

용접 판재의 온간 성형에서의 용접선 이동 특성

유정선* · 허영무** · 이상무* · 서대교***

Weldline Movement Characteristics for the Warm Deep Drawing of Tailor Welded Blanks

J. S. Yoo, Y. M. Heo, S. M. Lee and D. G. Seo

Abstract

The purpose of this study is to investigate the weldline movement of the laser welded sheets during the warm deep drawing process. For this investigation, Five steps of temperature ranges, from room temperature to 200°C, and two kinds of thickness combination, 0.8 mm×1.2 mm and 0.8 mm×1.6 mm SCP1 material sheets, were adopted. Also, the numerical analysis using the PAM-STAMP has been carried out with the same models as the specimens. As a result, the higher temperature was adopted, the less weld-line movement was observed.

Key Words : Tailor Welded Blank(TWB), Laser Welding, Warm Deep Drawing, Weldline Movement, Thickness Strain Distribution, Maximum Drawing Force.

1. 서론

자동차 차체는 크고 작은 300개 이상의 부품으로 이루어져 있으며, 자동차 차체의 제조에 있어서 일체화 방식(one-sheet type)과 분할방식(individual type)들이 있는데, 여러 개의 패널(panel)을 여러 개의 프레스 성형공정을 거친 후에 용접 공정을 통하여 원하는 형상을 구현하는 분할방식을 택해왔다. 이들 두 방식은 각각에 맞는 장단점을 지니고 있으나 현재의 경량화 추세를 만족시킬 만한 방법이 되질 못하여, 최근에는 차체의 용접 조립시 재료비 절감, 차체의 강도 향상과 프레스 금형 비용의 절약 등을 위해서 복수 부품을 일체화하여 가공하는 방식, 즉 위의 두 가지 방식의 장점만을 절충시킨 테일

러 웰드드 블랭크 방식(Tailor Welded Blank type)이 적극 검토되어 1990년대 후반부터 국내 자동차 회사에서도 적용이 되고 있다.

테일러 웰드드 블랭크 방식은 두께와 기계적 물성치가 상이한 2매 이상의 판재를 조합하여 레이저(laser) 또는 매쉬심(mash seam) 용접 등을 통해서 하나의 블랭크로 일체화시킨 후 프레스 성형 공정을 통하여 자동차 차체 패널을 제조하는 신기술로서 단일 블랭크의 부분들에 이러한 신기술을 부과함으로써 원하는 요구조건들을 만족시킬 수 있는 새로운 자동차 차체 제조 기술이다. 테일러 웰드드 블랭크의 특성으로는 판 두께와 재질의 최적 배치가 가능하고 연속적인 용접선을 이루므로 결합강도가 높으며 스팟(spot) 용접의 겹침부를 없앨 수 있어 경

* 성균관대학교 대학원
** 한국생산기술원
*** 성균관대학교 기계공학부

량화가 가능하고 소재형상의 자유도가 크다는 점을 들 수 있다. 이러한 특성으로 인하여 테일러 웰드 블랭크는 부품 수의 감소, 재료구성의 최적화를 통한 실수율 향상(성능, 품질, 비용)을 이룰 수 있다. 그러나 불균일재의 프레스 성형, 박판의 맞대기 용접 등 생산 기술상의 많은 문제점들을 극복하여야 한다. 현재 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법 중에 펀치는 냉각하여 재료 강도를 증가시켜 파단을 지연시키고, 다이는 가열하여 재료의 강도를 감소시켜 재료의 유입을 용이하게 하는 효과와 금형의 온도를 일정하게 유지시킬 수 있는 효과를 이용한 온간 성형방법이 있다. 이러한 온간 성형법에 대한 연구⁽¹⁻⁴⁾와 테일러 웰드 블랭크에 대한 연구⁽⁵⁻⁶⁾가 여러 연구자들에 의해 행해졌으며 성형성에 미치는 성형인자와 성형조건들을 제시하고 있다.

본 연구에서는 펀치는 냉각시키고 다이는 가열하는 온간 성형 방법을 테일러 웰드 블랭크에 적용시켜, 온도에 따른 용접선 이동 특성에 초점을 맞추어 두께변형률 분포 등을 측정하여 용접판재의 온도별 성형성을 파악해 보고자 한다. 또한 PAM-STAMP를 이용해 해석을 수행하여 실험결과와 비교해 보고자 한다.

2. 실험

2.1 레이저용접

실험에 사용된 소재는 SCP1 0.8mm, 1.2mm, 1.6mm이며, 소재를 절단 후 밀링하여 준비하였고, 0.8t×1.2t, 0.8t×1.6t의 두 가지 두께조합으로 용접하였다. 용접은 Trumpf 3kW 레이저를 통해 용접을 실시하였다. 용접은 처음에 약한 출력을 빠르게 진행시키는 가접과정과 강한 출력을 느리게 진행시키는 진접과정으로 실시하였다. 용접조건은 두 가지 두께조합에 대하여 동일하게 적용하였다. 육안 및 단면 조직검사, 경도실험결과 용접품질은 양호하였다. Table 1에 용접조건을 나타내었다.

Table 1 Conditions of laser welding

	Power	Welding Speed	Shielding Gas
가접	1.5 kW	5.8 m/min	Ar 15 ℓ/min
진접	2.86 kW	3.8 m/min	Ar 15 ℓ/min

2.2 실험장치 및 실험방법

본 실험을 위한 덩드로잉 실험장치는 Fig. 1과 Table 2, Table 3과 같이 30ton 용량의 U.T.M(Universal Testing Machine)에 온간 덩드로잉 실험장치와 온도제어장치, 수

냉펌프, 냉각기, 유압실린더, 및 유압펌프 등으로 구성되었다. 이때 온도제어장치(Autonics TZAST -14R)로 일정한 온도를 유지할 수 있도록 하였고, 펀치를 통해 순환하는 냉각수의 온도는 9℃를 유지시켰다. 펀치, 다이 및 블랭크 홀더 표면은 크롬코팅(6가 경질도금) 처리하였다.

블랭크 형상은 두 가지 두께조합에 대하여 160mm×160mm 크기의 사각블랭크를 사용하였고, 이때 용접선은 중앙에 위치시켰다. 용접판재의 성형 시 두께 차에 의한 성형성의 영향을 배제하기 위하여 shim을 사용하였으며, 0.8t×1.2t 두께조합인 경우는 0.8t 쪽에 1.2t를 대고, 1.2t 쪽에 0.8t를 대어 양쪽 두께 합을 2.0t로 만들었고, 0.8t×1.6t 두께조합인 경우는 0.8t 쪽에 0.8t의 shim을 설치하여 두께 차이를 보상하였다. 실험에 사용한 펀치는 드로잉비가 2.0이 되도록 80×80mm 크기의 사각 펀치를 사용하였다. 실험에 사용한 온도는 R.T. (25℃), 50℃, 100℃, 150℃, 200℃로 하여 실험을 수행하였고, 블랭크 홀딩력은 4.4MPa, 펀치속도는 35mm/min로 하여 기준깊이 40mm까지 성형하였다. 기준깊이는 상온에서 최대성형깊이가 43mm이었기 때문에 성형안전 깊이를 40mm로 판단하였다.

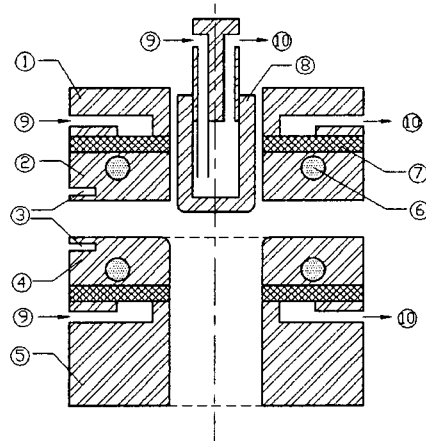


Fig. 1 Schematic diagram of warm forming tester

Table 2 Name list for experimental apparatus of Fig.1

No.	Name	No.	Name
①	Holder cooling part	⑥	Heating pipe
②	Holder heating part	⑦	Insulation panel
③	Thermocouple	⑧	Punch
④	Die heating part	⑨	Cooling water input
⑤	Die cooling part	⑩	Cooling water output

Table 3 Size of punch, die and blank holder
(Rp : punch profile radius, Rd : die profile radius, Rc : corner radius)

Part	Material	Surface	Size(mm)	Rp	Rd	Rc
Punch	FC30	Cr-Coating	80×80	7	-	7
Die	FC30	Cr-Coating	86×86	-	7	10
Blank Holder	FC30	Cr-Coating	81×81	-	-	7

3. 해석

본 연구에서는 PAM-STAMP를 사용하여 유한요소해석을 수행하였다. PAM-STAMP가 아직 온간 성형을 제대로 구현하지 못하기 때문에 Fig. 2에서와 같이 블랭크를 가열영역인 A 영역과 냉각영역인 B 영역으로 구분하고, 블랭크에 온도와 온도에 따른 여러 가지 물성치를 입력하는 방식으로 해석을 수행하였다. 해석 시간의 단축을 위해서 해석은 Half model로 모델링 하였다. 해석에 필요한 물성치들은 모재인 SCP1에 대한 온도별 인장 실험 데이터를 사용하였다.⁽⁷⁾

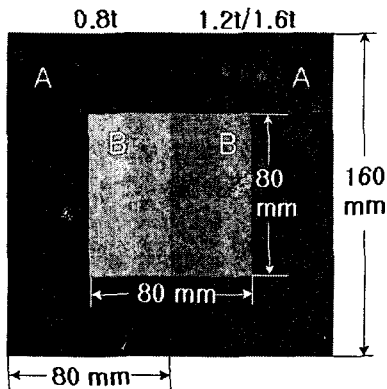


Fig. 2 Initial blank geometry

4. 실험결과 및 고찰

4.1 온도에 따른 용접선 이동량

먼저 온도에 따른 용접판재의 성형 결과를 살펴보면, 두 가지 두께조합의 블랭크에 대해서 0.8t×1.2t 200℃에서만 파단이 발생하였는데 이것은 블랭크와 두께보정을 위해 삽입한 shim 사이의 마찰증대로 인해 재료유입이 원활치 못했기 때문으로 판단된다. 나머지 온도에서는 모두 기준깊이 40mm까지 성형이 되었다. 하지만 다이

캐비티(cavity) 제작 시 클리어런스(clearance)를 균일하게 3mm로 하였기 때문에 용접판재의 0.8t 부분이 다이 캐비티로 유입되면서 어깨만경부근에서 주름이 발생하였다. Fig. 3은 0.8t×1.6t의 온도별 펀치 스트로크(punch stroke)에 대한 성형하중을 비교해 놓은 것으로 온도가 증가할수록 똑같은 깊이 40mm를 성형할 경우 성형하중이 감소하고 있음을 알 수 있다. Fig. 4에 본 연구에서 선정한 성형안전깊이 40 mm까지 파단없이 성형되었을 경우의 최대 성형 하중을 나타냈다. 결과를 살펴보면 0.8t×1.6t의 경우 전체적으로 감소하는 경향을 나타내었으나 0.8t×1.2t는 100℃부터 다시 증가하여 200℃에서 파단이 발생하였다. 이것은 블랭크와 shim과의 마찰이 심해져 재료유입이 원활치 못했기 때문으로 판단된다.

Fig. 5와 Fig. 6에 두 가지 두께조합에 대한 온도별 용접선 이동량을 나타냈다. 용접선 이동은 3차원 측정기 (Sheffield Measurement CORDAX RS-50 DCC)를 이용하여 용접부에서 두꺼운 판재 쪽을 측정하였으며, 그래프에서 알 수 있듯이 온도가 증가할수록 용접선 이동량이 감소하는 것을 알 수 있으며, 두께 편차가 더 큰 0.8t×1.6t 두께조합에서 보다 큰 용접선 이동량이 나타났다.

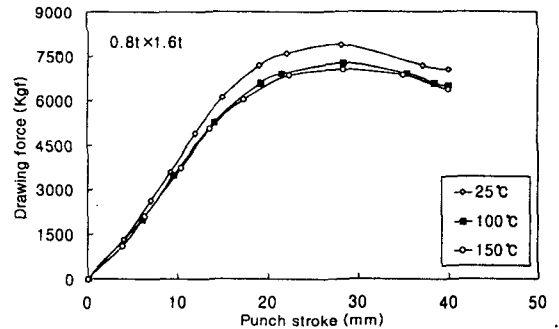


Fig. 3 Drawing forces versus the punch stroke

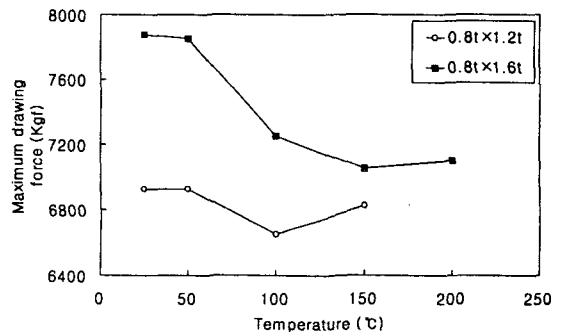


Fig. 4 Variation of the maximum drawing force for temperature

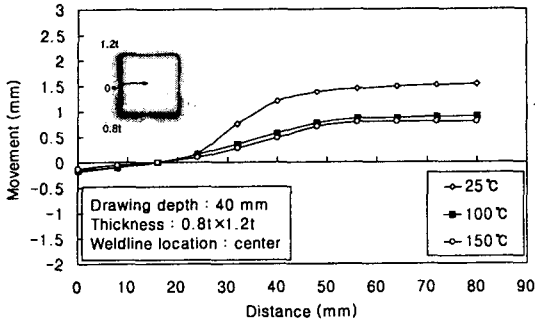


Fig. 5 Comparison of weldline movement for temperature ($0.8t \times 1.2t$, Experiment)

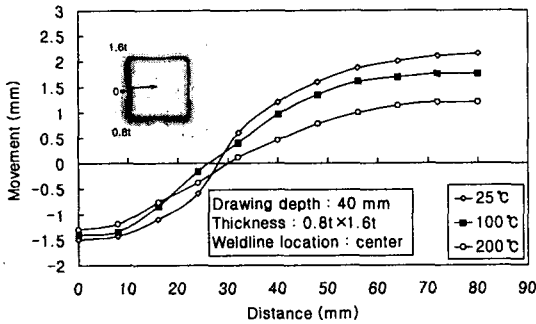
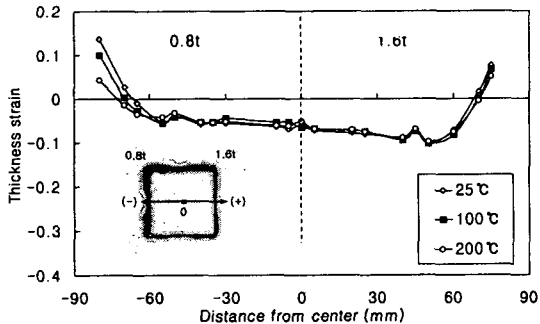


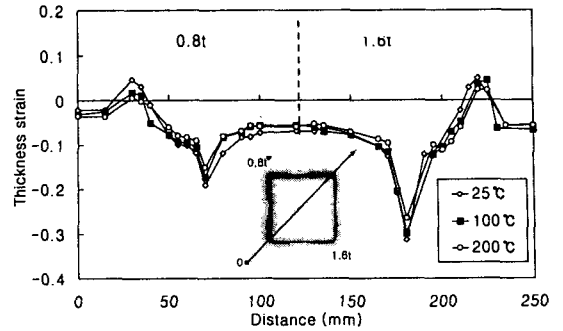
Fig. 6 Comparison of weldline movement for temperature ($0.8t \times 1.6t$, Experiment)

4.2 온도에 따른 두께변형률 분포

두께변형률 분포는 40 mm 성형후 각 온도에서 용접선 수직방향과 대각선 방향으로 측정하였다. Fig. 7에 $0.8t \times 1.6t$ 두께 조합일 경우의 용접선 수직방향 및 대각선 방향의 두께변형률 분포 결과를 나타냈고, 온도가 증가할수록 두께변형률의 최대값과 최소값의 편차가 감소함을 볼 수 있으며, 변형률의 분포



(a) Along the center line



(b) Along the diagonal line

Fig. 7 Thickness distribution ($0.8t \times 1.6t$)

도 전체적으로 고르게 나타나고 있고, 플랜지부의 두께 변형률도 감소함을 볼 수 있다. 이는 온도가 높아질수록 플랜지부의 두께 편차가 작고 따라서 소재의 유입이 용이해지기 때문이라고 판단된다.

4.3 실험결과와 해석결과 비교

Fig. 8은 $0.8t \times 1.6t$ 에 대한 100 °C와 200 °C에서의 용접선 이동량에 대한 실험과 해석결과를 비교하고 있다. 온간 딥드로잉 실험 시 shim을 용접선과 붙여놓고 실험을 수행하였기 때문에 shim이 플랜지부의 용접선 이동을 방해하여서 초기값인 플랜지부에서 용접선 이동량의 실험결과와 해석결과가 많이 차이가 나지만 전체적으로 유사한 경향을 나타내고 있다.

Fig. 9는 $0.8t \times 1.6t$ 의 100 °C에서의 용접선 수직방향과 대각선 방향 두께변형률 분포의 실험과 해석 결과를 비교하고 있다. 전체적인 경향은 잘 일치하고 있으나, 값의 편차는 비교적 크다. 이러한 차이는 소재의 열전달 문제를 보다 엄밀하게 고려해 줌으로써 줄일 수 있으리라고 판단된다.

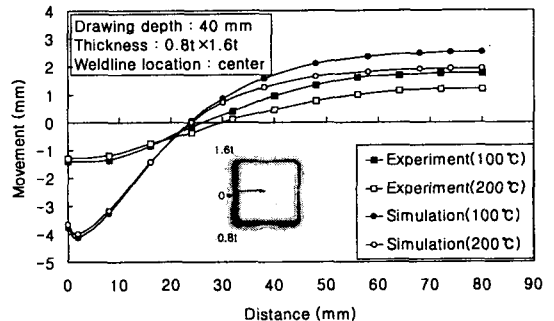
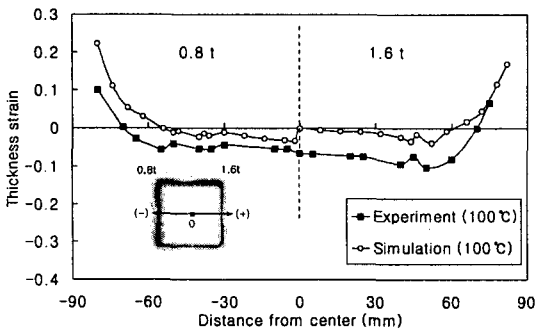
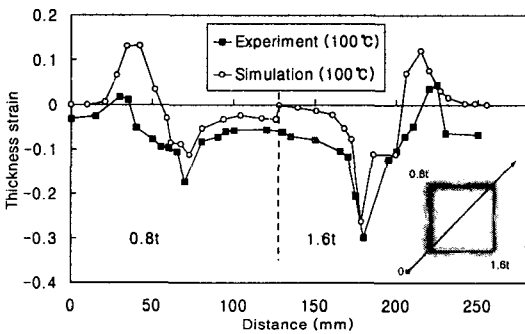


Fig. 8 Comparison of weldline movement between experiment and simulation ($0.8t \times 1.6t$)



(a) Along the center line



(b) Along the diagonal line

Fig. 9 Comparison of thickness strain distribution between experiment and simulation (0.8t×1.6t, 100 °C)

5. 결론

본 연구에서는 레이저 용접판재에 대하여 온간 성형법을 적용하여 용접선 이동량, 두께변형률, 최대 성형하중 등을 실험 및 해석을 통하여 측정, 비교해 보았으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 레이저 용접판재에 대한 온간 성형의 경우, 상온에 서보다 가열온도가 증가할수록 최대성형하중, 용접선 이동량, 두께변형률 본포 등에서 향상된 성형성을 보여주었다.

(2) 용접선 이동량을 보면 0.8t×1.2t와 0.8t×1.6t의 두 가지 두께조합에 대해서 상온에 비해 150°C의 경우 각각

48%, 36%정도 용접선 이동량이 줄어들었다. 또 두께편차도 줄어들었다.

(3) 해석결과와 그 경향은 유사하게 나타났지만 오차가 생김을 알 수 있었다. 이것은 온간 성형 해석 시 보다 정확한 열전달 구현을 위해서 블랭크의 온도영역구분을 세분화하면 근사화 시킬 수 있으리라 판단된다.

참고 문헌

- (1) Ohwue, T., Takechi, H. and Furuno, Y., 1987, "Temperature Dependence of Tensile Properties and Drawability of Steel Sheets in Warm Working Condition", Journal of the JSTP, Vol. 28 No. 314, pp. 225~231.
- (2) Leighton, D. E. and Lee, D., 1994, "The Effect of Tooling Temperature on the Formability of Sheets Steel", Journal of Materials Processing Technology 45, pp. 577~582.
- (3) 장성호, 최치수, 최이천, 서대교, 2000, "합금화 용융 야연 도금강판의 온간 딥드로잉 성형성에 관한 연구", 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 168~173
- (4) 이재동, 최치수, 최이천, 김현영, 서대교, 2000, "크롬 코팅 처리된 금형에서 박판의 온간 딥드로잉 성형성에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 제9권, 제2호, pp. 186~192.
- (5) Saunders F. I. and Wagoner R. H., "Forming of Tailor-Welded Blanks", Report, Dept. of Material Science and Engineering, The Ohio State University, pp.1~38.
- (6) Hong J. P., Kim H. Y. & Oh S. I., 1996, "Study on the Formability in the Deep Drawing of Laser-Tailor Welded Blanks", Korean Society of Automotive Engineering, pp 68~80.
- (7) 조남돈 외 11명, "박판의 딥드로잉 성형성 향상기술 개발 (1차년도 중간보고서)", 산업자원부, 1999.