

간이 파인 블랭킹 금형의 개발을 통한 범용 유압 프레스에서의 원형 정밀전단 가공성 연구

김종호*, 류제구*, 최치수**, 정완진***

Development of Fine Blanking Die with Fluid Chamber and its Application to Production of Circular Blanks in a Hydraulic Press

Jong-Ho Kim*, Je-Goo Ryu*, Chi-Soo Choi**, Wan-Jin Chung***

ABSTRACT

This paper is concerned on the development of low-cost fine blanking die with two fluid chambers of which the pressure can be controlled by a hydraulic unit and its application to producing circular blanks in a conventional hydraulic press, not in a special triple-action press usually adopted in fine blanking operation. Four important working parameters affecting on the precision accuracy of products such as existence and position of Vee-ring, stripping force and counter punching force are primarily considered for experiments. Finite element analysis by using ABAQUS software is approximately made for blanking of circular specimen with a flat stripper plate and then compared with experimental measurements. The theoretical prediction of camber height which represents deflection of a dish-shaped specimen after blanking seems to give a qualitatively good agreement. It is shown through experiments that the camber height decreases with decreasing stripping force and also with increasing counter punching force, but particularly depending on the latter much more than the former.

Key Words : Fine Blanking Die(파인 블랭킹 금형), Triple-action Press(삼동 프레스), Vee-ring(V-돌기), Stripper Plate (스트리퍼판), Counter Punching Force(카운터 펀칭력), Suppress Die(서브프레스 다이), Camber(캠버)

1. 서론

자동차 공업과 항공, 우주산업이 점차 발전되어감에 따라 조립부품으로 사용되는 일부 부품들의 치수와 형상정

밀도가 점점 중요하게 인식되고 있다. 파인 블랭킹(fine blanking ; F.B.)은 가소성 재료를 1회의 공정으로 판 두께 전체에 걸쳐 90% 이상의 유효전단면(roll-over and burnish)을 얻는 것으로 코이닝(coining), 카운터

* 서울산업대학교 금형설계학과
** 기아자동차 생기연구팀
*** 삼성종합기술원 슈퍼컴 응용실

싱킹(counter sinking), 세미 피어싱(semi-piercing) 등의 공정과 복합되어 복잡형상의 제품을 만들 수 있는 정밀 소성가공 기술이다.

파인 블랭킹은 펀치, 다이의 날끝 부위에 작용되는 정수압 응력에 의한 파단 억제 효과를 이용하여 피가공재의 냉간 소성변형능을 높이는 기술로서 Lange⁽¹⁾와 Maeda⁽²⁾ 등에 의해서 기초 이론이 연구 고찰되었다. Schiss⁽³⁾는 피가공재를 가공중 V형의 환상돌기로 고정하는 장치를 이용하여 판두께 전체를 평활 하게 전단하는 공법을 개발하였으며, Guanggi⁽⁴⁾ 등은 범용 프레스에 대한 파인 블랭킹 개발을 실현시키기 위해서 V-돌기력(Vee-ring force)과 카운터 펀칭력(counter punching force)을 제공하고 정확한 안내를 하기 위해 각각을 개별적으로 장착되도록 하여 25%의 대체효과를 가져왔으며, Kondo⁽⁵⁾ 등은 단불이 공구에 의한 간이 정밀전단법을 개발하여 광범위한 재질과 두꺼운 판재에 적용한 바 있다. 본 연구에서는 정밀전단가공을 위한 파인 블랭킹 금형의 개발을 위해 파인 블랭킹용 전용 프레스를 사용하지 않고 범용 유압 프레스에서 보조 유압장치에 의한 금형내의 유체압을 조절해가면서 가공 특성에 관한 이론 해석과 실험적 연구를 수행하여 그 유용성을 검증해 보고자 한다.

2. 이론 해석

박판의 블랭킹 공정은 매우 보편적인 공정임에도 불구하고 이론적인 해석은 지금까지 많이 발표되어 있지 않으며, 이러한 이유로는 블랭킹 작업의 과정이 펀치, 다이 틈새 내에서의 소재 굽힘, 전단 그리고 균열의 발생과 전파 등의 순서로 상당히 복잡한 변형과정을 겪고 있기 때문에 이를 정확히 해석하는 것은 꽤 어려운 상태이다. 따라서 최근까지의 블랭킹 공정 해석은 매우 제한되어 있으며 균열이 발생하기 직전까지의 해석에 대부분 국한되어 있다. Maeda⁽⁶⁾는 최초로 블랭킹 공정을 탄소성 유한요소법으로 해석하여 펀치하중-변위 곡선, 압력분포 등을 구하였으나 여기에서는 펀치가 3mm 정도로 아주 적은 양의 침입이 있는 전단만을 해석하는 것에 그쳤고, Popat⁽⁷⁾는 균열 발생의 판단 기준으로 최대 유효변형도가 파단변형도에 다다를 경우로 가정하여 탄소성 유한요소해석을 평면변형의 전단공정에 적용한 결과 정성적으로 일치함을 보여주었다. 최근 블랭킹 작업후의 변형상태를 예측하기 위한 해석기법이 Chung⁽⁸⁾에 의해 제안되어 해석한 결과, 블랭킹후의 변형상태, 펀치하중-변위 곡선, 압력분포 등에 있

어서 정성적으로 타당성 있는 것으로 나타나, 본 연구에서도 이 방법을 활용하여 정밀 블랭킹 공정을 해석하여 비교, 검토하고자 한다. 해석과정은 상용 비선형 구조해석 소프트웨어 ABAQUS/standard(version 5.3)⁽⁹⁾를 사용하여 준정적(quasi-static) 해석으로 수행하였으며 자세한 수식과 내용은 참고문헌⁽¹⁰⁾에 나와 있다. 해석에서는 소재를 탄소성 재료로 모델링하였고 소재의 압연방향에 따른 이방성은 고려하지 못하고 등방성 재료로 간주하였으며, 압연방향에 따른 인장시험을 통해 응력-변형도 데이터를 평균하여 사용하였다. 또한 해석을 위해 다음과 같은 가정을 도입하였다.

- 1) 금형은 강체로 간주하여 강체 요소로 모델링 한다.
- 2) 소재에 균열이 발생하면 내외측 소재가 즉시 분리된다.
- 3) 소재상의 국부 유효변형도가 일정치에 도달할 때 균열이 발생한다.⁽⁷⁾

소재의 유효변형도는 펀치의 전진에 따라 점차 증가하게 되는데 최대 유효변형도가 일정치에 이르면 펀치의 전진을 중단하고 금형 및 외측 소재를 제거하고, 내측 소재에 대해서 스프링백 해석을 수행하여 변형상태를 구한다. 해석 결과로부터 펀치 날끝의 압력분포, 캠버(camber)를 구하였고 캠버에 대해서는 일부 실험 결과와 비교, 검토하였다.

3. 실험

3.1 금형의 설계 및 제작

파인 블랭킹 작업은 일반 블랭킹 작업과는 달리 스트리퍼판(stripper plate)과 카운터 펀치에 부가되는 힘이 블랭킹력의 (30~50)%와 (10~20)%로 아주 높아 일반 압력대개체인 스프링, 우레탄 고무, 압축 공기 등으로는 불가능하고 유압만이 가능하기 때문에 보통은 파인 블랭킹용의 전용 프레스를 사용하게 되지만 이는 상당히 고가인 관계로 일반 작업장에서 사용하는 것이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 일반 유압 프레스에서 유압 유닛을 금형에 접속시켜 유체압을 직접 스트리퍼판과 카운터 펀치에 작용시켜 균일하면서 높은 압력을 전달할 수 있는 금형을 그림 1(a)와 같이 설계, 제작하였다. 유압 프레스(hydraulic press)의 정밀도(램과 볼스터의 평행도, 직각도)를 고려하여 램(ram)에 금형을 장착하지 않고 다이 세트(die set)의 가이드 포스트(guide post)에 코일 스프링을 사용하여 금형의 상·하행이 작동되도록 서브프레

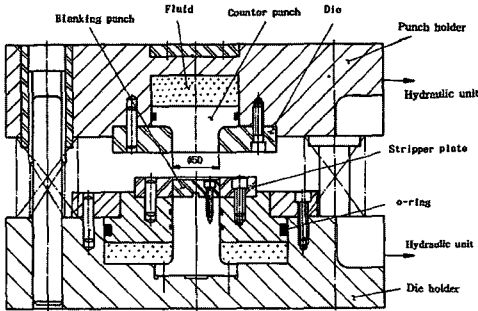


Fig. 1(a) Cross - sectional view of fine blanking die

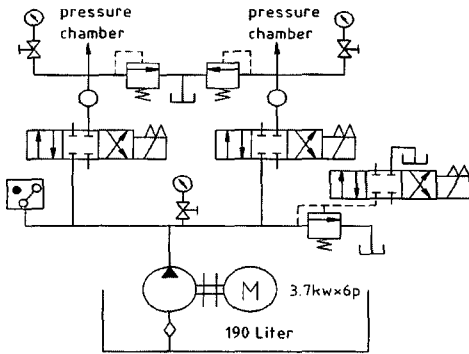


Fig. 1(b) Hydraulic circuit for fine blanking die

스 다이(subpress die) 구조로 제작하였다. 실험에 사용한 기계는 삼동 전용 프레스(triple action press)를 사용하지 않고 범용 유압 프레스에 별도의 유압 유닛만 부착시켜 실험하였다. 그림 1(b)는 본 실험에 사용한 유압 유닛의 회로를 나타내는 것으로, 스트리퍼력과 카운터 펀칭력은 유압회로의 압력센서(pressure transducer)에 의해 조절가능하도록 하였다. 파인 블랭킹에서는 블랭킹력 외에 스트리퍼력, 카운터 펀칭력이 작용하기 때문에 내충격성, 내마모성이 우수하고 담금질 효과가 크며 열처리 변형이 적은 파인 블랭킹용 금형 재료로서 제일 광범위하게 사용되고 있는 고속도강(SKH 51)을 펀치와 다이에 이용하였다. 스트리퍼판과 카운터 펀치에 직접 유압이 작용되기 때문에 유체의 밀봉을 위해 O-링을 사용하였으며, 스트리퍼판은 V-돌기의 꼭지점과 펀치 날끝까지의 거리 변화를 용이하게 하기 위하여 인서트 형식으로 설계하였다.

3.2 실험

프레스 램의 하강속도는 10.2mm/sec로 일정하게 하고 램의 하중을 금형에 균일한 하중으로 전달하기 위해 점 접촉할 수 있는 구형(spherical)의 생크를 램에 장착하였다. 본 실험에 사용한 소재는 2mm, 4mm의 열간압연강판(SHP1)으로 시험편의 형상과 치수는 그림 2와 같고 V-돌기의 꼭지점과 날끝 사이의 거리를 3mm와 8mm로 변화시키면서 실험할 수 있도록 여유를 감안하여 소재 폭을 80×80mm로 하였다.

파인 블랭킹 작업에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 인자로서는 V-돌기의 형상과 위치, 펀치와 다이의 틈새, 전단 속도, 스트리퍼력, 카운터 펀칭력, 다이 코너 반경(die corner radius), 윤활제 등이 있다.

본 실험에서는 위의 여러 가지 인자 중에서 V-돌기의 높이, 틈새 그리고 전단 속도는 일정하게 유지하면서 V-돌기의 유.무와 위치, 카운터 펀칭력(블랭킹력[두께 4mm, 직경 50mm의 SHP1 재료일때: 20톤 소요]의 0~30%), 스트리퍼력(블랭킹력의 10~50%) 등을 각각 변화시키면서 제품의 가공 특성을 조사하였다. 윤활제로는 펀치 및 다이와 소재 사이에 윤활막을 형성하면서 높은 온도와 압력에 견딜수 있도록 파인 블랭킹용의 FB-289(Feintool Co. 제품) 윤활제를 사용하였다.

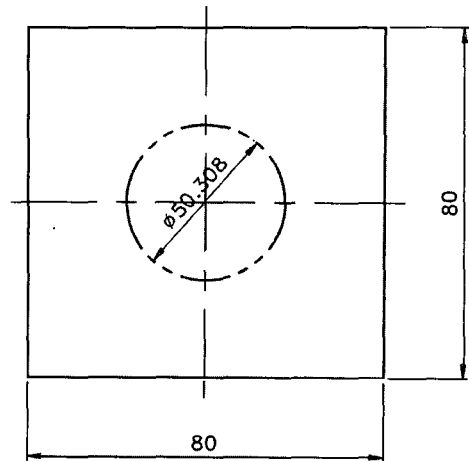


Fig. 2 Configuration of a specimen

4. 결과 및 고찰

본 연구에서 고안해 설계 제작한 파인블랭킹 금형에서

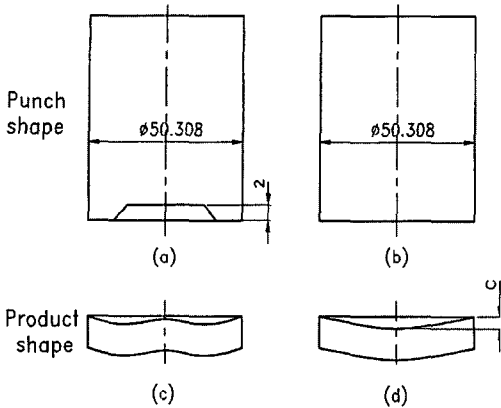


Fig. 3 Deformed section of products for two different punch shapes

의 펀치 형상을 그림 3(a)와 같이하여 금형의 수정과 취출을 쉽게 하려고 하였으나, 파인 블랭킹 작업에서는 카운터 펀칭력이 일반 블랭킹 작업에 비해 상대적으로 크기 때문에 그림 3(c)와 같이 제품의 중앙부에 역 볼록현상이 발생되었다. 따라서 본 실험에서는 펀치 형상을 그림 3(b)와 같이 평펀치로 수정하여 그림 3(d)와 같은 제품이 전단되도록 하고, 스트리핑력, 카운터 펀칭력, V-돌기의 위치 등을 바꿔가면서 제품의 치수 정밀도와 만곡(dishing)을 나타내는 캠버량(그림 3(d)에서의 표기 "c")을 조사 비교하였다. 블랭킹후의 제품 절단면은 미소 테이퍼진 형상을 나타내고 있어 치수 측정을 위해 제품 양단에 직경 4mm의 원형 핀을 접촉시키고, 마이크로미터(1 μ m 단위)로 이들 직경치수를 보상해주는 방식으로 측정하였으며, 캠버량은 레버식 다이얼게이지(2 μ m 단위)를 사용하여 측정하였다.

Table 1. Dimensional accuracy of fine blanked products

(unit : mm)

	Thickness	A	B
Vee-ring	2	ϕ 50.32 ~ 50.33	ϕ 50.28 ~ 50.30
	4	ϕ 50.25 ~ 50.26	ϕ 50.22 ~ 50.23
No Vee-ring	2	ϕ 50.31 ~ 50.32	ϕ 50.28 ~ 50.31
	4	ϕ 50.24 ~ 50.25	ϕ 50.22 ~ 50.24

Where, * A : Specimen to the rolling direction
 * B : Specimen to the right angle direction
 * Size of cutting edge * punch : ϕ 50.308
 * die : ϕ 50.342

표 1은 본 실험을 통해 얻은 열간 압연강판의 소재를 이용한 블랭킹 제품의 치수 정밀도를 평균화하여 V-돌기

의 사용 유무, 재료두께, 압연방향의 영향을 각각 나타내고 있다. 여기서 스트리핑력과 카운터 펀칭력은 각각 5구 간씩 나누어 실험을 했지만 제품의 외경치수(두께 중심에서의 측정값)에는 거의 큰 영향을 미치지 않는 것(최대 0.01mm 이하)으로 나타나 이들 값에 관계없이 데이터를 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 V-돌기의 설치 유무는 치수 정밀도에 큰 영향이 없음을 알 수 있고, 소재의 압연방향 효과는 압연방향으로의 길이가 약 10~30 μ m 더 큰 것으로 나타났고, 소재의 두께는 두께가 얇으면 얇을수록 다이 치수에 더 근접되는 것으로 나타났다. 본 실험에서는 펀치, 다이 사이의 틈새가 0.017mm로 재료 두께에 비해 1% 이하로 있기 때문에 모든 작업 조건에 관계없이 거의 100% 가까운 전단면을 나타내고 있으며, 제품의 스프링백, 전단면의 경사, 다이의 탄성 변형, 측정 위치 등을 종합적으로 영향 받아 다른 문헌⁽¹¹⁾에서와 같이 제품 치수가 다이 치수(ϕ 50.342mm)보다 작아지는 경향으로 결과를 보여주고 있다.

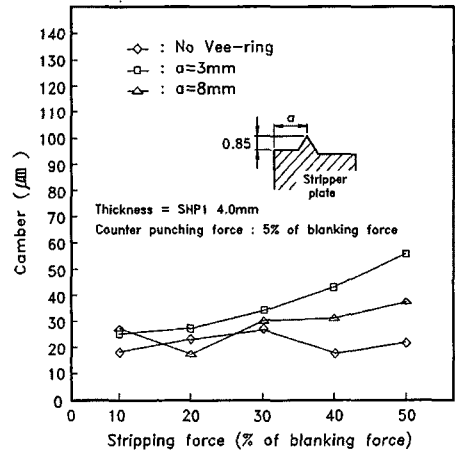


Fig. 4 Comparison of camber height for the change of stripping force (Counter punching force = 5% of blanking force)

그림 4와 그림 5는 두께 4mm의 열간 압연 강판을 사용하여 스트리핑력 변화와 V-돌기의 위치 효과를 보여주고 있다. 그림 4는 카운터 펀칭력이 블랭킹력의 5%로 일정하게 한 상태에서 V-돌기가 없는 평면 스트리퍼판을 사용한 경우와 V-돌기의 위치가 다이 날끝으로부터 3mm, 8mm로 각각 떨어져 있을 때의 실험 비교치이다. 파인 블랭킹에서 유효 전단면의 형성과 치수 정밀도에 크

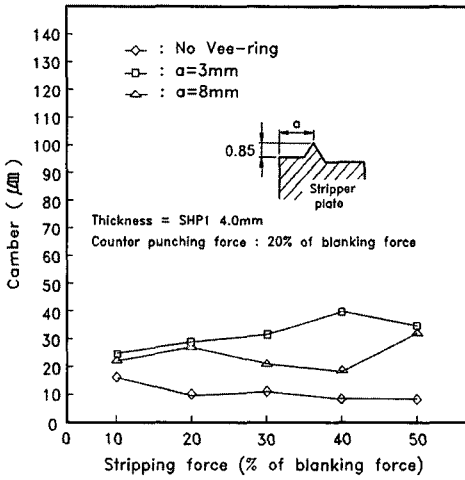


Fig. 5 Comparison of camber height for the change of stripping force
(Counter punching force = 20% of blanking force)

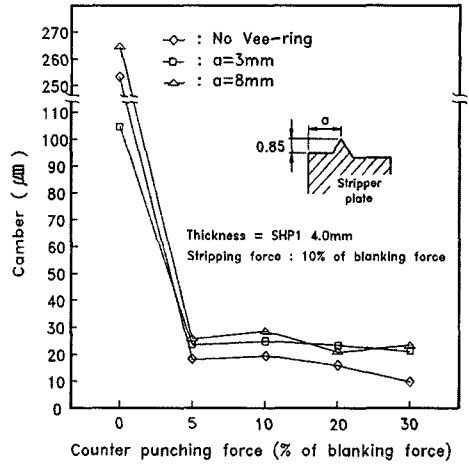


Fig. 6 Comparison of camber height for the change of counter punching force
(Stripping force = 10% of blanking force)

게 영향을 미치는 V-돌기는 위치와 형상에 큰 영향이 있지만 본 연구에서는 기존의 연구 결과⁽¹⁾를 참고로 돌기 형상은 일정하게 유지하였다. 그림에서 보는 바와 같이 스트리핑력의 증가에 따라 제품의 평면도를 나타내는 캠버량이 서서히 증가하고 있지만 큰 변화는 없으며, V-돌기의 경우는 V-돌기를 설치하지 않은 것이, 그리고 돌기가 날끝에서 멀어질수록 제품의 캠버량은 작게 나타나고 있다. 즉 V-돌기를 설치함으로써 전단면 부근의 제품 형상성과 유효 전단면의 영역 확장에 따른 치수 정밀도는 향상되지만, 전단면에서의 굽힘 모멘트 증가로 제품의 만곡에는 역효과를 나타내는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 그림 5에서와 같이 카운터 펀칭력을 블랭킹력의 20%로 증가하여도 비슷한 경향이 있음을 알 수 있다.

그림 6과 그림 7은 카운터 펀칭력의 효과를 나타내는 것으로 전자는 스트리핑력이 블랭킹력의 10%인 경우이고, 후자는 블랭킹력의 30% 일때의 결과를 나타내고 있다. 두 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 제품의 캠버량은 카운터 펀칭력의 유무에 아주 크게 좌우되는 것으로 나타났다. 즉 카운터 펀칭력이 영(zero)일 경우엔 캠버량이 250~300μm 이었던 것이 하중 증가와 함께 급속히 감소하여 블랭킹력의 5%만 되어도 20~30μm으로 아주 작아지는 것을 알 수 있고, 일단 카운터 펀칭력이 작용되면 그 크기에는 크게 의존하지 않고 거의 비슷한 값을 나타내고 있다. V-돌기의 효과는 스트리핑력 변화에 대한 그림 4와 그림 5에서와 같은 효과로 V-돌기 위치가 멀어질

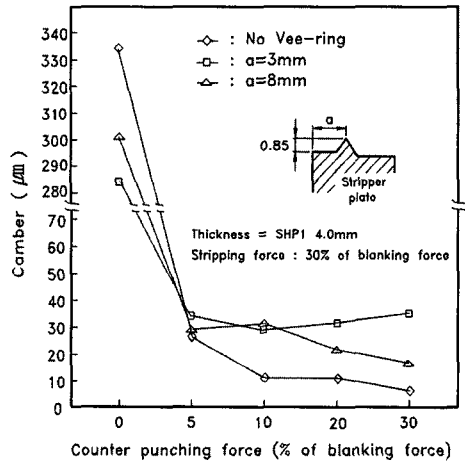


Fig. 7 Comparison of camber height for the change of counter punching force
(Stripping force = 30% of blanking force)

수록 그리고 V-돌기가 없는 경우가 더 평평한 제품을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 균열 발생할 때의 펀치 날끝에 작용되는 이론적 압력분포를 나타낸 것으로 실제 공구 날끝부의 마모 현상 그리고 다른 문헌 결과⁽⁸⁾와 잘 부합되는 것을 알 수 있고, 그림 9는 스트리핑력과 카운터 펀칭력의 변화에 따른 FEM 해석치와 실험의 비교 결과이다. 펀치가 소재내를 계속 전진하여 최대 유효변형도가 소재의 파단변형도

에 다다르면 균열이 발생하고, 전단면 외주부의 스트립 재료에 대해서는 요소제거법(element kill method)의 개념⁽⁶⁾을 이용하여 재료의 강성값에 10^{-6} 정도의 값을 곱해 강성 값을 매우 작게 하여 거의 영향이 없도록 한 다음 스프링백 해석을 수행하면 캠버 변형량을 구할 수 있다. 본 연구에서는 SHP1의 열간 압연강판에 대해 인장 시험을 한 결과 평균 파단 연신율이 33%로 나타났고, 표 2에 나타난 것처럼 외경 50mm 블랭킹 공정을 펀치 행정에 따라 해석했을 때의 소재내 최대 유효변형도(0.38) 결과와 비교할 때, 펀치가 소재내를 대략 0.4mm 정도 침입했을 때 1차균열이 발생한다고 가정할 수 있어 이 값을 본 연구의 해석에 적용하였다. 그림 9에서도 카운터 펀칭력의 유무가 제품의 캠버량에 아주 큰 영향을 준다는 것을 이론적으로도 알 수 있고 스트리핑력을 증가함에 따라 캠버량도 다소 증가하고 있지만 이보다는 카운터 펀칭력이 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이론과 실험 사이에는 정량적 편차가 발생하고 있지만 경향은 정성적으로 잘 일치하고 있다. 이와 같은 편차의 원인으로는 이론 해석시 파단 발생의 판단 기준 설정의 방법과 실험에서의 작업 및 측정 오차에 기인된다고 판단된다. 본 연구에서의 이론해석은 돌기가 없는 경우의 일반 블랭킹 공정 해석을 처음 시도한 것으로 전단시의 크랙 발생 조건을 보다 정확히 예측할 수 있으면 단순 전단가공뿐만 아니라 V-돌기 형상이 포함된 파인 블랭킹의 가공 해석에도 적용 가능하리라 판단된다.

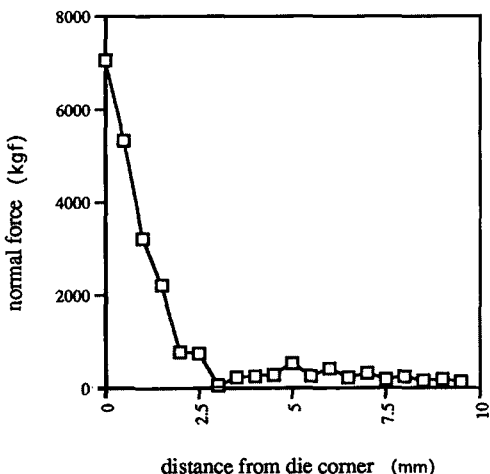


Fig. 8 Pressure distribution acting on the cutting edge of a punch

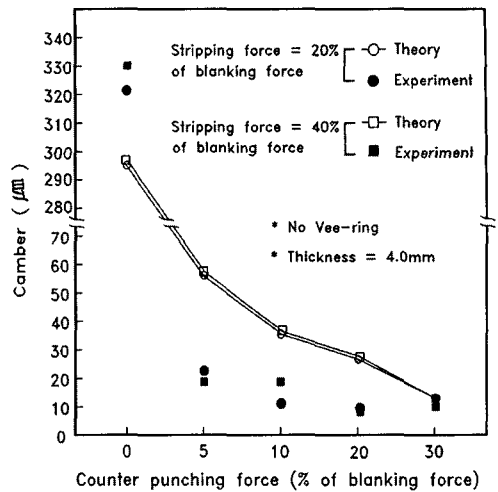


Fig. 9 Comparison of theoretical and experimental results in case of no vee-ring

Table 2. Calculated effective strain for the strokes of a punch

Punch displacement	Max. effective strain
0.3mm	0.283
0.4mm	0.380
0.5mm	0.483

5. 결 론

정밀 전단가공을 위한 파인 블랭킹 금형의 가공기술 개발을 위해 본 연구에서는 범용유압 프레스에서 별도의 유압 유닛에 의한 금형 내의 유체압을 직접 이용하여, 카운터 펀칭력과 스트리핑력을 임의로 조절할 수 있도록 금형을 설계, 제작하여 정밀 전단가공의 가능 여부를 실험적 검증과 이론적 해석을 병행하여 실험치와 이론치를 비교 검토하였으며, 이들의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 틈새 1% 이하의 정밀전단 작업을 위해 V-돌기를 설치하는 경우 제품의 전단면 형상과 치수 정밀도를 더 향상시킬 수 있지만 제품의 만곡을 나타내는 캠버량은 다소 나빠지는 것으로 나타났고, 이러한 현상은 V-돌기가 날끝에 가까워질수록 더 나빠졌다. 그러나 제품의 전단면은 파단면 없는 100% 가까운 전단면을 보여주었다.

2) 파인 블랭킹 작업을 위해서는 반드시 카운터 펀칭력(블랭킹력의 5~10%)이 부가되어야 하며 그 이상의 힘 크기에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 또한 스트리핑력도 증가할수록 캠버량이 미미하게 증가하고 있

지만 두드러진 차이는 발견되지 않았다. 카운터 편칭력과 스트리핑력의 크기는 제품치수 정밀도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3) 본 연구에서의 캠버량 이론 해석 결과와 실험치는 정성적으로 잘 일치하고 있지만 정량적으로도 잘 부합되지 위해서는 균열발생 조건에 대한 연구가 더 필요하다.

후 기

본 연구는 1994년도 한국과학기술원 금형기술혁신 연구센터 (한국과학재단지원의 특성장려 연구센터) 의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. 前田禎三 論文集, 東京大學工學部 精密機械工學科, pp.168-183, 1981
2. Lange. K., "The potential of the fine blanking technique," Feintool AG, Lyss, Swiss, pp.1-6, 1978.
3. 日本塑性加工學會編, プレス加工便覽, 丸善株式會社, 昭和 50, pp.156-162
4. Guanggi. T., Pengfei. Z., Ronghong. L., Jin-wang. N. and Xiaoguang. Z., "Recent development of fineblanking technology in china," Proceed. 4th Int. con. on Technology of Plasticity, Beijing, China, pp.246-250, 1993.
5. Kazuyoshi. K., Katsutoshi. M., Akihiro. M. and Kenji. H., "Development of a simple precision shearing process for thick plates," Journal of the JSTP, vol.35, no. 396, pp.67-72, 1994.
6. Takahashi. K. and Maeda. T., "Finite element analysis of shearing process," JSTP, vol.21, no.236, 1980.
7. Popat. P. B., "Finite element analysis of the blanking process," J. of Mechanical Working Technology, vol.18, pp.269-282, 1989.
8. 최철주, 조동협, 정완진, "Compressor Motor Core 타발해석," 박판성형 기술의 진보, 박판성형 심포지움, 한국소성가공학회 및 대한금속학회편, pp.199-230, 1994.
9. ABAQUS 5.3 User Manual, HKS사, 미국, 1994.
10. ABAQUS 5.3 Theoretical Manual, HKS사, 미국, 1994.