

박판의 Z-굽힘가공에서 외측 굽힘반지름 치수의 최소화(샤프에지) 가공법에 관한 연구

윤재웅
오피에스잉거솔 코리아

A Research on the Processing Method to Minimize the Outer Radius(Sharp edge) in Sheet Metal Z-bending Work

Jae-Woong Yun
OPS-INGERSOLL KOREA

요 약 프레스금형(press dies)에 의한 굽힘가공(bending work) 이라는 것은 평평한 블랭크(blank)를 필요로 하는 각도(角度)로 굽히는 것이다. 굽힘가공을 하면 굽혀진부분(flange)과 굽혀지지 않은 부분(web)으로 구분되며, 굽힘라인(bending line) 부분에는 굽혀진 각도(bending angle)와 굽힘반지름(bending radius)이 내측과 외측으로 성형된다. 이때, 내측 굽힘반지름의 크기는 제품의 재질별로 최소치수가 제시 된다. 제시된 최소치수 보다 작게 굽히면 절단면 굽힘부위에 덧살이 발생 하거나 외측 굽힘반지름 부위에는 균열(crack)이 생긴다. 굽힘가공에서의 외측 굽힘반지름은 자연적으로 생긴다. 그래서 외측 굽힘반지름 치수를 굽힘펀치와 다이블록으로 조정하면서 필요한 치수로 굽힐수 없다. 굽힘가공에는 V-굽힘, U-굽힘, Z-굽힘, O-굽힘, P-굽힘, 에지굽힘(edge bending), 트위스트굽힘(twist bending), 크림핑(crimping) 등이 있다. 이 중에서 Z-굽힘은 굽힘라인이 2개 로써 블랭크의 상면(上面)과 하면(下面)에 설정하여 상향(上向)굽힘이나 하향(下向)굽힘으로 작동되는 금형을 사용한다. Z-굽힘을 크랭크굽힘(crank bending) 이라고도 한다. 이런 구조의 금형으로 Z-굽힘가공을 하면 내측반지름은 표준치수로 굽혀진다. 표준치수라는 것은 굽힘가공에서 굽힐 수 있는 최소 굽힘반지름 치수로서 굽힘펀치의 각(角)반지름(R_p)를 뜻한다. 그런데 산업현장에서는 외측 굽힘반지름 치수를 굽힘펀치와 다이블록으로 굽힐수 없는 미세한 샤프에지(sharp edge) 형상인 매우 작은 치수($R=0.2\text{mm}$)를 필요로하고 있는 바, 본 논문에서는 외측 굽힘반지름 치수를 0.2mm 이하로 굽힐수 있는 Z-굽힘가공 공법을 개발 하고자 하였다.

Abstract Bending work using press dies involves bending a flat blank to a desired angle. The bending produces a flange (the bent part) and a web (the unbent part). The bending line will have a bending angle, and there is an inner and outer bending radius. The minimum inner radius size is determined by the material used. When the inner radius size is too small, there will be excess metal welding, which will cause a crack in the outer radius part. The outer bending radius size cannot be controlled by a bending punch and die block. Types of bending include V-bending, U-bending, O-bending, edge bending, twist bending, and crimping. Z-bending involves two bending lines, which are set on the upper side and under surface of the blank, respectively, and upward or downward bending is used. Z-bending is also called crank bending. Z-bending using this type of die structure will produce a standard inner bending radius. The standard size is the minimum bending radius that represents the angle radius of the bending punch. In industry, there is a need for a sharp edge shape with a very small size ($R=0.2\text{mm}$), but that is not possible when using bending punch and die block. The purpose of this research is to meet the need by development.

Keywords : inner bending radius, minimum bending radius, outer bending radius, sheet metal forming, Z-bending

*Corresponding Author : Jae-Woong Yun(OPS-INGERSOLL KOREA)

Tel: +82-2-2157-8983 email: yun@ops-ingersoll.co.kr

Received January 17, 2017

Revised February 2, 2017

Accepted February 3, 2017

Published February 28, 2017

1. 서론

1.1 굽힘이론

굽힘작업은 재료에 탄성한도를 넘어서 인장측은 인장 응력 이내의 응력발생으로 가공하는 가공법이다. 단면이 균일한 재료를 2군데의 지지점으로 지지하고 윗쪽에서 하중을 가하면 내측(凹면)에 압축응력, 외측(凸면)에 인장응력이 생기지만 재료 판두께의 중간은 응력이 제로(0)의 면이 상정된다(Fig. 1). 또 볼록면 (凸)에 가까운 부분은 하중 때문에 늘어나고 오목면 (凹)에 가까운 부분은 압축되어 수축하지만 중간에 원래 길이를 유지하고 있는 부분이 존재한다. 이 부분의 층을 늘어나지 않는 면이라 한다[1, 3~6].

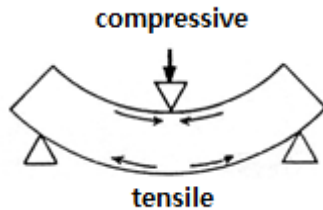


Fig. 1. Bending principle and stress

일반적으로 굽힘가공 시는 늘어나지 않는 면과 응력이 제로인 면은 근사적으로 일치한다고 가정하여 이것을 중립면이라 한다. 하중을 점점 증가시키면 먼저 재료두께의 제일 윗면과 제일 아랫면의 응력이 탄성한계를 넘어서 영구변형을 일으키게 되고 재료는 처음 상태에서 변형한다. 이 경우 인장측의 재료는 늘어나고 압축측은 수축된다[3~5].

1.2 최소굽힘반지름

굽힘 가공시 꺾어 굽히는(내측굽힘 반지름 $R=0$ 굽힘) 부분의 바깥표면이 주름이나 균열이 생길 때는 구석을 갑자기 꺾어 굽히지 말고 내측에 R 을 붙여서 굽히면 단단한 재료도 성공한다. 이 균열이 생기지 않고 굽힐 수 있는 한도를 굽힘 가공한도라 한다[1, 3]. 그 굽힘 판의 가공한도의 R 을 최소 굽힘 반지름이라 한다. 굽힘 반지름이 작을수록 스프링 백(spring back)이 적으므로 제품의 정밀도를 향상시키기 위하여 이 최소 굽힘 반지름의 값을 중요시한다. 굽힘 가공 시 외측 굽힘반지름 쪽에 발생하는 균열은 일반적으로는 표면의 최대변형이 그 재료

의 국부 늘림을 초과하였을 때에 생긴다고 판단된다. 굽힘가공은 최대 굽힘 각도, 가공방법, 재질, 판의 폭(굽힘 라인 크기) 및 판두께, 굽힘방향, 판의 다듬정도 등의 영향을 받는다(Fig. 2). 동일 재료를 같은 굽힘 가공을 할 때 재료가 두꺼워지면 바깥쪽이 많이 인장되어 얇은 재료는 파단되지 않지만 두꺼운 재료는 파단 된다. 이 일은 최소 굽힘 반지름은 두꺼운 판일수록 크다는 것이고 또 이것을 재료별로 보아도 대부분의 재료가 판두께 (t)에 대하는 최소 굽힘 반지름(R)의 비(R/t)는 판두께가 클수록 크게 되는 비례적 경향이 있다.[1, 3]

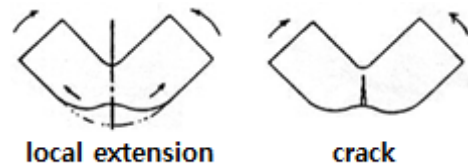


Fig. 2. Local extension and crack in the outer bending radius

굽힘선이 판 두께에 비하여 클 때는 변두리 부분 이외의 폭 방향의 변형이 구속되는 결과, 굽힘선 주변의 중앙에서 휨(warp, camber), 또는 균열이 생기기 시작하고 굽힘선이 작은 판에서는 굽힘부 외측면 가장자리부터 균열이 생겨 들어간다[1, 3~5].

2. 본론

2.1 문제점 도출

V-굽힘, U-굽힘, Z-굽힘가공을 하면 일반적으로 굽힘 내측에는 내측반지름이 외측에는 외측반지름의 형상으로 굽혀진다.

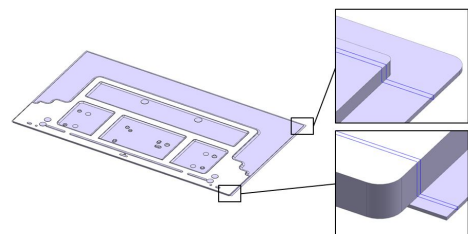


Fig. 3. Sharp edge Z-bending product

이때 발생하는 문제점은 내측반지름이 작을 경우에는 굽힘 외측면에 균열(crack)이 발생되므로 최소 굽힘반지름값을 준수 하여야 크랙을 방지할 수 있다. 굽혀진 부위는 두께가 얇아져서 외측의 굽힘반지름은 대단히 커지게 된다. 기구 설계자들이 제품도를 설계할 때 내측반지름을 작게 하려고 한다. 굽힘 후에 발생하는 스프링백(spring back)을 방지하고 평탄도 및 상대부품과의 조립을 용이하게 하기 위해서 이다.

2.1.1 Z-굽힘에서의 문제점 도출

Fig. 3과 같은 제품을 두께 0.8mm 냉연강판을 이용하여 Z-굽힘을 하고자 한다. 상변의 굽힘라인을 가로 125cm, 좌 · 우변 굽힘라인을 각각 80cm씩 지정하여 블랭크 3번에 Z-굽힘을 종래의 방법으로 굽힌 결과 제품도에서 요구하는 굽힘반지름 치수보다 큰 치수로 굽혀지는 첫번째의 문제점이 발생 하였다.제품도의 내측과 외측의 굽힘반지름 치수는 공히 0.2mm 이다. 프레스굽힘의 펀치(punch)와 다이블록(die block)으로는 굽힐수 없는 굽힘반지름 치수이다. 두번째의 문제점은 굽힘선(bending line)이 길기 때문에 굽힘선 중앙 부위에 휘어짐(camber)현상과 세번째의 문제점은 플랜지면의 평탄도 불량 발생 하였다. 도출된 문제점을 요약하면, 1) 내측 굽힘반지름 치수와 외측 굽힘반지름 치수 0.2mm는 일반적인 Z-굽힘에서는 굽힐 수 없는 치수이며, 2) 굽힘선이 휘어지는 것이고, 3) 평탄도 불량이다. 제품도에서 요구하는 내 · 외측 굽힘반지름 치수는 샤프에지(sharp edge)형상의 치수이다.

2.2 문제점 도출에 대한 원인분석

첫번째 문제점의 내 · 외측 굽힘반지름의 치수를 Z-굽힘 가공용 금형으로는 굽힐 수 없다. 일반적인 굽힘가공에서 할 수 있는 제품의 내측 굽힘반지름의 최소치수는 재질별로 구분되어 있으므로 굽힘가공 공정을 1차~n차로 굽힘을 하고 리스트라이킹(restriking)으로 줄일 수는 있으나 외측 굽힘반지름은 굽혀질 때 인장력을 받아 두께가 얇아 지므로 외측 굽힘반지름값은 당연히 커지게 된다[1, 3, 5, 7, 8].

따라서, 외측 굽힘반지름은 리스트라이킹 가공으로는 축소 시킬 수 없다. 두 번째 문제점은, 굽힘선이 판두께에 비하여 클 때에는 가장자리 부분 이외의 폭방향의 변형이 구속되는 결과 굽힘선 주변의 중앙에 휘어짐이 자연

스럽게 나타나는 현상이다. 세 번째 문제점은, 굽힘가공이 완료 되었을 때 평탄하지 않고 뒤틀어지는 비틀림 현상이다. 이것은 블랭크의 절단과정에서 절단면 주위에 발생하는 잔류응력(殘留應力 residual stress)과 굽힘 시에 나타나는 탄성(彈性 elasticity) 때문이다. 전술한 3 종류의 불량은 일반적인 Z-굽힘금형에 의한 굽힘방법으로는 해결하기 어려운 문제점으로 판단되므로 1차의 예비 굽힘과 n차의 굽힘가공법으로 개선하여야 한다.

2.3 원인분석에 따른 해결방법 제시

Z-굽힘의 가공공정은 1차 L-굽힘하고 2차 L-굽힘을 하거나 프레스 1 스트로크(stroke)에서 굽힘선 2개를 동시에 굽히는 방법으로 소형제품일 때 프로그레시브 가공(progressive work)에서나 할 수 있는 것이고, 중 · 대형의 제품은 불가능 한 것으로 판단된다. Fig. 3은 대형제품으로 내 · 외측 굽힘반지름이 각각 0.2mm 이므로 내측은 가능할지 모르나 외측은 어렵다. 따라서, Z-굽힘가공 공법을 제시하고 트라이아웃(tryout)용 선행(先行) 굽힘금형을 제작하여 트라이아웃을 수행 하면서 수정보완하기로 하였다.

2.3.1 Z-굽힘가공 공법 제시

Z-굽힘가공 공법을 다음과 같이 제시 하였다. 굽힘방향을 상향(上向) Z-굽힘가공으로 하며, 굽힘선을 3개 설정하여 제1공정을 예각(銳角 acute angle)굽힘과 Z-굽힘을 동시에 하고, 제2공정은 예각굽힘 부위의 플랫닝(flattening) 가공과 리스트라이킹(restriking)으로 Z-굽힘을 동시에 하며, 제3공정을 사이징(sizing work)가공으로 공정을 완료 하도록 하였다. 따라서, 선행금형을 A, B, C 3종류로 하고, A금형의 예비 굽힘각도 10도, B금형의 예비 굽힘각도 13도, C금형의 예비 굽힘각도 15도로 선행금형을 제작한 후 T/O(trayout)로 수정보완하기로 하였다.

2.3.2 공정별 트라이아웃 실시

1) 제1공정 예비굽힘금형에 의한 트라이아웃

트라이아웃용 프레스는 국내산(2015년 제작)으로 공칭압력 800톤의 2포인트 싱글액션 프레스를 사용하였다. 각각 10매씩 스탬핑 하였다. 선행금형 A, B, C에 의한 트라이아웃 결과에서 나타난 제품의 치수는 Table 1 및 Fig. 4과 Fig. 7의 ①로 제시 하였다.

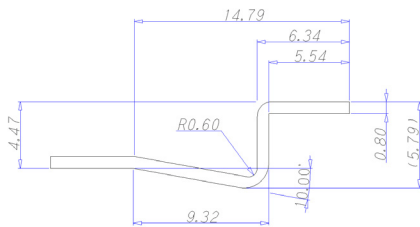
Table 1. Product dimension processed by the preceding die A,B,C at 1st stage

preceding die A(prebending 10°)			
Pos.	H	inner R	outer R
9.32	4.47	0.6	1.6

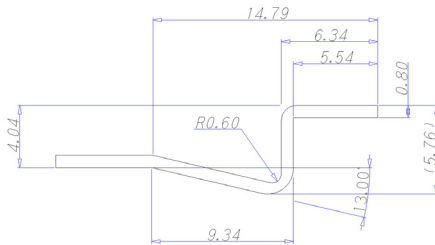
preceding die B(prebending 13°)			
Pos.	H	inner R	outer R
9.34	4.04	0.6	1.6

preceding die C(prebending 15°)			
Pos.	H	inner R	outer R
9.35	3.75	0.6	1.6

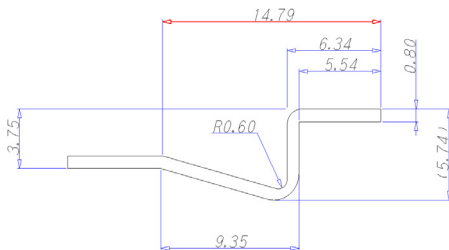
☐ H=Bending height, R=Bending radius



① A die : 10 degree



② B die : 13 degree



③ C die : 15 degree

Fig. 4. Bending dimension for preliminary bending die at 1st stage

2) 제2공정 Z-굽힘금형에 의한 트라이아웃
제2공정에 의한 결과는 Table 2 및 Fig. 5와 Fig. 7의
②와 같다.

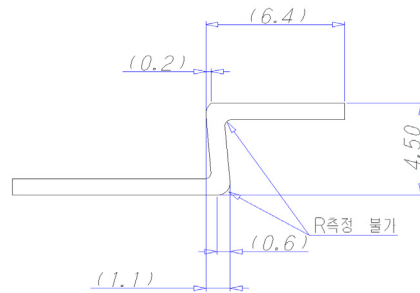
Table 2. Product dimension processed by the preceding die A,B,C at 2nd stage

preceding die A(prebending 10°)			
Straightness deviation	H	outer R	outer R
1.1	4.50	0.6	0.6

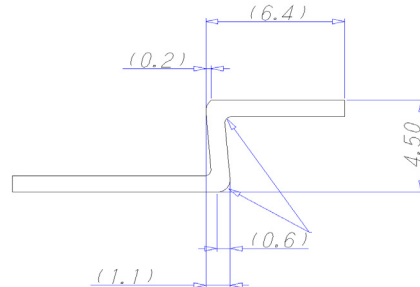
preceding die B(prebending 13°)			
Straightness deviation	H	outer R	outer R
1.2	4.55	0.3	0.3

preceding die C(prebending 15°)			
Straightness deviation	H	outer R	outer R
1.4	4.55	0.3	0.3

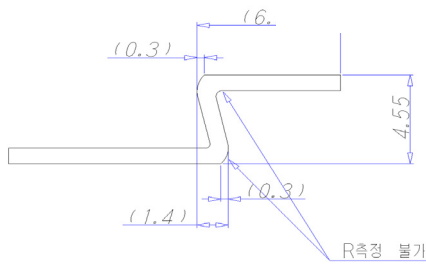
☐ H=Bending height, R=Bending radius



① A die : 10 degree



② B die : 13 degree



③ Cdie : 15 degree

Fig. 5. Bending dimension at 2nd stage

3) 제3공정 사이징금형에 의한 트라이아웃

제3공정에 의한 결과는 Table 3 및 Fig. 6과 Fig. 7의 ③과 같다. 특히 B금형에 의한 하면의 외측 굽힘반지름 ①과 상면의 내측 반지름 ②는 제품도에서 요구하는公差 범위에 거의 일치 하였다.

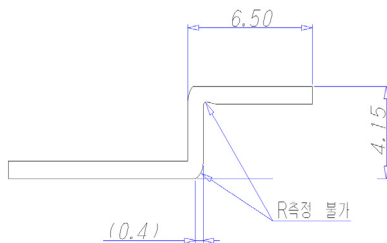
Table 3. Product dimension processed by the preceding die A,B,C at 3rd stage

preceding die A(prebending 10°)			
Straightness deviation	H	outer R	outer R
0	4.15	0.4	0.4

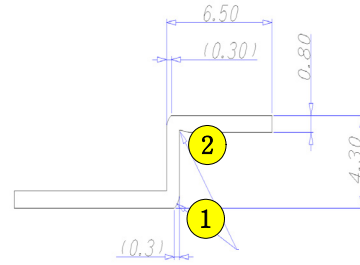
preceding die B(prebending 13°)			
Straightness deviation	H	outer R	outer R
0	4.30	0.2	0.2

preceding die C(prebending 15°)			
Straightness deviation	H	outer R	outer R
1.1	4.30	0.3	0.3

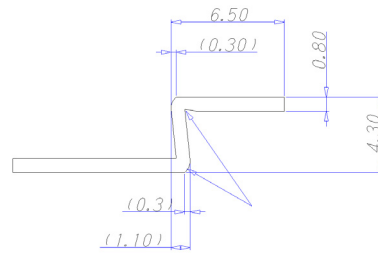
□ H=Bending height, R=Bending radius



① A die : 10 degree



② B die : 13 degree



③ C die : 15 degree

Fig. 6. Bending dimension at 3rd stage



① A die: Z-bending 10°



② B die: Z-bending 13°



③ C die: Z-bending 15°

Fig. 7. Section of Z-bending product at 3rd stage

2.3.3 비교검토

일반적인 Z-굽힘은 블랭크의 상면과 하면에 굽힘라인을 설정하여 1스트로크에서 굽힘을 하고 있는데 문제점이 도출된 제품은 외측의 굽힘반지름 치수를 0.2mm 이하로 되어 있다. 즉, 샤프에지(sharp edge) 형상의 제품이다. 이 제품은 굽힘라인의 길이가 상변 125cm, 코너 반지름($R_c=5.0\text{mm}$)으로 굽혀져 좌우 각각 80cm인 Z-굽힘을 3개의 번에서 하고, 나머지 하변은 하향 L-벤딩 형상으로 되어 있는 직4각형이다. 일반적인 Z-굽힘은 굽힘라인이 2개이지만, 문제점을 해결하기 위하여 굽힘라인을 3개 설정하여 예비굽힘을 하고 Z-굽힘가공으로 공법을 모디파이(modify)하였다. 그래서, 예비굽힘 각도를 3종류로 설정하여 선행굽힘형을 제작한 후 트라이아웃을 실시하였다. 통상의 예비굽힘각도는 15도, 30도, 45도, 60도를 선택하고 있다. 이 각도는 굽힘 후의 제품의 정밀도(스프링백, 평탄도, 내측 최소굽힘반지름, 치수정도, 외관 등)를 원하는 굽힘가공에 이용된다[1, 3~5]. 산업현장에서는 Z-굽힘을 굽힘 없이 양산하고 있지만, 내측의 최소굽힘반지름 치수의 성공 사례는 $t=0.5\text{mm}$ 일 때 $R=0.1\text{mm}$ 이다. 외측의 굽힘반지름 치수에 대한 최소치수의 요구사항은 없다. 더욱 외측의 최소굽힘반지름 치수는 굽힘가공 방법에 따라 다르고 금형으로 조정하기 어렵다. 그래서 제1공정을 예비굽힘과 Z-굽힘을 동시에 하기 위하여 예비굽힘각을 각각 10도, 13도, 15도로 결정하고, 선행금형을 제작하여 트라이아웃 하였다[9, 10]. 따라서, 2개의 굽힘라인을 갖는 Z-굽힘 방법을 배제시키고, 제1공정에서 굽힘라인을 3개로 하여 예비굽힘과 Z-굽힘을 동시에 하였으며, 제2공정에서 예비굽힘 부위를 프래트닝(flattening)과 리스트라이킹 가공을 동시에

하는 Z-굽힘을 하였다. 그리고 제3공정에서 사이징(sizing)가공으로 Z-굽힘을 마무리 하였던 것이다. 예비굽힘각도 10도, 13도, 15도의 조건으로 Z-굽힘된 제품을 다음과 같이 비교 검토 하였다. 검토 1 : 제1공정의 예비굽힘가공과 Z-굽힘가공의 예비굽힘 각도 10도 및 예비굽힘선 위치 9.32의 조건에서는, 하면내측 $R=0.6$, 하면외측 $R=1.6$, 높이 $H=4.47$ 이었으며, 예비굽힘 각도 13도 및 예비 굽힘선 위치 9.34 조건에서는, 하면내측 $R=0.6$, 하면외측 $R=1.6$, 높이 $H=4.03$ 이었으며, 예비굽힘 각도 15도 및 예비 굽힘선 위치 9.35 조건에서는, 하면내측 $R=0.6$, 하면외측 $R=1.6$, 높이 $H=3.75$ 이었다. 검토 2 : 제2공정의 프래트닝가공과 리스트라이킹가공에서는, 예비굽힘 각도 10도일, 때 $H=4.50$, 외측 $R=0.6$ 진직도편차=1.1 이며, 예비굽힘 각도 13도일 때, $H=4.55$, 하면외측 $R=0.3$, 진직도편차=1.2 이며, 예비굽힘 각도 15도일 때, $H=4.55$, 하면외측 $R=0.3$, 진직도편차=1.2로 나타났다. 검토 3 : 제3공정의 사이징가공에서는, 예비굽힘 각도 10도일, 때 $H=4.15$, 외측 $R=0.4$, 진직도편차=0.0 이며, 예비굽힘 각도 13도일 때, $H=4.30$, 하면외측 $R=0.2$, 진직도편차=0.0 이며, 예비굽힘 각도 15도일 때, $H=4.30$, 하면외측 $R=0.3$, 진직도편차=1.1로 나타났다. 상기와 같이 트라이아웃 결과에서의 제품들을 검토한 결과, Table 2에서와 같이 13도의 굽힘각도로 예비굽힘한 선행금형 B로 굽힘된 제품이 외측 굽힘반지름(샤프에지) 치수가 제품도에서 요구한 치수와 동일 하였고, 굽힘높이 H도 일직선으로 가공 되어 도출된 3개의 문제점을 해결할 수 있었다. 검토 4 : 본 논문에서와 같이 금형에 의한 트라이아웃 결과와 문헌[1~6]조사에서 나타난 굽힘가공의 이론과 실무는 적절 하였다. 즉, 굽힘가공용 금형에 의한 굽힘 제품들은 굽혀진 부위에 반드시 내측 굽힘반지름과 외측 굽힘반지름으로 굽혀진다. 특히, 외측 굽힘반지름은 굽혀질 때 인장응력을 받으므로 소재의 두께가 얇아진다. 그래서 외측 굽힘반지름 치수는 내측 굽힘반지름+소재의 두께가 아니다. 따라서, 외측 굽힘반지름 치수는 굽힘금형으로 줄일수가 없으므로 타 프레스금형을 병행하여 사용하여야 한다.

3. 결론

굽힘라인이 2개인 Z-굽힘가공을 1스트로크에서 행할

때 내측 굽힘반지름의 최소치수는 표준값의 범위 내에서 굽힐 수 있으나 외측 굽힘반지름의 최소값으로는 굽힐 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 Z-굽힘의 외측 굽힘반지름 치수를 샤프에지로 굽히기 위하여 3벌의 선행금형에 예비굽힘을 도입하여 트라이아웃 한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다. 1) 제1공정은, 굽힘라인을 3개 설정하고 예비굽힘각도를 13도로 하여 예비굽힘과 Z-굽힘을 동시에 한다. 2) 제2공정에서는, 예비굽힘 부위에 플레트닝가공과 리스트라이킹으로 Z-굽힘을 동시에 한다. 3) 제3공정에서는, 사이징가공으로 샤프에지($R=0.2\text{mm}$)를 만든다. 4) 플레트닝가공을 하는 것은, 예비 굽힘라인을 없애어 평탄도를 얻고, 리스트라이킹은 상·하면(上·下面)의 외측 굽힘반지름 치수를 1차로 작게 줄이기 위함이다. 5) 사이징가공을 하는 것은, 상·하면 굽힘라인 부위의 평탄도 교정과 외측의 굽힘반지름 치수를 샤프에지로 최소화시키기 위함이다. 이를 통해 굽힘가공 된 제품외관에 깔끔하게 정리된 느낌을 주는 샤프한 라인을 구현 할 수가 있어 차별화된 디자인 경쟁력 구현이 가능해졌다.

윤 재 응(Jae-Woong Yun)

[종신회원]



- 2000년 3월 : 독일 루르보쿰대학 기계공학과 석사졸업
- 2005년 2월 : 독일 하노버대학 기계공학부 프레스성형과 박사졸업
- 2005년 8월 ~ 2013년 1월 : LG전자 금형기술센터장
- 2013년 2월 ~ 현재 : OPS-INGER SOLL KOREA 대표이사
- 2016년 2월 ~ 현재 : 한국금형공학회 부회장

<관심분야>

프레스금형설계, 금속가공

References

- [1] S-H Kim, Press Die Design Engineering, Daekwang Surim, 2013.
- [2] S-H Kim, Press Die Design Data Book, Daekwang Seolim, 2004
- [3] T. Oota, press processing and mold technology, Nikkan Kogyo Shimbun, 1990.
- [4] H. Yoshida, press bending process, Nikkan Kogyo Shimbun, 2006.
- [5] E-J Lee and six others, Mold Technical Engineer's Way, Daekwang Surim, 2012.
- [6] K. Lange, Lehrbuch der Umformtechnik, Volume 3 Sheet metal forming, Berlin Springer, 1975.
- [7] C. Bach, Elasticity and strength, Berlin, Springer 1924.
- [8] A. Nadai, The Visual State of Materials, Berlin, Springer, 1927.
- [9] K-K Choi, D-C Lee, "Study on the Design of Bracket Strip Layout Using Cimatron Die Design", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 9, no. 5, pp. 1113-1118, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.5.1113>
- [10] K-K Choi, K-H Kim, D-C Lee, "Study on the 3D Design of Bracket with Automatic Module", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 10, no. 6, pp. 1164-1169, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.6.1164>