

# 리클라이너 용 섹터기어의 파인 블랭킹 성형을 위한 금형의 최적화 Optimization of Mold for Fineblanking Forming of Sector Gear for Recliner

이관영 · 남기우 · 문창권  
K. Y. Lee, K. W. Nam and C. K. Moon

(접수일 : 2011년 04월 25일, 수정일 : 2011년 07월 29일, 채택확정 : 2011년 08월 11일)

**Key Words** : Optimization of Mold(금형 최적화), Sector Gear(섹터 기어), Finite Element Analysis(유한요소해석)

**Abstract** : To optimization of mold for fineblanking forming of sector gear of recliner, it was analyzed the effect of clearance, V-ring height, V-ring position, blank holding force and counter punch force. In case of 0.003 mm of clearancs, the finest shear plane was obtained, but optimization between die and punch clearance was 0.005 mm. The height of V-ring was 0.7 mm. In case of increasing of hold force, the size of shear plane got better and the decrement of thickness became smaller. Both the size of shear plane and the decrement of thickness increased according to increasing of counter punch force.

## 1. 서 론

리클라이너의 주요 부품은 파인 블랭킹 공정으로 성형된다. 파인 블랭킹 기술은 한 번의 블랭킹 공정에서 제품의 전체 두께에 걸쳐 필요로 하는 고온 전 단면과 양호한 제품 정밀도를 얻는 프레스 가공 공정이다<sup>(1)</sup>. 일반 프레스 블랭킹은 후판 가공 공정에서 후속 공정이 많아 경제성이 없다. 그러나 파인 블랭킹 기술이 적용되는 제품은 일반 프레스 블랭킹으로 경제성이 없는 제품 즉 두께 5~15 mm 정도의 제품에 많이 적용되고 있다<sup>(2-4)</sup>. 따라서 파인 블랭킹 제품은 주로 자동차의 기능 부품, 냉동기의 컴프레서 부품, 전기 전자 구조 부품, 일반 기계 요소 등 제품의 정밀도와 표면의 품질이 동시에 요구되는 부품들이 대상품이 된다<sup>(5-6)</sup>. 파인 블랭킹으로 얻을 수 있는 공정에는 평판 제품의 블랭킹 뿐만 아니라, 벤딩, Offset banding, 제품 표면에 무늬나 형상을 압인하는 Coining, 재료를 눌러 반대쪽으로 돌출시켜 성형하는 Extrusion 가공 등의 소성가공도 가능하여 결합할 때 정밀도를 해치지 않고 조립할 수가 있다<sup>(7-9)</sup>.

또한, 파인블랭킹 공정은 크게 두 단계로 나누어지는데, 첫 단계는 소재를 견고하게 고정하고 정수압<sup>(10)</sup>을 가하기 위하여 V-ring, 즉 V자형 단면의 돌기를 가진 블랭크 홀더를 하강시켜 소재의 블랭킹 라인 주위를 구속하는 공정이며, 다음 단계는 블랭크 홀더와 카운터 펀치를 동시에 상승 및 하강시켜 소재를 지지한 후 펀치를 하강시켜 제품을 전단하는 공정이다<sup>(11-12)</sup>.

본 연구에서는 리클라이너 용 섹터기어의 파인 블랭킹 성형을 위한 금형의 최적화를 위하여 클리어런스, V-ring 높이, V-ring 위치, 블랭크 홀딩력 및 카운터 펀치력의 영향을 해석하였다.

## 2. 수치 해석

### 2.1 인장 시험에 의한 임계값 결정

임계값은 실험이 간단한 단축인장을 대상으로 여러 가지 임계값을 입력하여 유한요소해석을 수행하고 파단 후 소재의 형상을 실험 결과와 비교하여 가장 일치하는 경우의 임계값을 구하는 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 DEFORM-3D<sup>(13)</sup>를 사용하여 해석을 수행하였다. 인장시험은 두께 4.0 mm의 SNCM220이며, 인장시험편은 KS B 0801 5호 규격에 따라 가공하여 사용하였다.

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

Fig. 1은 인장시편의 형상과 치수를 나타내며, Fig. 2는 대칭성을 고려하여 시험편의 1/4을 30,000여개의 사면체 요소로 모델링한 것이다. 공정해석 도중 자동 요소망 재구성이 될 경우에도 요소의 크기가 최대 0.02 mm, 최소 0.002 mm 정도를 유지하도록 하였다.

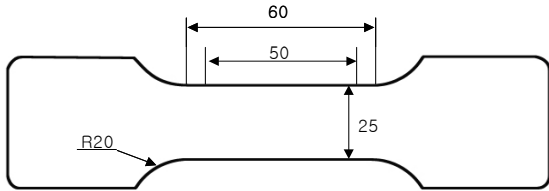


Fig. 1 Dimension and shape of tensile specimen (unit : mm)

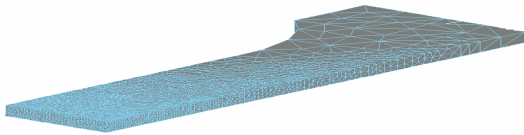


Fig. 2 3D Finite element model of a tensile specimen

Fig. 3은 파단된 시험편 위에 해석에서 얻은 변형 형상을 겹친 것이다. 파단 현상을 시뮬레이션하기 위하여 요소 제거법을 사용하였다. Fig. 3(a)는 임계값 1.0을 입력하여 해석 결과와 비교한 것으로 파단부 형상이 큰 차이를 보이고 있는 반면, (b)는 임계값 1.5를 적용한 경우로 해석 결과가 파단 형상과 상당히 유사함을 알 수 있다. 본 연구의 결과를 고려할 때 임계값은 근사적으로 1.5라고 판단하여, 파인블랭킹 공정 해석에 사용하였다.

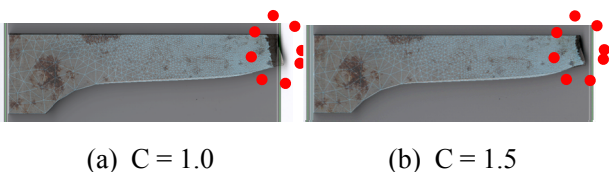


Fig. 3 Comparison of fractured shape between experiment and analysis

### 2.2 모델링

실제 공정과 동일한 SNCM220 소재를 대상으로 해석을 수행하였으며, 인장시험을 통하여 얻은 데이터를 물성치로 입력하였다. 또한 전단공정 해석에 반드시 필요한 연성파괴조건의 임계값은 앞 절에서 언급한 바와 같이 단축인장시험의 3차원 유한요소해석

을 통하여 결정하였다. 그리고 V-ring의 높이와 위치, 클리어런스의 크기, 블랭크 홀더력, 카운터 펀치력을 변수로 선정하여 상용 유한요소해석 소프트웨어인 DEFORM-2D[14]를 이용하여 2차원 단면 해석을 수행하였다.

### 2.3 경계조건

대칭성을 고려하여 1/2 모델을 사용하였으며, 총 요소 수는 약 5,000 개이다. 연구에서 V-ring의 위치 및 크기, 클리어런스, 블랭크 홀더력, 카운터 펀치력을 변수로 설정하여 각각의 조건에 따른 전단면의 형상을 해석하였다. V링의 설치 위치와 높이는 실제 현장에서 사용되는 규격표를 기준으로 그 범위를 좀더 확대하여 해석을 수행하였다. 클리어런스는 파인블랭킹에서 일반적으로 사용되는 1 % mm 이하의 범위 내에서 0.003, 0.005, 0.01, 0.02 mm를 적용하여 그 영향을 분석하였다. 전단하중은 예비성형을 통하여 얻은 1,530 N을 기준으로 블랭크 홀더력과 카운터 펀치력에 적용하였다. 각 공정변수에 대한 영향을 알아보기 위해 각각의 변수들을 독립변수로 하여 해석을 수행하였다.

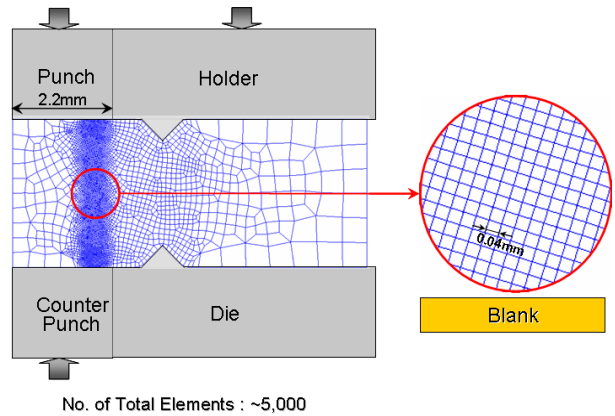


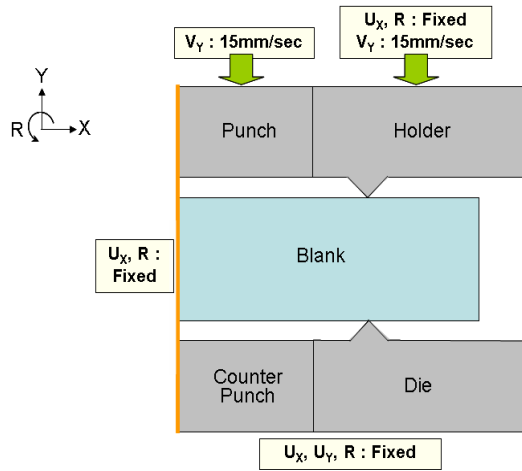
Fig. 4 Finite element model for the fine blanking simulation

Fig. 4는 평면변형률 해석을 수행하기 위해 단면을 모델링한 그림이다. 변형이 집중적으로 발생하는 전단영역에는 0.04 mm 정도의 조밀한 격자망을 구성하였다.

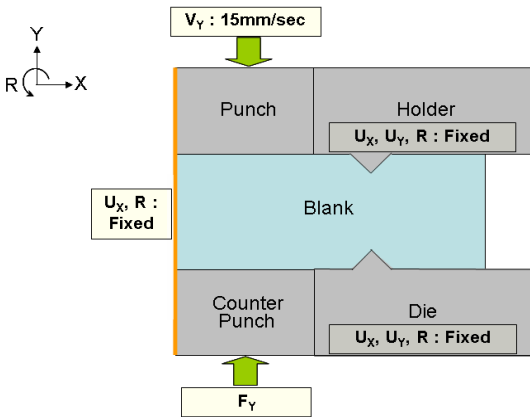
Fig. 5는 평면변형률 해석을 수행하기 위한 경계조건을 나타낸 것으로, (a)는 V-ring이 소재에 침투하는 홀딩공정 시 경계조건이고, (b)는 홀딩이 끝난 후 전단공정 시의 경계조건이다.

2.4 파인 블랭킹 해석 파라미터

Fig. 6은 파인블랭킹 금형변수 및 공정변수들을 나타낸 것이며, Table 1은 고정값을 사용하는 형상변수



(a) Holding process



(b) Blanking process

Fig. 5 Boundary condition for the fine blanking simulation

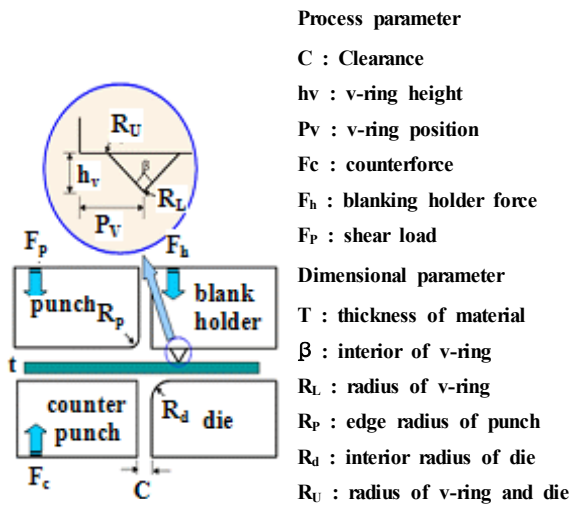


Fig. 6 Definition of geometric and process parameters

를, Table 2는 변수 연구에 사용된 공정 변수 및 형상 변수들과 그 범위를 각각 나타내었다. 고정된 변수들은 실제 공정에서 사용되고 있는 값을 나타낸 것이다. 변수 값의 적용은 Table 2에 상첨자(\*)로 표시한 표준조건을 기준으로 하여, 한 가지 변수만을 변화시켜 가면서 그 영향을 알아보았다.

Table 1 Fixed geometric parameters for FEA

T(mm)	V-ring		Rp (mm)	Rd (mm)	RU (mm)
	β(mm)	RL(mm)			
4.0	90	0.05	0.01	0.2	0.2

Table 2 Variable process parameters for FEA

Variable	Value
c (mm)	0.003 / 0.005* / 0.01 / 0.02
hv (mm)	0.5 / 0.6* / 0.7 / 0.8
Pv (mm)	1.5 / 1.75 / 2.0* / 2.25 / 2.5
Fh/Fp (%)	10 / 20 / 30* / 40 / 50
Fc/Fp (%)	10 / 20 / 30* / 40 / 50

3. 결과 및 고찰

3.1 인장시험

인장시험에서 얻어진 유동응력곡선과 기계적특성을 각각 Fig. 7과 Table 3에 나타내었다. SNCM220의 유동응력곡선은  $\bar{\sigma} = 771\bar{\epsilon}^{0.14}$ 로 나타낼 수 있다.

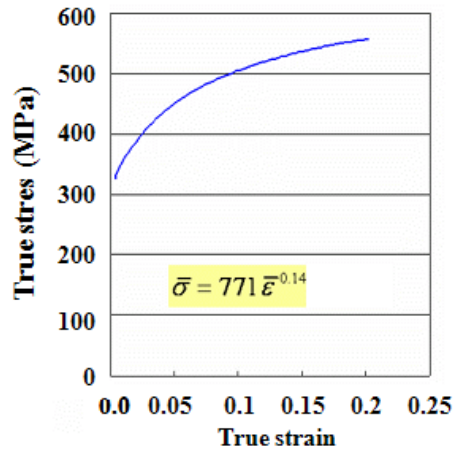


Fig. 7 Stress-strain curve of SNCM220 sheet

Table 3 Mechanical properties of the SNCM220

Properties	Value	Unit
Thickness	4.0	mm
Young's Modulus	207	GPa
Yield Stress	327	MPa
Ultimate Tensile Strength	559	MPa
Uniform Elongation	24	%
Total Elongation	32	%
Stiffness Coefficient	771	MPa
Strain-Hardening Exponent	0.149	

3.2 클리어런스의 영향

Fig. 8은 클리어런스에 대한 전단역의 관계를 나타내었으며, 전단면의 형상도 같이 나타내었다. 클리어런스가 커질수록 두께에 대한 전단역(burnish zone)의 비율이 거의 선형적으로 감소함을 함을 나타내고 있다. 클리어런스가 작을 수록 소재의 국부적인 영역에 전단응력과 소성변형에너지가 집중됨으로써 유효전단면의 크기가 커지는 것으로 판단된다. 그림에서 알 수 있듯이 전단역 비율은 본 해석 범위에서 80~90 % 정도로 예측되나, 실제 공정에서는 금형 얼라인먼트(alignment) 등 조정(tuning)을 거친 양산 단계에서 거의 100 %에 가까운 비율을 나타내는 것이 사실이다. 유한요소해석에서 과단 현상을 시뮬레이션하기 위하여 요소제거법을 사용하는 한 아무리 조밀한 요소망을 사용하더라도 재료의 손실이 없는 실제

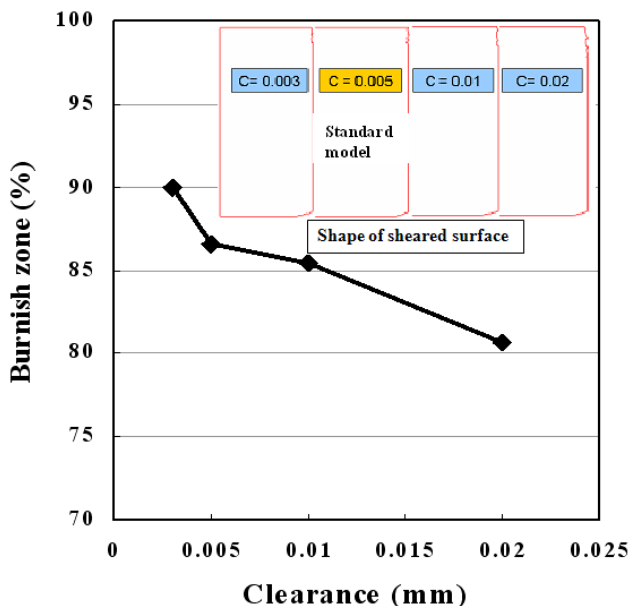


Fig. 8 Influence of clearance on burnish zone size and shape of sheared surfaces

조건을 구현하기에는 한계가 있음을 나타낸다고 할 수 있다. 전단면의 형상은 전단공정이 완료된 후에 최 외곽 요소들을 경계로 하여 얻은 것이다. 클리어런스가 커질수록 파단역(fracture zone)의 크기가 증가하고 전단역이 감소하는 것을 볼 수 있다. 시험결과 다이와 펀치 틈새의 최적량은 0.005 mm인 것으로 분석되었다.

3.3 V-ring 높이의 영향

Fig. 9는 V-ring 높이에 따른 전단역의 관계를 나타내었으며, 전단면의 형상도 같이 나타내었다. 이 그림에서 V-ring 높이가 커질수록 0.7 mm까지는 전단역의 비율이 증가하나, 그 이상의 높이에서는 오히려 전단역이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 소재 두께의 일정량까지는 V-ring이 소재의 정수압응력을 증가시켜 전단역 비율의 향상에 도움을 주지만, V-ring 높이가 과도하면 클램핑된 부분의 소재 두께를 지나치게 감소시켜 소재 유동을 억제하는 효과를 줄이기 때문인 것으로 판단된다. 또한 전단면 형상은 0.7 mm의 V-ring 높이에서 파단역 비율이 최소가 되는 것을 알 수 있었다.

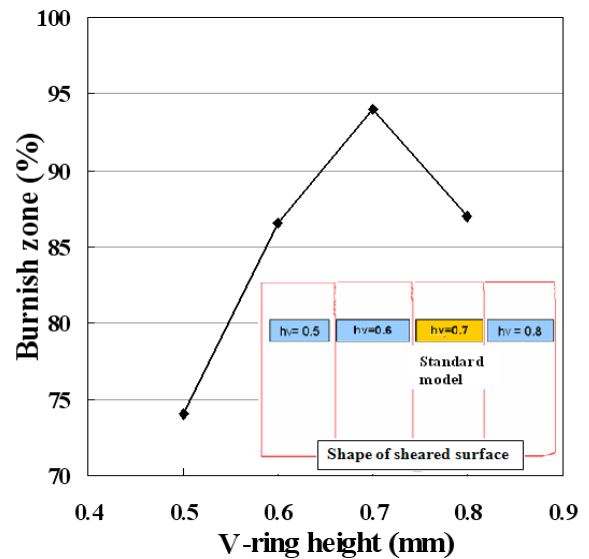


Fig. 9 Influence of V-ring height on burnish zone size and shape of sheared surfaces

3.4 V-ring 위치의 영향

Fig. 10은 V-ring 위치에 따른 전단역의 관계를 나타내었으며, 전단면의 형상도 같이 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 V-ring 위치는 다이 모서리 쪽에 가까울수록, 즉 P<sub>v</sub>가 가까울수록 전단면 품질이 향상되는 것으로 나타났다. 이것은 V-ring이

모서리 쪽에 가까울수록 전단부의 정수압응력 증가와 소재 유동 억제 효과가 커지기 때문인 것으로 판단된다.

이 그림에서 V-ring의 위치에 따라 해석한 전단면은 V-ring의 위치가 다이 모서리로부터 멀어질수록 전단면의 크기가 급격히 줄어들고 있는 것을 확인할 수 있었다.

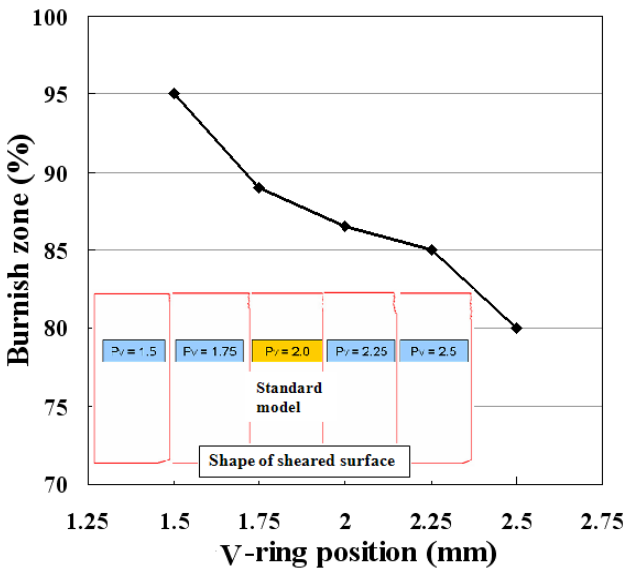


Fig. 10 Influence of V-ring position on burnish zone size and shape of sheared surfaces

### 3.5 블랭크 홀딩력의 영향

Fig. 11은 블랭크 홀딩력의 크기에 따른 전단면의 관계를 나타내었으며, 전단면의 형상도 같이 나타내

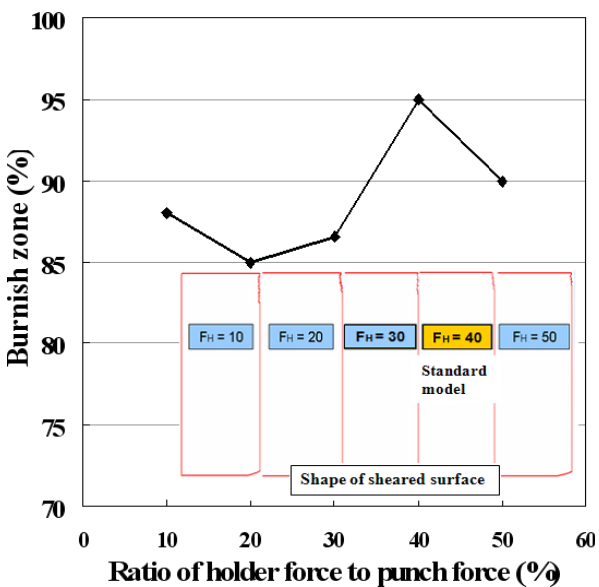


Fig. 11 Influence of holding force on burnish zone size and shape of sheared surfaces

었다. 이 그림에서 블랭크 홀딩력은 펀치하중의 40%일 때 유효전단면이 두드러지게 큰 것으로 나타났다. 전단면의 형상에서도 역시 블랭크 홀딩력이 펀치하중의 40%일 때 전단면의 크기가 최대가 됨을 알 수 있었다.

### 3.6 카운터 펀치력의 영향

Fig. 12는 카운터 펀치력의 크기에 따른 전단면의 관계를 나타내었으며, 전단면의 형상도 같이 나타내었다. 이 그림에서 카운터 펀치력이 커질수록 전단면 상태가 좋아지는 것을 알 수 있다. 이 결과도 역시 카운터 펀치력이 증가할수록 펀치와 카운터펀치 사이의 소재가 정수압응력을 더욱 많이 받게 되는 효과 때문인 것으로 보인다. 전단면 형상은 카운터 펀치력이 증가할수록 전단면의 크기가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 금형의 내구성을 위해서는 전단면의 80 ~ 90%영역 범위인 30%의 카운터 펀치력을 적용하는 것이 이상적이라 판단된다.

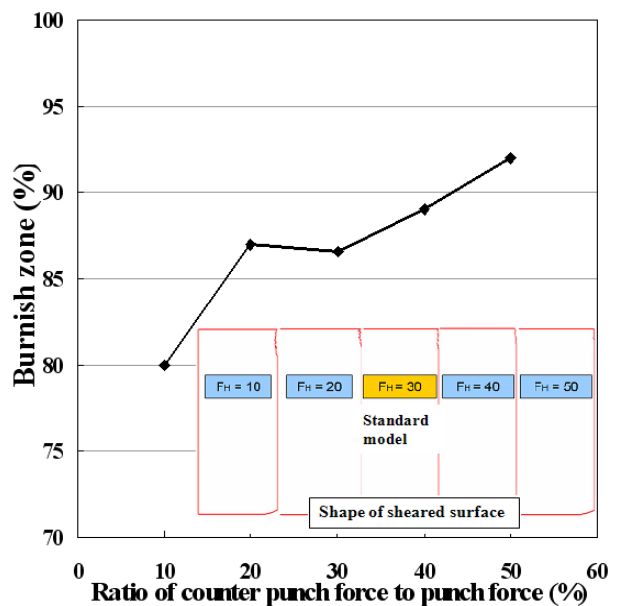


Fig. 12 Influence of counter punch force on burnish zone size and shape of sheared surfaces

## 4. 결 론

본 연구에서는 리클라이너 용 섹터기어의 파인 블랭킹 성형을 위한 금형의 최적화를 위하여 클리어런스, V-ring 높이, V-ring 위치, 블랭크 홀딩력 및 카운터 펀치력의 영향을 해석하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 클리어런스가 0.003 mm인 경우 가장 우수한

전단면을 얻을 수 있었으나, 다이와 펀치 틈새의 최적량은 0.005 mm인 것으로 분석되었다.

(2) V-ring의 높이는 0.7 mm인 경우가 전단면의 크기와 두께 감소에 있어서 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

(3) 홀더력을 증가시키는 경우에는 전단면의 크기는 더욱 좋아지고 두께 감소량은 작아지는 결과를 보였다. 가장 눈에 띄는 특징은 홀더력이 증가함에 따라 다이 롤 현상이 일관성 있게 줄어든다는 것을 알 수 있었다.

(4) 카운터 펀치력을 증가 시키는 경우에는 전단면의 크기와 두께 감소량이 함께 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 금형의 내구성을 위해서는 전단면의 80~90 %영역 범위인 30 %의 카운터 펀치력을 적용하는 것이 이상적이라 판단된다.

### 참고 문헌

1. The Committee on Fine Blanking, 2010, "Fineblanking Handbook", pp. 7-16.
2. Kim, M. C., 1988, "Development of FB Die & Technology by General Press", Research Report of Korea Institute of Machinery and Materials.
3. Lange, K., 1987, "The potential of the fine blanking technique," Feintool AG, Lyssm, Swiss, pp. 1-6.
4. Han, K. T., 1998, "Effect of Material and Vee-ring for Processed Products by Fineblanking", J. Spring Meeting of KSME, pp. 202-207.
5. Ryu, B. Y., 1990, "Molding of Fine Blanking", Sungandang, pp. 1-4.
6. The Japan Institute of Light Metal, 2003, "The Manufacturing Technology for An Automotive Lightening", The Nikkan Kogyo Shimbun, LTD., pp. 9-32.
7. The Committee on Fine Blanking, 2010, "Fineblanking Handbook", pp. 53-61.
8. Kim, J. H., Ruy, J. G. 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", J. Korean Society of Precision Engineering, Vol. 13, No. 5, pp. 157-163.
9. Ryu, B. Y., 1990, "Molding of Fine Blanking" Sungandang, pp. 5-20.
10. T. Guanggi et al., 1993, "Recent Development of Fine Blanking Technology in China." Proceed. 4th Int. Con. on Technology of Plasticity, Beijing, China, pp. 246-250.
11. Kim, Y. J. Kwak, T. S. and Bae, W. B., 1996, "Finite Element Analysis on Effect of Die Clearance on Shear Planes in Fine Blanking," J. The Korean Society For Technology of Plasticity, Vol. 13, No. 5, pp. 157-163.
12. Lee, J. G., 1990, "Effect for Processed Characteristics of Products by triangle ring in Fineblanking Forming", Master's Thesis, Graduate School of Mechanical Engineering, Dankook University.
13. SFTC. DEFORMTM 3D Ver50 User's Manual. 2003.
14. SFTC. DEFORMTM 2D Ver8.0 User's Manual. 2003.