

**研究論文**

## 자동차 부품 BRACKET TILT의 용접변형 예측 및 제어에 관한 연구(Ⅰ) - 실험적 검토 -

장 경 복\* · 김 하 근\* · 강 성 수\*\*

### A Study on the Prediction and Control of Welding Deformation of the BRACKET TILT in Automotive Parts(Ⅰ)

- Experimental Examination -

G. B. Jang, H. K. Kim and S. S. Kang

**Key words :** Bracket Tilt Assembly(브래킷 틸트 조립품), Welding Deformation(용접변형),  
Welding Sequence(용접순서), Systematic Examination(체계적 검토),  
Manufacturing Process(제작공정)

### Abstract

The bracket tilt among automobile parts is weld parts which construct the column assembly bracket tilt of equipments and accurate dimension after welding is more essential than weldment strength. By the way, it is insufficient that systematic study about this parts which have an importance on welding deformation. The reason is that welding deformation is complex problem with shape, size, material of parts and welding sequence, conditions etc. For reduction and removal of welding deformation, therefore, it is necessary that the security of welding deformation data and systematic examination about equipments, costs, work environment, manufacturing process etc.

It is all the better that the prediction of welding deformation using simulation of welding process by FEA is supplemented. In this study, the countermeasure for this welding deformation of bracket tilt is brought up through experimental inspection before the choice of the optimum welding conditions with minimum welding deformation by simulation of welding process.

※ 1998년 8월 3일 접수

\* 학생회원, 부산대학교 대학원

\*\* 정회원, 부산대학교 기계기술 연구소

### 1. 서 론

일반적으로 자동차 산업의 용접에는 저항 점용접, 아크 용접, 레이저 용접 등이 사용되어지고 있다. 이중 저항 점용접은 박판 재료의 접합 방식 중 가장 보편화된 것으로 아크 용접에 비해 매우 짧은 용접 시간을 가지므로 생산성이 높고 용접의 자동화로 인해 내구성과 신뢰성이 높아 자동차의 외판 접합에 주로 이용되고 있다. 그러나, 저항 점용접은 저항 발열을 이용하기 때문에 판재의 두께가 두 겹거나 용접 지점의 간격이 허용 한도보다 좁을 경우 분류에 의해 양호한 작업 결과를 얻는 것이 어려워져 무엇보다도 양쪽 면에서 동시에 가압을 해주어야 하는 특성 때문에 형상에 따른 제약이 심하다.<sup>1)</sup> 이렇듯 자동차 부품 중 형상의 제약에 의해 저항 점용접을 적용하지 못하는 것에는 기본적으로 아크 용접을 수행할 수밖에 없다. 그런데, 자동차 부품과 같이 두께가 얇고 크기가 작은 것에 아크 용접을 수행하게 되면 가장 큰 문제가 되는 것이 용접아크에 의한 고입열 및 급랭으로 인해 불균일한 온도분포가 형성되어 발생하는 용접변형의 제어이다.<sup>2~4)</sup> 특히, 본 연구의 대상인 브래킷 틸트(Bracket Tilt)와 같이 용접부의 강도 보다 최종 제품의 치수가 중요시되는 부품에서는 이러한 용접변형의 제어가 필수적이다. 브래킷 틸트는 자동차 부품 중 조향장치의 칼럼 어셈블리 브래킷 틸트(Column Assembly Bracket Tilt)를 구성하는 용접 부품으로 프레스 성형과정을 거친 틸트 2를 틸트 1과 틸트 3에 CO<sub>2</sub> 로봇 아크 자동용접으로 결합하여 형성되며, 강도보다는 용접 후의 정확한 치수가 요구되는 부품으로 현 작업조건 하에서는 용접 후 100% 도면치수를 벗어나고 있는 실정이다.

그런데, 작업현장에서는 아직까지 이러한 용접변형에 대한 체계적인 검토가 이루어지지 않고 있으며 작업자의 경험에 의한 시행착오적인 방법으로 대처하고 있어 상당한 비용의 손실을 겪고 있는 실정이다. 또한, 용접이 완료된 이후의 검토작업

과정도 제대로 이루어지지 않는 상황이다. 그 이유는 용접변형이란 부재의 형상·치수, 재질뿐만 아니라 용접조건이나 구속조건, 용접순서등의 영향을 받는 복합적인 현상이기에 이를 제어하기란 상당히 어렵기 때문이다.<sup>5,6)</sup> 그러므로, 용접변형의 저감과 제거의 구체적인 대책 수립을 위해서는 제작공정이나 설비, 능력, 비용 및 작업 환경 등의 종합적인 검토가 필요하다. 한편, 컴퓨터를 사용한 수치해석의 발달로 유한요소법을 이용한 용접공정의 시뮬레이션이 가능해져 용접제품의 용접변형의 예측이 가능해졌다. 그러나, 이러한 해석상의 예측과 실제의 결과와는 반드시 오차가 존재하는데 이를 줄이기 위해서는 실험적인 데이터와의 비교 및 분석이 반드시 필요하고 해석상의 입력 데이터 이외의 값들이 항상 일정해야 할 필요가 있는데 이를 위해서는 제품제작 전공정에 대한 체계적인 검토가 필요하다.<sup>7)</sup>

따라서, 본 연구에서는 자동차 부품 중 용접변형이 중요시되는 브래킷 틸트를 대상으로 하여 제품 제작의 전공정 즉, 용접 전 공정, 용접공정, 용접 후 공정에 대한 체계적인 검토를 통하여 용접변형의 저감과 그 제거의 구체적인 대책을 마련하고자 하였다.

### 2. 제품의 형태 및 용접조건

브래킷 틸트의 재질은 자동차 차체 및 부품에 많이 사용되는 연강판인 SPCC(두께 3.2mm)로서 화학성분과 주요 전기적, 기계적 물성치를 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 그리고, 제품의 형상 및 치수는 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of used metal

Material	Chemical composition (wt%)				
	C	Si	P	S	Ni
SPCC	0.08	1.00	0.045	0.03	8.13

Table 2. Electrical and mechanical properties of base metal

Material	Electrical properties			Mechanical properties		
	Resistance (μΩ m)	Conductivity (w/m°C)	Melting point (°C)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SPCC	0.016	65	1535	176.6	294.3	40

현재의 브래킷 틸트는 용접이 총 4군데에서 이루어지는데 Fig.1에서 처럼 두 개의 용접 토치가 동시에 상면을 용접하고 다시 용접 토치가 이동하여 앞면을 용접한다. Table3은 이러한 용접순서에 따른 용접조건을 나타낸다.

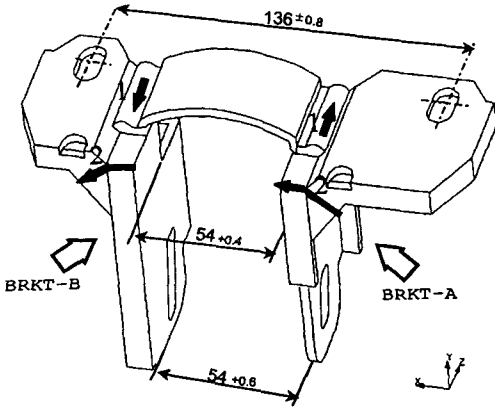


Fig.1 Shape and dimension of tilt bracket & sequence and direction of welding

Table 3 Welding conditions with sequence

Sequence	Conditions	Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)
①		190	23	60
②		145	20	40

### 3. 현작업 조건의 검토 및 개선책

#### 3.1 냉각 치구의 검토

Fig.2는 틸트 브래킷에서 용접후의 치수가 중요시되는 부분으로 측정용 치구를 이용하여 용접변형의 데이터를 측정할 곳을 나타낸다. 우선 CO<sub>2</sub> 아크 로봇 용접후 Fig.2의 ④부분 치수정도를 확보하기 위해 용접후 냉각용 치구에 고정하여 냉각하여 보았다.

이 경우 ④ 및 ③부분의 치수 불량은 54±0.6, 54±0.4에 대해 양의 방향이고, 브래킷의 선단으로 갈수록 치수가 크게 나타났다. 그리고, 치수는 용접 직후에 대해 냉각 후는 측정부위에서 평균치로 0.03mm ~0.31mm 축소 또는 0.13mm 확대하고

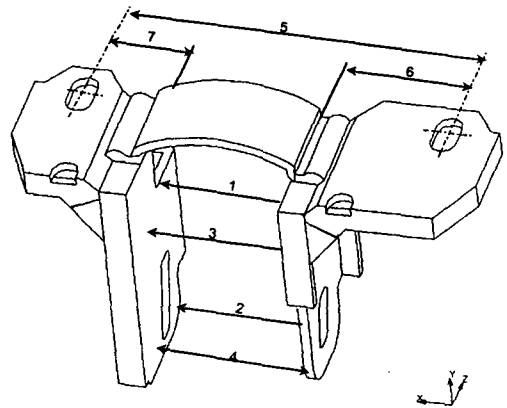


Fig. 2 Measurement position of welding deformation

있다.

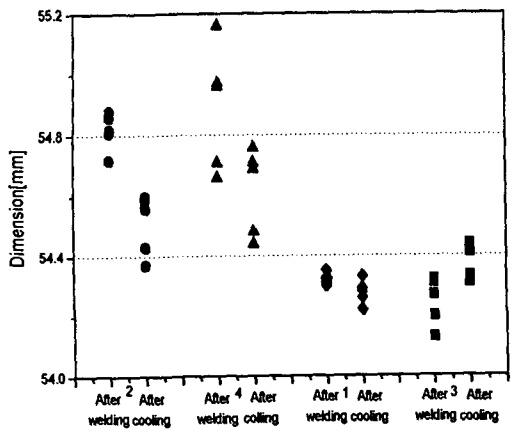
Fig. 3(a)은 틸트 브래킷을 용접 후 냉각치구를 사용하였을 때의 용접직후와 냉각 후의 치수변화 정도를 나타내며, Fig. 3(b)는 틸트 브래킷을 용접 후 냉각치구를 사용하지 않았을 때의 용접직후와 냉각 후의 치수변화 정도를 나타낸 것이다. 결과에서 나타나듯이 냉각용 치구를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 냉각후의 치수변화 양상은 동일하며 치수차이도 거의 나타나지 않았다. 그러므로, 용접후 냉각용 치구의 사용은 필요가 없는 것으로 판단되었다.

Fig.4는 틸트 브래킷의 용접후 ⑤부분의 치수를 측정할 결과이다. ⑤부분의 도면치수 136±0.8에 대해 데이터의 산포가 중앙에 있고 산포도 또한 적다. 규격에 대해 충분한 여유치를 가지고 있으므로 크게 문제가 되지 않음을 알 수 있으며, ④부분의 치수 조정을 위해 브래킷 A, B의 상대위치를 움직이는 것이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

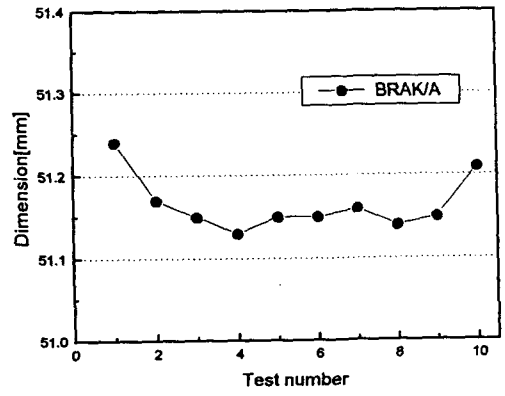
Fig.5는 브래킷 A, B의 용접후 치수(Fig.2에서 ⑥, ⑦) 변화를 측정할 것이다. 브래킷 A의 치수산포는 0.11mm 이고, 브래킷 B는 0.29mm 로서 브래킷 B의 치수산포가 더 크게 나타남을 알 수 있는데 이는 브래킷 A의 형상이 B보다 직각도가 유지되기 쉬운 형상이고, 상면부가 B보다 커서 강성이 크기 때문인 것으로 판단된다.

#### 3.2 용접전후의 BRKT/A, B의 직각도 변화

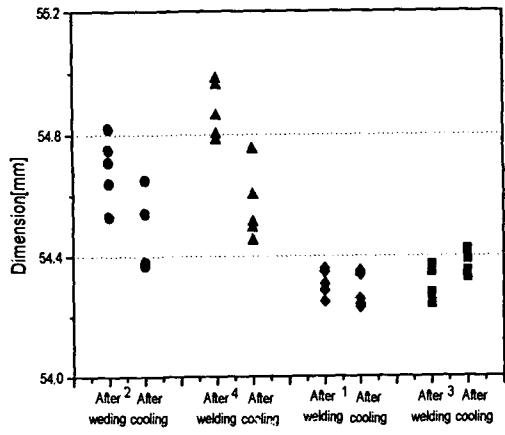
제품의 최종 치수가 확보되기 위해서는 브래킷



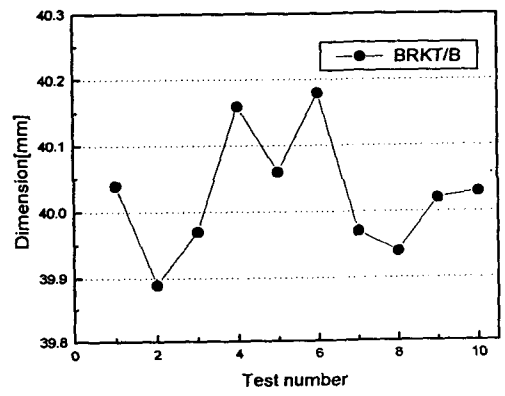
(a) With cooling jig



(a) Dimension ⑥ of BRKT/A



(b) Without cooling jig



(b) Dimension ⑦ of BRKT/B

Fig. 3 Dimension change of TILT BRKT as cooling jig.

Fig. 5 Dimension scatter diagram of TILT BRKT A and B

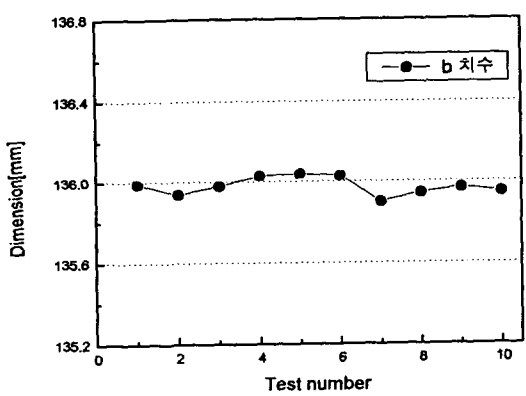
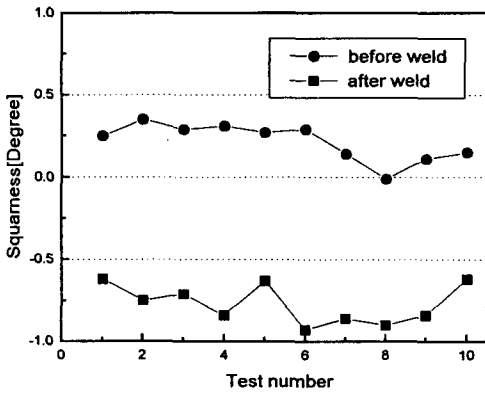
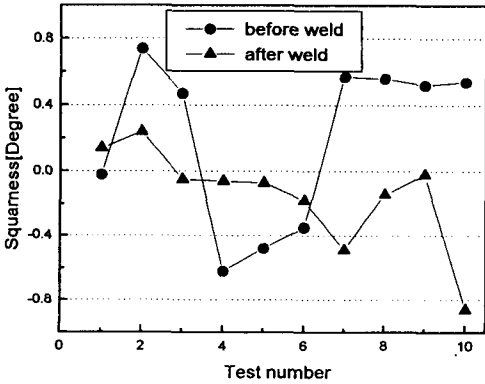


Fig. 4 Dimension ⑤ scatter diagram of TILT BRKT

A 및 B의 직각도가 중요하기 때문에 각각의 용접 전후의 직각도를 측정하였다. Fig. 6은 각각 브래킷 A, B의 용접전의 프레스 제품 상태에서의 직각도와 용접하고 난 뒤의 직각도 변화를 데이터화 한 것이다. 여기서, 브래킷 A, B의 거리가 가까워지는 쪽이 (+)이고 멀어지는 쪽이 (-)의 값을 나타낸다. 전체적으로 용접을 하고 난 뒤에는 두 브래킷 모두가 (-) 방향으로 벌어지고 있으며 브래킷 A의 경우가 그 양이 다소 큼을 알 수 있다. 그러나, 브래킷 A의 경우는 용접전의 프레스 제품의 직각도가 잘 형성되고 있으며 용접 후에는 (-) 방향의 균일한 직각도 변화를 보이고 있으나, 브래킷 B의 경우는 용접전 프레스 제품의 직각도와 용접후의 직각도가



(a) BRKT/A



(b) BRKT/B

Fig.6 Rectangular dimension scatter diagram of TILT BRKT A and B.

균일성을 보이지 않고 데이터의 산포가 A보다 심하게 나타남을 알 수 있는데 이것은 Fig. 5의 브래킷 A, B의 용접후 치수변화에서도 확인할 수 있다. 이러한 이유는 브래킷 A, B의 치수의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 그러므로, 브래킷 B의 경우 용접전의 프레스 성형 작업에서부터 좀 더 세심한 주의가 요구되어진다.

### 3.3 용접치구 치수조사

브래킷 틸트와 같이 용접변형이 중요시되는 부품을 용접 시에는 용접치구가 반드시 필요한데 Fig. 7은 본 제품의 용접치구의 형상과 치수를 나타낸다. 여기서, ①~④까지의 치수를 결정하는 치

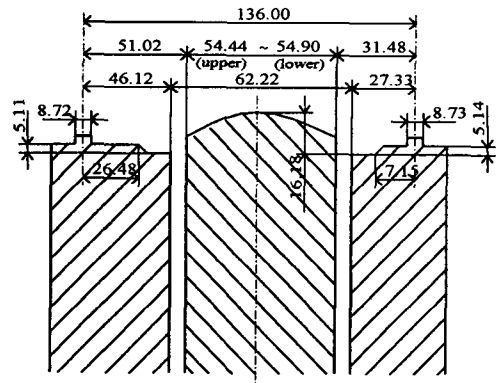


Fig. 7 Shape and dimension of welding Jig.

구의 치수가 테이퍼 형상으로 되어 있는데 이것이 용접후의 틸트 브래킷의 선단이 벌어지는 형상을 조장하고 있는 것으로 판단되며, 또한 용접치구가 조립식(BOLT고정)이기 때문에 분해 재조립시의 치구 치수의 재현성이 적어 이로 인한 치수변화도 발생하였다. 실질적으로 용접치구를 재조립을 실시한 결과 최대 0.23mm 까지 치수의 변화가 발생하였다. 그러므로, 재조립시 분해 전 치수를 확인해 놓고 동일 치수가 되도록 조립하는 것이 필요함을 알 수 있었다.

### 3.4 용접치구의 클램프(clamp) 위치, 힘, 순서

현재 본 제품의 경우 클램프는 공기 실린더에 의한 공기압으로 이루어지며 그 위치는 전부 5군데로서 그 위치를 Fig. 8에 나타내었다. 클램프력은 Table 4와 같이 산출하였다. 여기서, 양쪽의 공기압은 5.2kg/cm<sup>2</sup>이다

클램프력은 P3을 제외하고 약 100kg (P3은 추정치 20kg)으로 거의 타당하다고 생각되어진다. Clamp순서는 상면 부에서 측면 부의 순으로 하고 있다. 그런데, 이처럼 상면 부를 먼저 고정해 버리기 때문에 치수불량에 관련하는 측면 클램프시 제품이 치구에 밀착되지 않을 우려가 있는 것으로 판단된다. 따라서, 측면에서 상면으로의 클램프 순서가 타당할 것으로 판단되어 클램프 순서를 바꾸어 치수변화를 측정 해보았다.

클램프 순서변경이 Fig. 2의 ④의 치수에 주는 영향을 Fig. 9에 나타내었다. 즉, 현행 생산과 동일한

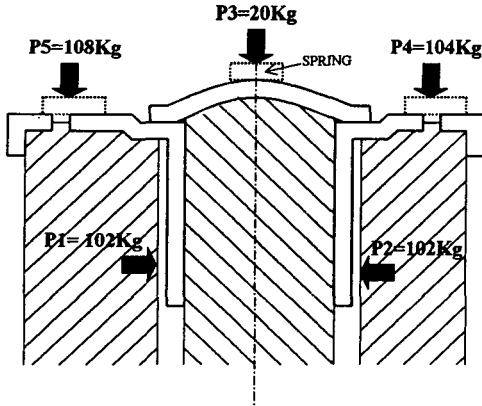


Fig. 8 Work clamp force and clamp position.

Table 4. Calculation of clamp force

Clamp Force (efficiency=100%)
$P1, P2 = \text{Air cylinder axis force} = (\pi \times 5^2) / 4 \times 5.2 = 102.02 \approx 102\text{kg}$
$P3 = \text{Presumption value due to unknown of spring specification} = 20\text{kg}$
$p4 = (102 \times 5.6 - 20 \times 9.8) / 3.6 = 104.2 \approx 104\text{kg}$
$P5 = 102 \times 5.2 / 4.9 = 108.2 \approx 108\text{kg}$

상태에서 클램프 순서를 측면 부에서 상면 부로 바꾸었을 때 용접직후와 냉각 후에 변형된 치수를 나타낸 것이다. 이처럼 클램프 순서를 바꿈으로 인해 Fig. 2에서 ④의 치수가 도면 공차내에 들어가게 될을 알 수 있었다.

이처럼 치수가 도면 공차내에 들어갔으므로 동일 조건에서의 시료수를 증가(50개)하여 재 실시하

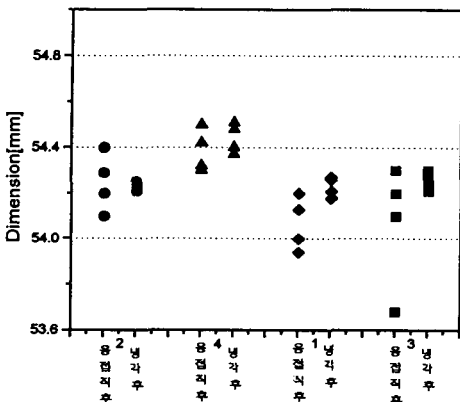


Fig. 9 Dimension change for clamp sequence change

였는데, 위와 동일조건(용접조건, clamp조건, 용접치구 치수 등)임에도 불구하고 Fig. 2의 ④의 치수는 (+)측에 0.15 - 0.39mm로 크게 변화하여, 도면공차에 대해 크게 벗어나는 현상이 발생하였다. Fig. 10은 이처럼 시료 수를 증가하여 클램프 순서를 측면 부에서 상면 부로 하여 용접한 결과를 나타낸 것이다.

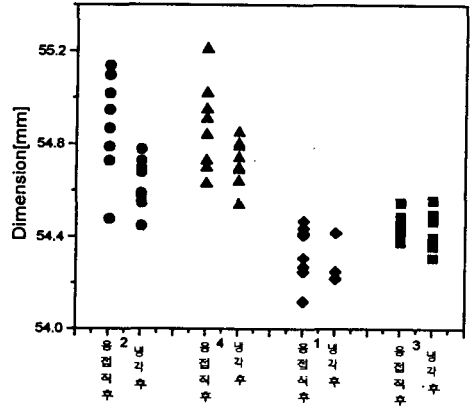


Fig. 10 Test Result for specimen increase

그 결과 동일 용접조건에서 치수의 재현성이 없음을 알 수 있었는데, 그 원인은 제품의 열변색 정도가 미묘하게 차이가 나는 것으로 보아 용접 입열량에서의 다소의 산포나, 구성부품의 프레스 제품 상태의 다소의 차이 등에 기인하는 것으로 판단된다. 그러므로, 클램프 순서를 기존의 P3, P4, P5의 상면 부에서 P1, P2로의 측면 부로 하는 것을 P1, P2의 측면 부에서 P3, P4, P5로의 상면 부로 바꿈과 동시에 용접순서나 용접부위등 다른 조건의 변화도 같이 이루어 져야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

용접 부품중 최종 치수가 중요시되는 부품에서 용접 변형을 제어하기 위해서는 용접공정 뿐만이 아니라 제품 제작의 전공정 즉, 용접 전 공정, 용접공정, 용접 후 공정에 대한 체계적인 검토를 통한 실험적인 데이터의 확보가 필요하다. 본 제품에 대해 제품제작의 전공정에 대한 체계적인 검토를 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 용접 구성 부품의 단일화이다. 본 제품에

서는 프레스 단품 치수의 확인(직각도, 플렌지 틸새)을 통한 용접 구성 부품의 치수 안정화가 중요함을 알 수 있었다. 즉, 브래킷 A의 경우는 용접전의 프레스 제품의 직각도가 잘 형성되며 용접 후에는 (-)방향의 균일한 직각도 변화를 보이거나 브래킷 B의 경우는 용접전 프레스 제품의 직각도와 용접 후의 직각도가 균일성을 보이지 않아 치수 안정화가 필요함을 알 수 있었다.

둘째, 용접조건은 균일하다. 이를 위해서는 각종 용접 설비의 종합적인 검토가 필요하다. 이중 중요한 것은 용접 치구의 치수 및 형태, 용접 치구와 제품과의 클램프 순서 및 위치, 클램프력 등이다. 용접 치구의 경우 조립식이기 때문에 제조립시의 치구 치수의 재현성이 적어 치수변화를 유발하므로 제조립시 분해 전 치수를 확인하여 동일 치수가 되도록 조립하는 것이 필요함을 알 수 있었고, 클램프의 경우는 위치 및 힘은 타당하나 순서는 측면부에서 상면부가 기존의 상변부에서 측면부 보다 유리하였으며 이러한 클램프의 순서가 제품의 치수변화에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

셋째, 용접후 냉각 방법의 균일화이다. 냉각방법이나 냉각 치구의 필요성 등의 검토가 필요하다. 본 제품에서는 냉각치구의 효과가 거의 나타나지 않아 냉각용 치구의 사용은 불필요함을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 현대자동차(주) : 전기저항용접, (1985), pp. 3-60
2. Shigetomo Matsui : Control of Weld Distortion in Thin-skin Welded Structures, JWS, No.5, 52, (1983), pp. 58-66
3. Akira Sakaguchi, Takahiro Tanaka : Estimate and Counterplan for Welding Deformation- Thin Plates Steel Structure, JWS, No.6, 60, (1991), pp. 14-19
4. K. Satoh, T. Terasaki : Effect of Weld Conditions on Welding Deformation in Welded Structure Materials, JWS, No.1, 45, (1976), pp. 302-308
5. Koichi Masubuchi : Analysis of Welded Structures, Pergamon Press, (1980)
6. 神近亮一 : 溶接ひずみとその防止対策, 日本溶接技術, 5, (1996), pp. 134-139
7. 서승일, 장창두 : 용접 구조물의 변형 예측에 관한 연구, 대한용접학회지, 제15권, 제5호, (1997), pp. 64-73.