

판재 프레스 성형 제품의 형상동결성 연구

한수식* · 박기철* · 남재복*

(1998년 7월 1일 접수)

A Study on Shape Fixability of Press Formed Parts

Soo-Sik Han, Kee-Cheul Park and Jae-Bok Nam

Abstract

This paper deals with the shape fixability of press formed parts through the use of a V-bending process and a U-bending one. The influence of material properties on the shape fixability in forming processes was investigated. A V-bending process had an optimum bend radius for each combination of parameters which caused maximum shape fixability. In the U-bending process the blank holder force could control the degree of shape fixability. A high blank holding force resulted in a uniform strain distribution and increased shape fixability

Key Words : Shape Fixability, Springback, Sheet Metal Forming, Blank Holding Force, V-bending, U-bending

1. 서 론

최근 들어서 자동차 산업에 있어서의 양적인 팽창이 어느 정도 완료됨에 따라 생산 비용 절감과 품질 향상에 대한 중요성이 매우 증가하고 있다. 특히 자동차의 외관의 경우 자동차 판매에 매우 중요한 역할을 차지하게 되어 자동차사들은 자동차의 외관 개선에 더욱 힘을 기울이고 있다. 자동차의 외관은 자동차 디자인뿐만 아니라 적절한 조립 상태, 표면 도장 상태 등에 의해서 결정된다. 자동차 각 부품 사이의 조립 정도는 프레스 성형에서 성형 제품을 어느 정도의 치수 정밀도를 갖게 성형할 수 있느냐에 달려 있다. 최근 자동차 차체의 경량화와 안전성 향상을 위한 고장력 강판의 사용 증가는 요구 형상 정밀도를 만족시키는 것을 더욱 어렵게 만들고 있다. 이러한 이유로 인하여

판재 성형에 있어서 형상 동결성의 확보하는 기술의 중요성은 한층 더 강조되고 있다.

판재 성형에 있어서 형상 동결성을 향상시키는 방법에는 크게 두 가지가 있다. 첫째는 판재 성형중 발생하는 판재 내부의 변형 분포를 제어하므로서 탄성 회복의 발생을 방지하는 것이다. 이것은 성형중 인자를 변화시키거나 성형 방법을 변화시키므로써 가능하다. 두 번째 방법은 탄성 회복양을 제어하는 것이 아니라 금형의 설계 단계에서 탄성 회복양을 보정하는 것이다. 예를 들면 Over-bending 과 같이 탄성 회복양을 계산하여 성형에서 그 양만큼 더 성형을 하는 것이다. 이 두 가지 방법은 적용하기 위해서는 모두 판재의 형상 동결성에 미치는 영향 인자들과 형상 동결성에 대한 이해가 요구된다.

본 논문에서는 판재 성형 공정에서의 성형 제품의 형상

* 포스토키술연구소 박판연구그룹

동결성에 영향을 주는 성형 인자를 도출하고 각각의 인자에 대한 형상 동결성 영향을 분석하기 위하여 U, V 굽힘 시험을 수행하였다. 시험 결과로부터 형상 동결성을 개선시킬 수 있는 방법을 제안하였으며 이를 시험과 상용 유한 요소 해석 프로그램을 이용하여 검증하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 탄성 회복

판재 성형은 평판 형태의 블랭크에 금형과 프레스를 이용하여 외력을 가하여 원하는 형상의 제품을 생산하는 성형 기술이다. 성형중 판재가 일으키는 변형량의 대부분은 소성 변형이 차지하고 있으나 탄성 변형도 포함되어 있다. 소성 변형의 경우 외력이 제거되어도 변형이 그대로 판재 내에 유지되지만 탄성 변형의 외력이 제거되면 변형이 회복되려고 한다. 이것을 탄성 회복이라고 한다. 탄성 회복에 대한 원리는 인장 시험에서 구한 응력 - 변형률 그래프로서 쉽게 설명될 수 있다. 성형중 판재에 항복 응력 이상의 응력이 작용하여 Fig. 1에서 판재를 A점까지 변형시켰을 경우 전체 변형량은 DB가 된다. 여기서 소성 변형량은 DC이고 탄성 변형량은 CB이다. 탄성 변형의 크기는 A점에서의 응력 σ 와 재료의 탄성 계수 E의 비로서 나타나며 응력이 클수록 탄성 계수가 작을수록 탄성 변형이 차지하는 양은 증가한다. 재료를 A까지 변형시킨 후 외력을 제거하면 전체 변형량은 소성 변형량과 같은 DC가 된다. 즉 탄성 변형량 CB만큼 변형이 회복된 것이다. 일반적인 강 경우 탄성 계수는 21,000 kgf/mm²이다. 그리고 일반 자동차용 강판의 항복 응력이 수십kgf/mm²인 것을

감안하면 일반적인 성형에서의 탄성 회복량을 유추해 볼 수 있다. 일반적인 성형 공정에서 탄성 회복의 영향은 그리 중요하지 않으나 굽힘 성형이나 얇은 깊이의 딥드로잉 성형 그리고 대형 제품의 성형과 같은 경우에는 탄성 회복의 영향은 매우 중요하여 성형 불량률의 대부분을 차지한다.

2.2 형상 동결성 영향 인자

판재 성형 공정 중에 발생하는 일반적인 문제점 가운데 하나는 프레스 성형이 끝난 후 성형 제품을 금형에서 제거하여 외력이 가하여지지 않은 상태로 하였을 때 발생하는 형상의 뒤틀림이다. 이러한 형상의 변화는 불균일한 탄성 회복으로 인하여 발생한 변형에 기인한다. 그리고 판재 성형 공정을 수행하였을 때 성형 제품의 형상이 금형의 형상에 가깝게 유지되는 정도를 그 판재의 형상 동결성이라고 한다. 형상 동결성은 모든 판재 성형에 있어서 피할 수 없는 현상으로 금형의 치수, 마찰, 재료의 물성치 그리고 금형의 설계 조건 등의 복합적인 영향에 의해서 결정된다. 즉, 판재 성형에 있어서의 모든 인자들이 형상 동결성에 영향을 미친다. 형상 동결성의 중요성은 성형 제품의 용도, 품질 요구 조건 그리고 다음 공정의 작업 조건 등에 의해서 결정된다.

판재 성형에 있어서 매우 많은 인자들이 성형 제품의 형상 정밀도에 영향을 주고 있다. 그러나 이들 인자들을 크게 4가지의 범주에서 분류를 할 수 있다.

(1) 성형 하중을 가하지 않은 상태에서의 금형과 프레스 기계의 정밀도가 형상 정밀도에 영향을 준다. 금형과 프레스 기계의 치수 부정확, 금형과 프레스 기계의 고정 부정확 그리고 프레스 기계의 행정의 부정확 등이 존재하면 우리가 요구하는 정확한 형상 정밀도의 제품을 성형한다는 것은 불가능하다.

(2) 판재의 성형중 발생하는 하중에 의한 금형과 프레스 기계의 탄성 변형이 성형 제품의 형상 정밀도에 영향을 준다. 판재 성형에는 많은 성형 하중이 요구된다. 이러한 성형 하중에 의해서 성형중 금형과 프레스 기계는 탄성 변형을 일으키게 되며 이러한 탄성 변형으로 인하여 금형의 형상과 금형간의 상대적인 위치가 변화하게 된다.

(3) 성형 하중이 가해진 상태에서 성형 제품의 형상이 금형 형상과 다르게 된다. 판재 성형에 있어서 성형중 판재의 성형된 형상은 금형의 형상으로부터 예측된 형상과 항상 같지는 않다. 금형에 의해서 구속되는 부분에서의 성형된 형상도 이상적인 형상 즉 금형의 형상과 일치하는 형상과는 거리가 있다.

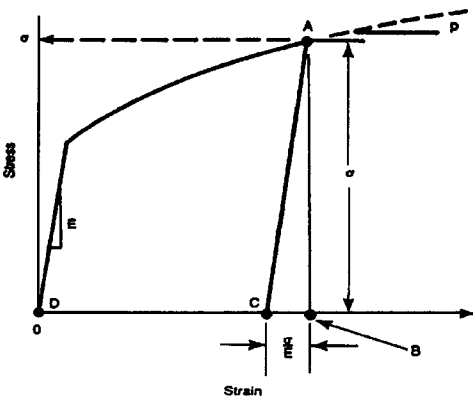


Fig. 1 Unloading from a plastic forming stress

(4) 성형후 성형 하중이 제거되었을 때 성형 제품의 형상이 변화하게 된다. 소성 변형에 의해서 성형된 제품의 경우 성형 하중이 제거되면 판재의 고유한 탄성 변형으로 인하여 형상이 변화하게 된다. 얇은 판재의 경우 판내에 분포되어 있는 응력의 불균일로 인하여 뒤틀림 현상이 많이 발생한다.

일반적인 판재 성형 공정의 경우 위에서 언급한 모든 종류의 탄성 회복이 동시에 일어나며 서로 복합적인 작용을 하여 매우 복잡한 성형 제품의 뒤틀림 현상을 가져온다.

2.3 형상 동결성 향상 방법

(1) 성형 조건의 변경

성형 제품의 형상 정밀도는 앞에서 언급한 4가지의 성형 인자들에 의해서 결정된다. 이것은 판재 성형 제품의 형상 정밀도를 향상시키기 위해서는 이러한 인자들의 영향을 최대한 억제시켜야 한다. 그리고 다른 방법으로는 원하는 형태의 성형 제품으로 성형되어지도록 성형 조건을 예측하여 예측된 성형 조건으로 성형하여 형상 정밀도를 향상시키는 것이다. 예를 들면 금형의 형상을 위에서 나열한 조건들에 의해서 발생하는 편차를 예측하여 제작하는 방법이 있다. 이 방법은 현재 판재 성형 제품의 형상 정밀도를 향상시키는 방법으로 가장 널리 사용되고 있으며 형상 정밀도 측면에서 상당한 효과를 가져다주고 있다. 그러나 이 방법으로도 앞에서 언급한 인자들의 영향을 완전히 보정할 수는 없다.

(2) 판재 물성치 개선

성형 제품의 형상 정밀도에 영향을 미치는 인자들 중에서 성형후 탄성 회복에 의한 성형 제품 형상의 뒤틀림이 형상 정밀도에 미치는 영향이 다른 인자들에 비하여 가장 크다. 탄성 회복에 의한 성형 제품의 형상 뒤틀림 양은 제품의 치수와 형상 그리고 판재의 물성치에 의해 크게 좌우된다. 탄성 회복에 영향을 미치는 판재의 물리적 성질로서는 판재의 유동 응력과 탄성 계수이다. 그리고 대부분의 판재의 경우 평면 이방성을 갖고 있기 때문에 탄성 회복량 역시 방향성을 나타낸다. 이러한 탄성 회복량의 방향성으로 인하여 축대칭 제품의 경우 성형후 비대칭으로 뒤틀림이 일어나며 일반적인 형상의 제품의 경우 코일에서 블랭크를 채취한 방향에 대하여 뒤틀림 양이 다르게 나타난다. 일반적으로 판재의 물성치는 인장 시험으로부터 측정되나 굽힘 성형의 경우 인장 시험으로부터 예측된 방향성과는 전혀 다른 방향성을 나타내는 경우가 많다.

(3) 응력 추가

판재 성형 제품의 전면에 걸쳐서 탄성 회복량이 고르게 분포되어 있을 경우 전체적인 제품의 뒤틀림 현상은 감소한다. 그리고 만약 성형 제품의 뒤틀림량을 블랭크의 크기 변화와 판재의 인장 특성에 대하여 분리시킬 수 만 있다면 최종 제품의 탄성 회복에 의한 뒤틀림 양을 크게 감소시킬 수가 있다. 이러한 목적으로서 적용되는 기술이 바로 성형 중 또는 성형후에 응력을 추가적으로 가하는 방법이다. 3차원 얇은 깊이 드로잉과 같은 성형 방법에 의하여 해중전의 성형 제품의 길이 방향으로의 응력이 제품의 폭 방향에 대하여 불균일하게 분포되어 있을 경우 해중후 탄성 회복의 불균일함으로 인하여 성형 제품은 심한 뒤틀림을 갖게 된다. 그러나 만약 해중전에 판재의 길이 방향으로 신장 변형을 가하는 방법으로 성형 제품에 길이 방향의 추가 응력을 가하게 되면 해중 후에도 뒤틀림이 없는 성형 제품을 얻을 수 있다. 일반적으로 신장 변형에 의한 응력 분포의 균일화는 응력의 불균일 정도가 가장 심한 응력의 방향으로 신장 변형을 작용할 경우 가장 효과적인 것으로 알려져 있다.

(4) 국부 응력 작용

판재 성형 제품에 대하여 추가 응력을 가하므로써 형상 정도를 향상시키는 성형 기술은 몇몇 성형 기술에 대하여서 매우 유용한 방법이라 할 수 있다. 굽힘 성형의 경우 굽힘부에 응력을 집중시켜 작용하는 Bottoming, 신장 성형, Coining 작업, 신장 Levelling 등이 있다. 최근에는 고정도 U 굽힘 성형 기술(Restrike Bending)이 개발되어 자동차용 프레임 등의 생산에 일부 활용되고 있다. 이 고정도 U 굽힘 성형은 두 단계의 연속적인 공정으로 이루어져 있다. 즉, 첫 단계에서는 성형을 쉽게하기 위해서 비교적 곡률이 큰 편치를 이용하여 U 굽힘 성형을 한다. 그리고 다음 단계로 Restrike 편치를 이용하여 U 굽힘 성형 제품의 플랜지 부분을 가압하여 굽힘 곡률을 날카롭게 만들어 주면서 굽힘 부위에 압축 응력을 가하여 두께 방향의 응력을 균일화시켜서 탄성 회복량이 매우 작은 형상 정도가 매우 높은 제품을 성형한다.

3. 실험 결과 및 토론

판재 성형 공정에 있어서 형상 동결성에 영향을 미치는 인자들의 영향을 도출하기 위하여 U, V 굽힘 시험을 수행하였다. 성형 모드에 따라서 변형 모드가 변화하게 되고 각각의 성형 모드에서 판재의 형상 동결성에 영향을 미치

는 인자들도 다르기 때문에 성형 공정을 크게 두 가지의 성형 모드에 대하여 구별하여 성형 실험을 수행하였다. 각각의 성형 모드에 대하여 성형 시험한 결과를 다음과 같이 나타내었다.

3.1 V 굽힘 성형 시험

2차원 성형에 있어서의 형상 동결성이 중요한 성형 모드인 굽힘 성형 모드이다. 2차원 굽힘 성형은 주로 V 굽

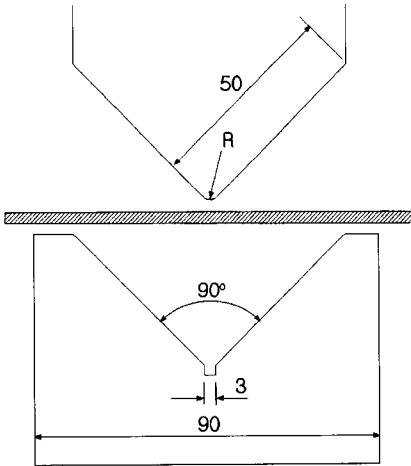


Fig. 2 Schematic diagram of V-bending Tools

힘, U굽힘 혹은 이 두 굽힘 성형 모드의 조합으로 이루어져 있다. V굽힘 시험의 경우 변형이 일어나는 영역은 펀치의 선단 곡률 부분과 만나는 부분에 국한되기 때문에 형상 동결성에 영향을 미치는 인자는 펀치의 곡률과 판재의 두께와 강도를 들 수 있다. Fig. 2는 성형 시험에 사용된 굽힘의 형상을 나타내었다.

Fig. 3은 냉연 강판 각 강종에 대하여 V 굽힘 시험 결과를 나타내었다. 각 강종에 따라서 형상 동결성 특성이 서로 다르게 나타났다. 그리고 V 굽힘 반지름이 작아질 경우 모든 강종에 대하여 성형된 굽힘 각도가 실제 굽힘 각도보다 작은 값을 갖는 스프링고 현상이 나타났으며 V 굽

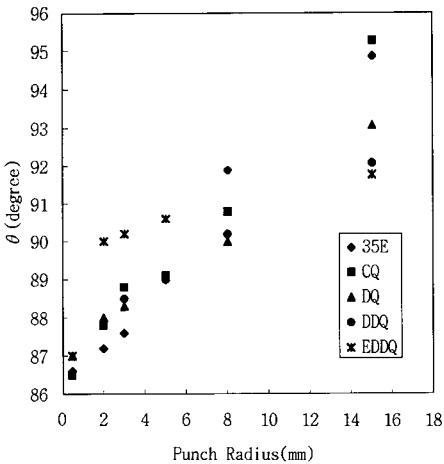


Fig 3 Folding angle at punch radius after V-bending with respect to punch radius for each grade steel sheet
 35E : High Strength Steel
 CQ :Commercial Quality Steel
 DQ :Drawing Quality Steel
 DDQ :Deep Drawing Quality Steel
 EDDQ :Extra Deep Drawing Quality Steel

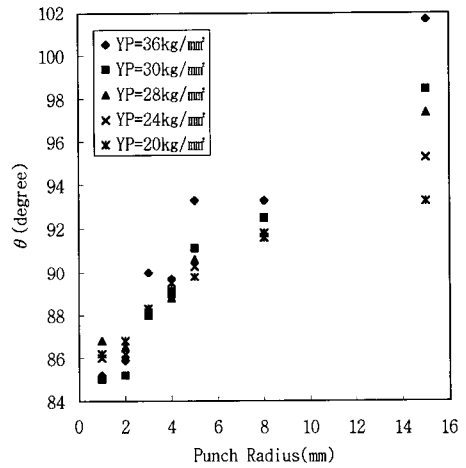


Fig 4 Folding angle at punch radius after V-bending with respect to punch radius for each yield stress

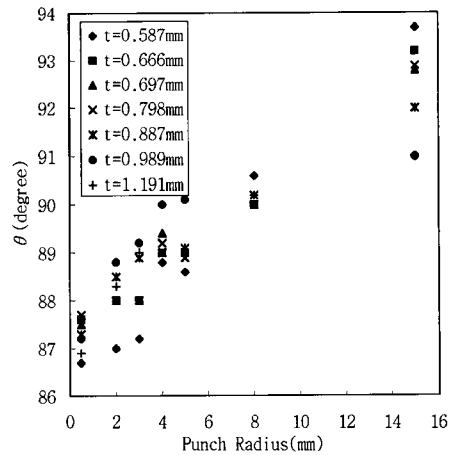


Fig 5 Folding angle at punch radius after V-bending with respect to punch radius for each thickness

힘 반지름이 증가하면 성형된 굽힘 각도가 실제 굽힘 각도보다 큰 값을 갖는 탄성 회복 현상이 나타났다. 성형된 굽힘 각이 굽힘 반지름에 영향을 받는 정도는 EDDQ의 경우 가장 작았으며 35E의 경우 가장 크게 나타났다. 그리고 각 강종에 대하여 탄성 회복량이 0이 되는 즉, 형상 동결성이 최고가 되는 적정 굽힘 반지름이 존재하였다. Fig. 4는 항복점의 변화에 대하여 각 V굽힘 반지름에서의 탄성 회복량을 측정된 결과이다. 항복점이 증가함에 따라서 동일 굽힘 반지름에서 탄성 회복량은 크게 증가하는 경향을 나타내었으며 항복점이 높을수록 탄성 회복량이 V굽힘 반지름의 변화에 대한 민감성이 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 5는 판재의 두께 변화에 따른 탄성 회복량을 나타낸 것이다. 두께가 두꺼운 판재의 경우 V 굽힘 반지름의 변화에 대한 탄성 회복의 변화는 매우 작게 나타났으나 두께가 얇은 판재의 경우 굽힘 반지름의 변화에 대하여 매우 크게 나타났다.

V굽힘 성형에 대하여 성형 인자들의 영향을 분석하여 본 결과 항복점과 굽힘 반지름이 증가할수록 그리고 두께가 감소할수록 탄성 회복량이 증가하였다. 어느 성형 경우에 대해서도 형상 동결성이 최대가 되는 적절한 굽힘 반지름이 존재하였으며 이러한 최적의 굽힘 반지름은 각 성형 인자에 의존하는 값이다.

굽힘 성형에서 형상 동결성의 문제가 발생하는 원인은 굽힘 변형에 의하여 발생하는 두께 방향으로의 변형의 불균일에 의한 것이기 때문에 두께 방향의 변형의 분포를 균일하게 하는 성형 방법을 적용하면 형상 동결성은 향상될 수 있다. Table 1은 V굽힘 성형후 굽힘 성형 부위의 변형률의 분포를 균일화하기 위하여 성형후 굽힘 방향으로 측면 압축력을 가한 후 성형된 굽힘 각을 측정된 결과이다. 측면 압축력이 충분하여 굽힘 부분의 변형 분포를 균일하게 하면 탄성 회복 현상이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다.

Table 1 Effect of lateral compression on springback in V-bending

Bending Radius (mm)	Lateral compression(Ton)			
	0	2.5	3	3.5
0.5	85.2	89.5	90	90
4	88.3	88.7	90	90
8	92	91	90.5	90

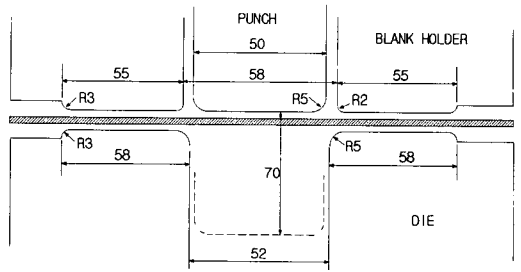


Fig. 6 Schematic diagram of U-bending Tools

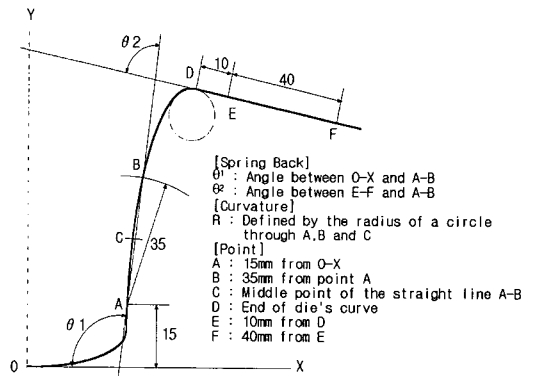


Fig. 7 Springback angle and curvature of a side wall

3.2 U 굽힘 성형 시험

U굽힘 성형의 경우 성형되는 성격이 V굽힘의 경우와는 매우 다르다. U굽힘의 경우 플랜지 부분의 굽힘 내부로의 유입과 펀치 선단에서의 굽힘이 동시에 일어나는 일종의 덤프로잉 성형으로 이해할 수 있다. 이 경우 변형은 펀치 선단의 곡률 부분뿐만 아니라 펀치의 벽 부분에서도 발생하기 때문에 변형의 양상은 상당히 복잡하게 나타난다. 형상 동결성에 영향을 주는 부분은 펀치 곡률 부위와 펀치 벽 부분 그리고 다이 어깨 부분이다. 형상 동결성에 영향을 미치는 인자는 블랭크 홀더력과 판재의 물성치이다. 성형 시험에 사용된 금형의 형상은 Fig. 6에 나타내었으며 성형후 각 부분의 탄성 회복량의 측정 방법은 Numisheet'93에서 제안된 Fig. 7의 방법을 사용하였다.

Fig. 8은 U굽힘 성형에서 강관의 재질을 변화시켰을 때 블랭크 홀더력에 따른 벽부분의 탄성 회복량을 나타낸 것이다. 각 재질 모두가 블랭크 홀더력의 증가에 따라 탄성 회복량이 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 EDDQ재질의 경우 탄성 회복량이 가장 적었으며 블랭크 홀더력 변화

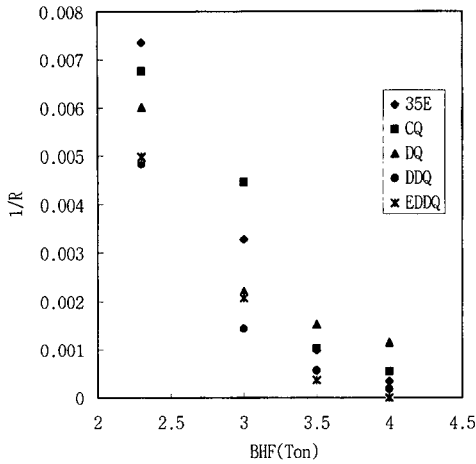


Fig. 8 Curvature of wall after U-bending with respect to BHF for each grade of sheet steel
 (35E : High Strength Steel
 CQ : Commercial Quality Steel
 DQ : Drawing Quality Steel
 DDQ : Deep Drawing Quality Steel
 EDDQ : Extra Deep Drawing Quality Steel)

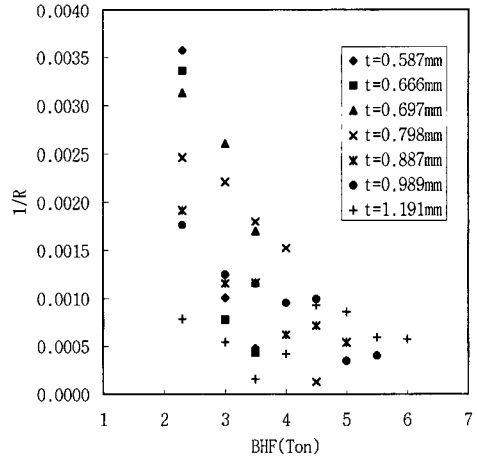


Fig. 10 Curvature of wall after U-bending with respect to BHF for each thickness of sheet steel

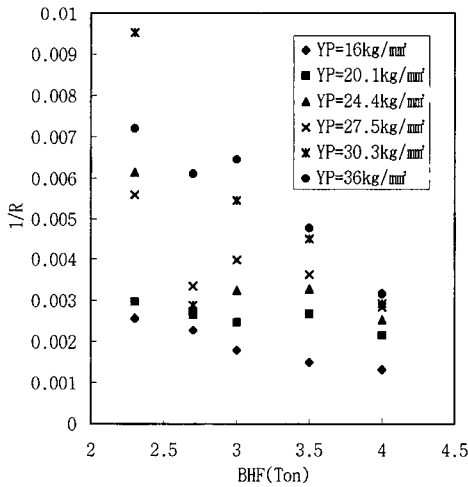


Fig. 9 Curvature of wall after U-bending with respect to BHF for each yield stress

에 따른 탄성 회복의 변화도 적게 나타났다. 35E의 경우 전체적인 탄성 회복양이 가장 크게 나타났으며 블랭크 홀더력의 변화에 따른 탄성 회복양의 변화도 가장 크게 나타났다. Fig. 9는 항복점 변화에 따른 U굽힘에서의 벽부분의 탄성 회복양을 나타낸 것이다. Fig. 9에 나타난 바와 같이 항복점이 낮은 판재의 경우 전체적인 성형 제품 벽의

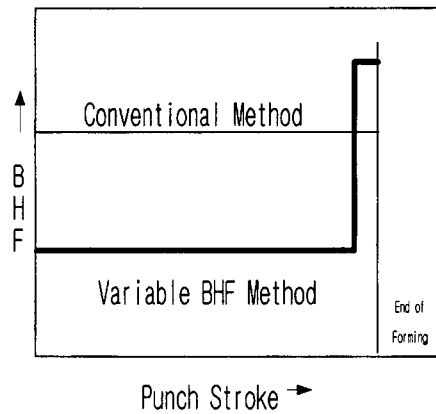


Fig. 11 BHF for conventional method and variable method

휨 정도가 적어서 형상 동결성이 상당히 우수하게 나타났으며 블랭크 홀더력의 변화에 대한 벽의 휨의 변화량은 매우 적게 나타났다. 그러나 항복점이 높은 판재의 경우 성형 제품의 벽의 휨 정도는 매우 심하였으며 블랭크 홀더력의 증가에 대하여 개선되는 정도가 뚜렷하였다. 그러나 이러한 블랭크 홀더력의 증가에 의한 벽의 휨 정도 개선은 파단으로 인하여 한계를 갖고 있다. Fig. 10은 판재의 두께 변화에 대하여 벽의 휨 정도를 나타낸 것으로서 두께가 증가할수록 벽의 휨 정도는 개선되었다. 그리고 블랭크 홀더력이 증가할수록 벽의 휨 정도가 개선되었으나 두께가 얇은 재료의 경우 블랭크 홀더력을 증가시켜도 벽의 휨을

완전히 개선시키지는 못하였다.

U굽힘 성형에 있어서 형상 동결성은 V굽힘에서와 같이 항복점과 관재의 두께 등에 의해 크게 영향을 받았다. 그리고 이러한 형상 동결성의 문제는 성형중 작용하는 블랭크 홀더력을 증가시키므로서 개선되었다. 그러나 성형중 블랭크 홀더력의 증가는 성형성을 저하시키게 되므로 블랭크 홀더력을 증가시켜 형상 동결성 문제를 개선하는 데에는 한계가 있다.

이러한 문제를 해결하고자 Fig. 11과 같이 성형중 블랭크 홀더력을 변화시켜 형상동결성을 향상시키는 방법을

제안하였다. Fig. 12, 13, 14는 U굽힘 성형중 블랭크 홀더력을 변화시키는 방법으로 형상 동결성을 개선시킨 결과들을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 일정 블랭크 홀더력을 사용한 경우보다 성형중 블랭크 홀더력을 변화시킨 경우 형상 동결성이 매우 개선될 수 있음을 알 수 있다. Fig. 15에서의 성형 제품의 벽 부분의 두께 변형량에서도 알 수 있듯이 성형중 블랭크 홀더력을 변화시키는 방법을 사용할 경우 벽부분의 두께 감소가 거의 없이 높은 형상 동결성을 얻을 수 있음을 알 수 있다. Fig. 16은 블랭크 홀더력을 일정하게 유지한 경우와 성형중 변화

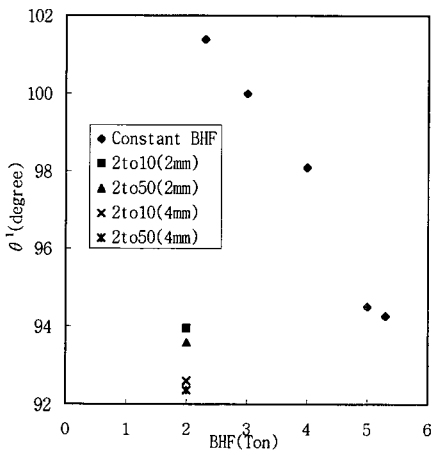


Fig. 12 Folding angle at punch radius after U-bending with respect to BHF for the different BHF control method

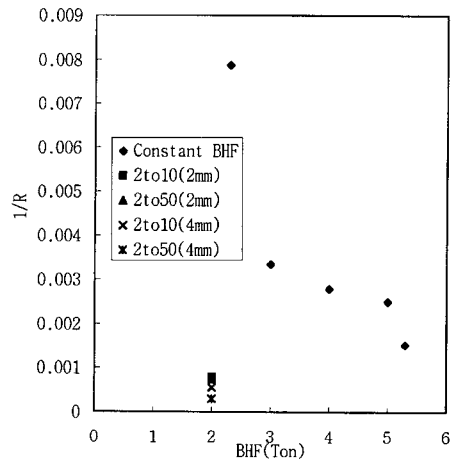


Fig. 14 Curvature of wall after U-bending with respect to BHF for the different BHF control method

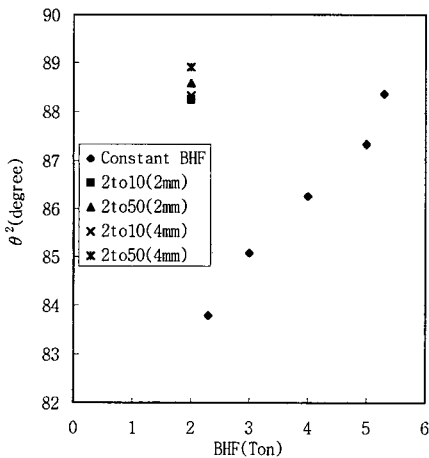


Fig. 13 Folding angle at die radius after U-bending with respect to BHF for the different BHF control method

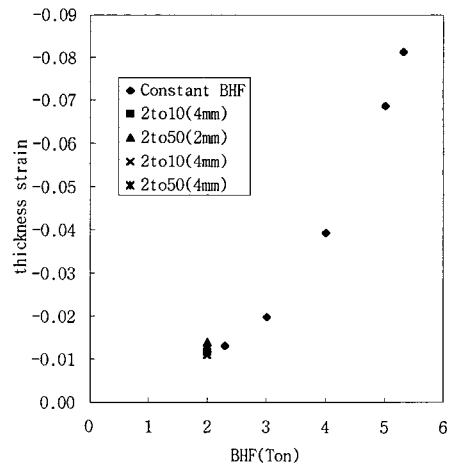


Fig. 15 Thickness strain of wall after U-bending with respect to BHF for the different BHF control method

시킨 경우에 대하여 각각 성형된 제품의 형상을 나타낸 것이다. Fig. 16에서 알 수 있듯이 블랭크 홀더력을 변화시킨 경우 탄성 회복이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 상용 유한 요소 해석 프로그램을 이용하여 일정 블랭크 홀더력을 가한 경우와 성형중 블랭크 홀더력을 변화시킨 경우에 대하여서 성형 해석하여 Fig. 17, 18과 같이 다이 곡률부를 통과하는 부분의 표면 응력과 중심부의 변형률을 각각의 펀치 행정에 대하여 나타내었다. 일정 블랭크 홀더력을 작용하여 성형하는 판재의 상하부에 인장, 압축력이 작용하는 응력의 불균일이 존재하고 성형후 이러한 불균일을 제거하기 위하여 탄성 회복 현상이 일어난다. 그

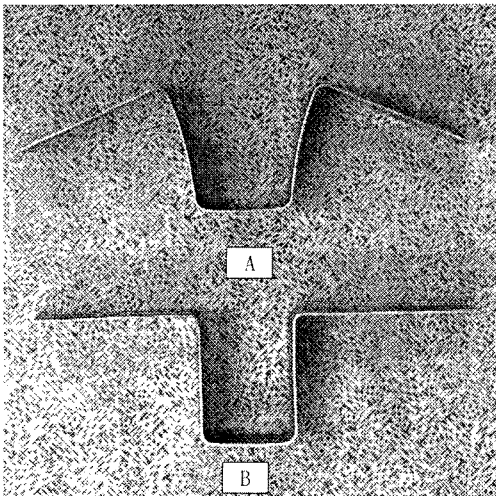


Fig. 16 Deformed shape after U-Bending
A : Conventional BHF method (BHF=2ton)
B : Variable BHF method (BHF=2ton->20ton)

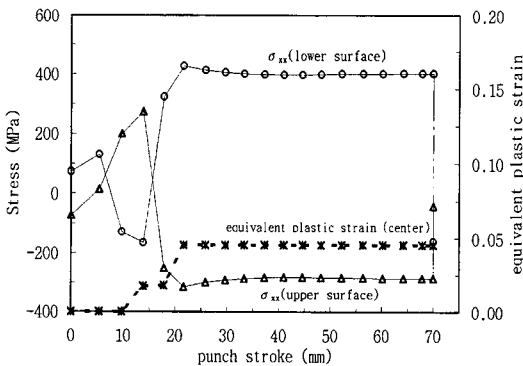


Fig. 17 Strain and stress of sheet during U-bending at the shoulder region (BHF=2ton)

러나 성형중 블랭크 홀더력을 변화시킨 경우 블랭크 홀더력의 증가로 인하여 상하부의 응력차이가 없어져서 두께 방향으로의 변형 불균일이 존재하지 않기 때문에 탄성 회복 현상이 거의 일어나지 않는다.

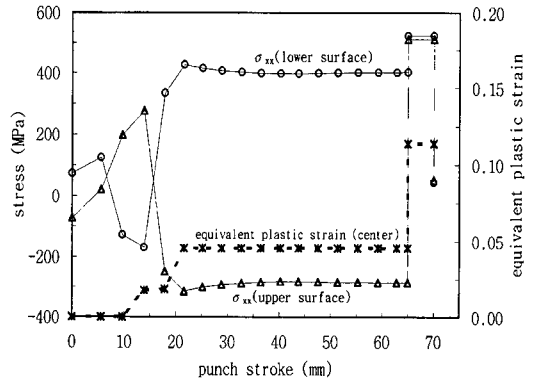


Fig. 18 Strain and stress of sheet during U-bending at the shoulder region (Switched BHF to 20ton from 2ton at stroke=65 mm)

4. 결론

판재의 성형 공정에 있어서 형상 동결성을 개선하기 위하여 형상 동결성에 영향을 미치는 인자들을 성형 시험을 통하여 분석하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) V 굽힘과 같은 단순 굽힘의 경우 재료의 항복점, 두께 등이 형상 동결성에 영향을 미치며 탄성 회복량은 굽힘 반경이 증가할수록 증가하였다. 각각의 성형 인자에 대하여 형상 동결성이 최대가 되는 적정 굽힘 반경이 존재하였다.

(2) V 굽힘 성형의 경우 성형후 측면 변형을 부가하므로써 두께 방향으로의 변형을 균일화하면 형상 동결성이 향상되는 것을 알 수 있었다.

(3) U 굽힘과 같이 드로잉을 수반하는 굽힘의 경우 재료의 항복점, 두께 등이 형상 동결성에 영향을 미치며 블랭크 홀더력을 증가시키면 형상 동결성이 향상되었다.

(4) U 굽힘 성형에서 성형중 블랭크 홀더력을 변화시키는 성형 방법을 사용할 경우 성형 제품의 벽부분의 두께 감소 없이 우수한 정도의 형상 동결성을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- (1) A. K. Ghosh. 1975. "The effect of lateral drawing-in on stretch formability". Metal Engineering Quarterly, Vol.15-7, pp.53~64.
- (2) Y. Demeri. 1981. "The stretch-bend forming of sheet metals". J. Appl. Metal. Work., Vol.2-1, pp.3~10.
- (3) S. Kim and J. B. Nam. 1993. "A plane strain stretching test for evaluating stamping formability". Trans. KSAE, Vol.15-2, pp.121~136.
- (4) W. Johnson and T. X. Yu. 1981. "On the range of applicability of results for springback of an elastic/perfectly plastic rectangular plate after subjecting it to biaxial pure bending". Int. J. Mech. Sci. Vol.23, pp.631~637.
- (5) S. C. TANG. 1987. "Analysis of springback in sheet forming operation". proc. of ICTP Advanced Technology of Plasticity, Vol.1, pp.193~198.
- (6) Karafillis, A.P. and Boyce, M.C. 1992. "Tooling design accommodating springback errors". J. of Materials Processing Technology, Vol.32, No1-2 pp.499~508.
- (7) Sanchez, L.R. and Robertson, D. 1996. "Springback of sheet metal bent to small radius/thickness ratios". SAE Transactions: J. of Materials & Manufacturing, Vol.105, No.5, pp.650~656.
- (8) Schmoekkel, D. and Beth, M. 1993. "Springback reduction in draw-bending process of sheet metals". CIRP Annals. Manufacturing Technology, Vol.42, No.1, pp.339~342.