



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

2019년 2월

석사학위 논문

이종재 알루미늄합금  
(5083-0)/초고장력강(1180Mpa)의  
마찰교반점접합부 및 기계적  
접합부에 대한 신뢰성 평가

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

조 성 빈

이종재 알루미늄합금  
(5083-0)/초고장력강(1180Mpa)의  
마찰교반점접합부 및 기계적  
접합부에 대한 신뢰성 평가

Evaluatin of reliability on FSJ joint and  
machanical joint in dissimilar Al alloy5083 and  
high strength steel SGAFC1180

2019년 2월 24일

조선대학교 대학원  
용접·접합과학공학과  
조 성 빈

이종재 알루미늄합금  
(5083-0)/초고장력강(1180Mpa)의  
마찰교반점접합부 및 기계적  
접합부에 대한 신뢰성 평가

지도교수 방 희 선

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2018년 10월

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

조 성 빈

## 조성빈의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 특임교수 방한서 (인)

위 원 조선대학교 교수 방희선 (인)

위 원 조선대학교 조교수 손윤철 (인)

2018년 11월

조선대학교 대학원

## CONTENTS

List of Figures .....	IV
List of Tables .....	V
Abstract .....	VI
1장. 서론 .....	1
1.1 연구추진 배경 및 필요성 .....	1
1.1.1 차체 경량화 및 고안전화 .....	1
1.1.2 초고강도강 및 알루미늄 적용 차체 경량화 .....	3
1.2. 연구대상 제품의 국내외 기술동향	
1.2.1 국내외 경량화 기술 .....	5
1.2.2 이종소재 접합기술 .....	6
1.3 이론적 배경	
1.3.1 마찰교반점접합의 원리 및 특징 .....	7
1.3.2 기계적접합의 원리 및 특징 .....	8

2장 . 연구방법 .....	11
2.1 마찰교반점접합 실험방법 .....	11
2.1.1 사용소재 및 장비 .....	11
2.1.2 접합조건 .....	13
2.2 기계적접합 실험방법 .....	14
2.2.1 사용소재 및 장비 .....	14
2.2.2 접합조건 .....	14
2.3 접합부 특성 평가 .....	15
3장 . 결과 및 고찰 .....	17
3.1 마찰교반점접합부의 접합 특성 .....	17
3.1.1 공정변수에 따른 접합특성 .....	17
3.1.2 인장-전단강도 특성 .....	19
3.1.3 경도분포 .....	21
3.1.4 금속간화합물(Intermetallic compound, IMC)특성 .....	22
3.2 기계적접합(SPR,FDS)부의 접합 특성 .....	23
3.2.1 SPR 특성 .....	23
3.2.2 FDS 특성 .....	24

4장 . 결론 .....	26
참고문헌 .....	28



## List of Figures

Fig. 1.1	Goal of reducing CO2 emissions per country	1
Fig. 1.2	Small overlap front crash test	2
Fig. 1.3	Trend of change in car weight by year	3
Fig. 1.4	The price and effect of lightweight materials	4
Fig. 1.5	Correlation of Vehicle weight and CO2 emissions	4
Fig. 1.6	Manufacturing costs according to body material	5
Fig. 1.7	Friction spot joining process	7
Fig. 1.8	Organizational tree of self-piercing rivet process	9
Fig. 1.9	The shape of self-piercing rivet	9
Fig. 1.10	FDS process	10
Fig. 2.1	Schematic of the Al alloy 5083/SGAFC 1,180 FSJ lap joint	11
Fig. 2.2	Friction spot joining equipment	12
Fig. 2.3	Tool details used for friction spot joining	13
Fig. 2.4	SPR Equipment	15
Fig. 3.1	Tensile shear strength of FSJ joints for various plunge depths with rotation speed	19
Fig. 3.2	S-S curve of FSJ joints	20
Fig. 3.3	Hardness distribution of FSJ Joints	21
Fig. 3.4	SEM image of IMC in FSJ joints with plunge depth	22
Fig. 3.5	Tensile shear strength of SPR joints with press force	23
Fig. 3.6	Fractured specimen of SPR joints after tensile shear test	23
Fig. 3.7	S-S curve of SPR joints	24
Fig. 3.8	Tensile shear strength of FDS joints with press force	25
Fig. 3.9	Fractured specimen of FDS joints after tensile shear test	25
Fig. 3.10	S-S curve of FDS joints	25

## List of Tables

Table. 2.1	Chemical compositions and mechanical properties of materials	12
Table. 2.2	Joint conditions for friction spot joining	14
Table. 3.1	Bead profiles of FSJ joints for various plunge depths with rotation speed	18
Table. 3.2	Fractured specimen of FSJ joints after tensile shear test	20

## ABSTRACT

# Evaluation of reliability on FSJ joint and mechanical joint in dissimilar Al alloy5083 and high strength steel SGAF1180

Jo Sung-Bin

Advisor : Prof. Bang, Hee Seon, Ph.D.

CO-Advisor : Prof. Bang, Han Sur, Ph.D.

Department of Welding and Joining Science  
Engineering,

Graduate School of Chosun University

recently strict environmental and fuel economy regulations has led to increase in development and sales of vehicles with fuel economy and convenience so that lightening a car has accelerated as well.

By applying for various lightweight materials, technique of lightweighting a car is being much researched recently.

This paper presents weight reduction in automobile body parts using high-strength steel and aluminum.

Various welding and joining methods may be applied for these technologies, but in this study, heterogeneous material joining techniques using FSJ technology are applied.

Based on these findings, the quarter wheelhouse QTR W/HSE parts, which are part of the vehicle bodywork component, are to be studied and developed to realize the vehicle weight reduction technology.

The reinforcements in the existing quarter wheelhouse are made of 440-590 MPa and the general components are manufactured using mild steel.

In this study, the joining techniques using Al5093 material and SG AFC 1180 material will apply to the quarter wheel house above. `

# 1 장 서 론

## 1.1 연구추진 배경 및 필요성

### 1.1.1 차체 경량화 및 고안전화

지구 온난화로 인하여, 전세계적으로 제정, 강화되고 있는 연비향상과, 배기가스 저감에 관련된 많은 규제들이 강화되고 있으며, 운전자 및 승객 보호를 목적으로 충돌법규의 강화가 지속적으로 이루어지고 있는 추세를 보이고 있는데, 자동차 충돌 안전성능 또한 사람들에게 자동차 상품성을 결정짓는 핵심 성능으로 인식되어지고 있다. Fig 1.1은 국가별 CO2 배출 감소 목표를 나타내고 있는 것으로, 각 국가에서는 목표를 설정하여 CO2배출을 감소하기 위하여 노력하고 끊임없이 기술 개발을 진행하고 있다.

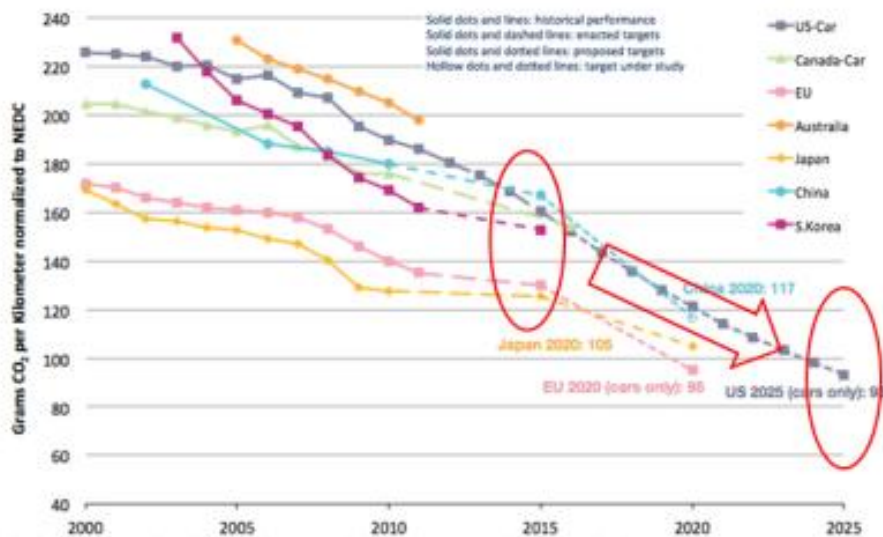


Fig. 1.1 Goal of reducing CO2 emissions per country

또한 충돌시 승객의 안전을 확보하기 위하여 현재 미국 및 유럽, 중국등 국제표준 NCAP(New Car Assessment Program)을 각 국가별 일부 변경하여 사용 중이며, 미국의 경우 IIHS(미국 고속도로 안전보험협회)을 적용하여 충돌시험을 한층 강화한 정면부분충돌시험(Fig 1.2 스몰오버랩 충돌 테스트)을 수행 하고 있다.

이와 더불어 소비자의 편의안전 장치가 지속적으로 증가하여 차량 중량의 상승요인이 증가하고 있는데, 에어백, ABS, TCS 등 안전관련 시스템이 점차 확대 적용되어지고 있으며, 기존대비 NVH를 대폭 개선하고, 다양한 기계적/전기적 편의기능을 적용한 고급차로 개발되고 있다.

최근에는 IT 기반의 다양한 편의 장치용 전자 부품의 개발로 차량의 중량이 점차 증가되고 있는 추세이다. 그 예로, Fig 1.3에서 년도별 자동차 중량 변화 추이를 보여주고 있다.



Fig. 1.2 Small Overlap Front Crash Test

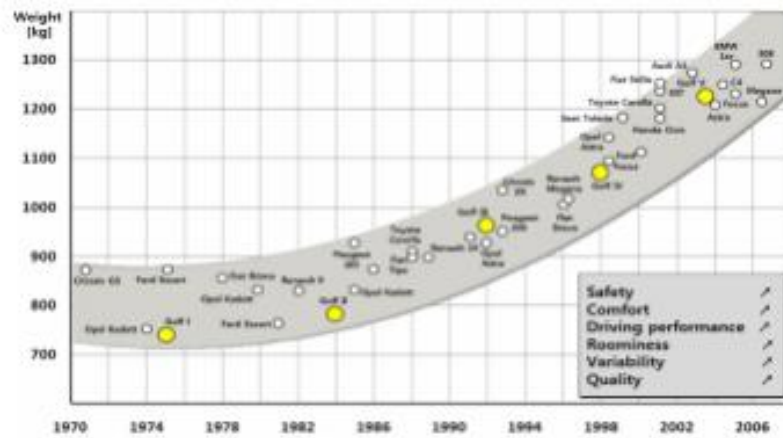


Fig. 1.3 Trend of change in car weight by year

그로인해 차량 중량 관점에서 상호 상충되는 목표성능 인 환경/연비향상 및 충돌/편의안전성을 동시에 충족시키기 위해 경량화 및 강성 향상기술 필요로 하고 있다. 일반적으로 차량 중량을 10% 경량화 하면 CO2 배출 및 연비는 8%까지 향상 되는 것으로 보고되고 있으며, 차량 경량화는 엔진과 더불어 자동차 연비 향상의 핵심 기술로 부각되고 있는 추세이다.

### 1.1.2 초고강도강 및 알루미늄 적용 차체 경량화

글로벌 완성차 및 부품업체는 차체샤시 분야의 경량화 및 고강성화를 구현하기 위해 박차를 가하고 있는 중이다.

차체구조 최적화, 경량금속 및 복합재료 등 경량소재 적용, 신 용접/접합기술 개발 등 다각적인 요소기술들의 고도화를 통한 자동차 경량화 및 성능 제고에 주력하여 개발을 진행하고 있다. 자동차 부품 신기술 적용은 비용, 경량화, 생산용이성이 핵심 고려사항으로써 자동차 부품의 경량 소재 선정은 단순 중량절감 뿐 아니라 시장에서의 가격 경쟁력을 동시에 충족이 필요하게 된다.

따라서 경량성 및 가격경쟁력을 확보할 수 있는 고강도강/초고강도강 및 알루미늄이 자동차 차체부품의 주요 경량소재로 적용하고 있다.

스틸의 경우 가격이 저렴하나 경량화 효과는 낮아 강성이 필요한 부분에 구조 최

적화를 통한 적용이 필요하며 TRB 초고강도강 Hot stamping은 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 기술이다.

알루미늄의 경우 무게당 가격은 강철의 3배 수준이지만 경량화 설계시 두께를 기존과 비슷하게 가져간다면 무게 역시 1/3로 줄일 수 있어(밀도가 강철대비 1/3으로 부피가 같다면 무게는 1/3임) 강철 대비 가격 경쟁력 유지가 가능함 따라서 비 구조물의 판넬류에 적용시 경량 효과는 매우 크다

마그네슘 및 CFRP의 경우 높은 경량성을 달성할 수 있는 반면 급격한 가격 상승을 초래하여 가격 경쟁력이 우선 확보되어야 한다.

그림 Fig 1.4와 1.5에서는 경량소재들의 가격 및 경량화 효과와 차량 중량 및 CO2 배출 상관성을 나타내고 있다.

Material	Price	Pot weight saving (vs. steel)	Use/ applications	
Aluminium	\$4-6/kg	20-45%	Hang ons, then moving into structure	Main materials for Auto BIW
Steel	\$1.3/kg	10%	Main structure, body shell, safety crash	
Titanium	\$33-105/kg	50%	For rigidity parts low series	Limited use
Magnesium	\$13-26/kg	30-50%	Complex use with coating	Potential for future but price must come down
Carbon Fiber	\$52-105/kg	50%	Crash, high strength-rigidity, skin ??	

Fig. 1.4 The price and effect of lightweight materials

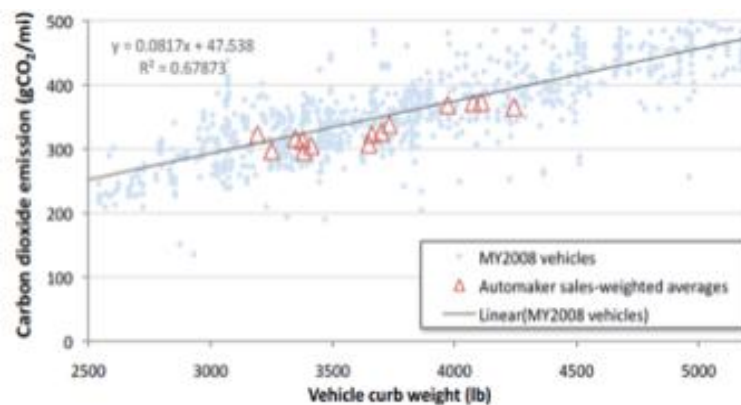


Fig. 1.5 Correlation of Vehicle weight and CO2 emissions



## 1.2 연구대상 제품의 국내외 기술동향

### 1.2.1 국내외 경량화 기술

해외 메이커 제조사들은 고급 브랜드를 중심으로 다양한 복합소재를 적용한 경량화 차체를 양산 진행하고 있다. 적용되고 있는 차종을 보면 고급화 차종 중심으로 경량화가 진행되어왔으며, 최근들어 중준형 차종에도 경량화소재가 확대 되어지고 있다.

소재의 경우에는 HOT-STAMPING 등 초고장력강을 적용하는 비율이 늘어나고 있으며, 경량화 소재의 경우에는 알루미늄 및 마그네슘, CFRP 등 다양한 복합형 소재가 적용되어지고 있다.

초기 차량 경량화 기술에는 철강소재를 초고0장력강으로 인한 보강재 축소 및 알루미늄과 같은 경량소재를 적용하는 것으로 시작하였으나, 가격경쟁성 및 안전성 확보 부분에서 단일 소재가 아닌 다양한 금속 소재 적용이 필요한 것으로 연구되어지고 있으며, 아래 그림 Fig 1.6은 차체 적용 소재에 따른 제조비용 상관관계를 나타낸 것이다.

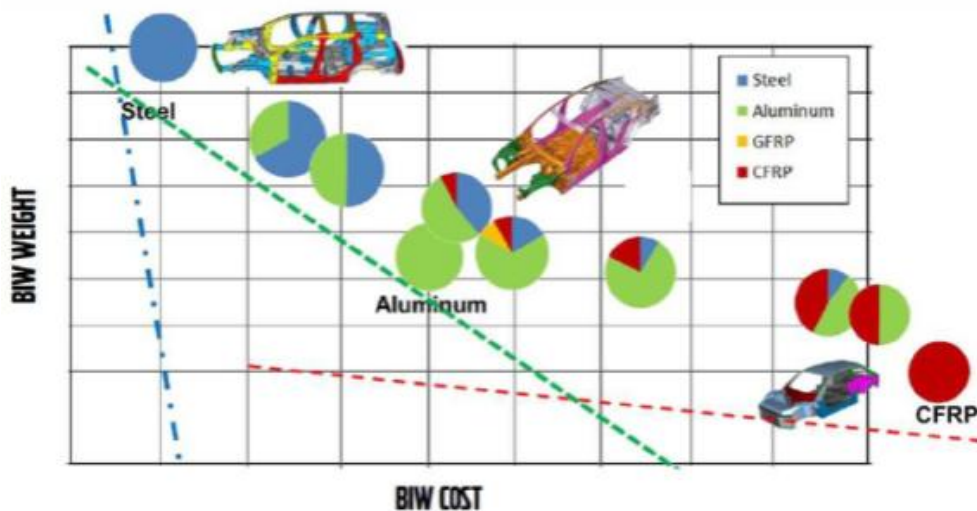


Fig 1.6 Manufacturing costs according to body material

## 1.2.2 이종소재 접합기술

다양한 금속계열 소재를 적용한 경량화 기술은 많은 자동차 제조사에서 연구되고 있는 기술이지만, 생산성 및 안정성등, 다양한 부분에서 기술적으로 해결해 나가야할 난재들이 늘어나고 있다.

그 대표적인 문제점으로서는 이종 소재 적용시 금속 간에 전위차로 인하여 부식 문제가 발생하는 문제점을 가지고 있다. 그로 인해 이종재 금속을 접합 할 경우에는, 부식이 발생하는 문제를 방지하기 위하여, 기계적 접합 및 접착제를 사용하여 접합 강도를 확보하는 방안이 필요로 하기 마련이다.

대표적인 기계적 접합방법으로는, 리벳을 이용하여 두 소재를 관통하여 압착한 후, 그 리벳이 벌어지면서 소재를 결합하는 방법인 SPR(Self Piercing Rivet)방법과, 리벳에 나사선을 적용하여 회전에 의해 소재를 관통하면서 나사선으로 결합하는 방법인 FDS(Flow Drill Screw)방법이 이용되고 있다.

또한 툴의 회전에 의해서 마찰열을 이용하여 두 소재를 결합하는 마찰교반접합 및 마찰교반점접합에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

하지만 마찰교반점접합은 소재의 강도가 제한되어 알루미늄과 초고강도 스틸의 이종소재에 대하여 스틸의 강도가 7800Mpa 이상에서는 마찰교반점접합에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 특히 스틸의 소재가 초고장력강으로 갈수록 내구성 있는 툴 개발뿐만 아니라 접합조건을 찾기가 어려워 이를 해소하기 위하여, 접합제를 도포하여 인장-전단강도를 증가시키는 방법을 많이 활용하였다.

하지만 이종재질에 화학성 접착제를 사용시에, 변형 및 생산성 저하 등 다양한 문제점을 가지고 있어 최적의 용접/접합방법을 찾는데 애로사항이 많이 발생되고 있는 상황이다.

따라서 본 논문에서는 이종재 알루미늄(5083-0) 소재와 초고장력강(1, 180Mpa)에 대하여 마찰교반점접합 및 기계적접합을 실시하여 접합부에 대한 신뢰성을 평가하여 고찰 하고자 한다.

## 1.3 이론적 배경

### 1.3.1 마찰교반점접합의 원리 및 특징

마찰교반점접합 공정은 아래 그림과 같이 접합하고자 하는 모재를 틀에 접합하고자 하는 면을 따라서 특정 톨을 고속으로 회전시킨다. 그때 발생하는 마찰열로 인하여 소재간 접합을 진행한다. 이때 소재와 만나서 회전을 하는 톨은 접합소재에 비해 경한 재질을 지는 비 소모식 톨로 구성되어있다.

마찰교반점접합을 실시할 때 톨의 회전에 의해 마찰열을 발생시킬 때 BASE METAL의 변형저항을 낮게하여, 연화하기 충분한 온도로 고속으로 회전하며 가열하면서 톨의 핀부분이 삽입된 주변으로 연화된 third-body영역이 생기게 된다.

접합부분에 가압을 가하여 핀이 접합하고자 하는 구간을 따라 이동할 때 가열된 부위가 핀의 앞에서 뒤쪽으로 압출되며, 마찰열과 가공의 조합으로 인해 고상 접합부분이 만들어진다. Fig 1.7는 마찰교반점접합을 실시하고 있는 과정을 나타내었다.



Fig 1.7 Friction spot joining process

마찰교반점접합 접합부에서는 소재의 용융은 미발생됨에 따라, 미세 결정립의 압출 조직이 남아 있으며, 액상에서 고상형태로의 변태로 인한 응고균열 및 잔류응력등과 같은 문제점이 해소되게 된다.

마찰교반접합은 기존의 용융용접에 비해 다른 특징을 나타내는데 이러한 마찰교반접합의 특징을 정리해보면, 접합 분위기는 알루미늄의 경우에는 차폐가스 및 용가재는 필요하지 않는다. 그리고 접합과정에 변형이 거의 발생하지 않으며, 발생되더라도 그 양은 미미한 수준이다.

접합간 흠가스의 발생이 없으며 유해광선인 자외선 혹은 적외선도 발생되지 않아 친환경적인 접합 공법이다.

마찰교반접합의 단점은 접합을 시작하고나서 끝나는 부분에 툴의 돌기부분의 흔적이 남는다는 점이다. 이로 인하여 접합이 완료되고 난 이후에, 보수나 END-TAP을 부착하여 접합부분의 마지막부를 제품의 외곽쪽에 위치하여야 한다. 또한 비소모식 툴을 사용함에 따라 여성이 형성될수 없다. 그에 따라 기존의 설계기준의 만족이 어려우며, 필릿용접이 불가능하다는 특징을 가지고 있다.

### 1.3.2 기계적접합의 원리 및 특징

본 연구에서는 기계적 접합방법인 SPR, FDS 두가지 방법으로 적용해봄으로써, 그 연구 결과를 고찰해보고자 한다.

첫 번째로 Self-piercing rivet (SPR)은 두 판재를 접합하기 위해서 기계적인 접합방법을 이용함으로써, 용융점이 달라 용접이 어려웠던 이종소재나, 각종 용접의 제약이 발생하는 사항에 주로 적용되고있는 접합방법 중 하나이다.

특히 자동차에서 시과 스틸간의 접합에서 많이 사용되고 있다.

SPR의 접합과정은 그림과 같이 두 소재 사이에 리벳을 위치하여 가압함으로써 판재들과 함께 결합하는 방법이다. 리벳은 상부소재를 관통하면서 자체적으로 HOLE을 만들고, 하부소재와 함께 소성변형을 일으키며 접합하는 것으로, 사전에 소재에 홀을 준비하는 사전작업이 불필요하다. 그림 Fig 1.8은 SPR용접 공정순으로 리벳을 피딩하여 가압을 함으로써 두 소재를 접합하는 과정을 나타낸 그림이다.



Fig 1.8 Organizational tree of self-piercing rivet process

또한 리벳의 압입방식으로 결합하는 방법이다 보니, 열 변형이 거의 발생하지 않으며 접합시에 발생하는 소음도 적은 특징을 가지고 있다.

리벳의 형상은 Head와 Shank로 나뉘지며, shank의 특징은 가운데에 홀이 있다. 접합시에 리벳의 발부분이 넓게 벌어지며 소재와 함께 소성변형이 되면서 접합되게 하는 기능을 가지고 있다. Fig 1.9는 SPR기계적접합에 사용되는 리벳을 나타낸 그림이다.

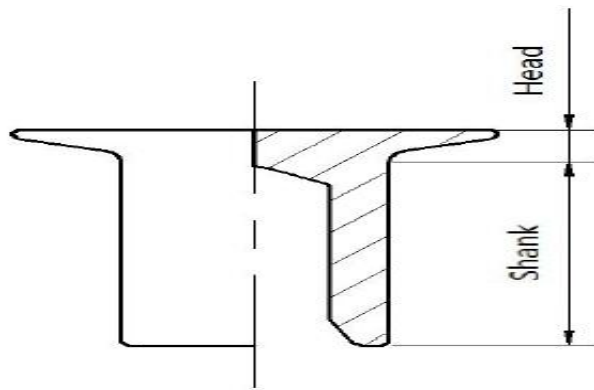


Fig 1.9 The shape of self-piercing rivet

두 번째로 Flow Drill Screw (FDS)는 SPR과 원리는 비슷하나, 리벳을 활용하여 소재를 관통하며 소성변형을 일으키는 접합방식이 아닌, 나사와 같이 생긴 리벳을 회전하며 소재를 관통시키는 방법이다. 소재가 관통되면서 리벳의 회전에 의해, 소재가 홀이 생기게 되며, 이때 리벳에 있는 나사선에 의하여 소재와 리벳이 접합되는 기계적 접합 특징을 가지고 있다. 기계적 특징은 SPR과 거의 유사하며, FDS 또한 열 변형이 거의 발생하지 않는 특징을 가지고 있다.

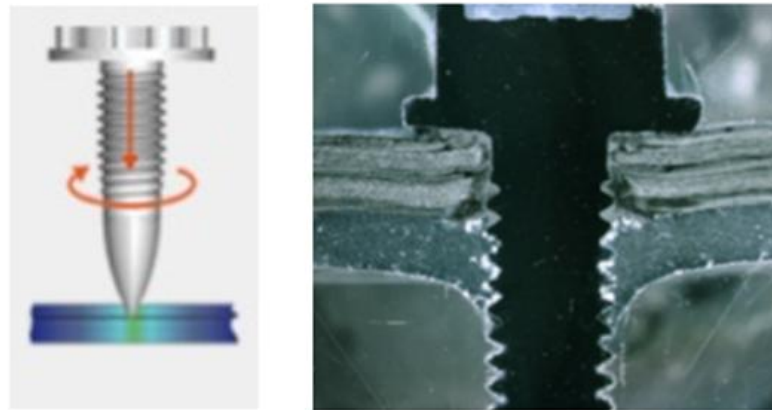
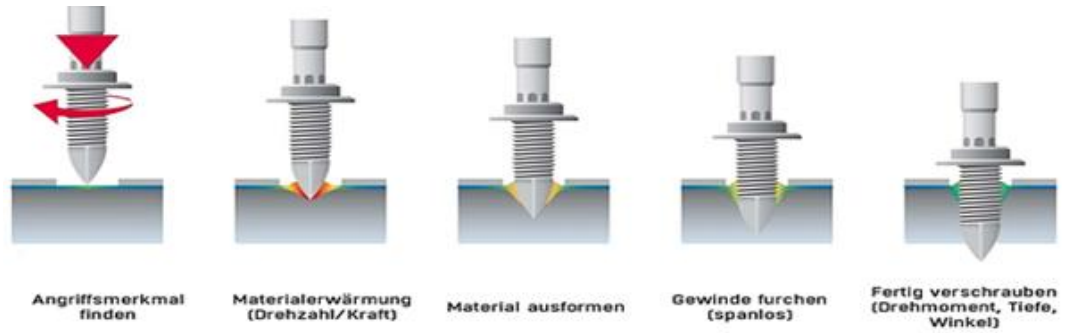


Fig 1.10 FDS process

Fig 1.10은 FDS 기계적접합 공정을 순차적으로 나타낸 것으로, 리벳을 고속으로 회전함과 동시에 가압을 가하여 판재를 관통하여 접합되는 과정을 나타낸 것이다.

## 2 장 연구방법

### 2.1 마찰교반점접합 실험방법

#### 2.1.1 사용소재 및 장비

본 연구에서는 이종소재 알루미늄(5083-0)와 초고장력강(SGAFc 1,180)에 대해 마찰교반점용접 실시하였다. 이때 접합공정변수는 톨의 회전속도, 삽입깊이, 삽입속도, 유지시간에 대한 접합특성을 고찰하였다.

시험편은 길이방향 120mm, 폭방향 50mm 두께는 알루미늄은 1.5t, 스틸은 1.0t를 사용하였으며, 또 표면의 이물질 제거하기 위하여 아세톤을 활용한 세척작업을 동시에 진행하였으며, 두 소재를 하부에는 스틸을 상부에는 알루미늄 소재를 위치하여 Fig 2.1과 같이 고정하여 실험을 진행하였다.

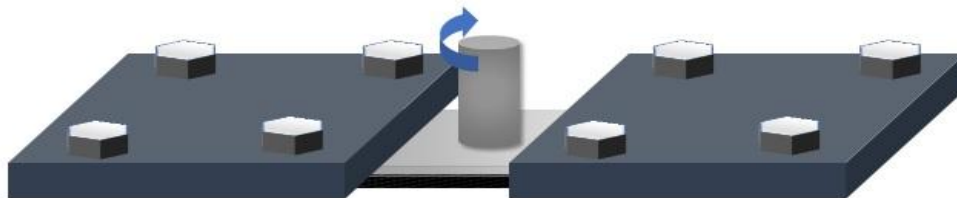


Fig 2.1 Schematic of the Al alloy 5083/SGAFc1,180 FSJ lap joint

금번 연구에서 사용한 사용소재의 화학적 조성과 기계적 특성은 Table 2.1에서 세부적으로 나타내었다.

**Table 2.1 Chemical compositions and mechanical properties of materials**

SGAFC 1180	C	Si	Mn	P	S	-
	0.12	0.1	2.4	0.01	0.002	-
AL5083-0	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr
	0.083	0.297	0.02	0.655	4.402	0.096
	Zn	Ti	-	-	-	-
	0.002	0.01	-	-	-	-

Material	Yield strength (MPa)	tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SGAFC 1180	835	1,229	10
AL5083-0	143	316	23.15

실험장비로는, 마찰교반점접합기를 사용하였으며, X,Y,Z 총 3개의 축 이동이 가능하다. X,Y 방향은 베이스의 이동으로 0.5~1.0mm/sec의 속도로 움직이며, Z축은 톨의 회전과 가반하중으로 300~3,000rpm, 3,000Kg 의 성능까지 구현이 가능한 장비이다. 관련 장비의 세부사항은 Fig 2.2에서 상세하게 나타내었다.



Items		Range
Type		Gantry Type
Welding Speed	X-axis	0.5~10mm/sec
	Y-axis	0.5~10mm/sec
	Z-axis	0.5~10mm/sec
	R-axis	1~20 rpm
Rotation		300~3000 rpm
LOAD Capacity		Max. 3000kgf

**Fig 2.2 Friction spotjoint equipment**



접합 툴은 공구강을 이용된 실린더 형태를 사용하였으며, 핀 지름은 상단 3mm 하단이 2mm이며, 핀의 높이는 1.5mm 솔더의 지름은 18mm로 제작되었다. 툴의 형태는 Fig 2.3에 나타내었다.

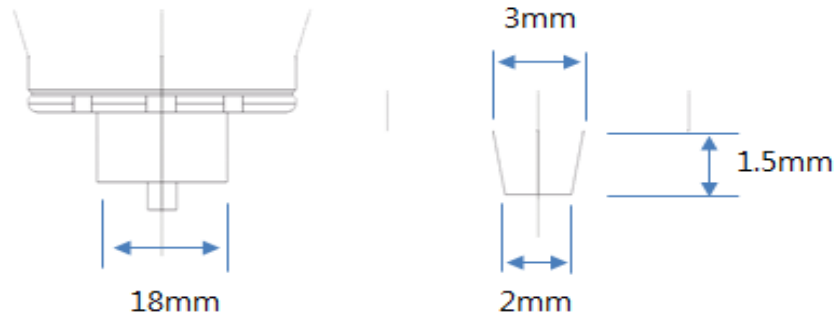


Fig 2.3 Tool details used for friction spot joining

### 2.1.2 접합조건

접합시 상부에는 알루미늄 합금(5083-0), 하부에는 스틸(SGAFc 1180)을 배치하고 준비된 소재를 Backing plate에 고정한 후, 툴의 접합 위치가 겹침부의 중심부에 위치하도록 하여 실시하였다. 접합조건은 접합용 툴의 삽입속도를 0.3 mm/s의 조건에서 tool의 회전속도를 300, 400, 500rpm으로 100rpm씩 변화하였으며, 접합용 툴의 삽입깊이를 0.2~0.8mm조건과 유지시간을 15sec의 조건으로 실험을 진행하였다. 접합공정변수 세부내용은 Table 2.2에 나타내었다.

Table. 2.2 Joint conditions for friction spot joining

조건	회전속도 (RPM)	삽입속도 (mm/s)	삽입깊이 (mm)	유지시간 (sec)
범위	300	0.3	0.2	15
	400		0.4	
	500		0.5	
	-		0.6	
	-		0.7	
	-		0.8	

## 2.2 기계적접합 실험방법

### 2.2.1 사용소재 및 장비

사용소재는 앞서 실험하였던 마찰교반점용접과 시험편과 동일한 알루미늄 (5083-0)/초고장력강(1,180Mpa) 소재를 사용하였으며, 장비는 10Ton 만능 재료시험기에 적용이 가능한 간이형 접합 시험환경을 구축하여 준비하였다. 지그 상부에서는 펀치가 교체되는 타입으로 제작되어있으며, 지그 하부에서는 접합하고자 하는 시편을 고정시켜주는 블랭킹홀더와 다이를 교체가능하도록 되어있는 시험장비를 활용하였다.

셀프피어싱 리벳(SPR)에 사용한 리벳은 스텐리 회사의 기성품을 사용하여 실험을 실시하였다.

### 2.2.1 접합조건

기계적접합 SPR의 공정변수로서는 가압력을 70kN 과 75kN의 두 조건에서 비교실험을 진행해 보았다. FDS또한 동일한 방법으로 실험을 진행하여, 실험을 진행하였으며 Fig 2.4에 SPR시험장비의 구성도와 시험방법을 나타내었다.

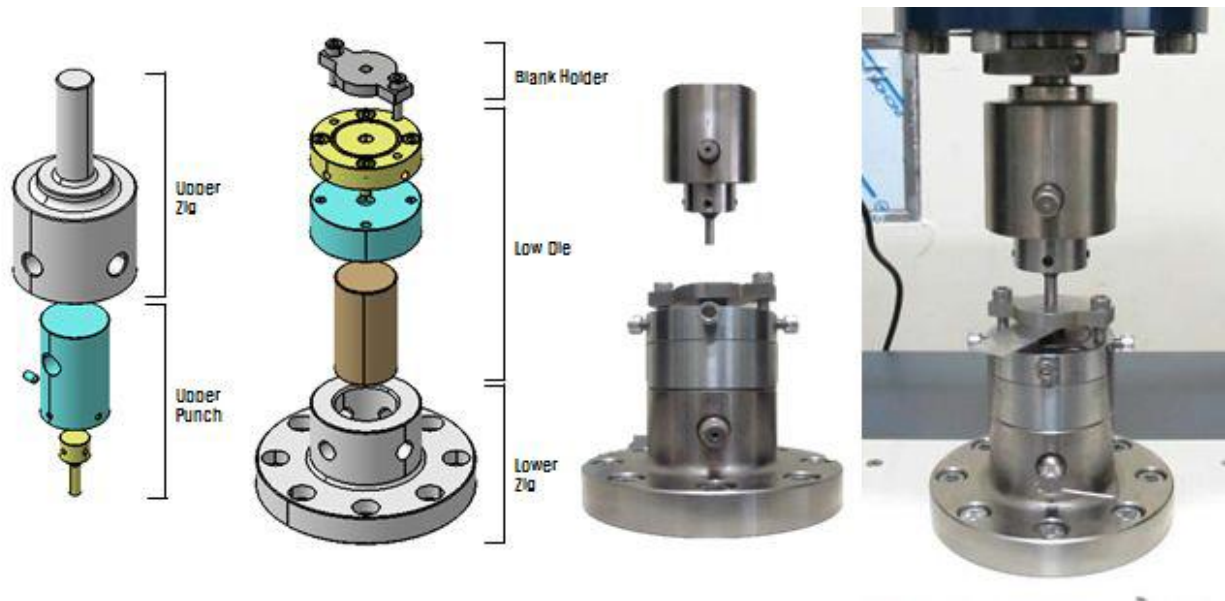


Fig 2.4 SPR equipment

## 2.3 접합부 특성 평가

본 논문에서는 이종재 알루미늄(5083-0) / 초고장력강(1,180Mpa)에 대하여 마찰교반점접합 및 기계적점접합을 실시하여, 접합부에 대한 신뢰성을 평가 고찰해 보았다. 마찰교반점접합시 공정변수 회전속도, 삽입깊이에 따른 접합특성별 BURR에 대하여 평가를 실시하고 접합 특성과 인장-전단시험, 경도시험을 실시하였다.

마찰교반점접합으로 접합한 두 소재의 인장강도를 측정하기 위하여, UT-100F 만능시험기를 사용하였다. 시편은 규격에 의거하여 길이 100mm, Grip부분은 30mm로 설정 하였으며, 모서리 round값은 6R로 제작하여 시험을 실시하였다.

경도 측정을 하기 위해서 마이크로 비커스경도계를 이용하여 하중 0.5kgf, 하중시간 10초의 조건으로 접합부에 대해 알루미늄 측 상부표면에서 0.75mm 지점, 접합계면 지점, 스틸 상부에서 0.5mm 지점의 세지점에 대해 0.5mm 등간격으로 경도를 측정하였다.

아울러 접합부의 미세조직 및 금속간화합물 특성을 고찰함으로써, 접합부에 대한 신뢰성을 평가하고자 하였다.

## 3 장 결과 및 고찰

### 3.1 마찰교반점접합부의 접합 특성

#### 3.1.1 공정변수에 따른 접합특성

이종소재 Al 5083 1.5mm(t)와 SGAFc 1180 1.0mm(t)의 겹치기 이음부에 FSJ를 실시하였으며, FSJ 공정변수 중 주요공정변수인 툴의 삽입깊이(Plunge depth)와 회전속도(RPM)에 따른 접합부 특성을 고찰하였으며, Table 3.1은 삽입깊이 0.6mm와 0.8mm에서의 rpm속도조건에 따른 시편의 상/하부 외관평가와 단면에 대하여 표기하였으며, 삽입깊이 0.2mm, 0.4mm조건에서는 앞서 설명한것과 같이 접합이 이루어지지 않아 본 표에서는 나타내지 않았다.

실험시 툴의 삽입깊이는 0.2, 0.4, 0.6, 0.8mm, 회전속도는 300, 400, 500rpm 변화에 따른 접합부에 발생하는 마찰열과 소성유동성 그리고 훅(hook)의 특성에 따른 접합성을 주안점으로 비교, 평가하였으며, 조건별 접합부 외관 평가 결과, 툴의 회전속도 500rpm 조건에서 원형의 burr가 형성되는데, 이는 툴의 삽입과 동시에 가압력과 회전에 의해 알루미늄이 밀려나면서 형성된 것으로 판단 된다.

또한 툴의 삽입깊이가 깊어지고 회전속도가 증가할수록 시편 뒷면에 핀의 교반 흔적과 갈변 현상이 뚜렷하게 나타남. 이는 툴의 삽입깊이가 깊어질수록 가압력 증가로 인해 강재의 하부표면과 가까워지고 회전속도가 증가에 따라 마찰열이 증가하여 나타난 현상으로 사료 된다.

조건별 단면 관찰 결과, 실험 결과 툴의 삽입깊이 0.2, 0.4mm의 조건의 모든 회전속도에서, 불충분한 삽입깊이로 인해 상부 Al 5083과 하부 SGAFc 1180간의 소성 유동이 이루어지지 않아 접합이 불가함을 확인 할 수 있었다.

또한 삽입깊이 0.6mm의 경우 핀이 하부스틸 상표면에 약간 닿을 정도이므로 상하 판재간 교반작용이 적어 단순 접합된 형태를 나타냄. 느린 회전속도 조건

300rpm에서는 삽입깊이를 증가시켰으나 충분한 마찰열이 발생하지 않아 소성유동 부족으로 접합이 불가함을 확인 할 수 있었다. 삽입깊이 0.8mm 의 경우 0.6mm의 경우에 비해 다소 소성유동성이 증가하는 특성을 보였으며, 특히 회전속도 500rpm 조건에서는 핀이 하부스틸 상표면을 충분히 교반됨을 확인할 수 있었음. 이는 톨의 삽입깊이 증가에 따른 가압력 증가와 회전속도 증가에 따른 마찰열 증가로 인해, 상하 판재간의 소성유동이 향상되었기 때문이라고 판단된다.

접합부의 접합강도에 영향을 미치는 주요인자중 하나인 혹(hook) 형성을 살펴보면, 상부 알루미늄의 핀 끝단 좌우로 형성됨을 관찰할 수 있었으며, 삽입깊이 0.6mm 보다 0.8mm에서 혹의 크기가 증가하였고, 이는 삽입깊이가 깊어질수록 상부 알루미늄 피접합재가 연화되는 양이 증가하면서 하부의 강재의 유입이 원활하게 이루어지기 때문에 혹의 크기가 증가한 것으로 판단이 된다.

Table. 3.1 Bead profiles of FSJ joints for various plunge depths with rotation speed

Plunge depth	Rotation speed	Appearance				Cross section
0.6mm	400RPM	Top		400RPM 0.6mm 15s		
		Bottom				
	500RPM	Top		500RPM 0.6mm 15s		
		Bottom				
0.8mm	300RPM	Top		300RPM 0.8mm 15sec		
		Bottom				
	400RPM	Top		400RPM 0.8mm 15s		
		Bottom				
	500RPM	Top		500RPM 0.8mm 15s		
		Bottom				

### 3.1.2 인장-전단강도 특성

공정변수 툴의 삽입깊이 0.6, 0.8mm의 회전속도 300, 400, 500rpm 변화에 따른 접합부의 인장-전단강도 특성을 고찰하였다.

Fig 3.1에서 나타낸것과 같이 삽입깊이 0.8mm, 회전속도 500rpm 조건에서 가장 높은 인장-전단강도인 1.99 kN를 확보할 수 있었는데, 이 값은 완성차 SPOT 용접강도 규격의 접합부 강도 기준 1.67kN을 상회하는 값에 해당된다.

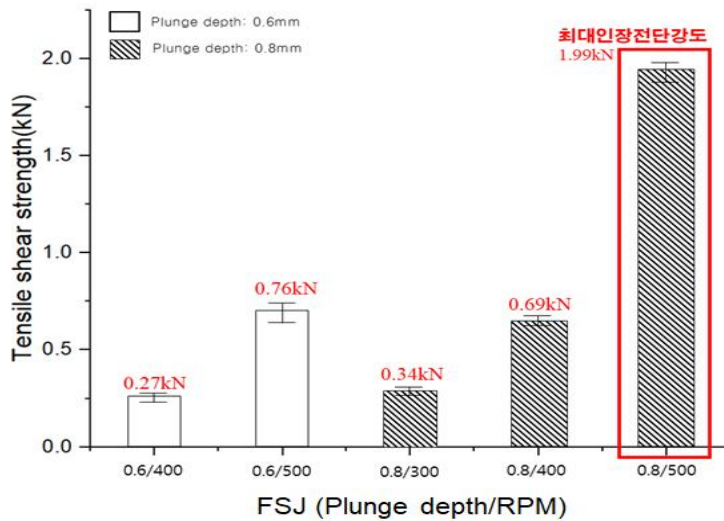


Fig. 3.1 Tensile shear strength of FSJ joints for various plunge depths with rotation speed

시험 후 파단면 분석 결과, 툴의 삽입깊이 0.6, 0.8mm의 대부분의 조건에서 단순 접합된 형태를 띄므로 계면파단이 발생한 반면, 삽입깊이 0.8mm의 회전속도 500rpm 조건에서는 소재간 원활한 소성유동이 이루어져 접합되었으므로 접합부에서 플러그 파단 양상을 볼 수 있었다.

상기 툴의 삽입깊이 0.8mm, 회전속도 500rpm 조건에서 접합 강도값이 타 조건에 비해 크게 증가하는 이유는 툴의 삽입깊이 증가에 따른 가압력 증가와 회전속도 증가에 따른 마찰열 증가로 인해, 소성유동이 향상되었기 때문이라고 판단 된다.

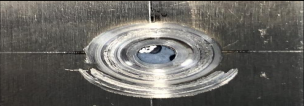



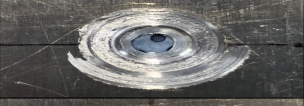

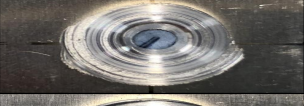



아울러 앞 절에 언급한 바와 같이, 삽입깊이가 깊어진 만큼 흑의 크기가 증가하



여 상부 알루미늄과 하부 스틸간의 Interlocking 효과를 증가시키므로 접합강도가 큰 쪽으로 향상된 것으로 판단 된다.

Table 3.2에서는 삽입깊이와 회전속도에 따른 인장-전단 시험후 파단된 마찰교반 점접합부의 시험편이고, Fig3.2는 최대인장-전단강도를 나타낸 삽입깊이 0.8mm 회전속도 500rpm조건에서의 S-S curve 이다.

Table. 3.2 Fractured specimen of FSJ joints after tensile shear test

Plunge depth	Rotation speed	Fractured specimen	
		Al	Steel
0.6mm	400		
	500		
0.8mm	300		
	400		
	500		

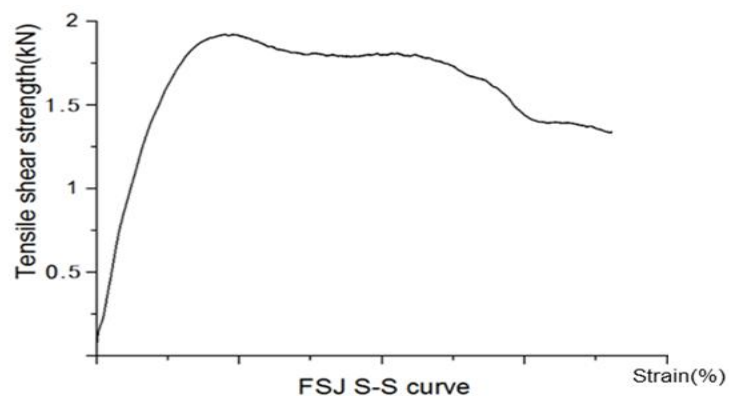


Fig. 3.2 S-S curve of FSJ joints



### 3.1.3 경도분포

앞에서 도출된 최대 인장-전단강도값을 나타내는 접합조건인 틀 삽입깊이 0.8mm, 회전속도 500rpm의 시험편에 대한 경도분포를 고찰하였다.

마이크로 비커스경도계를 이용하여 하중 0.5kgf, 하중시간 10초의 조건으로 접합부에 대해 알루미늄 측 상부표면에서 0.75mm 지점, 접합 계면 지점, 스틸 상부에서 0.5mm 지점의 세지점에 대해 0.5mm 등간격으로 경도를 측정하였다. 최고 경도는 접합부 계면부근에서 298Hv를 나타내었는데 이는 교반 중에 하부의 스틸이 상부 알루미늄 쪽으로 유입되어 형성된 흑에 해당되며, 하부 스틸측의 최고 경도값은 496Hv로, 교반부에서 동적 재결정에 의한 결정립 미세화로 인해 모재에 비해 약 130Hv정도 상승하였다. Fig 3.3은 앞에서 설명한 최대 인장-전단강도 값을 보여준 공정변수 조건에서의 경도를 측정한 결과를 나타낸 것이다.

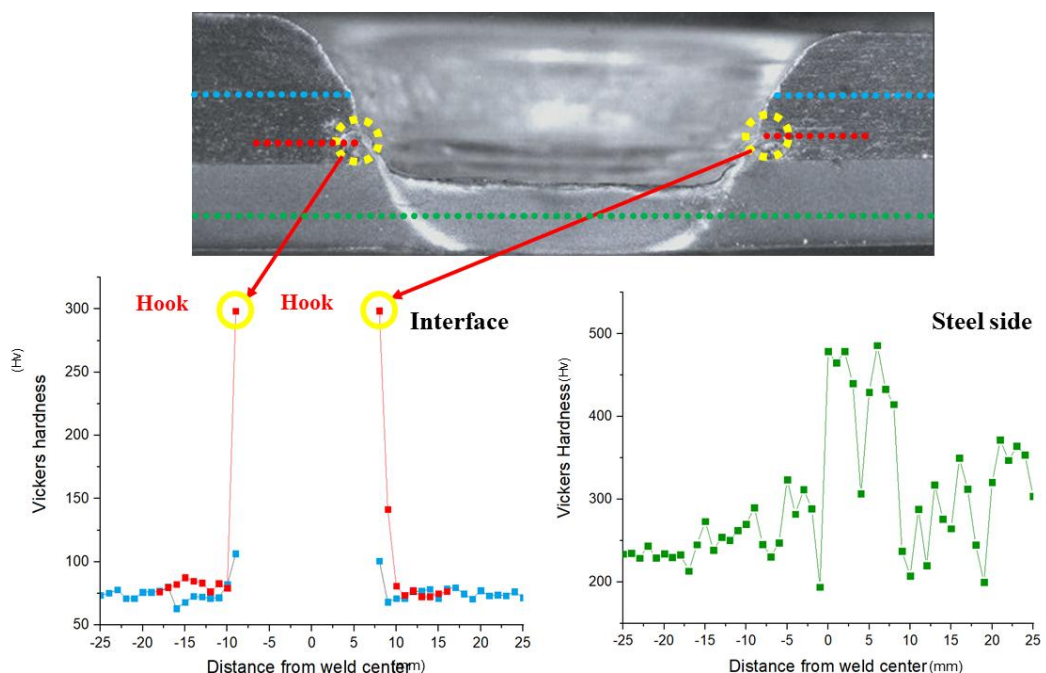


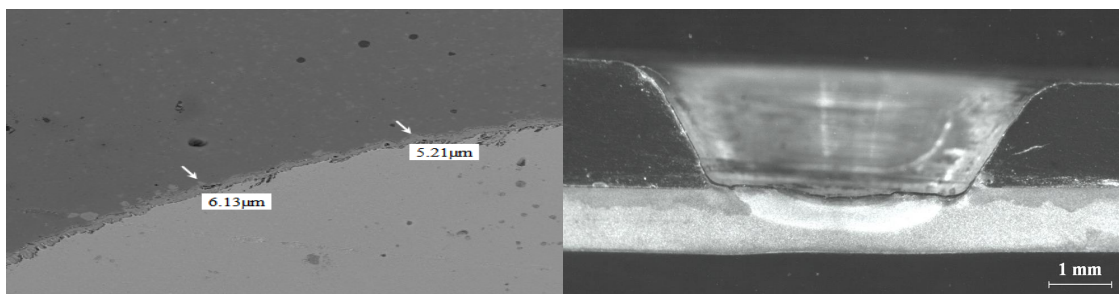
Fig. 3.3 Hardness Distribution of FSJ Joints

### 3.1.4 금속간화합물(Intermetallic compound, IMC)특성

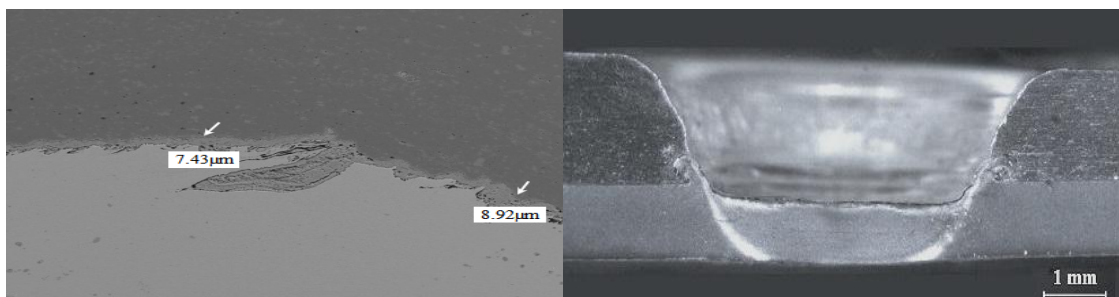
앞에서 언급한 톨 삽입깊이 0.6mm, 0.8mm조건에서 각각 높은 인장-전단강도값을 나타내는 접합조건인 회전속도 500rpm에서의 접합부에 대한 금속간화합물층(Intermetallic compound, IMC)을 SEM을 이용하여 고찰하였다.

Fig 3.4는 톨 삽입깊이 0.6mm, 0.8mm에 대한 금속간화합물의 두께를 나타낸 것이다. 삽입깊이 0.6 mm 조건에서 약 5~6  $\mu\text{m}$ 의 금속간화합물이 형성되었으며 삽입깊이 0.8 mm인 경우 금속간화합물이 1~2  $\mu\text{m}$  정도 미소하게 증가하다. 이는 Al/Fe 이종재료 접합에서 요구되는 10  $\mu\text{m}$ 이내의 금속간화합물층에 해당되었다.

조건별 접합부의 금속간화합물(IMC)와 접합강도간의 상관관계를 살펴보면, 삽입깊이 0.8mm 회전속도 500rpm 조건에서 최대 접합강도값을 보이는 이유는 금속간화합물이 미소하게 증가하지만 가압력 및 입열량 증가로 인해 소성유동이 향상되고, 더불어 흑의 크기가 증가하여 접합부 강도를 향상시키는 역할을 하기 때문이라고 판단이 된다.



(a) Plunge depth 0.6mm



(b) Plunge depth 0.8mm

Fig 3.4 SEM image of IMC in FSJ joints with plunge depth

### 3.2 기계적접합(SPR, FDS)부의 접합 특성

#### 3.2.1 SPR 특성

사용한 소재는 마찰교반점접합과 동일한 Al 5083 1.5mm와 SGAFc 1180 1.0mm이며, 동종 알루미늄 및 이종소재 알루미늄-스틸에 대한 SPR 체결부의 인장-전단강도 특성을 고찰해보았다. 주요공정 변수로 가압력을 70~75kN 범위에서 이종소재 Al 5083과 SGAFc 1180를 체결을 실시하여 그 결과를 고찰해보았다.

Fig 3.5는 SPR 기계적접합시 가압력 조건에 따른 인장-전단강도값을 나타낸 것이고, Fig 3.6은 인장-전단 시험후 파괴된 조건별 시료이다. Fig 3.7에서는 최대인장-전단강도를 나타낸 가압력 75kN 조건에서의 S-S curve를 나타내었다.

SPR체결부의 인장-전단강도를 분석한 결과, 이종소재 Al 5083과 SGAFc 1180 체결부는 가압력 75kN 조건에서 최대값 5.38kN을 확보할 수 있었으며, 인장-전단시험 후 파단면 분석 결과, 동종 알루미늄간 체결부의 경우 리벳 꼬리 분리(rivet tail pull-out) 파단 현상을 확인할 수 있었다. 이종소재간 체결부의 경우 모든 조건에서 리벳 머리 분리(Rivet head pull-out) 파단 특성을 확인해 볼 수 있었다.

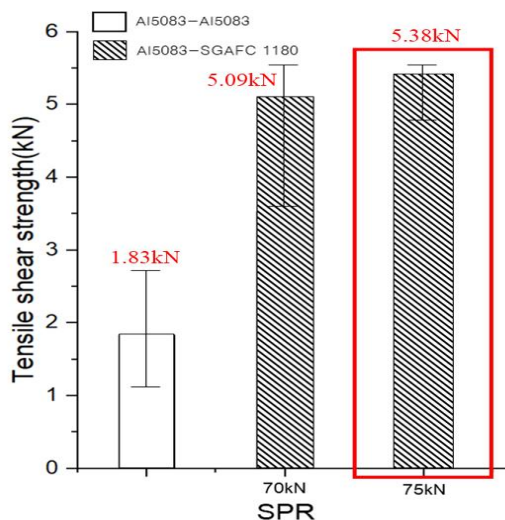


Fig. 3.5 Tensile shear strength of SPR joints with press force

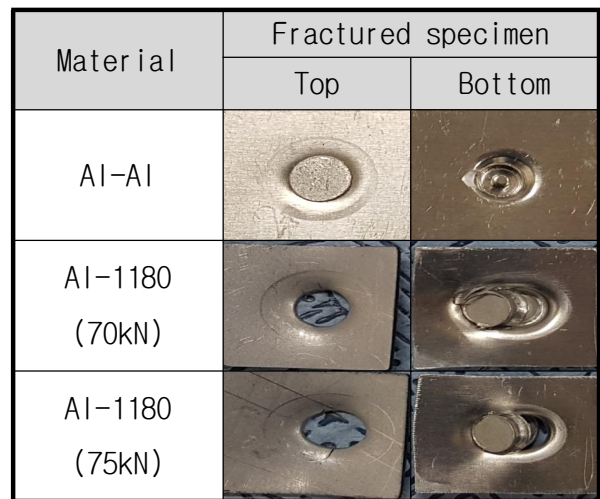


Fig. 3.6 Fractured specimen of SPR joints after tensile shear test

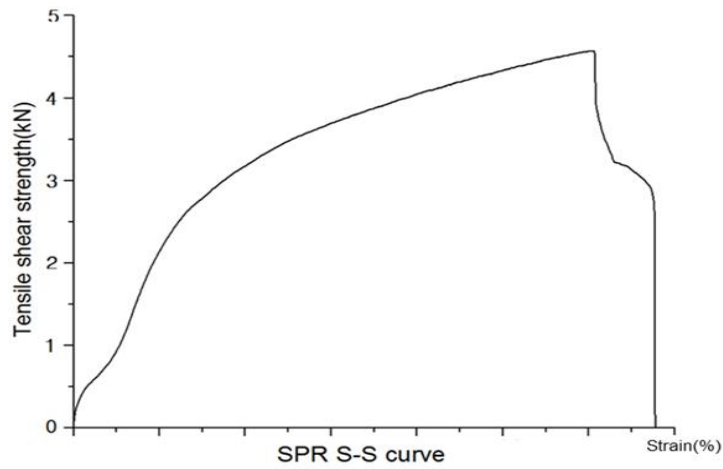


Fig. 3.7 S-S curve of SPR joints

### 3.2.2 FDS 특성

마찰교반점접합과 및 SPR과 동일한 소재에 대하여 FDS 실험을 실시 하였으며, FDS 체결부에 대한 인장-전단강도 특성을 고찰해 보았다. Fig 3.8는 FDS 기계적접합시 동종소재간 인장-전단강도값과, 이종소재간 인장-전단강도를 측정 한 것이며, Fig 3.9은 인장-전단 시험 후 파단 시험편이고, Fig 3.10에서는 이에 대한 인장-전단강도 S-S curve로 나타내었다.

동종소재 AI 5083 - AI 5083 FDS 체결부는 평균 2.22kN로 SPR 체결부 보다 다소 높은 값을 보이거나, 이종소재 AI 5083과 SG AFC 1180 FDS 체결부의 경우 평균 4.48kN로 SPR 체결부 보다 다소 낮은 값을 나타내었다. FDS 체결부의 인장-전단시험 후 파단면 분석 결과, SPR체결부와 마찬가지로 동종 알루미늄간 체결부의 경우 리벳 꼬리 분리(rivet tail pull-out) 파단을 나타내고 이종소재간 체결부의 경우 리벳 머리 분리(Rivet head pull-out) 파단 특성을 볼수 있었다.

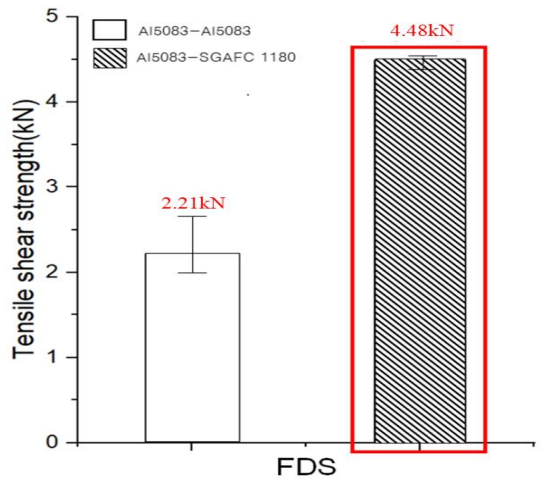


Fig. 3.8 Tensile shear strength of FDS joints with press force

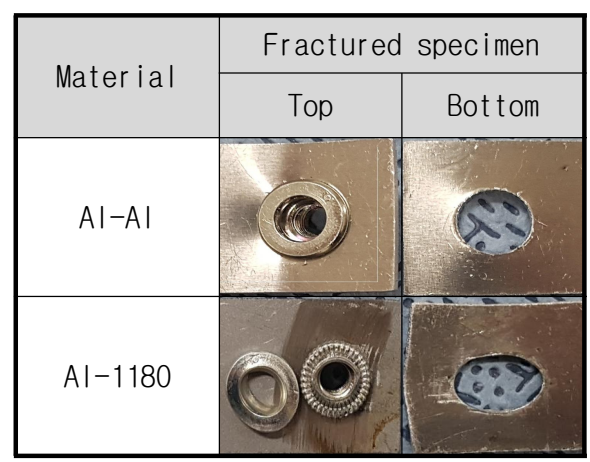


Fig. 3.9 Fractured specimen of FDS joints after tensile shear test

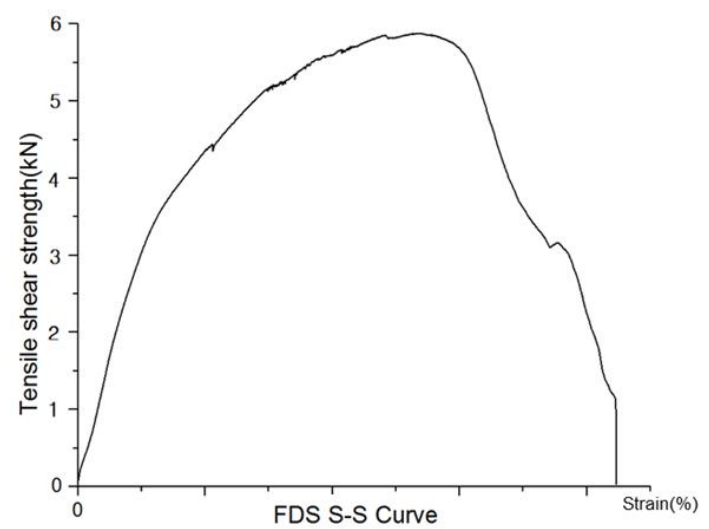


Fig. 3.10 S-S curve of FDS joints

## 4 장 결 론

본 연구에서는 이중소재 알루미늄(AI5083-0)과 초고강도강판(SGAFC 1,180)에 대해 마찰교반점접합 및 기계적접합 SPR, FDS를 실시하여, 접합부에 대한 신뢰성을 평가 하였으며, 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.

첫 번째 마찰교반점접합부에 대한 특성을 고찰해보면,

- 1) 삽입깊이 0.2 ~ 0.4 mm조건에서는 회전속도 300~500rpm까지 모든 회전속도에서 접합이 이루어지지 않음을 확인 할 수 있었는데, 이는 삽입깊이가 부족하여 두 이중소재간 충분한 소성유동이 이루어지지 않아 접합이 불가하였다.
- 2) 삽입깊이를 0.6, 0.8mm 조건에서 회전속도 500RPM일 때 건전한 접합부를 얻을 수 있었다. 이는 톨의 삽입깊이 증가에 따른 가압력 증가와 회전속도 증가에 따른 마찰열 증가로 인해, 상하 판재간의 소성유동이 향상되었기 때문이라 판단된다.
- 3) 상기 시험조건에서 0.8mm시험 시편에서 더 우수한 인장-전단강도를 보였는데, 이는 금속간화합물이 미소하게 증가하지만 소성유동이 향상되고, 흑의 크기가 증가하여 상부 알루미늄과 하부 스틸간의 Interlocking효과가 커져서 접합강도가 큰 폭으로 향상된 것으로 판단된다.

두 번째로, 기계적접합부에 대한 특성을 고찰해 보면,

- 1) SPR의 경우, 70kN에서는 5.1kN, 75kN에서는 5.38kN의 인장-전단강도를 확인 할 수 있었으며, 모든 조건에서 리벳 머리 분리 파단 특성을 나타내었다.
- 2) FDS의 경우에는 인장-전단강도가 4.48kN이며 파단 특성은 SPR과 동일한 리벳 머리 분리 파단의 특성을 보이는데, FDS공정 특성상 펀칭하여 공정이 이루어지

기 때문에 SPR에 비해 낮은 인장-전단강도를 나타낸 것으로 판단된다.

결론으로 마찰교반점접합 및 기계적접합 모두 일반적인 SPOT 용접의 인장-전단강도보다 높은 인장-전단강도를 확보 가능함에 따라, 산업현장에서 상기 조건에 따라, 마찰교반점접합인 FSJ나 기계적접합 방식인 SPR, FDS등 적용부위에 적합한 접합방법을 이용하여 경량화 기술에 접목 가능할 것으로 보인다.



## 참고문헌

- [1] Y. S. Kim : Future of the friction stir spot welding technology for non-ferrous metal, Journal of Welding and Joining, 2012, 30-3, pp4-14
- [2] S. H. Chowdhury, D. L. Chen, S. D. Bhole, X. Cao and P. Wanjara : Lap shear strength and fatigue behavior of friction stir spot welded dissimilar magnesium-to-aluminum joints with adhesive, Materials Science and Engineering: A, 2013, 562, pp53-60
- [3] 정현상 : 자동차 경량화 용·복합소재 트렌드분석, 한국과학기술정보연구원, 2013
- [4] H. S. Bang, H. S. Bang and G. H. Jeon : Recent Studies on Hybrid Friction Stir Welding. Journal of Welding and Joining, 2010, 28-5, pp35-37
- [5] H. S. Shin, Y. C. Jung and K. Choi : Effects of tool speed on joining characteristics during friction stir spot welding of Mg-alloy (AZ31B) sheet, Journal of Welding and Joining, 2011, 29-2, pp80-87
- [6] S. H. Kim, S. W. Kim, S. J. Park and W. S. Chang : Dissimilar Friction Spot Joining : A5052-H32 / A6022-T4, RIST journal of R&D, 2007, 21-2, pp153-159
- [7] C. K. Chun, H. J. Kim and W. S. Chang : Friction Stir Spot Joining on Aluminum Alloy for Transportation, Journal of The Korean Welding & Joining Society, 2008, 26-6, pp23-29
- [8] E. Fereiduni, M. Movahedi and A. H. Kokabi : Aluminum/steel joints made by an alternative friction stir spot welding process, Journal of Materials Processing Technology, 2015, 224, pp1-10
- [9] R. Sakano, K. Murakami, K. Yamashita, T. Hyoe, M. Fujimoto, M. Inuzuka, Y. Nagao and H. Kashiki : Development of Spot FSW Robot System for Automobile Body Members, 3rd International Friction Stir Welding Symposium, September, 2001, pp27-28
- [10] B. C. Son, et al. : A Study on Resistance Spot Welding of Dissimilar Sheet Metals (Aluminium Alloy-Steel Sheets), Journal of KWS, 1997, 15-4, pp42-62



- [11] W. H. Lee, Y. G. Lim, H. G. Ryu and B. J. Park : Characters of Zinc-coated steel and Al 6061 using FSW, RIST journal of R&D, 2008, 22-4, pp254-258
- [12] R. S. Mishra and Z. Y. Ma : Friction stir welding and processing, Materials Science and Engineering :R :Reports, 2005, 50-1, pp1-78
- [13] Y. M. Yeon, C. Y. Lee, W. B. Lee, S. B. Jung and W. S. Chang : Spot Friction Stir Welding and Characteristics of Joints in Aluminium Alloys, Journal of Welding and Joining, 2005, 23-3, pp16-20
- [14] G. Buffa, L. Fratini and MARIO. Piacentini : On the influence of tool path in friction stir spot welding of aluminum alloys, Journal of materials processing technology, 2008, 208-1, pp309-317
- [15] K. S. Bang, K. J. Lee, H. S. Bang and H. S. Bang : Interfacial microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welds between 6061-T6 aluminum and Ti-6% Al-4% V alloys, Materials transactions, 2011, 52-5, pp974-978
- [16] H. S. Bang, H. S. Bang, G. H. Jeon, I. H. Oh, and C. S. Ro : Gas tungsten arc welding assisted hybrid friction stir welding of dissimilar materials Al6061-T6 aluminum alloy and STS304 stainless steel, Materials & Design, 2012, 37, pp48-55
- [17] H. S. Bang, H. S. Bang, J. H. Hong, G. H. Jeon, G. S. Kim and A. F. H. Kaplan : Effect of Tungsten-Inert-Gas Preheating on Mechanical and Microstructural Properties of Friction Stir Welded Dissimilar Al Alloy and Mild Steel, Strength of Materials, 2016, 48-1, pp152-159
- [18] 이창환, 여운동, 장운성, 한국과학기술정보연구원 : 마찰교반용접 (기술산업정보분석), 한국과학기술정보연구원, 2003
- [19] ESAB : Friction Stir Welding Technical Handbook, <http://www.esab.com>
- [20] R. Nandan, T. DebRoy, and H. K. D. H. Bhadeshia : Recent advances in friction-stir welding-process, weldment structure and properties, Progress in Materials Science, 2008, 53-6, pp980-1023
- [21] B. T. Gibson, et al. : Friction stir welding: process, automation, and control, Journal of Manufacturing Processes, 2004, 16-1, pp56-73
- [22] Q. Yang, et al. : Material flow during friction stir spot welding,

- Materials Science and Engineering: A, 2010, 527-16, pp4389-4398
- [23] G. H. Jeon : A Study on Weldability of TIG Assisted Friction Stir Dissimilar Welding of Al6061 Alloy and STS Sheet, Chosun univ, 2010, Master's Thesis
- [24] kawasaki robot, <https://robotics.kawasaki.com>
- [25] T. K. Han, K. Y. Lee and J. S. Kim : Recent developments and weldability of advanced high strength steels for automotive applications, Journal of Welding and Joining, 2009, 27-2, pp13-18
- [26] R. Kuziak, R. Kawalla, and S. Waengler : Advanced high strength steels for automotive industry, Archives of civil and mechanical engineering, 2008, 8-2, pp103-117
- [27] E. H. Kim, K. J. Lee and K. H. Song : Evaluation of mechanical properties on friction stir lap jointed Al6061/HT590 alloys, Journal of Welding and Joining, 2015, 33-2, pp8-13
- [28] Y. H. Yina, N. Sunb, T. H. Northc and S. S. Hua : Hook formation and mechanical properties in AZ31 friction stir spot welds, Journal of Materials Processing Technology, 2010, 210, pp2062-2070
- [29] C. K. Chun, H. J. Kim, T. K. Kim and W. S. Chang : Dissimilar Friction Spot Joining : A5052-H32 / A6022-T4, RIST journal of R&D, 2007, 21-4, pp281-286
- [30] T. Pan, A. Joaquin, D. E. Wilkosz, L. Reatherford, J. M. Nicholson, Z. Feng and M. L. Santella : Spot friction welding for sheet aluminum joining, In Proceedings of the 5th international symposium of friction stir welding, 2004, 1416
- [31] S. O. Jeong, H. S. Bang, and H. S. Bang : Effects of various plunge depths on weldability of dissimilar Al5083-0/DP590 friction spot joint, Journal of Welding and Joining, 2016