

롤 포밍 공정의 롤 갭과 성형속도에 따른 스프링 백 영향 연구

Study on Spring-Back Effect according to Roll Gap and Forming Velocity of Roll Forming Process

김동홍¹, 윤대환¹, 설상석², 정동원^{1,✉}

Dong Hong Kim¹, Dae-Hwan Yoon¹, Sang-Seok Seol², and Dong Won Jung^{1,✉}

¹ 제주대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Jeju National University)

² 창원대학교 클러스터 사업단 (Cluster Agency, Changwon National University)

✉ Corresponding author: jdwcjeju@jejunu.ac.kr, Tel: +82-64-754-3620

Manuscript received: 2016.1.18. / Revised: 2016.2.5. / Accepted: 2016.2.29.

The spring-back and bow phenomenon in the roll forming process are important factors regarding the accuracy of evaluation of production goods. The purpose of this study was to determine the influence of spring-back and bow phenomenon according to the main variables (forming velocity and roll gap). The material of the forming sheet was high tension steel (SPFH 590), which has been used commonly in recent years. In order to accurately measure the spring-back and bow phenomenon, the forming sheet was formed into a V-shape. The study was applied to OFAT (One Factor at a Time) experimentation, with respect to the experimental variables (the forming speed and the roll gap). In the experimental results, the forming speed had a small influence on the spring-back and bow phenomenon. However, the roll gap had a greater influence on the spring-back and the bow phenomenon, as opposed to the forming speed.

KEYWORDS: Roll forming process (롤 포밍 공정), Spring-Back (스프링 백), Roll gap (롤 갭), Forming velocity (성형 속도), High tension steel (고장력 강판)

1. 서론

최근에는 높은 원자재 가격 상승과 소비자의 기호 수준이 향상되어, 제조 산업이 고급 기술 (High-Tech)화 되어 가고 있다. 점차 제조 산업 시장 (Industrial Market)에서는 고성능의 제품을 요구하고 있으며, 생산된 제품에 대하여 높은 에너지 효율성과 편리성 및 신뢰성 등 많은 기능적인 사항을 평가가 되고 있다. 이러한 산업 특성을 바탕으로, 특히 자동차 산업에서는 자동차의 연비 향

상 및 안전성 확보를 위해 많은 연구를 수행하고 있으며, 최근에는 차체의 다른 재질을 적용함으로써 자동차의 연비향상 및 안정성 확보를 하려는 경향을 보인다.¹ 위의 경향에 따라 기존 재질에서 대체 가능한 차체 재질은 고장력 강판 (High Tension Steel Sheet, HTS), 알루미늄 판재 (Aluminum Sheet) 및 고분자 소재 (Polymer Material) 등이 고려되고 있다.^{2,3} 위 소재 중 고장력 강판은 강한 강성으로 인하여 자동차의 많은 차체부품에 적용 및 생산되고 있으며, 고장력 강판을 사용하여 경량화가

및 고강도 제품 개발이 활발히 진행되고 있다.^{4,5}

하지만 고장력 강판은 높은 항복강도와 낮은 연신율의 기계적인 특성으로 인하여, 일반 강판보다 판재 성형에 어려운 점이 많다. 기존에는 고장력 강판을 성형 시 프레스 가공법 (Press Forming)을 많이 사용하였다.⁶ 그러나 판재 성형성 (Formability) 확보의 어려움 및 금형의 수명 단축 등과 같은 단점을 가지고 있으며, 이를 대처할 가공법으로 롤 포밍 공정 (Roll Forming Process)이 고려되고 있다.⁷ 판재 성형 공정 중 하나인 롤 포밍 공정은 생산 시 적은 원자재 손실과 높은 에너지 효율성을 가지며, 초 경량화 및 고강도 제품을 만들기에 적합한 공정이다. 롤 포밍 공정은 프레스 공정과 다르게 상, 하 또는 좌, 우로 쌍으로 이루어진 다수의 롤 금형을 활용하여, 점진적인 소성변형을 이용한 성형 방법이다. 그러므로 롤 포밍 공정은 높은 강성을 갖는 고강도 강판을 이용한 제품 성형에 유용한 성형 공정이다.⁸

일반적으로 롤 포밍 공정은 형상이 일정하고 길이가 긴 제품을 대량으로 생산할 때 유용한 성형 방법으로, 최대 생산 속도는 185 m/min까지 가능하지만 롤 금형에 무리를 주지 않기 위해 대체적으로 30-55 m/min의 속도로 생산한다.

롤 포밍 공정을 이용한 제품 생산 시 고려할 공정 변수는 성형판재의 특성 (Characteristic of Forming Sheet), 롤 금형 간의 간격 (Roll Gap), 롤 패스 (Roll Pass)간의 거리 (Horizontal Distance to the Previous Roll Stand), 롤 포밍 속도 (Roll Forming Velocity)등 많은 변수를 고려해야 한다. 위의 많은 변수를 고려한 종합적인 분석을 통해, 버클링 (Buckling) 및 스프링 백 (Spring-Back)과 같은 제품 결함 현상을 저감할 수 있는 최적 성형이 가능하다.

본 연구에서는 롤 포밍 공정에서 난성형성 소재인 고장력 강판을 V-형상으로 성형하였으며, 성형 정밀도를 확인하기 위해 성형된 고장력 강판에 대하여 스프링 백값 및 보우량 (Bow)을 측정하였다. 롤 포밍 공정에서 주요 공정변수인 롤 갭과 롤 포밍 속도를 실험변수로 설정하였으며, 위 2개의 실험변수에 대한 스프링 백과 보우에 대한 영향을 분석하기 위해 롤 포밍 실험을 수행하였다.

2. 롤 포밍 실험 방법

롤 포밍 실험을 수행하기 위해, 사용된 롤 포밍 장치는 Fig. 1과 같다. 롤 포밍 장치는 총 4개의



Fig. 1 Roll forming machine

Table 1 Mechanical properties of high tension steel

Forming sheet	Value
Grade	SPFH 590
Density [kg/m ³]	7,860
Ultimate tensile strength [MPa]	671
Yield strength [MPa]	448
Modulus of elasticity [GPa]	250
Poisson's ratio [-]	0.29
Elongation [%]	25
Thickness [mm]	0.78

Table 2 Range of experiment variable

Experiment variable	Range of parameters
Roll gap [mm]	0, 1, 2
Value of velocity controller level (Forming velocity [mm/sec])	20(10.3), 40(24.9), 60(36.3), 80(54.2), 100(66.6)

단 (Pass)으로 구성이 되어 있다. 총 4개의 단에서 3개의 단만 사용하여 V-형상으로 가공하였으며, 3개의 단의 굽힘 각도는 각각 30° (Pass-1), 60° (Pass-2), 90° (Pass-3)이다. 본 연구에서 사용된 성형시트의 소재는 고장력 강 (SPFH 590)이며, 성형시트의 너비 및 길이는 각각 60 mm, 700 mm이다.

성형시트에 대한 기계적 물성치는 Table 1과 같다.

실험변수인 롤 갭과 롤 포밍 속도에 대하여 상호간 영향을 파악하기 위해, 사용된 롤 포밍 변수의 범위는 Table 2와 같이 결정하였다.

롤 갭의 정의는 Fig. 2와 같으며, 성형시트의 두께를 고려하여 변수를 범위를 결정하였다. 롤 포밍 성형속도는 롤 포밍 장치에서 지원되는 속도레

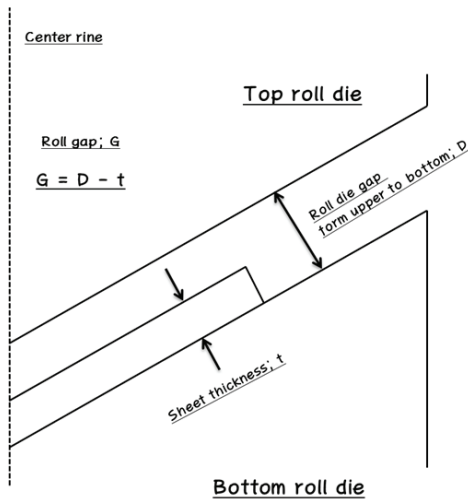


Fig. 2 Definition of the roll gap

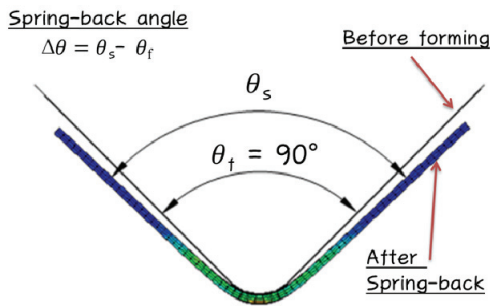


Fig. 3 Definition of the spring-back angle

벨(0-100)을 고려하여 변위범위를 결정하였다. 속도 컨트롤러의 레벨에 해당하는 실제 성형속도의 값은 실험을 통하여 측정하였으며, Table 2에 해당 레벨에 대한 성형속도 값을 작성하였다. 위 2개의 변수에 대하여 영향을 파악하기 위해, 모든 변수범위에 대하여 15회 실험을 수행하였다.

스프링 백 측정 방법은 어떠한 제품을 생산하는지 또는 제품의 특성상 고려해야 되는 중요한 치수 특성에 따라 굽힘 각으로 측정하거나, 변위로 측정하기도 한다.^{9,10} 본 연구에서 V형상에 대한 스프링 백 측정 방법은 굽힘 각으로 측정하였으며, 굽힘 각 측정할 때에는 디지털 각도기(Cemred, GR82302R)를 사용하여 정확한 굽힘 각도를 측정하였다. 스프링 백 계산법은 스탬핑 공정(Stamping Process)에서의 V-Bending 공정에서 사용하는 계산방식으로 적용하였으며, 스프링 백 계산식 및 측정방법은 Fig. 3과 같다. θ_s 는 성형된 시트

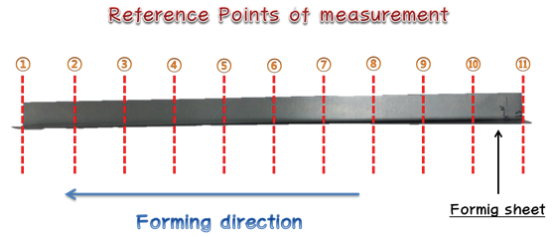


Fig. 4 Measuring points on the forming sheet

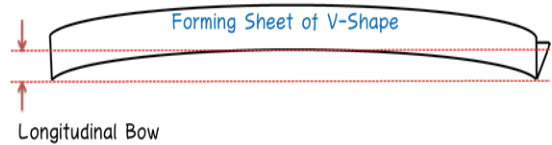


Fig. 5 Definition of longitudinal bow value

의 각도이며, θ_f 는 최종 목표로 하는 단면의 굽힘 각도이다.¹¹

롤 포밍 공정에서 생산된 제품의 특징은 연속적인 띠판 형식의 성형판재가 연속 성형되는 특징을 가진다. 그러므로 롤 포밍 공정에서 성형된 제품은 V-Bending의 스탬핑 공정과 달리 측정 방법을 다른 관점으로 평가해야 한다. 일반적으로 스탬핑 공정에서의 V-Bending은 성형된 판재의 모든 위치에서 거의 일정한 스프링 백 값을 보이지만, 롤 포밍 공정에서의 V-Bending은 성형 과정 중에 성형되는 길이 방향으로 좌굴과 같은 현상을 보이기 때문에 성형된 제품에 대한 모든 위치에서 스프링 백값이 일정하지 않다.¹² 그러므로 롤 포밍 공정에서는 성형된 제품에 대하여 전 구간에서의 스프링 백 값을 도출하여 성형성을 파악하는 것이 타당하고 판단된다. 그러므로 본 연구에서는 성형된 제품에 대하여 10개의 일정한 간격으로 나누어서 스프링 백을 측정하였으며, Fig. 4와 같이 성형되는 순서로 번호를 할당하여 11개의 스프링 백 결과에 대하여 도출 하였다.

보우는 롤 포밍 제품의 직진성 (Straightening)을 평가하는 항목이며, 롤 성형기의 롤 패스 (Roll Pass)에 있는 롤 다이 (Roll Die)의 성형 압력이 불균일한지 판단할 수 있는 척도로 사용된다. 보우 현상에는 크게 2가지 있다. 첫 번째로는 제품 단면을 기준으로 생기는 단면 보우 (Cross Bow)와 두 번째는 길이방향으로 생기는 보우 (Longitudinal bow)이다. 본 연구에서는 V-형상의 단면을 가지므로 단면 보우를 측정 불가하여 Fig. 5와 같은 변형

현상을 보이는 길이방향 보우만 측정하였다. 길이 방향 보우 측정방법은 평평한 면에 제품을 놓고 보우 값이 가장 높은 곳에서 거리를 측정한다. 일반적으로 보우는 제품의 중심부분이 가장 크므로, 본 연구에서는 Fig. 4에서의 6번 위치에서 최대 보우 값을 측정하였다. 정확한 최대 보우 측정을 위하여 HanDo 사의 두께 게이지 (Thickness Gauge)를 사용하였다. 두께 게이지는 30 μm 부터 1 mm까지 다양한 두께를 가진 철판으로 구성이 되어 허용오차 30 μm 까지 정확한 보우량을 측정하였다. 측정 방법은 Fig. 4의 측정지점 6번에 철판을 적층 방식으로 끼워서 보우량을 측정하였다.

3. 실험 결과

실험변수인 롤 갭은 고정된 값으로 하고, 성형 속도에 대한 영향을 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. 같은 롤 갭에서 성형 시 성형속도에 따른 스프링 백 량 차이가 거의 없다. 롤 갭이 0 mm일 때는 전체적인 평균값이 목표한 최종 굽힘 각도 값인 90°보다 낮게 측정이 되었으며, 갭이 1 mm일 때는 평균 굽힘 각이 91°, 2 mm일 때는 평균 굽힘 각이 95°로 도출이 되었다. 롤 갭이 일정할 때 최종 굽힘 각도 차이는 없었지만, 롤 갭이 증가할 때에는 전체적인 평균 굽힘 각도 값들이 증가하는 것을 확인 하였다. 또한 롤 갭이 적을수록 성형속도에 따른 굽힘 각도의 차이가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 굽힘 각도 차이가 없다는 것은 제품이 균일하게 생산된다는 것을 의미하며, 롤 갭이 2 mm일 때는 시트의 측정 위치에 따라 굽힘 각도 차이가 증가하는 것으로 보아, 갭이 증가할수록 성형시트의 버클링 현상이 증가한다고 판단할 수 있다.

성형 속도를 고정된 값으로 하고 롤 갭에 대한 영향을 분석한 결과는 Figs. 7과 8과 같다. 위의 그래프의 가장 큰 특징은 같은 성형속도 조건에서 롤 갭 마다 평균 굽힘 각도 차이가 크게 나왔으며, 롤 갭에 따른 평균 굽힘 각도 차이는 거의 일정한 간격으로 차이를 보였다.

도출된 그래프를 전체적으로 검토해보면, 처음 성형되는 측정위치 1과 마지막으로 성형되는 측정위치 11를 비교하면 평균 성형 값에서 많이 차이를 보이는 것을 확인 할 수 있다. 측정위치 1에서는 초기에 롤 금형과 접촉 시 발생하는 시트의 응력으로 인하여 시트 안쪽 면으로 변형이 많이 생겼으며, 측정위치 11에서는 최종 패스인 Pass-3에

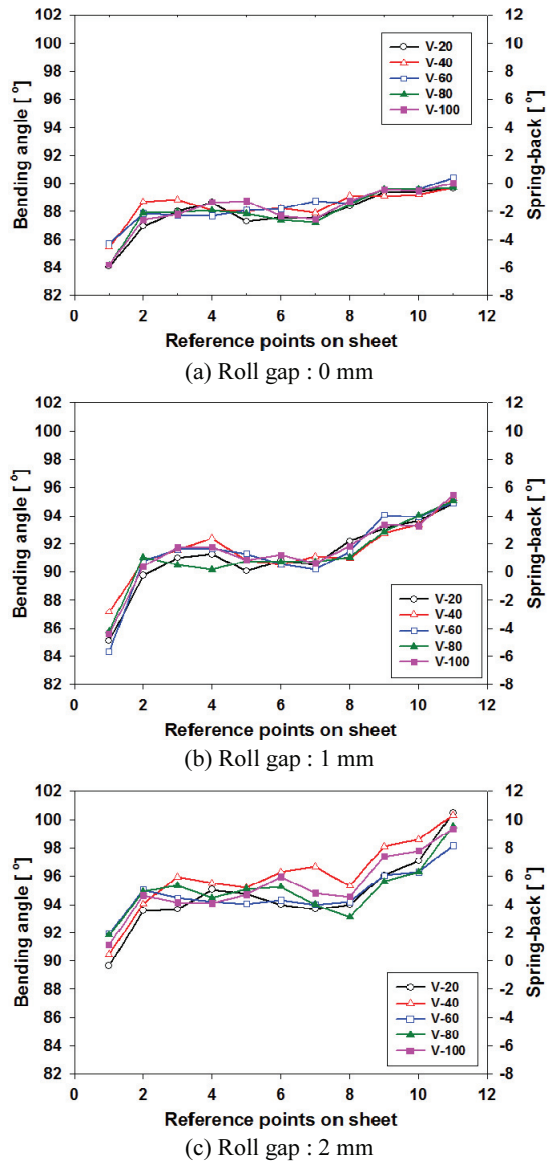
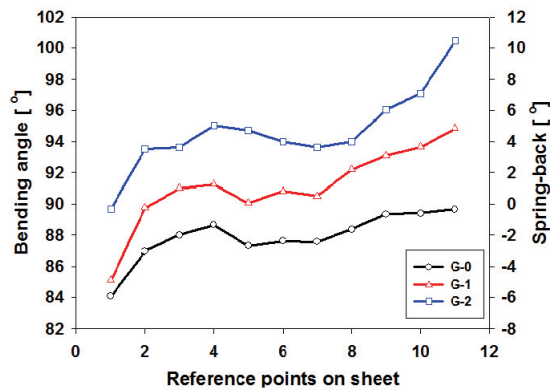
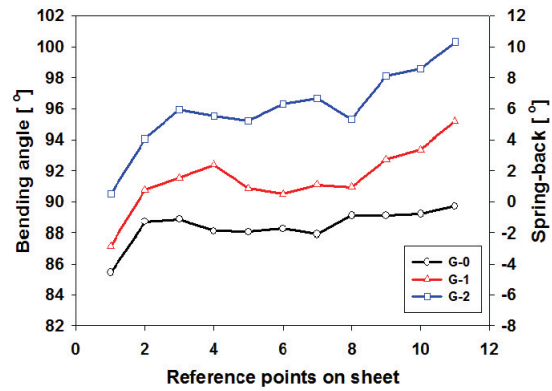


Fig. 6 Spring-back value according to reference point and forming velocity

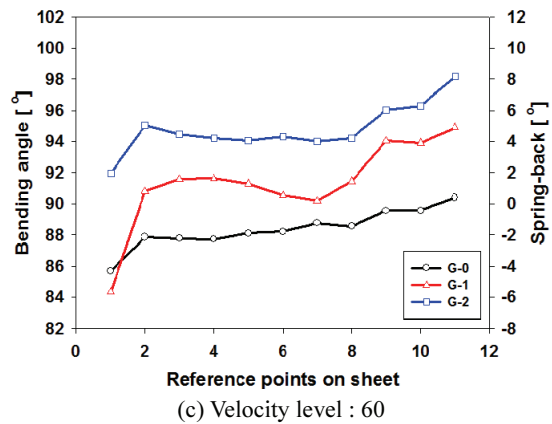
서 성형시트가 롤 금형으로 부터 구속이 풀릴 때 성형시트 바깥쪽으로 벌어지는 변형거동을 보였다. 이러한 현상을 보이는 이유는 성형 시트 내 응력분포가 다른 측정 위치간 불균일하기 때문이다. 실제 산업현장에서도 측정위치 1-3, 9-12와 같이 처음 가공되는 부분과 마지막에 가공되는 부분은 제품의 치수정밀도가 낮기 때문에 폐기하는 부분이다.



(a) Velocity level : 20



(b) Velocity level : 40

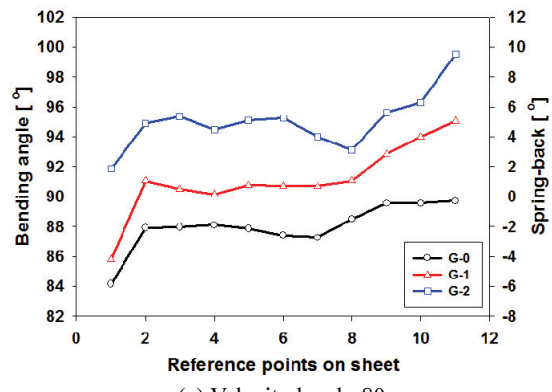


(c) Velocity level : 60

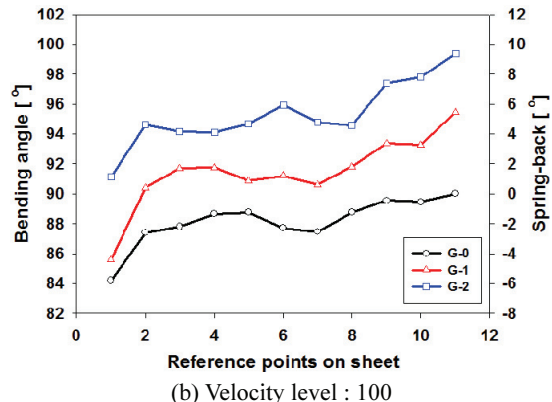
Fig. 7 Spring-back value according to reference point and roll gap

위의 실험을 바탕으로 목표 굽힘 각도인 90°에 만족하기 위해 롤 갭은 약 0.6 mm로 설정하고, 제품의 버클링을 고려한다면 속도 40레벨 수준에서 성형이 되어야 한다고 판단한다.

Fig. 9는 두 변수 간의 보우량 측정결과 값이다.



(a) Velocity level : 80



(b) Velocity level : 100

Fig. 8 Spring-back value according to reference point and roll gap

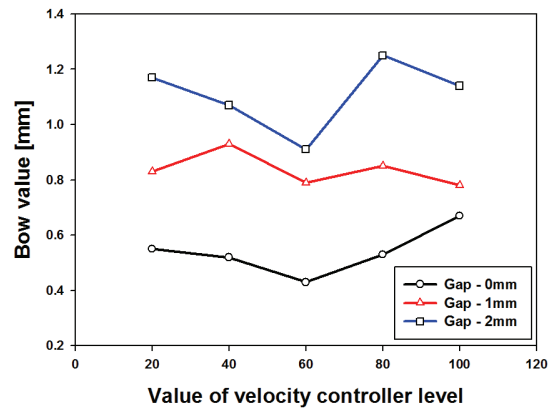
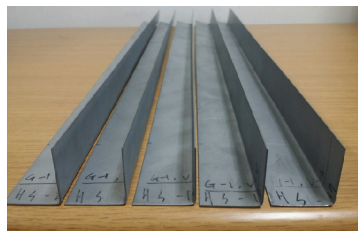
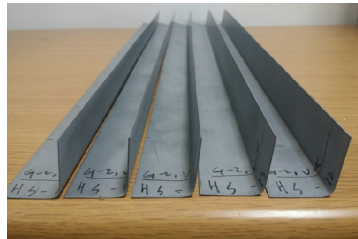


Fig. 9 Bow values according to roll gap and forming velocity

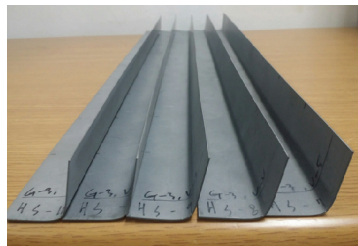
롤 갭 값이 적을수록 보우량이 낮으며, 성형속도는 보우량에 대하여 큰 영향을 못 미치는 것으로 실험결과를 통하여 알 수 있었다.



(a) Roll gap : 0mm



(b) Roll gap : 1mm



(c) Roll gap : 2mm

Fig. 10 Results of forming sheet according to various velocity

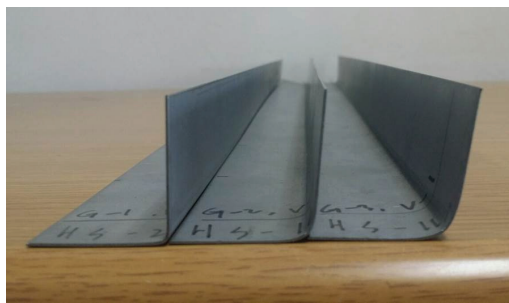


Fig. 11 Results of forming sheet at 20 level (left) roll gap : 0mm (middle) roll gap : 1mm (right) roll gap : 2mm

4. 결론

본 롤 포밍 실험에서는 고장력강 재질인 SPFH 590 시트를 V-형상으로 성형하였으며, 롤 포밍 장치에 변수로서 조절이 가능한 롤 포밍 성형속도와

롤 갭의 조건의 변수 범위를 설정하였다. 성형된 시트에 대하여 스프링 백 값과 보우량을 측정하였으며, 실험결과에 대한 결론은 아래와 같다.

(1) 같은 롤 갭에서의 롤 포밍 성형속도의 스프링 백 값의 영향이 거의 없으며, 같은 롤 포밍 성형속도에서 롤 갭에 변수에 따라 스프링 백 값이 많은 차이를 보였다.

(2) 롤 갭이 0 mm일 때에는 오버 밴딩이 되어 최종 굽힘 각도가 90° 전후로 나타났으며, 롤 갭이 1mm인 경우 90° 전후로 굽힘 각도로 나왔으며, 롤 갭이 2 mm 일 때는 스프링 백 값이 약 4° 전후로 나타나는 것으로 분석되었다.

(3) 롤 갭이 0 mm 일 때 오버밴딩 되는 이유는 상부 롤 금형의 V-형상의 각도가 하부 롤 보다 크기 때문에 성형 시트 웹 (Web, 소재 중심부분)에 상부 롤 금형의 R-값에 해당하는 면적에 대한 큰 집중 하중이 작용이 되었을 것으로 판단된다.

(4)보우량 측정결과 성형속도보다 롤 갭에 대한 영향이 큰 것으로 나타났다.

위 실험 결과를 바탕으로, 롤 포밍 공정에서는 제품을 생산할 때에는 롤 갭이 매우 중요한 공정 변수임을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2016학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

1. Kim, J. K., "Present Status and Properties of Light - Weight Materials in Automobile," Journal of the Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 10, No. 4, pp. 29-38, 1988.
2. Kim, C.-I., Yang, S.-H., and Kim, Y.-S., "Prediction of Formability of Aluminum Alloy 5454 Sheet," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 36, No. 2, pp. 179-186, 2012.
3. Jang, H.-J., Shin, K.-B., and Han S.-H., "A Study on the Lightweight Design of Hybrid Modular Carbody Structures Made of Sandwich Composites and Aluminum Extrusions Using Optimum Analysis Method," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 36, No. 11, pp. 1335-

- 1343, 2012.
4. Kim, D. H. and Jung, D. W., "Roll Forming Analysis for High Strength Steel Bumper Process," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 30, No. 8, pp.797-801, 2013.
 5. Cho, J. G., Koo, J. S., and Jung, H. S., "Study on Weight Reduction of Urban Transit Carbody Based on Material Changes and Structural Optimization," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 37, No. 9, pp. 1099-1107, 2013.
 6. Choi, H. S., Kim, S. G., Kim, B. M., and Ko, D. C., "Quantitative Evaluation of Scratch Related Tool Life for Stamping of UHSS Using Pin-on-Flat Surface Test," Transactions of Materials Processing, Vol. 22, No. 2, pp. 86-92, 2013.
 7. Kim, K. Y., Jang, S. G., Jung, H. S., Oh, K. S., Yun, J. J., et al., "The Development of High Strength Steel Car in Sill Side by Roll Forming Process," Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 33, No. 4, pp. 29-34, 2011.
 8. Bae, W. R., Shim, B. K., Jo, Y., and Jung, C. S., "Development of the Roll Forming for High Strength Long Rail," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 27, No. 5, pp. 1151-1152, 2010.
 9. Lee, T. S. and Kim, G. W., "Finite Element Analysis for Precision Roll Forming Process of Stainless Slide Rail," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 26, No. 8, pp. 96-103, 2009.
 10. Kim, D. H., Jung, D. W., Yoon, D. H., and Zhang, Y., "Study on Springback of High Tension Steel Following Various Temperature and Local Pre-Heating in the Roll Forming Process," Proc. of IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 103, pp. 12-35, 2015.
 11. Kim, D. H., Yoon, D. H., and Jung, D. W., "Study on Spring-Back Effect with Various Temperature of Magnesium Alloy in Roll Forming Process," Advanced Materials Research, Vol. 1016, pp. 75-79, 2014.
 12. Uemori, T., Okada, T., and Yoshida, F., "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, 1998.