

롤 성형 해석을 통한 하이드로포밍 전용 강관 개발

이봉열* · 조종래** · 문영훈*** · 송병호**** · 박중호*****

Development on Steel Pipe for Hydroforming by Roll Forming Analysis

B. Y. Lee, J. R. Cho, Y. H. Moon, B. H. Song and J. H. Park

Abstract

In the roll forming process, a sheet or strip of metal is continuously and progressively formed into a desired cross-sectional profile by feeding it through a series of forming roll. Accordingly, it is important to maintain the material properties of the initial sheet and deform uniformly during the roll forming. The roll forming process was estimated in consideration of some factors such as material properties, strip thickness, roll diameter, roll velocity, and the deformation of the material that influence the forming length. The hydroforming technology has been recognized as a new technique in manufacturing industry, especially in automotive industry. The formed pipe in used in hydroforming process is manufactured by the roll forming. The formability during hydroforming is very sensitive to the state of pipes which are made by roll forming. Particularly the amount of hardening during roll forming affects the formability. Therefore, it is necessary to design the optimum roll flower to reduce the local hardening. In this paper, optimum roll flower which has uniform strain distribution through sheet width was obtained by comparing strain distribution in various roll flower. Finite element analysis(FEA) is performed to estimate the strain distribution related to hardening by roll forming. A numerical analysis is carried out by SHAPE-RF.

Key Words : Roll Forming(롤 포밍), Hydroforming(하이드로포밍), Steel Pipe(강관), Finite Element Analysis (유한요소해석), Strain Hardening(가공경화)

1. 서론

하이드로포밍 공정 설계기술이 진보함에 따라, 생산공정수의 감소, 비용의 절감은 물론, 가볍지만 오히려 안전성 면에서는 우수한 자동차를 만들 수 있게 되어 자동차 산업 전반의 경쟁력이 향상되고 경량화

된 자동차를 생산할 수 있게 된다. 이로 인해서 연비감소, 환경차원에서 부수적인 이익을 가져올 수 있다. 이러한 신수요 충족을 위한, 자동차 부품에 적합한 하이드로포밍용 강관의 개발 필요성이 절실하다[1,2].

강관 하이드로포밍 공정은 이미 한번의 가공 공정을 거친 강관을 다시 유체를 매개체로 하여

* 한국해양대학교 대학원 기계공학과
** 한국해양대학교 기계정보공학부
*** 부산대학교 기계공학부
**** 현대 하이스코
***** 기연정공

부품으로 성형하는 것이다. 그러므로 하이드로포밍에 사용하는 소재인 강관은 롤 포밍 공정 중에 재료는 원주방향과 길이방향으로 연신되어 가공경화 된다. 변형률 편차는 강관에 잔류응력으로 남게되고 이는 소재의 성형성을 떨어뜨리는 요인이 된다. 따라서 충분한 성형성을 보장하기 위해서는 강관의 성형과정에서 변형률을 최소화 시켜야 한다. 특히 롤 포밍 공정 중에 갖는 연신율과 가공경화량에 따라서 롤 포밍 후의 특성이 달라져서 초기의 강관과 롤 포밍후의 강관의 기계적인 성질은 차이가 나게 되므로, 성형시 고려하여야 할 사항들이 기존의 판재성형 방법과는 많이 다르다. 이들 연신율과 가공경화량은 롤 포밍 공정에서 롤의 배치, 형상 등의 공정변수와 재질 직경과 두께에 따라서 달라지므로 롤 포밍 설계에서부터 충분히 고려하여야 한다[3]. 따라서 가공경화가 적게 생기면서 최종적인 강관이 초기의 판재의 물성을 최대한 유지시키기 위한 롤 플라워 설계가 필요하다[4,5].

본 연구에서는 롤 성형 전문해석 프로그램인 SHAPE-RF 를 이용하여 기존의 롤 플라워와 새롭게 설계된 롤 플라워에 대한 변형률의 변화양상을 분석하여 하이드로포밍 전용으로 적합한 강관 제작을 위한 최적의 롤 플라워를 개발하는 데 있다[6,7].

2. 롤 성형 해석

2.1 해석모델링

롤 포밍 공정 중 발생하는 대부분의 가공경화는 밴딩 공정에서 일어나므로, 롤 포밍 공정에 대한 해석은 용접전 공정인 밴딩 공정까지만 해석을 수행하였다.

전반적인 롤 플라워의 설계는 롤 제작 전문업체인 기연정공에서 설계를 하였고, 기존에 있는 롤 플라워와 새롭게 설계된 롤 플라워에 대해서 롤 포밍 해석 전용 프로그램인 SHAPE-RF 를 사용하여 롤 포밍 공정 중의 변형률 변화를 관찰하였다.

먼저 해석을 실시하기 위해 실제 강관의 롤 포밍 공정과 같이 밴딩 공정 모델링을 실시한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 블랙다운 롤(break down roll) 1번을 패스 1번으로 하여 스퀴즈 롤(squeeze roll)을 패스 16번으로 하는 롤 포밍 공정의 롤 배치 순서와 롤 사이의 간격을 나타내며, 재료의 기계적 성질과 롤 포밍 공정의 운전조건은 Table 1에 나타내었다.

또한 해석에 사용된 요소(element)는 4 절점 요소로 두께 방향으로 3 개, 길이방향으로 20 개로 나누었고, 절점은 두께 방향으로 4 개, 길이방향으로 21 개

로 나누었다. 롤 포밍 공정 중 연속적으로 일어나는 변형률의 변화특징을 알아보기 위해서 관의 안쪽을 Inside, 바깥쪽을 Outside 라 하였고, 바텀부분을 절점 1, 에지 부분을 절점 21 이라 정의하였고, 해석은 대칭조건으로 절반만을 해석하였으며 이것은 Fig. 2에서 자세히 나타내었다.

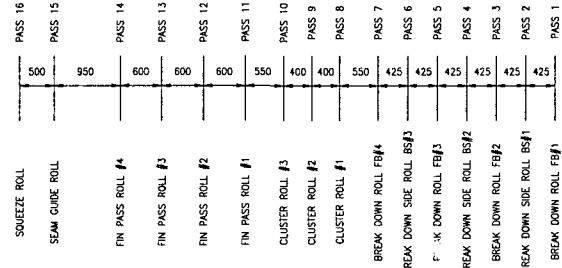


Fig. 1(a) Location of stands from pass 1 to pass 16

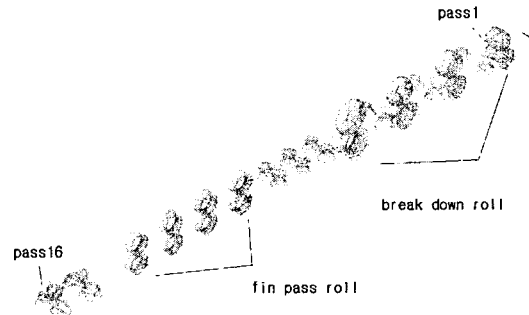


Fig. 1(b) Modelling of the roll forming process

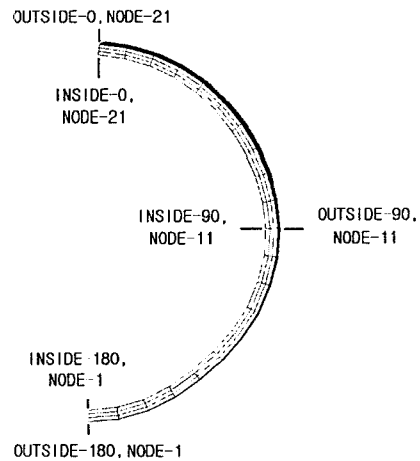


Fig. 2 Mesh and check point

Table 1 Mechanical properties and running condition

Material	POS HF370
E(MPa)	203395
TS(MPa)	370.20
YS(MPa)	288.51
Poisson's ratio	0.3
K(cal/cm s °C)	0.142
Friction factor	0.15
Initial angular velocity(MPM)	50

2.2 $\phi 73.0-t2.6$ 강관의 롤 포밍 해석결과 비교
 다음은 스펀 폭 227mm, 두께 2.6mm 인 소재 (POSHF370)를 사용하여 강관 $\phi 73.0$ (외경)-t2.6(두께)를 제작하는 기존의 롤 플라워에 대한 롤 포밍 공정과 스펀 폭 223.5mm, 두께 2.6mm 인 소재를 사용하여 강관 $\phi 73.0-t2.6$ 를 제작하는 새로운 롤 플라워에 대한 롤 포밍 공정에 대한 해석을 수행한 결과이다.

Fig. 3 은 기존의 롤 플라워에 대한 두께의 변화를 나타내는 것으로 전체적으로 고르게 증가한다. 이는 서클라 밴딩의 특징을 나타내고 있다. Fig 4는 새로운 롤 플라워에 대한 두께의 변화를 나타내는 것으로 블랙다운 롤에서 에지부분을 크게 밴딩시키기 때문에 에지부에서의 두께 변화가 크게 생기며 핀 패스 롤에서 바텀부분을 밴딩을 시켜 바텀부분의 두께변화가 크게 생겼으며, 이는 에지 밴딩에 서클라 밴딩을 합친 방법이다[8].

Fig. 5에서는 기존의 롤 플라워로 해석한 결과의 절점에 따른 패스별 변형률의 분포로 각 패스를 지남에 따라 바텀 부분(node 1)에서 중간 부분(node 17)은 거의 변화가 없고 에지 부분(node 21)에서 변형률의 변화량이 급격히 증가하며 집중 되는 것을 알 수 있다. Fig. 6 은 새로 설계한 롤 플라워로 해석한 결과를 나타내는 것으로 기존의 롤 플라워에서는 변형률이 에지 부분(node 21)에서만 급격히 증가하는 것과는 달리 중앙(node 10)에서 에지 부분(node 21)의 변형률이 전체적으로 같이 증가하여 고르게 분포함을 알 수 있다.

3. 강관의 물성치 시험

Fig. 7 과 Fig. 8 은 $\phi 73.0-t2.6$ 강관에 대해 기존의 롤 플라워와 새로운 롤 플라워로 제작된 강관의 물성치를 비교해보기 인장실험을 실시하여 구한 강관의 인장강도와 연신율 값을 비교한 그림이다. 기존의 롤 플라워로 제작된 강관은 에지부에 가공경화가 집중되.

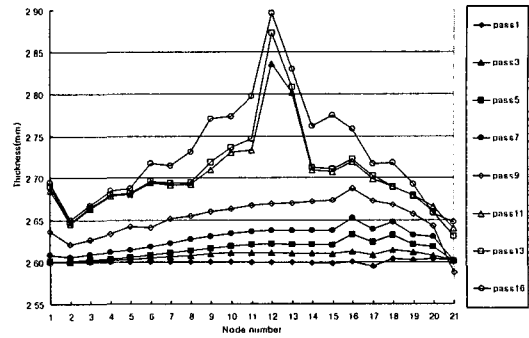


Fig. 3 Thickness distribution with pass (Conventional roll flower)

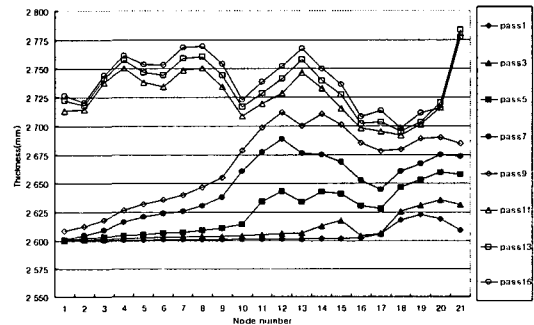


Fig. 4 Thickness distribution with pass (New roll flower)

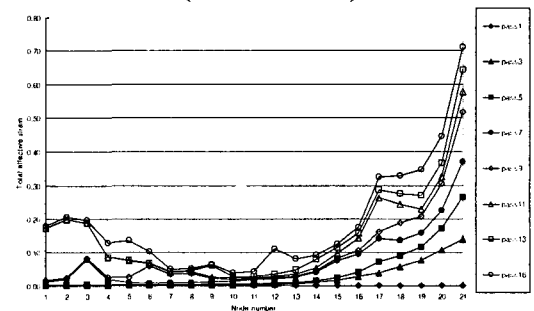


Fig. 5 Total effective strain distribution with node (Conventional roll flower)

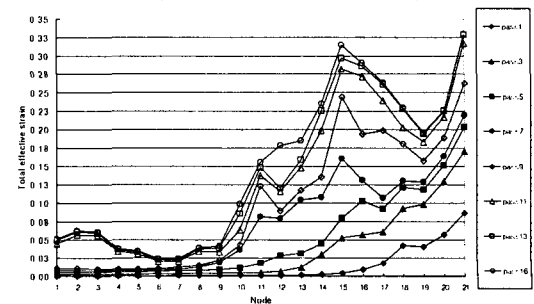


Fig. 6 Total effective strain distribution with node (New roll flower)

기 때문에 새로운 롤 플라워로 제작된 강관에 비해 인장강도는 높게 나타나고 연신율은 낮게 나타난다. 이는 기존의 롤 플라워에서는 변형률이 에지부에 집중되는데 비해 새로운 롤 플라워에서는 변형률을 고르게 분포하게 만들어 에지부의 가공경화가 적게 생기게 되어 나타난 현상으로 해석결과와 실험결과가 잘 일치하였다

Fig. 9 는 새로운 롤 플라워로 제작된 강관을 용접 부에서 바텀부까지 마이크로 비커스 경도값을 측정 한 것으로 가공경화되는 현상이 해석결과와 잘 일치하였다.

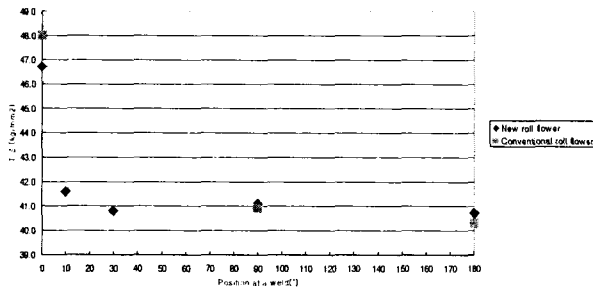


Fig. 7 Comparison of tensile strength between conventional roll flower and new roll flower

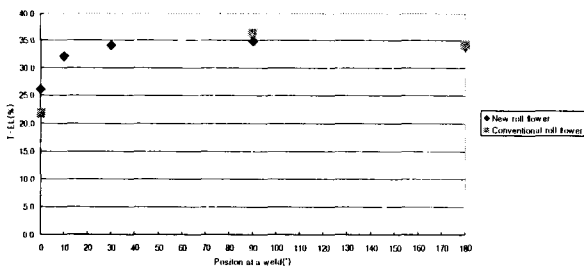


Fig. 8 Comparison of elongation between conventional roll flower and new roll flower

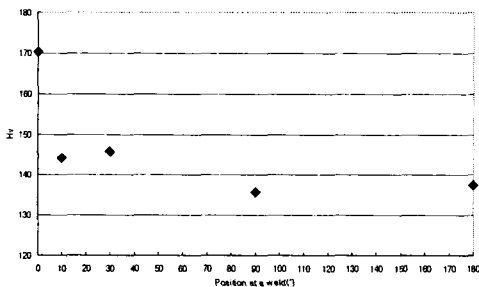


Fig. 9 Experimental result of Hardness (New roll flower)

4. 결론

강관의 롤 성형에 대한 해석 결과 기존의 롤 플라워는 에지 부분에 변형률이 집중되나, 새로운 롤 플라워에서는 변형률이 전체적으로 고르게 분포되었다. 이는 실험결과와도 잘 일치하였다.

따라서 기존의 롤 플라워에서 나타난 에지부분 한곳에 집중된 변형률을 롤 플라워의 개선을 통하여 변형률을 고르게 분포하게 함으로써 하이드로포밍 공정의 소재로 사용될 강관의 물성을 좋게 하여 하이드로포밍 공정에서 성형성을 좋게 할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 논문은 2002년도 산업자원부 부품/소재 개발사업에 의해 지원되었습니다.

참고 문헌

- (1) 김영석, 조홍수, 박춘달, 김영삼, 조완제, 2000, "Tube Hydroforming 공정의 성형성 평가", 한국소성가공학회지, 제 9 권 제 6 호, pp.604-614.
- (2) 김봉준, 김정운, 문영훈, 2002, "하이드로포밍 성형성에 미치는 공정인자 영향도 해석", 한국소성가공학회지, 제 11 권 제 1 호, pp.54-60.
- (3) Nakata MFG Co., Ltd, 2001, "Forming Analysis of ERW Tube by FEM Simulation".
- (4) 서정현, 1999, "박관 강대의 롤성형 및 부하 분석", 한국소성가공학회지 제 8 권 제 6 호, pp 554-562.
- (5) G. Nefussi, L. Proslie, P. Gilormini, 1999 "Simulation of the cold-roll forming of circular tubes", Journal of Materials Processing Technology, No.95, pp 216-221.
- (6) 이봉열, 조종래, 문영훈, 송병호, 2002, "하이드로포밍 전용강관의 롤 성형에 관한 연구", 한국소성가공학회추계학술대회 논문집, pp.62-67.
- (7) SHAPE Co., Ltd., 2002, SHAPE-RF User's Manual.
- (8) 이봉열, 2003, "하이드로포밍 전용강관의 롤 성형에 관한 연구", 한국해양대학교 석사학위논문.