

박판소재 곡면성형을 위한 가변성형공정 해석

서영호¹·허성찬¹·구태완²·김정²·강범수[#]

Flexible Forming Process Analysis for Sheet Material Curved Surface Forming

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

Abstract

Flexible die is more efficacious than fixed die which is generally used in stretch forming process in view of production cost. Accordingly, in order to verify the validity of the flexible forming process, curved thin skin structure forming analyses using the fixed and flexible die were performed. As results, merit and demerit with regard to the fixed and flexible die were confirmed. The result of the stretch forming process analysis using the flexible die was better than that using the fixed die in view of the elastic recovery. However wrinkles were occurred on the sheet material due to die cavities between the punches in the flexible forming process, thus the solutions against these problems were presented.

Key Words : Flexible Forming(가변성형), Multi-point Stretch Forming(다점 스트레치 성형), Sheet Metal Stretch Forming(박판 스트레치 성형)

1. 서론

스트레치 성형공정은 항공산업에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 박판소재 성형기술이며, Fig. 1(a)에서와 같이 고정형 금형(fixed die)을 사용하여 항공기 부품 및 skin structure를 생산한다. 또한, 최종적으로 생산되는 완제품의 수량은 수십 및 수백 대에 불과한데 비하여 부품의 수는 2~30만개에 달하기 때문에[1] 다품종 소량생산이 이루어 질 수 밖에 없는 실정이다. 하지만 고정형 금형은 기본적으로 소품종 대량생산 체제에 적합하며 항공기 부품산업에서는 다양한 곡면형상과 곡률 분포를 가지는 곡판을 생산하기 위해서 단품에 대한 스트레치 금형을 일일이 제작하고 있기 때문에 생산단가를 높이는 원인이 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 가변 금형(flexible die)을 이용한 스트레치 성형공정을 본 연구에서 제시하고자 한다.

가변 금형은 다점성형(multi point forming)의 원리[2,3]를 응용하여 Fig. 1(b)에 나타난 것처럼 기존의 고정형 금형을 다수의 펀치(punch)로 대체하여 등가의 곡면을 생성할 수 있다. 이는 하나의 펀치 모듈로써 다양한 곡면을 생성하므로 다품종 소량생산을 기반으로 하는 박판을 이용한 항공기 부품 및 skin structure 가공 시 각기 다른 곡률을 가지는 부위에 대한 금형의 제작에 따른 비용을 절감할 수 있다. 하지만 불연속적인 펀치모듈이 생성한 곡면이 제품의 성형 품질에 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 가변성형 공정의 적합성을 검증하기 위하여 고정형 및 가변 금형을 이용한 단일 곡률을 가지는 박판소재 곡면성형 해석을 수행하였으며, 해석 결과를 비교함으로써 가변 금형이 성형 품질에 미치는 영향을 파악하고 이에 대한 대안을 제시하였다.

1. 부산대학교 항공우주공학과 대학원

2. 부산대학교 항공우주공학과

교신저자: 부산대학교 항공우주공학과, E-mail:bskang@pusan.ac.kr

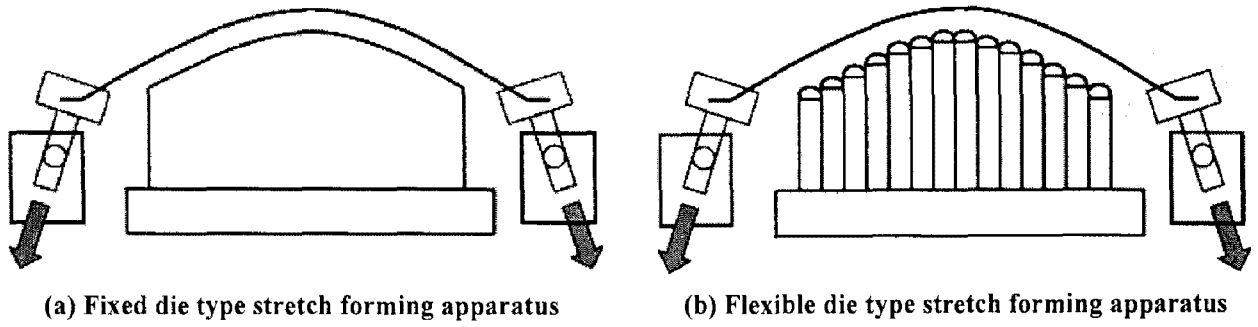


Fig. 1 Stretch forming apparatus

2. 해석모델 및 방법

단일 곡률을 가지는 박판소재의 성형해석에 사용된 해석 모델을 Fig. 2(a)에 나타내었다. 초기 블랭크 사이즈는 400mm×200mm, 두께는 0.5mm이며 200mm×200mm, 70mm×200mm의 성형구간 및 자유성형 구간이 존재한다. 양 끝단의 클램프 사이즈는 30mm×200mm이다. 또한 그림에서와 같이 해석 모델은 대칭을 이루고 있으므로 해석의 편의성을 위하여 1/4모델을 사용하였다. 성형방법은 Fig. 2(b)와 같이 블랭크의 양 끝단에 인장력을 부여함과 동시에 하단의 금형을 z-방향으로 스트로크를 주었다.

본 논문에서 주요 성형인자는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 판재의 곡률반경(R)과 편치반경(r)이다. 곡률반경은 300mm, 고정형 금형과 가변형 금형 (편치반경 : 10 & 20mm)에 대해서 각각 해석을 수행하였다. 가변 성형공정에서는 편치모듈이 목적곡면과 등가인 곡면을 생성해야 하므로 편치의 수직거리의 결정이 중요하다. 따라서 일련의 계산과정을 통하여 수직거리를 계산하고 산출된 데이터를 APDL(ANSYS parametric design language)를 이용하여 성형해석 프로그램에 입력하였다. 박판소재는 AA 2024-O이며, 소재의 물성 모델로는 가공경화식 $\sigma = K\epsilon^n$ (소성강도계수 $K = 320.9MPa$, 가공경화지수 $n = 0.21$)을 이용하였다. 편치와 소재간의 마찰계수는 0.01로 가정하였으며 해석은 ANSYS LS-DYNA를 사용하였다. Fig. 4에 고정형 금형, 편치 반경 20mm 및 10mm인 유한요소 모델을 나타내었다.

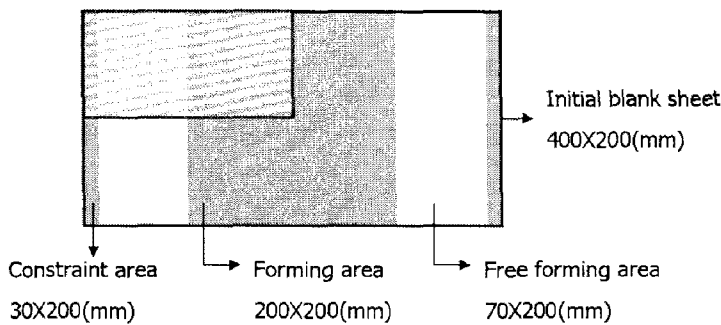


Fig. 2(a) Analysis model

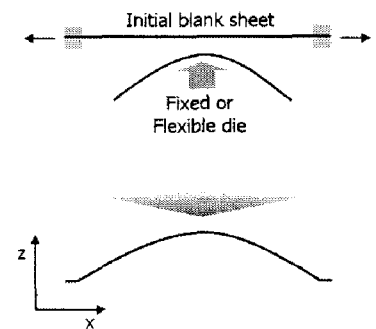


Fig. 2(b) Analysis method

Fig. 2 Analysis model and method

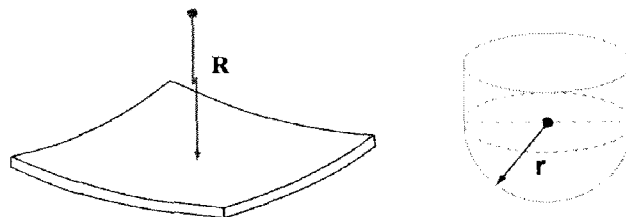
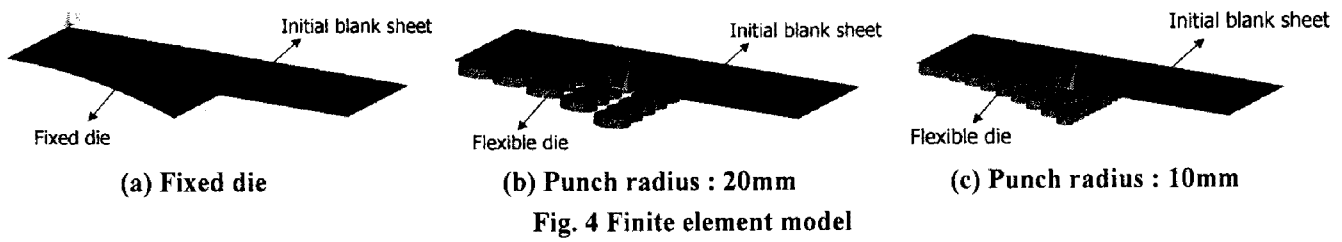


Fig. 3 Forming variable



3. 해석결과

결과의 비교분석을 위하여 3가지 경우에 대해서 스트로크를 모두 동일하게 부여하였으며, Fig. 5에 고정형 금형, 펀치반경 20mm, 10mm의 해석결과를 각각 나타내었다. Stress 와 strain의 분포는 유사한 경향을 나타냄을 확인할 수 있지만 가변 금형을 사용한 해석 결과에서는 펀치 사이의 공간에 의한 주름(wrinkle)이 발생하였다. 따라서 성형품질을 확인하기 위하여 탄성회복 해석을 추가적으로 수행하고 대칭축인 O-A를 기준으로 곡면성형 정도를 확인하였다. 그 결과 Fig. 6와 같이 고정형 금형을 사용했을 때 탄성회복이 크게 발생하여 목적곡면과는 상당한 차이를 보임을 확인할 수 있다. 반면 가변금형 사용시에는 탄성회복이 상대적으로 적게 발생하였고, 펀치반경을 줄이면 목적곡면에 더욱 근접하는 것을 볼 수 있다. 또한 펀치 사이의 공간에 의해서 또 다른 대칭축 방향의 성형결함이 예측되었으므로 O-B 및 C-D방향에 대해서 성형결함을 확인해 보았으며 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 앞서 예측한 바와 같이 펀치 사이의 공간에 의해서 성형결함이 발생함을 확인할 수 있으며, 그 정도는 펀치반경에 비례한다.

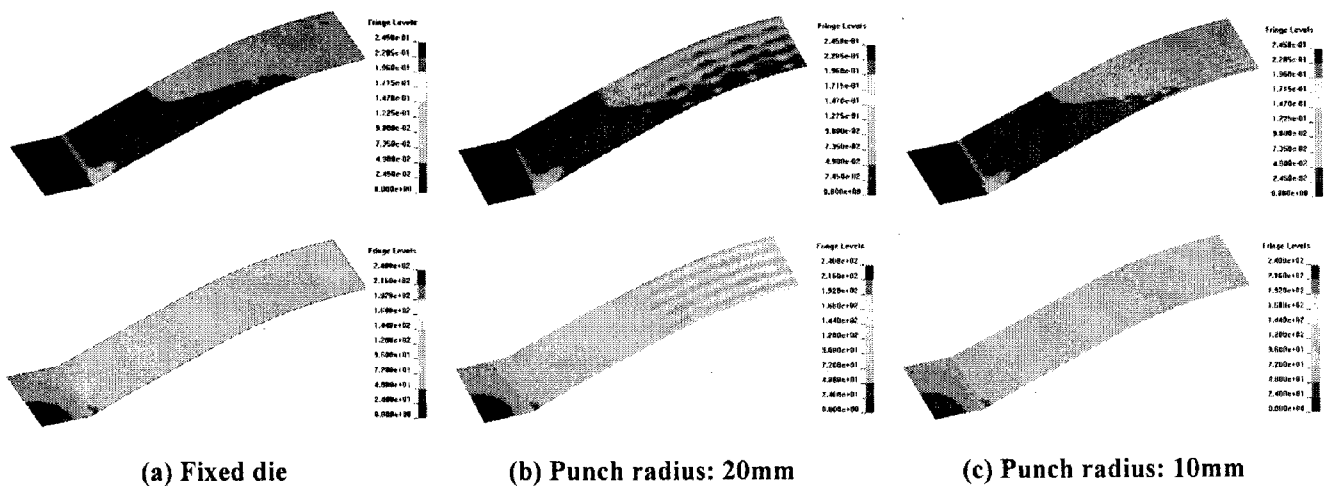


Fig. 5 The distribution of strain and stress

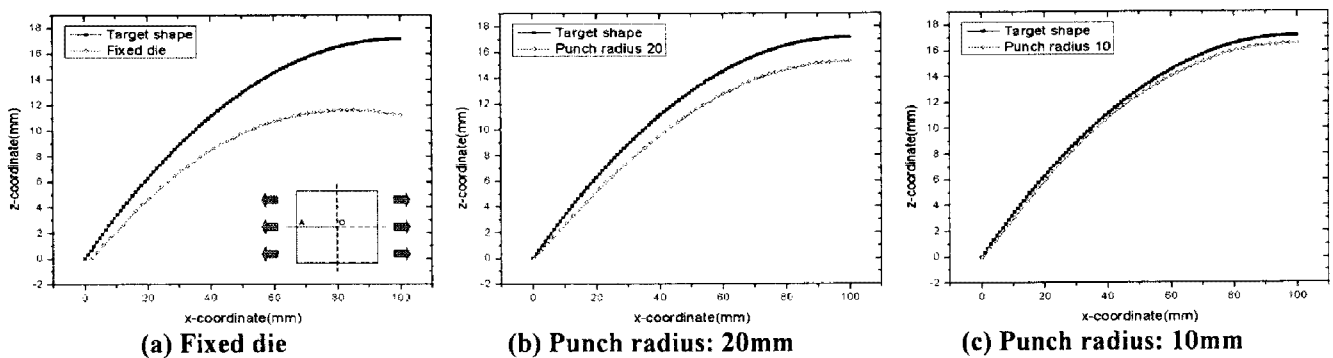
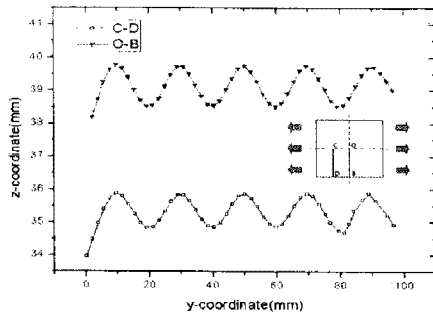
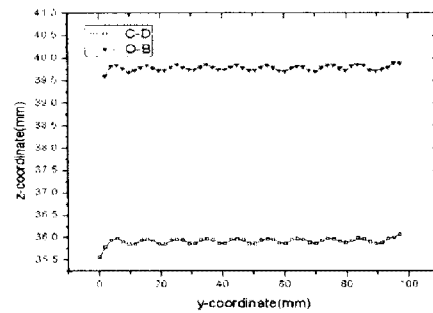


Fig. 6 Cross profiles (O-A)



(a) Punch radius : 20mm



(b) Punch radius : 10mm

Fig. 7 Cross profiles (O-B & C-D)

4. 결론

본 논문에서는 항공산업 등 많은 산업분야에서 사용되고 있는 스트레치 성형공정에서 기존의 고정형 금형을 다수의 펀치로 구성된 가변 금형으로 대체하기 위한 연구를 소개하였다. 또한 수치적 방법을 통하여 고정형 금형과 가변 금형을 사용하였을 때의 스트레치 성형공정의 장단점을 비교해 보았다. 해석 결과를 종합해 보면 탄성회복 측면에서는 고정형 금형보다는 가변형 금형에 대한 결과가 더 우수하게 나타났다. 하지만 가변 금형을 스트레치 성형공정에 적용하면 펀치 사이의 공간에 의해서 고정형 금형을 사용한 성형공정에서는 문제되지 않는 주름이 발생함을 확인하였다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 2가지 방안을 고려해 볼 수 있다. 첫 번째 방법은 펀치반경을 작게 하여 펀치 사이의 공간을 최대한 줄이는 것이다. 3장의 결과에서 확인할 수 있듯이 작은 펀치반경을 사용함으로써 탄성회복과 주름의 발생 측면에서 모두 좋은 결과를 얻을 수 있다. 하지만 펀치의 수가 증가하면 펀치 제작 비용이 증가하는 단점이 있다. 두 번째 방법으로 탄성패드[4]를 사용하는 것이다. 펀치모듈 위에 탄성패드를 위치시킴으로써 펀치 사이의 공간을 메우는 효과를 주어 주름의 발생을 억제할 수 있다. 하지만 펀치에 의한 탄성회복 측면에서의 장점을 살릴 수 없으며, 성형공정에서 탄성패드의 두께를 고려하여 펀치 모듈의 등가 곡면을 생성해야 하는 단점이 있다.

스트레치 성형공정에 가변 금형을 적용하기 위해서는 앞서 언급한 문제점을 해결해야 할 것으로 판단되며, 이에 대한 지속적인 연구가 진행되고 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(R15 -2006-022-02002-0) 및 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R0A-2008-000-20017-0).

참 고 문 헌

- [1] 황진영, 최수미, 정성훈, 2003, 우리나라 항공기 부품산업의 현황과 발전전략, 기술혁신학회지, 특집호, pp. 551~568.
- [2] 허성찬, 서영호, 구태완, 송우진, 김정, 강범수, 2008, 수치 및 실험적 접근을 통한 다점무금형성형기술 연구, 한국소성가공학회 2008년도 춘계학술대회 논문집 pp. 220~223.
- [3] Z. Y. Cai, M. Z. Li, 2005, Finite element simulation of multi-point sheet forming process based on implicit scheme, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 161, pp. 449~455.
- [4] Q. Zhanga, T. A. Deanb, Z. R. Wang, 2006, Numerical simulation of deformation in multi-point sandwich forming, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, pp. 699~707.