

테일러드 블랭크의 성형성에 관한 연구

정 동 원 · 고 형 훈*

제주대학교 기계에너지시스템공학부, *제주대학교 대학원

A Study of formability according to Tailored Blank

Dong-Won Jung and Hyung-Hoon Ko*

Faculty of Mechanical, Energy and Mechatronics Engineering, Res. Inst. of Adv.,

Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea

**Graduate School, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea*

TWB(Tailor Welded Blank) is combined and welded that steel plate of the other thickness or the other materials. The use of tailored welded blanks(TWB) in automotive applications is increasing due to the potential of weight and cost saving. The purpose of this study is apply efficiently laser-TWB by 3D formation-analyzed program simulations in the site. Formation analysis result, combined same-kind or various-kind blank formation through analyzed, possible used an industrial site pre-thinking that combine blank, and by it efficient TWB apply the possible is conclusion.

Key words : Static Implicit finite element method, TWB(Tailored Welded Blank), FEM(Finite Element Method).

서 론

최근 미국을 비롯한 선진국에서는 자원절약 및 지구환경 개선요구 증대로 차체경량화에 의한 고연비 자동차 개발이 필수가 되었다.

이를 해결하기 위한 한 방안으로 떠오른 용접블랭크(TWB, Tailored Welded Blank)는 차체중량감소, 원가절감, 품질향상, 차체강성 향상 등의 효과를 가져온다.

TWB는 1961년 BUDD사가 특허를 출원한 이후 제조공법상의 적당한 용접 방법이 개발되지 않아서 실적이 어려웠으며 혼다의 N360의 사이드 인너 판넬을 TIG용접으로 실험, 볼보에서 프론트 사이드 멤버를 SEAM용접으로 실험한 예가 있으나 적용되지 못하였다. 이후 1985년 AUDI사의 100모델의 플로어 판넬을 레이저 용접하여 적용한 것이 처음이라 할 수

있다. 이 후 도요타, GM 등의 선진 자동차사들이 많은 부품에 용접 블랭크를 적용하고 있으며 차체 제작 기술에서 일반화된 기술로 자리 잡아 가고 있다. 용접 블랭크를 생산하기 위한 용접방법에는 레이저용접, 메쉬심(Mesh Seam)용접, Induction용접, 플라즈마용접이 대표적으로 쓰여지고 있으며, 현재는 철판의 두께와 재질이 서로 다른 경우에도 점용접(Spot welding)보다 품질이 우수하고 원하는 강도의 용접품질을 얻을 수 있는 레이저 용접이 가장 우월한 추세에 있다[1,6].

이러한 TWB 부품의 성형은 일반 단품판체에 의한 성형과 달리 블랭크 자체에 단차가 존재하게 된다. 과도한 여유거리를 줄 경우 주름의 발생이 증가하고 너무 작을 경우 소재가 금형의 단차에 걸려져 파단이 발생하게 되어, 이에 따른 사전 성형해석을 통한 용접선의 이동 및 파단과 주름에 대한 고려를 필요로 하게 된다.

본 연구에서는 스위스의 Kubli 교수가 개발한 정적-내연적(static-Implicit) 3차원 성형해석 소프트웨어를 사용하여 사진성형을 통한 TWB의 성형성을 검증해 보았다[1-6].

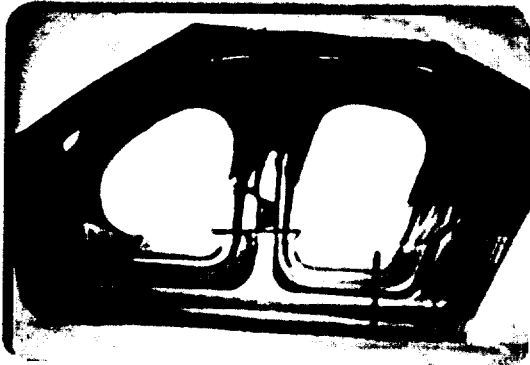


Fig. 1. Tailored Blank.

Fig. 1은 1.9 mm와 0.9 mm의 철판 5장을 레이저 용접기로 용접한 뒤 프레스 성형한 모습이다.

본 론

변형된 물체는 Fig. 2과 같이 3차원 공간에서 고려해 볼 수 있다. 단계적 과정(step-by-step procedure)으로 비정상상태 변형을 해석하는데 있어, 시간 t_0 에서 $t_0 + \Delta t$ 까지 1 스텝 동안의 변형을 고려할 때, Fig. 1에서 θ^1 과 θ^2 축은 박판표면의 질점 좌표계(convected coordinates)를 나타내고, θ^3 축은 박판표면에 법선방향으로 주어진다. $G_{\alpha\beta}$ 와 $g_{\alpha\beta}$ 는 변형전과 변형 후 형상의 행렬텐서를 나타내고, G^{ab} 와 g^{ab} 는 각각의 역행렬을 나타낸다. 변형전의 형상에서 기본 벡터(base vector)들은 E_a 와 그 역인 E^a 로 나타내었다. 마찬가지로, 변형된 물체에서의 기본 벡터들은 e_a 와 그 역인 e^a 로 표시하였다.

$$E_a = \frac{\partial X}{\partial \theta^a} \quad , \quad e_a = \frac{\partial x}{\partial \theta^a} \quad (1)$$

$$G_{\alpha\beta} = E_a \cdot E_\beta \quad , \quad g^{\alpha\beta} = e_a \cdot e_\beta \quad (2)$$

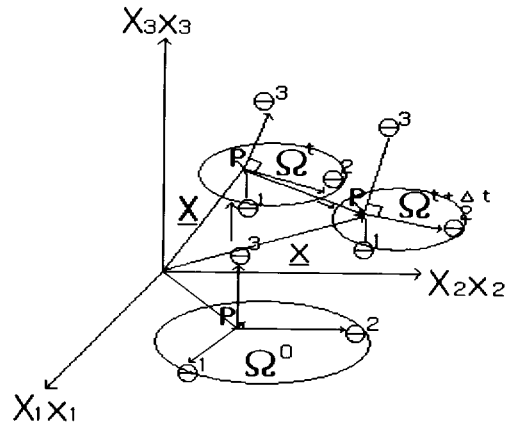


Fig. 2. Polar coordinates system of transformation process.

$$E^{a\beta} = G^{a\beta} E_\beta \quad , \quad e^a = g^{a\beta} e_\beta \quad (3)$$

변형전의 형상에서 변위벡터 u 는

$$u = u^a E_a = u_a E^a = u_1 E^1 \quad (4)$$

여기에서 $u = G^{ab} u_\beta$ 이다. 그리스 지수들은 질점좌표계를, 라틴 지수들은 직교 카티션 좌표계(rectangular Cartesian coordinates)를 나타낸다. 질점좌표계에서 라그랑지안 변형률 텐서(Lagrangian strain tensor) ϵ 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\epsilon = \epsilon_{\alpha\beta} E^\alpha E^\beta = \epsilon^{ab} E_a E_b \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{\alpha\beta} &= \frac{1}{2} (g_{\alpha\beta} - G_{\alpha\beta}) \\ &= \frac{1}{2} (u_{\alpha,\beta} + u_{\beta,\alpha} + u_{\gamma,\alpha} u_{\gamma,\beta}) \\ &= \frac{1}{2} (u_{\alpha\beta} + u_{\beta,\alpha} + u_{\gamma,\alpha} u_{\gamma,\beta}) \end{aligned} \quad (6)$$

여기에서 콤마(,)는 변형되지 않은 행렬에 관하여 공변미분(covariant differentiation)을 나타낸다. 라그랑지안 응력텐서를 선형부와 비선형부로 나누면, 아래의 (7)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{\alpha\beta} = e_{\alpha\beta} + \eta_{\alpha\beta} \quad (7)$$

여기서, $e_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} (u_{\alpha,\beta} + u_{\beta,\alpha})$.

$$\eta_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} \gamma_{,\alpha} u_{\gamma,\beta} \text{ 으로.}$$

대변형(large deformation)을 고려한 개정 라그랑지언 방정식(updated Lagrangian equation)은 아래식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\int_{V'''} \Delta S^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV + \int_{V'''} \tau^{\alpha\beta} u^k{}_{,a} \delta u^k{}_{,\beta} dV = \int_{S'} t_1^{(t_0+\Delta t)} \delta u_i dS - \int_{V'''} \tau^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV \quad (8)$$

(8)식의 자세한 유도과정은 Shim과 Yang [5]의 논문 부록에 수록되어 있다. 또한 구성방정식이 2차 Piola-Kirchhoff 응력중분과 Lagrangian 변형율과의 관계식으로 주어졌다면,

$$\Delta S^{\alpha\beta} = L^{\alpha\beta\gamma\mu} e_{\gamma\mu} \quad (9)$$

식(9)에 관한 자세한 수식화도 Shim과 Yang[5]의 논문 부록에 수록되어 있고, Hill의 이방성 항복함수를 만족하는 정상상태이고 일관성을 유지하는 구성텐서의 성분 $L^{\alpha\beta\gamma\mu}$ 은 기존의 논문 참고 문헌들에 잘 언급되어 있다. 위의 (8)과 (9)식을 결합하여 정리하면 탄소성 재료에 대한 최종적인 개정된 라그랑지언 방정식을 얻을 수가 있다.

$$\int_{V'''} L^{\alpha\beta\gamma\mu} e_{\alpha\beta} \delta e_{\gamma\mu} dV + \int_{V'''} \tau^{\alpha\beta} \frac{\partial u_i}{\partial \theta^a} \cdot \frac{\partial u_i}{\partial \theta^b} dV = \int_{S'} t_1^{(t_0+\Delta t)} \delta u_i dS - \int_{V'''} \tau^{\alpha\beta} \delta e_{\alpha\beta} dV \quad (10)$$

2차 Piola-Kirchhoff 응력 텐서의 성분들은 질점좌표계에서의 Kirchhoff 응력텐서 성분과 같으므로 응력 적분과정은 질점좌표계로 변형을 묘사하였을 경우가 다른 좌표계와 비교해 볼 때 매우 간단함을 알 수 있다. 변위중분(displacement increment)들의 근사값은 (10)식을 사용하여 계산되고 $t_0 + \Delta t$ 시간에 상당하는 응력성분은 (9)식을 사용하여 구할 수 있다.

$$(S^{\alpha\beta})^{(t_0+\Delta t)} = (S^{\alpha\beta})^{t_0} + \Delta S^{\alpha\beta} \quad (11)$$

$$(\tau^{\alpha\beta})^{(t_0+\Delta t)} = (S^{\alpha\beta})^{(t_0+\Delta t)} \quad (12)$$

또한 변형하는 물체가 금속일 경우 일반적으로 비압축성이라고 가정하여도 무방하므로 Kirchhoff 응력텐서 τ 는 Cauchy 응력텐서 σ 와 같다고 놓을 수 있다.

성형결과 해석

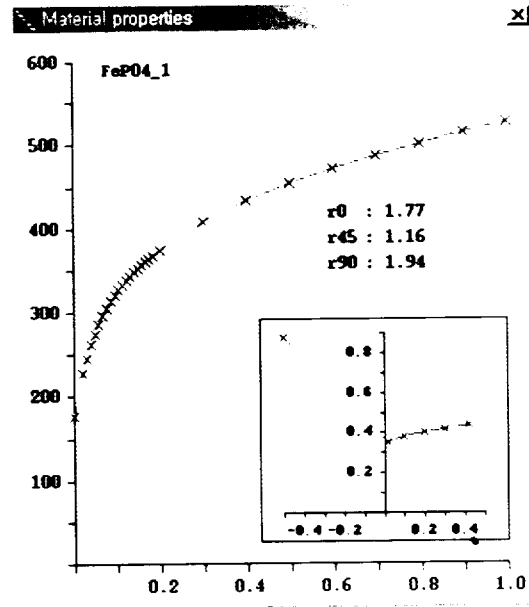
실험준비

모체(base panel)와 두께가 다른 동종소재와 두께가 같은 이종 소재를 용접하여 블랭크를 제작하였으며, Table 1은 본 실험에 사용된 소재 및 두께치수이다.

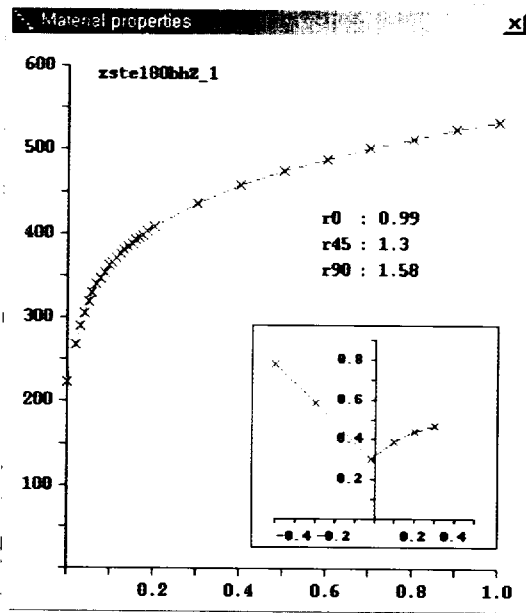
Table 1. Welding Parameters

	Weld-1	Weld-2	Weld-3
material	FeP04	FeP04	zste180bhz
thickness(mm)	1.0	2.0	0.8
base panel(mm)	FeP04 / 0.8		
drawbead(mm)	15 mm(wide)		
force factor	0.15(weak)		

Fig. 3은 본 연구에 사용된 FeP04와 zste 180bhz의 FLC와 응력-변형을 곡선이다.



(a) Thickness 0.8 mm



(b) Thickness 0.8 mm (weld line #3)

Fig. 3. The Blank another FLD.

Fig. 4는 펀치와 바인더. 상형 다이의 셋팅 상태를 보여주고 있다.

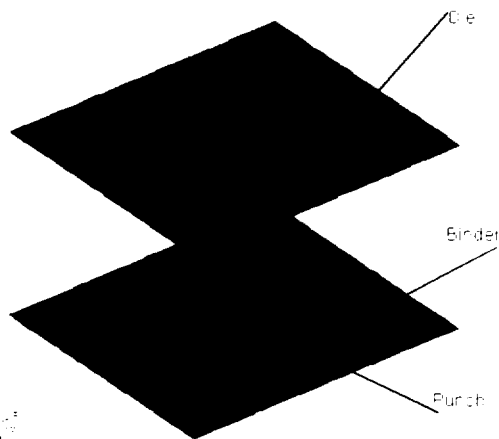


Fig. 4. Tool Setting.

Fig. 5에서 적색 선은 FeP04 1.0 mm, FeP04 2.0 mm, zstel80bh2 0.8 mm와 FeP04 0.8 mm와의 용접라인을 표시하는 것으로 본 실험에 사용된 용접블랭크의 제작 형태이다.

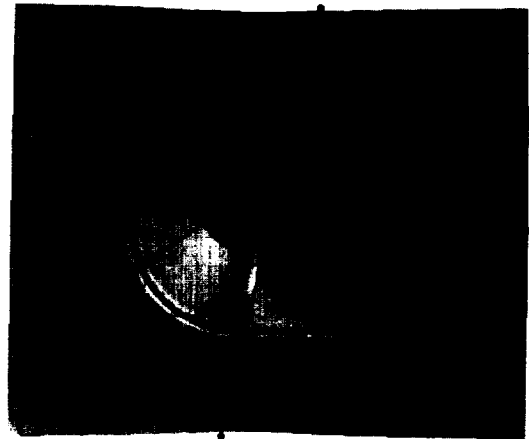


Fig. 5. Weld Line.

Fig. 6과 같이 드로우비드를 추가하였다.

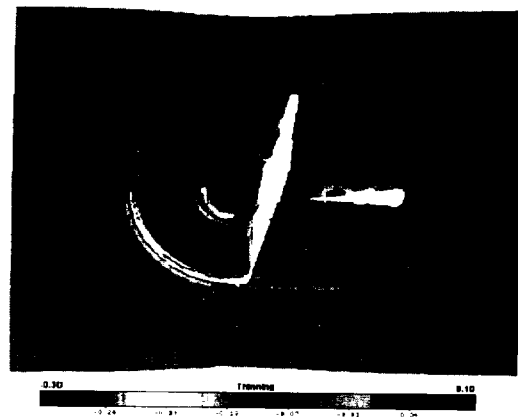
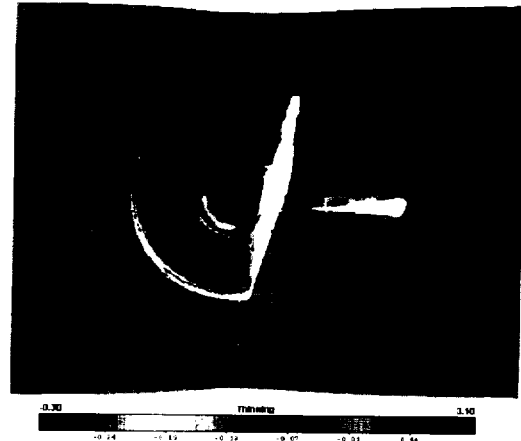
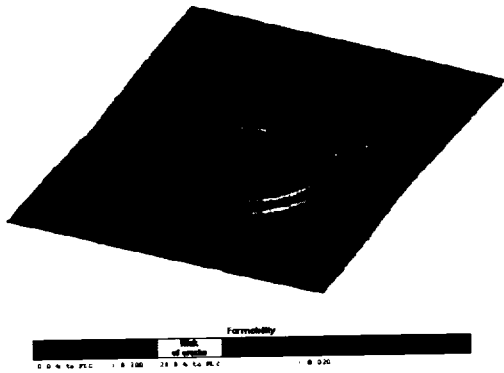


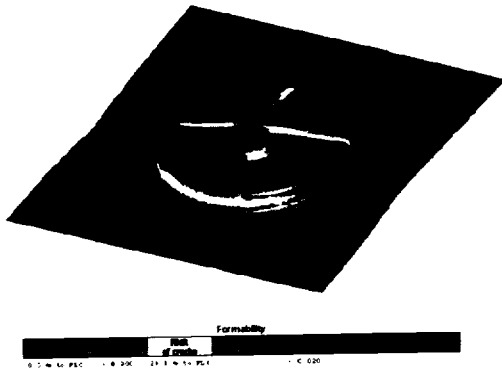
Fig. 6. Bead Shape.

해석결과

정된 성형상태를 보여주고 있으나, FeP04 - 0.8 mm / 1.0 mm / 2.0 mm가 결합된 부분에서는 성형 완료 후 극도한 파단이 발생하고 있는 것을 볼 수 있다.



(a) Wrinkles tendency distribution-1



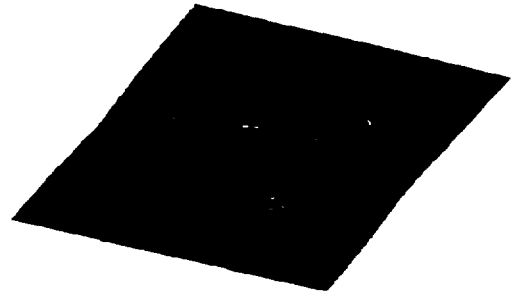
(b) Wrinkles tendency distribution-2



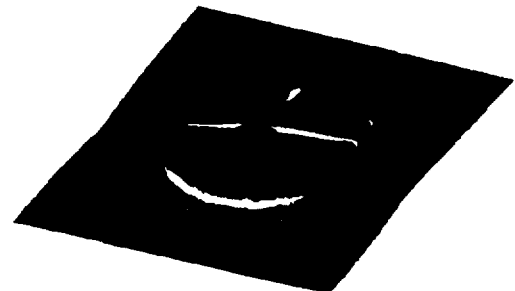
(c) Wrinkles tendency distribution-3

Fig. 7. Wrinkles tendency distribution.

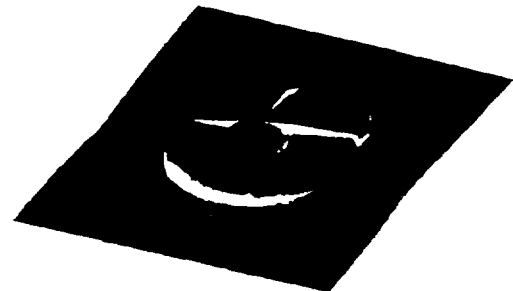
Fig. 7에서 FeP04 0.8 mm와 zste180bhz 0.8 mm가 결합된 부분에서는 주름과 파단이 발생하지 않는 안



(a) The thickness reduction rate distribution-1



(b) The thickness reduction rate distribution-2



(c) The thickness reduction rate distribution-3

Fig. 8. The thickness reduction rate distribution.

Fig. 8의 두께변형 결과에서, FeP04간의 결합부위에서 1.0 mm의 경우 재료의 유입이 적어 주름 발생의 위험이 있으며, 타 두께의 부분에서는 재료의 유입상태는 안정적인다. 1.0 mm부분의 재료유입 불량으로 인해 코너부분에서 크랙이 발생하게 되고 있는 것을 볼 수 있다.

요 약

본 연구에서는 차체판넬 제작에 사용되고있는 레이저용접박판에 대한 용접부의 성형특성을 시뮬레이션을 통해 알아보았다.

연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

[1] 성형한계 실험에 의해 도출된 결과에 의하면 동종두께 이종소재 합체박판의 부는 성형 완료 후 성형품에 주름 및 파단이 발생하지 않고 있어, 실 제품 성형에 적용이 가능하다는 것을 알 수 있다.

[2] 이종두께 동종 소재 합체박판은 그 용접 부위에서 과도한 파단이 발생하는 것을 볼 수 있어, 합체 재료의 변경 및 두께 변경이 필요하다는 것을 알 수 있다.

[3] 소프트웨어를 이용한 성형한계 실험을 통해 이종 또는 동종 그리고 같은 두께 및 다른 두께의 다양한 합체박판을 미리 성형해 볼 수 있었다.

이 연구에서 소프트웨어를 통한 가상실험으로 합체박판을 미리 성형 해석해 봄으로서 효율적인 TWB의 현장적용 효과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- 서 정 · 이제훈. 2002. 자동차 산업에서의 테일러드 블랭크 레이저 용접시스템. 기계와 재료, 14(2): 119-126.
- 이재석. 1999. 가상실험기술. 충북대학교 건설기술 연구소, pp. 4-5.
- D. Y. Yang., D. W. Jung., I. S. Song., D. J. Yoo, and J. H. Lee. 1995. Comparative investigation into implicit, explicit and iterative implicit/explicit schemes for the simulation of sheet-metal forming process. J. Materials Processing Technology, 50: 39-53.
- D. W. Jung., D. J. Yoo., and D. Y. Yang. 1995. A dynamic explicit/rigid-plastic finite element formulation and its application to sheet metal forming processes. Engineering Computations, 12: 707-722.
- H. B. Shim., D. Y. Yang. 1990. An Elastic-Plastic Finite Element Analysis on Hydrostatic Bulging of Rectangular Diaphragms by using Layered Degenerated Shell Element. Int. J. Mech. SDI., 32: 49-64.
- Meung Ho Rhee, Wae Gyeong Shin, Yong Mun Ryu. Feb. 20. 2001. Development of Tailored Blank for Automotive Components by Mesh Seam Welding. <http://www.katech.re.kr/TIC>.