

# 고강도강 자동차 부품 생산을 위한 롤 성형 공정 개발

김광희<sup>#</sup>, 심성보<sup>\*</sup>

## Development of Roll Forming Process for an Automotive Part of High Strength Steel

Kwang-Heui Kim<sup>#</sup>, Sung-Bo Sim<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

A roll forming process for an automotive part of high strength steel is developed. The preliminary flower is generated semi-automatically by an AutoLISP program. The roll forming process is approximated as a multi-step bending process and the preliminary flower is analyzed by the plane strain finite element method. Then, the first flower is selected and modified through the finite element analysis. With the final flower, forming rolls are designed and constructed. Experiments are carried out on a prototype roll forming machine.

**Key Words** : Roll Forming(롤 성형), Automotive Part(자동차 부품), High Strength Steel(고강도강), Flower(플라워)

### 1. 서 론

최근 자동차 업계는 연비를 높이면서 안전성을 강화시켜야 하는 시급한 과제를 가지고 있다. 연비를 개선시키기 위해서는 차량의 경량화가 절대적이지만 충돌 안전성을 강화시키면 차량의 중량이 증가된다. 따라서 이를 경제적으로 해결하기 위한 한 가지 방법으로 보다 얇은 고강도강으로 제작된 자동차 부품을 개발하는 방법이 있다.

그러나 고강도강은 일반 강판에 비하여 연신율이 상대적으로 낮고 스프링백(springback)이 크며 높은

성형하중 및 경도로 인한 금형의 심한 마모 등의 문제를 발생시켜 기존의 프레스 가공 공정으로는 성형하기가 매우 어려운 문제가 있다.

롤 성형(roll forming) 공정은 초고강도강까지 성형이 가능하고 치수 정밀도가 높으며 스크랩이 거의 발생하지 않으면서 롤의 마모도 미미하고 고속 대량 생산이 가능한 매우 경제적인 공정으로 고강도강 자동차 부품을 생산하기에 적합한 공정이라 할 수 있다. 그러나 이 공정에 의한 제품 개발은 아직까지 많은 경험과 시행착오를 거쳐 이루어지므로 개발기간이 길어지고 개발비용이 증가될 수 있다.

본 연구에서는 고강도강 자동차 부품을 보다 효과적으로 개발하기 위한 성형 롤의 설계 방법을 제시하고 실제 롤 성형 실험을 통하여 고강도강 자동차 부품을 개발 하였다.

# 교신저자 : 부경대학교 기계공학부

E-mail : khk@pknu.ac.kr

\* 부경대학교 기계공학부

## 2. 성형 롤 설계

### 2.1 예비 플라워 생성

성형 롤을 설계하기 위해서는 먼저 플라워를 생성하여야 한다. 본 연구에서 개발할 고강도강 자동차 부품의 단면 모습은 Fig. 1과 같다.

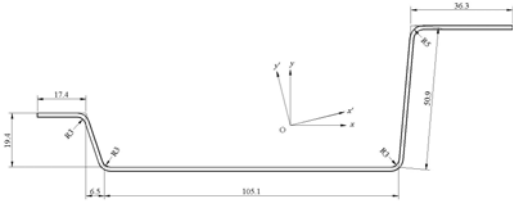


Fig. 1 Cross-section of the automotive part

이 제품의 소재로는 두께가 1.4mm이고 인장강도가 1000MPa 이상인 고강도 강판을 사용하였다. 롤 성형 공정에서는 제품에 결함이 발생하지 않는 한도 내에서 성형 단수를 최소화하는 것이 경제적으로 바람직하지만 현재까지는 설계자의 경험 및 시행착오에 의해 성형 단수가 결정되고 있다. 현재 제작하여 보유 중인 개발용 롤 성형기의 제원과 제품의 단면 형상 및 개발비용 등을 종합적으로 고려하여 단수를 우선 7단으로 결정하였고 해석 및 제작 실험에 의해 문제점이 발견되면 성형 롤을 추가하기로 하였다.

초기 소재로부터 7단의 성형을 거쳐 최종 단면 형상을 얻는 방법은 무수히 많고 이 역시 설계자의 경험 및 시행착오에 의해 결정되고 있다. 본 연구에서는 결정된 단수의 6배인 42단으로 롤 플라워를 작성하여 이를 토대로 하여 적절한 7단을 설계하는 방법을 사용하였다.

제품의 단면 형상이 좌우 비대칭이고 소재가 연신율이 비교적 낮으며 스프링 백이 큰 고강도 강판이므로 롤 성형 중 소재의 비대칭 변형 및 하중의 비대칭 분포로 인한 여러 문제가 심하게 발생할 수 있기 때문에 이를 최소화하기 위해서는 단면을 적절한 각도만큼 회전시켜 줄 필요가 있다.

먼저 제품 단면의 양끝을 연결하는 선이 수평축과 일치하도록 시계방향으로 10.45° 회전시키는 경우를 선택하여, AutoLISP로 작성된 롤 플라워 생성프로그램

램<sup>[1]</sup>을 이용하여 Fig. 2와 같은 42단의 플라워를 생성하였다.



Fig. 2 Preliminary flower(rotation 10.45°, 42 step)

### 2.2 예비 플라워에 대한 유한요소 해석

아직까지는 롤 성형 공정을 단시간에 정확하게 해석할 수 있는 방법이 별로 없으므로 이 공정을 프레스 금형에 의한 연속적인 굽힘 가공과 유사할 것으로 가정하여 평면 변형률 문제로 유한요소해석을 수행하였다. 해석 프로그램에 내장된 물성 데이터를 사용하여 탄소성 해석을 수행하였으며 응력-변형률 곡선은 Fig. 3과 같다.

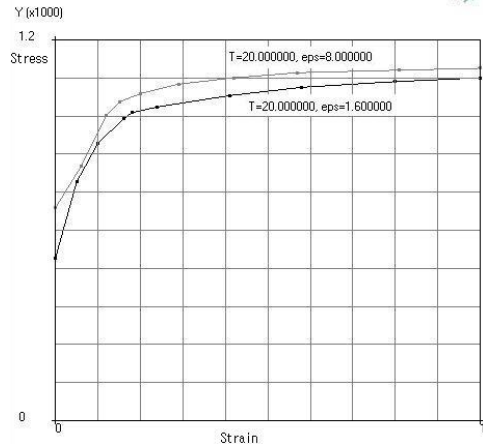


Fig. 3 Flow stress curve

42단 전체를 해석하려면 너무 많은 시간이 소요되므로 한단씩 건너뛰어서 총 21단의 굽힘 가공으로 해석하였고 초기 소재와 금형을 모델링한 모습을 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 최상단에 놓인 것이 소재이며 두께 방향으로 12개의 요소가 배치되고 굽힘부에서 비교적 멀리 떨어진 부분에는 상대적으로 폭이 넓은 요소가 배치 되도록 하여 총 1824의 요소가 사용되었으며 쿨롱 마찰계수  $\mu$ 는 0.1로 가정하였다.

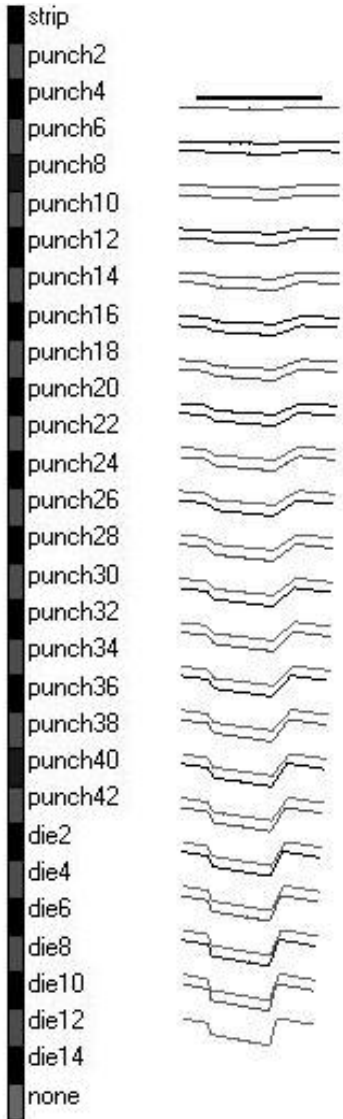


Fig. 4 Initial mesh and the dies for press bending

### 2.3 1차 플라워의 선정

일반적으로 유한요소 해석 결과 중에서 하중은 해석의 정확도가 그다지 높지 않으나 현재로서는 마땅한 지표가 없으므로 해석 결과 중에서 Fig. 5의 프레스 하중 분포를 참고하여 각 단계에서의 하중 최대치가 고르게 분포하도록 Fig. 2의 예비 플라워로부터 일곱 개의 단을 선정하였다. 일반적으로 롤 성형 공정에서

는 최종 제품의 치수 정밀도 향상을 위하여 최종 단 근처에서 굽힘각 증가량을 감소시키므로 여섯 번째 단과 일곱 번째 단 사이의 굽힘각 증가량을 줄였다. Fig. 6은 선정된 7단의 플라워 모습이다.

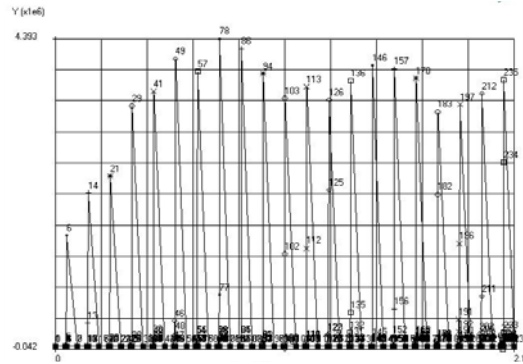


Fig. 5 Press loads at 21 stages



Fig. 6 First flower(rotation 10.45°, 7 step)

### 2.4 1차 플라워에 대한 해석

Fig. 6의 플라워를 이용하여 해석한 하중을 Fig. 7에 나타내었으며, 하중의 최대치가 각 단계 고르게 분포하지 못하여 수정이 필요함을 알 수 있다.

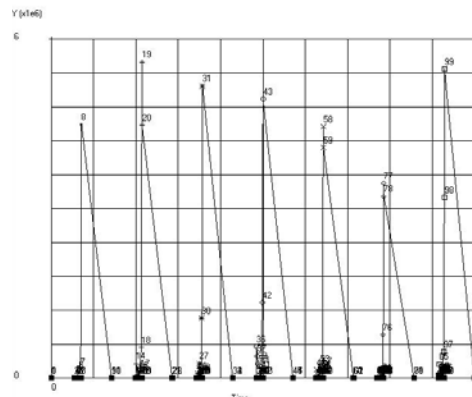


Fig. 7 Press loads for the first flower

Fig. 8은 1차 플라워에 대한 7단의 연속적인 굽힘이 끝난 후 탄성회복까지 종료된 상태의 소재의 해석으로 예측된 단면 모습이다. 각 굽힘부의 스프링백은 왼쪽으로부터 각각 0.96, 0.94, 1.12, 1.63로 비교적 작게 나타났다. 이는 각 단계에서의 각 굽힘부 굽힘각 증가량이 각각 20 이내로 비교적 작기 때문에 분석할 수 있다.

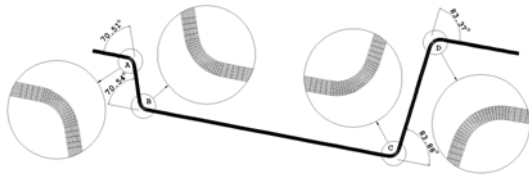


Fig. 8 Final shape after seven-stage bending

### 2.5 2차 플라워

1차 플라워의 유한요소 해석을 통하여 예측된 스프링백을 보상하도록 최종 단을 수정하고 성형 하중의 최대치가 고르게 분포하도록 중간 단계도 약간씩 수정하여 얻어진 2차 플라워를 Fig. 9에 나타내었다.



Fig. 9 Second flower(rotation 10.45, 7step)

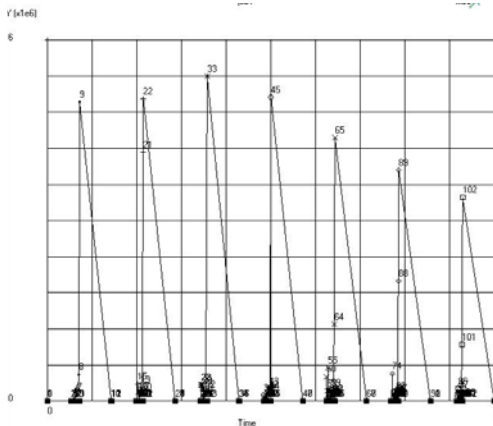


Fig. 10 Press loads for the second flower

### 2.6 2차 플라워에 대한 해석

수정된 플라워를 이용하여 해석된 하중을 Fig. 10에 나타내었다. 하중의 최대치가 각 단계에 고르게 분포하므로 비교적 만족스러운 플라워로 판단하였다.

### 2.7 3차 플라워

2차 플라워의 하중 분포는 만족스러웠으나 최종 제품의 각 굽힘부의 굽힘각은 아직 원하는 값과 미세한 차이가 있으므로 이를 보상하도록 3차 플라워에서 최종단의 굽힘각만을 수정하였다.

롤 성형 공정 중 소재는 각 단의 롤 사이를 통과하면서 상하 방향으로 비교적 잘 굽혀지도록 허용하는 것이 불필요한 추가적인 변형을 방지할 수 있으므로 소재 단면의 굽힘강성률 계수(flexural rigidity coefficient)가 최소화 되는 것이 바람직하다. 단면의 관성 모우멘트(moment of inertia)와 탄성계수의 곱인 굽힘 강성률 계수를 최소화하려면 단면의 관성 모우멘트가 최소화되도록 소재를 회전하면 된다. 본 연구에서 개발한 제품의 경우 단면의 관성 모우멘트가 최소화되는 주축(principal axis)이 수평축과 일치하도록 회전하면 다행히 좌우 형상이 어느 정도 균형이 잡히므로 각 단계에서의 단면 형상을 주축이 수평축과 일치하도록 회전시켜 Fig. 11과 같은 최종 플라워를 얻었다.



Fig. 11 Final flower(rotation 13.89, 7step)

### 2.8 성형 롤 설계 및 제작

3차 플라워는 2차 플라워에서 최종 단만 약간 수정하고 각 단계에서의 단면 형상을 주축이 수평축과 일치하도록 회전시켜 얻었으므로 추가적인 해석은 수행하지 않고 Fig. 12와 같이 성형 롤 제작도면을 작성하고 제작하였다. 현재 보유 중인 롤 성형기의 각 단 사이의 거리는 450mm이며, 각 단 사이에서 뒤쪽 단의 원주 속도가 앞쪽보다 느리게 되면 두 단 사이에서 소재에 압축력이 걸려 좌굴이 발생할 위험이 있다. 이를 방지하기 위하여 뒤쪽 단으로 가면서 롤의

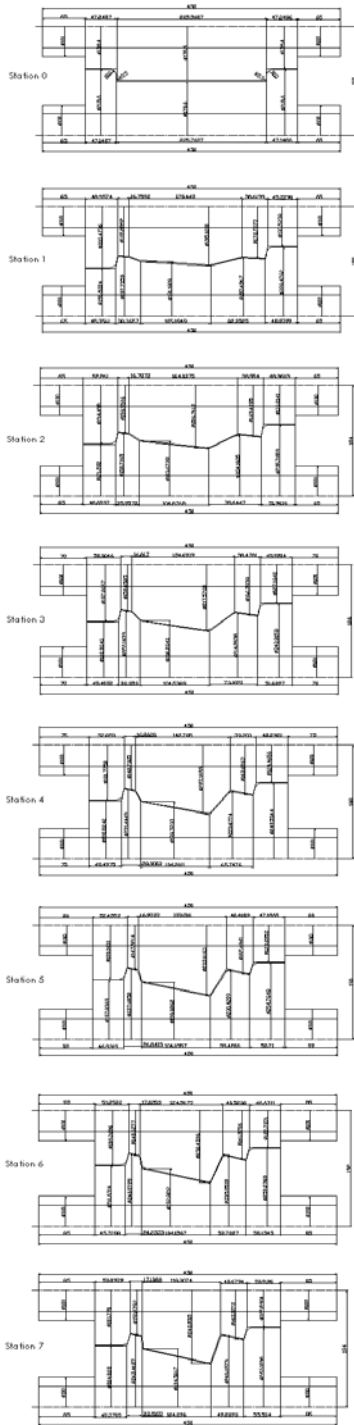


Fig. 12 Designed forming rolls

반경을 1mm씩 증가시켜 원주 속도가 뒤쪽 단으로 갈수록 점차 증가되어 소재에 약간의 인장력이 걸리도록 하였다.

또 성형 롤의 제작 및 설치를 수월하게 하기 위하여 롤을 분할하였고, 초기 소재가 롤에 진입할 때 상하 좌우로 요동하는 것을 방지하기 위하여 제1단 앞에 평탄한 보조 롤을 설치하였다.

### 3. 롤 성형 실험 및 검토

#### 3.1 롤 성형 실험

설계된 성형 롤을 제작하여 현재 보유 중인 개발용 롤 성형기에 설치하여 롤 성형 실험을 수행하는 모습을 Fig. 13에 보였다. 최종 단을 통과한 소재가 원하는 단면 모습으로 성형되는 것을 볼 수 있다.

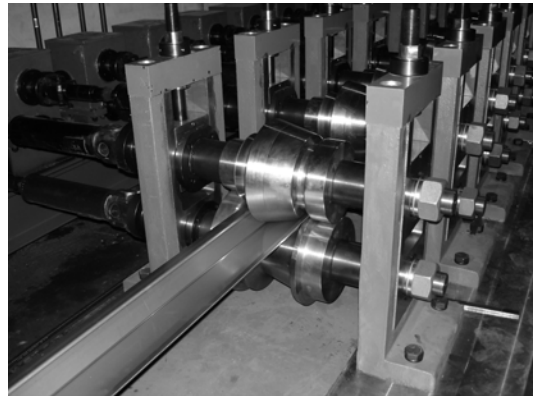


Fig. 13 Experimental roll forming

#### 3.2 실험 결과 및 검토

각 단을 통과한 소재를 절단하여 단면 형상을 측정하고 성형 롤의 굽힘각과 비교한 결과를 Fig. 14에 나타내었다. Fig. 1의 제품 단면 형상에서 각 굽힘부를 왼쪽으로부터 각각 A, B, C, D라 하면, Fig. 14(a)는 굽힘부 A와 D 즉 양쪽 가장자리에 위치한 굽힘부의 굽힘각 변화를, Fig. 14(b)는 굽힘부 B와 C 즉 안쪽 굽힘부의 굽힘각 변화를 각각 보여주고 있다. 여기서 스프링백이 해석에서 예측한 양보다 조금 더 발생하고, 가장자리쪽 굽힘부에서 더 많이 발생함을 볼

수 있다. 이것은 롤 성형 중 가장자리쪽 직선부에서 단면에 수직 방향인 길이방향의 변형이 더 많이 발생하고 그 영향을 받기 때문으로 분석할 수 있다.

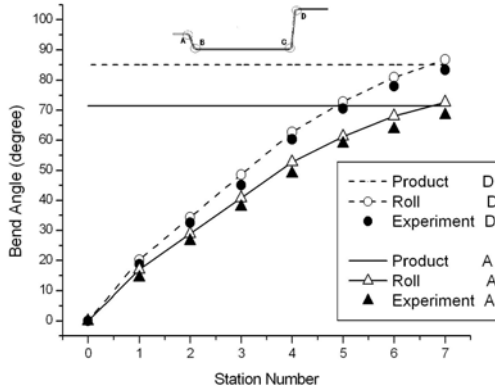


Fig. 14(a) Total bend angle at bend A and D

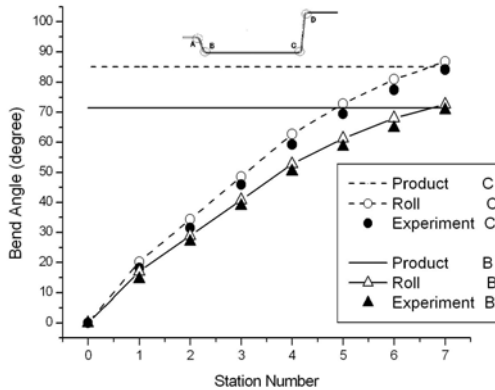


Fig. 14(b) Total bend angle at bend B and C

해석에서의 스프링백 예측량이 실제 양보다 다소 작았으나, 다행히 제품의 치수 정밀도에 크게 영향을 미치는 안쪽 굽힘부의 스프링백 차이가 작게 나타나서 제품의 치수 허용 공차인 0.5mm는 맞출 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 고강도강 자동차 부품의 롤 성형 공정을 개발하기 위하여, 먼저 예비 롤 플라워를 작성

하고 연속적인 평면 변형을 다단 굽힘 해석을 수행하여 7단을 추출하고 다시 해석을 통하여 수정하여 최종 롤 플라워를 얻었다. 최종 롤 플라워를 바탕으로 설계 제작된 성형 롤을 설치하여 롤 성형 공정으로 생산된 제품은 치수 공차의 허용치 0.5mm를 만족하였고, 현재 연구 중인 3차원 유한요소 해석 방법을 실제 롤 성형 공정 개발에 적용 가능할 때까지는 본 연구의 2차원 해석 방법도 하나의 유용한 방법으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Kim, K. H. and Jung, D. W., "Flower Design of Roll Forming Process using AutoLISP," J. of KSPSE, Vol. 1, No. 1, pp. 154-161, 1997.
2. Kim, K. H., "Design of Forming Rolls using Finite Element Analysis," J. of Ocean Eng. Tech., Vol. 13, No. 4, pp. 75-81, 1999.
3. SME, "Tool and Manufacturing Engineers Handbook," 4th ed., Vol. 2, Chap. 8, 1984.
4. Jung, D. W., Lee, M. Y. and Kim, K. H., "A Study on the Production of the Back Beam for an Automotive Bumper by Roll Forming Process," J. of KSPE, Vol. 20, No. 7, pp. 163-170, 2003.
5. Halmos, G. T., "High Production Roll Forming," SME, 1983.
6. MSC Software, "MSC.SuperForm 2002 User's Guide," 2001.