

모바일 폰용 일체형 부품의 프로그레시브 성형공정 설계

장명진¹ · 김강현¹ · 이찬주¹ · 김병민¹ · 이선봉² · 고대철[#]

Progressive Process Design of Integrated Part for Mobile Phone

M. J. Chang, G. H. Kim, C. J. Lee, B. M. Kim, S. B. Lee, D. C. Ko

(Received October 29, 2010 / Revised December 27, 2010 / Accepted January 5, 2011)

Abstract

The purpose of this work is to develop of a press forming process for mobile phone battery cover as an alternative to the current manufacturing process by laser welding. This press forming process consists of a combination of bending, side pressing and side bending operations. The dimensional error for each process was investigated by finite element(FE) analysis and the Taguchi optimization method. The spreading of the cover width in the side pressing process was adjusted by modifying the blank shape with a notch. The over-bending method was adopted to compensate the spring-back which occurs after bending. Forming experiments were performed to verify the reliability of the developed press forming process. In addition, the strength of the product was evaluated to verify the suitability of the battery cover manufactured with this new press forming process. The results of the forming experiments indicate that the dimensional accuracy of the battery cover is within the required tolerance. The strength of the battery cover was evaluated to 547N which is larger than required strength of 400N.

Key Words : Progressive Press Forming, Mobile Phone, Springback, Optimization, Taguchi Method

1. 서 론

모바일 폰 배터리 커버는 플라스틱 사출을 통해 생산되고 있다. 이러한 플라스틱 배터리 커버는 외부의 충격에 대해 강도가 현저히 떨어지는 문제점이 있다. 이를 보완하기 위해 금속재인 마그네슘 합금 또는 스테인레스 소재를 이용하여 체결부 용접을 통한 배터리 커버가 개발 되었지만, 모바일 폰 본체와 배터리 커버의 탈부착시 체결부의 파손과 같은 문제점이 발생하고 있다[1].

또한 금속재 배터리 커버의 제작을 위해서는 프레스성형과 용접공정이 요구되며, 이는 공정의 복잡성과 더불어 생산단가 상승의 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 프레스성형만을 이용하여 배터리 커버를 제

조하기 위한 프로그레시브(progressive) 성형공정을 개발하였다.

프레스 성형된 제품은 강도적인 측면에서 신뢰성이 높고, 공정 수를 감소시킬 수 있기 때문에 최근 모바일 폰 부품의 생산에 프레스 성형공법의 적용이 증가하고 있다. Nam 등[2]은 두개의 프로그레시브 성형공정을 교차시키는 복합금형 기술을 활용하여 모바일 폰의 전자파 차단용 리드와 프레임(lead & frame)을 성형하여 조립강도를 만족시킬 수 있음 보여주었다. Kim 등[3, 4]은 플라스틱 사출과 프레스 성형공법으로 성형되는 LCD 보호용 베젤 프레임(bezel frame)을 헤밍(hemming) 공정을 응용하여 프레스 성형공법만으로 성형하여 제품의 강도를 크게 향상시켰다. 이러한 연구 결과들은 프레스 성형공법을 통해 신뢰성 높은

1. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템
2. 계명대학교 기계자동차공학부
교신저자: 부산대학교 ILIC, E-mail: dcko@pusan.ac.kr

모바일 폰 부품의 제조가 가능함을 잘 보여주고 있다.

일반적으로 얇은 박판을 사용하는 모바일 폰 부품의 경우, 프레스 성형 후 발생하는 스프링백에 의한 치수오차가 발생한다. Kim 등[5]에 의하면 성형공정 중 발생하는 스프링백을 완전히 제거하는 것은 불가능하기 때문에 금형설계시 스프링백을 고려한 성형공정 설계가 요구된다.

본 연구에서는 모바일 폰 배터리 커버의 프레스 성형공정에 대해 유한요소해석을 수행하여 각 공정에 대한 치수오차를 예측하고, 이를 보정할 수 있도록 다구치 방법(Taguchi method)을 이용하여 프로그레시브 프레스 성형공정을 설계하였다. 설계된 배터리 커버 프레스 성형공정의 유효성을 검증하기 위해 실제 금형을 제작하여 제품의 치수정밀도를 평가하였다. 또한 체결부 강도를 인장 시험을 통해 평가하여 프레스 성형공정을 통해 생산된 모바일 폰 배터리 커버의 제품 신뢰성을 검증하였다.

2. 배터리 커버 프레스 성형공정

금속재의 모바일 폰 배터리 커버는 Fig. 1(a)와 같이 체결부와 덮개 부분이 따로 가공되어 레이저 용접에 의해 결합되는 형태이다. 이러한 방법은 체결부의 강도가 낮으며, 용접시 발생하는 용접열로 인해 배터리 커버의 열변형이 발생하여 치수 정밀도가 떨어진다. 본 연구에서는 Fig. 1(b)에 나타난 것과 같이 배터리 커버의 체결부를 프로그레시브 프레스 성형공법으로 제작하고자 한다. 배터리 커버의 일체형 프레스 성형공정은 노칭공정, 굽힘공정 및 가압 공정들로 구성되어진다. Fig. 2는 배터리 커버 체결부의 성형공정 순서를 나타낸 것이다. 프로그레시브 성형공정의 경우, 각 공정의 치수정밀도가 이후 공정의 치수정밀도에 누적되어 나타나기 때문에 공정별 치수정밀도를 엄격하게 관리하여야 한다. 특히 굽힘공정의 경우, 탄성회복에 의한 치수오차가 주로 발생하기 때문에 이를 고려한 공정설계가 요구된다.

Fig. 2에 나타난 것과 같이 배터리 커버의 결합부는 두번의 굽힘공정에 의해 ‘ㄷ’자 형태로 성형된다. 90°굽힘공정에 발생하는 탄성회복에 대한 오차 및 배터리 커버의 외관 치수를 만족시키기 위해 사이드 캠 공정기술을 활용한 가압공정을 도입하였다. 가압 공정시 성형되는 체결부와 배터리

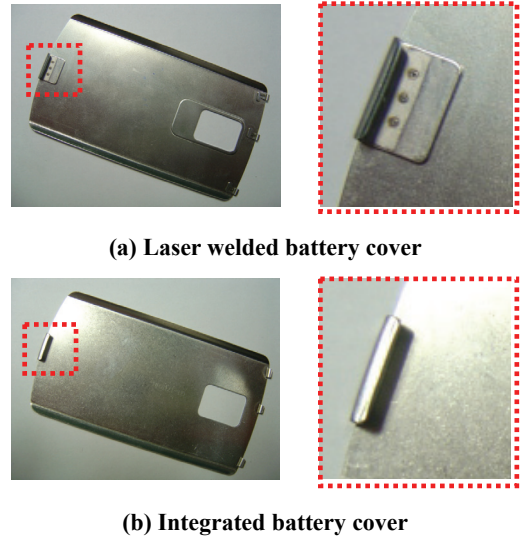


Fig. 1 Modification of battery cover structure

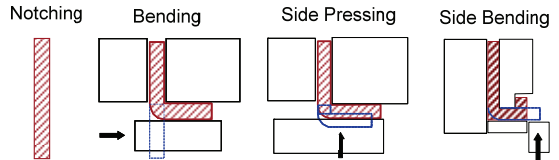


Fig. 2 Process of progressive press forming for manufacturing of battery cover

Table 1 Mechanical properties of STS304 1/2H

	0°	45°	90°
YS (MPa)	722.83	772.8	765.02
TS (MPa)	992.88	959.86	975.03
K (MPa)	2041.87	1840.81	1864.94
n	0.3598	0.3065	0.3034
r	0.4074	0.6101	0.7125

커버의 선단부가 정확히 일치하여야 한다. 사이드 굽힘 공정은 굽힘 및 가압 후의 소재를 사이드 캠 펀치를 통해 ‘ㄷ’자 형태로 굽힘 하는 공정이다. 이 때, 굽힘각도는 정확하게 90°가 되어야 하며, 이는 모바일 폰 본체와 배터리 커버와의 결합시 간섭이 발생하지 않게 하기 위함이다.

본 연구에서는 상용해석 소프트웨어인 DEFORM 3D를 활용하여 배터리 커버의 프레스 성형공정을 해석하였다. 피가공되는 소재이외에 바깥쪽의 이송여유분과 다른 순차가공되고 있는 블랭크는 성

형해석시 성형되는 소재에 영향을 주지 않는다고 가정하였다. 성형해석을 통해 공정변수들이 배터리 커버의 치수정밀도에 미치는 영향을 분석하여, 최적설계를 수행하였다. 배터리 커버 소재는 0.5mm 두께의 STS304 1/2H 를 사용하였다. 인장시험을 통해, STS304 1/2H 소재의 압연 방향 0°, 45°, 90°에 대한 항복강도(Y_s), 인장강도(T_s), 강도상수(K), 가공경화지수(n), 이방성계수(r)를 Table 1 에 나타내었다. 이 결과들은 성형 공정의 유한요소해석 시 STS304 1/2H 소재의 물성치로 사용하였다.

3. 체결부 90°굽힘공정 및 가압공정 설계

3.1 90°굽힘 공정변수 설정

배터리 커버의 90°굽힘공정과 가압공정에 대한 성형해석을 통해 공정설계를 수행하였다. Fig. 3(a)는 90°굽힘공정의 유한요소해석모델이며, Fig. 3(b)는 공정변수를 나타낸 것이다. 공정변수는 상부 금형의 곡률 반지름(Die Radius, DR), 펀치의 곡률 반지름(Punch Radius, PR) 그리고 굽힘선의 위치(Bending Point, BP)로 고려하였다. 굽힘 공정시 상부 금형의 곡률 반지름은 가압 공정 이후 단면 형상과 제품의 높이 치수에 영향을 미치고, 굽힘 펀치의 곡률 반지름은 90°굽힘시 굽힘 각도 및 소재 표면에 영향을 미친다. Fig. 4에 나타낸 것과 같이 굽힘된 성형부는 캠펀치에 의해 가압되며, 배터리 커버의 선단부와 일치할 때까지 성형된다. 이를 통해 90°굽힘공정 이후 발생하는 스프링백을 보정할 수 있다. 가압공정을 통해 굽힘선의 위치에 따라 가압공정시 캠펀치의 스트로크가 결정되기 때문에 체결부의 치수정밀도를 만족하기 위해서는 적절한 굽힘선의 위치를 결정하여야 한다.

본 연구에서는 선정된 공정변수들이 제품의 치수정밀도에 미치는 영향도를 다구치 방법을 활용하여 평가하였다. Table 2는 90°굽힘공정의 공정변수들의 각 수준을 나타낸 것이다. 상부 금형의 곡률 반지름인 DR은 실제 현장에서 적용되는 치수를 기준으로 하여 제품 높이 치수 공차를 만족하는 범위 내에서 다음과 같이 0.1mm, 0.3mm, 0.5mm로 선정하였고, 펀치 곡률 반지름 PR은 90° 굽힘시 펀치와 소재의 초기접촉에 의한 표면변형이 일어나지 않도록 하기 위해 반지름 0.8mm이상으로 설정하였다. 또한 곡률 반지름이 크게 되면 굽힘이 제대로 이루어지지 못하므로 반지름0.8mm 이상으로 1.0mm, 1.2mm로 설정하였다. 굽힘선 위

치 BP는 굽힘 공정 후 가압 공정시 최종 높이 치수 공차 범위 내에서 설정하였고, 최종 성형시 체결부와 배터리 커버의 선단부가 일치 되도록 하기 위해 0.47mm, 0.52mm, 0.57mm로 설정하였다.

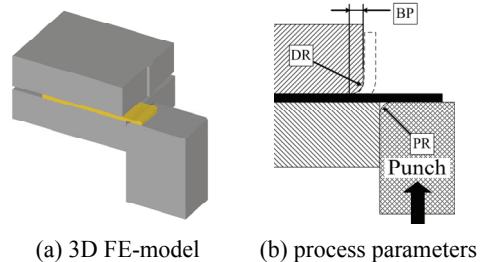


Fig. 3 90° bending process

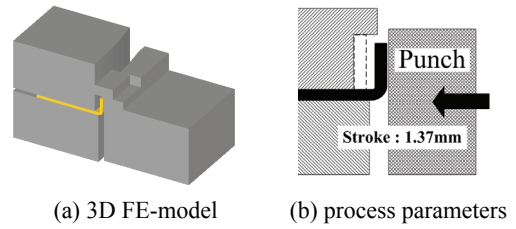


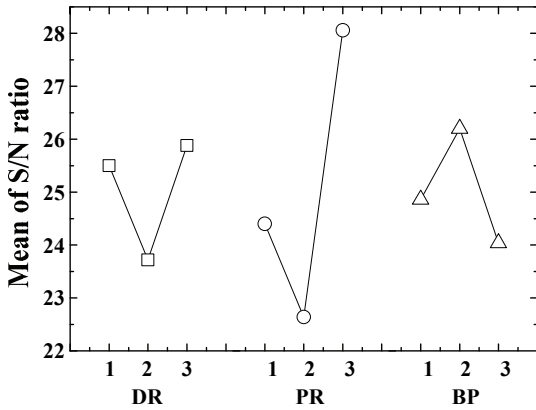
Fig. 4 Side pressing process

Table 2 Levels of design parameters in 90° bending

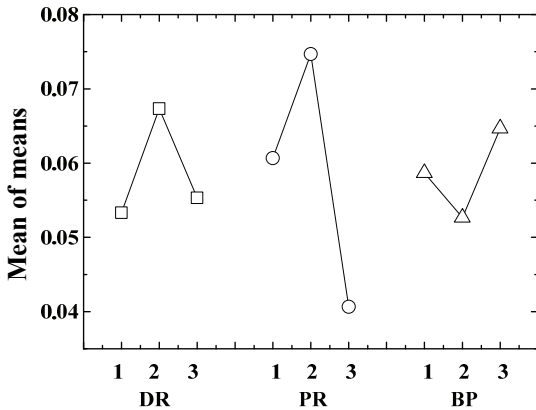
Levels	DR(mm)	PR(mm)	BP(mm)
1	0.1	0.8	0.47
2	0.3	1.0	0.52
3	0.5	1.2	0.57

Table 3 L_9 (3^3) orthogonal array table for 90° bending

case	DR (mm)	PR (mm)	BP (mm)	Error of upper width (mm)
1	0.1	0.8	0.47	0.052
2	0.1	1.0	0.52	0.060
3	0.1	1.2	0.57	0.048
4	0.3	0.8	0.52	0.070
5	0.3	1.0	0.57	0.086
6	0.3	1.2	0.47	0.046
7	0.5	0.8	0.57	0.060
8	0.5	1.0	0.47	0.078
9	0.5	1.2	0.52	0.028



(a) Main effect plot for S/N ratio



(b) Main effect plot for means

Fig. 5 Main effect plot of design parameters on the error of upper width in 90° bending process

3.2 90°굽힘 공정설계

90°굽힘공정을 설계하기 위해 공정변수들을 직교배열표에 배치하여 Table 3에 나타내었다. 9가지의 case에 대하여 DEFORM-3D를 이용한 성형해석을 수행하여, Table 3에 해석결과와 요구 폭 치수에 대한 상부 폭치수의 오차를 목적값으로 나타내었다. 직교배열표상의 해석결과를 바탕으로 공정변수가 체결부 폭에 미치는 영향도를 다구치 방법을 이용하여 망소특성에 대해 평가하였다. Fig. 5는 다구치 방법을 통해 평가된 각 공정변수들의 신호 대 잡음 비(Signal/Noise ratio, S/N ratio)에 대한 주영향도와 평균(Mean)에 대한 주영향도를 나타낸 것이다. 분석결과, 각 공정변수들은 목적값의 산포특성과 평균특성에 대해 동일한 영향으로

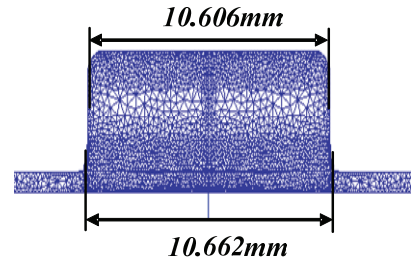


Fig. 6 Result of FE-analysis for 90° bending process

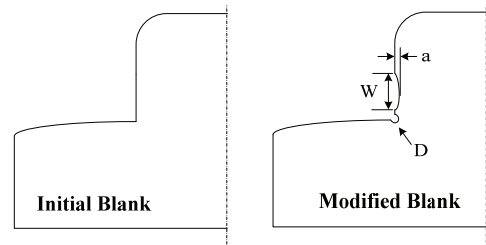


Fig. 7 Notch shape of modified blank

나타내고 있으며, 이는 공정변수의 수준선택에 있어 산포 및 평균을 줄이는 방향이 동일한 것을 의미한다. 다만 공정변수 DR의 경우, 산포특성에서는 3수준이 좋고 평균에서는 1수준이 좋게 나타났다. 따라서 2차 최적화를 위한 공정변수 조합 DR1, PR3, RP2에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 그 결과, 폭치수 오차는 0.041mm로 나타났으며, 이는 공정변수 조합 DR3, PR3, RP2의 폭치수 오차 0.028mm보다 큰 것으로 나타났다. 즉, 90°굽힘공정의 최적 공정변수는 DR=0.5, PR=1.2, BP=0.52로 나타났다.

도출된 최적 조건을 바탕으로 90°굽힘과 가압공정에 대해 성형해석을 수행한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 유한요소해석결과, 체결부의 상부 폭치수는 10.606mm로 나타났으며, 이는 치수공차 ±0.05mm를 만족하였다. 그러나, 하단의 폭치수는 가압공정시 체결부 하단에 성형이 집중되기 때문에 하부 소재의 폭 퍼짐에 의해 체결부 하부 폭치수는 10.662mm로 나타났으며, 치수공차 이상으로 나타났다. 이를 해결하기 위해서는 가압공정시 하부 소재의 폭퍼짐을 고려한 초기 블랭크 설계가 요구된다.

3.3 초기 블랭크 노치설계

체결부의 상부와 하부의 폭 치수의 편차를 저감하기 위해 초기 블랭크 형상을 재설계하였다.

Table 4 Dimensions of notch shape and result of FE-simulation with modified blank shape

case	D (mm)	W (mm)	a (mm)	Upper width (mm)	Lower width (mm)
1	0.2	1.2	0.06	10.712	10.788
2	0.3	1.2		10.638	10.784
3	0.4	1.2		10.624	10.756
4	0.2	1.5		10.614	10.650
5	0.3	1.5		10.616	10.664
6	0.4	1.5		10.692	10.718
7	0.2	1.8		10.648	10.668
8	0.3	1.8		10.626	10.746
9	0.4	1.8		10.626	10.748

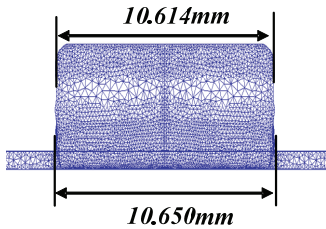


Fig. 8 Effect of notch shape on length of width

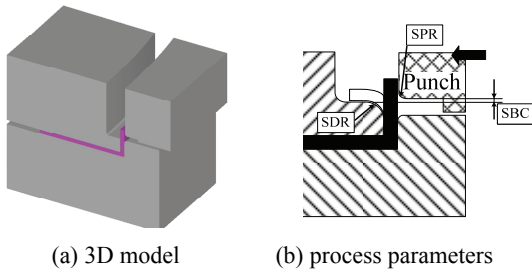


Fig. 9 Side-bending process

Table 5 Levels of design parameters in side-bending

Levels	SDR(mm)	SPR(mm)	SBC(mm)
1	0.1	0.3	0
2	0.3	0.4	3
3	0.5	0.5	5

Lee 등[9]에 의하면, 박관성형에서 굽힘 곡률반경이 작으면, 스프링백이 저감되는 효과를 얻을 수 있지만, 과도하게 작은 굽힘 곡률반경은 굽힘부의 소재가 부풀어오르는 현상이 발생한다. 또한 이러

Table 6 L_9 (3^3) orthogonal array table for side-bending

case	SDR (mm)	SPR (mm)	SBC (mm)	Spring-back (°)
1	0.1	0.3	0	2.012
2	0.1	0.4	3	3.441
3	0.1	0.5	5	5.218
4	0.3	0.3	3	3.437
5	0.3	0.4	5	5.108
6	0.3	0.5	0	3.782
7	0.5	0.3	5	4.946
8	0.5	0.4	0	3.698
9	0.5	0.5	3	6.186

한 현상은 굽힘부에 적절한 노치를 설계하여 방지할 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 7 과 같이 초기 블랭크 형상을 수정하였으며, Table 4 에 나타난 것과 같이 노치형상에 따른 상, 하단의 체결부 폭을 평가하였다. 수정된 블랭크 형상에 대해 90° 굽힘 및 가압공정 을 성형해석한 결과, case 4(D=0.2, W=1.5, a=0.06)에서 체결부 상단과 하단의 폭 치수가 요구공차 10.6±0.05mm 를 만족하는 것으로 나타났다. Fig. 8 은 case 4 에 대한 유한요소해석결과를 나타내었다. 초기 블랭크에 노치형상을 추가함으로써, 굽힘 후 가압공정시 소재의 유동을 노치 부분으로 유도함으로써 체결부 하단의 소재가 퍼지는 것을 방지함을 알 수 있다.

4. 체결부 사이드 굽힘공정 설계

4.1 사이드 굽힘 공정변수 설정

배터리 커버의 사이드 굽힘공정에 대한 성형해석을 수행하고, 해석결과를 바탕으로 사이드 굽힘공정을 설계하였다. Fig. 9(a)에 사이드 굽힘공정의 유한요소해석모델을 나타내었으며, Fig. 9(b)에 사이드 굽힘공정의 공정변수에 대해 나타내었다. 사이드 굽힘 금형 곡률 반지름 SDR(Side-bending die radius), 사이드 굽힘 펀치 곡률 반지름 SPR(Side-bending punch radius) 그리고 사이드 굽힘 펀치와 금형 간의 간극 SBC(Side-bending clearance)로 나타내었다. 사이드 굽힘 공정시 상부 금형의 곡률 반지름과 간극은 제품 최종 높이 치수와 굽힘 각도에 영향을 미친다. 그리고 사이드 굽힘 펀치 곡률 반지름은 90° 굽힘과 마찬가지로 제품 표면 형상

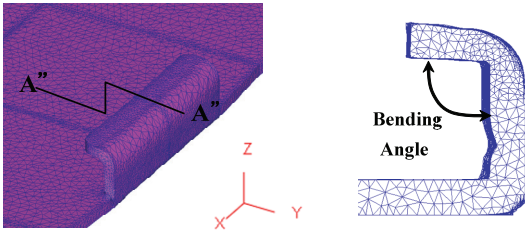
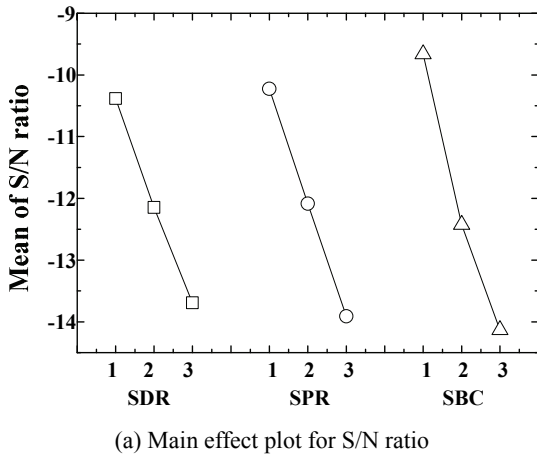
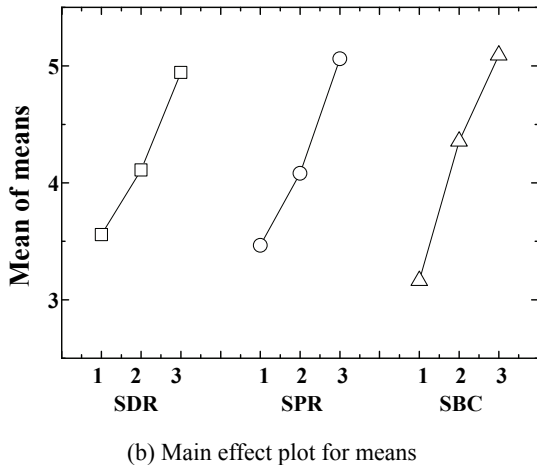


Fig.10 Result of FE-analysis for side-bending process



(a) Main effect plot for S/N ratio



(b) Main effect plot for means

Fig.11 Main effect plot of design parameters on the spring-back in side bending process

에 영향을 미치며 스프링 백에 영향을 미친다.

Table 5에 설정된 각 공정변수에 대한 수준을 현장 적용을 고려하여 나타내었다. 사이드 굽힘 상부 금형 곡률 반지름인 SDR은 스프링백이 적게 일

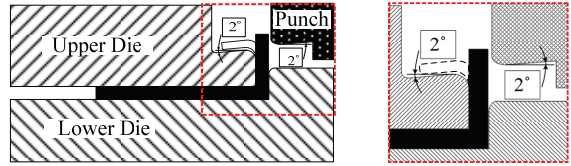


Fig.12 Modified upper die of side-bending process

어나도록 곡률 반경이 최소화 될 수 있는 범위 내에서 0.1mm, 0.3mm, 0.5mm 로 설정하였다. 그리고 사이드 굽힘 펀치 곡률 반지름 은 소재가 펀치에 쓸려 표면 형상에 변형이 일어나지 않는 범위 내에서 0.3mm, 0.4mm, 0.5mm 로 설정하였다.

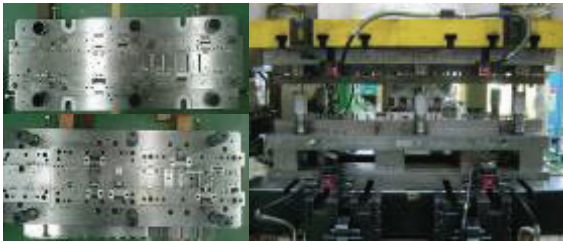
마지막으로 사이드 굽힘시 펀치와 금형간의 간극은 소재 두께에 대한 퍼센트로 나타냈으며, 최종 높이 치수 에 만족하는 범위 내에서 0, 3, 5 로 설정하였다.

4.2 사이드 굽힘 공정설계

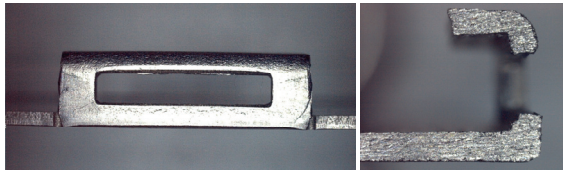
사이드 굽힘공정에 대한 최적설계를 위해 공정 변수들을 직교 배열표에 배치하여 Table 6 에 나타내었다. Fig. 10 에 나타낸 것과 같이 체결부의 사이드 굽힘공정 성형 후 A-A' 단면의 굽힘각에 대한 스프링백량을 측정하고, 이에 대한 공정변수들의 영향도를 다구치 방법을 이용하여 평가하였다.

Fig. 11은 다구치 방법을 통해 각 공정변수들의 신호 대 잡음 비에 대한 주영향도 및 평균에 대한 주영향도를 나타낸 것이다. 분석결과, 각 공정 변수들은 목적값의 산포특성과 평균특성에 대해 동일한 영향을 나타내었으며, 공정변수들의 선택 수준 역시 동일한 것으로 나타났다. 공정변수 SDR=0.1, SPR=0.3, SBC=0의 조합이 가장 스프링백량이 작게 평가되었으며, 그 결과는 2.012°와 같다. 이는 요구공차 90±1°를 만족하지 못하기 때문에, 이를 해결하기 위해서 스프링백 보정을 위한 사이드 굽힘 금형형상을 재설계하였다.

사이드 굽힘공정에서 발생한 스프링백을 보정하기 위해 본 연구에서는 사이드 굽힘시 상부 다이 다이를 경사지게 수정하여 과굽힘이 가능하게 하였다. 이 때, 상부다이의 경사각은 스프링백량을 고려하여 결정하였다. Fig. 12는 수정된 사이드 굽힘공정의 상부다이 형상치수를 나타낸 것이다. 수정된 사이드 굽힘공정에 대해 성형해석을 수행한 결과, 탄성회복 후의 체결부의 굽힘각은 90.181°를 나타내었다.



(a) progressive die set for press forming experiment



(b) battery cover formed by progressive press forming

Fig.13 Progressive die set and experimental result

Table 7 Dimensional accuracy of battery cover

Section	No.	Dimension
	1	10.569mm
	2	10.617mm
	3	89.938°

5. 일체형 배터리 커버 성형실험 및 평가

성형해석 및 다구치 방법을 활용하여 도출된 최적의 조건으로 일체형 배터리 커버의 금형을 제작하였다. Fig. 13은 일체형 배터리 커버의 성형을 위해 제작된 프로그레시브(Progressive) 금형의 모습을 나타낸 것이다. 소재가 이동되면서 노칭, 굽힘, 가압, 사이드 굽힘 공정을 거쳐 순차적으로 가공된다. 프로그레시브 금형을 이용하여 성형된 배터리 커버의 주요 치수를 Table 7에 나타내었다. 배터리 커버의 주요치수는 3차원 레이저형상측정기를 사용하여 측정하였다. 측정결과, 배터리 커버 체결부의 상단부는 10.589mm, 하단부는 10.627mm로 나타났고, 굽힘각은 89.94°를 나타내었다.

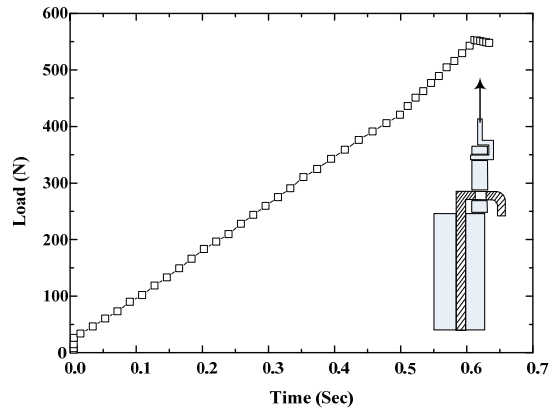


Fig.14 Tensile load curve of battery cover

최종 제품에서 일체화 성형된 체결부의 강도를 테스트 하기 위해 배터리 커버 제품을 지그에 고정시킨 후 1mm를 인장하여 최대하중값을 측정하였다. Fig. 14에 나타낸 것과 같이 체결부의 최대하중은 $546.4 \pm 9.914N$ 을 나타내었다. 체결부의 요구 최대하중인 400N이상을 만족하는 것으로 나타났다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 프레스 성형공정에 의해 제작된 배터리 커버의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 모바일 폰 배터리 커버의 일체화 성형을 위해 프로그레시브 프레스 성형공정을 설계하였다. 모바일 폰 배터리 커버는 90°굽힘 및 가압공정, 사이드 굽힘공정으로 구성된 프로그레시브 프레스 성형공정으로 생산 가능하며, 각 공정변수는 유한요소해석 및 다구치 분석을 통해 최적화 되었다. 90°굽힘 공정에서 발생하는 스프링백은 가압공정을 통해 보정하였으며, 이 때 발생하는 체결부의 상하단의 치수오차는 블랭크 노치형상 설계를 통해 체결부의 치수정밀도를 만족시켰다. 사이드 굽힘공정의 경우, 유한요소해석을 통해 스프링백량을 예측하고, 이를 고려하여 금형형상을 수정하여 치수정밀도를 만족시킬 수 있었다. 성형실험을 통해 배터리 커버의 체결부의 폭 치수공차와 굽힘각을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 체결부 강도 테스트를 통해 500N이상의 만족하는 결과를 얻었다. 이러한 연구결과는 유사한 형태의 모바일 폰 부품의 일체화 프레스 성형공정 개발에 적용이 가능하다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] G. H. Kim, D. C. Ko, B. M. Kim, 2009, The Design of Forming Process of Joint Guide for Battery Cover of Mobile Phone, Proc. Kor. Soc. Prec. Eng. Conf., KSPE, Dae-gu, Kor., pp.283~284.
- [2] K. J. Nam, J. M. Lee, B. M. Kim, 2009, Estimation of Design Variables for Improving the Bonding Force of Lid&Frame for Cellular Phone, Trans. Mater. Process. Vol. 18, No. 3, pp. 245~250.
- [3] G. H. Kim, S. H. Lee, D. H. Kim, Y. J. Lim, B. M. Kim, 2008, The Design of Reinforcement STS304 Bezel Frame Die Using Hemming Process, Proc. Kor. Soc. Prec. Eng. Conf., KSPE, Jeju, Kor., pp.437~438.
- [4] G. H. Kim, S. H. Lee, B. M. Kim, 2008, The Die Design of STS304 Bezel Frame for The Strength Reinforcement in Hemming Process, Trans. Mater. Process. Vol. 17, No. 6, pp. 436~442.
- [5] B. M. Kim, C. J. Lee, J. H. An, D. H. Kim, D. C. Ko, 2008, Springback Prediction and Optimization for AHSS in Seat Rail Forming Process Using DOE and ANN, Proc. 12th int. Conf. Met. Form. (METAL FORMING 2008), Kraków, Poland, pp. 625~632.
- [6] W. Liu, Q. Liu, F. Ruan, Z. Liang, H. Qiu, 2007, Springback Prediction for Sheet Metal Forming Based on GA-ANN Technology, J. Mater. Process. Technol. Vol. 187~188, pp. 227~231.
- [7] L. C. Sousa, C. F. Castro, C. A. C. Antonio, 2006, Optimal Design of V and U Bending Process Using Genetic Algorithms, J. Mater. Process. Technol. Vol. 172, pp. 35~41.
- [8] S. B. Lee, H. G. Seong, H. J. Cheon, 2008, Optimization of a Membrane with a Center Hole using Natural Element Method and Genetic Algorithm, J. Kor. Soc. Prec. Eng. Vol. 25, No. 2, pp. 105~114.
- [9] S. N. Lee, J. M. Kim, T. Y. Won, S. H. Lee, 1977, Press Die, Kijunyeongusa, Seoul, Kor., p. 149.