

스탬핑용 고강도강 TRB 판재의 성형 특성

박현경^{*}, 정지원¹, 이경민²

¹동해금속(주), ²자동차부품연구원 소재융합연구센터

The formability of high strength steel plate applied TRB for stamping

Hyun-kyung Park^{*}, Ji-Won Jeong¹, Gyung-Min Lee²

¹technical laboratory, Dong Hae Metal

²Multi-Material Research Center Gwangju-JeonNam Division, Katech

요약 최근에 안전기준과 환경규제 강화의 증대로 인해, 차체의 경량화에 대한 연구가 지속적으로 증가하고 있다. 고강도강의 응용은 가장 보편화 된 차체 경량화의 효과적인 방법 중에 하나이다. TWB(Tailor Welded Blank)는 다양한 두께와 용접을 사용하여 부분적인 강도와 경량화를 만족시키는 주요한 공법으로 활용되고 있다. 그러나 추가적인 용접공정으로 인해 판재 간의 용접성이 중요하고 용접부에 대한 품질관리가 중요하다. 이점을 개선하기 위해, TRB(Tailor Rolled Blank)공법이 제안되었다. TRB는 롤러 압력을 조절하여 판재의 두께를 다르게 하고, 용접을 사용하는 TWB 공법보다 추가적인 용접공정이 없기 때문에 생산 비용적인 측면에서 훨씬 더 효율적이다. 본 연구에서는 Blank의 압연 영향을 조사하기 위해 스탬핑용 고강도강 TRB 판재의 성형성을 분석하였다. 성형성을 분석하기 위해, TRB 판재에서 0.8 mm, 1 mm의 두께를 갖는 부분을 채취하여 시험하였다. 시편에 새겨진 그리드마킹의 변형도를 분석하여 변형률을 조사하였고, 0.8 mm와 1.0 mm의 두께를 갖는 TRB 시편으로 Erichsen 시험을 한 후에 FE분석을 활용하여 성형성과 고유진동수를 비교하였다.

Abstract Recently, research on lightweight automobiles is increasing continuously to respond to the high safety standards and environmental regulations. The application of high strength steel is one of the effective methods for developing lightweight car bodies. A TWB (Tailor Welded Blank) is major method that allows partial high strength with light weighting using a multi-thickness and multi-material welded blank. On the other hand, additional welding process is required to prepare the blank and quality control for the welding process also required. To secure this point, the TRB (Tailor Rolled Blank) method was suggested. In the TRB method, the thickness of sheet is controlled by the rolling presses and the production efficiency is much higher than welding in TWB methods. In this study, the formability of high strength TRB steel plate was analyzed to examine the rolling effect of the blank. The formability of the specimen was tested using 0.8 and 1 mm thick steel sheets for the TRB plate. The strain was analyzed by the digital image sensing of grid markings on the specimen and the forming limit diagram was calculated. An Erichsen test for the 0.8 and 1 mm thick TRB specimens was carried out and the formability was investigated by comparing with FE analysis.

Keywords : FLD(Forming limit Diagrams) Test, formability, Forming, high strength steel, TRB(Tailor Rolled Blank)

1. 서론

최근, 강화된 환경규제로 인하여 기존 소재보다 가벼

우면서 안전성을 확보 할 수 있는 소재 및 공법이 지속적으로 연구되고 있다. 특히 고강도강은 경량화 뿐만 아니라 기계적 물성이 기존에 쓰이던 강 보다 높기 때문에

본 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 연구과제로 수행되었음.(R0004531)

*Corresponding Author : Hyun-kyung Park(Technical laboratory, Dong Hae Metal)

Tel: +82-62-960-9260 email: jhsong@katech.re.kr

Received April 5, 2018

Revised May 2, 2018

Accepted May 4, 2018

Published May 31, 2018

차체에 주로 적용되고 있으며, 환경규제 강화에 따라 그 중요성이 점차 증가되고 있다[1]. 또한 이러한 요구를 충족하기 위해 복합소재인 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)나 알루미늄과 마그네슘 같은 경량화 소재를 활용한 차체바디 개발에 많은 투자가 되고 있다. 그러나, 비용적인 측면과 공정상의 어려움으로 인해서 상용화에는 많은 제약이 있다.

이를 보완하고자 개발된 공법 중에 하나가 TRB (tailor rolled blank)공법이다. TRB공법은 1990년도 독일에서 처음 개발되었고[2], 소재를 압연하는 과정에서 롤 갭을 제어하여 가변두께의 소재를 제작하는 공법이다[3]. TRB공법을 적용한 소재의 경우, 두께 차이가 있는 이중 물성과 열간성형을 통하여 1.5 GPa 이상의 강도를 갖는 부품을 제작할 수 있기 때문에 고강도 특성이 요구되는 부품에 적용되고 있다[4]. TWB(tailor welded blank)공법도 이중 물성을 갖게 하는 공법이지만, 용접이라는 공정이 추가되어 판재의 전처리와 용접의 품질이 중요하다[1].

이러한 이유로, TRB공법은 차체에 필요한 강도와 경량화를 만족할 뿐만 아니라 추가적인 공정을 최소화 할 수 있는 가장 혁신적인 공법이다. Kim[5]등은 보론 강판(22MnB5)으로 사각드로잉 실험을 진행하여 성형한계 예측을 진행하였지만, 아직까지 TRB소재의 성형성 예측에 대한 사례가 많이 부족한 상태이기 때문에 추가적인 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 스텝핑용 고강도강 TRB 판재의 성형특성에 대하여 조사하고자 한다. 만능 박판 성형 시험기(USTM)를 사용하여 FLD(Forming limit diagram)를 작성하였고, LS-Dyna를 활용하여 실제 시험과 해석간의 비교 검증을 실시하였다. 추가적으로 고유 진동수 시험과 Simulation 해석을 진행하여 TRB 다중 두께 구조 모사 기법에 신뢰성을 증명하였다.

2. 시험방법

2.1 TRB 판재 성형성 시험

성형 특성 평가를 진행하기 위해, TRB 판재 HC420LA(Table 1)를 사용하였으며, 실제 공급된 판재 치수 및 가변두께는 Fig. 1에 표시하였다. TRB 판재에서 두께가 0.8, 1 t로 된 부분을 절단하고, 0.8 t와 1 t의

두께에 대한 시험편을 각각 가공하여 성형성 시험을 진행하였다.

시험편은 180 mm로 가로 길이를 고정하고, 각 180, 100, 80, 65, 50, 40, 30, 25 와 20 mm를 세로 길이로 정하여 시험편을 가공하였다. 가공된 시험편은 전기화학적 에칭법을 활용하여 2 mm x 2 mm의 그리드 마킹을 표시하였다. 폭이 50, 65 mm인 사각시험편은 다이 어깨부에서 파단이 발생하여 ISO-12004-2 규격에 맞추어 Fig. 2과 같이 Nakajima[6]시험편으로 가공하였다. FLD시험이 종료된 시험편은 그리드 분석기를 이용하여 시험편 파단부 주변의 그리드 변형량을 측정하고 FLD를 작성하였다.

Table 1. Chemical composition of HC420LA(wt.%)

Al	Ti	Mn	Nb
≥0.015	≤0.15	≤1.6	≤0.09
Si	P	S	C
≤0.5	≤0.025	≤0.025	≤0.1

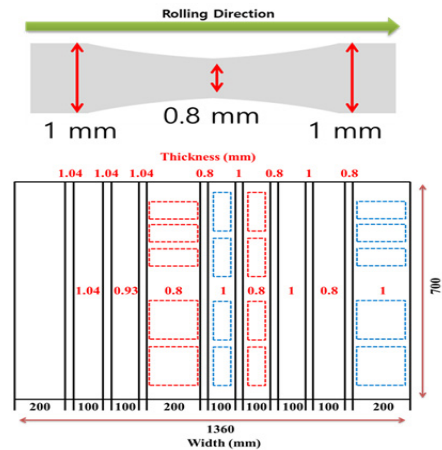


Fig. 1. Thickness of TRB(HC420LA) plate

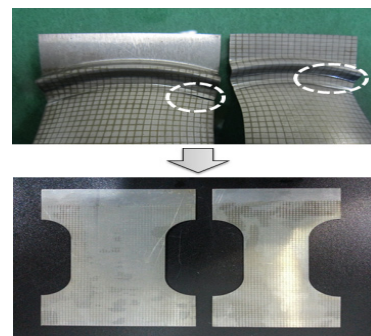


Fig. 2. Shape of Nakajima specimens

2.2 FE-Analysis를 활용한 성형성 해석

0.8 t와 1 t의 FLD를 TRB 소재에 적용하여 가변두께의 적합성을 비교하고, 실제 성형성 시험의 정확도 검증 을 위하여 FE-Analysis 프로그램인 LS-Dyna를 활용하여 성형해석을 진행하였다. Mayer[1], Kim[5] 등은 사각 드로잉 시험으로 성형성 평가 및 해석 하였으나, 본 연구에서는 원형 드로잉 시험을 모델링하여 TRB판재의 성형성 해석을 진행하였다.

해석조건은 Table 2에, 해석 모델은 Fig. 3에 나타내었다. 해석에 사용되는 TRB 소재의 사이즈는 180 mm x 180 mm인 쉘 요소로 모델링을 하였고, 물성은 인장시험을 통해 얻어진 값을 입력하였다. 실제실험조건과 동일한 펀치 속도와 하중 조건을 입력하여 성형해석을 수행하였다.

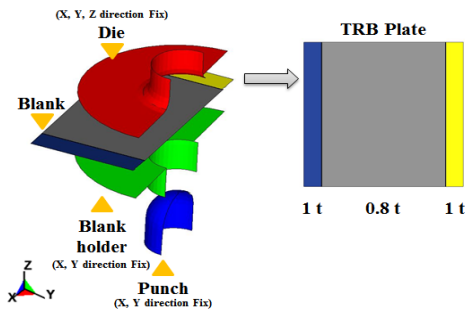


Fig. 3. FE-model of deep drawing

Table 2. Conditions of FE-Simulation for formability

Conditions	Values
*MAT_CARD	24(PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY) 20(RIGID)
*CONTACT	FORMING_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE
Young's modulus (GPa)	207
Poisson's ratio	0.28
Yield stress (MPa)	365.65
Friction coefficient (μ)	1.97
Nodes number	7305
Element number	6962
Punch Speed (mm/min)	50
Blank holder force (Ton)	30

2.3 고유진동수 측정 및 해석

제품의 고유진동수는 강성과 밀도에 관계되며, 강성은 제품 두께분포에 영향을 받으므로 TRB 성형해석 결과를 이용한 진동해석과 진동시험의 비교를 진행하였다.

고무 밴드를 이용하여 성형된 판재를 Fig. 4와 같이 배치하고, 각 위치에 센서를 부착시킨 후 임팩트 해머를 이용하여 자유조건에서 고유진동수를 측정하였다. 시험 종료 후, 시험결과에서 측정된 고유진동수 측정값과 Table 3의 해석조건을 바탕으로 7 차 모드까지 고유 진동수 값을 비교 분석하였다.

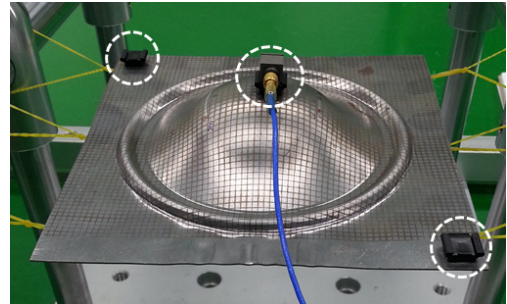


Fig. 4. Setting condition of modal test

Table 3. Conditions of FE-Simulation for modal analysis

Conditions	Values
*MAT_CARD	24(PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY)
*CONTACT	FORMING_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE
Young's modulus (GPa)	207
Poisson's ratio	0.28
Yield stress (MPa)	365.65

3. 결과

3.1 FLD시험을 통한 성형성 예측

네킹 또는 파단 주변의 주변형률과 부변형률 값의 분포를 측정하여 Fig. 5에 각 두께에 따른 성형한계도 측정결과를 나타내었다.

크랙 발생 부위에 Strain이 집중되고 Major Strain 방향의 수직 방향으로 파단이 발생하였으나, 크랙이 발생하지 않는 부위에서는 비교적 Strain분포가 균일한 것을 확인할 수 있었다. 부변형률이 양인 Biaxial stretching 경우, 1 t가 0.8 t 보다 높은 주변형률을 보였다. 그러나 부변형률이 음인 Simple tension의 경우, 0.8 t와 1 t가 비슷한 주변형률을 보이는 것으로 확인 되었다. Deep

Drawing 시험법으로 성형성을 평가한 Meyer[1] 등의 연구결과와 같이 일반적으로 판재 성형에서 두께가 증가할수록 성형성이 증가하는데[7], 이와 같은 성형 특성은 본 실험에서도 동일하게 나타났다.

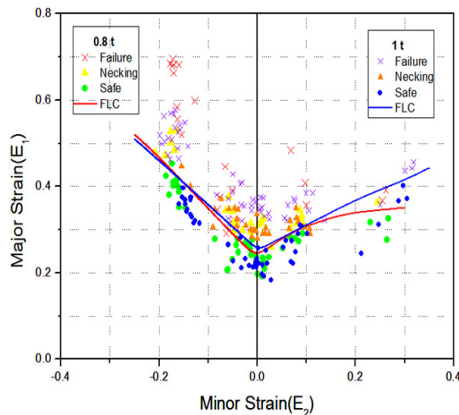


Fig. 5. iFLD curves of TRB plate with thickness of 0.8 t and 1 t

3.2 Simulation 성형 해석

실험의 정확도 검증을 위해 LS-Dyna를 활용한 성형성 해석을 통해서 실제 시험과 해석의 형상을 Fig. 6에 비교하여 나타내었다. 실제 시험에서 크랙이 발생한 위치(Fig. 6(a))와 해석에서 발생한 크랙 위치(Fig. 6(b)) 및 파단형태가 일치함을 알 수 있었다. TRB판재 성형 시에 적합한 두께를 조사하기 위해, 실험으로 얻은 각 두께에 따른 FLD 곡선을 TRB가 적용된 성형해석에 적용하고, 정밀한 분석을 위해 Mesh 사이즈는 0.5 mm로 수정하여 추가적인 해석을 진행하였다.

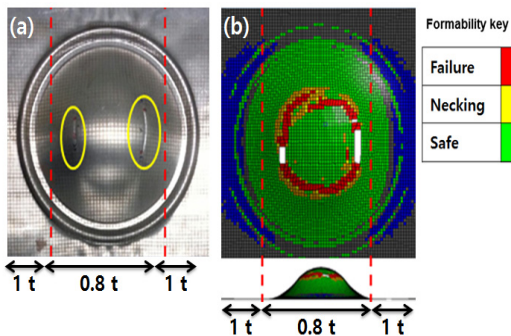


Fig. 6. Comparison of deep drawn parts between test and simulation

Fig. 7에서 0.8 t와 1 t의 해석결과를 비교했을 때, 0.8 t보다 1 t의 Failure 빈도가 더 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 서술했던 일반적으로 판재 성형에서 두께가 증가할수록 성형성이 향상된다[7]는 내용과 일치함을 알 수 있었다.

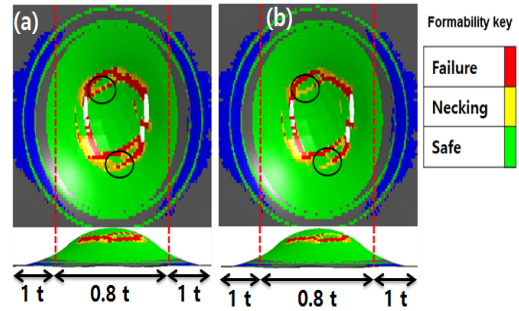


Fig. 7. Distribution of formability base on FLD of 0.8 t and 1 t

3.2 고유진동수 시험 및 해석 검증

간이 성형 시험을 통한 FLD성형한계선 해석 결과를 바탕으로 성형품에 대한 고유진동수 측정 해석을 진행하였다. Fig. 8에 7 가지 진동모드를 표시하였고, Table 4에 성형 시험 시편에 대한 고유진동수 측정 값과 해석 값을 비교분석 하였다.

최소 0.05 ~ 3.65 % 해석/실험 간 오차가 발생하였으며, 2 Mode에서 3.65의 최대 오차율을 보였다. 이러한 결과로 비추어봤을 때, 앞서 정립한 TRB 소재 성형 해석이 충분히 신뢰할만한 해석결과라고 볼 수 있다.

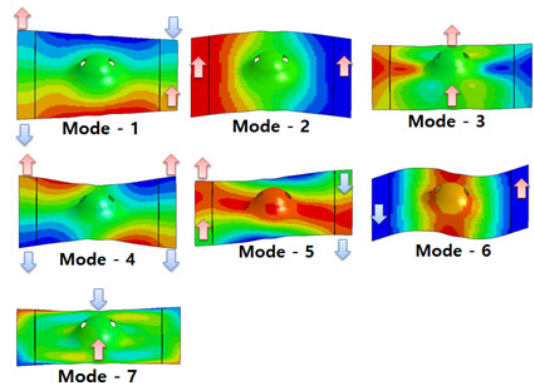


Fig. 8. Modes of natural frequency analysis

Table 4. Result of natural frequency analysis

Mode	Simulation [Hz]	Test 1 [Hz]	Test 2 [Hz]
1	105.452	107.5	106.3
2	168.027	161.9	161.9
3	202.894	206.3	-
4	240.378	232.5	231.9
5	244.418	-	246.3
6	371.115	-	371.3
7	443.906	436.9	448.8
Mode	Test average [Hz]	Error [Hz]	Error factor[%]
1	106.9	1.448	1.37
2	161.9	6.127	3.65
3	206.3	3.406	1.68
4	232.2	8.178	3.40
5	246.3	1.882	0.77
6	371.3	0.185	0.05
7	442.85	1.056	0.24

3. 결론

본 연구에서는 스텝핑용 고강도강 TRB 판재의 성형 특성을 조사하고자, 성형성 시험을 진행하여 성형한계도를 작성하고 해석을 통해 실험의 정확성을 검증하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) TRB 소재의 두께(0.8 t, 1 t)에 따른 FLD 시험 결과, 판재의 각 두께에 대한 FLD곡선의 큰 차이는 없으나 Biaxial stretching 경우, 1 t의 두께일 때 성형이 더 우수하다.
- (2) 실제 시험과 해석 간 형상 비교 결과, 크랙의 위치와 파단형상이 일치하고 0.8 t보다 1 t의 FLD 곡선 적용 시, 크랙의 빈도가 더 낮은 것으로 확인되었다. 따라서, 보수적인 설계를 위해서는 0.8 t의 FLD를 적용하는 것이 바람직하다.
- (3) TRB 소재 모델링에 대한 고유진동수 측정 해석 결과, 실험과 해석간의 오차율이 최대 3.65 %인 것으로 확인되어, 앞서 정립한 TRB 소재 성형 해석의 정확성이 검증되었다.
- (4) 본 연구에서 제시한 TRB 판재의 성형특성이 고려된 예측 방법의 타당성이 확보됨에 따라 향후

TRB 소재의 성형에 대한 정밀한 예측이 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] A.Meyer, B.Wietbrock, G.Hirt, "Increasing of the drawing depth using tailor rolled blanks-numerical and experimental analysis", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 48, pp. 522-531, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2007.08.003>
- [2] R. Krux, W. Homberg, M. Kleiner, "Properties of large-scale structure workpieces in high-pressure sheet metal forming of tailor rolled blanks", *Steel Res. Int.*, vol. 76, no. 12, pp. 890-896, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1002/srin.200506112>
- [3] S. J. Jeon, M. Y. Lee, B. M. Kim, "Development of automotive door inner panel using AA5J32 tailor rolled blank", *Trans. Mater. Process.*, vol. 20, no. 7, pp. 512-517, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5228/KSTP.2011.20.7.512>
- [4] H. Karbasian, A. E. Tekkaty, "A review on hot stamping", *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 210, no. 15, pp. 2103-2118, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.07.019>
- [5] J. H. Kim, D. H. Ko, P. G. Seo, B. M. Kim, "Limits considering the deformation characteristics of tailor rolled blank during hot stamping", *Trans. Mater. Process.*, vol. 23, no. 6, pp. 351-356, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.5228/KSTP.2014.23.6.351>
- [6] Nakazima, K., Kikuma, T., Asuka, K, "Study on the formability of steel sheet", *Yawata Technical Report*, no. 264, 1968.
- [7] Z. Marciniak, J. L. Duncan, S. J. Hu, "Mechanics of sheet metal forming", 2nd, Butterworth-Heinemann, Oxford, pp. 61-81, 2005.

박 현 경(Hyun-Kyung Park)

[정회원]



- 2012년 8월 : 금오공과대학교 기계공학화(공학 석사)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 동해금속 (주) 기술연구소 연구소장

<관심분야>
자동차

정 지 원(Ji-Won Jeong)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한신대학교 수학과 (이학사)
- 2014년 2월 : 성균관대학교 기술경영학과(공학석사)
- 2016년 4월 ~ 현재 : 동해금속(주) 기술연구소 주임연구원

<관심분야>
자동차

이 경 민(Gyeong-min Lee)

[정회원]



- 2014년 8월 : 전남대학교 신소재공학과 (신소재공학석사)
- 2015년 11월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 소재융합연구센터 연구원

<관심분야>
자동차, 금속재료