

# 60kgf/mm<sup>2</sup>급 일체화 성형용 레이저 용접 튜브 제조에 관한 연구

## A study on manufacturing of laser welded tube from 60kgf/mm<sup>2</sup> Grade Steel Sheet for one-body forming

서정\*, 이재훈\*, 김 정오\*, 강 회신\*, 이문용\*\*, 정병훈\*\*

\* 한국기계연구원

\*\* (주)성우하이텍 기술연구소

**ABSTRACT** Optimal processing and system to produce the laser welded tube for one body formed bumper beam are studied. The calculated size of tube is a thickness of 1.4mm, diameter of 105.4mm and length of 2000mm. The tube is shaped from cool rolled high strength steel sheet(tensile strength: 60kgf/mm<sup>2</sup> grade). Two roll bending method is the optimal tube shaping process compared to UO-bending, bending on press brake, multi-step continuous roll forming and 3 roll bending methods. Weld quality monitoring and seam tracking along the butt-joint lengthwise to the tube axis are also studied. The longitudinal butt-joint is welded by the CO<sub>2</sub> laser welding system equipped with a seam tracker and plasma sensor. The constructed CO<sub>2</sub> laser tube welding system can be used for the precision seam tracking and the real-time monitoring of weld quality. Finally, the obtained laser welded tube can be used for one-body formed automobile bumper beam

### 1. 서 론

일체화 성형기술 중 관액압성형 (tubular hydr-  
oforming) 기술은 복잡한 형상의 부품제작을 1  
회의 공정에 의해 최종형상으로 생산할 수 있다.  
이 기술의 소재로 쓰이는 튜브(tube)는 고주파  
전기 저항용접(HF-ERW, high frequency electri-  
c resistance welding)으로 제조되어 engine cra-  
-dle과 instrumental panel beam 등 자동차 샤시  
류에 적용되고 있다.

최근에는 액압성형에 의한 자동차 부품의 개발  
이 점차 샤시류에서 차체류로 확대될 전망이며,  
박육대경(thin thickness and large diameter)의  
튜브가 요구되고 있다. 따라서, ERW 방식에만  
의존하던 튜브 제조방법으로는 요구되는 조건을  
만족시키기에 충분하지 않다. 더욱이 구조와 기  
능을 한단계 발전시킨 원추형 튜브(conical tube)  
와 테일러 튜브(tailor tube) 등을 제조하기 위해  
서는 기존의 ERW 방식으로는 불가능하며, 이들  
복합형상형 튜브를 제조하기 위해서 레이저 용접  
튜브(Laser Welded Tube) 제조는 필수적이라고  
할 수 있다. 또한, 프레스 공법으로 만들어진 부  
분품을 용접으로 접합하여 제품으로 조립하는 기  
존의 공정에 비해 일체화 성형기술은 1회의 단순  
공정으로 부품 성형함으로써 경량화 및 부품수

감소가 가능하며 소요 제작비를 동시에 줄일 수  
있는 장점이 있다.

이상의 장점이 예측되는 자동차 부품으로는 범  
퍼빔이 그 대상이 될 수 있다. 따라서, 본 연구  
는 일체화 성형 자동차 범퍼빔 개발을 위한 기초  
연구로써, 인장강도 60kgf/mm<sup>2</sup> 강판에서 레이저  
용접튜브를 제조하는 기술 및 장치 개발에 중점  
을 두고 용접불량률을 최소화 방안을 마련하고  
자 하였다.

### 2. 튜브 성형장치 구성 및 실험

일반적으로 자동차 범퍼의 구조는 Fig. 1과 같  
이 범퍼 커버(bumper cover), 충격흡수재(energy  
absorber), 범퍼빔(bumper beam), 차체연결부  
(stay) 등으로 구성되며, 각 부품들은 프레스공법  
으로 제작된다. 한편, 일체화 성형용 튜브를 사  
용하게 되면 범퍼의 구조는 Fig. 2와 같이 매우  
단순화되며, 부품수의 절감 및 경량화를 추구할  
수 있게 된다. 특히, 범퍼빔의 형상은 Fig. 2의  
상부 그림과 같이 된다.

범퍼에 대한 기본설계를 바탕으로 center  
pendulum 충돌해석을 통하여 범퍼빔의 최적 단  
면 형상을 찾아내고 성능만족 여부를 평가하였  
다. 범퍼빔의 재료는 인장강도 60kgf/mm<sup>2</sup>급인 냉

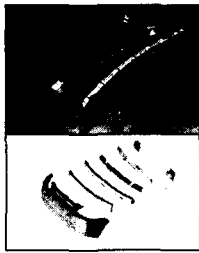


Fig. 1 Press-formed bumper

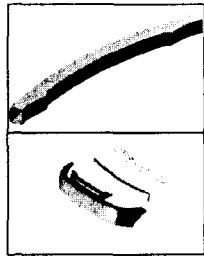


Fig. 2 One-Body formed bumper

간고장력강판이며 본 연구의 범퍼빔 성형에 필요한 레이저 용접 튜브는 직경( $\phi$ ) 105.4mm, 두께( $t$ ) 1.4mm, 길이( $l$ ) 2000mm로 결정되었다.

튜브 형상으로 성형하는 공정에는 UO-벤딩, 프레스 절곡(bending on press brake), 연속 롤포밍, 3 또는 2 roll 벤딩 등이 있다. 레이저 용접시 성형된 튜브 형상이 매우 중요하며 레이저 용접 품질을 결정하는 중요한 변수중 하나이다.

UO 벤딩, press brake 성형, 다단 연속롤 포밍, 3 roll bending 공법에서 35kgf/mm<sup>2</sup>급 튜브 성형에서는 최소 15mm의 간극을 확보할 수 있었으며, 60kgf/mm<sup>2</sup>급 튜브 성형에서는 최소 50mm의 간극을 얻을 수 있었다. 성형 간극을 축소시키기 위해 3 roll 벤딩 장치를 수정한 Fig. 3과 같이 2 roll 벤딩 공법을 개발하였다.

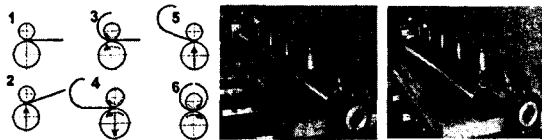


Fig. 3 2 roll bending process

2 roll 벤딩을 포함한 여러 성형 공법으로 성형한 튜브의 간극의 크기를 Table 1에 정리하였다. 본 연구의 60kgf/mm<sup>2</sup>급 튜브의 맞대기 조인트가 레이저 용접에 적합하기 위해서는 간극이 200 $\mu$ m 이내로 유지되어야 하므로 고강성을 갖고 회전하는 롤러에 의해 맞대기 조인트부가 강력하게 맞

material	process	gap (mm)	tube shape by 2 roll bending
60kgf/mm <sup>2</sup>	continuous roll forming	50-65	
	press brake	55-60	
	3 roll bending	57	
	2 roll bending	45	
35kgf/mm <sup>2</sup>	UO bending	15	
	press brake	25-30	
	3 roll bending	25	
	2 roll bending	14	

대어 지도록 하는 용접지그를 제작하여야 한다.

한편, 2 roll 간이 장치에서의 결과를 토대로 2 roll 정밀 벤딩장치를 설계하였다.

### 3. 레이저 용접시스템의 구성

레이저 용접을 실시하는 튜브 단면의 정형화 및 길이 방향의 맞대기(butt) 조인트의 진직도가 매우 중요하다. CO<sub>2</sub> 레이저를 사용하는 경우 레이저 빔의 초점 위치와 용접선과의 오차가 200 $\mu$ m 이내로 유지되어야 양호한 용접결과를 얻을 수 있기 때문이다. 길이 방향의 판재 절단 정밀도, 고강도 및 박육대경 등에 의한 난성형성으로 맞대기 조인트부가 일직선이 아닌 약간 틀어진 경우도 있으며, 용접중에는 열에 의해 변형하는 경우도 있다. 따라서, 이러한 조인트 문제점을 극복할 수 있는 튜브 성형장치 및 용접장치의 개발이 필요하다.

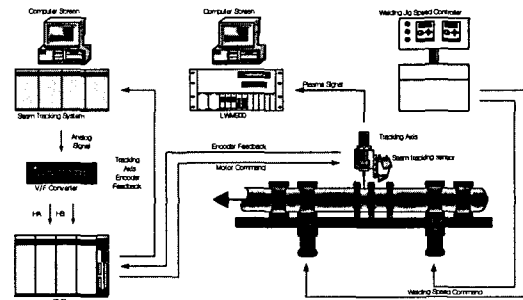


Fig. 4 Schematic diagram for construction and control

튜브의 맞대기 용접 조인트부를 레이저 용접하기 위한 장치의 구성 및 제어를 위한 개략도는 Fig. 4와 같다. 용접지그의 회전롤러에 의해 튜브 소재가 이동하면서 용접 작업이 이루어진다. 용접 지그에 투입되는 튜브형 소재의 용접 위치가 정확하게 레이저빔과 일치하지 않는 경우가 발생하므로 이를 보상하기 위해 용접선 추적 센서가 용접 헤드에 장착되었다. 또한, 용접중 용접 품질을 모니터링하기 위해 레이저 파장대에 적합한 용접 품질 검사 장치인 UV 플라즈마 센

Table 2 Experimental condition

welding distance	1600mm	
welding speed	2000mm/min	
CO <sub>2</sub> laser power	2.8kW	
shielding gas	Ar(30 l/min)	
distance from laser beam and laser vision sensor	110mm	
sampling frequency	60Hz	
plasma sensor	distance	180mm
	angle	57°

서를 사용하여 플라즈마 세기(Plasma intensity)를 측정하였다. 이상의 튜브 레이저 용접 및 모니터링 조건은 Table 2와 같다.

#### 4. 용접 실험 결과 및 고찰

튜브 소재를 용접 지그에 투입하여 이동시키면 소재가 진행 방향에 대해 용접선이 약간 회전하는 경우가 발생하였다. 이러한 경우, 레이저빔과 용접선의 위치가 Fig. 5과 같이 일치하지 않게 되어 용접이 되지 않는다. 용접선 위치 보상 기능을 작동시킨 후에는 Fig. 6에서 알 수 있듯이 레이저빔 위치와 용접선 위치가 잘 일치함을 알 수 있다. 약간의 오차가 있는 것은 motion loop의 응답성과 관련이 있으며 레이저빔의 직경과 비교해 보면 무시할 수 있는 오차이다.

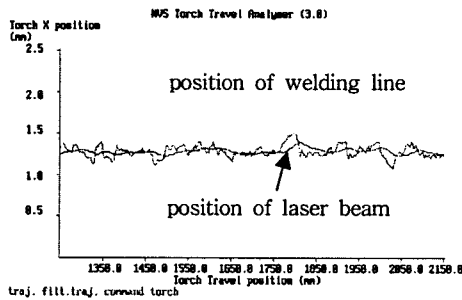


Fig. 5 Deviation of laser beam and welding line

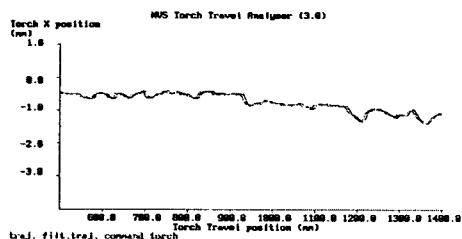


Fig. 6 Seam tracked welding line

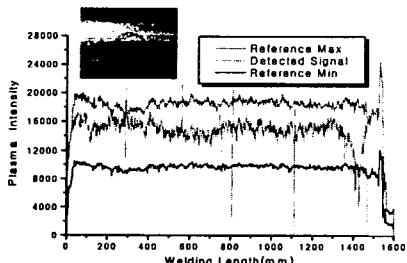


Fig. 7 Plasma intensity variation at 5 hole defects

용접불량시 플라즈마 강도 변화를 측정하기 위하여 튜브의 맞대기 조인트상에 약 250mm 간격으로 5개의 인위적인 홀(직경<1mm) 결함을 형성시켜 용접을 실시하였으며, 그 결과 플라즈마 신호는 Fig. 7과 같이 나타났다. 홀이 있는 위치에서 플라즈마 신호가 5번 급격하게 변화하는 것



Fig. 8 Laser welded tube with good welding quality

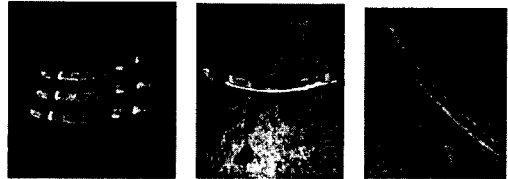


Fig. 9 One-body formed bumper beam

을 볼 수 있으며 이는 용접이 제대로 되지 않아 플라즈마가 단락됨으로써 나타나는 것으로 용접 결함부를 의미한다.

용접선 추적 기능 및 플라즈마 센서를 작동시키면서 레이저 용접을 수행하는 장면을 Fig. 8에서 보여주고 있으며, 용접된 튜브에서 용접부의 단면을 광학현미경으로 조사한 결과 매우 양호함을 알 수 있었다.

본 연구에서 제작된 레이저 용접 튜브는 하이드로 포밍장치에서 성형되며, 범퍼 제작용 금형을 사용하여 일체화 성형 범퍼를 제작하였다. Fig. 9는 일체화성형 범퍼빔 시작품을 보여주고 있다. 기존 양산중인 범퍼빔을 기본 모델로 하여 이와 비교해 보았을 때, 일체화 성형된 범퍼빔은 구조능력이 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 측면에서도 상당한 시너지 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 일체화 성형 범퍼빔 개발을 위하여 인장강도 60kgf/mm<sup>2</sup>급 강판에서 레이저 용접 튜브를 제조하는 기술 및 장치개발에 중점을 두었으며, 레이저 용접 튜브는 자동차용 일체화 성형부품용 원재료로 사용될 수 있음을 제시하였고 용접 불량을 최소화하기 위한 자료를 확보하고자 하였다.