

일체화 성형용 레이저 용접 튜브

서 정, 이재훈, 김정오,
이문웅*, 정병훈*

한국기계연구원 레이저응용연구그룹
*(주)성우하이텍 기술연구소

1. 서론

일체화 성형기술은 복잡한 형상의 부품제작을 1회의 공정에 의해 최종형상으로 생산할 수 있는 기술로서 대표적으로 관액압성형(tubular hydroforming)기술을 들 수 있다. 이 기술은 자동차용 부품에 일부 적용되고 있으나, 앞으로 그 적용범위가 크게 증가될 전망이다. 관액압성형의 원재료인 튜브(tube)의 주로 고주파전기저항용접(HF-ERW, high frequency electric resistance welding)으로 제조하여 사용하고 있으며, 주로 자동차 샤시류에 적용되고 있다. 그 예로 engine cradle과 instrumental panel beam 등이 있다.

향후 액압성형에 의한 자동차 부품의 개발을 점차 샤시류에서 차체류로 확대될 전망이다. 박육대경(thin thickness and large diameter)의 튜브가 사용될 것으로 예상된다. 따라서, ERW 방식에만 의존하던 튜브 제조방법으로는 요구되는 조건을 만족시키기엔 충분하지 않다. 더욱이 구조와 기능을 한단계 발전시킨 원추형 튜브(conical tube)와 테일러 튜브(tailored tube) 등을 제조하기 위해서는 기존의 ERW 방식으로는 불가능하며, 이들 복합형상형 튜브를 제조하기 위해서 레이저 용접 튜브 제조는 필수적이라고 할 수 있다. 또한, 프레스공법으로 만들어진 부분품을 용접으로 접합하여 제품으로 조립하는 기존의 공정에 비해 일체화 성형기술은 1회의 단순공정으로 부품 성형함으로써 경량화 및 부품수 감소가 가능하며, 소요 제작비를 동시에 줄일 수 있는 장점이 있다.

따라서, 한국기계연구원 레이저응용시스템 그룹과 (주)성우하이텍 기술연구소는 프론티어 연구개발사업인 “차세대소재성형기술개발사업”의 일환으로 냉간고장력강판(SPFC)의 튜브성형(tubing)기술, 레이저 용접기술 및 일체화 성형기술을 개발하고 있으며, 본 논문

의 내용은 1차년도 연구를 통하여 확보한 연구결과를 중심으로 기술한 것이다.

2. 일체화 성형 부품의 설계 및 튜브 사양 결정

본 연구에서 개발하고자 하는 부품중의 하나는 자동차 범퍼빔이다. 일반적으로 범퍼의 구조는 Fig. 1과 같이 범퍼 커버(bumper cover), 충격흡수재(energy absorber), 범퍼빔(bumper beam), 차체연결부(stay) 등으로 구성되며, 각 부품들은 프레스공법으로 제작된다. 한편, 일체화 성형용 튜브를 사용하게 되면 범퍼의 구조는 Fig. 2와 같이 매우 단순화되며, 부품수의 절감 및 경량화를 추구할 수 있게 된다. 특히, 범퍼빔의 형상은 Fig. 2의 상부그림과 같이 되며, 튜브로 부터 일체화 성형되는 과정을 Fig. 3에서 보여주고 있다.



Fig. 1 Press-formed bumper

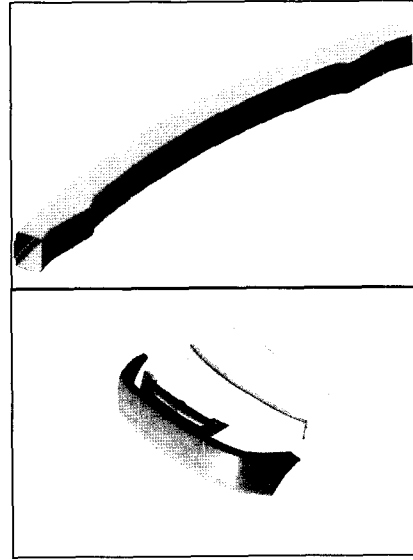


Fig. 2 Hydroformed bumper



Fig. 3 Hydroforming simulation for bumper

범퍼에 대한 기본설계를 바탕으로 Fig. 4와 같은 진자와 범퍼시스템 중심이 닿는 center pendulum 충돌해석을 통하여 범퍼빔의 최적 단면형상을 찾아내고 성능만족 여부를 평가하였다. 충격시 진자에 의한 직접마찰 또는 구성부품들 간의 상호영향을 고려하기 위해서는 내부적으로 여러가지 경계 및 접촉조건이 필요하다. 예를 들어 진자와 범퍼커버와의 표면마찰, 충격흡수재(E/ABS)와 범퍼빔, 그리고 차체와 연결되는 부위의 접촉현상을 감안해 경계조건을 설정하였다. 본 해석은 전체 시스템의 1/2 형상만이 적용되었으므로 중심선에는 y축 방향으로의 이동과 x축, z축을 중심으로한 회전을 모두 구속시켰

다(x축은 전장방향(T), y축은 전폭(L), z축은 전고방향(H)을 의미한다). 또한, 차량중량 1,350 kg을 범퍼시스템 및 진자에 부여하고, 실제 시험속도보다 약간 높은 5.2km/h의 초기속도를 충격 진자의 모든 절점에 적용시켰다. 범퍼빔의 재료는 인장강도 60kgf /mm²급인 냉간 고장력강판이며, 재료특성은 Table 1과 같다. Fig. 5~6는 해석결과를 보여주고 있으며, 본 연구의 범퍼빔 성형에 필요한 튜브는 직경(ϕ) 105.4mm, 두께(t) 1.4mm로 결정되었다.

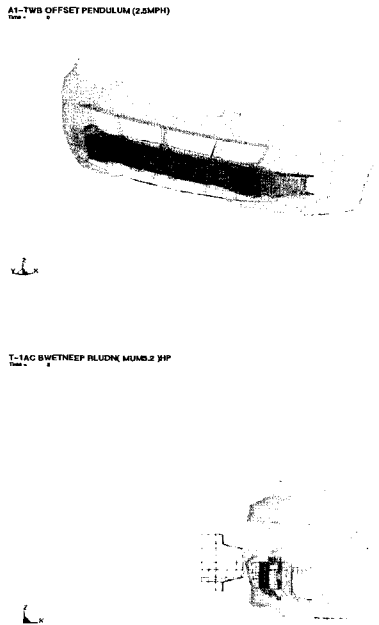


Fig. 4 Bumper system model for impact test

Table 1 Mechanical properties for 60kgf grade steel

specimen		YS	TS	EL	r15%	n10-20%
sheet Dir.		(kgf/mm ²)	(kgf/mm ²)	(%)		
60kgf/mm ² grade steel	RD	46.3	62.8	23.1	0.65	0.168
	45°	44.8	60.5	25.7	1.13	0.168
	90°	46.8	63.2	21.1	0.95	0.163
	mean	45.7	62.1	23.9	0.97	0.167

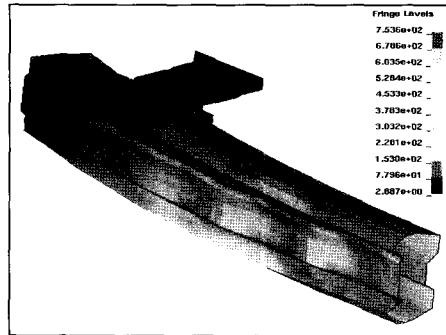


Fig. 5 Calculated results for impacted bumper beam of (ϕ)105.4mm and (t)1.2mm.

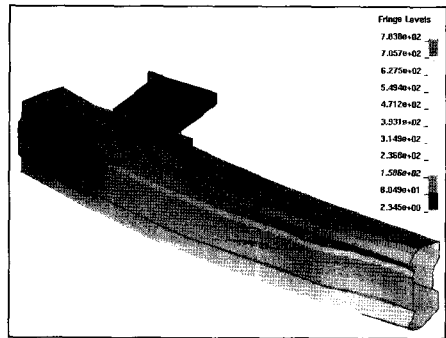


Fig. 6 Calculated results for impacted bumper beam of (ϕ)105.4mm and (t)1.4mm.

3. 레이저 용접 튜브의 제조 공정 연구

3.1 pre-welding (tubing) 공정분석

Fig. 7은 UO-벤딩 금형을 사용하여 1차 성형한후 추가적으로 다단 프레스 공정을 통하여 성형한 ϕ 83mm 두께 1.4mm 길이 2m인 SAPH38 (30 kgf/mm²급) 튜브 샘플을 보여 주고 있다. 성형후 간극은 약 15mm로 레이저 용접에 적합한 수준이나 다단 프레스 공법이 추가됨으로 대량생산에는 불리하며 2m 정도의 튜브를 성형하기 위해서는 약 600~800 ton의 프레스가 필요하였다.

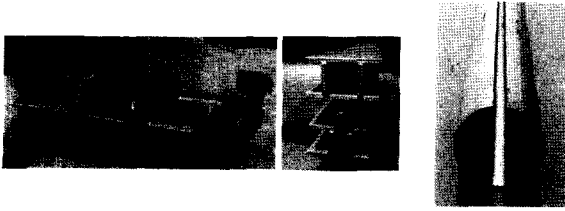


Fig. 7 UO-bending jig and bended tube

Fig. 8은 프레스 벤딩공법(bending on press brake)으로 5회의 프레스싱으로 성형한 ϕ 80mm 두께 1.6mm 길이 1.2m인 튜브샘플을 보여주고 있다. 35kgf/mm²급 튜브는 25~30mm의 간극을 가지나, 60kgf/mm²급 튜브는 스프링 백(spring back)의 영향으로 간극이 55~60mm이며 35kgf/mm²급 튜브에 비해 약 2배 임을 알 수 있다.



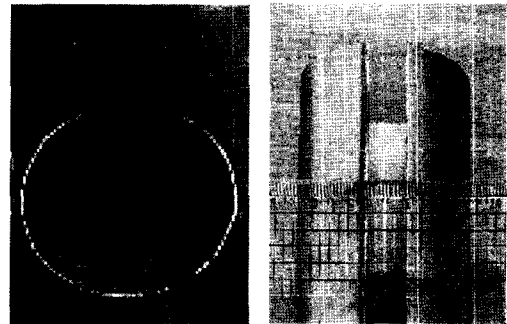
(a) 35kgf/mm² grade



(b) 60kgf/mm² grade

Fig. 8 Press bended tubes

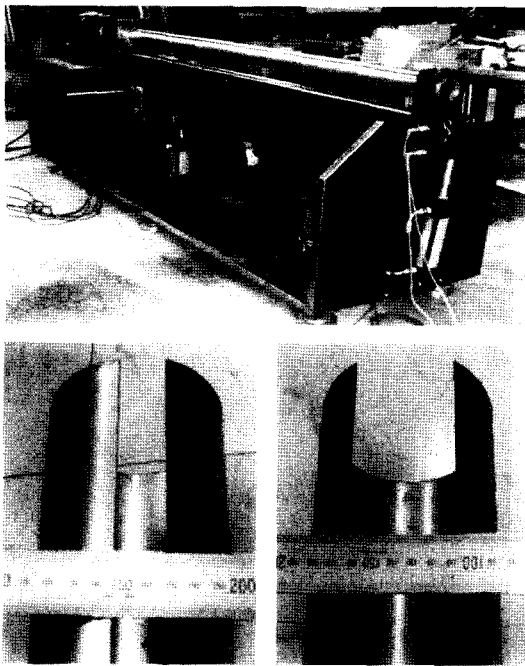
Fig. 9는 다단 롤포밍 방식을 보여주고 있으며, 강관 코일을 사용하여 연속적인 조관 작업이 가능하다. 연속 생산성(동일 두께의 직관형 튜브)에 적합한 다단 롤포밍으로 성형된 ϕ 105.4mm 두께 1.5mm 길이 2m인 60kgf/mm²급 튜브의 간극은 Fig. 8의 press brake 성형결과와 유사한 50mm의 간극을 보이나, 외국의 WEIL사 제품의 간극 20mm보다는 큼을 알 수 있다.



(a) roll formed tube (b) tube of WEIL co.

Fig. 9 Multi-step roll forming system and tubes

Fig. 10은 3 roll bending 장치와 성형된 ϕ 105.4mm 두께 1.5 mm 길이 2m인 튜브를 보여주고 있다. 35kgf/mm²급 튜브는 25mm의 간극을 가지나, 60kgf/mm²급 튜브는 스프링 백으로 간극이 57mm로 큼을 알 수 있다.



(a)35kgf/mm² grade tube (b)60kgf/mm² grade tube

Fig. 10 3 roll bending system and tubes

UO 벤딩, press brake 성형, roll forming, 3 roll bending의 4가지 공법을 이용한 35kgf/mm²급 튜브 성형에서는 25~30mm의 간극을 확보할 수 있었으며, 60kgf/mm²급 튜브 성형에서는 50~60mm의 간극을 얻을 수 있었다. 35kgf/mm²급 튜브성형에서의 25~30mm의 간극은 레이저 용접지그에서 충분히 밀착이 가능한 수준이었으며, 60kgf/mm²급 튜브 성형에서의 50~60mm의 간극은 좀더 축소되어야 할 것이다. 현재 3 roll bending의 경우, 성형률 가공 및 수정을 통하여 60kgf/mm²급 튜브의 간극을 35mm 수준까지 확보하였다.

3.2 welding 조건 분석

성형된 튜브의 간극(용접부)에 대해 4kW 급 CO₂ 레이저 용접을 실시하였다. 보조가스로는 Ar을 사용하였다. Fig. 11은 레이저 용접 장면 및 용접된 튜브를 보여주고 있다.

레이저 용접부의 경도분포는 Fig. 12와 같으며, 외국 제품(WEIL사)과 거의 동등한 경도 분포를 가짐을 알 수 있다.

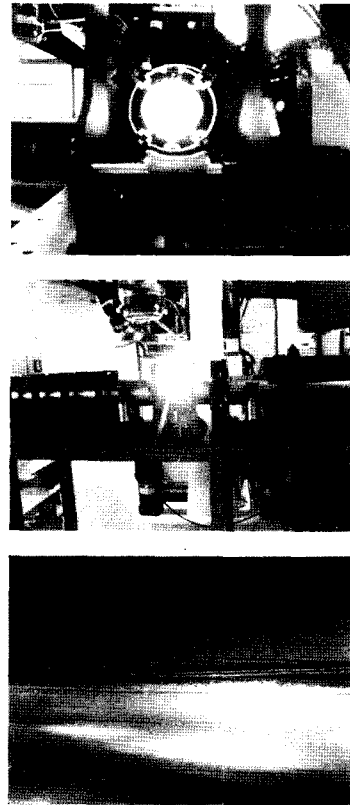


Fig. 11 Laser welding system and welded tube

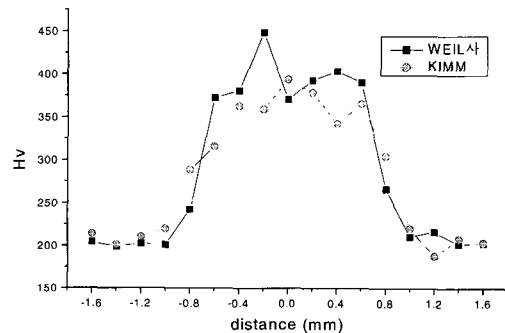


Fig. 12 Hardness distribution

레이저 용접 튜브의 단면 형상은 Fig. 13과 같으며, 조인트부의 대표적인 문제점은 우측형태로 요약될 수 있다. 이러한 조인트 문제점은 성형, 용접지그등에서 극복되어야 하므로 이를 고려한 튜브 성형장치 및 용접지그 설계가 이루어져야 함을 알 수 있다. 본 연구의 레이저 용접 튜브 설비안은 Fig. 14와 같다. 설비에서 용접지그가 롤 포밍장치와 일체화되는 경우, 대량 연속 튜브 제작이 가능하며 일정한 길이로 절단하여 사용하게 된다. 3 roll bending 장치의 경우는 테일러드 블랭크(tailored blank) 튜브와 코니컬(conical) 튜브의 생산에도 사용되어 질 수 있는 장비이다.

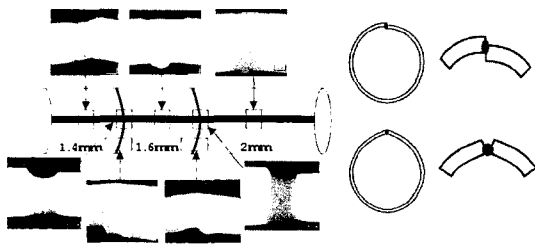


Fig. 13 Laser welded joints

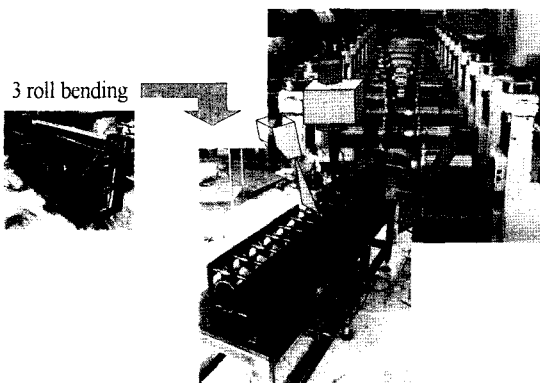


Fig. 14 Tubing and welding system

튜브 조관후 용접 조인트부를 관찰하면 Fig. 15와 같이 틀어지는 현상이 발생하므로 용접부의 정확한 위치를 검출해야 한다. 따라서, Fig. 14에서 보여주는 바와 같이 용접선의 진직도 오차를 검출하여 레이저 용접 헤드를 움직여 용접선을 추적하게 하는 용접선 추적장치가 필요하다. 레이저 용접 구간에서의 용접선은 직선이어야 하지만 소재를 절단할 때 발생하는 절단 오차, 정렬 상태 불량, 조관상태 불량 또는 용접열에 의한 소재 변형등이 있다.

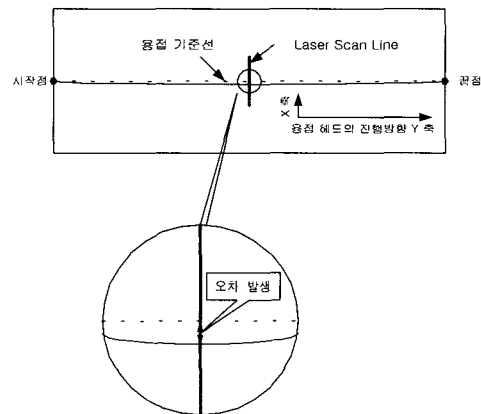


Fig. 15 Deviation of welding line

MEL사 M2D Line Scanner, Meta Vision System 용접선 추적 장치, Servo-Robot사 용접선 추적장치, Trumpf사 용접선 추적장치에 사용되고 있는 비전 센서를 비교분석하였으며, M2D 센서를 활용한 개념도가 Fig. 16에 나타나 있다. Fig. 17은 간이 시험장치를 보여주고 있다. 직선구간의 경우 용접속도 10m/min로 이송시 1m 이동구간에서 기울기 5mm 이내에서는 용접선 추적이 가능함을 알 수 있었다. 또한, MVS 센서를 사용한 용접선 추적기능이 정밀도 면에서 유리하므로 이를 활용한 튜브용접 실험을 계획하고 있다.

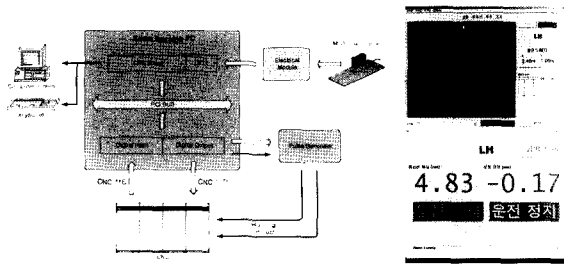


Fig. 16 Schematic diagram for seam tracking

면에서도 상당한 시너지 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

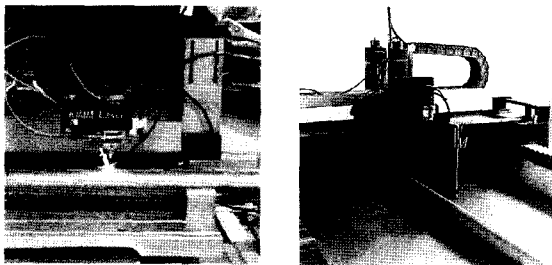


Fig. 17 Experimental device for seam tracking

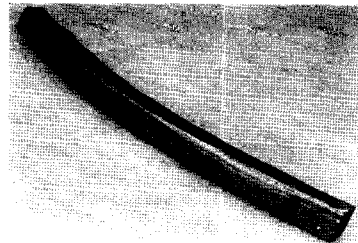
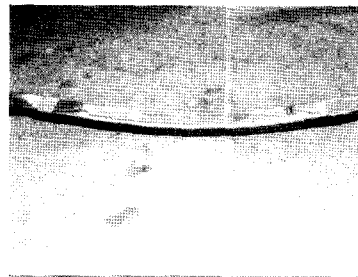
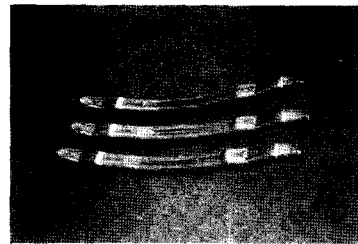


Fig. 18 Hydroformed bumper part

4. 결론

본 연구에서 제작된 레이저 용접 튜브는 하이드로 포밍장치에서 성형되며, 범퍼 제작용 금형을 사용하여 일체화 성형 범퍼를 제작하였다. Fig. 18은 일체화성형 시험 결과 및 일체화성형 범퍼빔 시작품을 보여주고 있다.

기존 양산중인 범퍼빔을 기본 모델로 하여 이와 비교해 보았을 때, 일체화 성형된 범퍼빔은 구조성능이 동등이상이고 경량화가 가능하였다. 즉, 내부 보강부품을 줄여 부품수가 5개에서 1개로 감소했으며, 전체 빔 중량 또한 기존 제품보다 13% 정도 감량되는 효과와 원가적인 측면에 있어서도 약 6%의 절감효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 외형적 요소뿐만 아니라 조립품질 향상 및 생산성 측

참고 문헌

1. 박관흠, 조홍수, "Hydroforming Intensive 고안전 초경량 철강차체", 제9회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.233-241, 2000.
2. 허승진, 정영섭, "초경량 철강차체의 전후방 충돌에너지 흡수부재 최적화 설계", 제7회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.361-366, 2000.
3. 김영석외 3, "관재 액압 성형성 평가기술 개발 II", 제9회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.242-257, 2000.

4. 강혁, 김준수, "Aluminum Space Frame 적용 초경량 차체 개발", 제7회 G7 차세대 자동차기술논문집, pp.367-373, 2000.
5. Brad Kinsey, Zhihong Liu, and Jian Cao, "New Apparatus and Method for Forming Tailor Welded Blanks", SAE, 1999.
6. Brad Kinsey, Nan Song, and Jian Cao, "Analysis of Clamping Mechanism for Tailor Welded Blank Forming", SAE, 1999.
7. 허승진외 3인, "알루미늄 초경량차체의 충격에너지 흡수부재 설계 및 해석(II)", 제8회 G7 차세대자동차기술논문집, pp.295-302, 2001.
8. LSTC, LS-DYNA Keyword User's Manual, 1999.