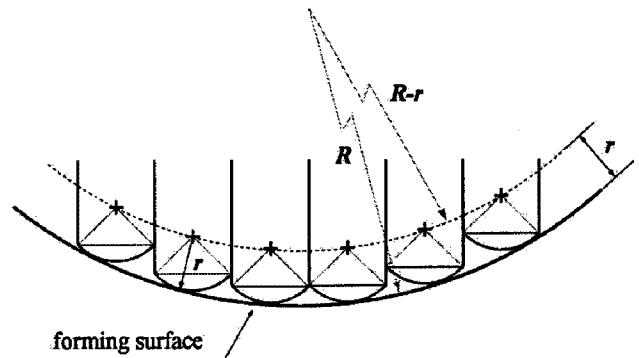


Fig. 2 Geometrical relationship between center of punches and offset surface

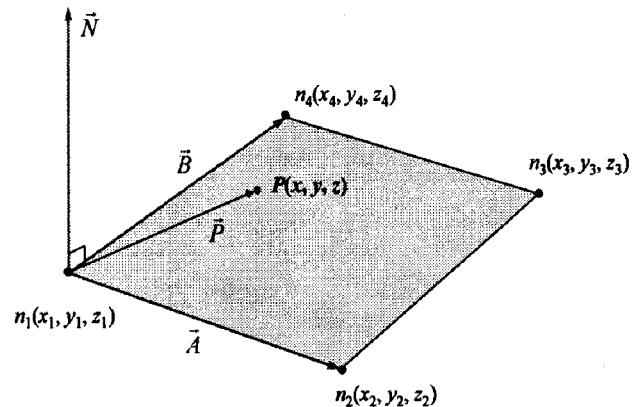


Fig. 3 Calculation of punch height using discretized patch element of virtual offset surface

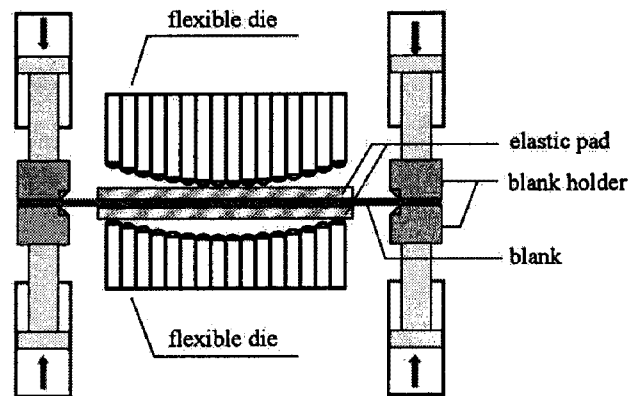


Fig. 4 Constitution of flexible forming process for sheet metal using blank holders

3. 박판용 가변성형공정 해석

3.1 성형공정 해석 모델의 구성

후판의 가변성형공정과는 달리 박판의 곡면 가공 공정에서는 주름이 쉽게 발생하므로 이를 방

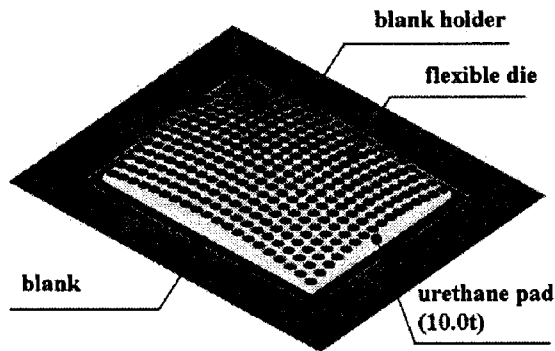


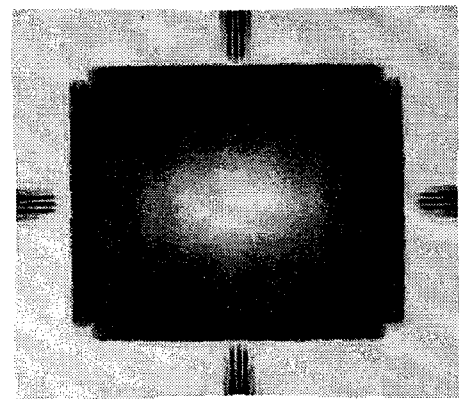
Fig. 5 Example of simulation model for flexible forming process – punch size : 20.0mm

Table 1 Determination of numerical simulation models according to various punch sizes

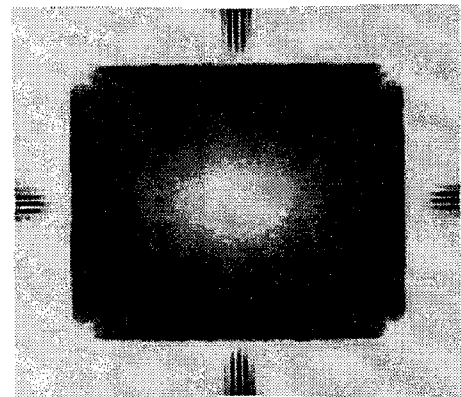
Variables	Punch tip radius (mm)	Array_column [M]	Array_row [N]	No. of punches [M×N]
Analysis Model	10	40	32	2,560
	20	20	16	640
	40	10	8	160

지하기 위하여 블랭크 홀더를 고려하여야 한다. 이에 본 연구에서는 Fig. 4와 같은 방식으로 판재를 고정시키는 박판용 가변성형공정을 제안하였다. 기존의 가변성형장치와 마찬가지로 상·하부의 가변금형과 불연속적인 가변금형의 성형면을 매끄럽게 보정하기 위하여 삽입한 탄성 패드 그리고 판재의 가장자리를 고정시키는 블랭크 홀더로 구성되어 있다. 해석 모델은 Fig. 5와 같이 판재, 탄성패드, 성형펀치, 블랭크 홀더로 구성되어 있다

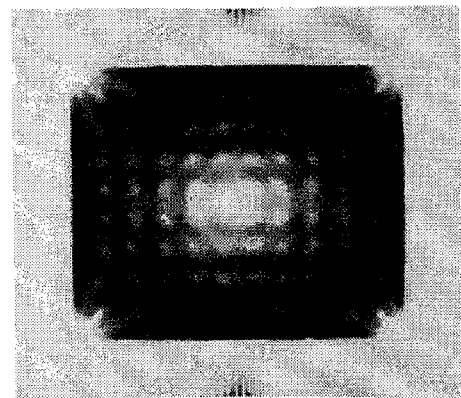
펀치 크기에 따른 영향을 비교하기 위하여 펀치 끝 반경 r 과 폭 w 가 각각 10.0mm, 20.0mm, 40.0mm인 구면 펀치를 각각 사용하였으며 펀치 크기별 해석 모델의 구성을 Table 1에 나타내었다. 목적형상의 곡률 반경은 길이(L) 방향으로 1,000 mm, 폭(W) 방향으로 600mm인 이중 곡률을 갖는 곡면이다. 판재는 DP590의 물성을 적용하였으며 강소성재료($\bar{\sigma} = K\bar{\epsilon}^n$)로 가정하였다. 여기서 소성강도 계수(K)와 가경경화지수(n)는 각각 999.9 MPa과 0.155이다. 탄성계수(E)와 프와송 비(ν)는 각각 210GPa와 0.29를 사용하였다. 두께가 1.0mm



(a) punch tip radius, $r10$



(b) punch tip radius, $r20$



(c) punch tip radius, $r40$

Fig. 6 Configuration of deformed blank for various punch sizes

인 판재는 블랭크 홀더를 적용하기 위하여 성형면적보다 넓은 크기로 셸 요소(shell element)로 모델링하였다. 우레탄 패드는 10.0mm의 두께로 솔리드 요소(solid element)를 이용한 초탄성체로 구

성하였으며 Shore A 90인 우레탄 물성을 적용하였다. 이외의 성형 장치는 강체로 가정하여 접촉면만 고려하였다.

3.2 성형공정 해석 결과

Fig. 6(a)~(c)에 각각의 펀치 크기에 대한 성형 후 판재의 형상을 도시하였다. 펀치 끝 반경이 10.0mm인 경우 Fig. 6(a)에 도시한 바와 같이 곡면이 매우 부드럽게 형성되어 판재에 압흔(dimple)이 발생하지 않으며 펀치 끝 반경이 20.0mm인 Fig. 6(b)의 경우에도 곡면이 잘 형성되는 것으로 예측되었다. 반면, 펀치 반경이 40.0mm인 Fig. 6(c)의 경우 펀치 간의 공극이 상대적으로 크기 때문에 이로 인하여 압흔이 판재의 전면에 발생함을 확인하였다. 성형성이 확인된 펀치 크기 20.0mm 이하인 두 가지 경우에 대하여 길이 및 폭 방향의 곡률 반경 R_L 과 R_W 를 조사하였다. 펀치 끝 반경이 10.0mm인 경우 R_L 과 R_W 이 각각 1002.9mm와 601.7mm로 목적 곡률에 대하여 매우 근소한 차이를 나타냈으며 펀치 끝 반경이 20.0mm인 경우는 1006.5mm, 602.8mm로 각각 측정되었다. 비록 오차가 다소 발생하였으나 박판용 가변성형공정이 적절히 설계된 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 가변성형기술을 박판용 가변성형 공정으로 응용하기 위한 유한요소해석 기반의 연구를 수행하였다. 펀치의 크기(펀치 끝 반경)에 따른 성형성을 비교하기 위하여 동일한 성형영역에 대하여 세 가지 펀치에 대한 비교 연구를 수행하였다. 펀치의 크기가 작을수록 성형면의 품질 향상에 유리하나 펀치의 제작비용 및 제어 메커니즘 구현 등을 고려할 때, 물론 곡면의 성형면적, 곡률분포 및 형상에 따라 적절한 펀치 크기를 채택해야 하겠지만 박판용 가변성형장치는 펀치 크기를 20.0mm 전후로 선정하고 우레탄 재질 및 두께를 적절히 사용함으로써 성형면을 매끄럽게 보정하는 방식을 이용하는 것이 적합한 접근이 될 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2008 년도 과학기술부의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. R0A-2008-000-20017-0). 또한, 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(No. R15-2006-022-02002-0)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] K.A. Pasch, 1981, Design of a discrete die surface for sheet metal forming, S.B. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- [2] M. Z. Li, Y. H. Liu, S. Z. Su and G. Q. Li, 1999, Multi-point forming: a flexible manufacturing method for a 3-d surface sheet, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 87, Issues 1-3, pp. 277~280.
- [3] M. Z. Li, Z. Y. Cai, Z. Sui and Q. G. Yan, 2002, Multi-point forming technology for sheet metal, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 129, pp. 333~338.
- [4] Q. Zhang, T.A. Dean and Z.R. Wang, 2006, Numerical simulation of deformation in multi-point sandwich forming, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 46, pp. 699~707.
- [5] S.C. Heo, Y.H. Seo, J.W. Park, T.W. Ku, J. Kim and B.S. Kang, 2008, Numerical and Experimental Study on Plate Forming Process using Flexible Die, Transactions of Materials Processing, Vol. 17, No.8, pp. 570~578.
- [6] K. U. Odumodu and D. Shuvra, 1996, Forceless forming with laser. In: Advanced materials: development, characterization processing, and mechanical behavior, Proceedings of the 1996 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Atlanta, GA, USA., New York, pp. 169~170.
- [7] H. C. Kuo and L. J. Wu, 2002, Automation of heat bending in shipbuilding, Comput. Ind., Vol. 48, Issue 2, pp.127~142.