

# 실험계획법 및 유한요소해석에 의한 고정도 자동차시트부품의 공정설계 Process Design of High Precision Automotive Seat Component by Design of Experiment and Finite Element Analysis

\*최흥석<sup>1</sup>, #김병민<sup>2</sup>, 고대철<sup>2</sup>, 장명진<sup>3</sup>, 김동환<sup>4</sup>

\*H. S. Choi<sup>1</sup>, #B. M. Kim(bmkim@pusan.ac.kr)<sup>2</sup>, D. C. Ko<sup>2</sup>, M. J. Chang<sup>3</sup>, D. H. Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 정밀가공시스템공학, <sup>2</sup>부산대학교 기계공학부, <sup>3</sup>(주) DAS 금형팀, <sup>4</sup>한국국제대학교 기계자동차공학부

Key words : Design of Experiment, Finite Element Analysis, Flow Control Forming, Plate holder

## 1. 서론

1923년 스위스에서 개발된 파인블랭킹 공법은 한번의 전단 공정으로 소재 두께 전체에 걸쳐 깨끗한 전단면을 얻을 수 있는 프레스 가공 기술이다. 따라서 전단 가공 시 발생하는 파단면과 버를 제거하기 위한 후공정을 생략할 수 있으며 높은 치수정밀도가 요구되는 자동차 시트, 사무기기 부품 등에 주로 적용되고 있다.<sup>1</sup>

그러나 파인블랭킹은 적정 클리어런스 유지 및 부가하중의 정확한 제어를 위하여 고가의 전용 유압프레스를 사용하기 때문에 초기 설비가 비싸고, 유압에 의한 낮은 SPM에 따라 생산성도 일반 전단가공에 비해 현저히 떨어지는 편이다. 따라서 범용으로 쓰이는 기계식 프레스에서 전용 파인블랭킹 설비로 제조되는 제품을 생산하기 위한 연구가 진행되고 있으며 현장에서 제품의 가격경쟁력 측면에서 필수적이다.

일반프레스에서 파인블랭킹 제품을 제조하기 위한 연구는 1970년대 일본에서부터 진행되었으며 국내에서는 Kim 등이 일반 프레스에서 파인블랭킹을 할 수 있는 가공 방식에 대한 연구를 수행하였다.<sup>2</sup> 최근에 들어서는 Hayashi 등이 프로그래시브 파인블랭킹 금형을 이용한 제품의 제조공정 기술에 관한 연구를 발표하였다.<sup>3</sup>

본 연구에서는 펀치, 스트리퍼, 카운터펀치 등에 의해 구현되는 파인블랭킹 성형 메커니즘을 일반프레스에서 구현하고, 프로그래시브 금형을 이용한 유동제어공법을 통하여 고정도의 자동차 시트 조립체인 리클라이너의 주요부품인 플레이트 홀더를 제작하고자 한다.

플레이트 홀더 제작에 앞서 유한요소해석을 수행하였으며 클리어런스, 스트리퍼 하중, 카운터 하중 등에 대한 영향도를 실험계획법으로 평가하여 최적의 공정변수를 선정하였다. 한편, 실험계획법 및 유한요소해석으로 얻은 최적 공정조건을 가지고 제품을 제작하였으며 기존에 전용 파인블랭킹 설비로 제조된 플레이트 홀더와의 치수 정도 비교를 통하여 공정의 합리성을 검증해보았다.

## 2. 플레이트 홀더

Fig. 1에 자동차 시트부품인 리클라이너 조립체 및 플레이트 홀더의 주요 치수를 나타내었다. 리클라이너는 운전자가 자동차 시트를 조정할 때, 등받이 각도 조절 및 고정의 역할을 수행함으로써 운전자의 안전성과 감성에 중요한 역할을 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 플레이트 홀더는 리클라이너의 기능에 있어 중대한 영향을 미치는 부품으로서 피어싱, 엠보싱 및 블랭킹 공정으로 제조되며 소재는 두께 4mm의 SNCM220( $\sigma = 770\text{e}^{0.15}$ )이다.

## 3. 실험계획법 및 유한요소해석을 통한 공정설계

일반프레스에서 플레이트 홀더를 제조하기 위한 주요 공정으로서는 엠보싱과 외곽 블랭킹을 동시에 성형하는 공정과 최종 트리밍 공정이다. Fig. 2에 공정 레이아웃을 간략히 나타내었다. 엠보싱 및 하프블랭킹 동시 성형 공정에서는 클리어런스, 카운터하중, 패드 하중 등 고려할 변수와 인자가 많기 때문에, 최적의 공정조건을 선정하기 위한 효과적인 방법으로서 직교배열표에

의한 실험계획법이 적용되었다.

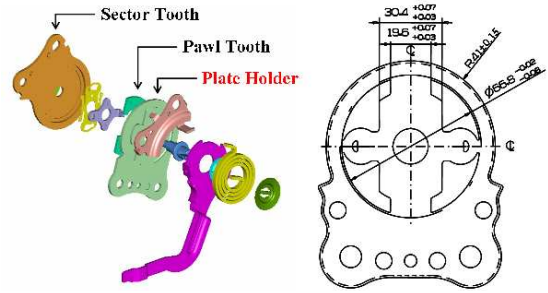
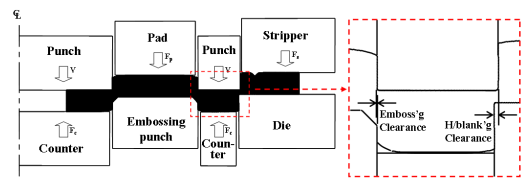


Fig. 1 Recliner assembly and dimension of plate holder

### Embossing and half blanking process



### Trimming process

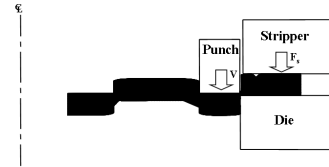


Fig. 2 Schematic drawing of process layout

Table 1에 실험계획법 및 유한요소해석을 위한 설계변수를 나타내었다. 설계변수로는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 플레이트 홀더의 엠보싱부 및 외곽부의 유효전단면에 가장 영향을 많이 미칠 것으로 판단되는 클리어런스와 패드하중, 카운터하중이며 각각 3수준으로서 현장에서 가용할 수 있는 범위로 선정하였다. 또한 목적함수로는 용이한 분석과 정확한 결과를 도출하기 위하여 엠보싱부 및 외곽부의 유효전단면과 롤오버의 비로 선정하였으며, 이 값이 클수록 제품 기능에 유효하다.

Table 1 Process parameters with their values at three levels

Process parameter	Level		
	1	2	3
A $C_{\text{embossing}}$	-2	0	2
B $C_{\text{h/blank'g}}$	-4	-2	0
C $F_{\text{pad}}$	5	10	15
D $F_{\text{counter}}$	5	10	15

Table 2에 설계변수에 의해 작성된 직교배열표 및 유한요소해석 결과를 나타내었다. 목적함수는 앞서 설명한 바와 같이 엠보싱부 및 외곽부의 전단면과 롤오버의 비(B/R)이다.

두 가지 목적함수에 미치는 각 설계변수의 영향을 알기 위하여, Table 3에 각 설계변수의 수준에 따른 각 목적함수의 변화를 보여주는 평균(Average) 분석 결과를 나타내었으며, Fig. 3에 그래프로 나타내었다. Table 3과 Fig. 3에서 알 수 있듯이 엠보싱부의 목적함수에 가장 영향도가 큰 인자는 엠보싱부의 클리어런

Table 2 FE-analysis data of objective function for OA table -  $L_9(3^4)$

FEA No.	Parameters and their levels				B/R	
	A	B	C	D	Emboss'g region	H/blank'g region
1	1	1	1	1	4.363361	9.563562
2	1	2	2	2	4.599427	9.860426
3	1	3	3	3	4.879294	7.597131
4	2	1	2	3	4.292342	12.21324
5	2	2	3	1	4.423732	9.143199
6	2	3	1	2	4.112538	5.348615
7	3	1	3	2	4.11231	10.88556
8	3	2	1	3	3.538628	11.4834
9	3	3	2	1	3.762981	4.980036

스이며 두 번째로는 패드 하중이다. 엠보싱부의 목적함수 즉, 전단면과 롤오버의 비를 증대시키기 위해서는  $A_1$  수준,  $C_3$  수준을 채택하는 것이 유효하다고 할 수 있다. 한편, 하프블랭킹부의 클리어런스와 카운터 하중은 엠보싱부의 목적함수에 큰 영향을 주지 않는다. 반면, 외곽부의 목적함수는 하프블랭킹부의 클리어런스에 가장 영향을 많이 받고 있으며,  $B_2$  수준일 때 가장 큰 것을 알 수 있다. 또한 카운터하중은  $D_3$  수준에서 목적함수를 가장 높이고 있다.

Table 3 ANOVA table for objective function

Process parameters	Average values			F-value
	Level1	Level2	Level3	
<b>embossing region</b>				
C <sub>embossing</sub>	4.614027	4.276204	3.80464	8.51
C <sub>h/blanking</sub>	4.256004	4.187262	4.251604	0.02
F <sub>pad</sub>	4.004842	4.21825	4.471779	0.97
F <sub>counter</sub>	4.183358	4.274758	4.236755	0.03
<b>outer region</b>				
C <sub>embossing</sub>	9.00704	8.901685	9.116334	0.00
C <sub>h/blanking</sub>	10.88746	10.16234	5.975261	12.17
F <sub>pad</sub>	8.798526	9.017901	9.208632	0.01
F <sub>counter</sub>	7.895599	8.698202	10.43126	0.71

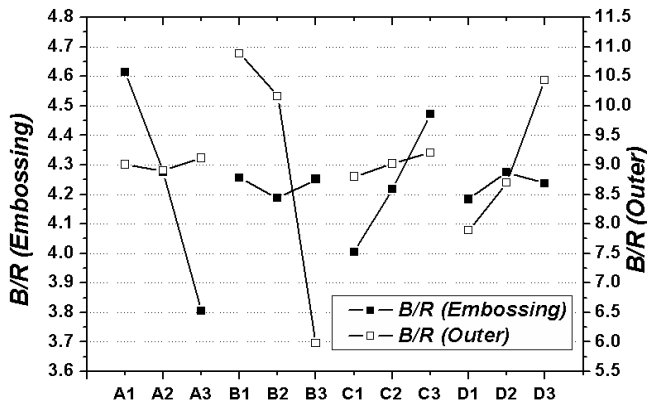


Fig. 3 Effects of process parameters on objective function B/R

이렇게 실험계획법과 유한요소해석으로 분석된 결과는 각 설계변수가 목적함수에 미치는 영향도를 평가할 수는 있지만 최적의 설계변수조합을 찾아내기에는 무리가 있다. 따라서 각 목적함수에 영향도가 가장 큰 엠보싱부 클리어런스 및 하프블랭킹부 클리어런스는  $A_1$ ,  $B_1$  수준으로 고정시킨 후, 나머지 설계변수의 조합이 최적의 공정변수인지를 파악하기 위해 몇 번의 유한요소해석을 추가적으로 수행하여 Fig. 4에 나타내었다. 카운터하중이 커질수록 목적함수 값이 증가하는 경향을 보이고 있으며 10ton의 패드하중에서 외곽부의 목적함수가 가장 높았다. 그러나 그 때의 엠보싱부의 목적함수 값은 약 4.85정도의 낮은 값을 가짐으로써 최적의 조합이라고 보기 어렵다. 반면 15ton의 패드하중 및 카운터하중에서는 엠보싱부 및 외곽부의 목적함수가 모두 높은 값을 가짐으로써 본 연구의 엠보싱 및 하프블랭킹 동시 성형 공정에서 최적의 설계변수 조합으로 선정할 수 있다.

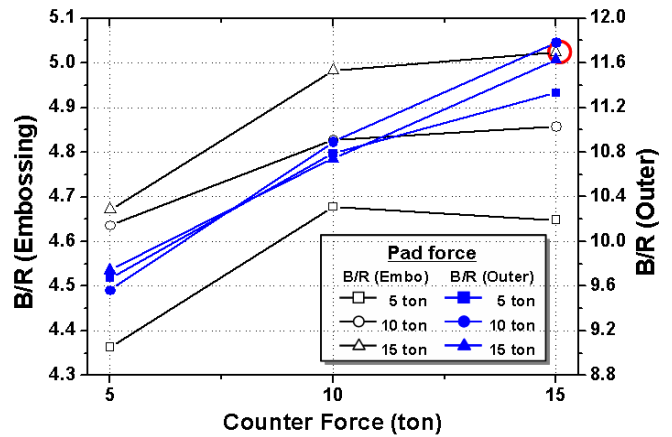


Fig. 4 Plotted results by additional FE-analysis data

Fig. 5에 실험계획법과 유한요소해석에 의해 선정된 최적의 설계변수 조합인  $A_1B_1C_3D_3$  조건 및 2%의 클리어런스 조건으로 트리밍 한 후의 제품 형상을 전용 설비에 의한 플레이트 홀더와 비교하여 나타내었다. 전용 설비에 의한 제품에 비해 외곽부에 약간의 버가 발생하였지만 제품 기능 상 문제가 없도록 제어하였으므로 후가공 공정이 요구되지 않았다. 또한 실험계획법 및 유한요소해석에 의한 결과값이 실제 제품과 비교하였을 때 거의 유사함을 알 수 있었으며 측정된 치수 정도 또한 전용 설비에 의한 플레이트 홀더와 견주어 거의 동등한 수준임을 확인하였다.

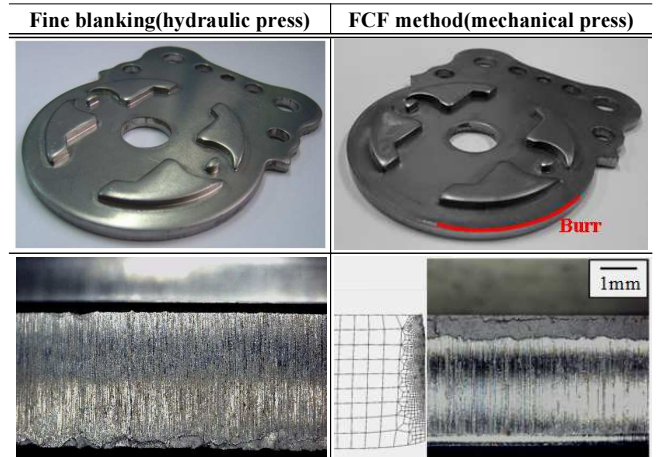


Fig. 5 Comparison of plate holders manufactured by hydraulic fine blanking press and FCF method

#### 4. 결론

본 연구에서는 고정도 자동차 시트부품인 플레이트 홀더를 일반프레스에서 제조하는 데에 있어 치수정도를 좌우하는 엠보싱 및 하프블랭킹 공정에 대하여 실험계획법 및 유한요소해석을 통하여 최적의 설계변수 조합을 찾아내었다. 제품 제조 결과, 전용 설비에서의 플레이트 홀더와 거의 유사한 치수정도를 얻을 수 있었으며 전단면 또한 양호하게 나타났다.

#### 후기

추후 입력

#### 참고문헌

1. 류병렬, "파인블랭킹 금형," 성안당, 1-4, 1994.
2. Kim, M. C., "Development of Fine Blanking Technology," Ministry of Science and Technology, 1987.
3. Hayashi, K, "Technology of Fine Blanking and FCF," JSTP, 551, 8-11, 2006.