

기술 논문

## 레이저용접을 이용한 친환경 알루미늄 Fuel Filler Neck 개발

이병진<sup>+</sup>, 정상영<sup>+</sup>, 황현태<sup>+</sup>, 정학순<sup>++</sup>, 최흥원<sup>\*</sup>

(논문접수일 2010. 10. 27, 수정일 2011. 02. 14, 심사완료일 2011. 03. 14)

### Development of eco-environmental Aluminium Fuel Filler Neck using Laser welding

Byung-Jin Lee<sup>+</sup>, Sang-Yeong Jeong<sup>+</sup>, Hyun-Tae Hwang<sup>+</sup>, Hak-Soon Jeong<sup>++</sup>, Hung-Won Choi<sup>\*</sup>

#### Abstract

Nowadays, the automobile manufactures make a great efforts to reduce manufacturing cost, body weight and to develop eco-environmental parts in order to be more competitive and solve global warming. For these reasons, materials of automobile's parts are changed over from general carbon steel and stainless steel to plastic and Aluminum. And, laser welding technology is introduced to apply welding between aluminum parts. In this paper, the data of laser welding parameters is collected through lots of the experiment according to the material, welding speed and laser power to apply laser welding in Aluminum fuel filler neck assembly.

After manufacturing prototype of aluminum fuel filler neck, vibration durability test, tensile strength test and salt water test are applied to verify product's satisfied function.

**Key Words :** Laser welding(레이저 용접), Aluminum Fuel filler neck(알루미늄 연료 공급관), Eco-environmental manufacturing technology(친환경 제조기술).

## 1. 서론

오늘날 자동차 부품 제조업에서는 친환경 부품들을 설계하고 이를 효과적으로 생산하는 것이 가장 중요한 이슈로 떠오르고 있다<sup>(1~4)</sup>. 이를 위해서는 무엇보다도 차체 중량의 감소를 통한 연비절감과 유해한 제조공정의 제거뿐만 아니라 폐차 후 신속한 부품의 분리 및 회수하는 것이 중요하다.

Fuel filler neck은 연료 주입시 연료 건과 연료탱크사이를 연결해 주는 자동차부품이다. 일반적으로 자동차 연료는 휘발

성이 강하고 폭발성이 있기 때문에 장기간 사용이나 자동차 전복시 연료가 유출되지 않도록 제작되어야 하는 중요 부품이다.

현재 국내외에서 생산되는 대부분의 fuel filler neck은 탄소강, 스테인리스 또는 플라스틱으로 제작되고 있다. 일반 탄소강의 경우에는 양호한 내구성을 가지는 반면에 경량화 효과가 없을 뿐만 아니라 내식성을 향상시키기 위해서는 아연도금 및 PVC 도장공정이 추가되어진다. 도장 공정제거를 위하여 내식성이 우수한 스테인리스를 사용하는 경우에는 소재비용증가에 따른 원가의 상승이 불가피해진다. 경량화 효과가 우수한

<sup>+</sup> (재)울산테크노파크

<sup>++</sup> (주)영광 피.엠.에스

<sup>\*</sup> 교신저자, 울산테크노파크 (kuma2008@utp.or.kr)

주소: 681-802 울산광역시 중구 다운동 421

플라스틱의 경우에는 저온 취성에 의한 파손우려와 휘발가스의 누설가능성이 있다. 이를 방지하기 위해서 고강도 플라스틱을 사용할 경우에는 역시 원가의 상승을 피할 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 비교적 강도가 높은 알루미늄 A3003을 이용하여 fuel filler neck을 제작하였다. 알루미늄으로 제작할 경우 기존의 탄소강에 비하여 중량이 감소되고, 아노다이징 처리를 통하여 미려한 외관뿐만 아니라 부식 방지를 위한 도금이나 코팅의 공정이 줄어든다<sup>(5)</sup>. 이로써 제품을 제작할 때 사용되는 아연이나 크롬도금 등과 같은 유해 공정들이 사라질 뿐만 아니라 폐기 후 회수공정도 간단해 지면서 회수를 또한 높아지게 된다.

하지만 알루미늄의 경우에는 높은 전도와 열전도로 인하여 산화성으로 인하여 기존의 아크용접과 같은 용접 방식이 잘 적용되지 않거나 많은 불량을 야기하게 된다. 그러한 이유로 본 논문에서는 레이저용접기술을 도입하고자 하였다. 레이저 용접은 우수한 접근성, 빠른 용접속도, 높은 인장강도 및 우수한 용접 품질을 가지고 있어서 자동차 부품 제조업체에서는 레이저용접 기술개발 및 적용이 시도되고 있다<sup>(6)</sup>.

본 논문에서는 기존의 탄소강 fuel filler neck 도면을 기반으로 제품을 설계하였고, 이를 기반으로 알루미늄 시작품의 각 부품들을 제작하였다. 레이저용접을 이용하여 부품을 조립하기 위해서 부품의 형상정보를 파악하고, 참고문헌<sup>(7-8)</sup> 및 실험을 통하여 최적의 용접변수를 생성하였다(Fig. 1).

레이저 용접 공법을 적용하여 조립함으로써 불량을 대폭 저감시키는 한편 기존 제품보다 원가가 절감된 초경량, 친환경 fuel filler neck의 시작품을 제작하였다. 또한, 진동내구시험, 인장강도시험 및 염수분무시험을 통하여 알루미늄 fuel filler neck 제품의 현장 적용성을 평가하였고, 그 결과 현장에서 요구되는 충분한 결과 값을 가지는 것으로 나타났다.

## 2. 레이저용접 적용을 위한 최적 용접조건 선정

레이저용접을 효과적으로 수행하기 위해서는 용접에 영향

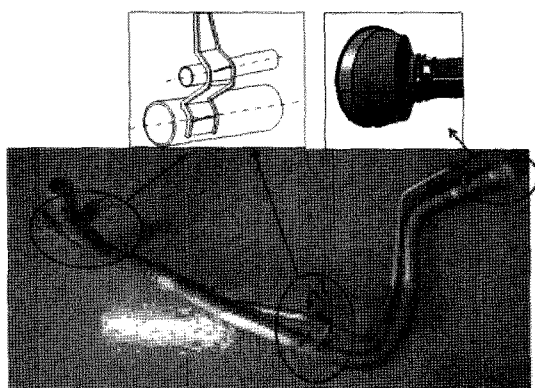


Fig. 1 Structure and welding area of fuel filler neck

을 미치는 영향요소들을 충분히 고려하여 공정계획을 수립하여야 한다. 일반적으로 레이저용접에 영향을 미치는 인자로는 소재의 재질과 두께와 같은 형상인자와 레이저 출력, 용접 속도, 분위기 가스의 투입량 등과 같은 공정변수가 결정되어야 한다.

### 2.1 Fuel filler neck 제작 소재 선정

Fuel filler neck의 부품 중 main pipe, sub pipe, cap은 형상이 깊고 굴곡이 커 소재가 충분한 연신율을 가지고 있지 않으면 성형시 불량률이 많이 발생하는 부품들이다. 외형설계는 기본 탄소강과 동일한 구조로 설계하였다. 다만, 알루미늄이 일반 탄소강보다 낮은 연신율과 강도를 가지고 있기 때문에 기존 굽힘 용력 실험을 기반으로 main pipe, sub pipe의 두께를 1.0t에서 1.2t로 변경하였다. 또한, Al에 합금원소인 Mn 1.0~1.5%정도 첨가함으로써 성형성과 내식성은 순수 알루미늄과 동등하면서 강도가 높은 재료인 A3003을 소재로 선정하였다(Table 1). A3003은 용접성이 양호할 뿐만 아니라 냉간가공에 의하여 다양한 성질을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.

### 2.2 형상인자 파악 및 시험편 제작

Fuel filler neck의 조립을 위한 최적의 레이저 용접조건을 선정하기 위해서 시험편 실험을 수행하였다. 실제로 용접이 이루어지는 용접 부위인 브라켓과 파이프부의 두께는 각각 2.0mm와 1.2mm이고 두 개의 소재가 서로 겹치기용접으로 수행된다. 이런 조건들을 고려하여 용접시험편은 50mm(w)×150mm(l)×1.2mm(t)과 50mm(w)×150mm(l)×2.0mm(t)의 크기로 채단하여 실험에 적용하였다. 단면관찰용 시험편은 재현성을 확보하기 위해 비드가 안정적으로 얻어지는 부분인 시험편 75mm 중간 부위를 채취하여 용접부에서 계측된 물성치 값을 구하고자 하였다(Fig. 2).

Table 1 Chemical composition of A3003

Element	Mn	Fe	Mg	Cu	Si	Zn	Ti	Al
Material								
A3003	1.0	0.55	0.33	0.13	0.10	0.005	0.02	Bal.

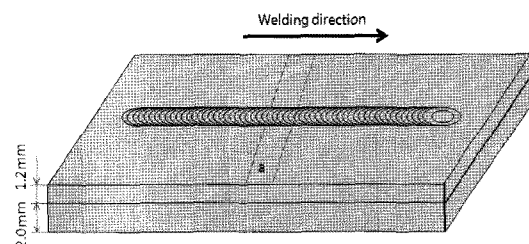


Fig. 2 Configuration of test specimen and analysis area

## 2.3 레이저용접 실험을 위한 장치 구성

레이저용접 실험을 수행하기 위해서 사용된 레이저 용접장비는 최대출력 4.0kW의 CW(Continuous Wave: 연속발진) 다이오드 레이저로 900~1,030nm의 파장대를 가지고 있다. 다이오드 레이저의 빔 품질은 40mm-mrad이며, 용접 접근성과 자유도를 증가시키기 위해서 용접 광학계를 6축 외팔보 로봇에 장착하여 용접출력과 속력을 변화시켜가며 실험을 실시하였다. 용접용 광학계의 작동거리는 150mm이며, 레이저빔은 400μm 크기의 Fiber로 전송하였다(Fig. 3). 또한 부위기가스로는 아르곤가스가 사용되었으며, 이때 분위기 가스유량은 용접 조건에 따라 변경하면서 실험을 수행하였다(Table 2).

## 2.4 용접출력에 따른 특성

용접 출력에 따른 특성을 알아보기 위하여 동일한 용접속도를 대상으로 출력량을 변화시킴으로써 용접을 수행하였다. 출력량이 3.5kW, 3.0kW인 샘플에 대하여 각각 단면을 절단하여 용접부, 열영향부, 모재에 대해 각각의 경도를 측정하고 그 추이를 관찰하였다(Fig. 4). 측정된 경도 값의 그래프를 분석한 결과 열영향부가 용접부보다 더 높은 경도 값을 가지는 것으로 나타났다.

일반적으로 A3003의 경우에는 용접 출력이 높을수록 충분

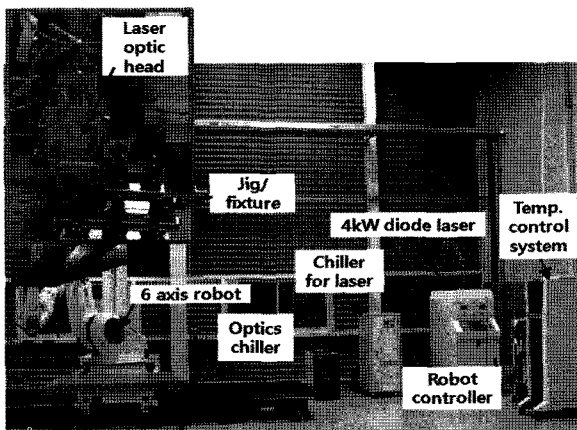


Fig. 3. Laser welding system for test

Table 2 Welding parameters for experiments

Fixed parameter	3.0 kW	3.5 kW	3.5 kW 3 m/min
NO. (Variable parameter)			
[ 1 ]	2 m/min	2 m/min	0.5 kgf/cm <sup>2</sup>
[ 2 ]	3 m/min	3 m/min	1.0 kgf/cm <sup>2</sup>
[ 3 ]			1.5 kgf/cm <sup>2</sup>
[ 4 ]			2.0 kgf/cm <sup>2</sup>
[ 5 ]			2.5 kgf/cm <sup>2</sup>

한 열 공급을 받을 수 있어서 용접부의 경도가 커지는 것으로 알려져 있다. Fig. 4에서 3.0kW에서의 경도 값이 3.5kW의 값보다 큰 이유는 불충분한 열 공급량에 의하여 레이저가 용재를 충분히 투과하지 못했기 때문으로 사료된다. 즉, 3.0kW인 경우에는 백비드가 생성되지 않았다.

## 2.5 용접속도에 따른 특성

용접 속도에 따른 특성을 알아보기 위하여 용접 출력량을 고정하고, 용접 속도를 2m/min, 3m/min 등으로 변화를 시키면서 용접을 수행하였다. 용접 속도를 달리한 샘플에 대하여 각각 단면을 절단하여 용접부, 열영향부, 모재에 대해 각각의 경도를 측정하고, 그 추이를 관찰하였다(Fig. 5). 경도 값을 측정 한 후 그래프화 한 결과, 용접출력 때와 같이 열영향부가 용접부보다 더 높은 경도 값을 가지는 것으로 나타났다. 또한 3kW의 출력량을 인가하여 2m/min의 속도로 용접을 실시한 샘플에서 경도 값이 유난히 낮은 부분을 확인 수 있었는데, 이는 용접부 내부에 완전 용융되지 않은 물질 또는 기공들로 인

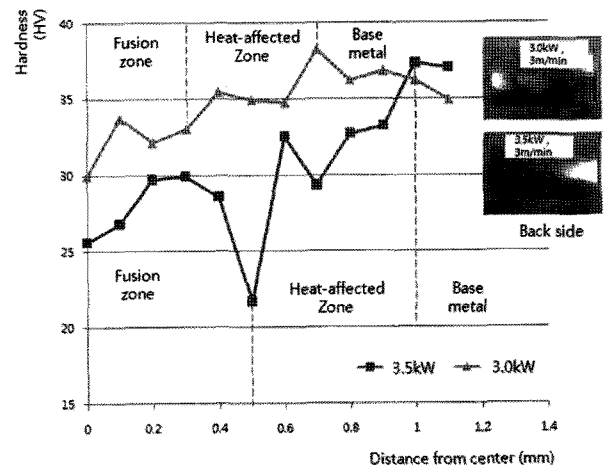


Fig. 4. Result of hardness test at same speed(3m/min)

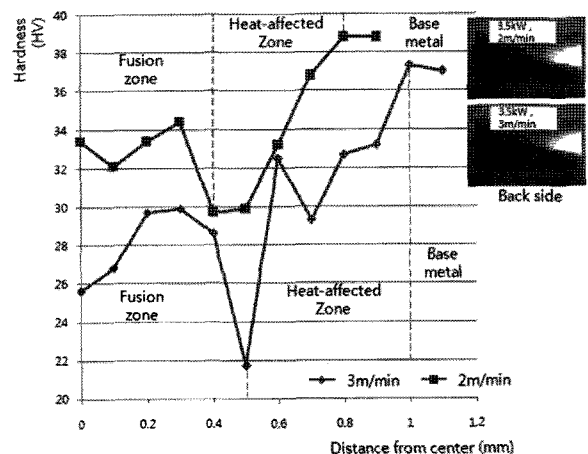


Fig. 5. Result of hardness test at same laser power(3.5kW)

해 정도 값이 일정한 경향을 갖지 않는 것으로 사료된다. 저출력 및 고출력에서 용접을 실시한 결과, 전체적인 경향은 용접 속도가 느릴수록 열 공급이 충분하여 용접부의 정도가 높게 나타났다. 또한, 용접 속도를 고정한 실험에서와 같이 용접부가 다른 부위에 비해 낮은 정도 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

## 2.6 분위기 가스에 따른 특성

용접부가 기공을 포함하고 있는 것이 용접부 정도 저하의 원인이므로 이를 방지하기 위해서 아르곤(Ar)가스를 분위기 가스로 사용하였다. 분위기 가스량에 따른 용접 상태를 확인하기 위하여 용접 비드가 양호하게 생성되는 용접출력 3.5kW, 용접속도 3m/min의 조건으로 용접을 실시하고, 분위기 가스량을 0~2.5kgf/cm<sup>2</sup>으로 각각 0.5kgf/cm<sup>2</sup>씩 변화를 주어 샘플을 제작하여 분석을 실시하였다. 용접된 시편들은 산업용 단층촬영기를 이용한 defect analysis를 통하여 각 기공 및 결함을 컬러화하여 나타냈었다. 기공률 측정결과, 0.5kgf/cm<sup>2</sup>에서는 0.33%, 1.0kgf/cm<sup>2</sup>에서는 0.30%, 1.5kgf/cm<sup>2</sup>에서는 0.22%, 2.5kgf/cm<sup>2</sup>에서는 0.20%이었다(Fig. 6). 그러므로 2.5kgf/cm<sup>2</sup>의 가스를 주입한 경우가 훨씬 용용이 잘되어 기공 또는 결함이 적은 것으로 나타났다. 즉, 가스의 양이 충분히 공급되는 경우에 용접부의 상태가 양호한 것을 확인 할 수 있었다.

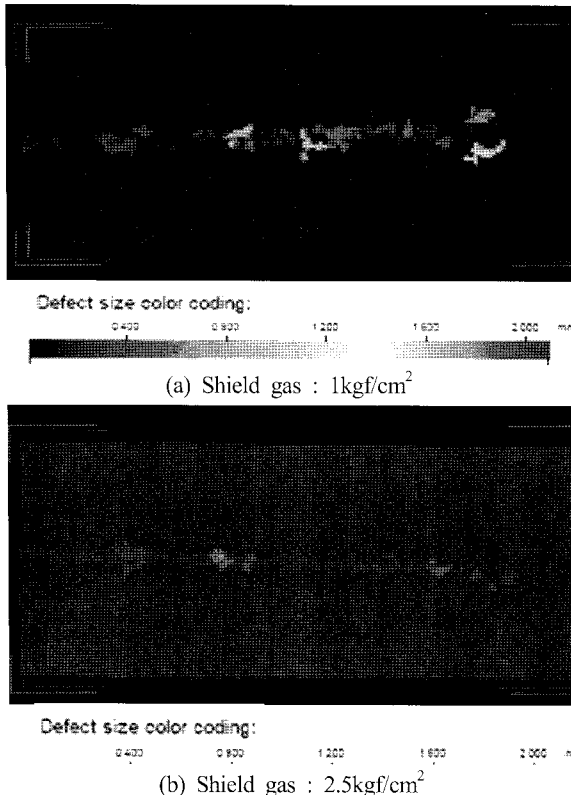


Fig. 6. Result of hardness test at 3.5kW and 3m/min

## 3. 시작품 성능 평가

### 3.1 진동내구성 실험 및 평가

레이저용접을 통해 제작 및 조립된 시제품은 진동내구시험을 통해 용접 강도를 평가하였다. 진동내구 성능평가 시험은 자체 제작한 가진 내구 평가시스템을 토대로 국제 시험규격 MIL-STD-810F에 따라 시험을 진행하였다(Fig. 7).

진동내구시험 기준 데이터로는 일본 닛산자동차 연료시스템 시험조건(NES; Nissan Engineering Standard)을 적용하였다(Table 3). 먼저 각 시험조건에 시험순번으로 시험을 진행하였고, 각각의 시험은 시험 측정오차를 고려하여 각 시험 조건마다 3회씩 평가한 후 평균값을 나타내었다. 그리고 (1)번 시험은 일본의 닛산자동차 NES 시험 조건으로 제품을 각 축 방향으로 평가하였고, (2)번 시험은 가속내구 한계를 적용해 X(좌우)축, Y(전후)축 및 Z(상하)축 방향으로 각 시작품을 평가하였다.

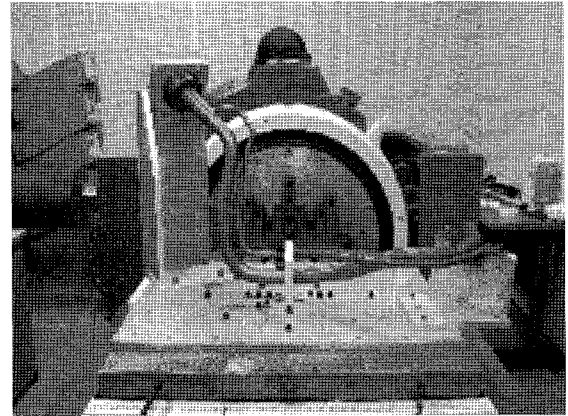


Fig. 7 Experimental equipment for vibration durability test

Table 3 Experimental conditions for vibration durability test

No.	Frequency	Method	Force	Contents
[1]	15Hz	Dwell	$\pm 19.6\text{m/s}^2$ [2gn(G)] (X-Axial Direction)	※ #1: NES Spec. - X-direction: 300,000 cycles
	15Hz	Dwell	$\pm 19.6\text{m/s}^2$ [2gn(G)] (Y-Axial Direction)	- Y-direction: 150,000 cycles
	15Hz	Dwell	$\pm 24.5\text{m/s}^2$ [2.5gn(G)] (Z-Axial Direction)	- Z-direction: 800,000 cycle
[2]	15Hz	Dwell	$\pm 39.2\text{m/s}^2$ [4gn(G)] (X-Axial Direction)	※ #2: Accelerating Spec. - X-direction: 600,000 cycles
	15Hz	Dwell	$\pm 39.2\text{m/s}^2$ [4gn(G)] (Y-Axial Direction)	- Y-direction: 300,000 cycles
	15Hz	Dwell	$\pm 49.0\text{m/s}^2$ [5gn(G)] (Z-Axial Direction)	- Z-direction: 1,600,000 cycles

진동내구 성능평가에서는 모든 축 방향에서 제품의 파손, 균열, 변형, 비틀림, 잔금 및 체결부 풀림현상 등의 품질 문제는 발생되지 않았다. 그리고 NES 성능수준 2배의 수준으로 적용한 가속내구시험에서도 진동내구 성능수준을 충분히 만족하는 것으로 나타났다(Table 4). 또한 내구성시험에 대한 진동 파라미터역시 진동 전달 응답특성과 같은 값으로 나타났다. 따라서 실제 완성차량에 적용하여도 진동내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

### 3.2 인장강도 실험 및 평가

본 논문에서 제작한 시제품이 적절한 강도를 가지는지 확인하기 위하여 인장강도시험을 수행하였다. 최대 정적 스트로크  $\pm 125\text{mm}$ 와 최대하중 2.5톤의 인장강도시험기를 이용하였으며, 차량용 알루미늄 fuel filler neck을 인장강도 시험에 적합하도록 절단하여 평가하였다. Fig. 8은 전체적인 시험장치도를 나타낸 것이다.

레이저 용접 각 방향별(Direction #1 & #2)로 인장시험하중 속도를  $18\text{mm/min}$ 으로 시험을 수행하였고, 각각의 시험은 시험 오차를 고려하여 각 3회씩 시험한 후 평균값을 나타내었다. 적용된 레이저 용접조건은 양호한 용접품질 확보가 가능한  $3.5\text{kW}$ 의 레이저 출력과  $3\text{m/min}$ 의 용접속도 및  $2.5\text{kgf/cm}^2$

분위기가스 압력을 사용하였다.

시작품에 대한 인장강도 시험평가 기준으로는 현재 일본 닛산자동차의 스테인리스 강 시험 데이터와 비교하였다. 닛산자동차에서는 스테인리스 강 대비 최대 전단 인장강도가  $1.47\text{kN}$  이상이면 성능 및 품질수준을 만족하는 것으로 판정하고 있다. 따라서 본 인장강도 시험을 통해 나타난 결과로 볼 때, 레이저 용접방법은 기준 성능 및 품질수준을 충분히 만족하는 것으로 나타났다(Fig. 9). 그러므로 실제 완성차량에 적용하여도 인장강도 성능에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

### 3.3 염수분무 실험 및 평가

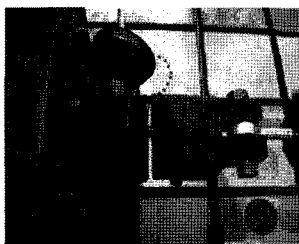
일반적으로 알루미늄의 경우에는 부식방지를 위해서 표면에 아노다이징 처리를 수행한다. 본 시험에서는 중성염수분무를 통한 알루미늄의 양극산화피막의 내식성을 비교하고자 진행한 시험으로 한국공업규격상의 염수분무시험규정인 KS D 9502:2009 중 중성염수분무시험법을 기준으로 진행하였다.

$20\mu\text{m}$  두께로 아노다이징 처리가 된 알루미늄 시작품을 대상으로 주유기 도입부, 연료주입구 고정쇠 용접부, 연료탱크 연결부분의 3부분으로 나누어 각각을 절단하여 사용하였다. 절단된 시편의 절단면은 알루미늄 모재가 드러나는 관계로 스크린 잉크를 사용하여 마스킹처리를 하였다. Fig. 10은 중성염수분무시험을 위한 장치와 시험편 조건을 나타낸 것이다.

분무시간 10분, 휴지시간 10분을 1 cycle로 구성하여 시간당 3cycle 진행하였으며, 전체 분무시험시간이 1500시간(4500

Table 4 Results of vibration durability test

No.	Experiment conditions	Acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	Velocity [m/s]	Displacement [mm]
[1]	$\pm 19.6\text{m/s}^2$ [2gn(G)] (X-Axial Direction)	19.5988	0.20795	4.4130
	$\pm 19.6\text{m/s}^2$ [2gn(G)] (Y-Axial Direction)	19.5925	0.20789	4.4116
	$\pm 24.5\text{m/s}^2$ [2.5gn(G)] (Z-Axial Direction)	24.5014	0.25997	5.5169
[2]	$\pm 39.2\text{m/s}^2$ [4gn(G)] (X-Axial Direction)	39.1922	0.41585	8.8248
	$\pm 39.2\text{m/s}^2$ [4gn(G)] (Y-Axial Direction)	39.1993	0.41592	8.8263
	$\pm 49.0\text{m/s}^2$ [5gn(G)] (Z-Axial Direction)	48.9875	0.51978	11.0303



(a) direction #1



(b) direction #2

Fig. 8 Experimental equipment for tensile strength test

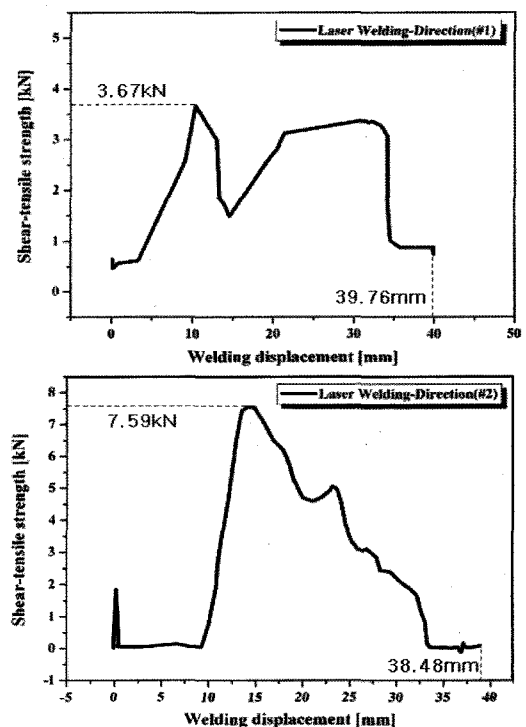


Fig. 9 Results of tensile strength test

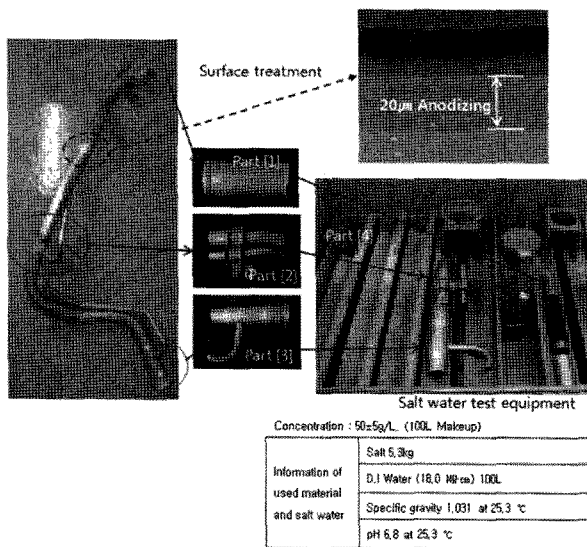


Fig. 10 Experimental conditions for salt water test

Table 5 Results of salt water test

	Part [1]	Part [2]	Part[3]	Comparative part (Steel) [4]
Before	29.25g	98.33g	81.70g	72.67g
After	29.23g	98.30g	81.64g	71.06g
Change	0.02g	0.03g	0.06g	1.61g
Ratio	0.068%	0.031%	0.073%	2.215%

cycle) 이상 지난 이후 부식상태를 조사하였다(Table 5).

연수분무 측정 결과 기존의 스틸 강판의 경우에는 2.215%의 중량감소를 보인 반면에 아노다이징 처리가 된 시편의 경우에는 0.031~0.073%의 중량감소를 보여 부식은 큰 문제가 되지 않는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 기존의 Filler Neck 제작 시에 발생하는 다량의 불량 발생, 난해한 용접 작업, 비용 상승, 바이오연료 대응 등의 문제들을 해결하기 위하여 재질을 알루미늄으로 변경하고 레이저 용접 공법을 적용하여 조립함으로써 불량을 대폭 저감시키는 한편 기존 제품보다 원가가 절감된 초경량(2.4kg → 0.74kg), 재생율이 향상된(90% → 100%) 친환경 fuel filler neck 을 개발하였다. 또한, 진동내구실험, 인장강도실험 및 염수분무실험을 통하여 알루미늄 fuel filler neck 제품의 현장 적용성을 평가하였고, 그 결과 요구되는 충분한 결과 값을 가지는 것으로 나타났다.

완성 조립품 생산을 위한 용접 공법 확보 및 공정 설계 기술,

효과적인 부품 제작기법 등의 제작 기술 기반을 확보함으로써 다양한 자동차 pipe 부품에도 적용함으로써 자동차 경량화 및 재생율 향상, 제작 경비 절감이 가능할 것으로 사료된다. 이를 기반으로 세계 최고의 성능, 품질, 생산성 및 가격 경쟁력 확보가 가능할 것이다.

#### 참고 문헌

- (1) Chang, I. S., 2003, "Innovative Lightweight Concept in Car Bodies," *Journal of Korean Welding and Joining Society*, Vol. 21, No. 7, pp. 18~20.
- (2) Park, H. S., Choi, H. W., and Kang, M. J., 2005, "Implementation of Digital Laser Welding Cell for Car Side Panel Assembly," *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 22, No. 5, pp. 113~120.
- (3) Kim, H. G., Choe, G. H., Lee, B. H., Cho, Y. T., and Lee, D. J., 1999, "A Study on the Lightweight Design of a Seat Frame in Automotive Vehicles," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 8, No. 5, pp. 83~89.
- (4) Lee, W. S., 2009, "Development Trends of Metallic Materials in Automotive Industry," *Auto Journal*, Vol. 31, No. 6, pp. 21~25.
- (5) Lee, G. S., Bae, S. H., and Lee Y. Z., 2010, "A Comparative Study on Tribological Characteristics between Ni-P Electroless Plating TiAlN Coating on Anodized Alloy," *Journal of the Korean Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, Vol. 26, No. 1, pp. 68~72.
- (6) Emmelmann, C., 2000, *Introduction to Industrial Laser Materials Processing*, Rofinsinar, Hamburg.
- (7) William, M., 2001, *Laser Material Processing, 2nd Edition*, Springer-Verlag London Limited.
- (8) Shu, J., Lee, J. H., Kim, J. S., Kim, J. O., Kang, S. H., Lee, M. Y., and Jung, B. H., 2004, "Production of Laser Welded Tube for Automobile Bumper Beam from 60kgf/mm<sup>2</sup> Grade Steel Sheet," *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 21, No. 7, pp. 136~144.
- (9) Han, M. S., and Lee, Y. S., 2006, "Fatigue Crack Propagation Behavior of Steel Plate of Laser Welded Tailored Blank," *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 15, No. 3, pp. 120~126.