

레이저 용접 판재의 U-벤딩시 스프링백 특성에 관한 연구

장성호* 신장모* 서대교**

(2003년 1월 15일 접수)

Springback Characteristics of Tailor-Welded Strips in U-bending

S. H. Chang, J. M. Shin and D. G. Seo

Abstract

Sheet or plate bending is one of the most important industrial metal forming processes. Considerable attention has been focused on gaining a better understanding of bending characteristics. One of defaults in bending process is the springback. In this study, the springback characteristics of tailor welded strips in U bending process was investigated. Furthermore, effect of the process variables such as the geometry of the tools, thickness combination of workpiece, and welding procoessing on springback were experimentally clarified. First, tailor-welded strips are joined by the laser welding process and consisted of two types of thickness combinations of the SCPl sheet, $0.8t \times 1.2t$ and $0.8t \times 1.6t$ to investigate the effect of different thickness combination on the springback. Secondly, two different directionly welded strips, one was welded along the centerline of the strip width and the ohter was along the centerline of strip length, were adopted to compare the effects of the location of weld line on the springback. Some cases of the experimental results were compared to the results simulated by using a commercial FEM code, PAM-STAMP and the theoretical results using the springback formula as well.

Key Words: Springback, Tailor-Welded Strips, The Location of Weld Line, Punch Profile Radius

1. 서론

박판 성형 공정에서 정확한 형상을 얻기 위해서는 성형된 후 박판 내부의 응력이 탄성적으로 재편되면서 생기는 현상에 따른 치수 오차인 스프링백의 예측이 필요하다. 최근 컴퓨터 산업의 비약적인 발전에 힘입어 많

은 소성가공 공정들이 유한 요소법 등에 의해 해석되고 있음에도 불구하고 스프링백에 예측에 대한 수치적인 방법은 어려운 문제로 남겨져 실험적인 방법이나 숙련자의 경험에 의해 해결하는 경향이 두드러진다.^(1~8) 따라서, 자동차 산업 등 생산 현장 전반에 걸쳐 정확한 스프링백 예측이 절실히 요구되어지고 있다.

* 성균관대학교 기계공학부 대학원
** 성균관대학교 기계공학부

또한, 최근 자동차 산업에서는 경량화 추세와 차체의 용접 조립시 재료비의 절감, 차체의 강도 향상 등을 위해서 테일러 웰디드 블랭크(tailor welded blank, TWB) 방식의 적용 폭을 넓혀가고 있다. TWB 방식은 두께와 기계적 물성치, 코팅 타입 등 서로 상이한 2매 이상의 판재를 레이저(laser) 또는 매쉬십(mash seam) 용접 등을 통해서 하나의 블랭크로 일체화시킨 후 성형 공정을 통하여 자동차 차체 패널을 제조하는 새로운 자동차 차체 제조 기술이다. 이러한 TWB 방식의 장점은 판의 두께와 재료의 최적 배치가 가능하고 연속적인 용접선을 이루므로 결합 강도가 높으며 겹침 부를 없앨 수 있어 경량화가 가능하다는 점을 들 수 있다. 따라서 이러한 방식은 용접 공정과 프레스 성형 공정의 발달과 더불어 앞으로 보편화 될 것으로 본다.⁽⁹⁻¹²⁾ 지금까지 연구에는 이러한 신기술에 따른 성형의 중요한 문제점인 스프링백 특성을 적용한 연구는 많지 않았다. 따라서 이러한 TWB 방식의 용접판재에 대한 스프링백 특성에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구에 적용한 용접 판재는 두께가 다른 냉연강판(SCP1)을 레이저 용접을 이용하여 두 가지 두께 조합(0.8t×1.2t, 0.8t×1.6t)으로 제작하고, 용접 부의 위치에 따른 스프링백 특성을 파악하기 위하여 용접을 시험편의 폭 방향 및 길이 방향의 두 가지로 수행하여 스프링백을 측정, 비교하였다. 스프링백의 정도는 퍼센트 스프링백(%S.B.) 즉, $(\theta_a - \theta_b) / \theta_a \times 100$ 으로 측정 계산하여 정량적으로 나타냈다. 여기서 θ_a 는 성형 후 급형에서 제거하기 전의 시편 바닥 면과 옆벽 부의 예각이고, θ_b 는 성형품을 급형에서 꺼낸 후 스프링백이 발생한 시편의 바닥 면과 옆벽 부 사이의 예각이다.

본 연구에서는 용접 판재의 스프링백 특성을 단순 U-벤딩 공정으로 몇 가지 성형 변수들을 변화시켜 가며 실험적으로 고찰하였으며, 또한 일부 실험 결과는 상용 FEM code인 PAM-STAMP⁽¹³⁾를 사용한 해석 결과 및 WILLIAM WING LEUNG⁽¹⁴⁾등이 제안한 탄 가공경화 소성식의 스프링백 지배 계산식을 이용한 이론적 퍼센트 스프링백 결과와 비교, 고찰하여 그 예측 가능성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 레이저 용접 및 인장 실험

자동차용 냉연강판을 모재로 한 레이저 용접 판재의 제작은 SCP1 0.8t 두께의 재료와 동종 판재로써 두께를 1.2t, 1.6t로 하여 맞대기 용접 방식의 레이저 용접을 실

시하였다. 용접 판재는 600mm×117mm의 크기로 Trumpf TLC 105 3kW 레이저를 사용하여 용접을 하였으며, 이때의 용접 조건과 선행 연구에서 제시한 용접 비드 부위의 열 영향부(4mm)에 관한 기계적 물성치 및 용접 조건을 Table 1에서 보여주고 있다. 레이저 용접시 먼저 가접(The 1st)을 한 뒤 진접(The 2nd)이 수행되었다. 그리고 레이저 용접후의 판재의 기계적 성질을 알아보기 위해 Fig. 1에서와 같이 용접부위, 즉 일반적으로 폭 4mm의 크기를 가지는 열 영향부인 용접 비드에서 떨어진 거리별 인장시험편을 준비하여 실험하였다. 또한 용접하지 않은 모재의 기계적 성질과 비교를 위하여 3가지 두께 0.8t, 1.2t, 1.6t의 냉연 강판의 인장 실험을 실시하여 비교 고찰하였다. 본 연구의 인장실험 장치는 SHIMADZU AG 25TG 모델을 사용하였다.

Fig. 2는 모재인 SCP1 0.8t와 용접 판재의 얇은 쪽(0.8t)의 인장 실험 결과를 비교한 공칭응력-공칭변형률 선도를 나타내고 있다. 모재에 비해 용접 판재의 용접선으로부터 30mm 떨어진 시편의 인장 실험 결과 선도가 차이를 보이고 있다. 그러나 Fig. 3에서와 같이, 용접 판재의 두꺼운 쪽(1.2t)의 인장 실험 결과 선도는 모재 SCP1 1.2t의 경우에 비해 연신율이 미소하게 증가했지만 전체적으로 두 선도는 크게 변화가 없는 것으로 나타났다. 이러한 인장시험 결과는 Table 2에 항복강도(Y.S.), 인장강도(T.S.), 소성계수(P.C.), 가공경화지수(S.H.E.)의 항목으로 모재의 인장시편과 용접판재의 용접선에서 떨어진 거리별 준비한 인장시편에 대해 나타내었다. 용접판재의 두꺼운 쪽인 1.2t와 1.6t의 결과는 각각의 모재에 대한 결과와 거의 일치하였으나, 용접 판재의 얇은 쪽의 경우에는 용접 전보다 항복강도가 약 23% 줄어드는 결과를 나타냈다.

Table 1 Mechanical properties of heat affected zone and laser welding conditions

Mechanical properties of HAZ (width=4 mm)		Laser welding conditions		
Yield Strength (kg/mm ²)	39.28	Process	The 1st	The 2nd
		Machine	Trumpf TLC105	
Plastic Coefficient (kg/mm ²)	85.93	Beam power	1.5 kW	2.86 kW
Tensile Strength (kg/mm ²)	53.13	Shielding Gas	Ar 15 ℓ/min	
Strain Hardening Exponent	0.739	Welding speed	5.8 m/min	3.8 m/min

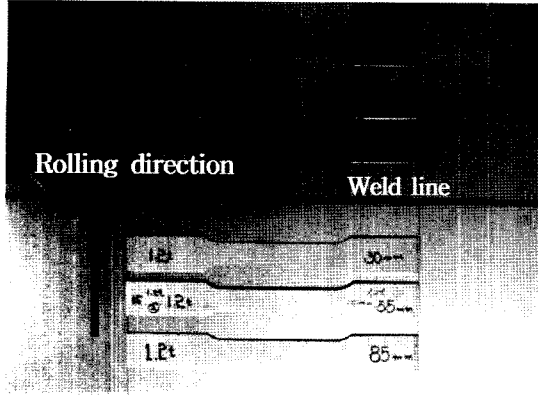


Fig. 1 The tensile specimen according to the various distances from weld line (KS 13B)

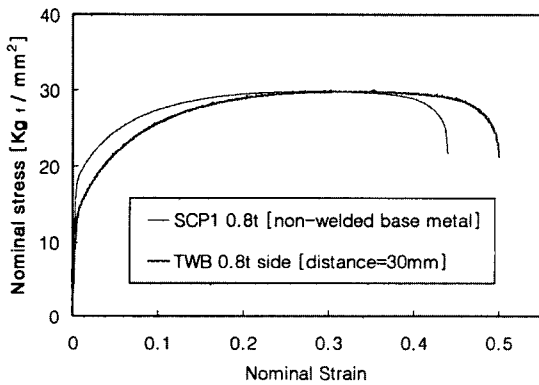


Fig. 2 Comparison of nominal stress-strain curves between TWB(0.8t side, 30 mm) and SCP1 0.8t

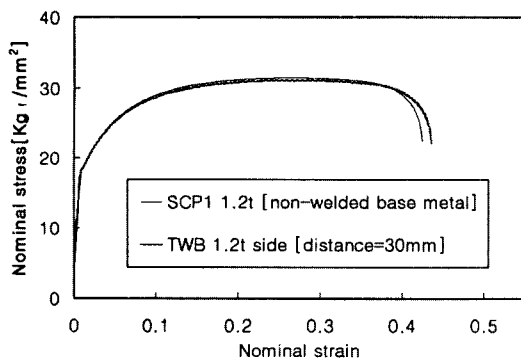


Fig. 3 Comparison of nominal stress-strain curves between TWB(1.2t side, 30 mm) and SCP1 1.2t

Table 2 The results of tensile test

Thickness / Distance	Y.S. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	P.C. (kg/mm ²)	S.I.E.	
0.8t	SCP1	18.656	29.91	54.0721	0.2545
	25 mm	14.188	29.38	57.8605	0.3154
	30 mm	14.125	29.84	60.2513	0.3334
	55 mm	14.031	29.44	59.9668	0.3312
	85 mm	13.969	29.50	58.3513	0.3165
1.2t	SCP1	18.563	31.42	60.4632	0.2910
	25 mm	18.479	31.65	60.4162	0.2868
	30 mm	18.333	31.13	58.9469	0.2867
	55 mm	18.750	31.56	61.2470	0.2987
	85 mm	18.896	31.65	59.3222	0.2729
1.6t	SCP1	16.141	29.30	57.6248	0.3138
	30 mm	16.563	29.63	59.4659	0.3304

2.2 스프링백 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용된 용접 판재(TWB)의 모재는 기존의 차량 성형용 판재인 냉연강판(SCP1)이며, 0.8t×1.2t, 0.8t×1.6t의 두 가지 두께 조합으로 레이저 용접되었다. U-벤딩 실험을 위해 230mm×30mm 크기의 시편을 Fig. 4에서처럼 용접선 방향에 따라 길이방향의 용접선(Type A)과 너비방향의 용접선(Type B)을 가지는 2종의 시편을 두 가지 두께 조합으로 준비하였다. 또한 용접 판재의 스프링백과 비교를 위하여 모재인 냉연강판을 각 두께별로 용접 시편과 같은 크기로 제작하여 실험을 수행하였다.

본 실험을 위해 사용한 U-벤딩 실험 장치는 Fig. 5에서와 같이 두께가 다른 용접 판재(TWB)의 굽힘 실험을 하기 위하여 용접선의 이동을 막고 2차적인 바닥 성형을 배제하기 위해 스프링을 이용하여 시편을 지지할 수 있도록 다이(die)의 높이와 일치하게 패드(pad)를 제작하였다. 패드의 힘은 스프링백 량에 영향을 미칠 수 있기 때문에 펀치가 10mm 진행되었을 때 판재의 두께가 가장 두꺼운 냉연강판(1.6t)의 경우와 펀치 형상 변경이 가장 작은 3mm인 경우에서 최대 굽힘 일에 의한 펀치 하중이 최대가 되는 경우를 기준으로 펀치 바닥 영역에서 시편이 굽힘을 발생시키지 않는 최소 패드 스프링 상수를 결정하였다. 스프링 상수는 1.643kg/mm이었다. 펀치의 형상 변경의 변화를 주기 위해 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 반경별 인서트를 별도로 제작, 삽입하여 펀치 형상

반경(R_p)을 3mm, 9mm, 15mm 3단계로 변화를 주었으며, 다이 어깨 반경(R_d)은 5mm로 고정하였다. 펀치와 다이 사이의 틈새(clearance)를 변화시킬 수 있도록 지지대와 다이의 사이에 레일을 설치하였다. 틈새는 시편 두께의 1.5배로 하였고, 용접선 길이방향의 시편의 경우는 두꺼운 쪽 소재 두께의 1.5배로 다이와 펀치의 틈새를 조절하였다. 그리고 성형 길이는 70mm, 펀치 속도는 5 mm/sec로 성형을 하였다. 또한, U 벤딩 실험장치는 30 ton 용량의 U.T.M. (universal testing machine)에 장착하여 실험을 수행하였다.

먼저, 본 실험인 용접 판재(TWB)의 스프링백 특성 실험에 앞서 용접하지 않은 모재에 대한 동일한 실험 조건에서 두께(0.8t, 1.2t, 1.6t)에 따른 스프링백량과 펀치의 형상 반경(3mm, 9mm, 15mm)에 따른 스프링백에 대해 실험, 고찰하였다. 실험의 세부적인 조건들은 Table 3에 나타내었다.

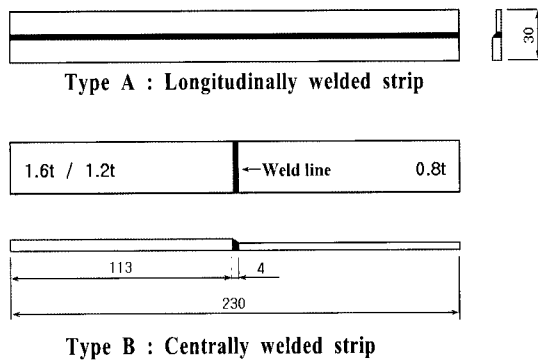


Fig. 4 Tailor-welded strips for U-bending test(Unit: mm)

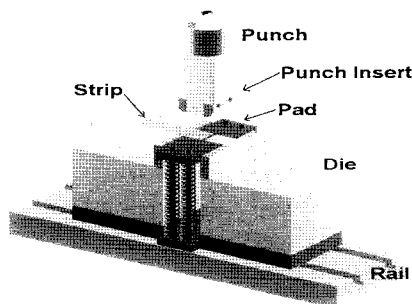


Fig. 5 Experimental apparatus of U-bending test for the tailor-welded strips

Table 3 Experimental condition

Specimen	Condition	Clearance (mm)	R_p (mm)	Spring coefficient (kg/mm)
SCP1	0.8t	1.2	3	1.643
	1.2t	1.8		
	1.6t	2.4		
Type A	0.8t×1.2t	1.8	9	
	0.8t×1.6t	2.4	15	
Type B	0.8t×1.2t	1.2	1.8	
	0.8t×1.6t	1.2	2.4	

3. 실험결과 및 고찰

3.1 냉연강판의 스프링백 특성

용접 판재의 실험에 앞서 U-벤딩에서의 SCP1의 스프링백 특성을 살펴보면 Fig. 6에서 펀치 형상 반경과 재료의 두께에 따라 정량적인 스프링백량을 계산하여 각각 나타내었다. 그림의 결과처럼 펀치의 형상 반경(R_p)이 커질수록 스프링백이 크게 발생하였다. 그리고 동일한 펀치 반경에서의 두께(t)에 따른 스프링백량은 3가지의 모든 펀치 형상 반경에서 두께가 얇을수록 스프링백이 크게 발생함을 알 수 있었다.

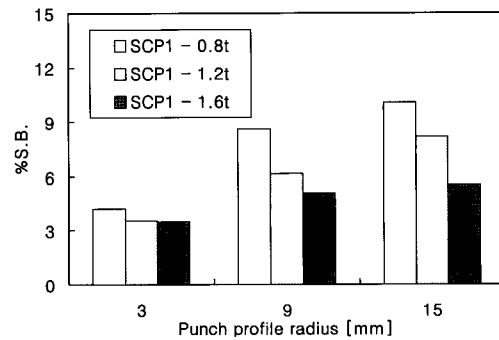


Fig. 6 The measured % springback of SCP1 for the various punch profile radii and the various thicknesses

3.2 용접판재의 스프링백 특성

본 연구의 주 내용인 용접 판재에 대한 스프링백 특성을 알아보기 위해 2종의 두께 조합(0.8t×1.2, 0.8t×1.6t)에 대한 U-벤딩 실험을 실시하였다. 먼저 Fig. 7에서는 Type A의 용접 판재(0.8t×1.2t)와 용접되지 않은 SCP1의 결과를 % S.B.로 나타내어 비교한 결과이다. Type A의 용접 판재는 두꺼운 소재와 얇은 소재 그리고 용접 바드부가 동시에 굽힘 공정 후 탄성적 회복을 일으켰으

나 전체 스프링백의 정도는 용접되지 않은 두꺼운 판재의 % S.B.과 일치하였다. 그리고 이때 펀치 형상반경에 대하여서는 스프링백 량이 기존의 연구 결과와 같이 R_p 에 비례하는 결과를 나타냈다. Type A의 용접 판재(0.8t×1.6t)의 경우도 유사한 경향을 보였다.

Fig. 8에서는 Type B의 용접 판재와 용접하지 않은 SCP1과의 스프링백 후의 실험 결과 형상을 비교하였다. 여기에서 Type B의 두꺼운 쪽(그림에서 (4)와 (7))은 같은 두께의 용접하지 않은 모재(그림에서 (5)와 (6))와 거의 일치하는 것을 알 수 있는데, Type B의 얇은 쪽(그림에서 (2)와 (3))은 같은 두께의 용접하지 않은 모재(그림에서 (1))보다 스프링백이 감소함을 알 수 있었다. 이러한 Type B의 스프링백 실험 결과를 Fig. 9에서와 같이 펀치 형상 반경에 따른 % S.B.으로 나타내었다. 이

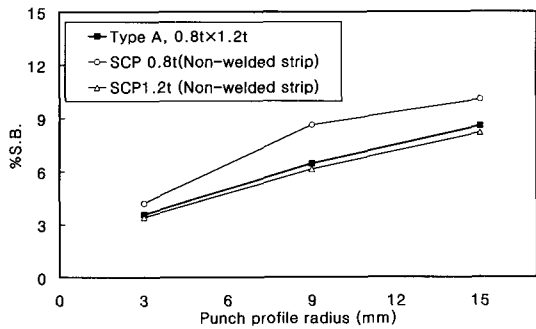


Fig. 7 % Springback versus various punch profile radii

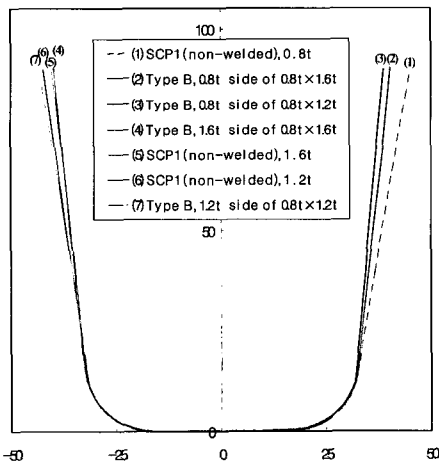


Fig. 8 Deformed shapes after springback (Rp=15 mm)

경우 얇은 쪽(0.8t)의 % S.B.이 펀치 형상 반경 3, 9, 15 mm 모든 경우에 대하여 1.2t와 1.6t의 % S.B.사이 에 위치함을 알 수 있다. 이는 용접하지 않은 모재의 스프링백 실험과 다른 양상임을 알 수 있었다. 이러한 용접 판재(Type B)의 스프링백 특성은 용접시 고온에 의한 영향으로 비교적 얇은 두께 0.8t의 재료적 특성이 변화되었다고 사료된다. 그리고 Fig. 10에서 이러한 용접 판재와 SCP1의 스프링백 이후의 시편 형상을 비교한 사진을 두 가지 두께 조합(0.8t×1.2, 0.8t×1.6t)에 대하여 나타내었다.

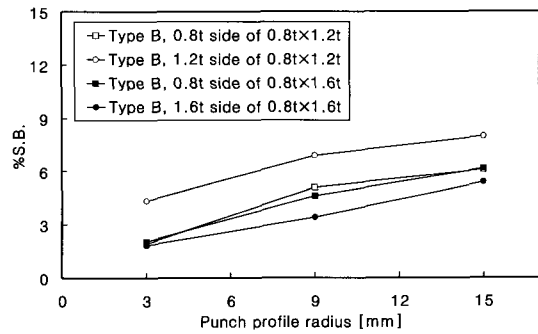


Fig. 9 % Springback versus various punch profile radii

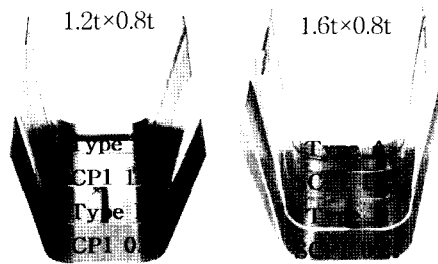


Fig. 10 The deformed specimens after springback of TWB and SCP1 (Rp = 15 mm)

4. 해석

4.1 이론적 스프링백 계산

본 연구에서는 스프링백의 이론적 수치화를 위해 탄 가공경화소성 재료의 순수 굽힘 문제로 가정하여 용접 판재(TWB)의 U 벤딩에서의 스프링백 량을 정량적인

% 스프링백 (% S.B.)으로 나타내었다. 이때 순수 굽힘을 받는 재료의 두께 상에 나타나는 응력 분포는 Ludwick 경화식을 사용하여 항복강도(Y), 탄성계수(E), 소성계수(k), 항복점에서의 변형률(ϵ_0), 가공경화지수(n), 굽힘반경(R)의 항목으로 재료의 두께 중심으로부터의 거리(y)에 따라 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sigma = E\epsilon \quad (0 \leq y \leq YR/E) \quad (1)$$

$$\sigma = Y + k(\epsilon - \epsilon_0)^n \quad (YR/E < y \leq t/2)$$

여기에서 $\epsilon_0 = Y/E$, $\epsilon = y/R$ 이며, 탄성 한계에서의 y값은 굽힘 이론으로부터 구할 수 있다. 식 (1)에서부터 WILLIAM WING LEUNG⁽¹⁴⁾ 등이 제안한 식 (2)의 탄 가공경화소성 식에서 $\Delta\theta/\theta$ 를 구한 후에 % S.B. = $\Delta\theta/\theta \times 100\%$ 를 적용하여 스프링백 량을 정략적으로 나타내고 이론적 % S.B.을 실험 결과 및 유한요소 해석 결과와 비교 고찰하였다.

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{\Delta(1/R)}{1/R} \quad (2)$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{R}{R_e} \right)^3 - \frac{3}{2} \left(\frac{R}{R_e} \right) - \frac{12R^2k}{E t^2(n+1)(n+2)}$$

$$\times \left[\frac{Y}{E} \left(\frac{R_e}{R} - 1 \right) \right]^{n+1} \left(n + 1 + \frac{R}{R_e} \right)$$

위 식에서 R은 스프링백 전의 시편의 굽힘 반경, 즉 편치 형상 반경에 재료 두께의 1/2를 더한 값이고, R_e 는 탄성 한계에서의 굽힘 반경으로 굽힘 이론으로부터 $Et/2Y$ 이다. 위의 탄 가공경화 소성 스프링백 계산식을 이용한 정략적인 % S.B.의 계산 결과를 Fig. 11에 나타냈다. 그림과 같이 실험과 같은 경향으로 얇은 판재(0.8t)의 스프링백 량이 용접 전과 후에 약 18%의 감소하였고 두꺼운 판재의 경우는 용접 판재와 모재의 스프링백 량은 거의 일치하는 경향을 나타내었다.

4.2 유한요소해석

용접 판재(TWB)의 스프링백을 예측하기 위해 본 연구에서는 박판 성형에 일반적으로 많이 쓰이는 상용 FEM code인 PAM STAMP를 이용한 해석을 수행하였다. 용접 판재의 성형 해석과 스프링백 해석을 위해 Type A의 길이 방향과 Type B의 폭 방향 대칭성을 고

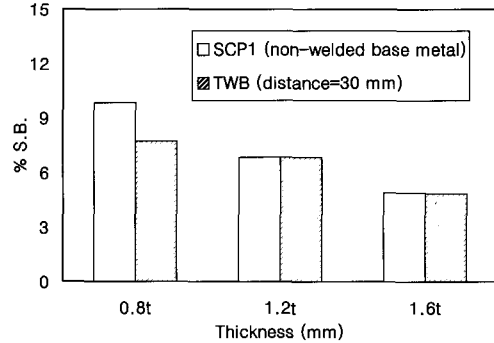


Fig. 11 Comparison of theoretical % springback calculated by the formula between tailor-welded strips and non-welded SCP1

려한 1/2 모델을 사용하였고, 용접하지 않은 모재의 경우는 1/4 모델을 사용하였다.

그리고 Fig. 12에서와 같이 고온의 레이저 용접으로 인한 열 영향부(Heat Affected Zone, HAZ), 즉 폭 4mm의 용접부를 고려하여 4 부분의 영역에 Table 1에서 제시한 열 영향부의 물성을 ①과 ②에 적용하고 모재인 SCP1의 물성을 ③과 ④에 각각 대입하여 해석을 수행하였다. 그 밖의 성형 해석 조건들을 Table 4에 제시하였다.

Fig. 13은 Type A 용접 판재의 스프링백 후 형상을 편치 형상 반경 15mm인 경우에 대하여 실험 및 해석 결과(그림에서 (3)와 (4))와 각 두께의 용접하지 않은 SCP1(그림에서 (1)와 (2))의 해석 결과를 비교하여 나타내었다. Type A 용접 판재의 해석 결과 (4)를 살펴보면 앞선 실험결과와 달리 전체 스프링백 후 형상이 얇은 쪽과 같은 두께의 용접하지 않은 판재의 해석결과 (1)와 거의 일치하였으며, 용접 판재의 실험 결과 (3)와 해석 결과 (4)를 살펴보면, 전체적으로 해석이 실험보다 스프링백이 적게 나타나고 있다.

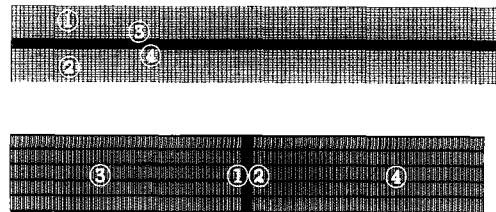


Fig. 12 FEA model of tailor welded strips (4 zones)

Table 4 Numerical parameters of the springback analysis

Element type	Shell element
Blank element size (mm)	1
Number of corner elements	20 · 30
Punch velocity (m/sec)	5 (1 for $R_p=3$ mm)
Punch stroke (mm)	70
Penalty parameter	0.01
Number of integration points	7

Fig. 14에서는 Type B 용접 판재의 스프링백 후 형상을 실험 및 해석 결과(그림에서 (4)와 (5))와 용접하지 않은 판재의 해석결과 (그림에서 (2)와 (3))를 비교하여 나타내었다. Type B 용접 판재의 해석결과 (5)는 각 두께의 용접하지 않은 판재의 해석결과와 같은 결과를 나타내어 용접 판재의 스프링백 특성을 정확하게 예측할 수 없었다.

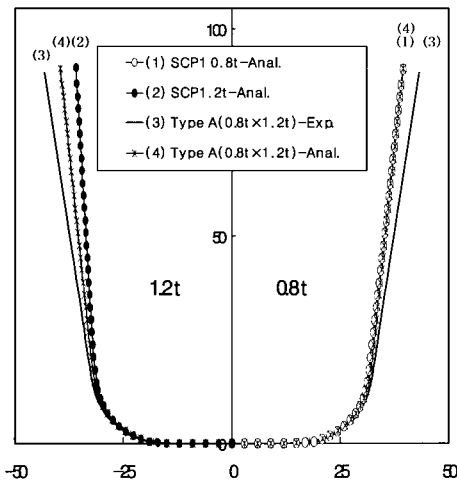


Fig. 13 Deformed shapes after springback ($R_p=15$ mm)

이에 대하여 본 연구에서는 용접 판재의 거리별 인장 실험 결과를 바탕으로 스프링백 실험과 이론적 계산에서와 같이 용접 판재 Type B의 얇은 쪽에서의 변화된 물성을 고려하기 위하여 Fig. 15에서와 같이 Type B의 유한요소 모델을 용접 부위에서 일정 거리에 따라서 8 부분의 영역으로 나누어 각각에 대한 변화된 물성을 고려

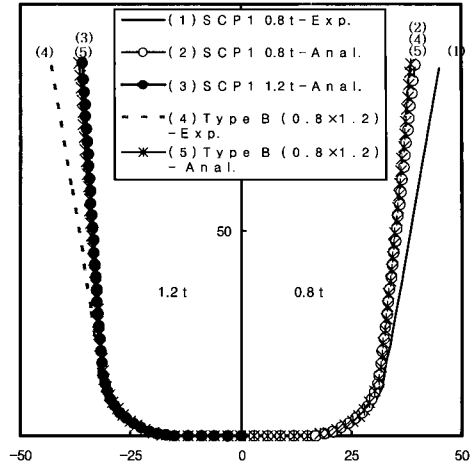


Fig. 14 Deformed shapes for the experiment and the analysis after springback ($R_p=15$ mm)

하여 해석을 수행하였다. 해석 결과는 Fig. 16에서와 같이 다소 스프링백의 문제점을 과소하게 예측하는 경향이 있었으나 실험과 유사하게 얇은 쪽에서의 스프링백 감소 경향을 확인할 수 있었다. 이러한 용접 판재 Type B ($0.8t \times 1.2t$)의 $0.8t$ 쪽에서의 스프링백 감소 경향을 실험 결과와 이론적 계산에서 예측된 결과, 유한요소 해석으로 예측된 결과들을 비교하여 Fig. 17에 나타내었다. 실험에서는 44%의 % S.B.이 감소되었고 해석에서는 18%의 감소 정도를 예측되었으며, 이론적 계산 결과에서는 25%의 감소 정도를 예측할 수 있었다. 또한, % 스프링백 량의 크기는 실험 결과에 이론적 계산 결과가 근사하게 나타났고 FEM 해석 결과는 다소 스프링백 량이 실험 결과와 차이를 나타내었다. 이에 대한 보완이 요구된다고 사료된다.

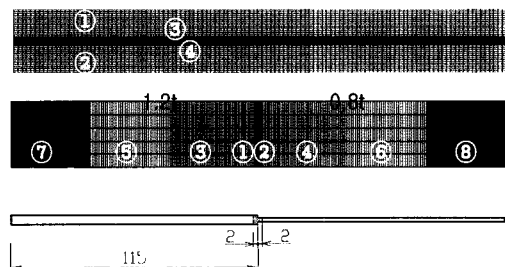


Fig. 15 FEA model for tailor welded strips (8 zones of Type B)

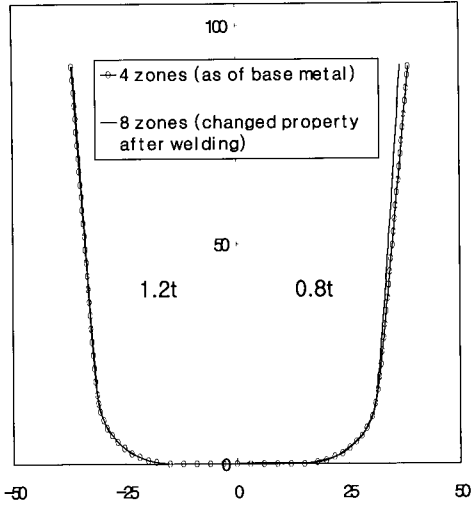


Fig. 16 Comparison of simulation results considering before and after welding process

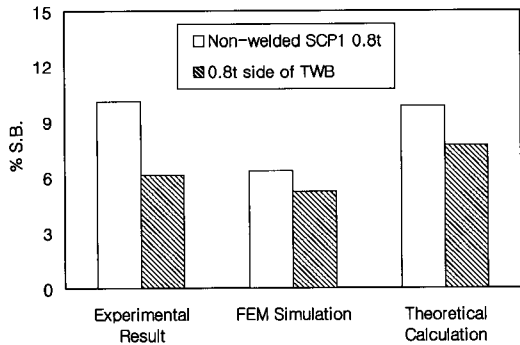


Fig. 17 Comparison of the reduction of % springback for experiment, FEM simulation and theoretical calculation between SCP1 0.8t and 0.8t side of Type B

5. 결론

SCP1과 이틀 모재로 한 용접 판재의 두 가지 두께 조합에 대해서 굽힘의 형상에 따른 스프링백 특성을 파악하고 용접 판재의 용접선 방향에 따른 스프링백 특성을 추정, 비교하였고 이러한 실험 및 이론적 계산, FEM 해석의 스프링백 예측을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 펀치의 형상 반경을 3단계로 변화시켜 실험한 결과 SCP1과 길이방향 용접 시편(Type A, 0.8t×1.2t) 모두 반경이 증가함에 따라 스프링백 량도 증가하였고, 소재

두께(t)에 대해서는 두께가 증가함에 따라 스프링백 량은 감소하였다. 그리고 Type A의 스프링백 측정 결과는 얇은 소재, 용접부, 두꺼운 소재가 동시에 굽힘을 받은 후 탄성적 회복을 거치므로 3가지 재료적 특성의 평균에 의한 스프링백을 예상했던 것과는 달리 두꺼운 판재의 세력에 의해 용접하지 않은 모재의 스프링백 량과 거의 같은 결과를 나타냈다.

(2) 폭 방향의 용접선을 갖는 용접 시편(Type B, 0.8t×1.2t)의 경우, 두꺼운 소재의 스프링백은 같은 두께의 용접하지 않은 SCP1(1.2t)과 같은 스프링백 량을 보였으나, 얇은 소재(0.8t)의 스프링백은 용접 후 소재의 항복강도의 감소로 용접되지 않은 SCP1의 결과보다 약 44%의 스프링백 량이 줄어드는 경향을 나타냈다.

(3) 용접 판재(0.8t×1.6t)의 경우도 위의 결과 (1), (2)과 같은 경향의 결과가 나타났다. 이러한 용접 판재의 얇은 쪽 소재(0.8t)에서의 스프링백 감소 특성은 변화된 물성을 적용한 가공경화 소성 이론 계산식을 이용하여 스프링백 량을 계산한 결과를 볼 때 항복강도가 줄어들 경우 실험과 같이 얇은 쪽에서 이론적 스프링백 량도 25% 줄어드는 것을 확인함으로써 항복강도의 변화가 스프링백에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

(4) 본 연구에서 상용 FEM code인 PAM-STAMP를 이용한 용접 판재 및 SCP1의 스프링백 해석 결과, 실험보다 스프링백의 정도가 대체적으로 과소하게 예측되었다. 용접 판재 Type A의 경우에는 실험과 반대로 얇은 쪽의 스프링백과 일치되는 것으로 예측되었고, Type B의 경우에는 4부분의 영역으로 나누어서 재료의 물성변화를 고려하지 않은 해석과 8부분의 영역으로 나누어서 용접 열에 의한 항복강도의 변화 및 그 밖의 변화된 물성을 고려한 해석을 각각 수행하였다. 해석 결과로 볼 때 8부분의 영역으로 거리별 재료의 물성변화를 고려한 해석이 실험에서와 같이 얇은 쪽에서의 스프링백 감소 경향을 예측 할 수 있었다. 따라서 용접 판재의 보다 정확한 성형 및 스프링백 해석을 위하여 본 연구에서 적용한 소재의 물성변화를 고려한 해석이 적절하다고 판단할 수 있다.

결론적으로 용접 판재의 복잡한 형상의 해석에서는 정확한 해석을 위해서 기초 실험을 근거로 한 보다 세분화된 영역으로 나누어서 물성변화를 고려한 해석이 타당하다고 사료된다.

참고 문헌

- (1) T. Uemori, T. Okada, F. Yoshida, 1998,

- "Simulation of Springback in V-bending Process by Elasto-Plastic finite Element Method with consideration of Bauschinger Effect", METALS AND MATERIALS, Vol. 4, No. 3, pp. 311~314.
- (2) F. Pourboghra, E. Chu, 1995, "Prediction of spring-back and side-wall curl in 2-D draw bending", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 50, pp. 31~374.
- (3) M. J. Finn, P. C. Galbraith, L. Wu, J. O. Hallquist, L. Lum, T. -L. Lin, 1995, "Use of a coupled explicit implicit solver for calculating spring back in automotive body panels", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 50, pp. 395~409.
- (4) S. W. Lee, D. Y. Yang, 1998, "An assessment of numerical parameters influencing springback in explicit finite element analysis of sheet metal forming process", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 80~81, pp. 60~67.
- (5) 양동열, 이상욱, 윤정환, 유동진, 1999, "박판 성형에서의 스프링백 해석과 산업적 응용", 한국소성가공학회지, 제8권 제1호, pp. 22~28.
- (6) 이호용, 황병복, 1994, "3점 굽힘에서의 스프링백에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 제3권 제4호, pp. 401~414.
- (7) 김성환, 신장모, 장성호, 서대교, 2001, "차체 성형용 판재의 U벤딩시의 스프링백에 관한 연구", 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 66~70.
- (8) 이상무, 장성호, 최이천, 허영무, 서대교, 2001, "박판의 온간 2차원 드로오 벤딩에서의 스프링백", 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 75~80.
- (9) C. H. Lee, H. Huh, S. S. Han, O. Kwon, "Optimum Design of Tailor Welded Blanks in Sheet Metal Forming Process by Inverse Finite Element Analysis", METALS AND MATERIALS, Vol. 4, No. 3, pp. 222~225
- (10) K. M. Zhao, B. K. Chun, J. K. Lee, 2001, "Finite element analysis of tailor-welded blanks", Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 37, pp. 117~130.
- (11) Y. M. Heo, Y. H. Choi, H. Y. Kim, D. G. Seo, 2001, "Characteristics of weld line movements for the deep drawing with drawbeads of tailor-welded blanks", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 111, pp. 164~169.
- (12) R. J. Pallett, R. J. Lark, 2001, "The use of tailored blanks in the manufacture of construction components", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 117, pp. 29~254.
- (13) PAM STAMPTM Manual, 2000, ESI
- (14) William Wing-Leung Tse, B. Eng., 1985, Mechanics of Bending And Springback of Sheet Metal, A Thesis Submitted to the School of Graduate Studies in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Engineering, McMaster Univ.