

◆ 특집 ◆ 최신 정밀 설계재료 기술 I

롤포밍 공정을 이용한 고장력강 재질의 범퍼보강 차체 판넬 개발에 관한 연구

A Study on Development of Automotive Panel of Bumper Reinforcement with High Strength Steel Using Roll Forming Process

정동원^{1,✉}, 김동홍¹, 김봉천¹Dong Won Jung^{1,✉}, Dong Hong Kim¹, and Bong Chun Kim¹

1 제주대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Jeju Univ.)

✉ Corresponding author: jdwcjeju@jejunu.ac.kr, Tel: 064-754-3625

Manuscript received: 2012.5.18 / Revised: 2012.6.23 / Accepted: 2012.6.25

Roll forming process is a sheet metal forming process where the forming occurs with rolls in several steps, often from an undeformed sheet to a product ready to use. And each pair of forming rolls installed in a forming machine operates a particular role in making up the required final cross-section. This process used to many industry manufactures and recently apply to automotive industry. This study, FEM simulation applied bumper reinforcement using SHAPE-RF software and analyzed about total effective strain, longitudinal strain, thickness according to the roll-pass.

Key Words: Roll Forming Process (롤 포밍 공정), High Tension Steel (고장력강), Computer Simulation (컴퓨터 시뮬레이션), Finite Element Method (유한 요소법), Sheet Metal Forming (박판성형)

1. 서론

최근 전 세계적으로 환경적인 제약이 강화되면서 자동차 업계에서는 유해가스 배출량을 저감하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 유해가스를 저감하는 많은 방법 중 하나가 차량의 경량화이며, 또한 경량화는 자동차 연비의 개선에 큰 역할을 한다.¹

자동차의 경량화를 위해 국내외적으로 차체의 재질을 고장력강으로 대체하는 추세이며, 이 재료를 사용하여 롤 성형 공정으로 강도가 높은 차체 부품을 채용하는 자동차 회사가 늘고 있다. 하지만 고장력강은 낮은 연신율과 높은 항복강도를 가지고 있어 기존의 프레스 가공법(Press Forming)으

로는 성형이 어려움이 많으며, 이를 대체할 성형 방법으로는 롤 포밍(Roll Forming) 공법이 고려되고 있다.

롤 포밍 공법이란 연속적으로 박판소재를 점진적인 소성 변형하여 균일한 일정 단면의 형상으로 성형하는 공정을 말한다. 연속적인 공정으로 대량 생산을 하며, 금형 교체 시간 및 공정 셋업 시간이 적게 소요된다. 또한 점진적인 소성변형으로 가공하기 때문에 고장력강의 성형으로 인한 금형의 마모 저항력과 제품의 정밀도가 높다. 또한, 롤 포밍 공법은 일체화 부품의 제조가 가능하여 차체 부품에 적용이 가능하며, 높은 재료 회수율로 인하여 재료비 절감의 효과를 얻을 수 있다. 이러한 여러 가지의 긍정적인 효과로 인하여 건축, 선박, 항

공, 자동차 등에 여러 분야에 적용이 되고 있다.

롤 포밍 공법이 계속 발전을 거듭되면서 최근에는 롤 포밍 공정은 짧은 시간에 경제성을 고려하여 플라워 패턴 설계에 관한 연구와 고강도강 소재를 이용하여 자동차 부품의 롤 성형에 관한 연구가 수행되고 있다.^{2,3}

그러나 현장에서는 경험적으로 시행착오 단계에서 수정하는 경우가 많으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서 롤 성형 공정의 유한요소 해석(Finite Element Method) 방법 연구가 필요하다.^{4,6}

본 연구에서는 롤 포밍 전용 해석 프로그램 SHAPE-RF 를 이용하여 롤 포밍 전체 공정에 대해 유한요소 해석으로 분석하였다.

2. 연구 내용 및 방법

2.1 해석 모델

롤 포밍 해석 프로그램에 적용한 유한요소 해석은 정상상태 해석을 하여 초기 단면과 최종 단면을 정의하였다. 그리고 최종 단면의 예측이 어려우므로 경계조건, 공정조건 등을 보정하였다.

유한요소 해석 방법 중 소재를 강소성(Rigid-Plastic) 해석을 하였으며, 제품의 형상이 대칭(Symmetry)이므로 프로그램에서 초기 형상 입력시 YZ-plane symmetric 값을 주어 빠른 해석을 할 수 있었다. 변형 해석은 선 접촉으로 하여 Fig. 1 과 같이 제품의 길이 방향의 곡률부와 상하 롤이 만나 단면인 접촉부에 메쉬(Mesh)를 집중적으로 해석하였다.

소재의 물성값은 실제 소재의 물성값의 표를 참고하여 Table 1 과 같으며 두께는 1.2 mm, 인장강도는 1237 MPa 의 고장력강을 사용하였다.

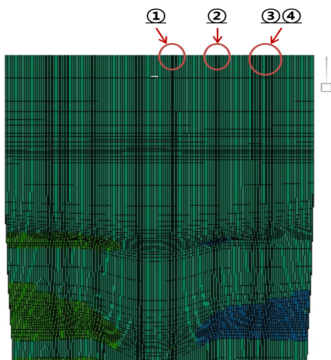


Fig. 1 Schematic diagram of initial cross section

Table 1 Mechanical property of materials

Material	
Young's modulus	206000 MPa
Tensile strength	824 MPa
Yield stress	412 MPa
Thickness	1.2 mm
Ultimate tensile strength	1237 MPa
Width	197 mm

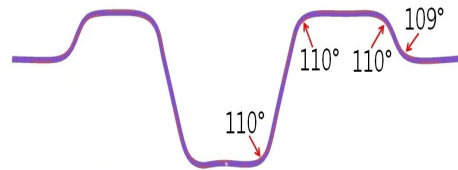


Fig. 2 Schematic diagram of final cross section

Fig. 2 는 롤 포밍 최종 패스인 20-pass 의 최종 단면과 굽힘부의 각도(Bend Radius)를 나타내며 20 개의 패스에 각각 적절한 굽힘 각도를 분배하여 제품의 안정성과 경제성을 고려하여 범퍼 보강재(Bumper Reinforcement)를 플라워를 설계를 하였다.

2.2 유한요소 해석의 입력조건

플라워 패턴은 설계 프로그램인 오토 캐드(Auto Cad)를 사용하였으며, Fig. 3 은 플라워 패턴의 형상을 보여준다. 처음부터 일정한 굽힘 각을 점진적인 소성 변형을 유도하였다.

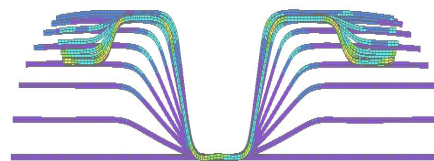


Fig. 3 Successive flower pattern to roll forming process

Fig. 4 는 공정의 전체적인 모습을 보여주며, 전체의 패스 수는 급격한 변형이 없이 점진적으로 성형이 진행된다. 최소의 단 수를 고려하여 20 개의

패스로 설계가 되었고 0° ~ 110° 까지 일정하게 굽힘각을 나누었다.

제품 형상에 Table 2 의 해석조건으로 설정하여 입력하였으며 소재가 롤을 침투하는 현상을 줄이기 위한 조건인 자가접촉 벌칙상수(Self-Contact Penalty Constant)는 소프트웨어의 최대값인 10⁴ 을 주었다. 또 하나의 중요 변수 중 하나인 롤 간의 거리(Horizontal Distance to the Previous Roll Stand)는 동일한 조건에서 롤 간 거리만 조절하여 실험을 진행해보았으며, 450 mm 일 때 최적의 결과가 나왔다.

롤 회전 속도는 정확한 해석과 회전속도 차이로 인한 내부응력을 줄이기 위해 상위 롤과 하위 롤 회전속도 비율을 1:1 로 하였고, 속도는 에러와 실제 공정 속도를 고려하여 0.5 m/min 으로 설정을 하여 변형 구배에 대한 영향을 최소화하였다. 해석 수행 시 한 공정씩 해석하지 않고 소재가 하나의 공정을 통과할 때 다음 공정에서 임의로 소재를 잡아 당겨 정확한 해석을 할 수 있도록 멀티패스 해석을 수행하였다. 그리고 안정적이면서 해석 시간이 빠른 스파스 매트릭스 솔버(Sparse Matrix Solver)를 사용하였다.

Table 2 Conditions of analysis

FEM program	
Initial Strip Thickness	1.2 mm
Horizontal Distance to the Previous Roll Stand	450 mm
Number of Elements in Rolling Direction	10
Number of Elements in Thickness Direction	3
Specify Self-Contact Penalty Constant	10 ⁴

3. 성형 해석 결과

굽힘부의 측정위치로는 Fig. 6 과 같이 변형이 큰 4 개의 지점을 선택하여 분석 하였다. 롤 플라이 설계 후 Fig. 5 와 같은 최종형상이 나왔으며, 이에 대한 해석으로 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 의 그래프를 도출하게 되었다. 각각 총유효변형률(Total Effective Strain), 세로변형률(Longitudinal Strain), 두께(Thickness)의 3 가지의 영향에 대한 패스별 변형 추이를 분석하였다.



Fig. 4 Schematic of roll forming process

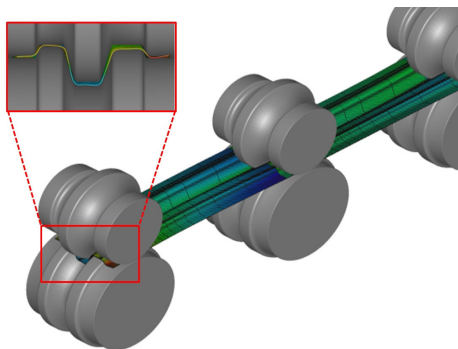


Fig. 5 Schematic of roll forming process

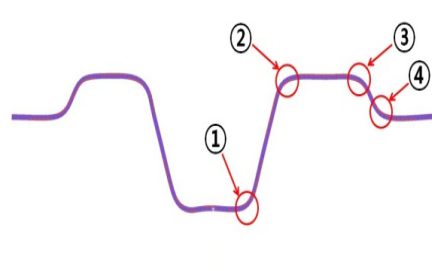


Fig. 6 Schematic diagram of measure points

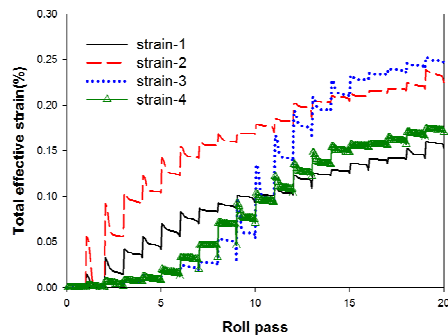


Fig. 7 Effect of roll on total effective strain

Fig. 7 은 총 유효 변형률에 관한 분석으로 4 개의 측정지점이 변형이 점차 누적되면서 모두 증가하는 추세를 나타내고 있다. Fig. 7 의 각 측정지점

의 그래프 선을 보면 변형률이 급격하게 증가한 후 다시 점차적으로 감소하는 패턴을 보이고 있는데, 굽힘 부에서 처음에는 인장되지만, 롤 출구 부분에서는 압축되기 때문이다. 소재의 중심부인 부분을 웹(Web)이라 하며, 웹과 끝 단에서 측정이 된 strain-1 과 strain-4 에 비해 그 사이에서 측정된 strain-2 와 strain-3 유효 변형률이 더 크게 나타났다. 이는 Fig. 9 를 참고하면 웹과 양 끝 단으로 이동하였다는 것을 알 수가 있다. 전체적으로 가공되면서 변형률이 점차 누적되면서 롤 포밍 공정이 진행될수록 변형률이 계속 증가하는 추세를 보였으며 strain-2 의 경우는 19-pass 에서 최고 0.25 %의 변형을 보였다.

Fig. 8 의 그래프는 각각의 롤 패스에 대한 길이 방향 변형률을 나타낸 그래프이다. 길이 방향 변형률은 제품의 결함을 예측할 수 있는 항목 중 하나이며, 인장강도를 초과함으로 발생이 된다. 이 변형률에 따라 결함의 방향과 크기가 결정이 되며, 단면의 양 끝에 길이 방향으로 물결 현상이 일어나므로 최소화할 필요성이 있다. 전체적으로 롤 패스 3 부터 감소하는 추세를 보이면서 롤 패스 10 부터 회복하는 경향을 보였다. 측정지점 1, 2 에서 길이 방향 변형률이 크게 나타났다.

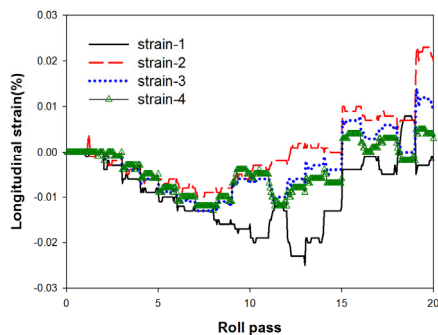


Fig. 8 Effect of roll on longitudinal strain

Fig. 9 의 그래프는 각각의 롤 패스에 대한 두께 변화를 나타낸다. 굽힘 측정 지점 1 을 나타내는 thickness-1 의 두께 변화가 가장 컸으며 최종 단면에서의 값은 1.442 이며 초기 단면보다 약 20 %가 증가하였다. 측정지점 4 에서는 4.3 %의 두께 증가율을 보여 양호하였고, 나머지 측정 지점인 2, 3 에서는 각각 9.3 %, 5.6 %의 두께 감소율을 보였다. 위의 그래프와 같이 롤 패스 통과 전후로 두께의

변화가 심하였고, 소재의 유동이 측정지점 1 방향으로 이동하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상으로 측정지점 2, 3 부분이 두께가 감소하였으나 두께 감소율 최대값의 20 % 보다 낮은 두께 감소율을 보이기 때문에 성형에서 문제점이 없을 것이라 판단이 된다.

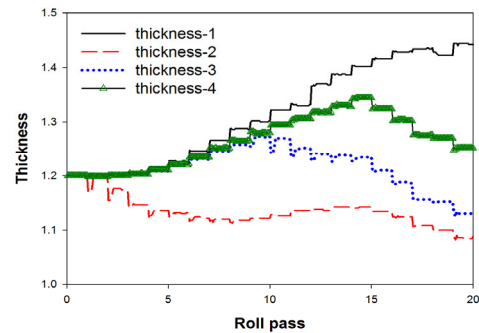


Fig. 9 Effect of roll on thickness

4. 결론

롤 포밍 공정 변수를 사용하여 유한요소해석을 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 총유효변형률, 세로변형률, 두께의 3 가지 인자의 영향에 대한 패스별 변형 추이를 분석하였다.
- (2) 롤 포밍 성형해석결과 실제 발생 할 수 있는 문제점을 파악함으로써 안정성과 경제적인 롤 포밍 공정을 설계 할 수 있다.
- (3) 고장력강을 롤 포밍 공정에 적용함으로써 고강도, 경량화 차체 부품 제작에 대한 가능성을 검토하였다.

본 연구의 방법으로 문제점을 사전에 수정함으로써 신제품의 개발 기간과 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

참고문헌

1. Kim, K. J., "Present Status and Properties of Light Weight Materials in Automobile," The Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 10, No. 4, pp. 29-38, 1988.
2. Kim, K. H. and Sim, S. B., "Development of Roll Forming Process for an Automotive Part of High Strength Steel," J. of KSMPE, Vol. 4, No. 3, pp. 45-

- 50, 2005.
3. Kim, K. H., "Design of Forming Rolls using Finite Element Analysis," *J. of Ocean Eng. Tech.*, Vol. 13, No. 4, pp. 75-81, 1999.
 4. Kim, K. H., "Elastic-Plastic Finite Element Analysis of the Roll Forming Process for an Automotive Part of High Strength Steel," *Proc. of KSPE Autumn Conference*, pp. 480-483, 2005.
 5. Kim, K. H. and Jung, D. W., "Computer-aided Flower Design of Roll Forming Process," *Proc. of the KSPSE Fall Conference*, pp. 167-171, 1997.
 6. Yoon, H. J., Yoon, Y. S., Han, B. S., and Ryu, Y. M., "A Study on the Roller Hemming Process using ANSYS," *Proc. of the KSAE Spring Conference*, pp. 2045-2050, 2006.