

CAE를 이용한 파인블랭킹 성형 해석 Analysis of Fineblanking Forming using CAE

이관영 · 남기우

K. Y. Lee and K. W. Nam

(접수일 : 2011년 04월 16일, 수정일 : 2011년 05월 06일, 채택확정 : 2011년 05월 21일)

Key Words : CAE(Computer Aided Engineering)(컴퓨터 이용 공학), Fineblanking(파인블랭킹), Recliner(리클라이너), Mold(금형), Forming(성형)

Abstract : Computer-aided engineering (CAE) is the broad usage of computer software to aid in engineering tasks. It includes computer-aided design (CAD), computer-aided analysis (CAA), computer-integrated manufacturing (CIM), computer-aided manufacturing (CAM), material requirements planning (MRP), and computer-aided planning (CAP). In this study, the stress of mold analyzed using CAE technique. Punch loads were same difference between 0.5 % and 1.0 % of clearance, but punch load was decreased according to increasing of clearance. Punch load of pre-piercing process worked a little smaller than piercing process. Therefore, the hole of fine blanking process is also more efficient to manufacture the true size after pre-piercing.

1. 서 론

자동차의 디자인 단계부터 자동차 생산단계까지 대부분의 비용과 시간이 소요되는 금형의 설계 및 가공에 있어서 종래의 도면작업에 의한 과정이 CAD/CAM(computer aided design/computer aided manufacturing)체제로 바뀌어 제작 생산되고 있다. 이에 따라 많은 자동차회사 및 프레스 부품업체는 최근 CAD/CAM 기술을 도입하여 적용하고 있다. 제조공정에서 효율적 활용과 그 가치를 충분하게 발휘하기 위해서는 CAD 단계에서 설계 및 데이터베이스의 타당성에 대한 충분한 검토가 이루어져야 한다. 그러므로 파인 블랭킹공법에서도 CAE(computer aided engineering) 기술의 도입에 대한 필요성이 절실하게 요구된다¹⁾. 파인 블랭킹 금형을 이용한 판재 가공법²⁾은 기하학적으로 복잡한 형상의 제품을 가공할 수 있으며 타 가공법³⁻⁵⁾과 비교하여 재료의 손실이 적고 연속 고속생산이 가능하기 때문에 자동차, 가전 및 항공 산업 등에 널리 이용되고 있다⁶⁻⁷⁾.

요소해석을 응용한 CAE기술을 금형의 설계단계 또는 프레스공정에 적용하면 소재특성, 금형형상 및

가공조건 등의 독립적 변화에 대한 영향과각과 가공 결함 발생유무를 사전에 평가할 수 있다. 또한 이들을 방지할 수 있는 최적 재료의 선정 및 금형과 가공 조건의 최적 설정이 가능해져 금형 시험 기간의 단축과 비용절감 효과에 의한 제품의 경쟁력 확보가 가능하다.

따라서 본 연구에서는 CAE기술을 활용하여 파인 블랭킹에 의한 리클라이너의 섹터 기어 성형 시 발생하는 금형의 응력을 해석하였다.

2. 섹터 기어의 응력 해석

금형의 부하는 금형수명과 밀접한 관계가 있다. 금형수명을 증가시키기 위한 방안으로서 소재측면에서는 냉간 압조-성(cold head-ability)이 우수한 소재의 개발이 필요하고⁸⁾, 성형공정 측면에서는 가공량이 비교적 작은 부품의 적용 및 각 가공 스텝별 가공량의 적정 배분이 중요하다. 그리고 금형 측면에서는 성형 구 및 금형의 개선 등이 영향을 미친다. 본 해석에서는 주로 금형의 측면에서 금형 부하 저감과 수명 증대방안을 고찰하기 위하여 전단공정에서의 주인자인 클리어런스의 변화에 따른 차이가 성형하중 및 금형 응력에 미치는 영향을 살펴보았다. Fig. 1과 같이 섹터 기어의 가이드 플레이트, 다이 플레이트, 펀치, 이

남기우(교신저자) : 부경대학교 신소재공학부
E-mail : namkw@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6358
이관영 : 부경대학교 대학원 학연협동기계공학과

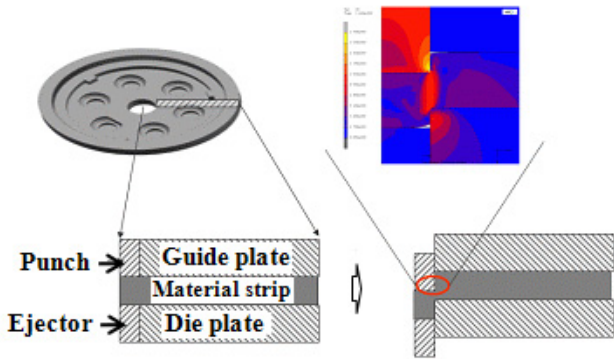


Fig. 1 Model definition of piercing process analysis for sector gear

섹터, 소재 스트립(material strip)을 모델링하였다. 피어싱 공정에서 홀의 크기는 $\phi 10.2$ mm이며, 소재의 두께는 6.0 mm 이다. 공정해석 인자로는 클리어런스를 소재두께 대비 0.5 %에서 10 %까지 4단계로 변화시키면서 해석조건을 부여하였다. 스트로크는 계산 시간을 고려하여 펀치하중이 충분히 감소되는 범위인 80 %까지만 계산하였다. 설계인자로서 펀치 코너 반경은 0.1 mm로 고정하여 모델링하였고, 섹터 기어 소재의 두께는 4, 5, 6 mm 3가지 경우에 대한 금형 응력을 평가하였다. 수치해석은 상용프로그램인 MSC. MARC이고, 5, 6면체 솔리드 요소를 사용하였다. 제품의 형상이 대칭이므로 축대칭 2차원 모델로 간소화 하였다. Table 1은 대표적으로 섹터 기어 소재 5 mm의 경우, 피어싱 공정의 해석 조건을 나타낸다. Table 2는 틈새를 0.025 mm로 고정하여 두께에 따른 피어싱 공정의 해석 조건을 나타낸다.

Table 1 Analysis conditions of piercing process for sector gear with thickness 5 mm

No.	Thickness percentage [% t]	Clearance [mm]	Stroke [%]	Punch corner radius [mm]	Guide Plate
#1	0.5	0.025	80	0.1	Fix.
#2	1.0	0.05	80	0.1	Fix.
#3	5.0	0.25	80	0.1	Fix.
#4	10	0.5	80	0.1	Fix.

Table 2 Analysis conditions of piercing process of sector gear for clearance 0.25 mm

No.	Thickness [mm]	Clearance [mm]	Stroke [%]	Punch corner radius [mm]	Guide Plate
#1	4.0	0.025	80	0.1	Fix.
#2	5.0	0.025	80	0.1	Fix.
#3	6.0	0.025	80	0.1	Fix.

3. 결과 및 고찰

3.1 피어싱 공정 해석

Fig. 2는 섹터 기어의 피어싱 공정 해석결과를 나타내고 있다. Fig. 2(a)는 스트로크 80 % 진행이 완료되었을 때 최종 변형형상과 유효소성변형을 분포를, Fig. 2(b)는 소성변형에너지가 열로 전환되었을 때 소재의 온도 분포를 나타내고 있다. Fig. 2(a)에서 펀치 코너와 다이 코너를 연결하는 가상선에 변형률이 국부적으로 발생하는 띠가 발행하는 것을 볼 수 있다. 비 탄성 대변형에서는 전단으로 인하여 해당 부위에 소재의 재질과 구별되는 띠가 종종 관찰된다. 이러한 띠를 흔히 전단 밴드라고 한다. 실제로 밴드 내의 보이드 성장으로 인한 재질의 파괴가 일어날을 관찰할 수가 있다. 즉, 파단면은 전단 밴드를 따라서 형성하고 발달하는 것이다.

본 해석의 주요 초점은 전단면의 품질이 아니라 금형이 받는 응력이므로 파괴를 고려하지 않았다. 초기에 금형이 소재에 침투하면서 펀치 하중이 급격히 증가하다가 스트로크가 진행되면서 하중이 감소하고 파괴가 일어나면서 급속히 감소한다. 따라서 금형의 응력을 평가하는 데에는 파괴를 고려한 해석이 큰 영향을 미치지 못하다고 판단되며, 해석시간을 줄이기 위하여 파괴를 고려하지 않았다. Fig. 2(b)를 살펴보면, 전단밴드와 유사하게 국부적인 온도발생을 볼 수 있다. 일반적으로 급속 재료의 소성 변형 시에 발생하는 대부분의 에너지는 열로 변환되며, 이러한 가공열에 의한 자연적인 온도의 증가는 재료를 연하게 하고, 이미 변형률이 높은 영역에서 변형률 속도와 온도의 국부적인 상승을 초래한다. 국부적인 온도 증가와 변형률 증가의 상호 작용은 그 부위에서의 국부적인 변형을 더욱 촉진시키고 궁극적으로 일찍 파단이 일어나게 된다.

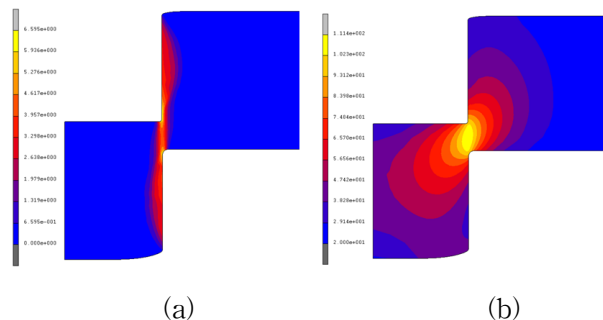


Fig. 2 Analysis result with 0.5 % clearance (a) Equivalent plastic strain (b) Temperature distribution [°C]

3.2 클리어런스에 따른 펀치 하중 및 응력 평가

일반적으로 금형의 응력을 해석하는 방법에 있어서 첫 번째 방법은 소재의 변형해석과 금형 응력해석을 분리해서 수행하는 것이다. 소재의 변형 해석 과정에서는 금형을 강체로 가정하여 해석한 후, 금형의 응력 해석을 위하여 추가적으로 금형을 탄성체로 가정하여 모델링 한 후 금형에 가해지는 내압을 부가하여 금형의 응력을 해석하는 방법이다. 두 번째는 소재의 변형 해석과 금형의 응력 해석과정을 별도로 수행하지 않고 소재의 변형해석과 금형 응력해석을 동시에 할 수 있도록 금형을 탄성체로 가정하여 해석하는 방법이다. 탄성체 금형 모델을 이용하면 성형 공정의 각 단계에서 금형 응력을 별도의 응력 해석 과정 없이 예측할 수 있으며, 금형의 탄성 변형이 각 단계에서 소재의 변형 해석에 영향을 미치게 되므로 보다 실제적인 결과를 산출할 수 있는 장점이 있다. 반면에 방대한 접촉문제의 증가와 금형의 이산화된 형상 때문에 응력이 과대하게 집중되는 문제가 발생하고 이를 해결하기 위해서는 고도의 해석기술이 필요하게 된다. 본 해석에서는 후자의 방법으로 해석을 수행하였다. 해석시간을 줄이기 위해서 가이드 플레이트, 다이 플레이트, 이젝터는 강체로 가정하였고, 펀치만을 탄성체 금형 모델로 고려하였다. 해석 결과를 Fig. 3에 나타낸다. Fig. 3과 같이 펀치의 코너 부에 응력이 집중되는 것을 볼 수 있다. 소재두께 대비 클리어런스가 0.5 % 일 때 펀치의 최고 응력은 약 2,500 MPa로 예측되었다.

클리어런스별 펀치 하중은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 소재두께 대비 클리어런스 0.5 %와 1.0 %의 펀치하중이 크게 차이가 없음을 알 수 있다. 또한 소재 두께 대비 클리어런스가 커질수록 펀치하중은 감소하지만, 펀치의 스트로크가 증가(13, 15, 18, 24 %)하는 것을 알 수 있다. 이는 클리어런스가 작을 경우, 벤딩모멘트의 증가로 소재를 전단하는데 필요한 힘이 적게 필요하다는 것을 알 수 있다. 따라서 금형의 수명도 증가될 수 있다. 하지만 클리어런스가 커질수록 전단면의 품질이 저하됨으로 적절한 클리어런스를 선정해야 한다.

Fig. 5는 소재두께 대비 클리어런스에 따른 펀치 응력을 나타낸다. 클리어런스가 커질수록 펀치에 발생하는 응력이 저하하는 것을 알 수 있다. 또한, 소재 두께 대비 클리어런스가 0.5 %와 1.0 %일 때 펀치하중이 차이가 없었지만 펀치의 집중응력은 거의 2배 이상으로 증가하는 것으로 예측되었다. 따라서 클리

어런스가 소재 두께 대비 1.0 %이하부터 미세한 클리어런스 변화에 펀치수명이 큰 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

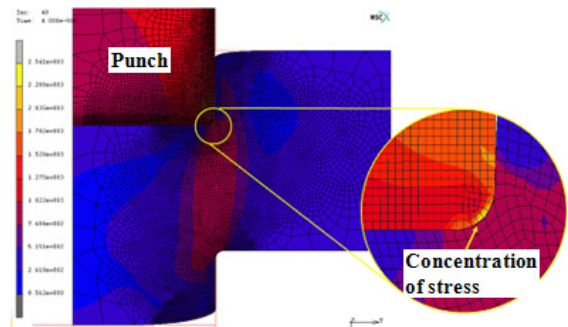


Fig. 3 Molding stress distribution between punch and material with 0.5 % clearance

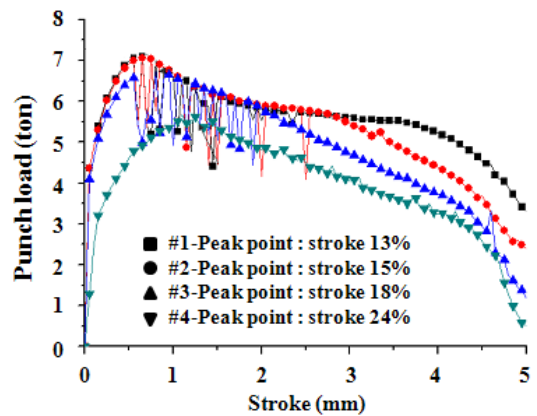


Fig. 4 Hysteresis diagram of punch load according to clearance size

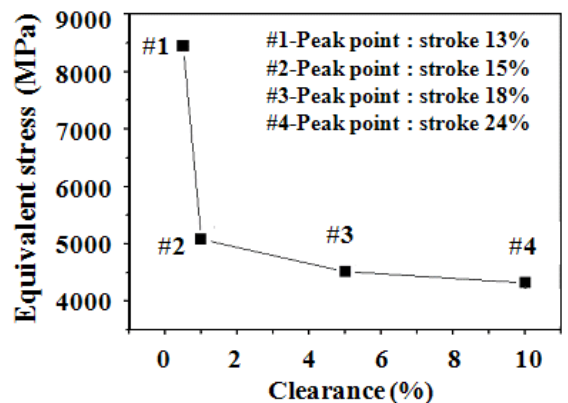


Fig. 5 Maximum stress of punch according to clearance size

3.3 소재 두께에 따른 펀치 하중 및 응력 평가

소재의 두께변화가 펀치하중 및 응력에 미치는 영향을 분석하기 위하여 소재 두께 4.0, 5.0, 6.0 mm를

모델링하여 피어싱 공정해석을 수행하였다. 클리어런스는 소재 두께대비 0.5 %인 0.025 mm로 고정하였고, 앞에서의 해석과 마찬가지로 스트로크는 80 %, 가이드 플레이트는 고정을 하여 해석조건을 부여하였다.

해석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이 결과에서 소재의 두께가 두꺼울수록 펀치하중이 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한, 그 증가 폭이 균일하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 전단력을 산출하는 공식에서도 알 수 있듯이 전단력은 전단 길이와 두께에 정비례하기 때문이다.

Fig. 7은 소재 두께에 따른 펀치 응력을 나타낸다. 이 그림에서 소재 두께에 따른 펀치의 응력은 펀치하중같이 선형적인 결과를 보이지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 물론 해석의 정밀도에도 영향을 받겠지만, 클리어런스보다 두께에 대한 응답이 덜 민감하다는 것을 보여준다.

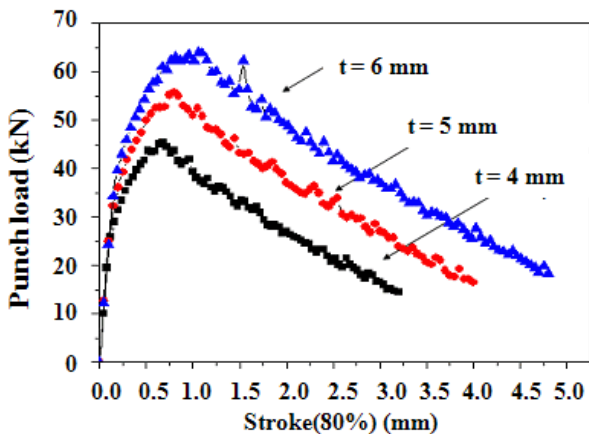


Fig. 6 Load hysteresis diagram of punch according to material thickness

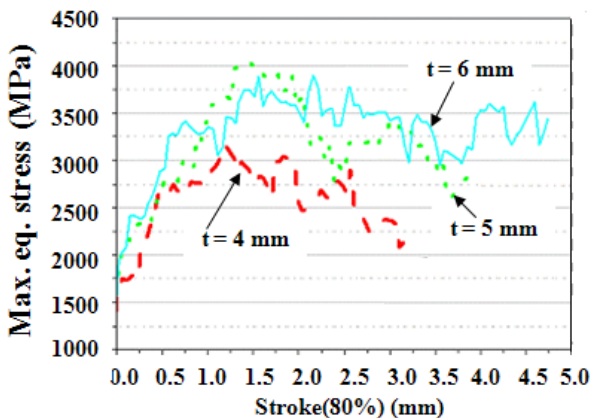


Fig. 7 Maximum stress of punch according to material thickness

3.4 프리 피어싱과 홀 피어싱의 펀치 하중 비교

피어싱 공정은 양호한 전단면을 얻기 위해서 작은 클리어런스를 사용한다. 그렇기 때문에 펀치에 큰 힘이 가해진다. 이것은 펀치의 직경이 작을수록 펀치의 수명이 줄어든다. 본 해석은 피어싱 공정 시 펀치하중을 줄이기 위한 방법으로 프리 피어싱(Pre piercing) 공정을 적용하였을 때, 그 효과를 평가하기 위하여 수행되었다. 따라서 최종적으로 지름 10.2 mm를 피어싱하기 위하여, 한 번에 피어싱 공정을 수행하였을 때와 지름 7 mm의 홀을 미리 기계가공 또는 피어싱하고 이어서 지름 10.2 mm의 홀을 피어싱하는 2가지 경우를 해석하였다.

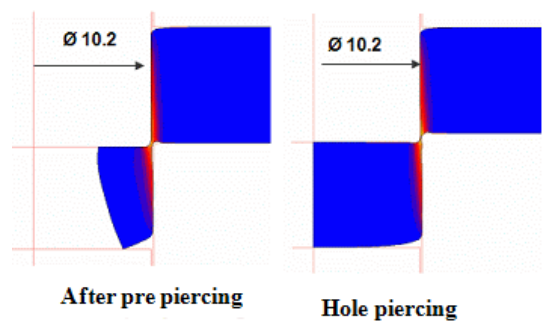


Fig. 8 Analysis result of pre piercing process and hole piercing process

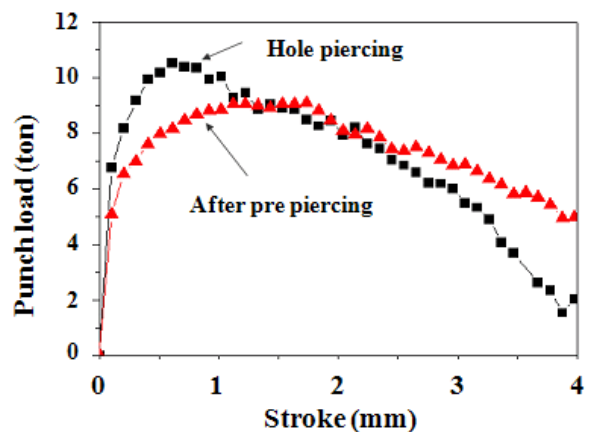


Fig. 9 Punch load comparison between pre piercing process and hole piercing process

Fig. 8은 프리 피어싱 공정과 홀 피어싱 공정을 시뮬레이션한 결과를 보여주고 있다. 이 그림에서 응력은 국부적으로 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 9에서 보여주듯이 홀 피어싱 공정보다 프리 피어싱 공정의 펀치하중이 더 적게 작용하는 것을 알 수 있다. 따라서 파인 블랭킹 공정에서는 직경보다 더 작게 가공하기 위한 방법으로 기존에 기계 가공 등의

방법으로 미리 홀 가공하고 이를 다시 정치수의 홀로 피어싱 가공하는 방법이 효율적이라 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 CAE기술을 활용하여 파인블랭킹에 의한 리클라이너의 섹터 기어 성형 시 발생하는 금형의 응력을 해석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 클리어런스 0.5 %와 1.0 %의 펀치하중이 크게 차이가 없었으나, 클리어런스가 커질수록 펀치하중이 감소하였다.

(2) 소재의 두께가 두꺼울수록 펀치 하중은 선형적으로 증가하였으나, 펀치 응력은 선형적으로 나타나지 않았다. 이것은 클리어런스보다 두께에 대한 응답이 덜 민감하다는 것을 나타낸다.

(3) 프리 피어싱 공정이 피어싱 공정보다 펀치하중이 더 적게 작용하였다. 따라서 파인 블랭킹 공정에서는 미리 홀 가공하고 정치수의 홀로 피어싱 가공하는 방법이 효율적이라 판단된다.

참고 문헌

1. Jeong, T. G., Lim, J. K., Kim, H. J., 2004, "Static Strength Analysis and Safety Evaluation for Developing a Round Recliner", Journal of Industrial Technology, Kangwon Nat'l Univ., Vol. 24 A.
2. Ryu, B. Y., 1990, "Molding of Fine Blanking" Sungandang, pp. 5-20.
3. The Committee on Fine Blanking, 2010, "Fine Blanking Handbook", pp. 53-61.
4. Kim, J. H., Ruy, J. G., Choi, C. S. and Chung W. J., 1996, "Development of Fine Blanking Die with Fluid Chamber and its Application to Production of Circular Blanking in a Hydraulic Press", KSPE, Vol. 13, No. 5, pp. 157-163.
5. Kim, M. C., 1987, "Development of Fine-Blanking Technology", Research Report of KIMM.
6. Kim, J. D., 1997, "Development of Manufacturing Process Technique of Micro Module Gear using Fine Blanking Process" Research Report of Korea Institute of Industrial Technology.
7. Han, K. T., 1999, "A Study on the Forming of Parts for Automobile using Fine Blanking Process", J. Manufacturing Engineering & Technology, Vol. 8, pp. 56-61.
8. The Committee on Fine Blanking, 2010, "Fineblanking Handbook", pp. 104-108.