

롤 포밍용 차체 부품 공정 변수 영향도 해석

김동규¹·손성만²·이규현²·이문용[#]

Analysis of effects of the roll forming process parameters of side sill

D. K. Kim, S. M. Sohn, K. H. Lee, M. Y. Lee

Abstract

In roll forming process, a sheet metal is continuously progressively formed into a product with required cross-section and longitudinal shape, such as a circular tube with required diameter, wall-thickness and straightness, by passing through a series of forming rolls in arranged in tandem. In this process, each pair of forming rolls installed in a forming machine play a particular role in making up the required cross-section and longitudinal shape of the product. In recent years, that process is often applied to the bumper rail in the automotive industries. In this study, a optimal roll flower model and proper roll-pass sequence can be suggested by analyzing courcenter strain and longitudinal strain according to the roll-pass with FEM simulation. And also effects of the process parameters on the final shape formed by roll forming defects a evaluated.

Key Words : Roll forming (롤 성형), Roll pass(롤 공정), Roll flower(롤 플라워), Longitudinal strain(길이방향 변형률), Side sill(사이드 실), Spring back(탄성 회복), Over bending(오버 벤딩)

1. 서론

자동차 업계에서는 연비 개선 및 안전성 강화의 목적으로 차체(body) 부품에 고강도 강판을 이용한 부품 개발 및 적용에 박차를 가하고 있다.

고강도 강판의 적용은 승객의 안전성 증대, 두께 축소 및 보강재 삭제를 통한 중량 감소를 도모할 수 있는 이점이 있다. 그러나 일반 강판에 비해 연신율이 상대적으로 낮고, 높은 성형 하중과 항복강도에 따른 금형 마모, 제품 정밀도 저하, 탄성 회복(spring back)의 증가 등의 문제점으로 기존의 성형방식인 프레스 스탬핑(stamping)법은 성형에 한계가 있어 대체 성형법으로 롤 성형(Roll forming)공법이 검토되고 있는 추세에 있다.

롤 성형 기술은 차체를 성형하는 스탬핑 공법과는 다른 개념으로 한 쌍 이상의 롤 금형(roller)을 적용하여 점진적인 소성변형을 이용한 성형법

으로 고강도 강판을 이용한 차체 부품 제작에 이점이 있는 기술이며, 기존의 스탬핑 공법의 문제점인 금형 마모 및 제품 정밀도 저하를 해결하고, 단면 형상이 일정한 제품을 경제적으로 생산할 수 있는 이점으로 최근 건축용 루프 레일과 자동차 범퍼 빔(bumper beam)과 같은 부품 제조 공정에 확대 적용이 되고 있는 추세이다.

따라서, 본 연구에서는 롤 성형 전용 해석 프로그램을 이용하여 자동차 사이드 실(side sill)개발에 적용함으로써 롤 금형의 형상을 결정하는 롤 플라워(roll flower)설계에서부터 해석까지 롤 성형 전체 공정에 대하여 유한요소 해석법으로 롤 성형 과정을 분석하였다. 아울러 공정 변수인 길이방향 변형률(longitudinal strain), 축방향 압입력, 모터 용량을 예측하여 제품에 대한 신뢰성과 안정성을 대폭 개선시켜 제품의 품질 향상의 목적으로 연구를 수행하였다.

1. ㈜성우하이텍 기술연구소

2. ㈜성우하이텍 기술연구소

교신저자: ㈜성우하이텍 기술연구소,

E-mail: kusakik@hotmail.com

Table 1 Mechanical property of materials

Material	M1(780MPa급)
Young's modulus	2*10MPa
Tensile strength	780MPa
Thickness	1.2mm

Table 2 Process conditions of FE analysis

Roll stand	450mm
Thickness	1.2mm
Initial strain	0.0045
Number of roll pass	8, 9, 10, 11
Strain constant	1.62
Hardening rules	$\sigma = 1275(0.0045 + 1.62 \times \epsilon)^{0.15}$
Roll velocity	1m/min

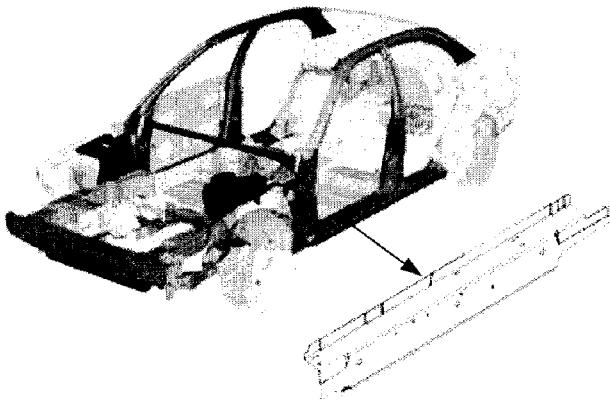


Fig. 1 Schematic diagram of side sill

2. 본 론

2.1 롤 성형 해석 방법

롤 성형 해석 프로그램에 적용한 유한요소 해석법은 성형 시 발생하는 길이방향 변형률을 기초로 각각의 공정(pass)을 통합하여 하나의 검사체적으로 해석하는 방식을 사용하였다.

해석 방법은 크게 정상 상태와 비정상 상태로 분류를 하는데, 정상상태 해석은 형상을 예측하기 어렵기에 판재의 단면을 미리 가정한 후 경계조건 및 소재 표면에 지속적인 속도 장을 보정하여 최종 형상을 결정하는 방식으로 성형해석에 소요되는 시간이 짧은 것이 장점이다.

비정상 상태의 해석 과정은 하나의 검사체적이 아닌 다 체적 해석방법으로 소재 표면의 변화를 바로 예측할 수 있다는 장점을 가지고 있으나,

성형해석에 소요되는 시간이 길기 때문에 롤 성형 해석에는 적합하지 않다. 따라서 이번 롤 성형 해석에서는 정상상태 해석방법을 사용하였다.

해석기법은 소성(plastic)과 탄소성(elasto plastic)의 두 가지 방식에서 원활한 해석을 위해 탄소성 방식을 적용하였으며, 변형 해석은 접촉부의 면 접촉이 아닌 선 접촉으로 제품의 곡률부와 롤 금형의 접촉 부에 메쉬(mesh)를 집중하여 스텝(step)과 시간 간격을 변화하는 방식을 적용하였다.

2.2 해석 모델

본 연구에서는 소재의 두께 1.2mm, 인장강도 780MPa 의 Table.1 과 같은 소재로 구조 해석에 의해 설계된 Fig.1 의 사이드 실(side sill)형상을 롤 플라워 설계에서부터 해석까지 롤 성형 전체 공정에 대해 안정성과 경제성을 감안한 최적의 공정 설계를 진행하였다.

2.3 롤 플라워 설계

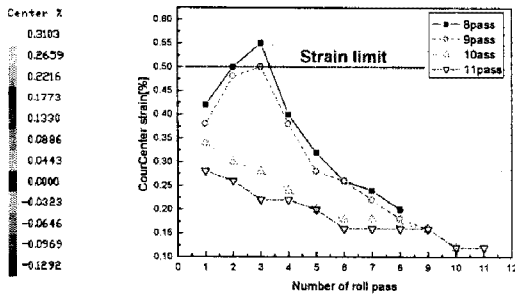
롤 성형 전용 해석 프로그램인 Tool#1 을 사용하여 Fig.1 의 사이드 실 형상에 Table.2 의 해석 조건을 부여하였다. 롤 공정(roll pass)은 8~11pass 의 4 가지로 진행하였고, 각 성형 공정 별 해석으로 굽힘 성형부의 각도를 미리 설정하고, 각도를 적절히 분배하여 안전율과 경제성을 감안한 최적 롤 플라워를 설계하였다.

2.4 롤 금형 형상 설계 및 공정 해석

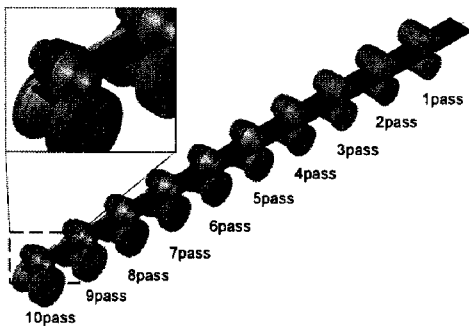
Tool #1 을 이용하여 설계된 롤 플라워를 기준으로 롤 금형의 형상을 설계하였고, 롤 형상에 따른 최종 제품에 대한 형상 예측의 목적으로 공정 해석 프로그램인 Tool#2 를 Table2 의 조건을 부여하여 공정 해석을 진행하였다.

제품의 단면 형상이 좌우 비대칭이고 고강도강의 특성인 낮은 연신율과 높은 탄성회복으로 비대칭 변형 및 하중 분포에 따른 트위스트 현상의 우려가 높게 나타났다. 따라서 이를 최소화하기 위해 제품 단면의 양끝을 연결하는 선이 수평축과 일치하도록 시계방향으로 11° 회전을 시켜 비대칭 제품에 대해 보정을 하였다.

메쉬는 곡률 부위를 중심으로 횡 방향 60EA, 종 방향 20EA 를 적용하였고, 해석에 대한 신뢰성 개선의 목적으로 실제 롤 성형 공정과 동일한



(a) Effect of roll pass on MAX line strain



(b) Schematic of roll forming process

Fig. 2 Results of the roll forming simulation

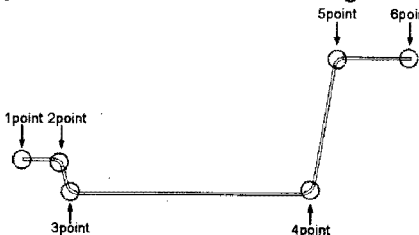


Fig. 3 Schematic diagram of measure point

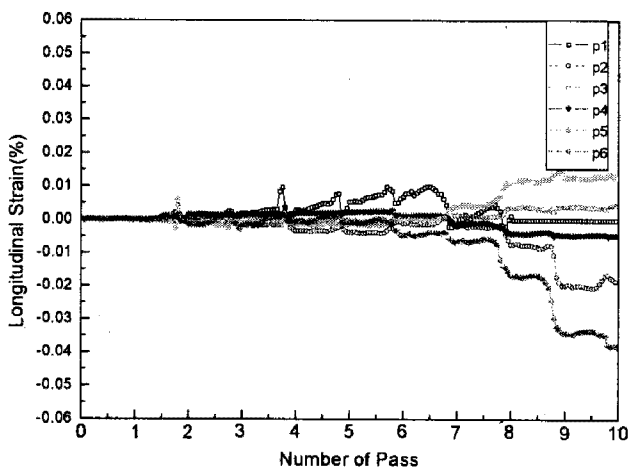


Fig. 4 Effect of roll pass on longitudinal strain

조건을 부여하였다. 해석에 소요된 시간은 각 공정 별 약 3 시간 가량 소요가 되었고 세부적인 변형 결과를 예측을 위해 리 메쉬(remeshing)작업을 해석 공정에 추가하여 실제 소요된 해석시간은 각 공정당 약 4 시간씩 총 48 시간이 소요되었다.

3. 롤 성형 공정 해석 결과

3.1 롤 플라워 해석 결과

롤 플라워 해석 결과 Fig.1의 (a)와 같은 결과가 나타났다. 총 8pass의 2~3공정에서 변형률이 약 0.5%~0.55%의 피크(pick)치가 나타나면서 한계 변형률(strain limit)을 초과하였다. 이는 각 공정 별 각도 분배가 총 롤 공정(total roll pass) 수에 의해 제한이 되었기 때문이다. 성형 공정이 진행됨에 따라 발생하는 변형률은 각 공정 별로 누적되어 최종 결과에 영향을 주기 때문에 특정 구간에서 변형률이 급상승이 되면 문제가 되는 구간에 공정을 추가하여 변형률을 적절히 분배하여 저감을 시켜야 한다.

총 10pass의 경우 초기 1~2공정에서 약 0.35%로 가장 높게 나타났다. 하지만 전체 평균 0.25%로 안정적인 경향을 나타내고 있으며, 총 11pass의 경우에는 총 10pass 보다 더 안정적인 0.2%를 나타내지만, 경제적 차원을 고려한다면 총 10pass의 롤 플라워 적용이 경제성을 감안한 최적의 롤 플라워 설계라 판단되며, 총 10pass의 롤 플라워를 공정해석에 적용하였다.

3.2 롤 포밍 공정 해석

롤 플라워 설계 결과에 대한 신뢰성을 구축하기 위해 해석 결과를 토대로 롤 금형 형상을 설계하여 Table 2의 공정 조건을 적용하여 공정해석을 진행한 결과 Fig.2 (b)의 최종 형상이 나왔다.

공정 해석을 토대로 Fig.3의 주요 성형 부위 6 지점(point)을 선정하여 Fig.4의 길이방향 변형률(longitudinal strain), 롤 샤프트 용량(roll shaft capacity), 모터 용량(motor capacity)등의 영향도를 분석하였다.

분석 결과 5, 6번 부위에서 가장 높은 변형 분포가 나타났다. 이는 공정 진행 시 다른 지점에 비교하여 높은 성형 각도와 성형 위치에 따른 변형 누적의 원인으로 판단된다.

변형률 6번 부위의 마지막 공정에서 가장 높은

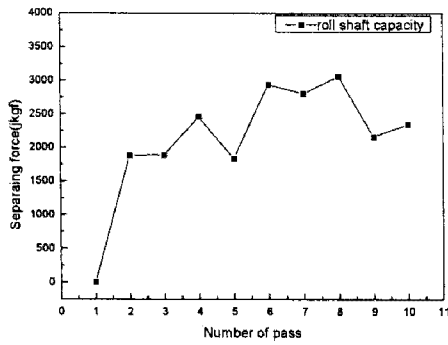


Fig. 5 Distribution of roll shaft capacity

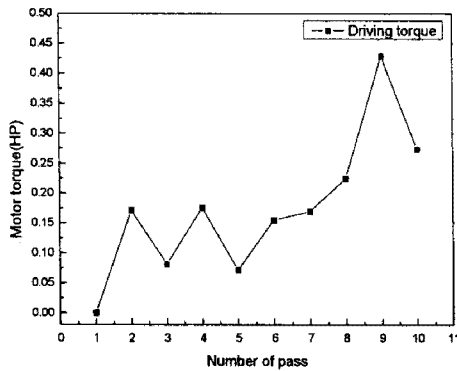


Fig. 6 Distribution of motor capacity

변형 분포가 나타났다. 하지만 전체 상승 폭이 공정별로 약 0.01%미만으로 낮은 추이를 보이며, 최종 누적 변형률 0.045%로 안정 상태이므로 높은 변형률에 의해 발생하는 에지 주름(edge wave), 탄성 좌굴 현상인 포켓 주름(pocket wave)등의 현상은 발생되지 않는 것으로 판단된다.

Fig.5 는 롤 성형 공정 시 롤 금형이 받는 하중이며, 이를 예측함으로써 롤 금형의 재질과 롤 샤프트를 설계할 수 있다. 샤프트에 발생하는 하중은 8번 공정에서 3톤(ton)의 하중이 걸리며 안전율 10%를 감안하여 최저 3.3톤(ton)을 견딜 수 있는 롤 샤프트를 설계하여 적용해야 한다.

Fig.6 은 롤 성형 공정 시 소요되는 구동 토크를 예측하여 모터 용량을 예측한 것으로 예측 결과 35마력(HP)이며 10% 감안하여 약 38마력(HP) 정도를 적용해야 될 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 유한요소 해석법을 이용하여 롤 성형 공정 시 소재의 물성 및 제품의 형상에 대

하여 롤 플라워 설계에서 해석까지 롤 성형 공정 해석에 대한 연구를 진행하였으며, 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 시제품을 제작하기 위한 롤 플라워 설계 및 해석을 통해 최적 플라워의 도출과 롤 금형 설계 기술을 확보하였다.

(2) 유한 요소해석을 통해 각 공정별 변수를 미리 예측하여 최적의 롤 플라워를 설계함으로써 안정성과 경제적인 롤 금형 설계 방식을 제시하였다

(3) 롤 성형 시 발생하는 길이 방향 변형률을 예측하여 롤 플라워 설계에서부터 공정해석까지 롤 성형 공정에 대한 신뢰성을 구축하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역중점기술개발사업 지원에 의해 수행 되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] A. Alsamhna., I. Pillinger., P. Hartely., 2004, "The development of real time re-meshing technique for simulating cold-roll-forming using FE methods," Journal of Materials Processing Technology, PP.1~9.
- [2] Tsutao K., Masahiro H., Masahiro S., Keizo N., Hidekazu T., 2004, "Effect of material internal pressure in curing process of SMC roll forming," Journal of Materials Processing Technology," pp.1577~1582.
- [3] 홍길동, 김길동, 1999, 탄소성 유한요소, 한국소성가공학회지, 제99권, 제99호, pp. 149~150.
- [4] 이승윤, 김낙수, 2002, 대한기계학회, 유한요소 해석을 이용한 후육관 롤포밍에서의 초기소재 에지 형상 예측과 설계, Vol.26,pp.644~652
- [5] 박기철, 전영우, 정기조, 1997, 한국소성가공학회, 박강관 제조공정에서의 소재 굽힘변형과 잔류잔곡 발생 해석, vol.6,pp.118~135
- [6] 김광희, 1999, 한국해양공학회, 유한요소해석을 이용한 성형 롤 설계, vol.13,pp.75~81
- [7] 최광규, 김낙수, 2001, 대한기계학회, 변형경로를 고려한 판재의 성형한계도 예측, vol.25,pp.1107~1118.