

Hydroforming을 이용한 Radiator Support Member의 제조기술에 관한연구

손성만* · 이문용* · 이상용** · 조원제**

A Study on Radiator Support Member Manufacturing Technology by Hydroforming

S. M. Sohn, M. Y. Lee, S. Y. Lee and Y. J. Jo

Abstract

Tube hydroforming technology has increased dramatically, mainly by automotive industry in Europe and the Americas. It is required tube formability, optimized with regard to tribological factors and specially designed die and presses. In this process has many important parameters as expansion ratio of a tube, axial feeding, internal pressure and preforming low pressure. The following paper discusses to combine forming factors and expectation of manufacture problem by hydroforming of automotive radiator support member.

Key Words : Hydroforming, Radiator Support, Internal Pressure, Axial Feeding, Automotive Parts.

1. 서 론

최근 자동차 산업의 기술적 흐름은 환경친화적인 저공해 차량의 개발과 안전과 성능을 갖춘 지능형 차량의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이러한 관점에서 하이드로포밍 공법은 경량화 및 고강도 안전차체의 실현을 위하여 꾸준히 적용되어 왔다. 튜브 하이드로포밍 기술은 폐단면 형상의 일체화 성형에 가장 적합한 형태의 가공기술로 다양한 분야에 적용되고 있지만 특히 자동차 분야에 활발하게 적용되고 있고 현재 유럽 뿐 만 아니라 구미 지역의 자동차 업체들은 차체 및 샤시부분에 있어 하

이드로포밍 적용비율을 지속적으로 증가시켜가고 있다.⁽¹⁾

이에 비해 일본, 한국을 비롯한 아시아지역의 자동차 업체들은 아직까지 하이드로포밍 공법의 적용이 늦어지고 있기는 하지만 생산공정의 단순화를 통한 원가절감, 경량화 및 고품질화를 위한 하이드로포밍 공법의 적용은 머지않아 이루어지리라 예상된다.^(2,3)

그러나 하이드로포밍 공법을 적용하여 자동차부품을 양산하는 것은 많은 기술적인 어려움이 있으며 이러한 문제들에 대해 그간 국내 자동차 관련 업체들의 많은 연구가 있었지만 양산을 고려하기에는 아직까지 미흡한 부분이 많은 것이 사실이다.

* (주)성우하이텍 기술연구소

** 한국기계연구원 소성응용그룹

본 연구에서는 자동차 차체부품인 Radiator support member를 하이드로포밍 공법을 이용해 성형하고 이를 통해 하이드로포밍 공정의 이해와 양산적용 시 예상되는 문제들에 대한 고찰 및 성형특성들을 이해하고자 하였다.

2. 성형성 검토 및 성형방법

2.1 RAD SUPT MBR 관재의 성형성 검토

Radiator Support Low Member는 차체전면에서 라디에이터와 fan들을 지지하는 차체구조물로 지지역할 이외의 기능은 매우 미미하다. 따라서 기존의 폐단면 구조를 튜브로 대체할 경우 가공경화를 이용하여 기본 두께를 낮추는 방법을 통하여 경량화를 고려해 볼 수도 있으나 튜브의 두께가 너무 얇을 경우 sealing에 문제가 발생하기 때문에 기존소재의 두께와 같은 1.0t의 튜브를 사용하였다.

Table 1 Mechanical properties of hydorforming tube

Material	Y.S (kgf/mm^2)	T.S (kgf/mm^2)	El. (%)
SA SKELP	41.7	32.2	42.8
PH After tubing	40.9	35.1	40.2
38 After drawing	37.5	29.2	43.7

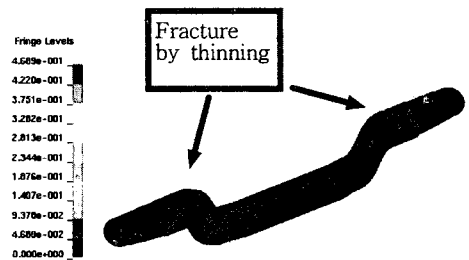
본 실험에 사용된 소재는 SAPH38 열연강관으로 조관한 후 인발된 튜브를 사용하였으며 기계적 특성은 Table 1에 나타내었다. 코일상태에서는 항복강도가 32.2 kg/mm^2 , 연신율이 42.8%였지만 인발 후 어닐링한 소재의 물성치는 항복강도가 29.2 kg/mm^2 , 연신율이 43.7%로 항복강도는 다소 낮아지고 연신율은 다소 증가하였다. 여기서 항복강도가 낮아짐은 성형에 필요한 압력이 낮아도 성형이 가능하다는 의미이며 연신율이 증가함은 성형정도의 여유가 있음을 의미하는 것으로 결과적으로 보면 하이드로포밍하기에 더 유리한 조건임을 알 수 있다.

Table 2는 RAD SUPT의 주요설계 인자로 feeding 없이 약 1000bar 이하에서 성형완료 될 것으로 예상되며 특히 CAM에 의한 narrowing을 실시한 후 하이드로포밍을 실시한다.

이러한 튜브의 특성을 근거로 하여 FLD(성형한계선도) 및 성형 후 strain 분포를 해석한 결과 Fig. 1와 같이 매우 안정적이고 또한 제품형상에서 보는바와 같이 local strain이 발생하는 부분도 없었다. 그러나 실제 실험한 결과 thinning에 의해 대부분 RAD 상부가 많이 파

Table 2 Hydorforming design factors of RAD SUPT

Factors	H/F(Stamping)
SPEC (mm)	$\phi 60.3 \times 1.0t \times 1390$
Expansion ratio	7 %
Min. R (mm)	10
Internal P (MPa)	100
Feeding (mm)	No
Press (Ton)	1000
Weight (kg)	1.75(2.7)
Partssa (ea)	1(2)



Radiator Support Lower Member Strain State with FLC

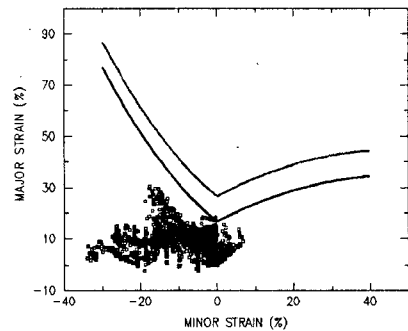


Fig. 1 Result of FEM analysis and FLD of RAD SUPT tube (by Hyundai motors)

열되었다. 이는 bending에 의해 이미 strain이 발생한 후 최종성형 시에도 이 부분의 bulging 이 심하기 때문에 국부적인 박판화가 진행되어 파열된 것으로 사료된다.

2.2 RAD SUPT MBR의 Hydroforming 금형

본 실험에서 사용된 금형은 기계적 CAM system을 이용하여 좌, 우 측면을 sliding하며 성형하게끔 설계되었다. 이는 3차원 형상으로 제품이 설계되어 성형 후 제품 추출 시 간섭이 발생하기 때문에 취한 방법이지만 만일 양산을 고려한다면 금형의 마모 및 재연성에 있어 많은 문제가 발생할 것으로 사료되기 때문에 가급적이면

설계 단계에서 3차원 형상은 피하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

Fig. 2(a)는 하부금형의 형상으로 슬라이더가 장착된 상태이고 (b)와 같이 cam slider를 제거하면 제품의 하부형상만 남게된다. 슬라이더의 형상은 Fig. 2(c)와 같고 이것은 좌, 우 세 개의 핀에 의해 고정된다. (d)에서 보는 바와 같이 좌, 우 슬라이더는 측면에 양쪽으로 경사가 있고 이는 상부금형에도 마찬가지로 경사가 있어 경사부의 두께는 제품의 측면 이동 stroke와 같다.

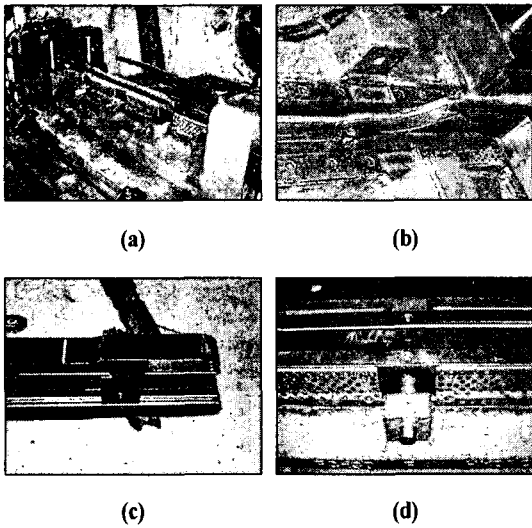


Fig. 2 Bottom die and slider of RAD SUPT MBR

Fig. 3(a)와 (b)의 상하 경사부는 Fig. 3(b)의 상부금형이 narrowing을 위해 하강하면서 하부금형의 경사부와 닿는 순간부터 좌우 슬라이더는 이동하고 금형이 닫히면 슬라이더는 제품을 측면으로 소성변형 시킨다. 하이드로포밍 성형이 끝난 후 금형이 열리면 슬라이더는 가이드 핀에 스프링으로 체결되어 있어 좌우로 다시 벌어져 제품을 ejecting 하는데 있어서 간섭이 발생하지 않는다.

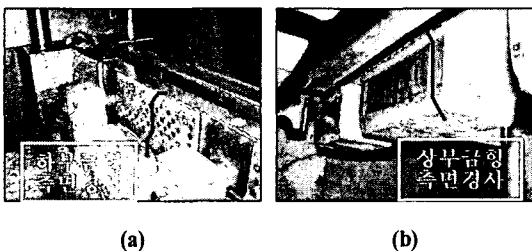


Fig. 3 Mechanical sliding system of hydroforming die

Fig. 4(a)는 슬라이더를 체결한 경우의 하부금형 모습으로 튜브를 loading 하기 위해 슬라이더는 충분히 open 되어 있고 실제 제품의 금형과 슬라이더간에 gap이 있는데 이는 곧 슬라이더의 stroke량이 된다. Fig. 4(b)는 상부금형에 장착된 유압 클램프로 accumulator에 의해 튜브 양끝단을 내부압력에 비례적인 힘으로 가압을 한다. RAD SUPT도 심한 벤딩에 의해 양끝단에 moment가 작용하여 sealing에 영향을 미치므로 클램핑이 필요하며 또 다른 이유로는 내압의 상승에 따라 튜브가 소성 변형하여 지름이 확장되면 펀치와 튜브간에 간극이 발생하여 유체가 새어나오는 것을 방지하는 역할을 한다.

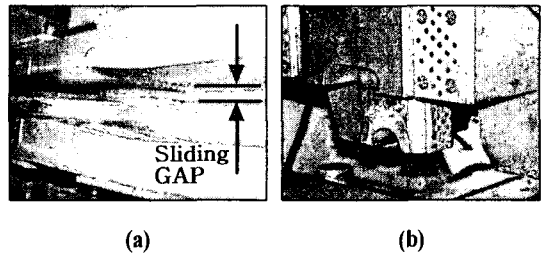


Fig. 4 Sliding gap and clamping system

어큐뮬레이터(accumulator) 내부에는 질소가스가 채워진 풍선이 있고 그 외에는 오일을 충전하여 길이가 동일한 두가닥의 파이프를 통해 양쪽 클램프에 연결되어 있다. 클램프가 하강하면 어큐뮬레이터 내부 유압은 상승하고 질소가스 풍선을 압축하는데 이때 압축에 비례하여 반발력이 발생하는 원리로 되어있다.

2.3 RAD SUPT MBR의 Hydroforming 공정

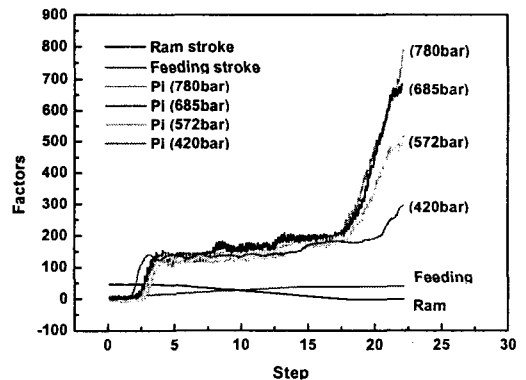


Fig. 5 Hydroforming condition of various pressure

Fig. 5에서와 같이 내압은 420bar~780bar의 범위에서 성형을 하였는데 이는 초기 780bar로 성형을 하였으나 파열로 인해 내압을 점차 낮춰서 실험을 실시하여 최종적으로 420bar에서도 하이드로포밍 성형을 하였다. 이는 예상압력 1000bar에 훨씬 못 미치는 압력으로도 성형할 수 있음을 나타내는 것으로 420bar나 780bar나 성형 후 제품의 외관상 큰 차이점은 발견할 수 없었다.

물론 코너의 R부위는 부분적으로 10mm 보다 큰 경우가 있지만 제품의 특성상 그 위치는 접합과 아무런 관련이 없는 부분으로 이는 실제 양산을 가정한다면 설계 단계에서 곡률반경을 크게 설계함으로써 보완이 가능함을 알 수 있었다. 예상 내압에 비해 훨씬 낮은 압력으로도 성형이 되었던 이유는 현재 일반화 되어있는 고압 하이드로포밍의 공정과는 달리 본 실험에서는 최종 성형압력을 가하기전에 일정한 내압을 유지시킨 것을 Fig. 5를 통해 알 수 있다.^(4,5)

여기서 일정내압을 150bar 정도로 약 20sec 정도 유지하는데 이 과정은 상형금형이 내려와 관재를 bending하고 동시에 좌, 우의 슬라이더가 조여들면서 narrowing하면서 최종적으로 금형이 완전히 닫히게 되어있다. 이는 기존 공법처럼 초기내압 없이 기계적인 pre-forming을 실시할 경우 관재의 변형이 심하게 되어 결국 성형할 수 없는 지경에 이르기 때문이다.

3. 성형결과 및 고찰

3.1 Hydroforming 성형결과

Fig. 6(a)는 성형된 RAD SUPT의 사진으로 일반적으로 형상은 대부분 성형되었으나 양끝단의 상부면은 완전히 성형되지 않았다. 대부분 파열된 튜브의 90% 이상이 이 부위에서 파열이 되었는데 이는 pre-bending 시 국부적으로 가장 변형이 심한 부위이기 때문으로 사료된다.

Fig. 6(b)와 (c)는 내압을 가하지 않고 pre-bending을 한 경우의 사진으로 성형된 제품과 비교하여 보았을 때 도저히 성형될 수 없을 정도로 심하게 접혀있다. 이 경우 실제적으로도 상부의 제품처럼 매끈한 면으로 성형하는 것은 불가능하다. Fig. 6(d)는 금형 내부에 존재한 칩에 의해 파열된 경우인데 금형에 붙어 있던 작은 칩이 고내압 성형 시 튜브외부에 고착되어 국부적인 변형을 발생하여 마치 notch와 같은 역할을 하고 파열된 것으로 사료되는 바 양산에 있어서는 하이드로포밍 성형 시 금형 내부의 이물질의 유입을 방지해야 할 필요가 있다.

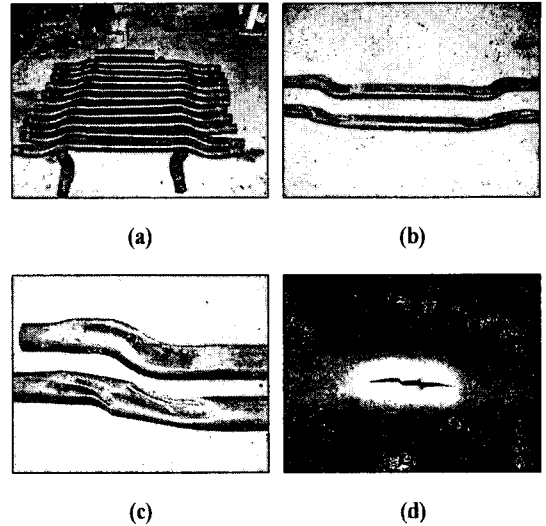


Fig. 6 Hydroformed RAD SUPT MBR

3.2 RAD SUPT MBR 관재의 물성치 변화

하이드로포밍을 한 제품은 외관상의 치수, 소재의 두께 분포 및 특성을 파악할 필요가 있다. 그 이유는 외관상의 결함이 없어야 할뿐 아니라 부품의 역할에 맞는 특성을 가져야하기 때문에 아래의 Table 4와 Fig. 7에 각 공정별 인장특성을 나타내었다.

Table 3 Mechanical properties of each process

Material		Y.S (kgf/mm^2)	T.S (kgf/mm^2)	El. (%)
SA PH 38	SKELP	41.7	32.2	42.8
	After tubing	40.9	35.1	40.2
	After drawing	37.5	29.2	43.7
	After H/F	45.8	44.8	22.0

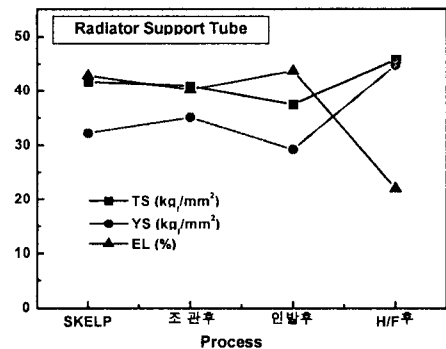


Fig. 7 Changing Mechanical properties RAD SUPT tube

코일 상태에서 조관 및 인발을 한 소재는 비슷한 물성치를 보이는데 이는 각 공정간의 가공을 한 후 가공경화 현상에 의한 연신율의 하락을 방지하기 위하여 어닐링 열처리를 하였기 때문이다. 따라서 좌측에서 하이드로포밍 전, 후의 상태만을 비교해보면 인장강도는 37.5에서 45.8로 약 22.1% 증가하였고, 항복강도는 29.2에서 44.8로 약 53.4% 증가하였으나 연신율은 49.7% 정도로 감소하였다.

이는 가공경화에 의해 강도가 증가한 것으로 하이드로포밍된 RAD SUPT의 경우는 인장강도 48.5kg/mm² 정도의 물성치를 갖게된다. 그러나 이 부품자체가 충돌 흡수능을 가질 필요는 없는 부품으로 인장강도의 증가는 큰 의미를 갖지 못하나 front side member와 같은 부품은 인장강도의 상승량을 근거로 두께를 낮출 수 있는 장점이 있다.

3.3 RAD SUPT MBR의 두께분포

RAD SUPT를 hydroforming한 후 특징적인 부분을 아래의 Fig.과 같이 5등분하여 Fig. 8에 나타내었다. 박판화 현상에 따라 기존 1.0mm를 기준으로 두께 분포는 코너 R부위가 다소 얇았으며 분포는 0.75min~0.9max로 현재 제품의 기능상 큰 문제는 없을 것으로 사료되나 만일 다른 기능성 부품이었다면 문제가 될 가능성도 배제할 수 없으리라 사료된다.

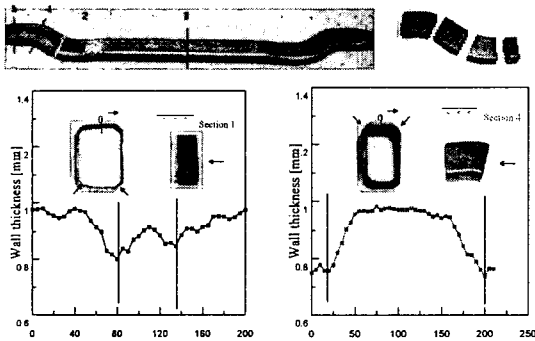


Fig. 8 Cross section thickness distribution of RAD SUPT MBR tube

Fig. 8의 단면 1과 같은 직선 부위는 bending의 영향을 받지 않는 부위로 단면에 의해 성형되기 때문에 두께분포는 매우 양호하였다. 그러나 단면 4의 경우는 벤딩이 가장 심한부위로 두께가 0.75mm 정도로 가장 얇

은 두께 분포를 나타내었다. 또한 벤딩에 의해 소재는 일부 변형되어 실제 하이드로포밍 단계에서는 충분한 연신율을 확보하지 못하였으리라 사료된다. 실제 RAD SUPT의 하이드로포밍에서 파열된 부위도 대부분 이 부위에서 파열이 일어났다.

4. 결론

본 radiator support member의 하이드로포밍 결과를 통하여 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

(1) CNC Bending을 사용할 수 없는 문제를 CAM Slide 공법을 적용하여 해결한 것은 실험적으로 가치는 있으나 양산적용의 개념에서는 적절한 방법은 아니었다.

(2) Radiator Support는 최대 780bar, 최소 420bar의 내압에서도 성형이 되었으며 상관부 접합 시 면이 확보된다면 굳이 높은 Calibration 압력이 필요한 것은 아니라고 여겨진다

(3) 하이드로포밍 후 가공경화 정도는 기존 강도에 비해 22% 정도 향상되었으며 가공경화 정도를 고려하여 소재 두께의 감소 가능성을 확인하였다.

(4) 하이드로포밍 튜브는 lot별로 소재결함이 많이 발견되었으나 어느 공정에서 결함이 발생하였는지는 알 수 없었고 양산을 대비하여 소재에 관한 연구가 활발히 이루어져야 한다고 사료된다.

참고 문헌

- (1) Böhm, A., Nov 3 1998, "Hydroforming", Technical paper of 14th Annual World Tube Congress, Cleveland/Ohio.
- (2) Dohmann, F., Feb 1998, "Hydroforming components for automotive application", The Fabricator, pp. 30~38.
- (3) Leitloff, F. U., August 1999, "The growth of hydroforming in automotive application", The Tube & pipe Journal, pp. 52~55.
- (4) Siegert, K., October 1999, "Hydroforming of Tube, Extrusions and Sheet Metals", International Conference on Hydroforming. Stuttgart, pp. 23~30.
- (5) Lenz, F. J., 1997, "Application of Hydroforming for Body-In-White", IBEC'97, Body Assembly & Manufacturing, pp. 120~128.