# CAE를 이용한 자동차용 AA6061 리어 서브-프레임 사이드멤버의 하이드로-포밍 가공

# Hydro-forming Process of Automotive AA6061 Rear Sub-frame Side Member by Computer Aided Engineering

*#김기주[1], 김경식[2], 이학주[2], 원시태[3]

*#K. J. Kim(kjkim@seojeong.ac.kr)[1], K. S. Kim[2] , H. J.Lee[2], S.-T. Won[3]

[1] 서정대학 자동차과, [2]한국기계연구원 나노역학팀, [3]서울산업대학교 금형설계과

Key words : Hydroforming, side members, AA6061, bending, thinning

## 1. 서론

하이드로포밍(Hydro-forming) 기술은 지난 10여 년간 자동차 산업에서 비약적인 성장을 해왔다. 자동차산업에서 본격적으로 사용하기 이전 초기의 하이드로포밍 부품은 단순한 다지관 형태가 대부분으로서 위생용 부품 또는 악기류 제조에 적용되었다[1]. 하이드로포밍 기술이 비로소 경쟁력을 갖추게 된 계기는 최근 들어 고압 유압 시스템, 컴퓨터에 의한 정밀제어 기술의 발전 그리고 프레스의 대형화를 들 수 있다. 이 기술은 기존의 프레스 성형 공법에 비하여 부품수의 감소, 일체화 성형, 부품수 및 금형의 감소로 인한 비용절감, 펀칭 또는 용접 공정의 생략, 높은 형상 정밀도, 부품의 강성 및 내구성 향상, 설계의 유연성 등 많은 장점을 가지고 있다[2-4]. 하이드로포밍 기술을 이용하여 엔진크레들(Engine Cradle), 배기계 부품, 프론트 및 리어 서브프레임(Front or Rear sub-frame), 라디에이터 서포트(Radiator Support), 사이드 레일(Side Rail), 캠 샤프트(Cam Shaft) 및 각종 차체 부품에 이르기까지 다양한 자동차 부품의 생산이 가능하다. 하이드로포밍용 튜브소재는 부품의 형상대로 제작된 금형의 내부에서 고압의 유체를 통하여 확관 성형된다. 적절한 길이로 미리 절단된 튜브는 최종형상에 유사한 형태로 굽힘가공을 받게 되며 일반적으로 하이드로포밍 금형에 안착되게 하기 위하여 프리포밍 공정(Pre-forming Process)을 거치게 된다[5]. 대부분의 경우 프리포밍 형상은 하이드로포밍 공정의 성패에 결정적인 요인이 된다[5]. 한편, 프리포밍된 튜브는 하이드로포밍 금형으로 옮겨진 후 내부 유체를 통하여 성형된다. 차량경량화의 목표달성을 위하여 사용되는 튜브 소재의 강도도 증가하는 추세에 있다. 알루미늄 소재를 활용하여 리어 서브-프레임을 개발한 사례가 있었는데 주로 프리포밍의 영향을 규명한 내용이었으며 프리포밍을 이용해 하이드로포밍 성형을 원할히 하는데 도움이 되며 이 공정의 추가로 생산성은 떨어질 수 있다[5]. 알루미늄 소재를 이용한 튜브 하이드로포밍에 관한 연구가 진행되었는데, 주로 기초 재료의 성형한계도를 측정하거나 마찰특성에 관한 연구가 주를 이루고 있다[6-9].

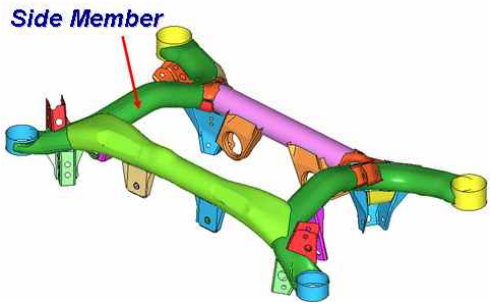
본 연구에서는 표 1에 나타낸 인장강도 160MPa급 AA6061-O 알루미늄 합금 튜브를 이용한 하이드로포밍 리어 서브프레임 부품 개발의 과정을 CAE를 이용해 다루고자 하며 개발된 부품의 형상 및 두께 감소율에 대한 품질평가 시험결과와 비교하였다.

Table 1 Mechanical properties of AA6061-O tube material.

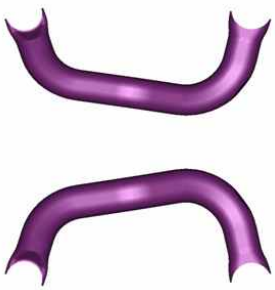
| 튜브 외경, mm | 튜브 두께, mm | Elastic Modulus, GPa | Yield Strength, MPa | Tensile Strength, MPa | Tensile Elongation, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 76.2 | 5.0 | 70 | 68.5 | 160.1 | 16.2 |

## 2. 부품설계

섀시부품의 대물 파트인 리어 서브프레임(Rear Sub-frame)은 자동차 섀시 부품으로서 승용차의 뒷 쪽 하단부에 위치하여 Axle을 서브할 뿐만 아니라 차체와 휠(Wheel)을 연결하는 역할을 한다. 뒷쪽 휠은 이 부품에 여러 개의 링크 부품으로 연결되어 편안한 승차감을 제공한다. 이 리어 서브프레임은 2개의 사이드 멤버(Side Member)와 크로스 멤버(Cross Member)로 구성된다. 본 연구에서는 이 2 개의 사이드 사이드 멤버 파트를 튜브 하이드로포밍에 의하여 개발하였으며 Fig. 1에 그 형상을 나타내었다.




(a) Rear sub-frame including side members



(b) side members for hydro-forming

Fig. 1. Geometry of (a) rear sub-frame and (b) side members.

먼저 부품은 하이드로포밍 공정에 의한 제조 가능성을 확인하기 위하여 길이방향으로 상세한 분석이 이루어 진다. Fig. 2는 메인멤버 부품의 단면분석결과를 나타내었는데 각 숫자가 나타내는 의미는 각 단면의 원주길이 이다. 이를 통하여 부품의 최대 및 최소 단면 원주길이와 최소 코너 반경을 얻게 된다. 또한 이 결과로부터, 요구되는 튜브의 길이, 프레스 하중 및 최대 가압력을 계산할 수 있다. 이 부품의 경우 최소 및 최대 원주길이는 242.9mm, 265.3mm이며 이때의 확관율은 각각 1.5%, 10.8%이다. 적정 튜브 사이즈는 원주길이 239.3mm를 갖는 외경 76.2mm(3")튜브이며 설계된 제품의 원주길이가 튜브의 원주길이보다 커야 확관을 이용하여 하이드로포밍 공정으로 원할한 성형가공이 가능하다. 이 부품의 경우 최대 확관율 지점이 부품의 양 끝단부에 가까우므로 안전하다 할 수 있다. 하이드로포밍 공정 시뮬레이션을 위한 AA6061-O 튜브소재 의 두께는 안전율을 고려하여 5.0mm를 갖도록 압출하여 가공하였으며 인장강도는 160MPa 이었다. 탄소성 가공경화 거동을 보이는 재료로 해석에서는 등방성을 가정하였으며 마찰계수는 0.1을 사용하였다. 성형해석을 위한 모델은 Fig. 3의 인장곡선을 인장물성으로 활용하여 해석하였다. 해석모델은 상.하부 금형 및 기하학적 벤딩 형상을

갖는 튜브로 구성되며 벤딩공정에 대한 성형해석을 먼저 행하였다. 왼쪽파트와 오른쪽 파트가 대칭(Symmetry)인 해당 사이드 멤버를 한번에 성형하기 위해서 해석모델은 2개의 파트를 한 금형에서 한번에 성형할 수 있도록 모델링하였다.

Fig. 4에는 하이드로포밍 공정에 의하여 실제로 제작될 부품의 성형전 벤딩 해석 결과(왼쪽과 오른쪽 파트를 한번에 벤딩할 수 있도록 모델링된)를 나타내었다. 계산에 사용된 프로그램은 성형 및 충돌해석 상용 프로그램인 LS-Dyna를 사용하였다. 계산결과 벤딩반경 100 mm를 갖도록 벤딩시 초기 5.0 mm 두께의 튜브는 4.52~6.08 mm의 두께로 변화함을 알 수 있다. 본 벤딩가공 해석한 결과를 하이드로포밍 금형에 모의 삽입한 결과 사이드멤버는 프리벤딩 공정이외에 추가의 프리포밍 공정없이 금형에 안착이 가능함을 알 수 있었다.

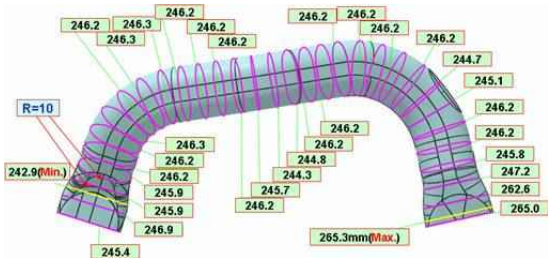



Fig. 2. Analyses of cross sections of side member along the part, (unit: mm).

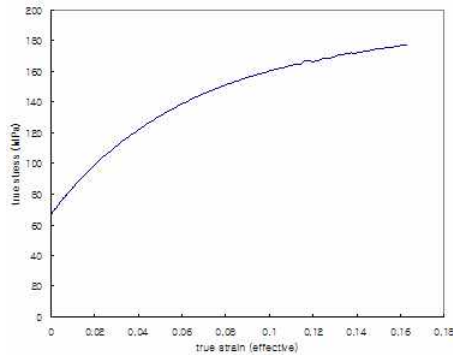



Fig. 3. True stress-strain tensile curve of AA6061-O extruded tube.

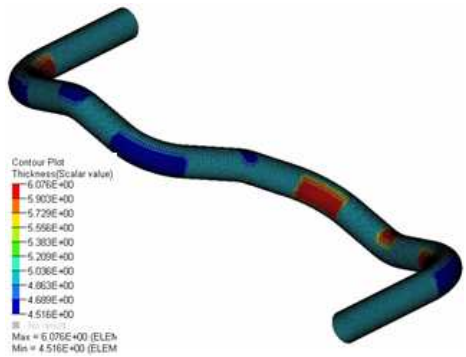



Fig. 4. Thickness after simple bending simulation.

Fig. 5에는 하이드로포밍 공정이 완료된 후의 형상 및 두께감소율 해석결과를 나타내었다. 이때 필요한 최고 성형압력은 600bar 이었으며 양 끝단부에 각각 10 mm 씩 피딩(feeding)하여 해석한 결과 최대 두께 감소율(thinning)은 20.3%로 예측되었다. 본 연구에서 사용한 압출 가공된 튜브의 경우 국부 변형(local strain)으로 인한 국부연신 때문에 20% 이상의 두께감소가 발생한 곳이 있는 것으로 사료된다. 또한, Fig. 5에서 알 수 있듯이 최대 두께 감소가 나타나는 부위가 튜브의 양끝단에서 거리가 떨어져 있으므로 축방향 피딩(axial feeding)으로 두께 감소를 줄일 수 있는 데는 한계가 있다. 이를 개선하기 위해서는 온간 하이드로포밍 등의 새로운 공정이 개발되어야 할 것이다.

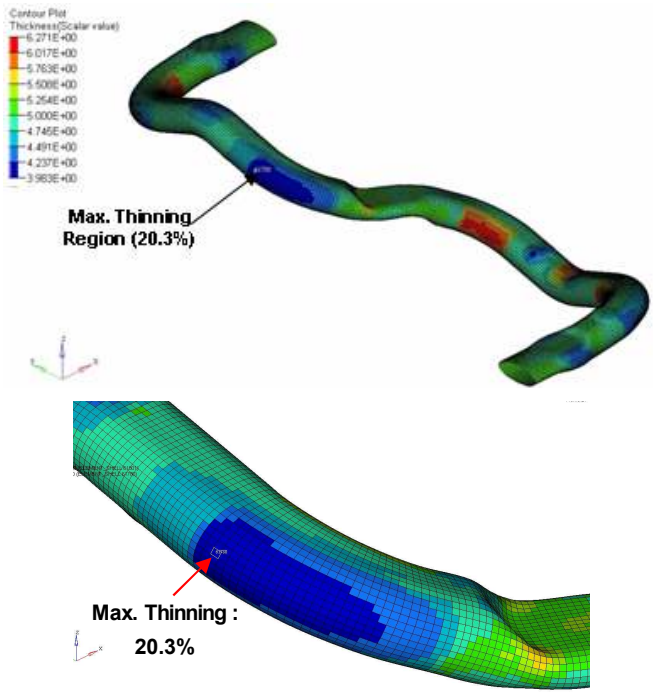



Fig. 5. Predicted geometry and distribution of thickness after hydroforming.

## 3. 해석결과와 실험결과의 비교

두께에 대한 해석결과와 측정결과를 표 1에 나타내었다. 측정된 최대 두께 감소는 3.85 mm이며 그 위치와 두께값은 시뮬레이션 결과와 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 표 2의 측정 결과에서 보는 바와 같이 설계대비 최대 차이는 3.38 %로서 매우 우수한 일치도를 나타내고 있다.

Table 2. Comparison of the thickness variation between calculated and measured values.

| Position | Measured | Calculated | Deviation |
|---|---|---|---|
| a) | 4.18 mm | 4.16 mm | 0.48% |
| b) | 4.20 mm | 4.21 mm | -0.24% |
| c) | 4.10 mm | 4.23 mm | -3.17% |
| d) | 3.85 mm | 3.98 mm | -3.38% |

## 4. 결론

인장강도 160MPa급 AA6061-O 알루미늄 합금 튜브를 이용하여 리어 서브프레임용 하이드로포밍 사이드맴버를 성공적으로 개발하였다. 부품설계 단계에서는 부품의 형상에 대한 초도 분석 및 전체적인 공정 설계가 이루어졌다. 상세한 시뮬레이션 결과에서는 하이드로포밍에 의한 최종 두께 감소율이 양호한 수준으로 예측되었다. 시작금형을 설계, 제작하여 실부품을 제작하였으며 두께 감소율 및 형상을 측정하였다. 최대 두께 감소율은 20.3%로서 시뮬레이션 결과와 동일한 위치에서 발생하였으며 이는 부품개발을 위한 기준치에 부합하였다. 또한 실제 가공된 부품의 형상은 컴퓨터 해석결과와 잘 일치하였다.

## 참고문헌

1. F. Dohmann, Ch. Hartl, J. Mater. Process. Tech.. Vol. 71 pp. 174-186, 1997.