한국소성가공학회 2008년도 춘계학술대회 논문집 pp. 209~212

# 하이드로포밍 기술을 이용한 배기 매니폴드 런너의 최적화

엄인섭 · 남궁성 · 나상묵 · 김윤규· 김동학

# The optimization of exhaust manifold runner using Hydroforming Technology

**I. S. Um, S. Namgung, S. M. NA, Y. G. Kim, D. H .Kim**

**Abstract**

Hydroforming Technology has been applied to manufacture in various parts of automobile. Especially, Exhaust manifold has been applied to hydroforming method in the foreign advanced automotive company. Exhaust manifold runner is important exhaust parts that heat-resistant and exhaust flow characteristics are requested in the automobile. The purpose of this study is to optimize the manufacturing method of exhaust maniflold runner using FEA and to propose to get a optimization design direction. In addition, Comparative analysis between conventional exhaust maniflold and hydroformed exhaust maniflold has been done in view of weight-saving, manufacturing advantage.

**Key Words** : Hydroforming (액압성형), Exhaust manifold runner (배기 매니폴드 런너), Optimization (최적화)

## 1. 서 론

최근 고유가시대의 완성차 업계에서는 차량 경량화를 통한 연비 절감이 절실해지고 있고 이러한 소비자들의 구매 트렌드를 충족 시키기 위해 기존의 주물 타입의 무거운 매니폴드를 스테인리스 소재를 이용해 파이프 타입의 매니폴드 런너 개발이 국내외적으로 양산 적용 및 그 가능성을 위한 연구 개발 활동이 한창 진행 중에 있다. 이런 시대적 배경에 의해 자동차용 배기매니폴드 런너 부품에 적합한 소성 가공 기술도 점차 변화해 가고 있다. 그 대표적인 제조 기술은 기존 방식인 주물 방식, 스템핑 방식, 하이드로포밍등을 들 수 있다. 그 중 하이드로포밍 제조 기술은 현재 자동차 및 일반 가전등의 분야에 점차 확대 전개되는 추세에 있다.

하이드로포밍 공법은 파이프를 이용한 Tubular Hydroforming 과 강판을 이용한 Sheet Hydroforming 두가지 기술로 연구 발전 되어 왔다. 그 제조 공법을 살펴보면 Tubular Hydroforming 은 제품 길이에 맞게 절단된 파이프를 제품 형상이 가공되어진 금형에 안착해 파이프내에 수압을 가해 요구하는 제품 형상을 만드는 신제조 기술이고 이를 통해 일반적으로 형상 일체형화, 가공 경화로 인한 구조 성능 향상, 부품수 감소, 스크랩 감소로 인한 저비용, 치수 정밀도 향상 등의 장점이 있다.

본 연구에서는 하이드로포밍 공법 중 Tubular Hydroforming 방식을 이용해 자동차 부품 중 엔진 내부의 고온으로 인한 내열내구 특성과 배기유동 성등이 요구되는 배기 매니폴드 런너를 하이드포밍 기술을 이용해 양산성을 고려한 최적화 제품 제조 연구를 진행해 보고자 한다.

1. 현대하이스코 기술연구소 연구개발팀(울산)
# E-mail: isum@hysco.com

## 2. 본 론

### 2.1 제작 구상 및 방향

본론에 들어가기 앞서 자동차 배기 매니폴드의 주물 타입과 하이드로포밍 매니폴드 타입간의 주요 성능 및 경량화를 Fig.1 과 같이 비교해 봤다.

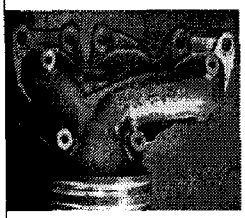
| | 주물 타입 | 하이드로포밍 타입 |
|---|---|---|
| 제품 도해 |  | |
| 소재 | 내열주철강 | 스테인리스 |
| 배기유동성 | 低 | 高 |
| 경량화 | 低 | 高 |

Fig. 1 주물 타입 vs 하이드로포밍 타입

Fig.1을 통해서 주요 특징을 비교해 봤을때 배기 매니폴드의 하이드로포밍 기술 적용 목적이 차량 경량화와 배기 유동성 증대를 통한 엔진 출력 향상, LEV(Low-Emission Vehicle) 차량 개발에 따른 배기 매니폴드의 소재를 스테인리스로 사용해 친환경에 적합한 부품 개발이 주요 목적이라 할 수 있다. 여기서 본 연구 테마는 하이드로포밍 기술 적용이 있어 본 부품의 제작 가능성 여부와 보다 합리적인 부품 제작 공법을 알아 보기 위해 성형 해석을 통해 하이드로포밍 공법에 알맞은 최적화 형상를 도출하고자 한다.

본 부품의 특징을 보면 엔진룸 레이아웃 및 경량화를 고려해 V6 3-1 타입의 좌우 비대칭 형상으로 각각 다른 6 개 타입의 런너가 있음을 알 수 있다. 향상된 생산성 및 경쟁력있는 cost 결과를 얻고자 하이드포밍 1 회 성형시에 최대한의 제품을 성형하기 위해 직열 형태로 연결해 제품을 성형하는 방식을 우선 검토하였다. 여기서 중요한 인자는 밴딩 가능성 여부인데, 직선 파이프를 CNC 밴딩기를 이용해 벤딩이 가능한지를 우선 평가를 해 봐야 했다. 현재 설계된 런너 형상을 살펴보면 밴딩 R 은 R45 이고 벤딩후 직선 구간은 3~10mm 정도로 2D 밴딩을 적용하기는 불가능하였으며, 제품 형상에 맞게 3 차원 밴딩이 가능한 R-vise 을 사용해 밴딩이 가능하도록 공법을 구상하였다. 그리고 밴딩후 하이드로포밍 금형 안착성 및 성형성을 고려해 프리포밍 공정 적용여부를 검토하였다.

아래 Fig.2과 같이 case.1 과 case.2의 2가지 방법으로 나누어 성형성을 비교 분석해 보았으며, 이는 밴딩 조건의 기본 사항을 가지고 검토한 부분과 실제로 밴딩 금형 조건과 시뮬레이션을 통해 성형성 결과를 분석 및 검증해 보았다.

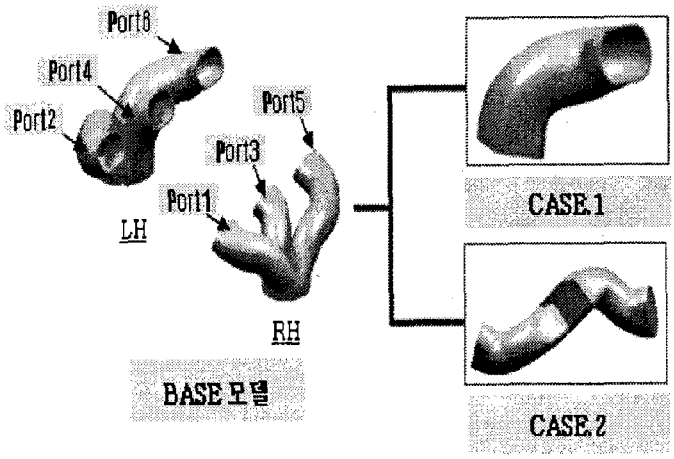



Fig. 2 제품 형상 및 공법 구상도

### 2.2 성형성 평가

상기의 조건을 바탕으로 성형 가능성을 확인하기 위해 LS-DYNA 프로그램을 사용해 성형해석을 실시하였다. 소재은 스테인리스 계열중 내열 특성이 좋은 STS309를 적용하였고, 그 소재 물성은 인장강도(Tense Strength) 593N/㎟, 항복강도(Yield Strength) 317N/㎟, 연신율(Total Elongation) 57.76%의 비열처리 물성 조건을 입력하였다. 파이프 사양은 외경이 φ42.7, 두께는 2.0t의 하이드로포밍 성형성을 고려한 파이프 규격을 채택하였다.

case.2의 경우가 성형성이 가능하면 동일한 형상인 case.1은 당연히 성형성이 확보되어지므로 먼저 case.2의 성형성을 평가해 보았다. Fig.3은 각각의 매니폴드 런너 성형해석을 위해 조건 부여한 S-S curve 그래프이다.

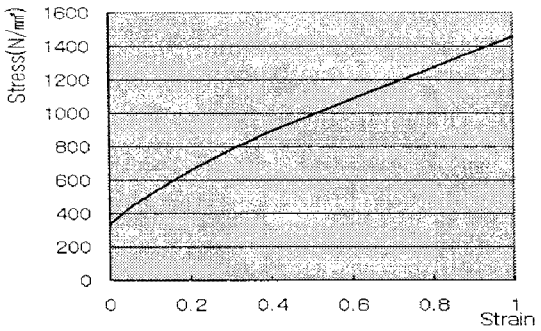



Fig. 3 Stress & Strain curve

우선, 성형성을 평가하기 위한 성형 공법 프로세스을 검토하였다. R-vise를 이용한 밴딩, 성형성을 고려한 프리포밍 그리고 파이프내에 수압을 가해 제품을 성형하는 하이드로포밍 3개 공정으로 공법을 구성하였다.

먼저 밴딩 난이도가 있는 case.2의 경우를 먼저 밴딩 시뮬레이션을 실시했다. 각각 다른 형상을 가진 6가지의 런너의 성형성을 평가해 보았다. 각각의 다른 형상의 런너를 밴딩이 가능할 수 있도록 가급적 일직선화해 밴딩 금형 및 주변 장비와의 간섭이 없도록 연결하는 최적화 과정을 수행하였고, 밴딩 조건은 1ball mandrel을 사용하고 Boosting pressure는 5~30KN을 적용해 조건을 부여하였다. 그 결과로 밴딩 금형와 파이프의 간섭이 Fig.4와 같이 발생하였다. 만약 간섭부를 도피할 경우에는 밴딩 금형 내구성 문제와 4단이상의 밴딩 금형이 필요하기 때문에 실제로 제작 가능성은 없다고 판단되어져 case.2의 경우 Port 2,5,6은 double방식의 성형이 불가하다는 결론을 얻었다.

Fig. 4 runner bending simulation

다음은 하이드로포밍 성형성을 고려해 Sliding Cavity 방식을 사용한 프리포밍 공정을 추가하였고, 마지막으로 하이드로포밍 공정으로 End Feeding은 양쪽에 20mm씩의 force을 가하면서 약 2,600bar정도의 내압을 가해 제품을 성형하는 해석을 실시하였다. 6가지 런너 모두 동일한 파이프 외경과 확관율로 앞서 언급한 성형 조건을 동일한 방식으로 부여해 각각의 런너들을 성형 해석을 통해 분석해 보았고, 그 결과는 6개 런너 모두 하이드로포밍 성형이 가능하다는 결과를 얻을 수 있었다.

Fig.5는 6가지 런너의 성형해석 결과를 런너 종류별, 성형 공정별로 정리하였다.

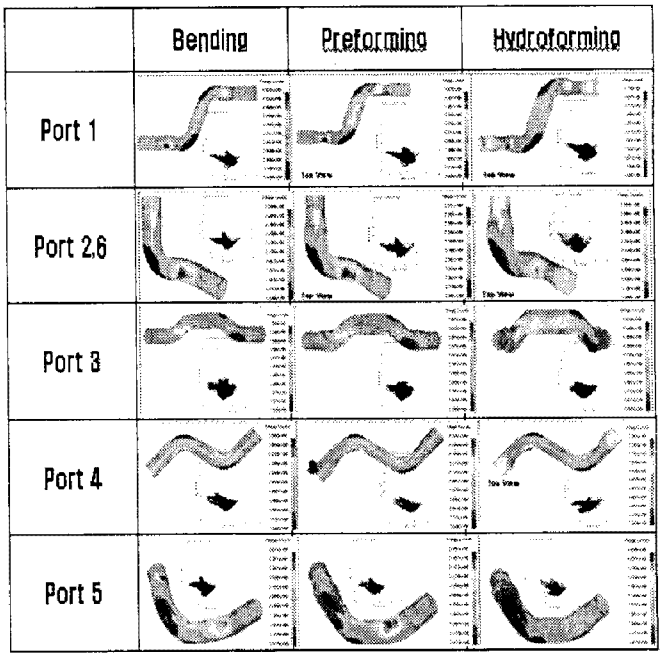



Fig. 5 runner별 성형 해석 결과

Fig.5의 해석 결과에서 보는 바와 같이 모든 런너들은 FLD(Formability Limited Diagram) curve 이하에 성형 결과 포인트들이 분포 되어 있다.

그래서 본 부품의 연결 방식 런너를 성형 해석을 통해 성형 가능성을 평가해 봤을 때 하이드로포밍 성형은 양호하다는 결과를 얻을 수 있었고, 앞서 밴딩 공정에서 검토했듯이 모든 런너가 double 방식으로 성형성이 확보되지는 않았다.

따라서 본 제품의 성형성을 고려해 최적화한 결론은 동일한 사양으로 2개의 double 방식의 Port 1,3,4 런너는 연결 성형이 가능하였고, 나머지

Port 2,5,6 런너는 밴딩 공정에서의 성형 불가로 인해 case.1과 같이 개별 단품으로만 성형이 가능하다는 결론을 얻을 수 있었다.
Fig.6은 실재로 성형 해석 결과를 바탕으로 제작한 제품 사진이다.

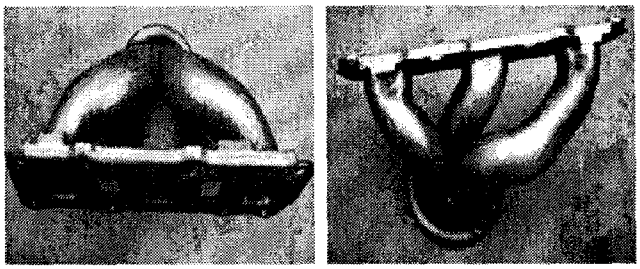



Fig. 6 하이드로포밍 배기 매니폴드 Assembly

## 3. 결 론

하이드로포밍 공법을 이용해 배기 매니폴드 런너의 생산성 및 원가를 고려해 최적화 공법을 설정하였고, 이에 대한 성형성을 평가하기 위해 하이드포밍 성형 해석을 실시해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) case.2와 같이 런너를 동시에 double방식으로 고려한 조건에서의 Port1,3,4만이 정상적인 성형이 이루어짐을 알 수 있었고, Port2,5,6은 밴딩 불가로 인해 single방식으로만 하이드로포밍 성형이 가능한 것으로 성형 해석을 통해 확인할 수 있었다.

(2) case.1은 case.2의 결과에서 알 수 있듯이 모든 런너가 하이드로포밍 성형이 가능함을 알 수 있었다.

(3) 결론적으로 하이드로포밍 매니폴드 런너와 같은 소물류 부품은 밴딩 조건에 따라 제품 생산성 및 원가에 많은 영향을 끼치므로 가능한 밴딩R과 직선 구간을 충분히 확보하는 것이 중요한 인자임을 알게 되었고, 향후 본 부품과 유사한 제품 설계시에 이점을 감안하는 것이 바람직하다.

## 후 기

본 제품의 경우, 실제 자동차에 적용 중인 사양을 하이드로포밍 기술로 대체하는 선행 연구로 차량 주변부 레이아웃을 최대한 반영해 설계한 것이다.

## 참 고 문 헌

[1] Harjinder Singh, "Fundamentals of Hydroforming"by SME( the Society of Manufacturing Engineers).pp.6~10.

[2] Klaus Siegert, " Hydroforming of Tubes, Extrusions and Sheet Metals by 1999, international Conference on hydroforming. pp.297~298.

[3] I.S.UM, 2007, "자동차 cowl cross bar hydroforming 적용 최적화 연구", 대한기계학회 추계학술대회.