

특집 : 테일러드 블랭크 기술의 현황과 전망

Tailored Blank의 성형기술

박기철

Forming Technology of Tailored Blanks

Kee-Cheul Park

1. 서 언

테일러드블랭크(TB)는 복수의 강판을 목적에 맞게 용접 등에 의하여 조립한 프레스 가공용 소재를 말하며 '80년대 후반부터 사용되고 있는 용어이고, 최근 자동차 차체에 있어서 일반적으로 사용되게 되었다^{1,2)}. 자동차 차체에서는 TB를 이용하는 장점으로 구성 패널 수의 감소, 판 두께와 재질의 최적 배치, 결합강도 향상, 경량화가 가능하고 소재형상의 자유도가 크다는 점을 들 수 있다. 이러한 장점들을 이용하기 위한 TB의 적용에 있어서 중요한 것은 용접과 성형기술이다. 용접기술에는 맞대기 용접에서의 간극(gap), 용접속도, 용접부 형상에 대한 연구를 서정^{3,4)}, 김기철^{5,6)} 등이 심도 있게 수행하여 발표하였다. 본 고에서는 TB의 성형기술을 위주로 하여, 기본적인 성형성과 부품 적용 예 그리고 TB 설계에 관한 외국과 최근의 국내 연구실적을 중심으로 필자가 접한 범위에서 살펴보았다.

TB의 성형성은 단일 강판의 경우와는 달리 용접선의 특성 변화, 용접선 양쪽의 재질, 두께 불연속에 따른 변형거동의 변화를 모두 고려하여야 한다⁷⁻¹⁰⁾. 따라서 용접부와 모재간의 재질과 연성의 차이, 용접선 양측 모재의 변형저항 차, 그리고 판 두께가 다름에 따른 공구접촉 상태에 기인한 성형특성의 연구가 중요한 과

제이다. 구성 재료 별로 가공에 미치는 인자를 정리하면 Table 1¹¹⁾ 과 같다. TB성형에서 전형적으로 발생하는 성형상의 문제는 Hoeven¹²⁾ 이 개념적으로 표시한 Fig.1 과 같이, 용접선 수직방향 변형시에 강도가 약한 소재에서 발생하는 파단, 그리고 용접선 방향 변형시에 용접부에서 연성 부족으로 발생하는 파단 현상과 금형의 단차와 소재 두께 차이에 기인하는 주름 및

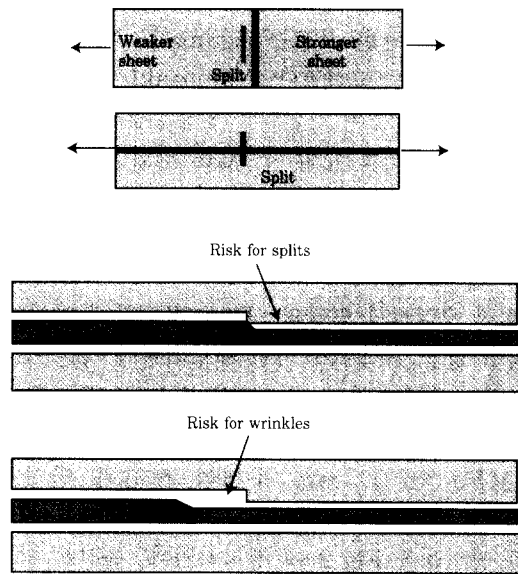


Fig. 1 Typical forming problems of tailored blank

Table 1 Base sheets of tailored blanks and its effects on forming.

Base sheets		Weld	Deformation load difference	Tool contact
Same thickness	Same kind	○		
Same thickness	Different kind	○	○	
Different thickness	Same kind	○	○	○
Different thickness	Different kind	○	○	○

파단으로 정리할 수 있다. TB의 성형성에 대한 연구는 Prange^{2,7)}, Shi⁹⁾, Azuma¹⁰⁾, Yamasaki¹³⁾, Lee¹⁴⁾, 김형목¹⁵⁾, 박승우¹⁶⁾, 박기철¹⁷⁻²⁰⁾ 등에 의하여 이미 상당히 되어 있다. 그러나 대부분 각 연구자의 관점에 따라서 단편적으로 되어 있고, 시험 방법에 있어서도 가공에서 발생하는 다양한 조건들을 반영하지 못하고 있는 경우가 많아, 기존의 연구결과를 TB의 성형조건 설정에 이용하고자 할 경우에는 정밀한 검증 및 경우에 따라서는 보강 연구가 필요한 실정인 것으로 생각된다.

최근 국내에서도 자동차사의 활발한 TB 적용 움직임과 함께 TB의 적용 기술에 대한 연구가 다수 수행되었으며, 제품개발 보고 사례도 다수 있어 TB의 적용 및 설계에 관련한 사항들은 이들을 위주로 정리하였다.

2. TB 성형

2.1 TB의 성형 모드별 성형성 및 성형한계

2.1.1 인장특성

인장특성에 관한 보고는 Azuma¹⁰⁾, Yamasaki¹³⁾, 박기철¹⁷⁾ 등이 보고하였다. Yamasaki는 용접부 수직방향 인장시 TB의 연신율을 단일강판의 인장특성으로부터 역학적으로 구할 수 있는 방법을 제시하였으며, 박기철¹⁷⁾ 등은 실험 결과를 이 관계식에 따라 예측이 가능함을 보였다. 아래에는 필자가 연구한 결과를 위주로 정리하였다.

용접선 수직방향 인장의 경우는 용접부에 문제가 없는 경우 항상 용접부가 아닌 변형저항이 작은 소재에서 파단이 발생하였다. 인장강도가 300MPa 급이고 두께가 서로 다른 시편으로 제작된 TB와 인장강도가 350MPa 인 0.7mm 두께의 시편과 인장강도 300MPa 인 0.75~1.6mm 두께의 시편으로 구성된 TB의 연신율을 Fig.2에 정리하였다. 용접선 양측의 두께와 인장강도의 곱인 변형저항의 비가 커질수록 연신율이 작아지는 것을 알 수 있으며 파단 발생부 소재의 연성이 큰 쪽이 같은 강도비에서 성형성이 우수해짐을 알 수 있다. 용접부 양측의 강도가 같은 경우, 300MPa(1.0t)-300MPa(1.0t), 인장시험후 시편내의 변형률 분포를 Fig.3의 (a), 그리고 두께가 다른 (즉, 용접부 양측의 변형저항이 다른) 경우, 300MPa(1.0t)-300MPa(0.75t), 의 인장시편 파단후 시편내 변형 분포는 Fig.3의 (b)에 나타내었다. 용접선 양측의 변형저항이 같은 경우는 파단이 발생하지 않은

쪽의 시편에서도 25% 정도로 이 소재의 균일 연신율까지 변형한 것을 알 수 있으며 변형저항의 차가 있는 경우 두꺼운 쪽에서는 5%도 변형되지 않는 것을 알 수 있다. 즉, 용접선 양측의 변형저항비가 커질수록 변형이 얇은 소재에 집중하는 특성 때문에 연신율이 작아지는 것을 알 수 있다.

용접선에 평행한 인장의 경우에는 소재의 연신율은 모재와 용접부의 연신율에 영향을 받으며 이들의 연신

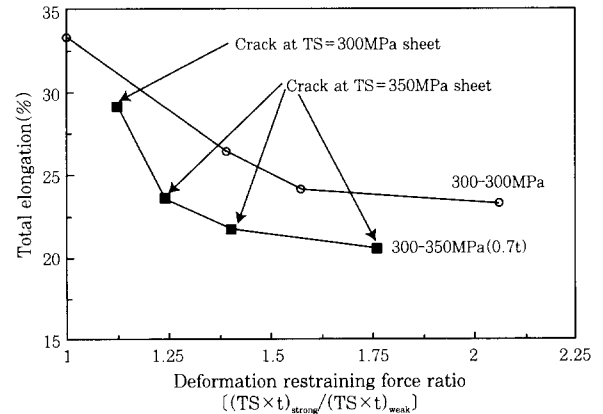


Fig. 2 Relation between deformation restraining force (TS× t) ratio of two base sheets and total elongation of tensile test.

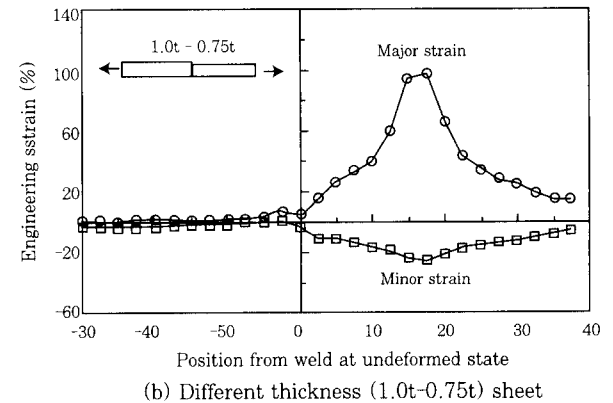
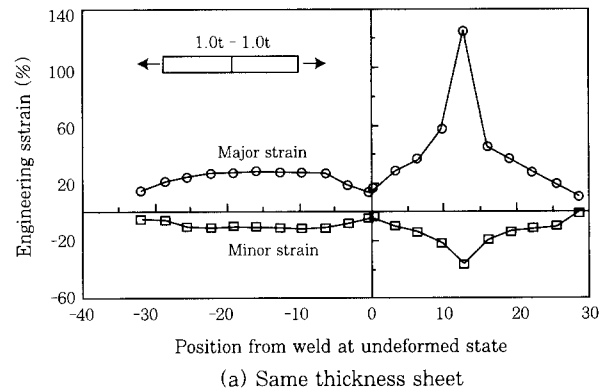


Fig. 3 Strain distribution of TWB specimens with same and different thickness combination

율은 용접부와 모재 각각의 경도에 의하여 결정된다고 한다. 그리고 용접선의 연성과 모재의 연성은 거의 같은 정도로 용접선 방향 인장에서의 연신율에 영향을 미친다고 알려져 있다¹²⁾. 박기철¹⁷⁾ 등이 폭 12.5mm 인 인장시편으로 실험한 결과, 용접이 잘된 경우는 모재 연신율인 40.8% 에 거의 도달한 39.5% 정도가 되나 용접상태가 나쁜 경우는 12.5% 정도의 변형률에서 파단이 발생하였다. 따라서 용접선 방향 인장 연신율의 크기로 용접상태를 판정할 수도 있을 것으로 생각된다.

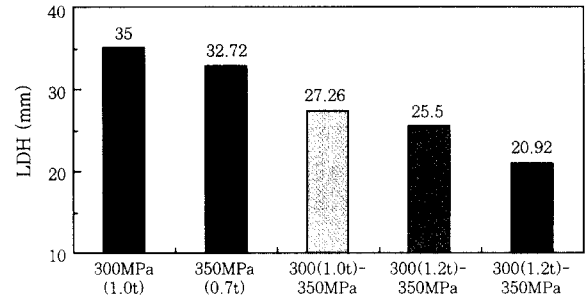
용접부의 물성을 얻기 위하여 박승우²¹⁾, 홍주표²²⁾ 등은 인장실험에서 하중 배분이론과 일정하게 가정한 용접부 폭을 이용하여 용접부의 물성을 구하였다.

2.1.2 스트레칭 성형 특성

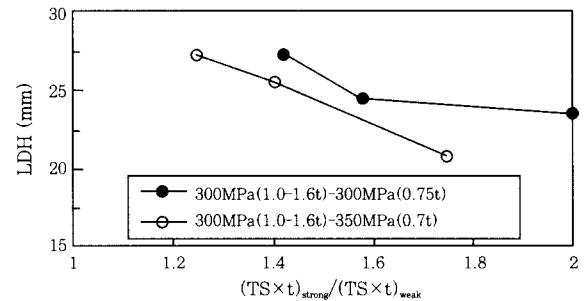
스트레칭 성형특성에 대하여도 다수의 연구자들이 연구하였으나, 본 고에서는 필자¹⁹⁾가 연구한 결과를 중심으로 기술하였다. 직경이 100mm 인 펀치로 스트레칭 성형하는 경우, 단일 강판에서 파단 발생은 펀치와 소재의 접촉 경계부에서 변형이 집중하여 발생하나, 용접부 양측의 변형저항에 차이가 큰 경우에는 용접부 주변에서 변형저항이 작은 소재에서 발생한다. 이러한 TB의 파단 발생 현상은 변형저항이 작은 쪽이 큰 쪽에 비하여 변형량이 많아지고 용접선이 강한 소재 쪽으로 이동함에 따라 변형이 얇은 소재에 집중하기 때문이다. 그러나 용접선 양측의 모재 변형저항이 거의 같은 경우에는 용접선에 수직하게 용접선에서 파단이 발생하였다. 이는 용접선 좌.우의 변형저항의 차이가 적으므로 연성이 부족한 용접부에서 파단이 발생하였기 때문이다.

모재부에서 파단이 발생한 시편들에 대하여 한계 돔 높이(limit dome height) 시험 결과를 용접소재의 변형저항 (인장강도와 소재두께의 곱) 비에 대하여 정리하면 Fig.4 와 같다. 변형저항의 비가 커질수록 성형성은 불리해지며, 파단이 발생하는 쪽의 강판 성형성이 우수할수록 같은 변형저항비에서도 성형성이 우수해짐을 알 수 있다.

용접부에서 용접선 수직방향으로 파단이 발생하는 경우의 성형한계를, 용접부 파단이 발생한 시편의 파단 인접부에서 안전한 부위의 변형을 측정하여 구하였으며 이는 단일 강판의 성형한계도와 비교하면 단일강판에서 성형성이 불리한 쪽에 비하여 약 15% 정도 낮게 나타났다¹⁹⁾. 박승우¹⁶⁾는 용접부의 성형한계도를 구하기 위하여 두께가 다른 TB 에서는 두꺼운 쪽의 시편 폭을 줄여서 용접부 파단을 유발하였으며 여기서 변형을 측정하여 용접부의 성형한계도를 구하였다.



(a) LDH of single sheet and TWB



(b) Deformation restraining force ratio and LDH.

Fig. 4 Limit dome height of 200mm×200mm single sheet and TWB.

2.54mm 직경의 원형그리드로 구한 FLD₀ = 25 ~ 32% 로써 박기철¹⁹⁾ 등이 구한 값과 유사함을 알 수 있다.

박기철¹⁹⁾은 신장성형성에 미치는 윤활의 영향을 시험하였다. 단일 강판의 경우 윤활조건이 개선 되면 변형이 균일하게 분포하려는 특성이 있어 성형성이 향상된다. 그러나 TB 의 경우는 적당한 마찰저항이 존재하는 경우 용접선 인근의 변형저항이 작은 쪽과 제품형상에서 변형집중이 발생하는 두 곳에서 변형이 집중하나, 윤활 조건이 아주 좋아지는 경우 얇은 소재내의 한 곳에서만 변형이 집중됨에 따른 것이다. 그리고 변형이 많이 발생하는 쪽이 얇은 쪽이므로, 얇은 쪽의 면적이 많을수록 성형성이 양호하게 나타났다.

2.1.3 신장플랜지 성형특성

신장플랜지 성형특성은 Azuma¹⁰⁾, Lee¹⁴⁾ 그리고 박기철¹⁸⁾ 등이 수행하였다. 여기서도 역시 필자가 보고한 내용을 위주로 정리하였다. Fig.5 는 300MPa (1.0t), 300MPa(1.0t)-300MPa(1.0t) 그리고 300MPa(1.0t)-400MPa(1.0t) 시편으로 신장플랜지 성형성을 시험한 구멍넓힘시험(hole expansion test) 시편들이다. 용접부가 존재하면 용접부의 변형을 보상하기 위해 용접부 인접 모재에 변형이 집중된다. 용접선 양쪽 시편의 변형저항이 같은 경우에는 용접부 주위를 제외하고는 전체적으로 고른 변형분포를 나타내며, 용접부 부근에서는 용접부의 변형저항이

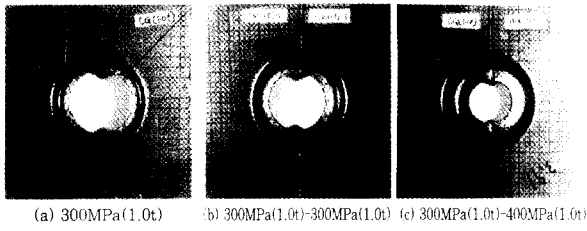


Fig. 5 Hole expansion test specimen of single and tailored blanks.

모재에 비하여 크므로 플랜지 변형이 늦어지고, 이 때문에 용접부에 인접한 모재에서 파단이 발생한다. 그리고 용접부 양측에 변형저항차가 있는 경우에는 약한 쪽의 용접부 주위에 변형이 집중되어 파단이 발생하는 현상을 알 수 있다. Fig.6 은 인장강도 300MPa-300MPa 와 300MPa-350MPa(0.7t) TB의 구멍넓힘시험 결과를 용접선 양측 소재간의 변형저항비와 실험에서 얻어진 구멍넓힘율과의 관계를 종합적으로 정리한 것이다. 원판에 비하여, 그리고 용접선 양측 소재의 변형저항 차가 커질수록 성형성의 저하가 심하며 변형저항비가 2배정도 나는 경우에는 원판의 20% 에도 미치지 못함을 알 수 있다.

TB의 신장플랜지 성형성 시험에서 파단은 변형저항

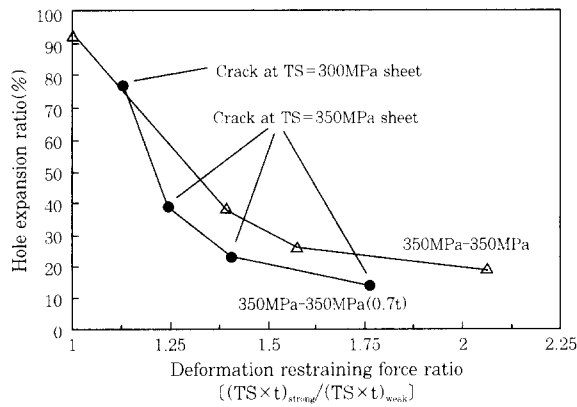
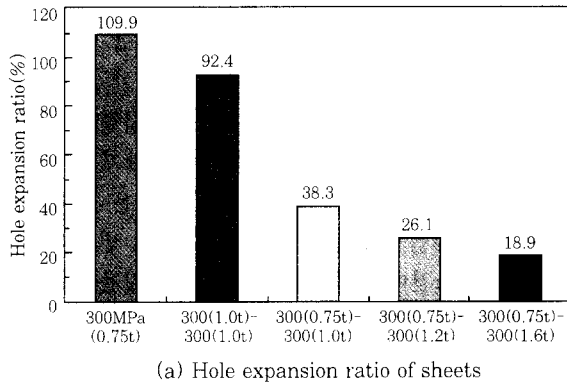


Fig. 6 The effect of base sheet properties of tailored blanks and hole expansion ratio.

이 작은 소재에서 발생하며, 용접부 양측 소재의 변형저항비가 신장플랜지 성형성에 중요한 요인임을 나타낸다. 그리고 인장강도 300MPa 급 소재에서 파단이 발생한 경우와 인장강도 350MPa 급 고장력 강판에서 파단이 발생한 경우를 비교하면 파단 발생부 소재의 신장플랜지 성형성도 중요한 TB의 성형성 인자임을 알 수 있다.

2.1.4 딥드로잉 성형성

박기철²⁰⁾은 원형 컵 및 사각 컵의 드로잉 특성에 대한 연구를 하였다. 원형 컵드로잉 시험에서 동일 소재 용접 시편에서는 어느 조건에서나 용접선의 이동은 관찰되지 않았으나, 용접선 양측 소재의 변형저항비가 커질수록 그리고 BHF(blank holding force)가 커질수록 용접선의 이동이 많았다. 이는 용접선 양측의 변형저항비가 커질수록 변형저항(인장강도와 두께의 곱)이 작은 쪽의 변형량이 많아지며, 가공 조건이 가혹해져 전체적인 변형량이 많아질수록 이러한 경향이 비례적으로 증가하기 때문으로 생각된다. 그리고 파단 발생 시편의 파단부 위치는 용접부 좌우 변형저항비가 작은 경우(1.36 이하)는 모두 단일 강판의 파단 위치인 펀치 곡률부에서 파단이 발생하였으나, 변형저항비가 큰 경우(1.58 이상)는 용접선에 인접한 펀치 머리 중앙에서 파단이 발생하였다. 변형저항비가 큰 경우에는 펀치 머리부의 용접선 이동에 따른 파단이며, 작은 경우는 단일 강판과 같이 변형은 펀치 곡률부에서 가장 많이 집중하고, 용접부의 연성이 모재에 비하여 부족하므로 파단이 발생하게 되는 것으로 볼 수 있다. 그리고 TB의 한계드로잉비는 모재와 큰 차이가 없음을 보였는데 이는 Azuma¹⁰⁾의 결과와 같다.

Fig.7 은 인장강도 300MPa(1.2t)-350MPa(0.7t) 블랭크로 용접선의 위치가 서로 다른 경우의 사각드로잉 성형제품 형상이다. 용접선의 이동이 펀치 머리부와 플랜지에서 서로 반대방향으로 나타남을 알

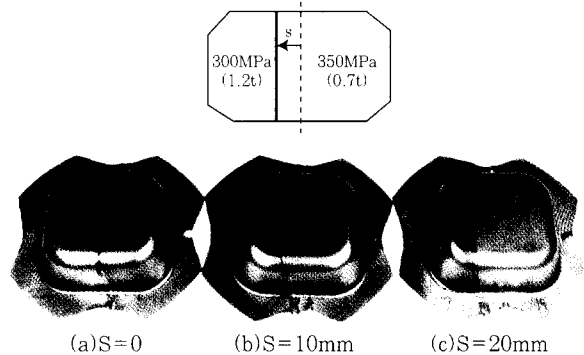
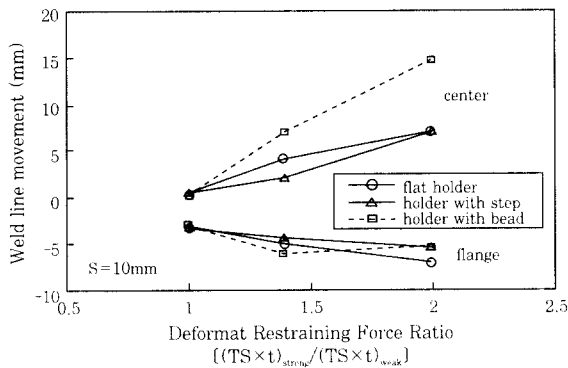
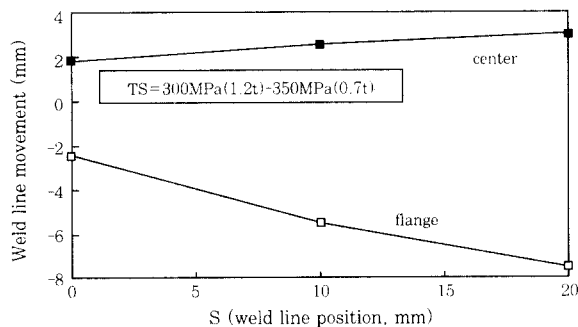


Fig. 7 Drawn specimens of 300MPa(1.2t)-350MPa(0.7t) sheet at different weld line locations

수 있으며, 변형저항이 큰 쪽의 면적이 작을수록 용접선의 이동이 많아지는 것을 알 수 있다. 금형조건과 소재의 변형저항비에 따른 용접선의 이동현상과 Fig.7에 나타낸 세가지 용접선의 위치에 따른 성형후 용접선의 이동량(두꺼운 강판 쪽으로 이동하는 것을 양으로 함)을 정리하여 Fig.8의 (a), (b)에 나타내었다. 초기 용접선의 위치 뿐만 아니라 용접선 양측의 변형저항 차이가 클수록 용접선의 이동량이 많아지며 금형조건에 의해서도 용접선 이동량이 달라짐을 알 수 있다. 비드를 사용하는 경우 비드에 의한 재료 흐름의 구속이 두꺼운 소재에 집중하므로 중심부의 용접선 이동이 변형저항비의 증가와 함께 급격히 많아짐을 알 수 있다.



(a) Tool condition and weld line movement



(a) Initial position of weld line and it's movement

Fig. 8 Weld line movement occurred at rectangular drawing

김영석²³⁾은 이중두께 TB를 적용한 원형 컵과 사각컵 딥드로잉 특성 및 차등 BHF와 최적 용접선의 위치에 대한 연구를 수행하였다. 금형의 단차를 고려하지 않는 경우에는 얇은 판재에서 주름이 발생하였고, 금형의 단차를 고려하는 경우에는 파단은 발생하지 않았으나 편치밀에서는 용접선이 두꺼운 판재 쪽으로 이동하고 플랜지에서는 얇은 판재 쪽으로 이동하였다.

원형컵 딥드로잉에 있어서 Mises 항복조건과 금형과 소재간에 작용하는 Coulomb 마찰, 다이곡률부에

서의 굽힘 및 편변형에 따른 힘을 고려하면 드로잉 시에 작용하는 컵 벽부의 반경방향 응력(σ_r)은 다음과 같다^{23,27)}.

$$\sigma_r = \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_Y \ln \frac{r_0}{r_c} + \frac{\mu H}{\pi r_0 t_0} + \frac{\sigma_Y t_0}{4r_d} \right\} e^{\mu \phi} + \frac{\sigma_Y t_0}{4r_d} \quad (1)$$

윗 식에서 σ_Y 는 재료의 단축인장 항복응력, μ 는 금형과 재료의 쿨롱 마찰계수, H는 블랭크홀더력, t_0 는 소재의 두께, r_0 는 다이곡률반경, ϕ 는 다이곡률부에서의 재료 접촉각이다. 그리고 r_0 , r_c , r_p 는 각각 블랭크반경, 다이내부반경 그리고 편치반경이다. Fig.9와 같이 소재의 두께가 각각 t_1 , t_2 인 원형 블랭크의 중앙에 용접선이 있고, 차등 BHF를 각각 가하여 컵 벽부의 양측 반경방향 변형저항이 동일하다면 다음 식이 성립하여야 한다.

$$\sigma_{r1} l_1 t_1 = \sigma_{r2} l_2 t_2, \quad l_1 = l_2 = \pi r_p \quad (2)$$

윗 식에서 첨자 1과 2는 각각 두꺼운 쪽과 얇은 쪽 강판을 나타낸다. 위의 (1)과 (2) 두 식으로 용접선의 위치 이동을 억제하기 위하여 가해야 하는 블랭크홀더력의 관계를 구할 수 있다. 김영석²³⁾은 이러한 두께비와 BHF의 관계를 원형 및 사각 드로잉에 대하여 유도하여 그 타당성을 보였다.

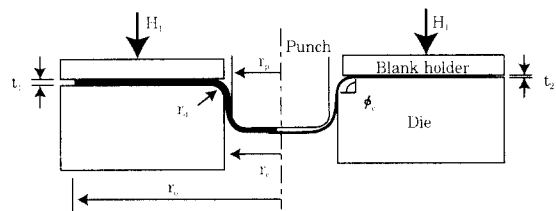


Fig. 9 Cup drawing process of tailored blank

2.2 TB 부재를 이용한 성형기술

2.2.1 드로비드 기술

박판의 프레스 가공에서는 재료의 흐름을 제어하는 유용한 수단으로 드로비드(drawbead)를 다이페이스와 홀더간에 설치하여 사용하고 있다. 단일 강판의 경우와 같이 TB 적용 부품에서도 드로비드의 역할이 중요하다. 특히, TB의 경우에는 한 블랭크에서 소재의 두께가 약 2배 정도 차이가 있기 때문에 드로비드를 이용한 소재 유동 제어가 매우 중요한 기술이다. 박기철²⁴⁾은 비드의 다이 및 편치 형상반경이 모두 4.76mm인 드로비드 시험기를 이용하여 소재 두께가 0.75mm에서 1.6mm 범위의 강판에 대하여 드로잉저항을 시험하여 그 결과를 Fig.10과 같이 정리하였

다. 소재 두께가 2배정도 차이가 나는 경우에 드로잉 저항은 약 3배 정도 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 드로잉 저항에는 비드와 소재의 금형간격에도 상당한 영향을 받는 것을 알 수 있다. 따라서 두께가 달라지는 경우 소재의 유동을 제어하는 드로비드의 형상과 높이 등에 상당한 관심을 기울여야 할 것임을 알 수 있다. 김홍중²⁵⁾은 용접된 판재에 대한 원형 드로비드 성형 및 드로잉 특성에 대한 연구에서, 0.8mm 두께의 단일강판 시편과 50mm 시편폭의 중앙에 길이 방향으로 레이저 용접된 0.8mm-0.8mm, 0.8mm-1.8mm TB로 비드의 다이 및 펀치 형상반경이 5mm인 원형 드로비드를 통과하는 경우의 인발력을 비교하였다. 드로비드 인발력이 단일 강판에 비하여 동일 두께의 레이저 용접 강판에서는 25% 가량 인발하중이 더 소요되며, 소재의 두께 차이가 있는 경우에는 용접부의 특성과 용접부 양쪽 소재의 변형저항 및 마찰의 영향으로 드로잉 하중은 매우 증가한다고 보고하였다.

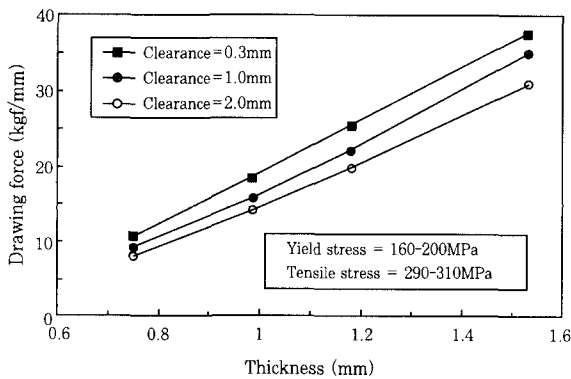


Fig. 10 Drawing force at different drawbead tool clearance

2.2.2 BHF 제어기술

앞서 김영석²³⁾ 과 Manabe²⁷⁾ 가 연구한 TB 성형에서 국부적인 BHF 제어에 의한 용접선 이동의 제어 효과에 대하여 언급하였으며, 이러한 시험기를 제작하여 실제 시험에 적용한 예는 Ahmetoglu²⁶⁾과 홍주표²²⁾ 등이 있다. 홍주표 등은 4개의 작용점에서 블랭크 홀더의 압력을 조절할 수 있는 단동식 TB 전용 프레스를 개발하였다. 이들은 블랭크홀더력(blank holding force)을 국부적으로 제어하여 TB의 사각 드로잉 성형 특성을 연구하였다. 두께가 다른 레이저 용접 판재 성형시에 BHF 를 조절 (얇은 강판부에 큰 BHF가 가해짐) 하여 단일 강판을 성형하였을 때와 비슷한 형상의 플랜지를 가질 수 있었음을 보여 BHF 를 국부적으로 조정하여 성형하는 기술의 적용 가능성을 보였다.

2.2.3 블랭크 형상 설정기술

김종엽²⁸⁾은 공정변수등을 고려하여 복잡한 형상을 가지는 제품의 초기블랭크 형상을 결정하는 방법을 제시하고, 이를 이용하여 Frame의 TB 설계에 응용하였다. 그리고 이충호²⁹⁾는 one-step forming 기법으로 널리 알려진 유한요소 역 해석을 이용하여 제품에서의 임의의 용접선이 성형전 블랭크상에서 어떠한 위치를 신속히 알게 해주는 방법을 개발하여 발표하였다. 유한요소 역해석을 이용하면 성형후 요구되는 용접선에 대하여 블랭크 상의 용접선 위치를 빠르게 구할 수 있어, TB의 용접선 설계에 일차적인 수단으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2.2.4 부품개발 예

- Side panel 부품개발

권재욱³⁰⁾등은 TB 적용시 재료비의 절감효과는 크지만 성형상 가장 어려운 부품에 속하는 사이드 패널의 성형 및 금형기술을 연구 개발한 결과를 보고하였다. 이들은 먼저 동종 두께의 조합(인장강도 300MPa 급 1.0t)으로 용접된 사이드 패널을 용접하여 성형함으로써 용접되지 않은 판재와 비교하여 레이저 용접선이 성형에 미치는 영향과 용접선의 이동을 관찰하였고 성형해석을 통하여 이중두께 성형을 위한 금형의 단차 위치 설정 및 금형가공을 수행하였다. 또한 성형해석을 통한 다양한 블랭크 설계안으로 성형실험을 수행하여 이중두께 조합(인장강도 300MPa 급 0.9t-1.6t)의 사이드 패널을 완성하였다. 먼저 Fig.11과 같이 세 용접선으로 구성되는 동일 두께 TB를 제작하여 성형 시험하였으며, 그 중에서 중요한 결과를 Fig.12에 나타내었다. 가장 위험한 부위는 B-pillar 에서 d 위치이며, d 위치에서의 용접선의 위치(높이)가 중요함을 알 수 있다. 블랭크 곡률부에서 용접선이 위로 위치할수록 용접부의 변형량은 작아지나, 소요 블랭크의 크기가 커지므로 성형성과 경제성의 양측면을 고려하여 용접선의 위치를 결정하여야 함을 알 수 있다. 이들은 이중두께 TB에 대하여 성형 실험 및 해석기술을

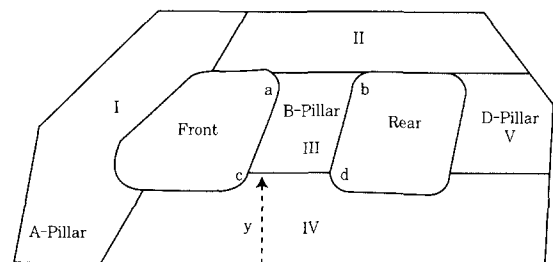
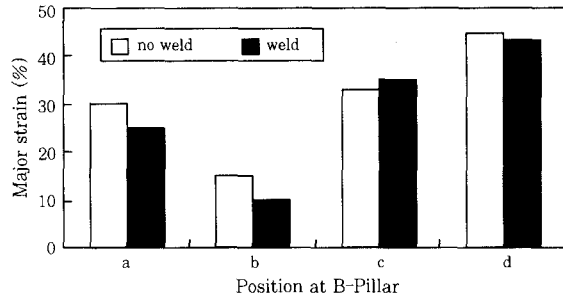
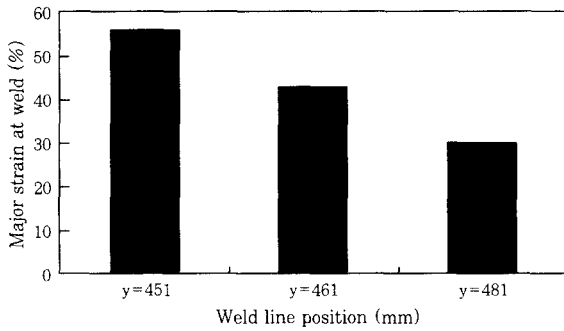


Fig. 11 The blank shape of same thickness side panel TWB



(a) Deformation of single sheet and same thickness TWB



(a) Deformation due to weld line position [lower part of B-Pillar (d)]

Fig. 12 Comparison of deformation at B-Pillar

활용한 연구를 수행하였으며, 최종적으로 B-Pillar 하단 뒷부분의 과단방지를 위하여 두꺼운 쪽의 변형을 유도(두꺼운 강판의 블랭크 형상을 변경하고 비드 위치를 수정)하여 이중두께 side panel 의 성형을 성공적으로 수행하였음을 보고하였다.

- Door inner 부품 개발

Door inner에서 강성이 요구되는 부분은 hinge 부이다. 따라서 강성이 요구되는 이 부분에는 두꺼운 판재를 사용하고, 이외의 부분에는 얇은 판재를 사용한 TB를 적용함으로써, 조립성, 생산성, 중량감소 등에서 큰 효과를 얻을 수 있다. 그러나 용접선의 이동, 주름발생, 과단등의 문제에 대한 대처 방안은 기존의 가공 방법으로는 불가능하여, TB의 성형성, 금형설계 및 생산에 관한 많은 연구가 있었다. 김현영³¹⁾은 TB 적용 door inner를 개발하기 위하여, 강도해석 결과로부터 최적 판재의 조합, DDQ(deep drawing quality)급 강판의 0.7t-1.8t, 및 용접선의 위치를 선정하였다. 최적 용접선의 위치 및 적용한 TB 형상은 Fig.13과 같다. 시작금형으로 다이부에 단차가공을 한 금형을 제작하였으며, 다이 형상을 이용하여 시뮬레이션 모델을 작성하였다. 성형시험에서는 초기 판재의 위치와 비드 형상을 변경하여 시험하고 성형 결과를 분석하였으며, 이와 동시에 성형해석에서는 초기 판재위치, 블랭크홀더력, 비드부 변경등을 통해 시험

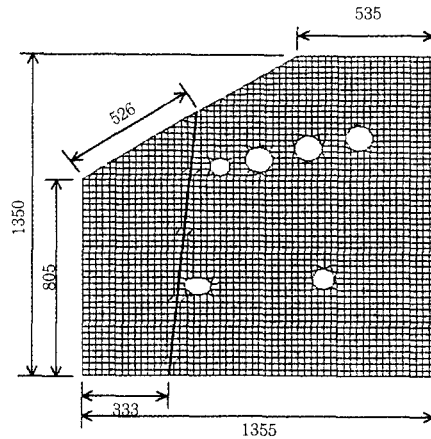
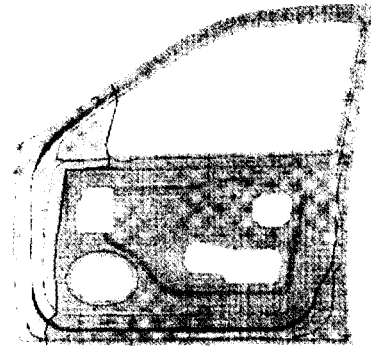


Fig. 13 Position of weld line resulted from structural analysis and TWB of door inner panel

결과와 비교하여, 금형설계 및 제품 설계에 반영하였다. 이들이 얻은 door inner 성형에서의 주요 결과는 다음과 같다.

- (a) 용접선의 이동 특성은 재료의 과단 모드에 큰 영향을 주기 때문에 초기 판재의 위치를 결정하여 용접선의 이동특성을 예측하는 것이 제품이나 금형을 설계하는 데 매우 중요하다.
- (b) 스피커 홀(speaker hole) 부위와 같이 과다한 변형이 예상되는 부분은 제품설계시 재료의 원활한 유입을 위하여 충분한 곡률을 주어야 한다. 또한 용접선은 과다한 변형 및 구멍이 있는 부위는 피하도록 설계하는 것이 바람직하다.
- (c) TB 성형시 판재의 두께 혹은 재질의 차이에 따라서 BHF 조건이 각각 다르다. 분할 금형이 아닌 경우 블랭크홀더력 제어는 불가능하므로 국부적으로 발생되는 과단이나 주름을 방지하기 위하여는 드로비드를 이용한 재료 유입제어가 효과적이다.
- (d) 성형해석을 통하여 성형에서 문제가 되는 부분에 대한 빠른 설계변경으로 성형시험 횟수를 줄일 수 있었다.

이외에 sub frame 부품개발³²⁾ 등 다수의 예가 있으

나 여기서는 위의 두가지 대표적인 TB 적용 예만 소개 하였다.

2.3 TB 설계 관련한 강도설계 및 안전도 연구

TB 적용 차체를 설계할 경우, 부품의 크기를 결정하고, 어느 정도까지 일체화할 것인지를 결정하는 것이 매우 중요하다. 이러한 결정을 위해서는 차체부품의 요구 특성을 파악하고, 용접 판재의 적용 안을 여러 가지로 검토하여 부품에 요구되는 기능적 특성과 경제적 효과가 최대가 되도록 하여야 한다. Door inner의 경우 요구되는 구조적인 강도는 도어 처짐(door sag), 윈도우 프레임 처짐(window frame deflection), 벨트라인 강성(beltline squeeze), 고유진동수(normal mode) 등이 있으며 이러한 모든 요구 조건³¹⁾을 만족해야 한다. 강도해석 결과로부터 최적 판재의 조합 및 용접선의 위치가 결정된다. 이렇게 구조해석 또는 충돌해석을 이용하여 제품중의 생략 가능한 부품과 두께를 선정하는 것이 가장 먼저할 일이며 그 다음에 성형성에 대한 고려가 있어야 한다. 권재욱³⁰⁾ 등은 사이드 패널과 조립되는 부품인 front hinge, front pillar, center pillar 를 생략하여 부품의 두께를 결정하였다. 그리고 성형성의 고려를 위하여 다음 사항에 유의하여 용접선을 설정하였다.

(a) 용접부의 변형률이 클 것으로 예상되는 부분은 두꺼운 쪽의 변형을 증가시킨다.

(b) 용접선의 위치가 최대 변형을 지점에서 벗어나도록 한다.

성형성의 고려 이전에 수행되어야 하는 이러한 TB 설계에 관련된 문헌을 2건 정리하였다. 조홍수³³⁾ 등은 충돌해석을 통하여 TB로 제작된 부품 적용시의 충돌 성능에 관하여 보고하였다. Fig.14 와 같은 단순 모자형 부재에 보강재가 보강된 기존 공법으로 제작된 보를 TB로 대체하여 제작하는 경우에 동일한 충돌 성능(에너지 흡수능력)을 가지는 TB의 두께 조합을 최적화 기법을 사용하여 구하였으며, 이때 TB 적용 부품의 무게는 기존 대비 77%임을 밝혔다. 이러한 결과는 하중조건, 변형 가능 공간, 경계조건 등에 따라서 다르기 때문에 차량구조물 전반에 적용하기에는 무리가 있지만, TB 적용 부품의 경우 보강재로 보강된 일반 부재에 대비하여 유리한 충돌특성을 가짐을 알 수 있다. 조홍수³³⁾ 등은 TB 및 고장력강판을 채용한 차량의 충돌 특성을 파악하기 위하여 현 법규 및 상품성 시험중에서 가장 차체의 변형특성에 영향을 많이 받는 OFFSET NCAP(OFFCAP) 해석을 실시하였다. 이 시험은 4단계(good/acceptable/marginal/poor)로

그 결과를 평가한다. TB 및 고장력강판을 적용하여 차량충돌 안전성을 향상시키기 위해서는 고장력강판 적용부위와 TB 용접선 및 두께 조합에 관한 것이 중요하였으며, 이러한 사항을 고려하여 고장력 강판과 TB를 실차에 적용하고 해석한 결과를 다음과 같이 보고하였다.

부품수 감소 : 12 parts, 중량 : 0.197kg 감소
Base 모델 대비 차체 변형량 평균 36% 감소
IIHS 평가기준에 의한 차체 변형특성 : Good

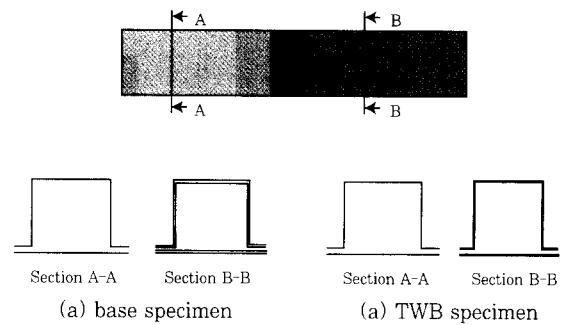


Fig. 14 Reinforce and TWB type member

김동석³⁴⁾은 최고의 사고발생 빈도를 보여주는 전방 충돌시 가장 효과적으로 충돌에너지를 흡수해 줄 수 있는 전방차체 구조를 TB를 적용하여 설계하는 방법에 대하여 보고하였다. 이들은 미국연방도로교통안전국(NHTSA)에서 규정한 신차량평가프로그램(NCAP)의 전방충돌 시험 조건을 이용하였다. 전방측면구조(front side structure)는 Fig.15 와 같이 전방측면부재(front side member), 보강전방측면부재(reinf. front side member), 덮판(closing plate), 보강덮판(reinf. closing plate)으로 구성된다. 이들의 주된 관심은 보강덮판 및 보강전방측면부재의 효과에 관한 것이다. 일반적으로 전방측면구조의 형상은 엔진룸의 공간배치와 타이어와의 간섭회피에 의하여 제약을 받으므로 보강부재의 두께 및 형상을 변경하여 충돌강성을 조정한다. TB의 적용을 고려하여 보강전방측면부재를 Fig.15 와 같이 네 개로 나누고 각각의 두께를 달리하여 해석하였다. 여러 가지 조건의 해석 결과를 종합하여 경량이면서, 국부 좌굴이 연속적으로 발생하여 에너지를 효율적으로 흡수하는 전형적인 아코디언 형태의 변형모드를 나타내는 구조를 선정하였다. 이는 보강 전방측면부재의 부재1을 사용하지 않고 부재 2,3,4 는 각각 두께가 1.4, 1.6, 2.0mm 이며 보강덮판은 사용하지 않은 경우이다.

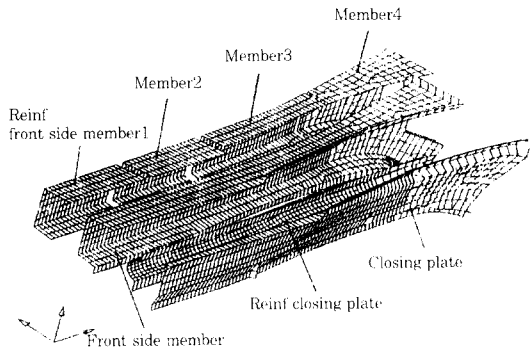


Fig. 15 Parts of front side structure

3. 결 언

TB를 이용한 자동차용 부품 가공에 관련한 기본 성형성과 몇가지 요소기술에 관한 필자의 연구결과와 국내외에서 발표된 논문을 정리하여 보았다. 최근 3-4년 동안에 국내에서도 TB 성형기술에 관한 상당한 연구가 진척되었으므로, 외국의 주요 연구성과를 참고하면서, 주로 국내의 연구 성과를 필자의 시각에서 정리하였다.

기본적으로 TB의 성형성은 단일 강판의 성형성보다 용접선을 경계로 하여 변형저항이 다른 강판이 존재함으로써 인하여 발생하는 것으로 TB를 효과적으로 성형하기 위해서는 보다 정밀한 금형 및 가공조건의 설정이 요구된다. TB의 성형성을 인장, 스트레칭, 신장플랜지, 드로잉 성형성으로 나누어 정리하면 다음과 같다.

(1) TB를 용접선 직각방향으로 인장하면 파단은 변형저항이 작은 소재 쪽에서만 발생하며, 용접선을 경계로 한 소재의 변형저항비가 커질수록 연신율은 저하함을 알 수 있었다. 그리고 용접선 방향 인장에서는 용접상태가 양호한 경우 모재 연신율에는 못미치나 이와 근사한 정도에 도달하였다.

(2) 스트레칭 (신장, 장출) 성형성 시험결과 소재간의 변형저항비가 커질수록 용접선 이동이 심해지고, 성형성은 나빠지며 파단은 용접부 인접한 약한 쪽의 모재에서 발생하였다. 모재에서 파단이 발생하는 경우는 파단발생부 모재의 성형한계도를 이용하여 파단 예측이 가능하였으며 용접부에서 파단이 발생하는 경우는 모재강판의 성형한계보다 15% 정도 낮은 수준의 성형한계도로 파단 예측이 가능하였다. 스트레칭 성형에서 소재와 금형과의 윤활이 좋을수록 성형성이 향상되는 일반적인 단일강판의 경우와는 달리 TB의 경우는 적절한 마찰조건이 존재하며 적절한 조건 이상의 윤활에서는 변형이 한 곳에만 집중하여 성형성이 감소하였

다. 그리고 두께가 얇은 쪽의 면적이 넓고 성형성이 좋을수록 성형성이 향상되었다.

(3) TB의 신장플랜지 성형성은 변형저항비에 반비례하여 나빠지며 변형저항비가 2배 정도로 커지면 모재의 10% 까지 작아질 정도이므로 성형에서 매우 주의하여야 할 성형모드임을 알 수 있었다.

(4) 드로잉 성형에서는 용접선의 위치와 가공조건에 따라서 용접선 이동 특성이 달라지며 용접선의 이동이 심한 경우 파단이 발생하였다. 두꺼운 소재쪽과 얇은 소재 쪽에 동일한 비드가 사용되는 경우에는 두꺼운 소재의 유입이 어려워져 용접선의 이동이 심해지며, 블랭크홀더력이 커지는 경우 파단이 발생하였다.

TB 성형에서 중요한 금형 기술로는 비드기술, 블랭크홀더 및 금형의 단차 설정 기술, 블랭크 형상 설계기술 등이 있다. 기본적인 경향을 제시하는 실험 및 이론적인 배경에 관한 연구는 상당히 진척이 되었으며, 향후에 더욱 발전되리라 생각된다. TB의 초기 블랭크 설계는 구조해석 및 충돌해석등의 절차를 거쳐서 결정되지만, 설정된 조건에서 소재 비용을 포함한 가공비용과 소재 성형성의 양 측면을 고려한 최적의 용접선 설정과 가공조건의 결정은 프레스 관련 기술자들이 해결해야 할 분야이다. 제품개발에서 기존의 기술을 종합하여 적용하더라도 완벽하게 문제를 해결할 수는 없는 경우가 대부분일 것이며, 이러한 문제를 창의적으로 해결해나갈 수 있는 풍부한 기술력을 배양해나가는 것이 중요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 夏見文章 : 테-라드"블랭크의 매력, 프레스技術, 34-8 (1996), 19-25
2. W. Prange : Tailored Blanks - Production Procedures and the Behavior of the Welded Parts, ULSAB Seminar-Seoul Motor Show '97 (1997)
3. 서정, 한유희, 윤충성, 방세윤 : 아연도금강판의 CW CO₂ 레이저 용접 및 성형성, 대한용접학회지, 13-1 (1995), 577-587
4. 서정, 한유희, 김정오, 이영신 : 이중두께 강판의 CO₂ 레이저 용접 및 성형성, 대한용접학회지, 14-1 (1996), 82-91
5. 김기철, 이기호, 이목영 : TB용 박판강재의 레이저 용접성(I) - 용접부 형성에 미치는 공정변수의 영향 -, 대한용접학회지, 16-1 (1998), 77-87
6. 김기철, 이기호, 이목영 : TB용 박판강재의 레이저 용접성(II) - 이음 형상이 용접성에 미치는 영향 -, 대한용접학회지, 16-2 (1998), 143-153
7. W. Prange, C. Schneider : A New Material for New Ways of Design, SAE 920429 (1992)
8. 夏見文章, 小原昌弘 : 테-라드"블랭크의 프레스成形, Journal of the JSTP, 38-432 (1997), 45-51

9. M. F. Shi, K. M. Pickett and K. K. Bhatt : Formability Issues in the Applications of Tailor Welded Blank Sheets, SAE930278 (1993)
10. K. Azuma, K. Ikemoto, K. Arima, H. Sugiura and T. Takasago : Press formability of Laser Welded Blanks, Sheet Metal in Forming Process (16th Biennial Congress IDDRG), (1990), 305-311
11. 白田松男, 橋本浩二 : テーラード”ブランク”の成形性, フォレス技術, 34-8 (1996), 26-29
12. J. M. Van der Hoeven, K. Rubben, F. Lambert, I. De Rycke, J. Scheers : Formability Issues for Tailored Blanks, Sheet Metal in Forming Process (19th Biennial Congress IDDRG), (1996), 347-356
13. Y. Yamasaki, M. Yoshida, M. Kabasawa and M. Ono : Effect of chemical composition, mechanical properties and thickness of base steels on formability of laser welded blanks, Sheet Metal in Forming Process (19th Biennial Congress IDDRG), (1996), 357-366
14. A. P. Lee, E. Feltham and J. V. Deventer : Tailor Welded Blank Technology for Automotive Applications, SAE 960817, (1996)
15. 김형목, 허영무, 양대호, 서대교 : 매쉬-섬 용접판재의 성형한계, 한국소성가공학회 '97 춘계학술대회 논문집, (1997), 222-225
16. 박승우, 구분영, 금영탁 등 : 레이저 합체박판의 성형한계평가 실험에 관한 연구, 한국소성가공학회 '97 추계학술대회 논문집, (1997), 72-75
17. 박기철, 한수식, 김광선, 권오준 : 레이저 용접 TB의 기본 성형 특성 I : 인장변형특성, 한국소성가공학회지, 7-1 (1998), 23-35
18. 박기철, 한수식, 김광선, 권오준 : 레이저 용접 TB의 기본 성형 특성 II : 신장플랜지 성형특성, 한국소성가공학회지, 7-1 (1998), 36-48
19. 박기철, 한수식, 진조관, 권오준 : 레이저 용접 TB의 기본 성형 특성 III : 신장성형특성, 한국소성가공학회지, 7-4 (1998), 54-363
20. 박기철, 한수식, 김광선, 권오준 : 레이저 용접 TB의 성형특성, POSCO 연구논문, 2-2 (1997), pp.74-88
21. 박승우, 구분영, 백승준, 금영탁, 강수영 : 레이저용법 합체박판의 물성 및 성형성에 관한 연구, 한국소성가공학회 '98 춘계학술대회 논문집, (1998), 32-35
22. 홍주표, 김현영, 오수익 : 레이저 용접 판재의 정사각 컵 드로잉 성형성 연구, 한국소성가공학회지, 6-1 (1997), 68-80
23. 김영석, 하동호, 정기조, 서만석 : 레이저 용접 소재의 디프 드로잉 성형특성 해석, 한국소성가공학회지, 7-6 (1998), 519-529
24. 박기철 : 고장력 자동차 내판 부품의 유한요소 성형해석과 최적재질선정”, POSCO기술연구소 연구보고서, (1998), 46
25. 김홍종, 허영무, 김낙수, 김현영, 서대교 : 용접된 판재에 대한 원형 드로비드 성형 및 인출 특성, 한국소성가공학회지, 8-4 (1999), 340-346
26. M. A. Ahmetoglu, D. Brouwers, T. Altan : Deep drawing of round cups from tailor welded blanks, Journal of Material Processing Technology, 53 (1995), 684-694
27. K. Manabe, M. Yoshihara : ティラードブランク材の可變しわ抑え力制御圓筒深絞り加工の初等 解析, 日本塑性加工學會 '96春季學術大會 論文集, (1996), 262-263
28. 김종엽, 김낙수, 허만성 : 우물정(井)자형 Sub-frame 의 블랭크 설계, 한국소성가공학회지, 7-3 (1998), 260-273
29. 이충호, 허훈, 한수식 : 유한요소 역해석을 이용한 Tailor Welded Blank 의 용접선 설계, 한국소성가공학회 '97 추계학술대회 논문집, (1997), 89-92
30. 권재욱, 명노훈, 백승엽, 인정제, 이경돈 : 레이저용접 TB를 이용한 사이드 패널 성형, 한국소성가공학회지, 8-1 (1999), 7-13
31. 김현영, 신용승, 김관희, 조원석, : 레이저 용접 차체의 성형해석과 금형설계, 한국소성가공학회지, 7-4 (1998), 382-392
32. 이승희, 전병희, 김현영 : Tailor welded blanks 를 이용한 자동차용 부품 개발, 한국소성가공학회 '98 춘계학술대회 논문집, (1998), 40-44
33. 조홍수, 박동호, 이종일, 박관홍 : 신 공법 및 고장력 강판 적용 충돌해석 사례, 자동차용 강재 제조 및 이용기술 (대한금속학회 제4회 철강기술 심포지움 논문집), (1999), 185-195
34. 김동석, 이명식 : 합체박판 성형을 이용한 전방 측면 부재 설계, 대한기계학회지, 37-9 (1997), 56-61



- 박기철(朴基喆)
- 1965년생
- 포항제철 기술연구소 박판연구그룹
- 냉연 판재의 성형기술 및 성형성 평가
- e-mail : pc543381@posco.co.kr