

# 마찰용접을 이용한 고강도 쇼크업소버 베이스 어셈블리의 제조 기술 개발

정 호 연<sup>†</sup>

전주대학교 생산디자인공학과 교수

## Development of a High Strength Manufacturing Technology for the Shock Absorber Base Assembly Using Friction Welding

Ho-Yeon Chung<sup>†</sup>

Department of Manufacturing and Design Engineering, Jeonju University

The shock absorber base assembly is one of the parts in the shock absorber equipment that controls the vehicle movement. It absorbs the shock and vibration to guarantee riding stability and comfort. It demands strength, reliability and strict airtightness of the welded section because the shock absorber base assembly is a container which resists pressure and needs durability by being filled with gas and oil. However, the current engineering needs a lot of production time, has a high cost and shows a low production rate. These problem due to the eight production processes, four of which are spot welding, reinforcement welding like metal active welding (MAG), prior process of the base assembly cap and tube for precision and pressing.

We will analyze the manufacturing processes of the base assembly and suggest an improved manufacturing method that uses frictional welding. The results will show that the new method of the frictional welding is better than the previous welding technique. Through the use of this concept of frictional welding, the welding conjunction will be strengthened, measurements will be more precise, and the cost and the number of processes will be reduced.

**Keywords** : Shock Absorber, Base Assembly, Cap Assembly, Base Shell, Frictional Welding

### 1. 서 론

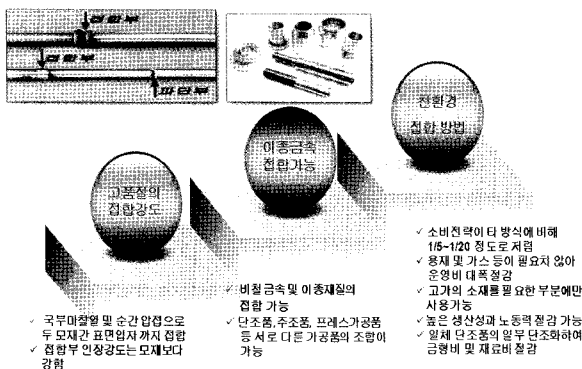
쇼크업소버 베이스 어셈블리(shock absorber base assembly)는 차량의 거동을 제어하고 충격 및 진동에너지를 흡수하여 조정 안정성과 안락한 승차감을 구현하는 쇼크업소버의 구성 부품중 하나이다. 이 부품은 가스 또는 오일이 충전되어 고압에도 내구성이 요구되는 내압용기기기 때문에 용접 부분의 강도와 신뢰성 및 엄격한 기밀성이 요구된다. 그런데 현재 이 부품의 생산

에 적용되는 가공기술은 이 부품을 가공할 때 스폿 용접과 보강 용접(MAG 용접) 그리고 치수 정밀도를 위한 베이스 캡 및 튜브의 사전가공과 압입 등 8개의 공정을 거쳐 제조되고 있어 시간이 과다하게 소요될 뿐만 아니라 제조비용도 높고 생산성도 낮은 실정이다.

본 연구에서는 이러한 베이스 어셈블리 제조 기술의 문제점을 분석하고 이를 획기적으로 개선할 수 있는 새로운 마찰용접을 이용한 베이스 어셈블리 제조 공법을 제시하고자 한다.

## 2. 마찰용접의 특징

본 과제에의 기술인 마찰용접은 재료를 맞대어 가압한 상태에서 상대(회전)운동시켜 접촉부에 발생하는 마찰열을 이용하여 모재의 용융점 이하에서 순간 압력을 가하여 접합하는 기술이다. 이 현상은 기계의 효율을 떨어뜨리고 손상시키는 것으로 취급되어온 마찰현상을 역으로 이용한 독특한 용접 방법으로, 접합부 표면만을 국부적으로 가열하기 때문에 다른 용접방법에 비해 발열 면적(열영향부)이 매우 작고 균일하며, 변형이 적은 장점과 접합부의 인장 강도가 모재보다 우수한 특징이 있다. 아크를 이용한 용접법에 비해 에너지 효율이 좋아 10~20%의 작은 에너지로도 접합이 가능하고 이산화탄소 등의 유해가스를 사용하지 않기 때문에 친환경적 용접 방법이라 할 수 있다[1]. 용접시 구조조적을 만들지 않기 때문에 기계적 성질이 우수하고, 정밀도 및 접합에 영향을 미치는 인자 제어가 용이하여 고품질·고정밀·고강도 용접에 적합하다[1~5].



〈그림 1〉 마찰용접의 기술적 특성

이러한 마찰용접법의 장점을 정리하면 다음과 같다[6].

### (1) 높은 에너지 효율

마찰용접은 전기용접에 비해 접합에 필요한 에너지가 1/5~1/10정도로 충분하다.

### (2) 용접변수 제어 용이

용접변수로 제어할 인자가 회전수, 마찰압력, 마찰시간, 업셋압력, 업셋시간 등이며, 위의 값만 설정하면 정밀도 높게 제어 또는 감시할 수 있다.

### (3) 높은 작업능력

접합하고자 하는 부분에서의 에너지 효율이 높기 때문에 그 부분을 단시간에 소요 가열상태에 도달시켜 용접할 수 있다.

### (4) 높은 용접 정밀도

용접조건의 제어에 따라 용접재의 치수정밀도는  $\pm 0.1\text{mm}$  정도까지 얻을 수 있다.

### (5) 이종재료의 용접

동종재료의 용접은 물론 합금과 세라믹과 같은 이종재료의 용접도 용이하다.

### (6) 기타

용접작업 중에 아크, 플래임, 플래시, 폼 등이 발생하지 않기 때문에 작업환경이 양호하다.

반면에 마찰용접이 갖고 있는 단점은 다음과 같다[6].

### (1) 모재형상의 제한

마찰용접에서는 한쪽의 모재를 회전시키기 때문에 긴 모재, 고정하고 있어서 회전시킬 수 없는 모재 또는 큰 질량부나 비대칭 질량부를 갖는 모재는 용접이 곤란하다.

### (2) 정위상 용접의 곤란

마찰용접의 최종 과정에서 모재사이의 상대운동 정지시의 위상, 즉, 양쪽 모재 사이의 용접 위상을 일정하게 하는 것은 통상의 용접기로는 곤란하다.

### (3) 용접부의 인성

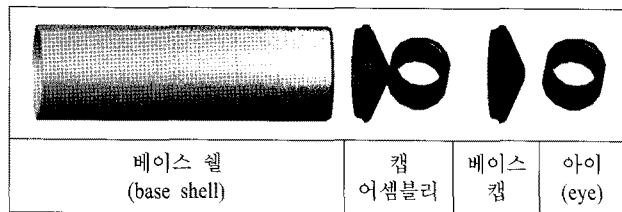
마찰용접부의 인장강도와 피로강도는 일반적으로 모재와 동등하거나 그 이상이지만 충격인성은 낮은 경우가 많다. 특히 용접 열영향부의 비틀림, 압축변형에 의해 플래시가 생기기 때문에 그 배출방향, 즉, 수직방향으로 모재의 섬유조직이 유동되기 때문에 인성이 낮아진다.

이러한 단점이 있음에도 불구하고 마찰용접은 그 사용 영역을 넓혀 가고 있으며, 단점으로 알려진 문제점들도 기술의 발달에 따라 점차 극복되어 가고 있는 추세이다. 첫 번째 단점인 모재 형상에 대한 제한은 기계 가공 부품의 형상을 조사한 결과를 보면 회전 형상의 부품이 상당히 많아 모재형상에 제한이 있어도 마찰용접이 적용될 수 있는 분야는 여전히 넓다고 할 수 있다. 또한 두 번째 단점인 정위상 용접의 어려움도 컴퓨터의 발달로 위상 제어가 가능해져 이러한 문제점도 점차 해결되고 있다. 세 번째 단점인 용접부의 인성이 낮아지는 문제는 부품 설계시에 이러한 문제를 미리 고려하여 압접부의 위치 및 형상, 치수를 결정하면 용접부의 인성이 낮아지는 결점 또한 해결할 수 있다[6].

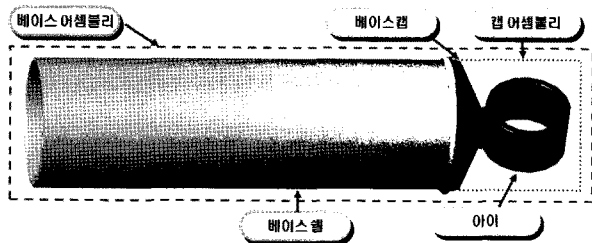
### 3. 기존 베이스 어셈블리 접합기술 분석

자동차 쇼크업소버 베이스 어셈블리는 가스 또는 오일이 충전되어 고압(최대 150Bar)에도 내구성이 요구되는 내압용기이다. 쇼크업소버 베이스 어셈블리는 몸체인 튜브와 쇼크업소버를 자동차에 장착할 수 있도록 상부에 캡 어셈블리(cap assembly : base cap+아이(eye)의 용접)를 용접한 구조이다[7, 8].

아래 <그림 2>는 베이스 어셈블리의 구성 부품을 나타내고, 이를 용접한 베이스 어셈블리의 결합 구조는 <그림 3>과 같다[7, 8].

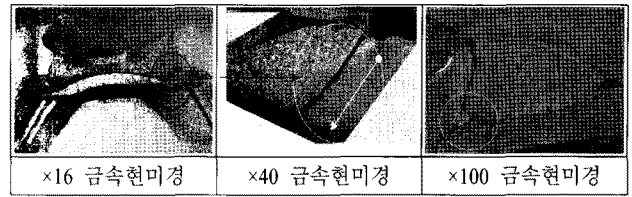


<그림 2> 베이스 어셈블리 구성부품



<그림 3> 베이스 어셈블리 결합구조

기존의 캡 어셈블리 가공은 접합부에 아크 용접을 수행한다. 이 때 스파터(splatter)가 발생되는데, 스파터란 아크 용접된 모재의 비드 주위에 지름 0.1~2mm 정도인 용융 금속의 입자가 응고·부착되는 현상을 말한다. 이러한 현상은 용접할 때 용접봉 선단의 입자 및 용융지로부터 가스의 부상에 수반되는 용적의 비산 등에 의한 것으로 용접봉의 용착 효율을 떨어뜨리고 외관이 좋지 않게 된다 [6]. 또한 아크 용접부에 피로 응력 등이 몰려 용접부 균열(crack) 및 파괴(broken) 발생 가능성이 있으며, 용접시에 편심 용접·용접 와이어 위치 불량 등이 발생하여 용접부의 용입량이 균일하지 않고 용입량이 미달되는 문제점이 나타나게 된다. 실제 기존의 아크 용접부는 용접 끝단부에서 균열이 발생하여 모재 중심부로 전파되어 용접부 파괴 및 누수 현상이 발생하였으며, 균열 발생부에 용접 열에 의한 기지 조직의 grain growth 현상이 존재하여 오일 누수 및 쇼크업소버 소음 발생의 잠재적 원인과 용접부 파괴시 안전사고의 위험이 내포되어 있었다[7, 8].



<그림 4> 기존 용접부 미세 조직관찰

베이스 어셈블리를 제작하는 기존 공정은 캡 어셈블리 작업을 수행하고, 다음으로 캡 어셈블리와 베이스 튜브를 조립한다. 먼저 베이스 캡과 아이(eye)를 스폿 용접한 후 보강 용접한 캡 어셈블리와 튜브를 용접하고, 스파터(splatter)를 제거하기 위해 그라인더를 사용하여 사상 공정(용접 원가의 50~70% 소요)을 거친 다음, 베이스 어셈블리의 치수 정밀도를 위해 베이스 캡 및 튜브의 사전가공과 압입 등의 3개 공정이 부수적으로 수행된다. 즉, 아크 용접을 사용하는 기존 공정 순서는 ①베이스 캡 가공 → ②(아이+베이스) 캡 프로잭션 용접 → ③보강 용접(캡 어셈블리) → ④사상 → ⑤베이스 셸 가공 → ⑥캡 어셈블리 압입 → ⑦원주 용접 → ⑧Leak 검사(전수 검사) 순으로 총 8개의 공정을 수행해야 한다[7, 8].

### 4. 마찰용접을 이용한 베이스어셈블리 개발

#### 4.1 마찰용접을 적용한 신기술 개발

마찰용접을 적용한 신기술은 먼저 캡 어셈블리를 만들기 위해 아이와 베이스 캡을 마찰용접하고, 다음으로 캡 어셈블리와 베이스 셸을 마찰 용접한 다음 Leak test(샘플링 검사)를 수행하면 된다. 즉, ①(아이+베이스 캡) 마찰용접 1회 → ②(베이스 셸+캡 어셈블리) 마찰용접 1회 → ③Leak test(샘플링 검사) 순으로 총 3개의 공정으로 작업을 수행하면 된다. 이는 기존 캡 어셈블리를 제작할 때 베이스 캡과 아이를 스폿 용접한 후 보강 용접하고, 베이스 튜브와 베이스 캡의 고정밀 용접을 수행하기 위해 3개의 부수적인 작업을 수행했던 것과 비교하면 공정수가 대폭 개선된 것이다. 또한 기존 방법에서는 아크용접을 사용했기 때문에 작업시 용접된 모재의 비드 주위에 지름 0.1~2mm 정도인 용융 금속의 입자가 응고·부착되어 이를 제거하기 위한 사상공정이 필요했지만 마찰용접에서는 이러한 스파터가 발생되지 않기 때문에 작업시간과 원가를 대폭 줄일 수 있다.

#### 4.2 베이스 캡 및 베이스 셸 재질분석 및 형상 설계

베이스 어셈블리 제작에 마찰용접을 적용할 경우 인성이 낮아지는 문제점이 발생할 수 있다. 이를 방지하

기 위해 아이(eye)는 STKM12B의 재질을 사용하였고, 베이스 캡은 SPHC 재질을 사용하였으며, 또한 베이스 셸은 STKM13C의 재질을 사용하였다. 이에 대한 자세한 강종의 종류와 이에 따른 재질 성분분석 내용이 다음 <표 1>과 <표 2>에 나타나 있다.

<표 1> 아이와 베이스 캡 재질 성분분석

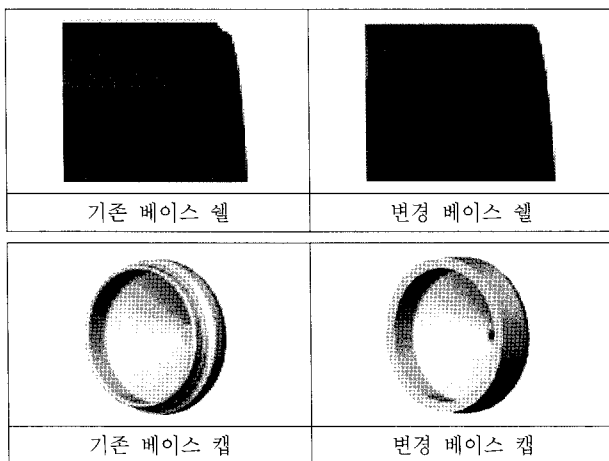
Grade	STKM 11A	STKM 12A	STKM 12B	STKM 12C	STKM 13A
C	0.12 MAX.		0.20 MAX.		0.25 MAX.
Si	0.35 MAX.		0.35 MAX.		0.35 MAX.
Mn	0.60 MAX.		0.60 MAX.		0.3~0.90
P	0.040 MAX.		0.040 MAX.		0.040 MAX.
S	0.040 MAX.		0.040 MAX.		0.040 MAX.

<표 2> 아이와 베이스 셸 재질 성분분석

Grade	인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율(%)	
			No.11	No.12
STKM12B (인발)	640 MIN.	510 MIN.	100 MIN.	-
	700 MIN.	560 MIN.	60 MIN.	-
STKM13C (인발)	650~800	600~700	150 MIN.	60 MIN.

한편 베이스 어셈블리 제작에 마찰용접을 적용하기 위해서는 기존 베이스 어셈블리의 구성품 중 베이스 셸과 베이스 캡의 형상을 변경할 필요가 있다. 이는 한쪽 모재는 고정시키고 다른편 모재를 동일축 상에서 회전시키며 가공작업을 원활히 하기 위해 필요한 설계변경이라 할 수 있다.

베이스 셸과 베이스 캡의 설계변경 전과 변경후의 형상 모습이 다음 <그림 5>에 나타나 있다.



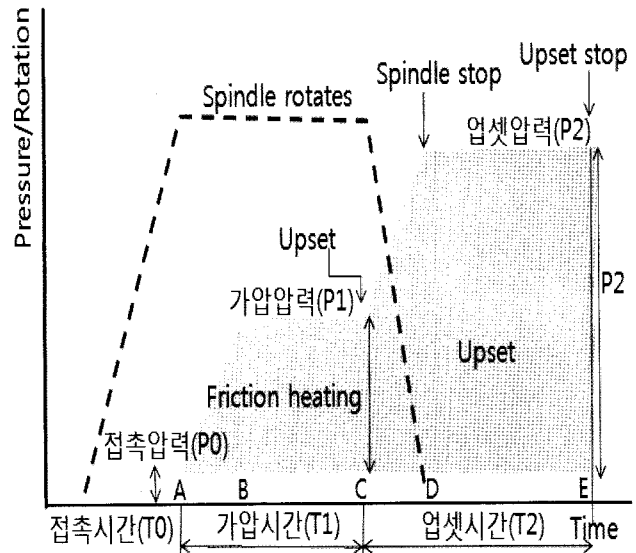
<그림 5> 변경된 베이스 셸과 베이스 캡 형상

### 4.3 마찰용접 제어인자 설정 및 용접 결과

#### 4.3.1 마찰용접 제어인자 및 주기

베이스 어셈블리 가공시 용접 품질에 직접적으로 영향을 미치는 주요인자는 <그림 6>에서 보는 바와 같이 접촉압력(P0), 가압압력(P1), 업셋압력(P2), 접촉시간(T0), 가압시간(T1), 업셋시간(T2) 등으로 구성된다.

접촉압력(P0)은 접합시키고자 하는 두 모재가 접촉되는 시작시점(T0)에서의 압력을 의미하고, 가압압력(P1)은 두 모재가 접촉되어 마찰 발열되면서 업셋이 가능한 시작시점(T1)에서의 압력을 의미한다. 마찰부의 가열상태가 적당할 때(T1, P1) 브레이크로 급히 회전축에 제동을 걸어 정지시키고 업셋시간 T2 동안 업셋압력을 순간적으로 가해 두 모재의 접합을 마무리하게 되는데, 이 때 가해지는 최대 압력이 업셋압력 P2이다[9].



<그림 6> 마찰용접 제어 인자 및 주기

#### 4.3.2 캡 어셈블리 가공을 위한 마찰용접 제어인자 설정

본 연구에서는 캡 어셈블리 가공에 적용할 마찰용접 제어 변수들의 최적 인자값을 구하기 위해 <표 3>과 같이 반복 실험을 수행하였다. 먼저 접촉시간(T0)은 0.1로 설정하고, 가압시간(T1)을 (0.8, 1.0, 1.2)의 3수준에서 고려하고, 업셋시간(T2)는 (1.5, 2.0)의 2수준에서 고려하였다. 접촉압력(P0)은 (30, 40)의 2수준에서, 가압압력(P1)은 (40, 50, 60)의 3수준에서, 업셋압력(P2)는 (70, 80)의 2수준을 고려하여 각각의 조건을 설정한 후 총 56회 실험을 수행하였다. 실험 결과 가장 좋은 인장력 값(6,425)을 나타낸 제어변수의 조건을 캡 어셈블리 제어 변수의 최적 인자값으로 <표 4>와 같이 설정하였다.

<표 3> 캡 어셈블리에 대한 최적 마찰용접 제어 인자값을 찾기 위한 반복실험

구 분			T0 : 0.1					
			T1 : 0.8		T1 : 1.0		T1 : 1.2	
P0	P1	P2	T2 : 1.5	T2 : 2.0	T2 : 1.5	T2 : 2.0	T2 : 1.5	T2 : 2.0
30	40	70	684	859	2,635	2,624	3,789	3,902
30	40	80	857	1,358	2,337	2,114	3,599	4,952
30	50	70	-	-	3,182	4,545	4,562	3,471
30	50	80	-	-	4,634	4,261	5,657	5,821
30	60	70	-	-	3,475	3,567	4,584	4,511
30	60	80	-	-	3,450	3,518	5,969	5,362
40	40	70	1,625	1,735	3,590	4,625	5,451	5,326
40	40	80	1,694	1,760	4,654	4,385	6,211	5,323
40	50	70	-	-	4,630	4,258	6,425	6,350
40	50	80	-	-	4,873	5,057	6,392	6,084
40	60	70	-	-	5,093	5,324	6,195	6,142
40	60	80	-	-	4,347	4,765	5,965	5,722

<표 4> 캡 어셈블리 마찰용접 최적 인자값

구 분	최적 인자값	비고
P0(접촉압력)	40MPa	
P1(가압압력)	50MPa	
P2(업셋압력)	70MPa	
T0(접촉시간)	0.1sec	
T1(가압시간)	1.2sec	
T2(업셋시간)	1.5sec	

<표 4>의 최적 인자값을 가지고 캡 어셈블리에 대한 마찰용접을 실시한 후 인장력(하중)을 측정하였다. 인장력(하중) 실험 결과는 다음 <표 5>에 나타나 있다. <표 5>의 실험 결과를 보면 기존 방법 보다 평균 26.8% 더 인장력(하중)이 개선된 것으로 분석되었다.

<표 5> 캡 어셈블리 인장력(하중) 실험결과

인장력	No.1	No.2	No.3	평균
기준용접(A)	5,000kgf			
마찰용접(B)	6,250kgf	6,320kgf	6,450kgf	6,340kgf
B/A	125.0%	126.4%	129.0%	126.8%

4.3.3 베이스 어셈블리 가공을 위한 마찰용접 제어인자 설정

앞의 방법과 마찬가지로 베이스 어셈블리 가공에 적용할 마찰용접 제어 변수들의 최적 인자값을 구하기 위해 <표 6>과 같이 반복 실험을 수행하였다.

먼저 접촉시간(T0)은 0.3으로 설정하고, 가압시간(T1)을 (1.0, 1.5, 2.0)의 3수준에서 고려하였고, 업셋시간(T2)는 (1.5, 2.0)의 2수준에서 고려하였다. 접촉압력(P0)

<표 6> 베이스 어셈블리에 대한 최적 마찰용접 제어 인자값을 찾기 위한 반복실험

구 분			T0 : 0.3					
			T1 : 1.0		T1 : 1.5		T1 : 2.0	
P0	P1	P2	T2 : 1.5	T2 : 2.0	T2 : 1.5	T2 : 2.0	T2 : 1.5	T2 : 2.0
45	45	70	9,867	9,578	11,158	10,894	9,898	10,025
45	45	80	10,096	10,180	9,883	10,795	10,634	10,813
45	55	70	9,888	9,844	11,452	10,838	10,650	10,353
45	55	80	10,205	10,508	10,202	10,615	9,952	10,786
45	65	70	10,770	10,807	9,934	10,896	10,044	10,269
45	65	80	11,065	10,064	9,836	9,834	10,222	10,794
55	45	70	9,887	9,842	9,813	10,520	9,871	10,463
55	45	80	11,191	10,777	9,912	9,918	9,897	10,762
55	55	70	10,924	9,896	9,806	10,306	10,133	10,904
55	55	80	10,584	11,106	9,897	11,056	10,552	10,998
55	65	70	11,118	10,876	9,931	10,129	10,701	10,721
55	65	80	10,854	9,873	9,833	10,694	10,542	10,444

은 (45, 55)의 2수준에서, 가압압력(P1)은 (45, 55, 65)의 3수준에서, 업셋압력(P2)는 (70, 80)의 2수준을 고려하여 각각의 조건을 설정한 후 총 72회 실험을 수행하였다.

실험 결과 가장 좋은 인장력 값(11,452)을 나타낸 제어 변수의 조건을 베이스 어셈블리 제어 변수의 최적 인자값으로 <표 7>과 같이 설정하였다.

설정된 베이스 어셈블리 제어 변수의 최적 인자값은 <표 7>과 같다.

<표 7> 베이스 어셈블리 마찰용접 최적 인자값

구 분	설정값	비고
P0(접촉압력)	45MPa	
P1(가압압력)	55MPa	
P2(업셋압력)	70MPa	
T0(접촉시간)	0.3sec	
T1(가압시간)	1.5sec	
T2(업셋시간)	1.5sec	

<표 7>의 최적 인자값을 가지고 베이스 어셈블리에 대한 마찰용접을 실시한 후 인장력(하중)을 측정하였다. 인장력(하중) 실험 결과는 다음 <표 8>에 나타나 있다. <표 8>의 실험 결과를 보면 기존 방법 보다 평균 15.6% 더 인장력(하중)이 개선된 것을 알 수 있다.

<표 8> 베이스 어셈블리 인장력(하중)실험 결과

인장력	No.1	No.2	No.3	평균(kgf)
기존용접(A)	10,000kgf			
마찰용접(B)	11,340	11,650	11,700	11,563
B/A	113.4%	116.5%	117.0%	115.6%

#### 4.4 마찰용접을 적용한 경제적 효과분석

일일 생산량 3,000개를 기준으로 마찰용접을 적용한 베이스 어셈블리의 경제적 효과를 분석한 결과 공정수에 있어서 5개의 공정 감축과 6명의 작업자 수 감소를 포함하여 경제적인 비용 절감액이 총 4억 2백만 원인 것으로 분석되었다. 여기서 기존 용접 방법에 대한 소요 장비 가격은 기존 캡 어셈블리 제작을 위해 현업에서 실제 사용하고 있던 프로젝션 용접 4대와 아크 용접 4대분의 소요장비 가격을 산정한 것이며, 마찰용접 장비 가격은 이를 대체할 수 있는 마찰용접 장비에 대한 소비비용을 계산하여 산정한 것이다.

기존 용접 방법과 마찰용접을 적용한 베이스 어셈블리의 경제적 효과를 분석한 결과는 다음 <표 9>에 나타나 있다[7, 8].

<표 9> 마찰용접을 적용한 베이스 어셈블리의 경제적 효과(3,000개/1일 기준)

단위 : (백만원/년)

항 목	기존용접	마찰용접	효과
소요장비	600	440	160 ↓
인건비	300	120	180 ↓
품질비용	30	5	25 ↓
원·부자재 비용	20	2	18 ↓
에너지 비용	12	5	7 ↓
일반관리비·기타비용	30	18	12 ↓
합 계	992	590	402 ↓

### 5. 결 론

본 연구에서는 기존 아크 용접에 의한 베이스 어셈블리 제조 공정의 문제점을 분석하고 이를 획기적으로 개선할 수 있는 마찰용접을 이용한 베이스 어셈블리 제조 기술을 제시하였다.

먼저 기존 베이스 어셈블리를 제작할 때 필요한 아이(eye)와 베이스 캡의 용접, 그리고 캡 어셈블리와 베이스 쉘의 용접을 수행할 때 발생할 수 있는 제반 문제점을 살펴보고, 마찰용접을 통해 공정수와 작업자 수를 절감할 수 있는 새로운 마찰용접 방법을 제시하였다. 마찰용접을 적용하기 위해 필요한 베이스 쉘과 베이스 캡의 형상 설계를 제시하였으며, 마찰용접에 영향을 미치는 마찰용접 제어인자의 최적 인자값을 찾기 위해 제어변수의 값을 바꿔가며 반복실험을 통해 최적 인자값을 찾아 실험한 결과 캡 어셈블리와 베이스 어셈블리의 인장력(하중)이 개선되었음을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] 박노광; “마찰 압접 기술”, 기계와 재료, 7(2) : 111-118, 1995.
- [2] 박준구; “순알미늄의 고온가공 조직에 있어서 마찰압접에 대한 연구”, 서울산업대학교논문집, 37 : 23-31, 1993.
- [3] 신동주, 김경록, 이형호, 정호연; “중공퍼스트로드 제조 기술 개발에 관한 연구”, 2008 한국산업경영시스템학회 춘계학술발표논문집, 102 : 2008.
- [4] 오정국, 차용훈, 성백섭, 박창업, 김하식, 김충환; “STS-304와 S15C 이종마찰압접부의 접합계면 응력해석”, 한국공작기계학회논문집, 11(3) : 65-71, 2002.
- [5] 오환섭, 박경식, 박준건, 오정국, 백영남; “이종마찰압접재 계면의 기계·금속조직학적 거동 및 파면특성”, 경희대학교 재료과학기술연구소 연구논문, 11

- : 19-25, 1998.
- [6] 정호신, 엄동석; 용접공학, 문운당, 120-139, 2007.
- [7] 정호연, 신동주, 이형호; “마찰용접을 이용한 쇼크 업소버 베이스 어셈블리의 고강도 제조기술 개발”, 2010년도 한국산업경영시스템학회 춘계학술대회, 54 : 2010.
- [8] 정호연; “마찰열을 이용한 베이스 어셈블리 및 링 볼트의 고강도 접합기술 개발”, 2단계 산학협력중심대학육성사업 기술개발과제 최종보고서, 한국산업기술진흥원, 2010.
- [9] 정호연; 이중마찰압접 방법 및 장치, 출원번호 10-2009-0024121, 출원일 2009.