

## 요인분석법을 이용한 파인 블랭킹 공정의 파단면 최소화에 관한 연구

이범순<sup>1</sup> · 김옥환<sup>†</sup>

공주대학교 기계공학과<sup>1,†</sup>

### A study on minimization of fracture surface in fine blanking process using factorial analysis

Beom-Soon Lee<sup>1</sup> · Ok-Hwan Kim<sup>†</sup>

Department of Mechanical Engineering, Kongju National University<sup>1,†</sup>

(Received March 13, 2021 / Revised March 29, 2021 / Accepted March 31, 2021)

**Abstract:** The Fine Blanking process is an effective precision shearing process that can obtain a smooth cutting surface and high product precision through a single blanking process. It is widely used in various manufacturing fields. However, shearing through this fine blanking process is only intended to minimize burrs, die rolls and fracture surfaces and does not completely remove them. Therefore, it is necessary to study the minimization of burrs, die rolls and fracture surfaces in the fine blanking process. In this study, a study was conducted on the relationship between the fracture surface and process conditions that occurred during product production using the fine blanking process. For this purpose, the shape of the V-ring indenter, the distance to the punch, and the pressure force, clearance, shear rate, and physical properties of the material were selected as process and design variables, and the relationship with the fracture surface according to each process and design condition was tested. It was analyzed through the Experimental Design Method.

**Key Words:** Experimental Design Method, Fine-Blanking, Fracture surface, Press Die,

## 1. 서 론

프레스(press) 공정이란 금속 재질의 판재를 원하는 형상으로 소성 가공하는 공정으로 대량 생산이 가능한 생산 공정이다. 프레스 공정에서 판재의 절단 시 절단면은 전단면, 파단면, 다이 롤(Die roll), 그리고 버(burr)가 필수적으로 발생한다. 여기서 전단면을 제외한 파단면, 다이 롤 및 버는 제품의 결함으로 분류되며 이를 최소화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 파단면, 버 및 다이 롤의 발생은 금형 설계 인자 및 공정 조건을 통해 최소화 가능하다. 일반적으로 파단면, 다이 롤 및 버의 크기는 판재의 두께 대비 10% 이하로 규제한다<sup>1)</sup>.

파인 블랭킹(Fine Blanking) 공정은 단발의 블랭킹 공정을 통해 높은 제품 정밀도와 매끄러운 절단

면을 얻을 수 있는 정밀 전단 공정으로 절단면에서 최대의 전단면을 생성 할 수 있다. 이는 버 제거 등과 같은 후속 공정을 필요로 하지 않으며 생산 시간과 비용을 최소화 할 수 있다. 따라서 이러한 특징으로 인해 파인 블랭킹 공정은 다양한 정밀 제조 분야에서 널리 사용되고 있다<sup>2,4)</sup>.

한편 기술의 발전은 보다 높은 성능의 부품 생산에 대한 요구로 이어지고 있으며 특히 전기 자동차의 경우 전기에너지에 대한 높은 효율을 얻기 위해 높은 성능의 부품에 대한 요구가 날로 증대되고 있다. 전기 자동차는 연소 기반의 엔진에서 모터와 전기로 구동되는 시스템으로 동력 전달을 위해 많은 기어를 사용한다. 특히 기어의 경우 기어의 이와 이가 서로 맞물려 동력 전달을 하며 이때 이와 이의 맞닿은 면의 상태에 따라 에너지 전달 효율에 큰 영향을 준다. 따라서 파인 블랭킹을 통한 기어 생산 시 기어의 동력 전달 효율을 최대화 하기 위해

1,† 교신저자: 공주대학교 기계공학과  
E-mail: owkim@kongju.ac.kr

전단면을 최대화 하고 다이 롤, 버 및 파단면의 크기를 최소화 할 필요가 있다<sup>5,7</sup>.

Kim 등은 기어에 대한 파인 블랭킹 공정 연구에서 V-링 위치와 형상 사이의 거리에 따라 다이 롤 높이가 증가하는 것을 확인하였다<sup>8</sup>. Zhuang 등은 논문에서 높은 항복 강도의 소재를 사용한 파인 블랭킹 공정 시 더 작은 다이 롤이 생성되는 것을 확인하였다<sup>9</sup>. Leung 등은 전단 펀치의 노즈 반경 증가 시 제품의 버 높이가 증가하고 파단면 비율이 높아지는 것을 확인하였다<sup>10</sup>. Kwak 과 Hatanaka 등은 다이 롤과 클리어런스 사이의 관계에 대한 연구에서 파인 블랭킹 공정 시 발생하는 다이 롤의 깊이와 너비가 클리어런스의 증가함에 따라 증가하는 것을 확인하였다<sup>11-12</sup>. Kurra 등은 시뮬레이션을 통해 파인 블랭킹 공정 시 클리어런스가 증가함에 따라 다이 롤의 크기가 증가하고 V-링은 다이 롤의 크기를 감소 시키는 것을 증명하였다<sup>13-14</sup>. Kim 등은 파인 블랭킹 공정 시 V-링의 설치를 통해 전단면 형상과 치수 정밀도가 향상되고 파단면이 거의 제거되거나 캠버량은 나빠지는 것을 확인하였다<sup>15</sup>.

파인 블랭킹 공정에 대한 연구 동향에서 대부분의 연구들이 공정 설계 변수 중 클리어런스, V-링 조건에 따른 전단 거동 분석과 다이 롤 및 버에 대한 분석이 주로 이루어 졌으며 파단면에 대한 최소화 연구는 미비한 실정이다. 따라서 이에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 파인 블랭킹 공정을 이용한 제품 생산 시 발생하는 파단면의 최소화를 위해 설계 조건 및 공정 조건에 따른 파단면에 대한 최소화 연구를 수행하였다. 파인블랭킹 공정에서 제어 가능한 공정 조건인 V-인덴터 링의 형상, 펀치와의 거리 및 압입력, 클리어런스, 전단 속도 및 소재의 물리적 특성을 인자로 선정하였으며 실험계획법 주요인 분석법을 통해 각 인자에 대한 파단면 영향도 및 최소화 조건을 분석하였다.

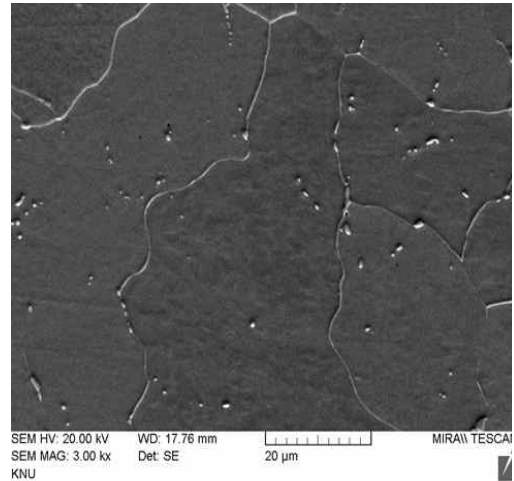
## 2. 실험

### 2.1. 소재

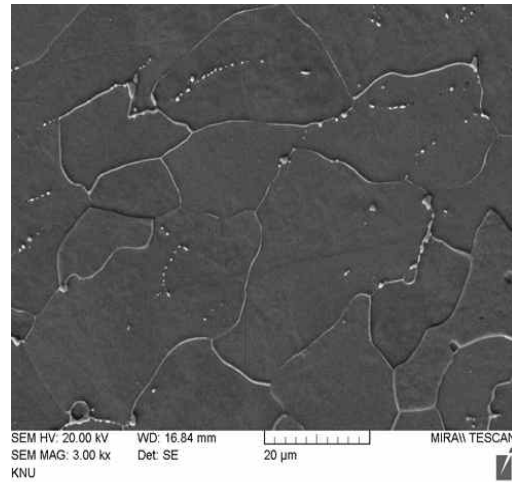
본 논문에서 적용한 소재는 SCP-1 재질의 냉간 압연강판을 사용하였다. 소재의 물리적 특성에 따른 파단면에 영향을 분석하기 위해 3.2mm 두께의 강판을 3.0mm 두께로 압연한 강판과 압연 공정을 거치지 않은 3.0mm의 강판을 적용하였다.

Fig. 1은 압연 공정 유무에 따른 강판에 대한 조

직 사진으로 압연 공정을 거친 강판의 조직이 비 압연 강판에 비해 조밀한 것을 알 수 있다.



(a) without Rolling



(b) Rolling

Fig. 1 SEM Image

### 2.2. 파인블랭킹 금형 설계

본 논문에서는 공정 조건과 파단면의 관계에 대한 분석을 위해 파인블랭킹 금형을 설계 및 제작 하였다. 선정된 실험 인자 중 설계 변수 인자는 V-인덴터 링의 형상과 링과 펀치와의 거리이며 이를 고려하여 Fig. 2와 같이 금형을 설계하였다. V 링에 대한 형상 변수는 2개이며 펀치와 V 링과의 거리에 대한 설계 변수는 3개로 총 6개의 설계 변수를 한번에 분석이 가능하도록 설계하였다.

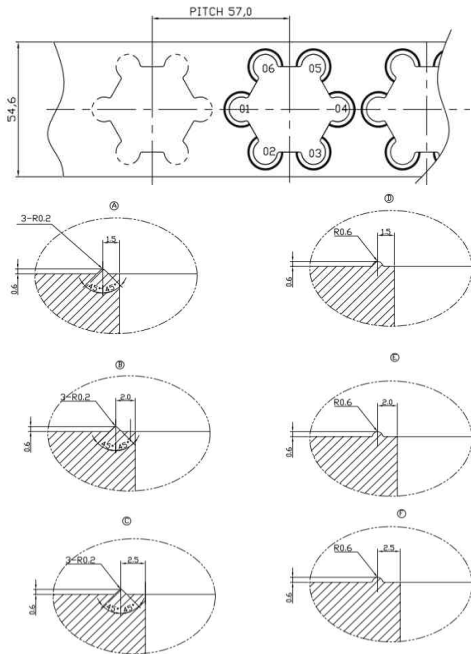
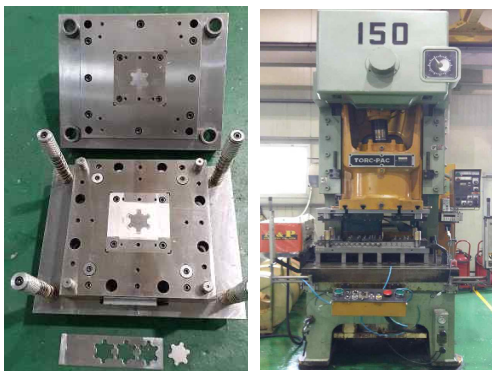


Fig. 2 Design of fine-blanking die

### 2.3. 실험 시스템

Fig. 3은 실험 시스템이다. (a)는 개발된 파인블랭킹 금형과 스트립이며 (b)는 파인블랭킹 공정을 위해 사용된 프레스로 150톤 성능의 Amada社 TP-150C 모델을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 프레스의 경우 파인블랭킹 전용 프레스가 아니다. 따라서 blanking holder의 압력은 직경 30mm의 금형용 탄성 고무 4개를 적용하고 다이 쿠션의 공기 압을 조절하여 압력의 변화를 적용하였다.



(a) Fine Blanking Die (b) Press Machine  
Fig. 3 Experimental System

### 2.4. 실험조건

파인블랭킹 공정 조건에 따른 파단면의 변화를 분석하기 위해 공정 인자를 선정하였다.

Table. 1은 선정된 인자와 변수 조건이다. 소재는 압연 공정 유무에 따른 2개의 변수를 적용하였다. 펀치와 다이사이의 클리어런스 조건의 경우 소재 두께의 1%와 3% 두 개의 변수를 선정하였으며 펀치 속도의 경우 실험 시스템을 고려하여 5, 10, 15m/min의 조건을 선정하였다. 소재를 가압해주는 V 인텐더 형상의 경우 V 형과 U 형태를 선정하였다. V 인텐더가 소재를 가압하는 압력은 실험 시스템의 성능을 고려하여 62, 140MPa로 선정하였으며 V 인텐더와 펀치와의 거리 값은 1.5, 2.0, 2.5mm로 변수를 선정하였다.

파인 블랭킹 공정을 통해 제작된 시편에 대한 파단면의 높이는 공구현미경을 이용하여 측정하였으며 5곳의 높은 지점에 대한 평균 값을 적용하였다. 사용된 공구현미경은 ZEISS社의 AxioImager A2m Manual 모델을 사용하였다.

Table 1 Parameter Condition

Parameter	Value
Material	Rolling, Without Rolling
Clearance	1%, 3%
Punch Speed	5m/min, 10m/min, 15m/min
V ring Type	V, U
Pressure	62MPa, 140MPa
Distance from Punch	1.5mm, 2.0mm, 2.5mm

### 2.5. 요인배치법을 이용한 실험 설계

파인블랭킹 공정 시 다양한 공정 요인에 의해 파단면이 형성되며 이들 요인 간의 영향은 매우 복잡하다. 따라서 실험 계획법 중 하나인 요인 배치법을 이용한 실험을 통해 각 선정된 요인에 대한 영향도 및 주요 인자를 분석하고자 한다.

Table. 1에서 선정된 요인의 수는 6개며 2수준의 인자가 2개 3수준의 인자가 4개이다. 본 연구에서는 full factorial design으로 실험 조건을 설정하였으며 요인파 수준을 고려하여  $2^4 3^2$  요인배치법으로 설계하였다. 총 실험의 수는 총 144회 이다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1. V Ring 형상 조건에 따른 결과 분석

파인블랭킹 공정 시 V 링 형상 조건에 따른 파단

면의 크기에 대한 분석을 수행하였다. Fig. 4는 압연 소재에 대해 펀치의 거리 조건을 1.5mm로 고정 조건에 대한 V 링 형상 조건에 따른 파단면 분석 결과이다. 분석 결과 V 형상에서 보다 작은 파단면이 생성되는 경향을 나타냈으며 동일한 가압력 조건에서도 V 형상이 보다 작은 파단면을 생성하는 것으로 분석되었다.

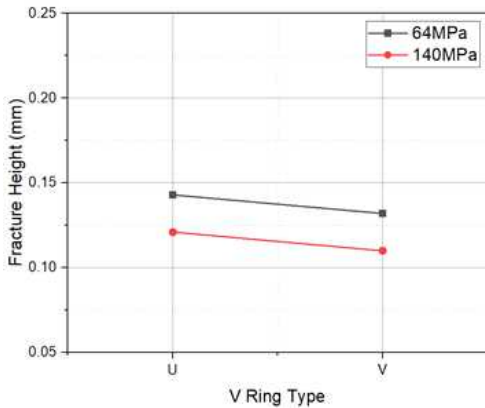


Fig. 4 Analysis result of fracture according to V Ring Type (1.5mm, Rolling)

### 3.2. V Ring의 가압력에 따른 결과 분석

파인블랭킹 공정 시 V 링의 가압력에 따른 파단면의 크기를 분석하였다. Fig. 5는 압연 소재 및 V 링 조건에 대한 가압력에 따른 파단면 분석 결과이다. 가압력이 높은 조건에서 파단면이 보다 작게 형성되는 경향을 나타내었다. 이는 소재에 대한 높은 가압력을 통해 소재에서 발생하는 크랙의 유동을 억제했기 때문일 것으로 판단되었다.

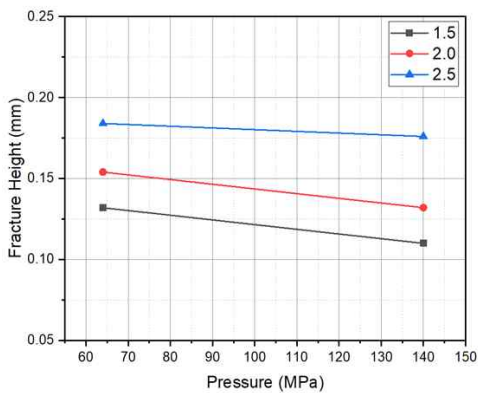


Fig. 5 Analysis result of fracture according to Pressure (Rolling)

### 3.3. V Ring의 거리에 따른 결과 분석

파인블랭킹 공정 시 V 링의 거리에 따른 파단면의 크기를 분석하였다. Fig. 6은 압연 소재에 대해 64MPa의 가압조건으로 펀치로부터 거리 조건에 대해 실험한 결과이다. V 링과 펀치의 거리가 가까울수록 파단면의 크기는 작아지는 경향을 나타내었다.

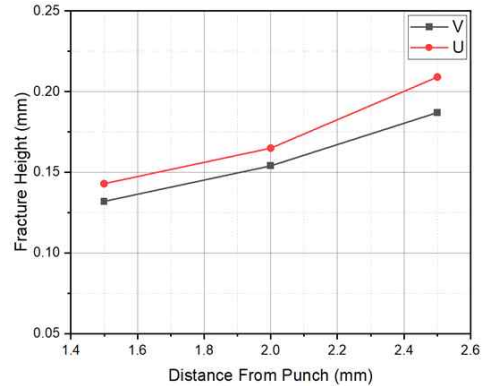


Fig. 6 Analysis result of fracture according to Distance From Punch (Rolling & 64MPa)

### 3.4. 클리어런스에 따른 결과 분석

파인블랭킹 공정 시 클리어런스 조건에 따른 파단면에 대한 분석을 수행하였다. Fig. 7은 압연소재에 대한 V 링 형상 및 64MPa 조건에서 클리어런스 조건에 따른 실험 결과이다. 분석결과 클리어런스의 크기가 작을수록 파단면의 크기가 작아지는 경향을 나타내었다. 이는 펀치와 다이의 모서리에 인접한 소재에서 발생하는 크랙의 방향성이 일치하지 않아 파단면이 크게 생성되는 것으로 판단되었다.

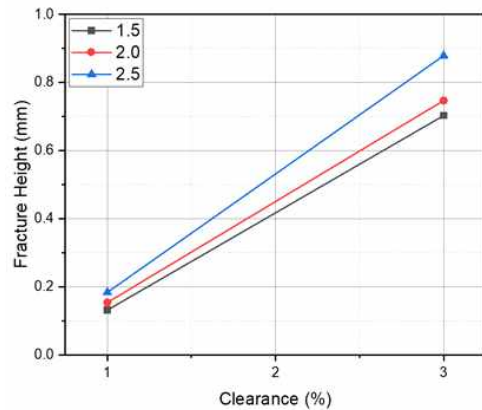


Fig. 7 Analysis result of fracture according to Clearance (V, 64MPa, Rolling)

### 3.5. 전단 속도에 따른 결과 분석

파인블랭킹 공정 시 전단 속도 조건에 따른 파단면의 크기에 대한 분석을 수행하였다. Fig. 8은 압연 소재에 대해 V 링 형상 조건에서 전단 속도 조건에 따른 실험 결과이다. 5m/min 과 10m/min의 조건에서는 파단면의 크기가 큰차이를 나타내지 않았으며 15m/min에서 급격히 증가하는 것으로 분석되었다.

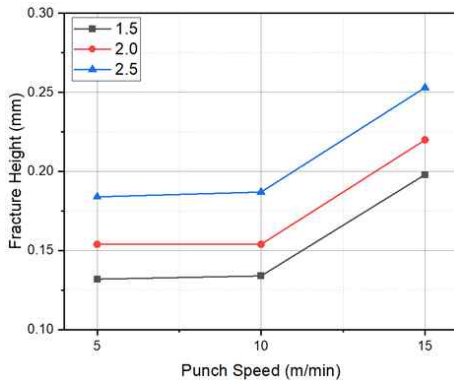


Fig. 8 Analysis result of fracture according to Punch Speed (Rolling, V Type)

### 3.6. 소재의 기계적 특성에 따른 결과 분석

파인블랭킹 공정 시 소재의 압연 공정 유무에 따른 파단면의 크기에 대한 분석을 수행하였다. Fig. 9는 V 형상 및 140MPa 조건에서 압연 공정 유무에 따른 파단면 높이 분석 결과이다. 분석 결과 압연 공정을 수행한 소재 보다 비압연 소재에서 작은 파단면이 생성되는 것으로 분석되었다.

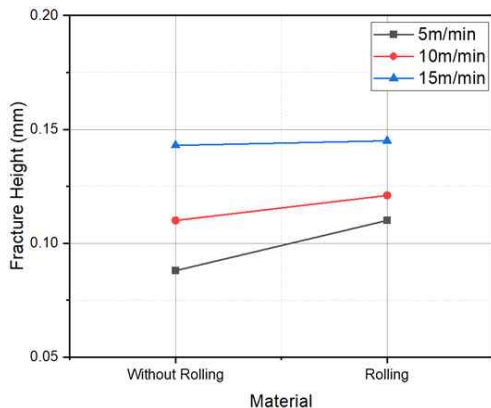


Fig. 9 Analysis result of fracture according to Material Conditions (140MPa, V Type)

### 3.7. 요인분석법을 이용한 실험 결과 분석

파인블랭킹 공정 시 파단면을 최소화하기 위한 공정 요인에 대한 분석을 수행하였다. 분석은 실험 계획법 중 요인분석법을 사용하였으며 요인에 대한 특성치는 파단면의 높이로 선정하였다.

Fig. 10은 공정 조건에 따른 특성치에 대한 요인 분석 결과이다. F-Value는 인자와 특성치 사이의 영향도를 나타내는 값으로 값이 클수록 영향도가 높은 인자이며 P-Value는 F-Value에 대한 유의 확률 값으로 0.05를 기준으로 이하이면 유의하다고 판단하며 작을수록 유의하다. 따라서 모든 개별 인자에 대한 유의 확률 값이 0에 근사하므로 파단면의 생성에 영향을 주는 인자로서 유의하다고 분석 할 수 있다. 또한 Model Summary 값의 R-sq 값이 99.72%로 매우 높게 분석되어 본 실험에서 설계한 실험계획이 잘 설계되었음을 알 수 있다.

파단면에 대한 영향도가 가장 높은 인자는 클리어런스로 F-Value 값이 36519.4로 가장 크게 분석되었으며 펀치로부터 V-링의 거리가 377.4로 두 번째로 유의한 인자인 것으로 분석되었다. V-링의 가압 조건이 311.7로 세 번째로 유의한 인자인 것으로 분석되었으며 펀치 이송 속도와 V-링 형상 조건이 네 번째와 다섯 번째로 유의 인자인 것으로 분석되었다. 가장 낮은 유의 인자는 소재의 압연 유, 무에 따른 재질 인자인 것으로 분석되었다.

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj. SS	Adj. MS	F-Value	P-Value
Model	34	13.0291	0.3832	1122.76	0.000
Linear	8	12.3235	1.5404	4733.05	0.000
Material	1	0.0062	0.0062	18.21	0.000
Clearance	1	12.4644	12.4644	36519.43	0.000
Pressure	1	0.1064	0.1064	311.70	0.000
Punch Speed	2	0.0626	0.0313	91.72	0.000
Distance of Punch	2	0.2577	0.1288	377.45	0.000
V Ring Type	1	0.0262	0.0262	76.73	0.000
2-Way Interactions	25	0.1057	0.0041	11.91	0.000
Material*Clearance	1	0.0014	0.0014	4.08	0.046
Material*Pressure	1	0.0018	0.0018	5.42	0.022
Material*Punch Speed	2	0.0005	0.0003	0.76	0.472
Material*Distance of Punch	2	0.0006	0.0003	0.85	0.432
Material*V Ring Type	1	0.0000	0.0000	0.09	0.760
Clearance*Pressure	1	0.0362	0.0362	106.14	0.000
Clearance*Punch Speed	2	0.0023	0.0012	3.44	0.036
Clearance*Distance of Punch	2	0.0414	0.0207	60.71	0.000
Clearance*V Ring Type	1	0.0073	0.0073	21.33	0.000
Pressure*Punch Speed	2	0.0006	0.0003	0.88	0.418
Pressure*Distance of Punch	2	0.0062	0.0031	9.13	0.000
Pressure*V Ring Type	1	0.0002	0.0002	0.69	0.408
Punch Speed*Distance of Punch	4	0.0016	0.0004	1.16	0.331
Punch Speed*V Ring Type	2	0.0004	0.0002	0.64	0.532
Distance of Punch*V Ring Type	2	0.0049	0.0025	7.18	0.001
Error	109	0.0372	0.0003		
Total	143	13.0663			

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0184746	99.72%	99.63%	99.50%

Fig. 10 nalysis of Variance

Fig. 11은 파단면에 대한 주요 인자들의 영향도에 대한 분석 결과이다. 그래프의 기울기는 영향도의 크기를 말하며 기울기가 클수록 영향도가 높은 요

인이다. 또한 기울기가 0에 가까울수록 인자의 수준에 따른 특성치에 대해 영향이 없음을 말하며 기울기가 꺾였을 경우 최적 값이 존재하는 요인이다.

가장 큰 기울기는 클리어런스 요인이며 기울기가 가장 작은 요인은 소재의 압연 유무에 따른 인자 조건인 것으로 분석되었다.

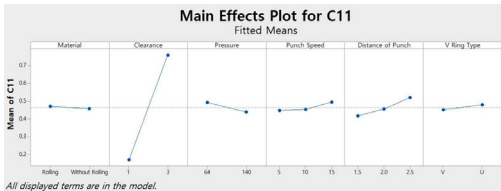


Fig. 11 analysis of Variance

위의 요인 분석 결과를 바탕으로 선정된 공정 조건에서 최소 파단면이 발생하는 조건은 1%의 클리어런스, 5 m/min의 전단 속도, 1.5 mm의 V-링과 펀치와의 거리, 140MPa의 V-링의 가압력, V형상 및 비압연 강판 조건에서 가장 작은 파단면이 생성되는 것으로 분석되었다.

Fig. 12는 위의 공정 조건의 제품의 절단면에 생성된 파단면의 높이 측정 결과이며 0.0879mm의 작은 파단면 높이가 생성된 것을 확인 할 수 있다.

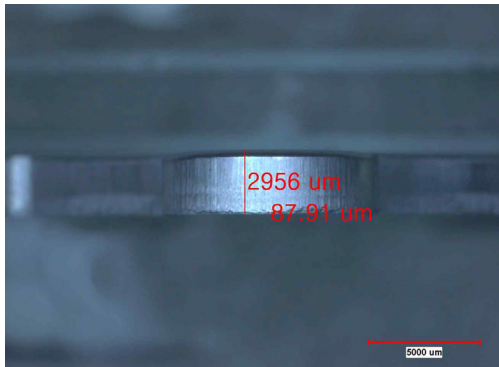


Fig. 11 Comparison of fracture height according to Material Conditions (5m/min, 1.5mm, V, 1%, 140MPa)

#### 4. 결론

본 연구에서는 파인블랭킹 공정 시 발생하는 파단면의 최소화에 대한 연구를 수행하였다. 특히 공정 조건에 대한 요인 분석을 통해 파단면 생성에 영

향을 주는 요인에 대한 분석을 수행하였으며 선정된 요인에 대한 수준에서 파단면이 최소화되는 공정 조건을 도출하였다.

본 연구를 통해 파인블랭킹 공정 시 파단면 생성에 가장 큰 영향을 주는 인자는 클리어런스이며 펀치와의 거리 조건, V-링의 가압 조건, 펀치 이송속도, V-링의 형상 및 소재의 압연 유무 조건의 인자 순서대로 파인 블랭킹 전단 시 파단면의 높이를 최소화 하고 유효전단면을 크게 하는데 주요 인자로서 작용하고 있음을 확인하였다.

#### 참고문헌

- 1) S.H. Kim, "Defects and countermeasures of press mold", Daekwang Books. pp. 467-499, 2003.
- 2) X.C. Zhuang, W. Zhang, Y.L. Wu, Z. Zhao "Comprehensive prediction method for die-roll height of fine-blanking components", Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol.98, pp. 2819-2829 2018.
- 3) Lange K, Birzer F, Hofel P, Mukhoty A, Singer H. "Cold forming and fineblanking", Edelmetallwerke Buderus AG. Feintool AG Lyss, pp. 141-51, 1997.
- 4) T. Nakagawa "Fine blanking", The Nikkan Kogyo Shinbun, Ltd., Tokyo 1998.
- 5) Jong-Deok Kim, "An experimental study on the effect of V-ring position and die chamfer shape on the die roll height in fine blanking tool", Journal of the Korea Academia-Industrial, cooperation Society, Vol. 13, No. 5, pp. 2009-2014, 2012.
- 6) Q.D. Zheng, X.C. Zhuang, Z. Zhao "State-of-the-art and future challenge in fine-blanking technology", Prod. Eng., Vol.13, pp. 61-70, 2019
- 7) Jong-Deok Kim, "An experimental study on the effect of V-ring position and die chamfer shape on the die roll height in fine blanking tool", Journal of the Korea Academia-Industrial, cooperation Society, Vol. 13, No. 5, pp. 2009-2014, 2012
- 8) J.D. Kim, H.K. Kim "A study on the effect of V-ring position on the die roll height in fine blanking for special automobile seat recliner gear, Trans Tech Publications", Appl. Mech. Mater., Vol.383 - 390, pp. 7122-7127, 2012.
- 9) XC Zhuang , W. Zhang , YL Wu , Z. Zhao "Comprehensive prediction method for die-roll height of fine-blanking components", The

- International Journal of Advanced Manufacturing Technology Vol.98, pp. 2819 - 2829, 2018.
- 10) YC Leung , LC Chan , CH Cheng , TC Lee “The effects of tool geometry change on shearing edge finish in fine-blanking of different materials”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol.217 pp. 1057-1062, 2003.
  - 11) T.S. Kwak, Y.J. Kim “Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine blanking”, J. Mater. Process. Technol., 130, pp. 462-468, 2002,
  - 12) N. Hatanaka, K. Yamaguchi “Finite element simulation of the shearing mechanism in the blanking of sheet metal”, J. Mater. Process. Technol., 139, pp. 64-70, 2003.
  - 13) W.F. Fan, J.H. Li “An investigation on the damage of AISI-1045 and AISI-1025 steels in fine-blanking with negative clearance”, Mater. Sci. Eng. A, Vol.499, pp. 248-251, 2009.
  - 14) S Kurra, S Bade, P Kumar G “Analysis of fine blanking process through finite element simulations”, Advances in Materials and Processing Technologies, Vol.6, 2020.
  - 15) J.H Kim, J.G Ryu, C.S Choi, W.J Chung “Development of fine blanking die with fluid chamber and its application to production of

circular blanks in a hydraulic press”, Korean Soc. Precis. Eng., Vol 13(5), pp. 157-163, 1996.

## 저자 소개

### 이 범 순(Beom-Soon Lee) [정회원]



- 2019년 08월 : 공주대학교 기계공학과 (공학박사수료)
- 1988년 06월~2021년 03월 : 원진정밀, 대표
- 2001년 08월~현재: 경기과학기술대 금형과 겸임교수
- 2001년 6월 : 금형기술사

< 관심분야 >  
프레스금형 및 금형, 유동해석

### 김 옥 환(Ok-Hwan Kim) [정회원]



- 1996년 03월 :연세대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 03월~현재: 공주대학교 기계공학과, 교수

< 관심분야 >  
프레스금형 및 금형, 유동해석