



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

알루미늄 판재의 전기저항
마찰교반 스폿용접에 있어서
접합강도에 관한 연구



2014년 08월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

기 계 공 학 과

장 민 수

공 학 석 사 학 위 논 문

알루미늄 판재의 전기저항
마찰교반 스폿용접에 있어서
접합강도에 관한 연구

지도교수 진 인 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2014년 08월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

기 계 공 학 과

장 민 수

이 논문을 장민수의 공학석사
학위논문으로 인준함.

2014년 08월 01일



주 심 공학박사 한 규 택 (인)

위 원 공학박사 이 창 용 (인)

위 원 공학박사 진 인 태 (인)

공 학 석 사 학 위 논 문

알루미늄 판재의 전기저항 마찰교반 스폿용접에 있어서

접합강도에 관한 연구

A Study on Welding Strength of Electric Resistance

Friction Stir Spot Welding using Aluminum Plates

지도교수 진 인 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2014년 08월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

기 계 공 학 과

장 민 수

목 차

Nomenclature

List of tables

List of figures

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적	3
1.3 논문의 구성	8
제 2 장 전기저항 마찰교반 스폿용접	9
2.1 전기저항 마찰교반 스폿용접의 특징	9
2.2 전기저항 마찰교반 스폿용접의 가열 특징	11
2.2.1 마찰교반 점용접의 발열량	11
2.2.2 전기저항 점용접의 발열량	13
2.2.3 전기저항 마찰교반점용접의 발열량	15
제 3 장 전기저항 마찰교반 스폿용접장치 및 실험	18
3.1 전기저항 마찰교반 스폿용접장치 설계	18
3.2 전기저항 마찰교반 스폿용접장치 제작	20

3.2 전기저항 마찰교반 스폿용접 실험 및 고찰	24
3.3.1 실험 방법 및 조건	24
3.3.2 접합 전류조건 선행 실험	28
3.3.3 접합 강도 실험	33
3.3.4 실험 결과 및 고찰	36
 제 4 장 결론	 42
 참 고 문 헌	 44



Nomenclature

T_f	: torque due to friction stir spot welding	[J]
T_{should}	: torque due to tool shoulder	[J]
T_{bottom}	: torque due to tool pin bottom	[J]
$T_{surface}$	: torque due to tool pin surface	[J]
$T_{s.f}$	: torque due to tool pin surface at surface friction stir spot welding	[J]
r_o	: radius of tool shoulder	[mm]
r_i	: radius of tool pin	[mm]
τ	: maximum shear stress of alloy	[MPa]
h	: height of tool pin or insertion depth	[mm]
μ	: coefficient of friction between the tool and the workpieces	
F	: applied force	[N]
P_f	: welding power	[W]
$P_{s.f}$	: welding power at surface friction stir spot welding	[W]
$\overline{w}$	: average tool angular velocity	[s ⁻¹]
Q_f	: heating value due to friction stir spot welding	[cal]
Q_e	: heating value due to electric resistance spot welding	[cal]
$Q_{e.f}$	: heating value due to electric resistance friction stir spot welding	[cal]

$Q_{s.f}$	: heating value at surface friction stir spot welding	[cal]
t	: welding time	[s]
I	: welding current	[A]
R	: electric resistance	[Ω]
ρ	: specific resistance of conductor	
L	: length of conductor	[mm]
A	: cross section of conductor	[mm]



List of tables

Table 4-1 The major factor and the level of factor

Table 4-2 Results of Peel test

Table 4-3 Table of orthogonal arrays

Table 4-4 Results of tensile test

Table 4-5 Analysis of variance

Table 4-6 Analysis of variance (pooled error term b and c)



List of figures

- Fig. 1-1 Overview of the friction stir welding
- Fig. 1-2 The principles and the machine of spot welding
- Fig. 2-1 Process Step of electric resistance friction stir spot welding
- Fig. 2-2 Welding shape of friction stir spot welding resistance
- Fig. 2-3 Welding shape of electric spot welding
- Fig. 2-4 Welding shape of surface friction stir spot welding
- Fig. 3-1 Concept design of electric resistance friction stir spot welding
- Fig. 3-2 Equipment of electric resistance friction stir spot welding
- Fig. 3-3 Prepared equipment for experiment
- Fig. 3-4 Major parts in equipment
- Fig. 4-1 The characteristics of the specimen
- Fig. 4-2 The method of peel test
- Fig. 4-3 Major parts in equipment
- Fig. 4-4 Four types of peel test results
- Fig. 4-5 Tensile testing machine
- Fig. 4-6 Fracture shape after tensile test
- Fig. 4-7 99% confidence interval graph

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

수송기계의 안전을 위해서 융합부품소재의 개발이 필수적이다. 따라서 융합부품소재의 개발에 있어서 가볍고 강한 재질을 개발하여 사용함으로써 에너지를 줄이면서 강도가 우수한 수송기계를 만들 필요가 있다. 이 분야의 재질을 사용하기 위해서는 고강도를 가지는 경량금속의 개발이 필요하다. 특히 알루미늄합금의 경우 비강성(E/S 탄성계수/비중2.7)이 우수하고 성형성이 뛰어나므로 경량화금속으로 주목 받고 있다. 그러나 전기저항스폿용접을 주로 하는 수송기계 산업분야에서는 아무리 가볍고 좋은 재질을 개발한다고 하더라도 그 재질의 용접성이 확보되지 않으면 그 이용이 제한 받게 된다[1~3].

수송기계용 차체에 사용되는 경량화금속에는 주로 알루미늄합금이 사용되는데 이 재질들은 전기전도도가 좋아 전기저항에 의한 발열이 낮고 용점이 낮기 때문에 스폿용접성이 현격히 저하되는 단점을 가지고 있다. 따라서 기존의 외관을 고려하지 않는 경우의 접합방법으로 사용되는 리벳이음 등을 사용하든지 마찰교반을 이용한 접합방법을 이용하고 있다[4~11].

그러나 이러한 방법을 사용하게 되면 접합시 용접부 표면에 돌출부가 남기 때문에 제한을 받게 된다. 따라서 전기저항에 의한 가열과 기계적인 회전마찰저항에 따른 가열을 동시에 이용함으로써 전기저항의 장점과 기계적인 마찰저항가열의 장점을 융합한 기술을 활용하여 기존 용접법의 단점을 제거하는 기술이 필요하다.

마찰교반용접은 회전공구를 접합하고자하는 접합면에 삽입하여 빠르게 회전시킬 때 회전공구와 금속면상의 마찰열에 의하여 금속을 소성 유동적으로 교반시켜 중첩된 두 금속판재의 표면에 압력과 회전력과 열을 가함으

로 중첩된 두 금속판재를 접합하게 되나 시간이 많이 소요되고 판재에 흠이 발생한다. 기존의 마찰교반용접은 회전공구를 접합면에 삽입할 때 회전공구와 금속판재사이의 마찰열을 얻기 위하여 일정시간과 일정한 강도이상의 회전공구가 소요되었으나 마찰열과 함께 외부로부터 스폿용접에 사용되는 전극의 전기저항에 의한 열원을 추가로 동시에 공급함으로써 상기의 제한요건을 획기적으로 개선할 필요가 있었다.



1.2 연구 목적

본 연구는 상기의 스폿용접의 특징인 두 금속판사이의 수평 접합면에 접합강도를 결정하는 용융풀(fusion pool)을 형성하는 대신 스폿용접전극의 전기 저항에 의한 용접부의 가열과 마찰교반용접의 회전공구의 회전에 따른 마찰 저항열 과 회전공구의 회전에 의한 용접부의 소성유동교반에 의하여 용접부에 아크가 발생하지 않고 중첩된 두 장의 비철금속을 스폿 용접하는 용접기의 개발과 이 용접기를 사용하여 용접된 용접판 의 용접특성을 분석하고자 한다.

마찰교반용접은 두 금속판재가 맞대어진 상태에서 접합하기 위하여 접합 선상에 회전공구를 삽입하여 회전공구와 금속사이에 상호마찰시킴으로써 그 마찰열에 의하여 열간상태의 금속에 소성유동이 발생하여 접합면이 소실되고 두 금속판재가 접합되도록 되어 있다.

이 때 용접초기에는 금속이 냉간상태로 유지되고 있기 때문에 회전공구를 접합하고자 하는 부위에 삽입하기 위하여 표면부분을 회전에 의한 마찰에 의하여 가열함과 동시에 마찰열에 의해 소성유동이 진행된다면 서서히 공구를 삽입하여 소성유동영역을 확장한다.

이와 같이 종래의 마찰교반용접은 마찰자체의 마찰열원을 사용하기 때문에 초기에 일정시간이 소요될 뿐 아니라 과도한 동력이 소요되며 이에 따른 회전공구의 파손이 발생할 소지가 많은 것이 단점으로 지적되고 있다. 또한 회전공구가 삽입할 때 마찰에 의하여 삽입할 부분에 대한 가열이 필요한데 가열하고자 하는 시간이 소요되어 삽입속도에 제한을 받는 것도 단점으로 지적되고 있다. 따라서 마찰교반용접초기에 용접부를 미리 가열함으로써 회전공구의 삽입을 용이하도록 하고 회전공구의 파손과 내구성을 향상시킬 수 있다[12~14].

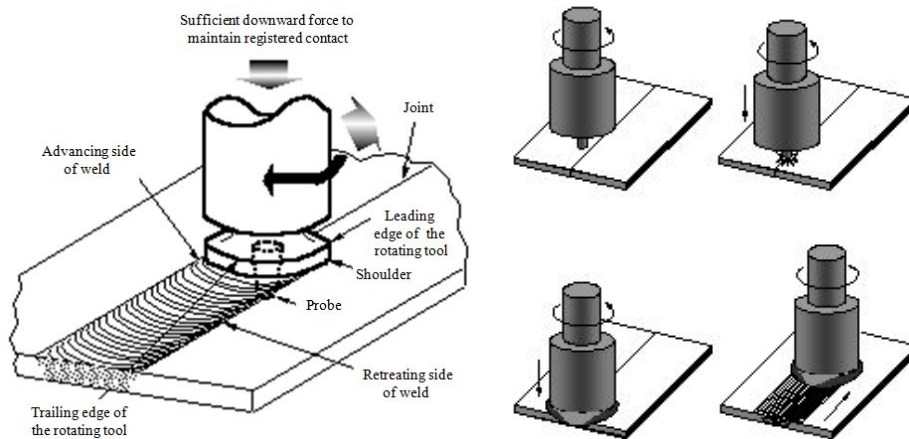


Fig. 1-1 Schematic diagram of the Friction Stir Welding

이를 해결하기 위하여 Fig. 1-1의 그림에서처럼 마찰교반회전공구를 돌리 싸고 있는 전기저항가열전극을 마찰교반용접판재의 용접부에 동시에 배치 하고 이 전기저항가열전극을 통하여 접합부에 미리 열을 가한 후 마찰교반 회전공구를 회전시키면서 압력을 가하여 마찰교반용접판재에 삽입하게 되면 열간상태의 금속에 바로 소성유동이 발생하여 마찰교반회전공구의 회전 과 함께 회전공구주위로 금속이 유동하게 된다. 따라서 과도한 소성변형하 중이 줄어들게 되고 회전공구의 삽입과 금속의 교반이 용이하게 된다.

기존의 마찰용접은 두 장의 접합할 용접판재를 맞댄 다음 이음매부분을 용접 하는 것을 특징으로 하고 있으니 본 연구는 중첩된 판재를 스폿용접하 는 것에 적용한다. 기존의 마찰교반용접은 Fig. 1-1에 나타나듯이 매우 간단 하면서도 독특한 일종의 연속공정으로서 접합모재를 고정시킨 후 이음부의 맞대기 면을 따라 특수 형상을 지니고 접합모재에 비해 경한 재질을 지닌 비소모식 회전 툴(tool or stir rod)의 일부분이 삽입되어 툴과 접합모재의 상 대적 운동에 의해 마찰열을 발생시켜 모재의 변형저항을 낮추어 연화시키 기에 충분한 온도로 인접한 접합부를 가열시킨다.

이로 인해 툴의 삽입된 부분인 핀주위로 연화된 소위 소성유동영역이 생

기계 된다. 기계적 힘을 가하여 핀이 접합선을 따라 이동함에 따라 가열된 부위가 핀의 전진부(advancing side)에서 후퇴부(retreating side)로 압출되게 되고 마찰열과 기계적 가공의 조합에 의해 고상접합부가 만들어진다.

이 접합공정의 순서는 Fig. 1-1에 도식적으로 나타낸 순서에 의해 진행된다. 먼저 툴을 모재에 삽입하기 전에 회전을 시키고 난 후 툴이 모재와 접촉하여 열을 발생시킨다. 이어서 숄더(shoulder)부분이 접촉하여 가열 영역을 확대시키고 난 후 툴 또는 모재의 이동으로 툴 아래 부분의 소재가 유동하여 마찰교반용접의 너겟(nugget)을 형성함으로써 접합이 이루어지게 된다.

마찰교반용접부에서는 용융은 일어나지 않으므로 미세한 결정립의 압출 조직이 남아 있고 액상에서 고상으로의 변태에 따른 기공, 응고균열, 잔류 응력 등과 같은 문제가 해결된다. 이외에도 낮은 입열량과 미용융 특성으로 기계적성질이 개선되고 용접전 처리기준이 덜 엄격하며 공정인자 역시 아크용접에 비해 단순한 점 등 많은 이점들이 얻어진다.

툴은 일반적으로 큰 직경의 숄더부와 이보다 적은 직경에 특수한 형상으로 가공된 핀(pin or probe)부로 구분되며 핀 부분이 이음부로 삽입되면서 접합모재와 먼저 접촉하게 된다. 툴의 숄더부와 접합모재의 접촉 역시 상당량의 마찰열을 발생시킬 뿐만 아니라 연화된 재료의 방출을 막아준다.

툴이 접합선을 따라 상대적으로 이동함에 따라 연화된 재료를 툴 후면에서 합체시켜 고체상태 이음부를 형성시키는 것이다. 이때 접합모재는 핀이 이음선을 따라 지나갈 때 맞대어진 이음면이 떨어지지 않도록 고정되어야 한다. 접합할 때 삽입깊이는 툴의 숄더 아래에 위치한 핀의 길이에 의해 조절되는데 맞대기 용접이 경우 핀의 길이는 대략 부재의 두께와 유사하다.

초기의 삽입시 마찰접촉에 의해 핀 인근의 재료가 가열되지만 일단 숄더부가 접합모재의 표면과 접촉이 시작되면 상당한 추가적인 열이 용접부에

가해지게 된다. 게다가 접촉하는 솔더는 적절한 형상으로 가공하여 연화된 재료가 밖으로 빠져나가는 것을 방지한다. 마찰교반용접의 틀은 고온에서 정적, 동적 성질이 우수한 내마모재료를 사용하여 제조되는데 특히 핀 부근의 고온전단강도가 중요한 인자이다. 그러나 마찰교반용접은 회전공구의 마찰저항에 따른 발열로 용접판을 가열하기 때문에 회전공구의 회전수와 공구의 강도에 제한을 받게 되는 점이 단점으로 지적되고 있다.

Fig. 1-2는 기존의 스폿용접기를 나타내는 것으로 두 장의 중첩된 금속판재의 양면에 전극을 부착하고 전류를 통전함으로써 중첩된 두 금속판재사이의 접촉저항과 금속판 자체의 고유저항에 의하여 용접부가 발열되어 용접부 금속을 용융함으로써 두 금속판을 용접하는 용융접합이다[15~16].

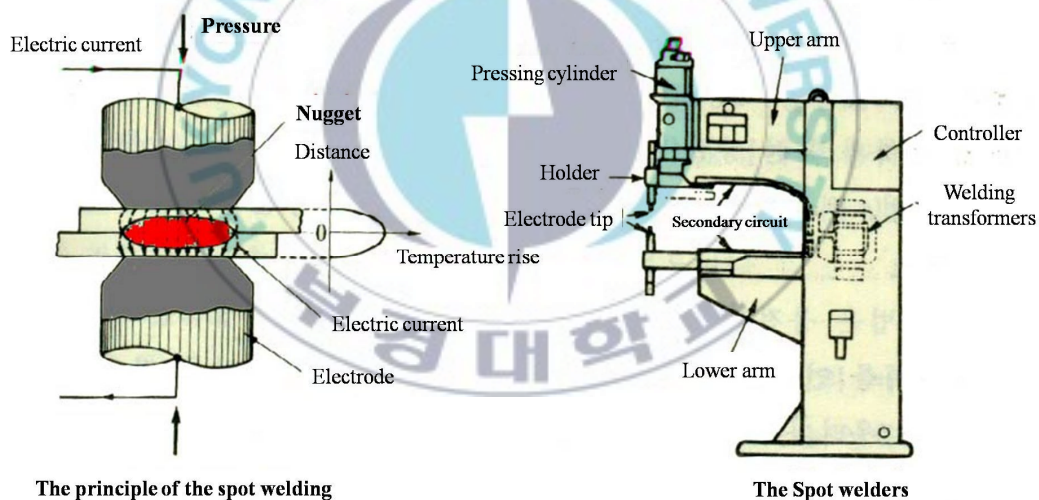


Fig. 1-2 The principles and the machine of spot welding

본 연구는 Fig. 1-1의 마찰교반용접기를 중첩된 두 장의 금속판재의 스폿용접에 이용하고 Fig. 1-2의 스폿용접기처럼 용접하고자 하는 금속판재에 전류를 공급하여 용접판재를 가열하여 마찰교반에 발생하는 열원에 추가하여 전기저항 열원을 가하여 접합하는 것을 특징으로 한다.

중첩된 판재의 전기저항 스폿용접법은 용융용접으로서 용접금속의 접촉면의 불균일한 압력과 용접금속판재의 불순물로 인하여 접촉저항의 불균일로 인하여 발열이 고르지 못하는 단점이 있다. 따라서 마찰교반용접의 장점인 마찰열을 이용한 소성유동을 살리고 전기저항의 발열효과를 추가하게 되면 각각의 단점을 보완할수 있는 새로운 용접방법이 가능하게 된다.

따라서 본 연구의 내용의 범위는 마찰교반용접기에 전기저항 발열장치를 추가하여 마찰교반스폿용접장치를 제작하여 용접실험 한 후 용접강도가 기존의 스폿용접보다 크면서 용접효과가 극대화 될 수 있는 전기저항 마찰교반 스폿용접기를 개발하고자 한다.



1.3 논문의 구성

본 논문은 제 1장에서 전반적인 연구의 목적 및 배경을 설명 하였다. 제 2장에서는 전기저항 마찰교반 스폿용접의 원리 및 관련 이론을 설명하였다. 그리고 제 3장에서는 전기저항 마찰교반 스폿용접실험을 위하여 장비설계 및 제작과 관련된 내용을 서술 하였고, 제 4장에서는 접합이 가능한 전류조건을 구하기 위한 선행 실험과 구해진 조건을 통하여 전기저항 마찰교반 스폿용접장치의 설계에 필요한 설계변수들에 대해 실험을 진행한 내용이 담겨있다. 마지막으로 제 5장에서는 모든 내용을 종합하여 나온 결론에 대한 내용으로 구성되어 있다.



제 2 장 전기저항 마찰교반 스폿용접

2.1 전기저항 마찰교반 스폿용접의 특징

전기저항 마찰교반 스폿용접은 비철금속을 효율적으로 점용접 할 수 있도록 고안된 차세대 점용접 방법으로서 통전과 저항에 의한 순간적인 발열과 교반에 의한 보조열원을 이용하여 단시간 내에 점 용접하는 방법을 말한다. 이는 기존의 마찰교반점용접보다 빠른 용접속도를 가지고, 기본적으로 표면 마찰용접을 이용하고 있기 때문에 기존의 마찰교반점용접후에 발생하는 툴의 흔적을 최소화 하는 것이 가능하다.

전기저항 마찰교반 스폿용접의 접합기구에는 용융접합을 사용하고 있으며 발열의 형태로는 소재와 소재사이의 접촉저항에 의한 발열과 철계전극(steel electrode)의 전도열, 그리고 교반핀에 의한 마찰열로 구성된다. 동시간대에 다양한 형태의 발열이 발생하여 마찰열에만 의존하는 마찰교반점용접보다 단시간에 접합이 가능하고, 소재 계면사이의 접촉저항열에만 의존하는 스폿용접에 비해 용접부에 집중적으로 열을 공급할 수 있다.

전기저항 마찰교반 스폿용접의 용접 과정은 Fig. 2-1과같이 총 4가지의 단계로 이루어진다. 먼저 Fig. 2-1의 (a)상태에서 용접하고자하는 두 개의 판재를 안착 시킨다. 다음으로 Fig. 2-1의 (b)와 같이 두 장의 판재를 상부 전극으로 눌러줌으로서 고정하고, 전류를 통전하여 용접부를 가열한다. 통전이 시작됨과 동시에 하부에 위치한 교반핀도 회전함으로서 표면에 마찰열을 발생 시킨다. 통전이 이루어지는 동안 Fig. 2-1의 (c)와 같이 교반핀이 약간 전진하여 접합부에 가함으로써 계면의 저항열에 의하여 발생하는 너깅에 자칫 발생할 수 있는 기공현상을 방지하고 소재를 다져주는 역할을 한다. 마지막으로 Fig. 2-1의 (d)와 같이 교반핀이 원위치로 후퇴하고 나면 모든 공정이 끝나고 두 소재는 서로 점용접이 이루어진 상태이다. 소재의 표면에

는 약간의 교반흔적과 미세한 전극 압흔만이 발생하고 이 압흔과 교반흔적은 기존의 마찰교반점용접에 비하여 작은 것이 특징이다[17,18].

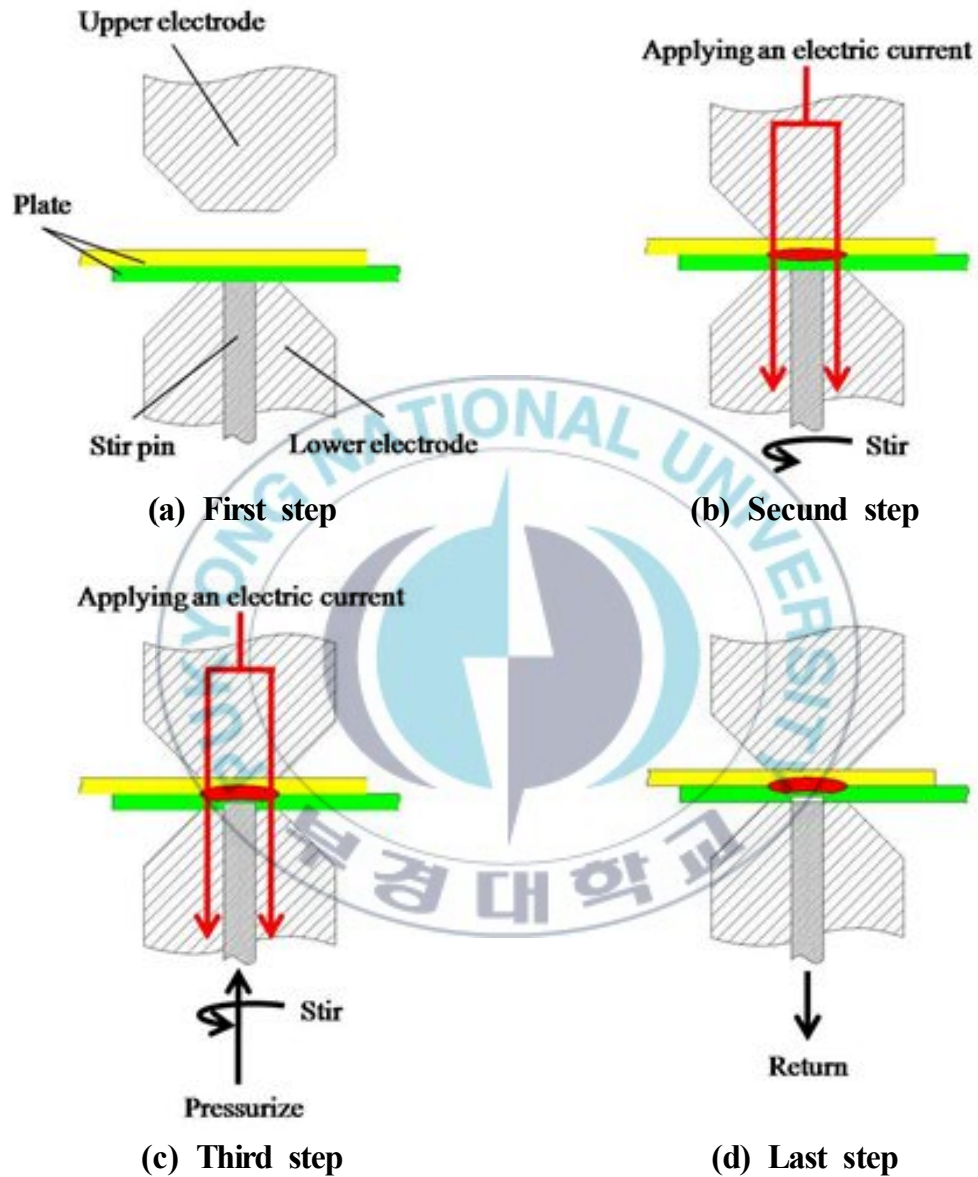


Fig. 2-1 Process Step of Electric Resistance Friction Stir Spot Welding

2.2 전기저항 마찰교반 스폿용접의 가열 특징

2.2.1 마찰교반 점용접의 발열량

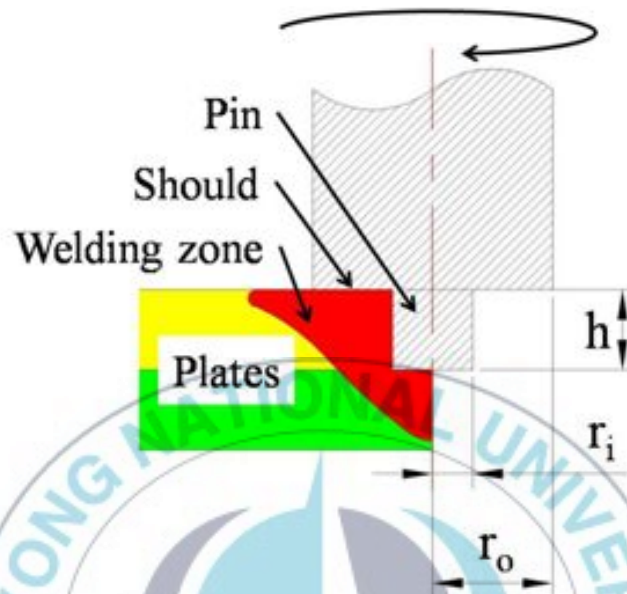


Fig. 2-2 Welding shape of friction stir spot welding

마찰교반용접에서 발생하는 열은 회전하는 공구와 Al 판 사이의 마찰에 의한 마찰열과 재료의 소성변형에 의한 열이다. 공구의 속도가 빠를수록 마찰열이 지배적이다. 소성변형에 의한 열은 무시하고 공구와 판의 마찰열만을 고려한다면 공구와 판의 마찰은 Fig. 2-2와 같이 솔더와 판, 공구의 핀 끝면과 판, 그리고 핀의 표면과 판 사이에서 일어난다. 따라서 공구의 회전에 필요한 토크 T_f 는 식 (2.1)과 같이 나타낼 수 있다[19,20].

$$T_f = T_{should} + T_{bottom} + T_{surface} \quad (2.1)$$

마찰면에서 균일한 크기의 전단응력 τ 가 작용한다고 가정하면 토크 T_f 는 식 (2.2)와 같이 표현된다.

$$T_f = \int_{r_i}^{r_0} \tau r 2\pi r dr + \int_0^{r_i} \tau r 2\pi r dr + 2\pi \tau r_i^2 h \quad (2.2)$$

여기서 r_0 는 공구 솔더의 반경, r_i 는 핀의 반경, h 는 핀의 길이이다. 공구에 작용하는 수직력을 F , 공구와판의 마찰계수를 μ 라고 하면 식 (2.2)는 식 (2.3)과 같이 표현된다.

$$T_f = 2\mu F \left(\frac{r_0}{3} + \frac{r_i^2}{r_0^2} h \right) \quad (2.3)$$

따라서 단위 시간당 발생하는 일률은 식 (2.4)와 같이 P_f 와 같다.

$$P_f = T_f \bar{w} \quad (2.4)$$

여기서 토크에 의한 일이 열발생의 일에 백퍼센트 기여한다고 가정한다면 발열량을 식 (2.5)와 같이 구할 수 있다.

$$Q_f = 0.24 T_f \bar{w} t \quad (2.5)$$

2.2.2 전기저항 점용접의 발열량

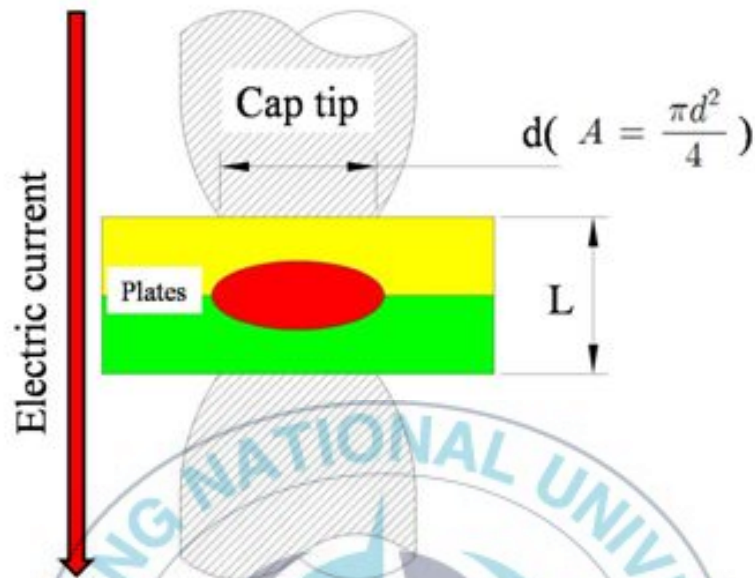


Fig. 2-3 Welding shape of electric resistance spot welding

저항 점 용접은 Fig. 2-3과 같이 전극을 이용하여 판재를 고정시키고, 전류를 흐르게 하여 판재 내부에서 발생한 저항열에 의해 판재의 접합면을 용융시키고 압력을 가해 접합부를 형성하는 공정이다. 저항용접에서 저항열이 매우 중요한 역할을 하며, 도체에 전류가 흐르는 경우에 발생하는 저항열은 전류의 제곱에 비례한다. 식으로 표현하면 식 (2.8)과 같다[21~23].

$$Q_e = 0.24I^2Rt \quad (2.8)$$

여기서, Q_e 는 전기 저항에 의한 발열량, I 는 용접전류, R 은 전기 저항, t 는 통전시간이다. 위 식에 포함되어 있는 전기저항 R 은 용접재료의 벌크 저항(bulk resistance)뿐만 아니라 전극을 포함하여 저항용접 장치의 2차 회로 전체 저항을 나타낸다. 또한, 식(2.8)의 전기저항 R 은 재료의 비저항

(resistivity), 단면적 및 길이의 영향을 받으며 식(2.9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_e = 0.24I^2\left(\frac{\rho L}{A}\right)t \quad (2.9)$$

여기서, ρ 는 도체의 비저항, L 는 도체의 길이, A 는 도체의 단면적이다.

위의 식에서 저항열은 전류의 제곱에 비례하고, 저항과 전류를 흘린 시간인 통전시간에 비례한다. 전류가 흐르는 부위의 단면적이 작을수록 발열량이 증가하기 때문에 동일한 전류로 용접하는 경우에도 통전경로의 단면적이 감소하면 전류 밀도가 증가하는 효과를 얻을 수 있다.

저항열에 의해 용접재 내부의 온도가 증가하며, 용접재 내부의 온도분포는 용접재 간의 계면인 중심부에서 최대 온도가 발생한다. 용접재 간의 계면에서 온도가 높은 것은 계면에서 접촉저항이 높기 때문이며, 온도 분포는 용접재의 재질과 두께, 전극의 재질과 형상에 영향을 받는다.

2.2.3 전기저항 마찰교반점용접의 발열량

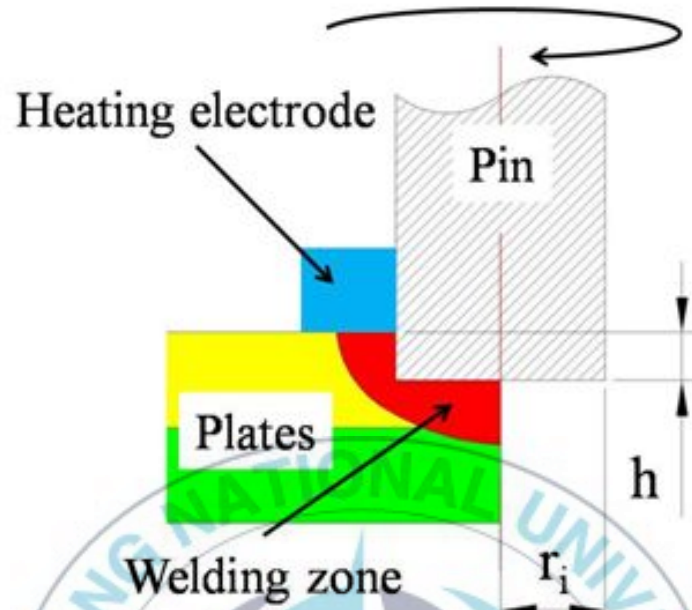


Fig. 2-4 Welding shape of surface friction stir spot welding

전기저항 마찰교반용접의 가열은 전기저항가열방법에 표면마찰교반 점용접의 가열방법을 접목하여 소재를 가열하는 방법을 이용하고 있으므로 마찰교반점용접의 발열량과 전기저항용접의 발열량이론을 이용하여 발열량을 식 (2.10)과 같이 정의할 수 있다.

$$Q_{e.f} = Q_e + Q_{s.f} \quad (2.10)$$

여기서 $Q_{e.f}$ 는 전기저항 마찰교반용접의 발열량을 나타낸다.

단, 본 연구에서는 솔더가 있는 교반핀을 사용하지 않고 Fig. 2-5와 같은 형태의 표면 마찰용접법을 접목하였다. 따라서 표면마찰점용접의 토크는 식 (2.11)과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$T_{s.f} = T_{bottom} + T_{surface} \quad (2.11)$$

앞서 서술한바와 마찬가지로 마찰면에서 균일한 크기의 전단력 τ 가 작용한다고 가정하면 토크 $T_{s.f}$ 는 식 (2.12)와 같이 표현된다.

$$T_{s.f} = \int_0^{r_i} \tau r 2\pi r dr + 2\pi \tau r_i^2 h \quad (2.12)$$

여기서 r_i 는 핀의 반경, h 는 핀의 높이에서 삽입 깊이로 보아도 무방하다. 공구에 작용하는 수직력을 F , 공구와판의 마찰계수를 μ 라고 하면 식 (2.12)는 식 (2.13)과 같이 표현된다.

$$T_{s.f} = 2\mu F \left(\frac{r_i}{3} + h \right) \quad (2.13)$$

따라서 단위 시간당 발생하는 일률은 식 (2.4)와 같이 $P_{s.f}$ 와 같다.

$$P_{s.f} = T_{s.f} \bar{\omega} \quad (2.14)$$

여기서 토크에 의한 일이 열발생의 일에 백퍼센트 기여한다고 가정 한다면 발열량을 식 (2.15)와 같이 구할 수 있다.

$$Q_{s.f} = 0.24 T_{s.f} \bar{\omega} t \quad (2.15)$$

최종 적으로 전기저항 마찰교반점용접의 발열량은 식 (2.16)과 같이 표현 가능하다.

$$Q_{e.f} = 0.24 t \left\{ I^2 \frac{\rho L}{A} + 2\mu F \left(\frac{r_i}{3} + h \right) \bar{\omega} \right\} \quad (2.16)$$

상기 식을 살펴보면 마찰교반 점용접과 전기저항 점용접과 비교했을 때 동일한 발열량을 필요로 한다고 가정하면 추가적인 요소가 있는 전기저항 마찰교반 점용접 쪽이 시간단축에 있어 더 유리함을 식을 통하여 알 수 있다. 또한 세부적으로 살펴보면 발열량은 전류의 세기에 지배적인 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 하지만 알루미늄의 전기저항 점용접에서 높은 전류는 스페터(spatter)의 발생 원인이 되므로 스페터가 발생하지 않는 조건에서 접합이 어려운 실정이다. 그리고 도체의 비저항 ρ 는 접합판재의 결정에 따

라 고정되는 상수이고, 도체의 길이 L 또한 판재의 두께와 같다. 도체의 단면적 A 의 경우 표준 규격 또는 여타 연구에 따른 결과인 표준 너깃직경 $5\sqrt{t}$ 를 얻기 위해서는 거의 고정이라고 보아도 무방하다. 따라서 핀의 반경 r_i 를 넓히거나, 핀의 높이 또는 삽입깊이 h 를 높이거나, 회전속도 등을 조절하여 접합이 가능한 발열량 조건내에서 접합시간의 단축이 가능하다.



제 3 장 전기저항 마찰교반 스폿용접장치 및 실험

3.1 전기저항 마찰교반 스폿용접장치 설계

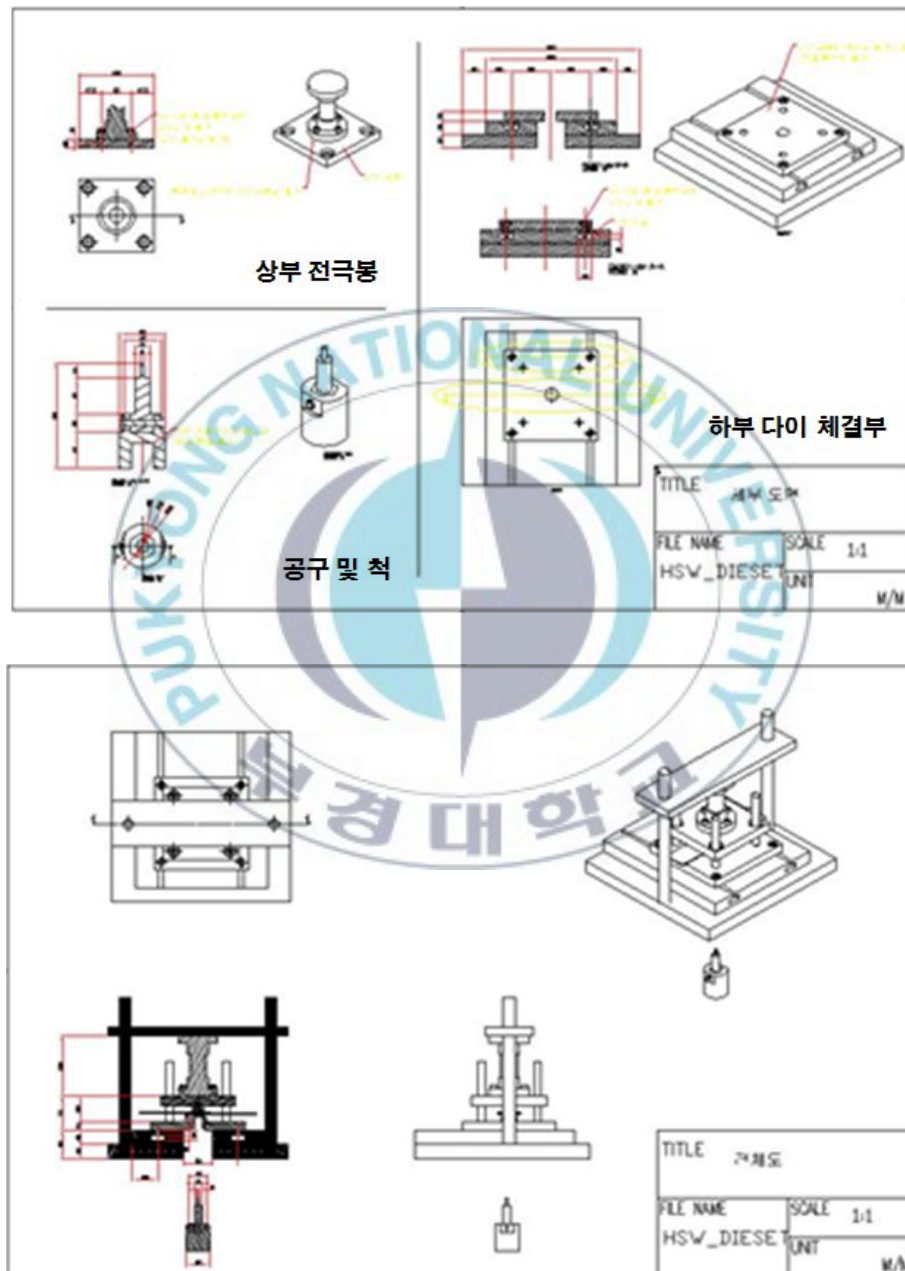


Fig. 3-1 Concept design of Electric Resistance Friction Stir Spot Welding

전기저항 마찰교반 스폿용접실험을 하기 위하여 장치의 설계를 진행하였다. 장치의 개념(concept)은 기존의 프로젝션(projection) 용접기에 장착하여 실험을 할 수 있도록 Fig.3-1과 같은 형태로 설계되었다. 기타 설계사양으로는 용접기의 용량 및 유압유닛(hydraulic unit)의 사양, 최대 조정전류의 세기 등등을 제작업체와 상의하여 결정하였다.



3.2 전기저항 마찰교반 스폿용접장치 제작

설계를 바탕으로 제작되어진 실험 장치는 Fig. 3-2와 같다. 실험장치의 구조는 크게 용접기, 컨트롤러, 유압유닛으로 구성되어 있으며 실제 용접이 이루어지는 부분에는 크롬동(Cr-Cu)으로 이루어진 금형 형태와 교반핀을 회전시키기 위한 모터로 구성되어있다. 기타 위아래 두 개의 실린더가 위치해 있으며, 상부 실린더는 소재를 압착하여 고정시키는 역할을 하고 하부실린더는 교반핀을 밀어서 접합부에 압력을 가하는 역할을 한다.

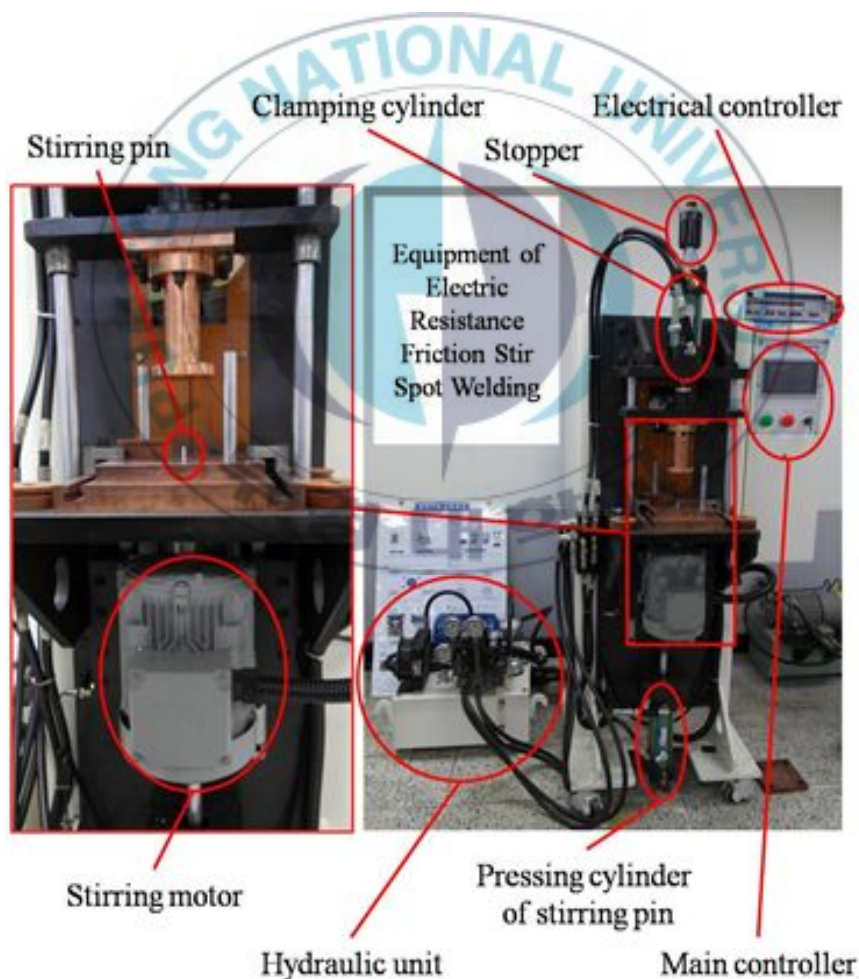


Fig. 3-2 Equipment of Electric Resistance Friction Stir Spot Welding

용접 실험을 할 경우 Fig. 3-3과 같이 2장의 금속 판재가 안착되고 상부실린더에 의해 고정된다. 이때 절연재로 이루어진 두 개의 가이드롤(guide roll)에 의해 정확한 위치에 판재가 오도록 할 수 있고, 교반시에 자칫 발생할수 있는 판재의 회전을 막을 수 있다.

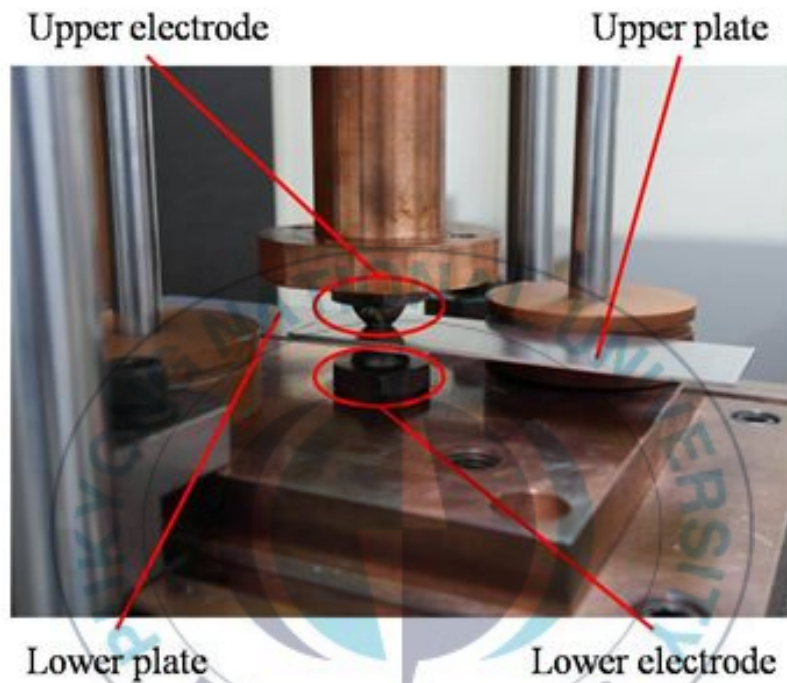


Fig. 3-3 Prepared equipment for experiment

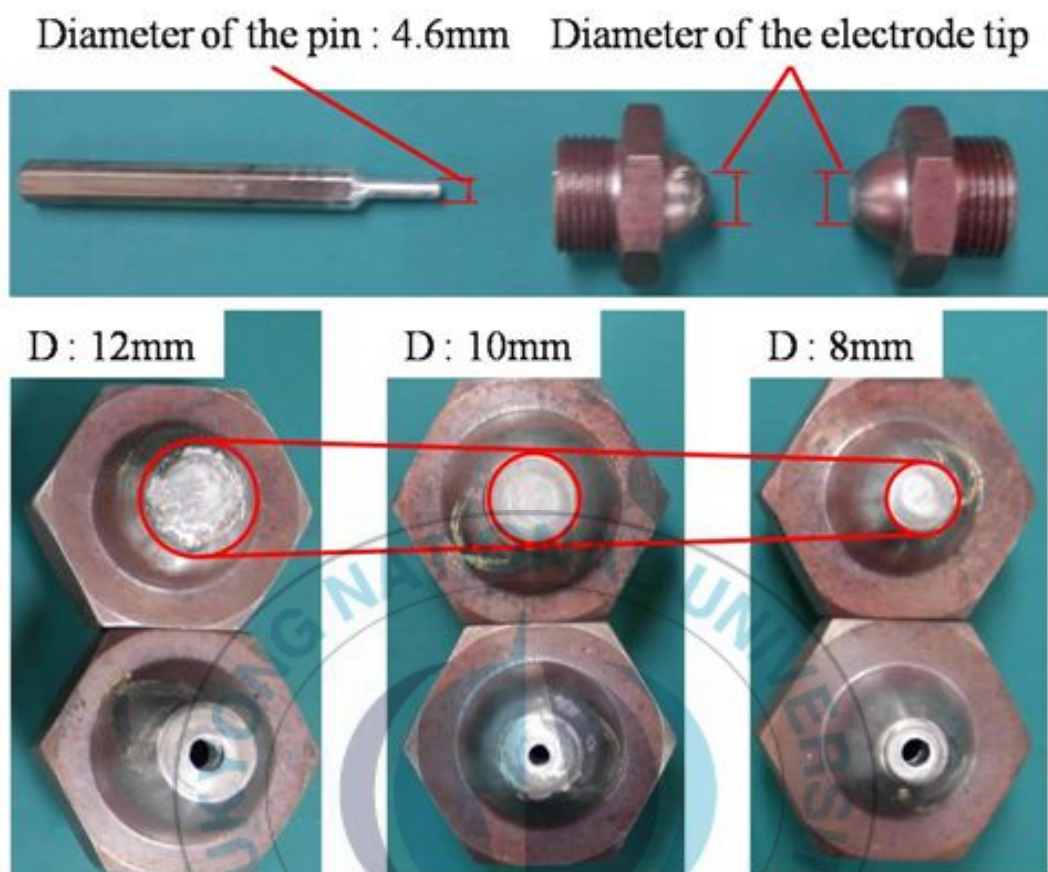


Fig. 3-4 Major parts in equipment

용접장치의 중요한 부분인 교반 핀과 철계전극은 Fig. 3-4와 같이 제작되었다. 교반핀은 회전과 동시에 압력에 의한 압축하중을 받기 때문에 작은 면적에서도 높은 비틀림 강성과 압축 강성이 좋아야하고, 철계전극과 접촉하여 회전하기 때문에 외주면(outer peripheral surface)이 매우 경면일 필요성이 있다. 따라서 이모든 조건을 만족하는 금속인 초경합금으로 교반핀이 제작되었다. 철계전극의 경우 열간금형강(SKD61)을 이용하여 높은 온도와 압력에도 버틸 수 있도록 설계 제작되었다. 세부 치수로는 교반핀의 교반영역을 4.6mm로 하였고, 전극 끝단의 직경인 선단경은 실험의 주요 변수로 보고 총 세 가지 수준의 실험을 위하여 12mm, 10mm, 8mm로 제작되었다. 교반핀의 직경을 4.6mm로 정한 것은 본 연구실의 소성접합 연구 자료를 참고하여 1.5mm의 두께를 가지는 알루미늄 판재를 소성유동점접합 할 경우 소성유동 핀의 직경은 4.6mm~5mm정도가 적당함을 기초로 하여 장치의 제작비 절감 및 핀의 교체성 편의를 위하여 4.6mm의 직경을 가지는 초경공구를 이용하였다.

3.3 전기저항 마찰교반 스폿용접 실험

3.3.1 실험 방법 및 조건

새로운 접합기술이 산업화되기 위하여 꼭 필요한 것은 이 새로운 접합방법이 실제 현장에 사용될 정도의 충분한 접합강도를 가지는지를 파악하는 것이다. 따라서 본 연구의 주요 목적은 전기저항 마찰교반 스폿용접을 이용하여 비철금속인 알루미늄합금 판재를 용접하였을 때 현장의 표준 점용접 강도를 얼마만큼 만족하는지를 파악하는 것이다. 부가적으로 몇 가지 주요 인자들과 접합강도 사이의 영향력 및 최고의 접합강도를 가지는 조건 등에 대하여 조사하는 것이 부가 목적이다. 따라서 실험은 전기저항 마찰교반 스폿용접된 판재의 정적 전단 인장시험을 통하여 접합강도를 분석하였고, 실험계획법을 이용하여 인자들의 영향력을 분석하였다. 실험 조건의 설정에는 간이 테스트법인 필 테스트(Peel test)를 이용하여 각각의 선단경(diameter of the electrode tip)에 적합한 전류조건을 찾아내었다.

실험에 사용된 금속은 알루미늄 5052합금 소재를 사용하였고, 세부적인 물성치 및 형상치수는 Fig. 4-1과 같다. 본 소재를 사용한 이유는 차량용 외판소재로 주로 많이 사용되는 5000계열 알루미늄 합금 중에서도 국내에 쉽게 구할 수 있고 현장에 사용되는 소재와 매우 흡사한 물성을 가지기 때문이다. 또한 실험소재의 두께를 1.5mm로 정한 것도 차량용 외판소재로 많이 사용되는 두께의 범위가 1.5mm~2.5mm이기 때문이다. 시편의 추가적인 처리로는 용접에 앞서 시편의 표면에 불순물을 제거하기 위하여 메탄올을 이용한 세척이 진행 되었다.

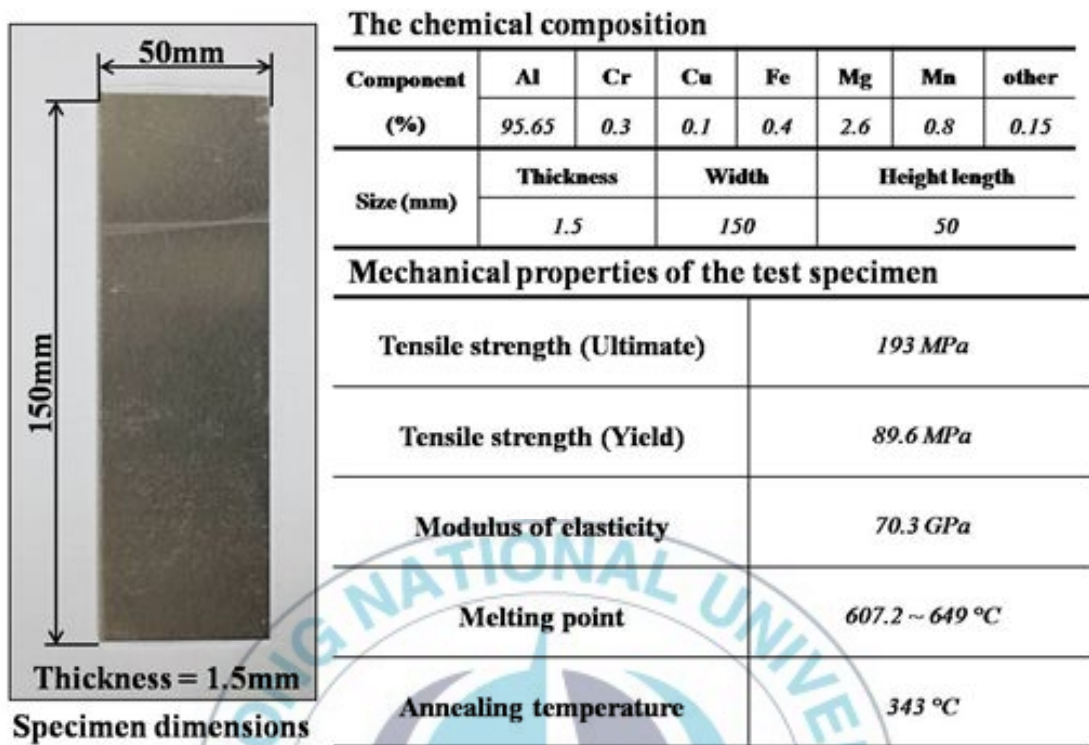


Fig. 4-1 The characteristics of the specimen

실험의 인자로는 Table 4-1과 같이 총 3개의 인자를 잡았고, 인자의 수준은 총 3가지로 정하였다. 세 가지 인자 중에서 선단경의 경우 삽입 깊이와 교반속도와는 달리 실험에 여러 가지 영향을 줄 수 있는 인자이다. 예를 들면 철계전극과 크롬동사이에 발생된 열이 소재에 전도될 때 전도되는 면적의 차이로 인하여 접합온도에 영향을 줄 수 있다. 그리고 소재를 고정하는 역할도 하기 때문에 교반에 있어서 소재를 잡고 있어줄 영역의 크기를 결정하여 소성유동에 영향을 줄 가능성도 있다. 또한 전열 면적 및 전류 밀도의 크기를 결정하기 때문에 너짓의 크기에도 영향을 준다. 마지막으로 초기 가압면적에 영향을 주기 때문에 용접부 표면의 외관 품질에도 영향을 준다. 이렇듯 선단경은 여러 가지 영향을 줄 수 있는 실험 인자로서 모든 영향을

고려하여 실험을 진행하기는 힘들고 오랜 시간이 걸린다. 그렇기 때문에 가장 지배적인 영향을 주는 접합온도와 관련하여 변수를 줄일 필요가 있었다.

Table 4-1 The major factor and the level of factor

Factor	The name of factor	The level of factor		
		0	1	2
Factor A	Diameter of the electrode tip(mm)	12	10	8
Factor B	Insertion depth of pin(mm)	0.8	0.4	0
Factor C	Stirring speed(rpm)	1200	800	400

일단 외관 품질과 소재의 고정면적에 대한 영향을 무시하고, 전열 면적 및 전류 밀도의 크기를 고려해보면 결국 저항에 영향을 주어 모두 접합온도로 표출된다. 결국 접합온도는 대표적인 인자인 통전 시간, 전류의 세기, 전극 접촉부의 조도, 선단경을 모두 하나로 함축 할 수 있다. 따라서 용접당시의 온도를 정확히 측정함으로써 4가지의 주요 인자를 하나로 함축이 가능하다. 하지만 실제 용접에서 용접부 전체의 온도를 정확히 파악하는 것은 힘들다. 결과적으로 본 실험에서는 접합 온도에 영향을 주는 4가지 주요 변수중 통전 시간과 표면 조도를 고정으로 두고, 선단경과 전류의 세기를 인자로한 선행 실험을 진행하였다. 선행 실험에서 소재의 용접을 확인 하는 방법으로는 Fig. 4-2와 같이 간이 테스트 방법인 필(Peel) 테스트를 이용하였고, 시험에 의해 얻어진 결과로 각각의 선단경에 최적의 용접상태를 가지는 전류의 세기를 정하였다.

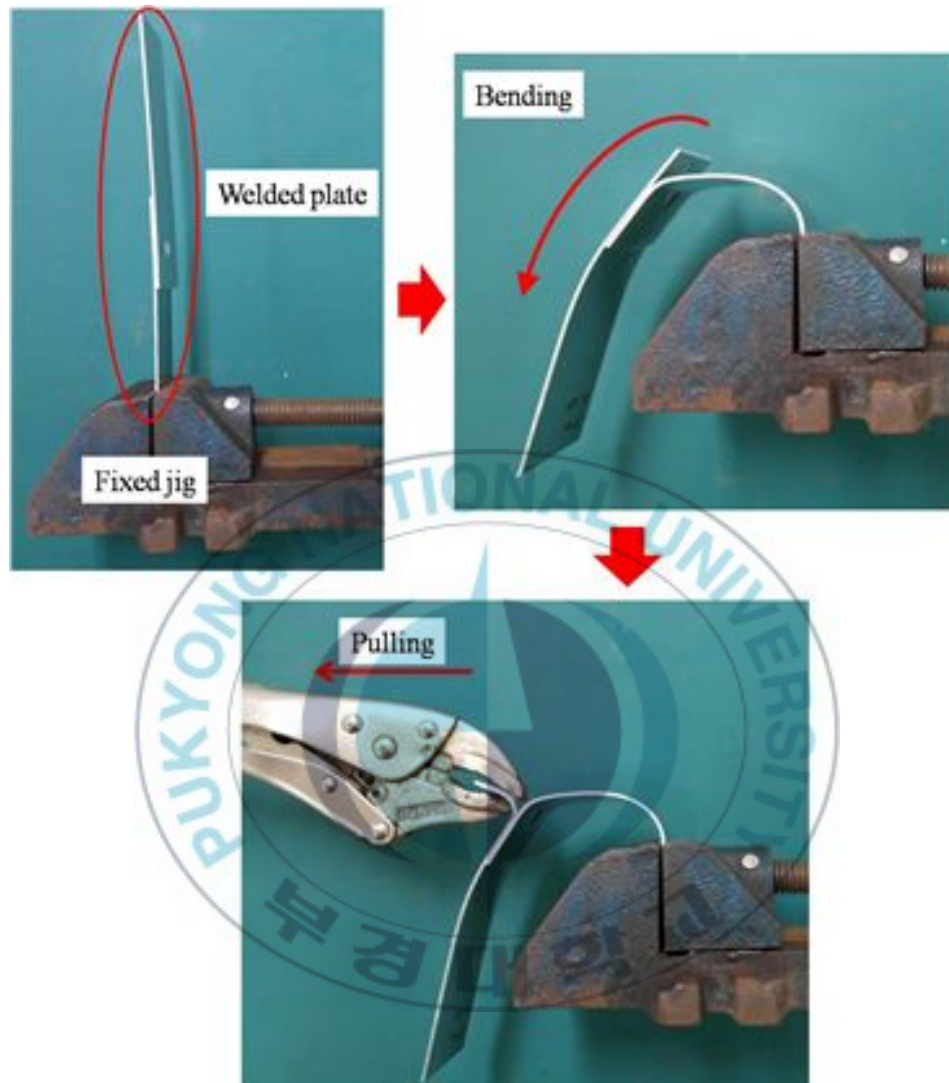


Fig. 4-2 The method of Peel test

3.3.2 접합 전류조건 선행 실험

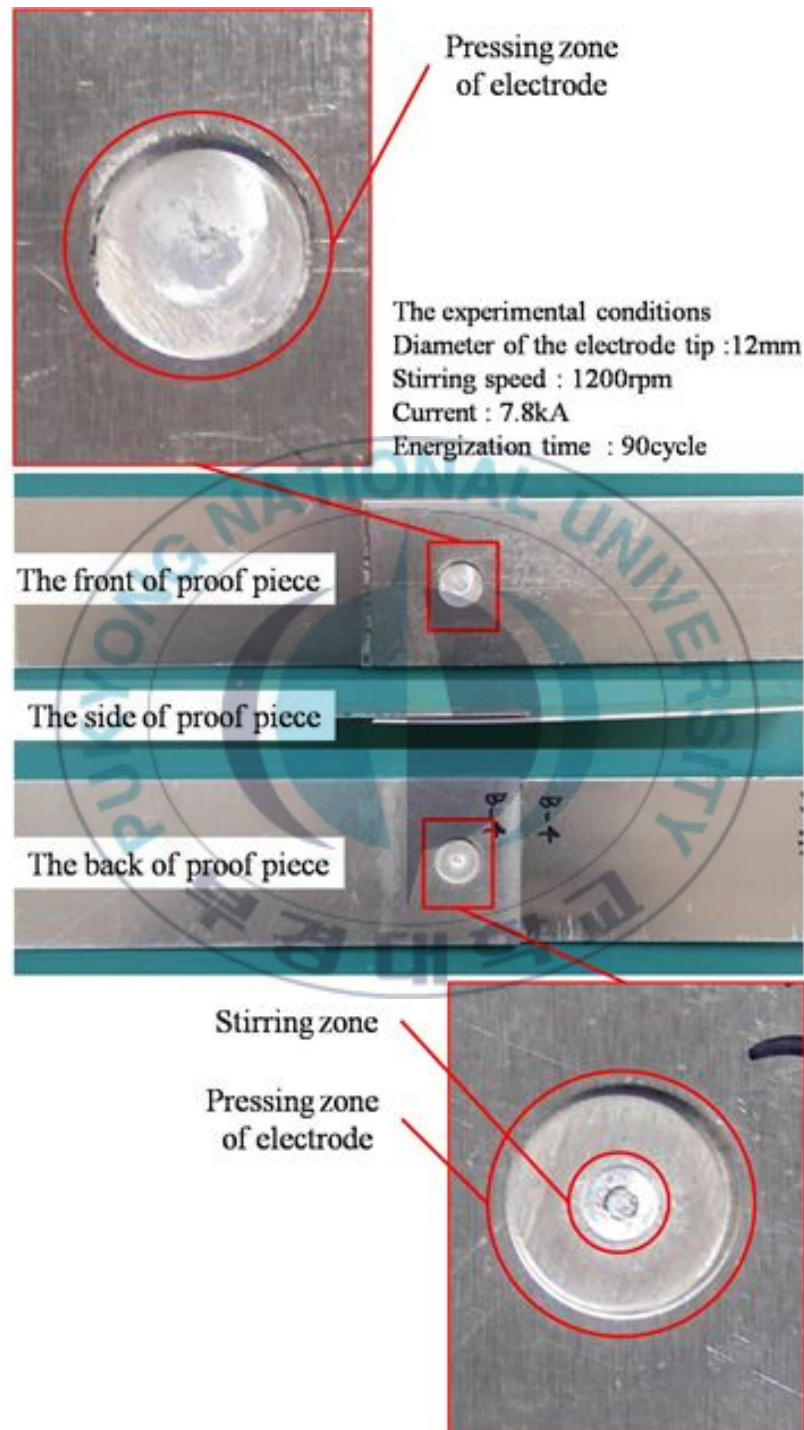


Fig. 4-3 Major parts in equipment

Fig. 4-3은 전기저항 마찰교반 스폿용접된 알루미늄 판재소재의 형상을 보여주고 있다. 외관상으로 한 면에서 교반의 흔적을 확인할 수 있었고, 양쪽면 모두 접합부에 약간의 전극 압흔을 발견할 수 있었다. 그 외적으로 표면상에 큰 접합흔적은 발견되지 않았고 기존의 마찰교반점용접과 같은 교반 핀의 구멍 흔적도 나타나지 않았다. 이렇게 접합된 소재를 이용하여 선행실험과 본 실험을 진행하였다.

선행실험에서 하고자하는 것은 각각의 선단경에 최적의 접합전류조건을 찾아내는 것이다. 따라서 접합이 잘되었는지를 판단하기위하여 인장시험과 같은 정량적인 방법으로 시험하는 방법도 있지만 단순히 접합이 이루어지는 조건을 찾는 방법으로는 간단한 필 테스트를 이용하는 것이 경제적으로나 시간적으로 효율이 좋다. 본 연구에서는 Fig. 4-4와 같이 총 4가지 부류의 접합부 계면형상 및 표면 형상을 이용하여 접합의 우위성을 결정하였다. 먼저 전류의 세기가 약해서 아예 용접이 이루어질 정도의 온도가 되지 못한 경우로 비접합 부류가 있다. 다음으로는 접합이 이루어지고 필 테스트를 하였을 때 충분히 접합강도가 나와서 버트(butt) 파단의 형태가 나왔으나 너깃의 직경이 사용된 선단경의 70%를 넘지 못하는 경우로 약한 용접 부류가 있다. 그 다음으로 접합이 전류조건이 충분하고 접합도 강하게 이루어져서 버트파단이 발생할 뿐만 아니라 너깃직경도 사용된 선단경의 70%이상인 강한 접합 부류가 있다. 이 부류는 본 실험에 선단경당 용접 전류의 세기가 결정 하는 부류이다. 마지막으로 과도한 전류의 세기로 인하여 소재가 비산되어 소재손실이 발생하는 경우이다. 이 같은 부류는 실제 필 테스트를 해보아도 소재손실에 의해 매우 쉽게 파괴되는 것을 알 수 있다.

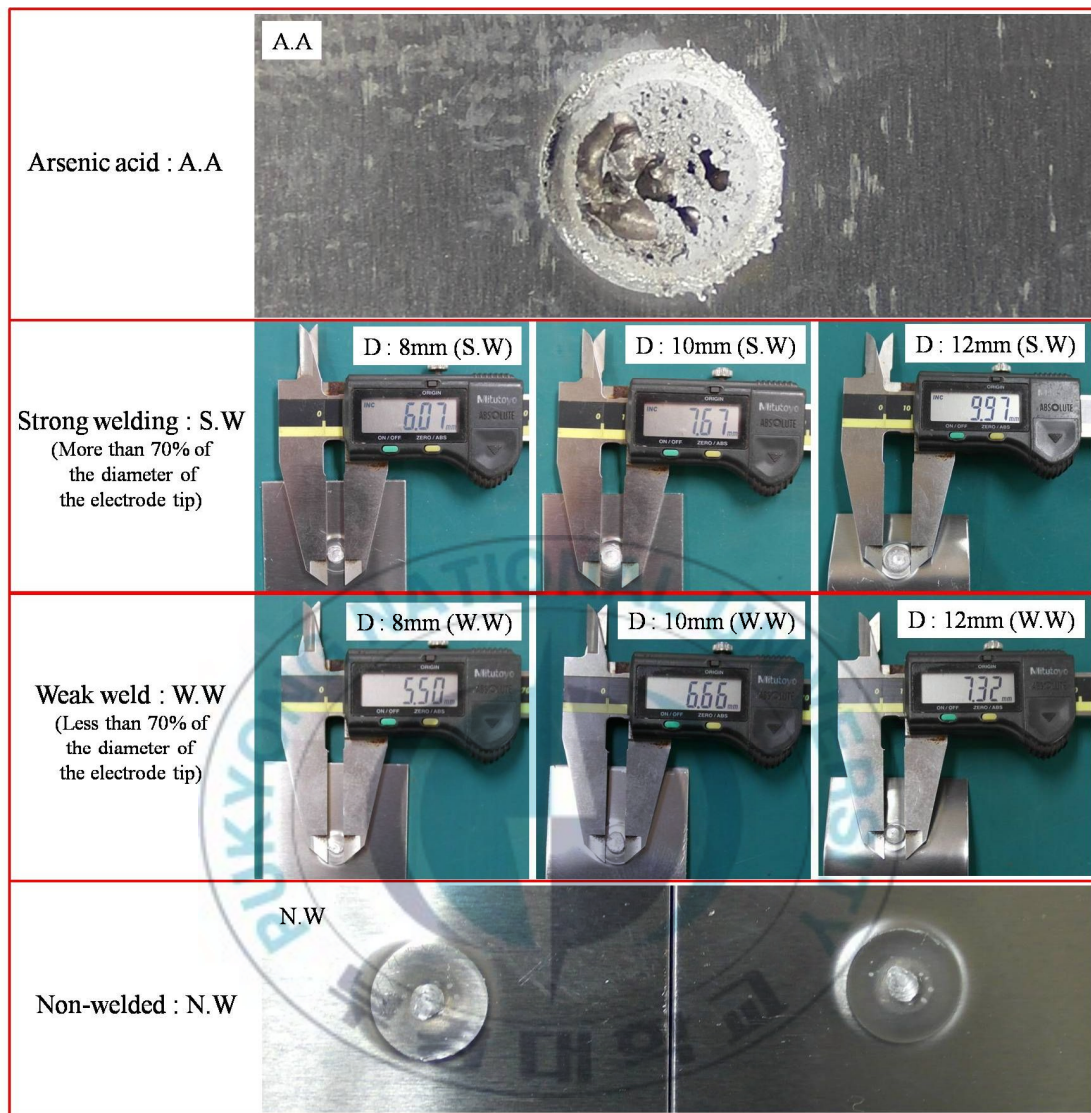


Fig. 4-4 Four types of Peel test results

선행실험에는 선단경과 전류의 세기를 제외한 모든 인자는 통전 시간은 90cycle, 삽입 깊이는 0mm, 교반 속도는 1200rpm등으로 고정 하였다. 이렇게 얻어진 선행 실험 결과는 Table 4-2와 같다. 4개의 형태로 분류한 결과에서 각각의 선단경당 적정 전류의 세기가 하나씩 있음을 확인하였다. 결과적으로 선단경이 12mm일 때 7.8kA, 10mm일 때 7.6kA, 8mm일 때 7.6kA의 전류 세기를 사용하는 것으로 용접이 가능함을 파악 할 수 있었다.



Table 4-2 Results of Peel test

Current	Diameter of the electrode tip		
	12mm	10mm	8mm
7.0kA			<i>N.W</i>
7.2kA		<i>N.W</i>	<i>W.W</i>
7.4kA	<i>N.W</i>	<i>W.W</i>	<i>S.W</i>
7.6kA	<i>W.W</i>	<i>S.W</i>	<i>A.A</i>
7.8kA	<i>S.W</i>	<i>A.A</i>	
8.0kA	<i>A.A</i>		

A.A : Arsenic acid
S.W : Strong welding

W.W : Weak weld
N.W : Non-welded

3.3.3 접합 강도 실험

선행실험을 바탕으로 정해진 전류의 세기를 이용하여 접합 강도실험을 진행 하였다.통전 시간은 90cycle로 고정한 상태에서 선단경과 삽입 깊이와 교반속도를 세 가지 수준으로 분류하여 실험 계획을 잡았다. 각각의 선단경 당 전류의 세기는 선행 실험에서 결정되어진 전류의 세기로 실험을 진행 하였다. 실제로 모든 실험을 할 경우 동일조건 3회 반복실험을 가정하면 81회 실험이 되어야한다. 하지만 3가지 인자의 교호작용을 무시할 수 있다고 가정하고 각각의 인자가 접합강도에 주는 영향을 분석하기 위한 실험임을 가정하면 직교배열표에 의한 실험계획법으로 27회의 실험만으로도 원하는 정보를 얻을 수 있다. Table 4-3은 L9(34)형 직교배열표를 나타내고 있다. 열 번호 1번과 2번, 그리고 4번은 각각 선단경과 삽입깊이와 교반 속도를 나타내고 있으며 3번은 오차항을 나타내고 있다.

Table 4-3 Table of orthogonal arrays

Experiment No.	Column number				Experimental conditions	Specimen No.
	1	2	3	4		
1	0	0	0	0	$A_0B_0C_0=(0,0,0)$ 12_0.8_1200	1_1
						1_2
						1_3
2	0	1	1	1	$A_0B_1C_1=(0,1,1)$ 12_0.4_800	2_1
						2_2
						2_3
3	0	2	2	2	$A_0B_2C_2=(0,2,2)$ 12_0_400	3_1
						3_2
						3_3
4	1	0	1	2	$A_1B_0C_2=(1,0,2)$ 10_0.8_400	4_1
						4_2
						4_3
5	1	1	2	0	$A_1B_1C_0=(1,1,0)$ 10_0.4_1200	5_1
						5_2
						5_3
6	1	2	0	1	$A_1B_2C_1=(1,2,1)$ 10_0_800	6_1
						6_2
						6_3
7	2	0	2	1	$A_2B_0C_1=(2,0,1)$ 8_0.8_800	7_1
						7_2
						7_3
8	2	1	0	2	$A_2B_1C_2=(2,1,2)$ 8_0.4_400	8_1
						8_2
						8_3
9	2	2	1	0	$A_2B_2C_0=(2,2,0)$ 8_0_1200	9_1
						9_2
						9_3
Default display	a	b	ab	ab ²		
Arrangement	A	B	e	C		

실험계획을 바탕으로 전기저항 마찰교반 스폿용접된 시험편을 제작하였고, 제작된 시험편을 KS B 0801규격을 기초하여 Fig. 4-5와 같은 방법으로 정적 인장 전단 시험을 진행 하였다. 시험장비의 설정은 인장속도 0.5mm/min으로 설정하여 정밀도를 높였고, 인장 거리 제한을 6mm로 두고 하중의 최대 크기를 15000N으로 설정하였다. 본 장비의 시편 고정방식은 기계식 고정방식으로 시편을 물릴 때 약간의 충격과 유압식 고정방식보다는 약간의 미끌림이 발생하여 오차가 발생할 수 있다. 하지만 이모든 오차가 강도에 마이너스 요인으로 작용하기 때문에 시험결과로 나온 자료는 정확한 실험보다 낮게 나온결과가 된다. 따라서 본 자료를 이용하여 현장에 적용하더라도 크게 지장이 없는 오차이다.

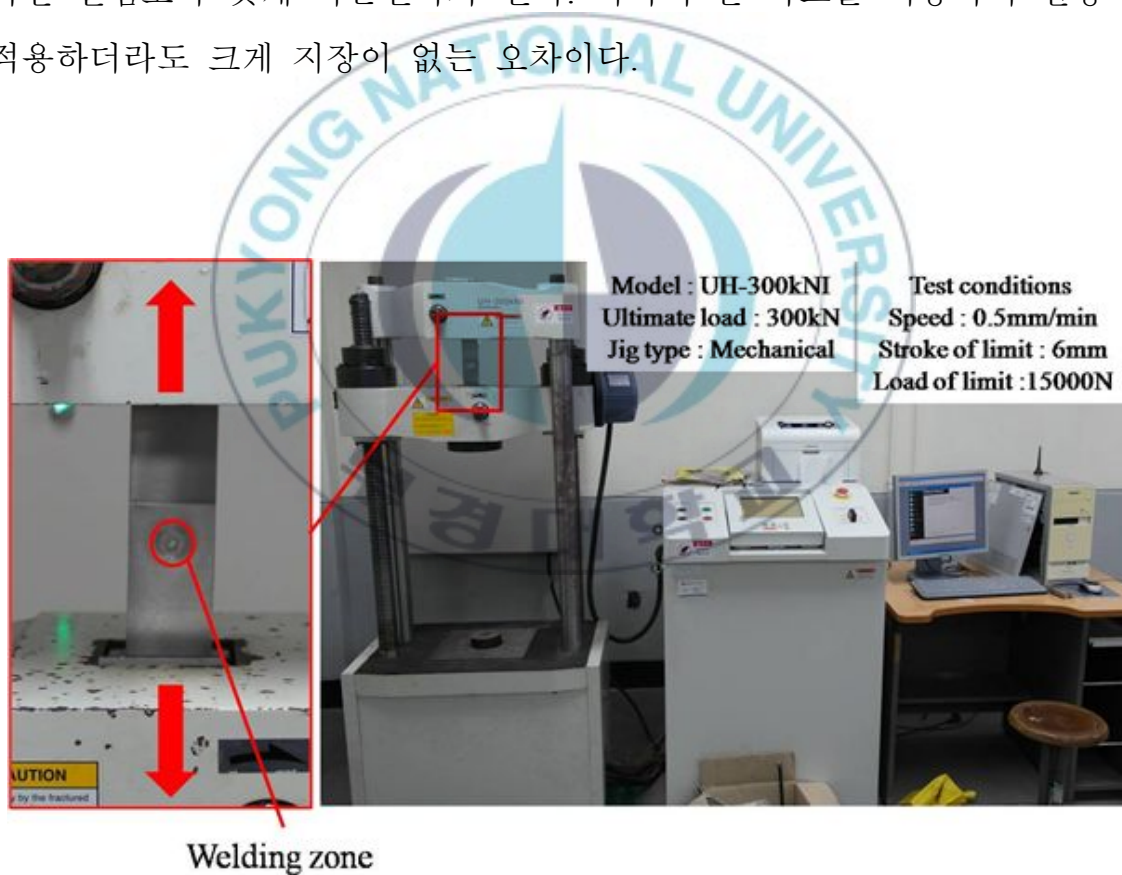


Fig. 4-5 Tensile testing machine

3.3.4 실험결과 및 고찰

Table 4-4는 KS B 0801규격에 의해 얻어진 인장시험 결과 값을 나타내고 있다. 직교배열표에 의해 구해진 이 자료를 바탕으로 분산분석을 할 경우 각각의 인자가 용접강도에 영향을 주는지에 대하여 알 수 있다. 각각의 실험번호에 반복실험의 평균을 보면 최대 5903.19N에서 최저 2314.94N까지 나오는 것을 알 수 있다. 각각의 동일 실험조건에서 최대인장 하중에서 평균값과 실제 인장하중의 차이가 가장 크게 나는 실험의 경우 약454.63N의 차이가 난다 이는 결코 작은 값이 아니고 최대로 나온 6000N대의 인장하중과 비교하였을 때 약 7.5%의 차이가 난다. 즉, 실험의 결과에 다소 산포가 존재하는 것을 알 수 있다. 이러한 산포는 실험 당시에 알루미늄 금속이 철계전극에 조금씩 융착되면서 발생하는 전극표면의 조도차이에 의해 발생하는 산포도라 생각된다. 하지만 개개별의 실험에서 산포가 조금 있긴 하지만 전체적인 인자별 차이가 확연함으로 7.5%의 산포는 무시해도 무방할 정도이다. 또한 이렇게 크게 산포가 나타나는 것은 한 개의 실험에 해당하고 나머지에 대해서는 200N을 넘지 않는 선에서 큰 차이가 나타나지 않는 것으로 보아 반복실험 간의 실험 오류는 발생하지 않은 것으로 판단된다.

Table 4-4 Results of tensile test

Experiment No.	Ultimate tensile load(N)	Average(N)
1 (12_0.8_1200)	2754.16	2727.05
	2837.06	
	2589.94	
2 (12_0.4_800)	2091.19	2314.94
	2208.75	
	2644.88	
3 (12_0_400)	2009.06	2332.75
	2787.38	
	2201.81	
4 (10_0.8_400)	6040.88	5903.19
	5757.38	
	5911.31	
5 (10_0.4_1200)	5952.00	5902.51
	5859.38	
	5896.15	
6 (10_0_800)	4232.62	4294.62
	4567.03	
	4084.22	
7 (8_0.8_800)	4645.78	4763.91
	5152.03	
	4493.91	
8 (8_0.4_400)	4312.26	4445.70
	4400.16	
	4624.69	
9 (8_0_1200)	3262.97	3430.55
	3570.06	
	3458.62	

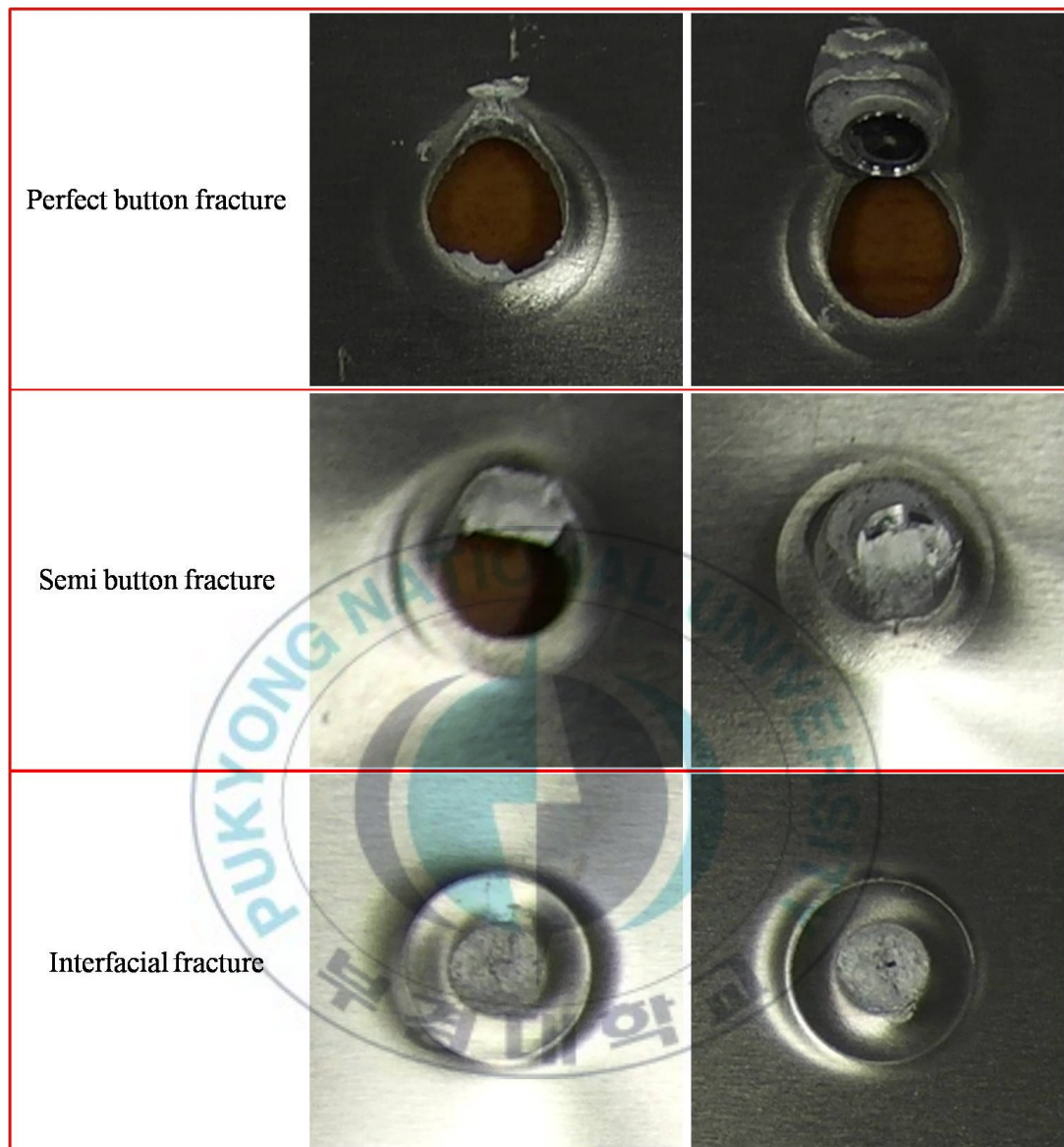


Fig. 4-6 Fracture shape after tensile test

인장시험후의 파단형태는 Fig. 4-6과 같이 3가지 형태로 파단 되었다. 3가지 형태로는 2000N~3000N대의 최대인장하중에서 나타나는 계면파단과 3000N~5000N사이에 발생하는 반 버튼 파단 및 5000N이상의 최대인장하중에서 발생하는 완전한 버튼 파단으로 나눌 수 있다. 계면 파단의 경우 상부 판재와 하부 판재사이의 계면이 충분히 용접되지 못해서 용접부 원통방향으로의 전단강도보다 계면의 전단 강도가 낮아서 일어나는 파단형태로 용접이 강하게 되지 않았다는 것을 파악할 수 있다. 다음으로 반 버튼 파단은 버튼 파단이 발생하였으나 일부영역에서 계면파단과 같은 형상으로 파단이 이루어지는 것으로 용접부에 고루 용접이 되지 못한 것을 알 수 있다. 마지막으로 완전한 버튼 파단은 용접부 원통방향으로의 전단강도보다 용접부의 용접강도가 더 높아서 소재부분에 파단이 발생하는 형태로 용접부에 용접이 충분히 발생하였고 고루 용접이 분포되었음을 짐작할 수 있다.

Table 4-5 Analysis of variance

	S	ϕ	V	F ₀	F(0.1)	F(0.05)	F(0.01)
A	12870343.26	2	6435171.63	27.56	9	19	99
B	2050220.87	2	1025110.44	4.39	9	19	99
C	285455.12	2	142727.56	0.61	9	19	99
e	467006.04	2	233503.02				
T	15673025.28	8					

A : Diameter of the electrode tip
B : Insertion depth of pin
C : Stirring speed
e : Error

S : Sum of squares
 ϕ : Degrees of freedom
V : Mean square
T : Total sum of squares

F₀ : Test statistic
F(0.1) : Critical value at $\alpha=0.1$
F(0.05) : Critical value at $\alpha=0.05$
F(0.01) : Critical value at $\alpha=0.01$

Table 4-4의 자료를 활용하여 Table 4-5과 같은 분산 분석표를 만들어서 설정된 3수준의 세 가지 인자들에 대한 영향도를 분석하고자 하였다. 결과적으로 접합강도에 가장 큰 영향을 주는 인자는 선단경임을 표를 통하여 짐작할 수 있다. F-검정에 의해 선단경은 99%의 확률에는 도달하지 못했지만 95%의 확률로 접합강도에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 다음으로 교반편의 삽입깊이의 경우 90%의 기각치에도 도달하지 못하는 것으로 보아 교반

핀의 삽입깊이 인자가 접합강도에 영향이 크지 않거나 없음을 짐작할 수 있다. 마지막으로 교반속도는 어느 기각치보다도 높지 못했을 뿐더러 F0값이 매우 작게 나와 이또한 용접강도에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 판단된다. 따라서 B인자와 C인자를 오차항에 풀링시켜서 다시 검증해 보았다.

Table 4-6 Analysis of variance (pooled error term b and c)

	S	ϕ	V	F_0	F(0.1)	F(0.05)	F(0.01)
A	12870343.26	2	6435171.63	13.78	3.46	5.14	10.9
e	2802682.028	6	467113.67				
T	15673025.28	8					

그 결과 Table 4-6과 같은 표가 나왔고, 표를 살펴보면 풀링전과는 달리 모든 기각치를 F0값도는 것을 알 수 있다. 따라서 결과적으로 선단경의 수준변화는 99%의 확률로 전기저항 마찰교반 스폿용접강도에 영향을 주는 것으로 사료된다.

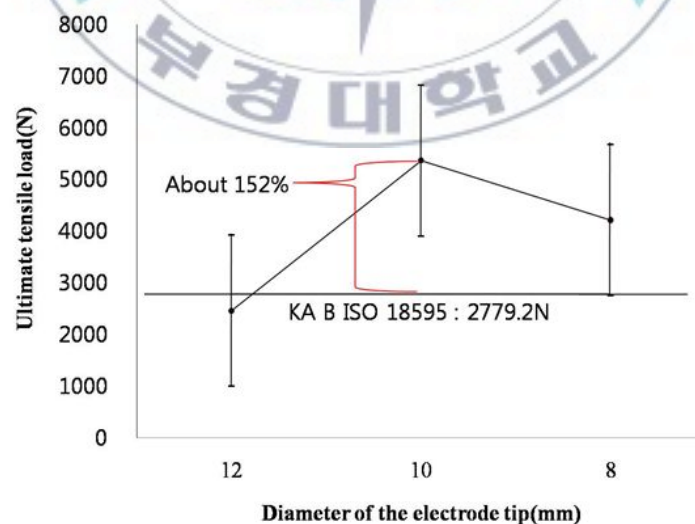


Fig. 4-7 99% confidence interval graph

연구에 설정된 세 가지 인자 중에서 용접강도에 가장 큰 영향을 주는 인자가 선단경임을 감안하여 일원 배치법을 활용한 99%신뢰구간 그래프를 Fig. 4-7과같이 그려보았다. 그리고 현장에 사용되기에 적합한지를 판단하기 위하여 KA B ISO 18595규격의 두께 1.5mm의 알루미늄 판재를 점용접 할 때 요구하는 최소 전단 용접강도를 구하여 비교해 보았다. 결과적으로 선단경이 12mm일때는 그 요구치를 만족하지 못했지만 10mm와 8mm에서는 만족하였다. 추가적으로 선단경이 10mm일 때 가장 높은 용접강도가 나왔으며 그 크기는 규격에서 요구하는 용접강도의 약 152%에 달하는 것을 알 수 있었다.



제 4 장 결론

본 연구는 알루미늄 5052판재를 효율적으로 점용접 하기위하여 고안된 전기저항 마찰교반 스폿용접의 산업화를 위하여 실험용 장치의 설계 및 제작을 하였고, 실험 장치를 이용하여 Peel test실험에 의한 전류조건의 확립 및 인장 전단 실험을 통하여 전기저항 마찰교반 스폿용접에 영향을 줄 수 있는 몇 가지 인자에 대하여 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전기저항 마찰교반 스폿용접으로 1.5mm두께의 알루미늄 5052판재를 스폿용접 가능함을 알 수 있었다.

2. Peel test실험을 통하여 교반핀의 직경이 4.6mm일 때 가열전극의 접촉 직경인 선단경 12mm, 10mm, 8mm의 철계전극을 사용할 때 선단경의 70% 이상에 해당하는 너깃직경을 가지는 적합한 용접전류조건은 7.8kA, 7.6kA, 7.4kA임을 알 수 있었다.

3. KS B 0801규격에 의거한 인장 전단 실험으로 가열전극의 선단경 10mm, 교반핀의 삽입깊이 0.8mm, 교반핀의 교반속도 400rpm의 조건에서 가장 높은 용접강도가 나오는 것을 알 수 있었다.

4. 분산분석을 통하여 선단경, 삽입깊이, 교반속도 중 선단경의 수준변화가 용접강도에 지배적인 영향을 주는 것을 알 수 있었고, 1.5mm두께의 알루미늄 5052 판재의 전기저항 마찰교반 스폿용접에 있어서 선단경 10mm가 99%확률로 가장 높은 용접강도를 확보할 수 있음을 알 수 있었다.

5. 최적의 조건에서 얻어진 용접강도는 KA B ISO 18595규격에서 요구하는 최소 전단강도의 약 152%가 나옴을 알 수 있었고, 산업 현장에 충분히 사용가능한 용접강도를 얻을 수 있었다.

연구에 사용된 모터 외에도 보통의 모터는 회전자와 하우징 사이에 약간의 유격으로 인하여 움직임이 발생한다. 본연구도 마찬가지로 그런 모터를 사용하였기에 삽입깊이에 대한 실험에 큰 오차를 발생시켰을 가능성도 있다. 따라서 차후 연구과제로는 본 연구에 다소 문제가 되었던 삽입깊이에 대한 확실한 연구가 필요하다. 추가적으로 전극 핀 끝단의 형상 및 치수와 관련된 교반 틀에 관한 집중적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.



참 고 문 헌

1. 유호천, 김환태, "경량 알루미늄합금의 최신 접합기술동향", 대한용접·접합학회지, Vol. 29 No. 3, pp. 4~13, 2011.
2. 이정훈, 김태현, 이문용, 진인태 "알루미늄 판재의 압출점접합공정에 있어서 접합강도에 관한 연구", 한국소성가공학회, Vol. 19. No. 8, pp. 460~467, 2010.
3. 김익수, "자동차의 경량화를 위한 최근의 기술동향", 한국기술사회지, Vol. 30. No. 3, pp. 24~29, 1997.
4. Europe Aluminium Association, "Sustainability of the European Aluminum Industry 2006", European Aluminium Association Report, 2006.
5. 이호인 [외] 공저, "알루미늄 응용기술의 이해와 활용", 한국철강신문, pp. 14~62 , 2009.
6. 황창규, "알루미늄 재료기술(I)", 대한기계학회지, Vol. 29 No.1, pp. 23~28, 1989.
7. 황창규, "알루미늄 재료기술(II)", 대한기계학회지, Vol. 29 No.2, pp. 162~168, 1989.
8. 암기원, "알루미늄과 그 합금의 용접", 대한기계학회, Vol. 19 No. 4, pp. 299-306, 1979.

9. Hoang N. H., Langseth M., Porcaro R., "The effect of the riveting process and aging on the mechanical behaviour of an aluminium self-piercing riveted connection", European journal of mechanics A Solids, Vol. 30 No. 5, pp.619~630, 2011.

10. Wood P. K. C., Schley C. A., Williams M. A., "A model to describe the high rate performance of self-piercing riveted joints in sheet aluminium", Materials & design, Vol. 32 No. 4, pp. 2246~2259, 2011.

11. Zhang Z., Yang X., Zhang J., "Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded 5052 aluminum alloy", Materials & design, Vol. 32 No. 8/9, pp. 4461~4470, 2011.

12. 정윤철, 박정수, 신형섭, 최광 "경량합금 판재의 이중 마찰교반 점용접 특성", 대한기계학회 2009년도 추계학술대회 논문집, pp. 197~200, 2009.

13. 김영식, "마찰교반 점용접(FSSW)을 이용한 비철금속 접합기술의 연구 동향과 전망", 대한용접·접합학회지, Vol. 30, No.3, pp.4-14, 2012.

14. Seung-Wook Baek, Don-Hyun Choi, Chang-Yong Lee, Byung-Wook Ahn, Yun-Mo Yeon, Keun Song and Seung-Boo Jung, "Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Spot Welded Galvanized Steel", Materials Transactions, Vol. 51, No. 5, pp. 1044~1050, 2010.

15.C. Hamiltona, S. Dymekb, A. Sommersa, "INFLUENCE OF MAIN CHARACTERISTIC FEATURES OF SPOT WELDING ON WELDED CONNECTION/JOINT STRENGTH", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 48, pp. 1120~1130, 2014.

16. 염중현, 유지영, 이세현, "전류 및 가압력 특성 분석을 통한 알루미늄 합금 저항 스폿용접에 관한 연구", 한국정밀공학회 2009년도 춘계학술대회 논문집 2009 June 03 , pp.647~648, 2009.

17.진인태, “전기저항가열 마찰교반용접”, 대한민국 특허 제 10-2012-0051737, 2012.

18.진인태, "보조가열전극이 부착된 스폿용접기 및 이를 이용한 스폿용접 방법", 대한민국 특허 제 10-2012-0097072, 2012.

19.구병춘, 정현승, "Al6061-T6 판재의 마찰교반용접 3D 유한요소 해석", 한국소성가공학회지, Vol.29, No.4, pp. 435~441, 2011.

20.C. Hamiltona, S. Dymekb, A. Sommers, "A thermal model of friction stir welding in aluminum alloys", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 48, pp. 1120~1130, 2008.

21. 김명준, "저항 용접", 기문사, 개정2판, 1998.

22. "용접 접합 편람III", 대한용접학회, 2007.

23. Zhang, Hongyan, Senkara, Jacek, "Resistance welding-Fundamentals and Applications", CRCPrILlc, 2005.



A Study on Welding Strength of Electric Resistance Friction Stir
Spot Welding using Aluminum Plate

Min-Su Jang

Department of Mechanical Engineering, The Graduate School
of Industry, Pukyong National University

Abstract

Vehicle weight reduction has become a recent issue of non-ferrous metals according to business efficiently for spot welding method capable of being accelerated studies. The electric resistance friction stir spot welding is efficiently welding method to two non-ferrous metals welding using the electric resistance heating with electric resistance heating. The aim of this paper is comprising the applicability of the electric resistance friction stir spot welding and design of the welding apparatus a few main factors influencing the weld strength and having optimum conditions. Thus, the electric resistance friction stir spot Welded specimens through Peel test and found the current conditions for welding, weld strength obtained through the tensile test on the basis of specific factors influence the strength and optimum welding conditions are found to have. As a result of 5052 aluminum having a thickness of 1.5mm and the electric resistance , friction stir spot welding when the energization time 90cycle, the tip diameter 10mm, the strength of current 7.6kA, the insertion depth of 0.8mm, a stirring speed of 400rpm stirring condition of the pin to the highest it was possible to obtain the weld strength , the size of the KS B ISO 18595 standard requires a minimum shear strength by about 152% could see the watering.



졸업논문 감사의 글

설렘과 꿈을 안고 학교 정문을 들어선 것이 었그제 같은데, 벌써 2년 6개월이라는 시간이 지났습니다. 비록 짧은 시간 이었지만 많은 아쉬움과 고마운 기억들이 남는 것 같습니다. 직장을 다니며 대학원 생활을 하다 보니 수업과 연구시간외에는 학업에 더욱 전념하지 못하여 아쉬운 마음이 남고 또한 사회인이다 보니 학우들과 함께하지 못한 시간이 더 많은 것 같아 아쉬움이 남습니다.

저에게 아쉬운 마음이 큰 만큼 고마움과 감사한 마음을 항상 품을 수 밖에 없도록 만들어주었던 분들에게 짧은 시간동안 이었지만 감사의 말을 드리고자 합니다. 먼저 석사 과정동안 연구에 매진할 수 있도록 아낌없는 격려와 지도를 해주신 진인태 지도교수님께 진심으로 감사의 인사를 드립니다. 또한 바쁘신 가운데에도 저의 학위논문의 심사위원을 맡아주시고 소중한 충고와 좋은 조언을 해 주신 한규택 교수님과 이창용 교수님께 깊은 감사의 인사를 드리며 매 학기마다 최고의 열정으로 심도 있는 강의를 해주신 기계공학과와 모든 교수님들께도 마음 깊이 감사의 인사를 드립니다. 같이 공부하는 학생이자 나이 많은 형에게 언제나 도움을 주고 조언을 아끼지 않았던 저희 실험실 식구들과 김태현 석사에게 큰 감사를 드립니다. 그리고 바쁜 직장 생활에도 학업에 대한 열정을 꺼지지 않게 도와주신 우동정 상무님과 부경대학교 선배님이신 박기영 생산팀장님, 정원삼 과장님 그리고 항상 물심양면으로 도와주신 오규선 계장님께 감사의 인사를 전하며 학생의 본분이 끝나면 다시 사회인의 본분으로 돌아가 더욱더 향상된 업무 능력을 보여드리겠습니다.

항상 저를 믿어주시고 묵묵히 응원해주시는 사랑하는 부모님께 감사드립니다. 제멋대로인 아들인데 항상 이해해 주시고 믿어주셔서 힘든 길이지만 여기까지 나아갈 수 있었고 항상 발전된 인생을 살겠다는 결심도 할 수 있

었습니다. 그리고 대학원 생활 중 결혼한 나의 사랑하는 내 인생의 반려자 박미령 씨의 아낌없는 내조와 사랑으로 항상 같은 자리를 지켜주셔서 힘든 생활 이였지만 이겨낼 수 있었던 거 같습니다. 저의 또 다른 가족 제가 사랑하는 장인어른과 장모님 못난 사위지만 항상 친아들처럼 챙겨주시고 사랑해주셔서 정말 감사합니다. 앞으로 지금보다 더 멋진 아들, 사위, 남편이 될 테니 지켜봐 주시기 바랍니다. 이외에도 여기에 미처 적지 못한 많은 분들께 감사드립니다. 여러분이 있기에 제가 여기까지 올 수 있었고 저 또한 여러분께 힘이 될 수 있는 존재가 될 수 있도록 하겠습니다.

항상 감사드리며 사랑합니다.

