

## 곡률을 가진 판재의 편평도 개선을 위한 인자 연구

우동욱<sup>1</sup>, 김지영<sup>1</sup>, 김정현<sup>1</sup>, 이상욱<sup>#</sup>

### A Study on the Enhancement of Flatness for the Metal Sheet with Curvature

D. U. Woo, J. Y. Kim, J. H. Kim, S. W. Lee

#### Abstract

The focus of this study is on the enhancement of flatness for the shielded slot plate, one of main components of the MCFC stack. The shielded slot plate is to get curvature during manufacturing process since it is produced by forming operation from only one side of it. Therefore, a correction die is proposed to place just after the main die to apply unbending on the curved plate to get almost flat product. In the design for the correction die, four kinds of design factors are selected to study which factor is the most influencing one affecting the flatness of the plate. From the experimental results using Taguchi method, it has been revealed that the Young's modulus of urethane die is the most critical factor.

**Key Words** : Metal Sheet with Curvature, Taguchi Method, Flatness, MCFC

#### 1. 서론

금속재료를 사용하여 원하는 형상을 제작하는 방법 중 판재 성형가공은 소성가공에서 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 소성가공법은 대량생산을 위해 프레스가공이 많이 사용된다. 프레스가공은 냉간 가공 공정의 하나로 일정한 형상을 가진 상판과 하판의 조합으로 제품을 눌러 가공한다. 형상을 가진 판재는 스프링백 효과(springback effect) 때문에 초기의 편평도를 유지하지 못하고 곡률을 갖는다.[1] 이렇게 곡률을 갖게 된 판재는 생산성 저하와 함께 가공의 정확도를 떨어뜨리는 원인이 되므로 편평도 개선은 중요한 과제가 된다.

본 논문의 연구대상은 용융탄산염 연료전지의 핵심부품이라 할 수 있는 쉴드슬롯판이다. 용융탄산염 연료전지(Molten Carbonate Fuel Cell)는 무공해 발전이 가능한 시스템으로 친환경적 발전

장치로 부각되어 상용화를 목표로 개발 중에 있다. 쉴드슬롯판을 제작하기 위한 쉴드슬롯 원판은 프레스가공으로 인하여 한 쪽 방향으로만 곡률을 가지게 되는데, 이 때 발생한 곡률은 다음 공정인 레이저 용접 시에 확실한 고정이 되지 않아 수작업으로 쉴드슬롯판을 고정시킨 후 작업해야 하는 문제점이 발생한다. 이는 차후 연료전지가 상용화되어 대량생산을 할 때에 큰 문제점으로 제기 될 수 있기에 편평도 개선을 위한 연구가 꼭 필요하다.

본 논문에서는 초기 곡률을 가진 쉴드슬롯판의 편평도를 개선하고자 한다.

이를 위해 쉴드슬롯 원판의 성형과 동시에 쉴드슬롯 원판에 역굽힘을 가하여 최종적으로 편평한 쉴드슬롯 원판을 얻고자 한다. 이 때 곡률을 가진 쉴드슬롯 원판의 편평도 개선에 영향을 주는 여러 인자들 중 적용 가능한 인자를 선정하여 편평도 개선을 위한 실험 장치 및 방법을

1. 순천향대학교 기계공학과

# 교신저자: 순천향대학교 기계공학과,

E-mail: swlee@sch.ac.kr

제안하고, 다구치법을 이용하여 이들 인자들을 분석하여 중요인자를 선정하였다.

## 2. 공정 인자의 선정

셴드슬롯 원판의 크기는  $1400 \times 800 \times 1.7$  (L  $\times$  W  $\times$  t)로 매우 커서 실험에 어려움이 있기에 만능시험기의 치구 크기를 고려하여 60 mm 폭을 가진 셴드슬롯 띠로 재가공하였다.

셴드슬롯 원판에는 셴드슬롯을 등간격의 일정한 피치만큼 진행시킬 수 있게 판재의 양 끝에 과일롯 홀이 9 mm 간격으로 가공된다. 이를 편평도 실험에 반영하기 위하여 한 단계에 9 mm 씩 셴드슬롯 띠가 진행할 수 있도록 하는 피더를 설계, 제작하였다.

피더의 몸체부는 시편이 롤러 사이로 수평으로 진입할 수 있게 하고, 롤러부에는 탄성과 마찰력이 우수한 우레탄으로 코팅된 롤러와 롤러의 축을 눌러주는 리턴 스프링을 사용하여 마찰력을 증대시켰다. 또 볼플랜지를 36° 간격인 10개의 홈에 적용시킴으로써 시편이 정확하게 1피치(9 mm) 씩 진행할 수 있게 설계하였다.

또한 셴드슬롯 띠가 가진 곡률의 반대방향으로 역굽힘 효과를 줄 수 있도록 곡률을 가진 등근 편치를 제작하였다. 이 때 다이는 탄성력이 우수한 우레탄 다이를 사용하였다. 우레탄 다이를 사용할 경우 편치가 가진 다양한 크기의 곡률 반경에 대응할 수 있을 뿐 아니라, 시편이 가진 형상에 영향을 주지 않고도 편치의 가압 깊이에 따라 유연하게 작용하는 등 여러 장점을 가지고 있다.

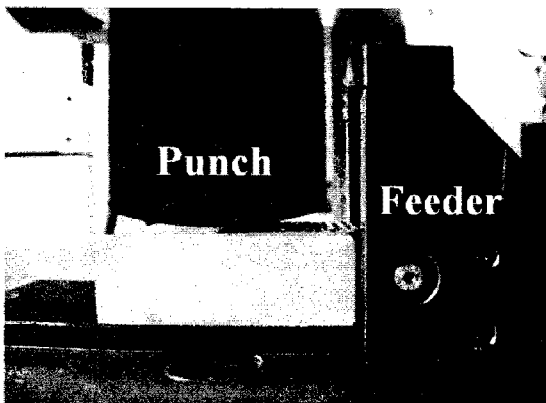


Fig. 1 Test set up for the experiment

실험계획법(design of experiment)은 실험 결과에

영향을 미치는 요인들을 조사하기 위하여 실험의 배치와 실시, 그리고 얻어진 데이터를 통계적 방법으로 분석하여 최소한의 노력과 비용으로 최대의 정보, 즉 최적의 실험조건을 찾아내는 기법이다.[2]

다구치법은 최적화 기법의 하나로써 실험 계획서를 작성하여 안정적이고 신뢰성이 높은 인자들의 조합을 찾아, 어떤 수준에 대해서나 다른 열의 전체 수준이 같은 횡수씩 나타나도록 구성되어 있는 직교배열표를 사용한다.[3]

이 논문에서는 교호작용이 없는 3수준계의 직교배열표 중  $L_9(3^4)$  형 직교배열표를 적용하여, 3수준(level)의 4가지 인자(factor)로 9번의 실험을 하였다. Table 1은 인자와 그에 따른 수준을 나타낸다.

Table 1 Factors and levels used in the experiment

Factors	Unit	Levels		
		1	2	3
A. Radius of Punch ( $r$ )	mm	60	140	950
B. Young's modulus of Urethane Die ( $E$ )	MPa	11.37	18.03	44.50
C. Forming Depth ( $\delta$ )	mm	1.0	1.5	2.0
D. Feeding Dist. ( $f$ )	mm	9	18	27

편평도 개선에 영향을 미치는 요인들 중 실제 작업장에서 적용이 가능한 인자들을 우선순위로 하여 편치의 곡률 반경, 우레탄 다이의 영율, 시편의 성형 깊이 및 피딩 거리를 인자로 선정하였다.

### 편치의 곡률 반경( $r$ )

곡률을 가진 편치의 곡률 반경은 예비실험을 거쳐 구해진 곡률 반경  $r_2 = 140$  mm를 기준으로,  $r_1$  과  $r_3$  는  $r_2$  에 대한 호의 길이  $S = 40$  mm에 의해  $1/2S$  및  $2S$  를 적용하여  $r_1 = 60$  mm,  $r_3 = 950$  mm로 수준을 선정하였다.

$$r_1 = 60 \text{ mm}, r_2 = 140 \text{ mm}, r_3 = 950 \text{ mm}$$

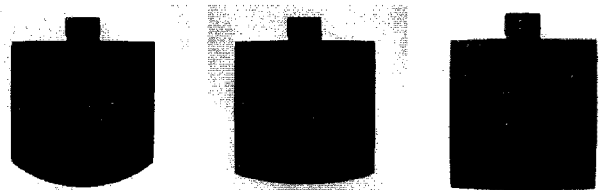


Fig. 2 Three kinds of round punches

### 우레탄 다이의 영율( $E$ )

시중에서 가장 보편적으로 쓰이는 통칭 경도 90과 그보다 연한 재질을 가진 경도 70 및 80을 수준으로 선정하고, 압축시험을 통해 각각의 우레탄 다이의 영율  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ 를 구하였다.

$$E_1=11.37 \text{ MPa}, E_2=18.03 \text{ MPa}, E_3=44.50 \text{ MPa}$$

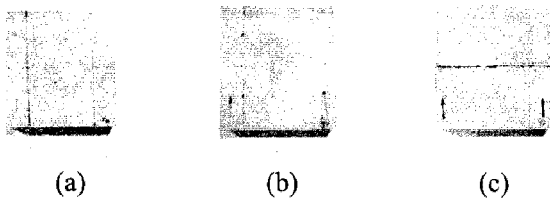


Fig. 3 Three kinds of urethane dies : hardness is (a) 70, (b) 80 and (c) 90

압축 시험편의 크기는 ASTM 규격에 있는 봉재 압축시험편(ASTM E-9)의 중주시험편을 적용하여  $d=30 \text{ mm}$ ,  $L=85 \text{ mm}$ 로 제작하고 압축시험을 실시하였다.

### 성형 깊이( $\delta$ )

예비 실험에서 나온 데이터인 성형 깊이  $\delta_2=1.5 \text{ mm}$ 를 기준으로  $\delta_1=1.0 \text{ mm}$ 와  $\delta_3=2.0 \text{ mm}$ 를 선정하였다. Fig. 4는 성형 깊이를 보여준다.

$$\delta_1=1.0 \text{ mm}, \delta_2=1.5 \text{ mm}, \delta_3=2.0 \text{ mm}$$

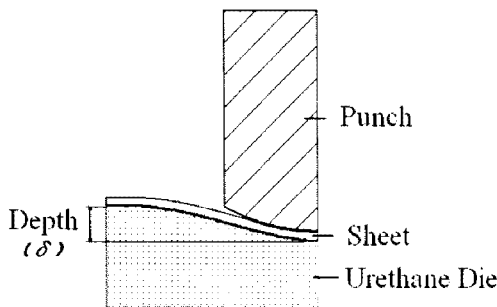


Fig. 4 Schematic drawing for the forming depth

### 피딩 거리( $f$ )

월드슬롯 원판의 파일롯 홀과 같은 간격으로 9

mm를 1피치로 하여 인자를 선정하였다.

$$f_1=9 \text{ mm}, f_2=18 \text{ mm}, f_3=27 \text{ mm}$$

### 3. 분석 결과 및 토의

실험 순서는 랜덤하게 9회 실시하였다. 시험편은 폭 60 mm, 길이 260 mm이며 시험편의 초기 곡률 반경은 520 mm이다. Fig. 5는 시험 9번의 편평도 개선 실험의 전, 후 모습이다.



Fig. 5 Comparison of flatness before and after experiment (case 9)

결과값은 초기 곡률 반경이  $\rho=520 \text{ mm}$ 인 시험편을 편평도 실험 후에 나타난 곡률 반경의 역수, 즉 곡률이며 0에 가까울수록 편평도가 개선되었다고 할 수 있다. 단, 실험 후 굽힘이 반대 방향으로 발생한 결과값은 음수(-)로 표현하였다.

Table 2 Orthogonal array table of  $L_9(3^4)$  and results of the experiment

Case No.	Factor				Results ( $1/\rho \times 10^3$ )
	A( $r$ )	B( $E$ )	C( $\delta$ )	D( $f$ )	
1	60	11.37	1.0	9	1.507727
2	60	18.09	1.5	18	0.452567
3	60	44.50	2.0	27	-2.358723
4	140	11.37	1.5	27	1.410020
5	140	18.03	2.0	9	1.769724
6	140	44.50	1.0	18	-1.971414
7	950	11.37	2.0	18	-0.214762
8	950	18.03	1.0	27	0.998442
9	950	44.50	1.5	9	-0.246246

각 인자를 평균치 분석한 결과 우레탄 다이의 영율이 가장 민감도가 크고, 펀치의 곡률 반경이 가장 민감도가 작게 나타났다. Fig. 6은 각 인자 별 민감도를 평균치 분석한 그래프를 나타낸다.

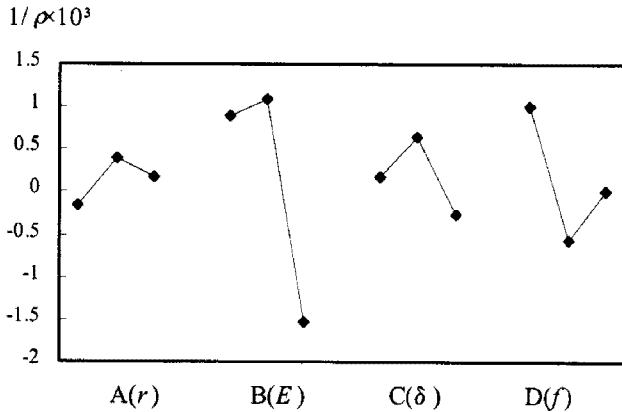


Fig. 6 The result of average analysis

평균치 분석을 하여 각 인자 별 민감도를 평가한 결과 가장 민감도가 작게 나타난 편치의 곡률 반경(인자A)을 error요인으로 간주하였다. Table 3는 분산 분석을 실시한 결과를 나타낸다.

Table 3 Result of analysis of variance (ANOVA)

Factor	Sum of Squares	DOF	Mean Square	F	Sig.
Model	17.637	6	2.939	13.074	0.073
B(E)	12.763	2	6.381	28.382	0.034
C( $\delta$ )	1.003	2	0.501	2.231	0.309
D(f)	3.871	2	1.936	8.610	0.104
Error	0.450	2	0.225		
Total	18.086	8			

실험데이터를 분산 분석한 결과 실험 모델이 전체 변동분의 97.52% ( $17.637 / 18.086 \times 100\%$ )를 표현하는 것으로 나타남으로서 모델이 매우 잘 설계되었음을 알 수 있다.

또한 우레탄 다이의 영율 > 피딩 거리 > 성형 깊이 > 편치의 곡률 반경의 순서로 편평도 개선

에 영향을 미치게 되며, 우레탄 다이의 영율이 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

샐드슬롯판이 성형 직후 곡률을 가지는 것은 한쪽 방향으로만 성형이 이루어지는 특성이 반영된 결과이다. 이 곡률은 금형의 정밀도를 높이는 등의 여러 방법으로 줄일 수는 있지만 완전히 없애지는 못한다. 곡률을 제거하기 위한 방법으로 성형과 역굽힘 공정을 동시에 진행하는 방안을 제안하였고, 편평도 개선에 영향을 주는 인자들 중 적용 가능한 인자를 선정하여 편평도 개선 실험을 하였다.

실험데이터를 산출 후 분석 결과 샐드슬롯판의 편평도 개선에 기여하는 인자들 중 우레탄 다이의 영율이 가장 큰 영향도를 가지는 인자임을 알 수 있었고, 이를 바탕으로 공정상의 역굽힘 금형을 제작하는데 중요한 자료로써 활용되기에 충분한 가치가 있다고 할 수 있다.

#### 후기

본 연구는 포항산업과학연구원(RIST)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] 곡률을 가진 판재의 편평도향상을 위한 연구, 심언태, 우동욱, 이경수, 김지영, 학사학위 논문, 순천향대학교, 2005
- [2] 최신 실험계획법, 박동규, 기전연구소, pp. 13~14, 1999
- [3] 알기 쉬운 다구찌기법, 이상복, 상조사, p. 15, pp. 20~21, 1990