



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](#)

2020년 2월

석사학위 논문

SPR과 접착제를 이용한 이종재료  
Hybrid 접합부의 기계적 특성평가

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

박 해 성

SPR과 접착제를 이용한 이종재료  
Hybrid 접합부의 기계적 특성평가

Evaluation of Mechanical Properties in Dissimilar  
Materials Hybrid Joints using SPR and Adhesive

2020년 2월 25일

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

박 해 성

SPR과 접착제를 이용한 이종재료  
Hybrid 접합부의 기계적 특성평가

지도교수 방 희 선

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2019년 10월

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

박 해 성

## 박해성의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 특임교수 방한서 (인)

위 원 조선대학교 교수 방희선 (인)

위 원 조선대학교 조교수 손윤철 (인)

2019년 11월

조선대학교 대학원

## CONTENTS

List of Figures .....	IV
List of Tables .....	V
Abstract .....	VI
1 장. 서론 .....	1
1.1 연구 배경 및 목적 .....	1
1.1.1 연구 배경 .....	1
1.1.2 연구 목적 .....	3
1.2 국내·외 기술 동향 .....	4
1.2.1 AI-Steel 기술 동향 .....	4
1.2.2 기계적 접합 기술 동향 .....	5
2 장. 연구 방법 .....	8
2.1 사용소재 .....	8
2.1 실험장비 및 접합조건 .....	11
2.2 기계적 특성 평가 .....	13

3 장. 연구 결과 .....	14
3.1 접합부의 외관 및 단면 .....	14
3.2 접합부 인장전단강도 .....	15
3.3 접합부 피로강도 .....	17
4 장. 결론 .....	21
참고문헌 .....	22

## List of Figures

Fig. 1.1 Fuel efficiency regulation trend .....	1
Fig. 1.2 Light weight effect by weight reduction .....	2
Fig. 1.3 Advanced multi-materials combination in car body .....	2
Fig. 1.4 SPR 작업 공정도 .....	5
Fig. 1.5 Manufacturing process to vehicle by SPR .....	6
Fig. 1.6 Procedure of adhesive bonding .....	7
Fig. 2.1 Configuratom of Specimen .....	9
Fig. 2.2 SPR Process .....	9
Fig. 2.3 Universal Testing Machine .....	12
Fig. 3.1 Cross section of hybrid joint .....	14
Fig. 3.2 Tensile shear strength and load-displacement curve after tensile shear test; (a) Failure mode, (b) Load-displacement curve .....	16
Fig. 3.3 Failure mode of hybrid joint after fatigue test .....	17
Fig. 3.4 S-N curve of hybrid joint .....	18
Fig. 3.5 Fracture surface of hybrid joint after fatigue test (a) 60% (b) 40% and (c) 30% .....	20

## List of Table



Table. 2.1 Chemical composition of SPRC440, Al 5J32, Rivet ..... 8  
Table. 2.2 Fatigue Strength ..... 13

## ABSTRACT

### Evaluation of Mechanical Properties in Dissimilar Materials Hybrid Joints using SPR and Adhesive

Park Hae Seong

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

Department of Welding and Joining Science  
Engineering,

Graduate School of Chosun University

In this paper, the mechanical properties of hybrid joints using SPR and adhesives were evaluated to improve the joint strength compared to the weight reduction of automobile bodies. In this study, the following conclusions were obtained.

The results of the static test showed that the average tensile shear strength (8.8 kN) of the Hybrid SPR joint increased about 40% compared to the single SPR joint (6.3 kN). It became.

From the fatigue test results, the amplitude load was 0.8kN based on the cycle corresponding to the fatigue limit ( $10^6$ ), which showed about 10% of the average tensile shear strength of the hybrid SPR joint. The fracture of the fatigue test specimen occurred on the aluminum alloy side, and the

fracture of the cured adhesive at the interface showed a transition failure form.

From the observation of the fracture behavior, cracks are generated while fretting occurs in the load direction on the aluminum plate, which is the lower plate, at 60% and 40% of the maximum tensile shear strength. It is judged to show an aspect of propagation. At low load amplitudes of 30% of the maximum tensile shear strength, cracks appear to grow at the location where the upper steel, lower aluminum alloy and rivet meet.

## 제 1 장 서 론

### 1.1 연구 배경 및 목적

#### 1.1.1 연구 배경

세계적으로 기후변화와 대기오염이 심화됨에 따라 자동차 연비와 배출가스에 국제적 환경규제가 강화하고 있다. 미국은 기존 연비규제 대비 약 23%(2015년: 16.07 km/L → 2020년: 19.81 km/L) 강화를 시작으로, 주요국인 중국의 경우 38%(2015년: 14.49 km/L → 2020년: 20 km/L) 규제가 상승됐으며, 국내는 세계 최고 수준인 43%(2015년: 17 km/L → 2020년: 24 km/L)로 규제를 심화시키고 있다.[1]

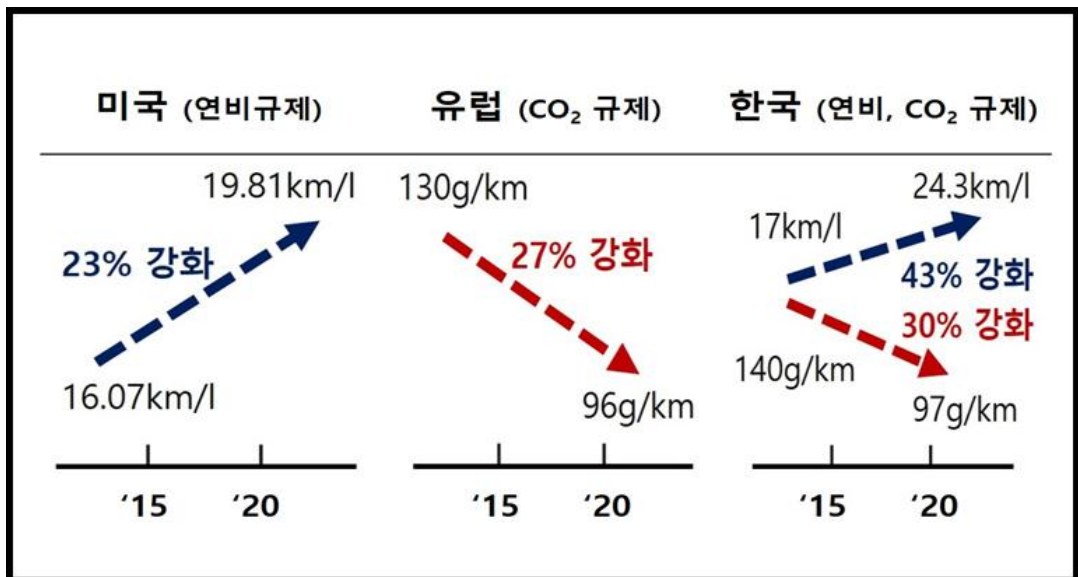


Fig. 1.1 Fuel efficiency regulation trend

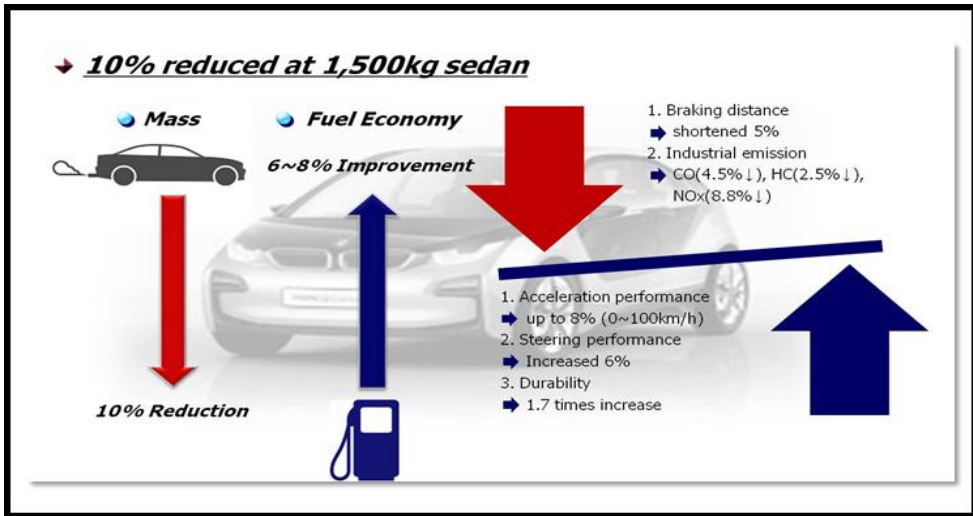


Fig. 1.2 Light weight effect by weight reduction

연비 및 배기 규제 달성을 위해 경량화는 필수적인 반면 편의 및 안전장치 증가로 차량중량이 증가하는 추세인 반면 차체의 중량 10% 절감시 +6~8% 연비 개선 효과가 있는 것으로 분석됐다. 차체 경량화를 핵심으로 경량소재 적용과 용접부의 강도확보등 기술 및 연구가 필요합니다.[2]

그러나 엔진같은 파워트레인 개선만으로는 연비 및 배기 규제 달성이 어려워 경량합금(Al, Mg alloys)과 복합소재, 고강도강 등 다중 소재의 조합 및 사용을 차체중량 감소를 위한 경량소재 간에 적합한 적절한 접합 또는 체결공정의 연구가 필요한 실정이다.[3]

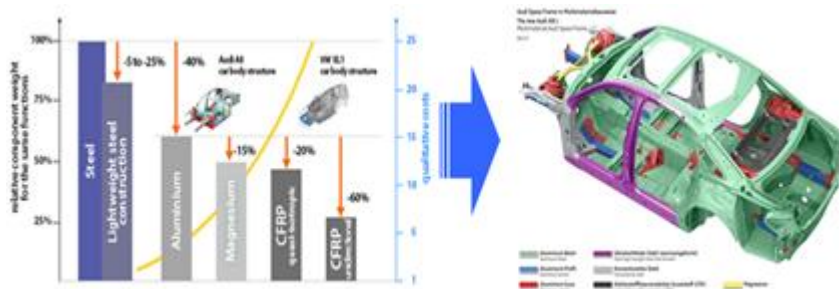


Fig. 1.3 Advanced multi-materials combination in car body

### 1.1.2 연구 목적

차량경량화 및 연비향상 등을 위해서는 차체 전체를 알루미늄으로 변경하는 것이 가장 좋은 방법 이지만 알루미늄의 성형문제, 강도(차체 재설계), 접합기술 등 관련 응용기술이 부족하므로 차체에 부분적인 경량화 적용이 필요한 실정이다. 또한, 자동차 차체의 후레임와 후레임가 연결되는 곳에는 더 큰 강도가 요구되기 때문에 기존의 철강재나 높은 강도를 가지고 있는 재료의 사용이 요구되므로 알루미늄 용접과 더불어 알루미늄과 스틸의 이종재료 결합이 가능한 접합기술 개발이 필요한 시점이다. [3~4]

따라서 본 논문에서는 자동차 차체 경량화 대비하여 접합강도를 향상시키고자 SPR과 접착제를 이용한 Hybrid 접합부에 대한 기계적 특성을 평가하였다. 이를 위해 이종재 A15083과 SGAF1180의 SPR 단독공정과 Adhesive를 병행한 Hybrid 접합부의 인장 전단강도를 비교하고자 하였으며 아울러 피로수명 평가를 수행하였다.

## 1.2 국내 · 외 기술 동향

### 1.2.1 Al-Steel 기술 동향

알루미늄 산업은 제련 주조 가공 등의 산업으로 구분되며 원광석으로부터 알루미늄 금속을 제조 하는 제련산업 이다. 잉곳을 주조하여 주조품 빌렛 슬라브 등을 제조하는 산업이며, 압연 압출 단조 절삭 열처리 도장 등 가공공정을 거쳐서 선재 판재 형재 제조하는 산업 이다. 전 세계적으로 볼 때 알루미늄은 우수한 경량성과 기계적 성질이 우수 하기 때문에 자동차, 항공기, 철도차량, 선박 등의 수송기용으로 많이 사용한다. 알루미늄은 크게 주조재료와 가공재료로 구분되며 가공재료는 압연 압출 단조 등의 공정을 거쳐서 판재 봉재 형재 파이프 선재 등으로 제조 한다. 판재는 두께에 따라서 두꺼운 판재 얇은 판재 등으로 구분 되며, 클래드재, 복합재 등을 추가로 포함된다. 국내 알루미늄 소재의 시장은 자동차 주조 부품, 창틀용 압출 프로파일, 배터리 카바, 자동차 차체용 압출재, 건설용 판재 및 압출재 등 봉재 형재 등 알루미늄 압출재의 경우 국내 다수의 생산업체가 있으며 그 수요도 산업용 건설용 선박내부재 소비재용 등 다양하게 존재 한다. 세계 자동차 경량화 연구 초기엔 알루미늄 합금은 부품 제작 시 엔진 블록 등 중심으로 적용되었지만 최근엔 후드뿐 아니라 펜더, 루프, 도어 등 확대 적용하고 있다.[12]알루미늄 합금의 무게는 스틸의 약30% 수준이고 성형성이 우수하여 스틸제품을 모두 알루미늄합금으로 치환할 경우 약65%가량의 차량의 중량을 줄일 수 있다.[5]자동차에 적용되는 알루미늄 합금은 차량 무게의 11% 규모이지만 점차 확대 되어 25년경에는 14% 이상 적용될 예정이며, [6] 특히 차체와 도어, 범퍼 부품위 주로 적용될 전망이다. 세계 각국의 연비 기준 강화에 따라 쉐보레, 포드, 아우디 등 선진 자동차 업계의 경우 알루미늄 합금 차체 적용을 확대시키고 있다. 국내 또한 20년부터 연비 및 이산화탄소 규제 강화로 경량화 적용을 위한 소재 개발 및 용접법, 성형, 표면처리법 연구되고 있다.

## 1.2.2 기계적 접합기술 동향

### 1.2.2.1 SPR 기술 동향

기계적인 결합방법의 하나인 SPR 접합은 일반 리벳 공정과는 달리 별도의 리벳 용 홈(HOLE)이 필요없기 때문에 자동화에 용이하며 작업 시간이 빠르다. SPR은 일반적으로 점용접에 비하여 접합강도는 약 10~20% 떨어지지만, 피로강도는 우수한 것으로 알려져 있다.[7~8] 리벳 압입 방식으로 판재의 열 변형이 거의 없고 친환경적인 공법으로 사용되고 있다. 또한 소음이 적고, 용접이 불가능한 이종재료의 결합이 가능하다. 특히 자동차 양산용 장비 적용이 용이 하기 때문에 기존의 점 용접을 대체하기 편리하다.[9~10] Fig. 1은 SPR 접합공정의 순서를 나타내었다. 첫 번째 공정은 피딩 장치에 의해 리벳이 장동공급이 되며, 두 번째 공정은 유압 혹은 서보 모터의 힘으로 리벳을 판재에 압입을 시키며, 세 번째 공정은 상부 판재를 관통하고, 하부 판재는 관통하지 않으며 마지막 공정은 하부 앤빌(Anvil)의 형상에 의해 성형되어 리벳팅이 완료된다.

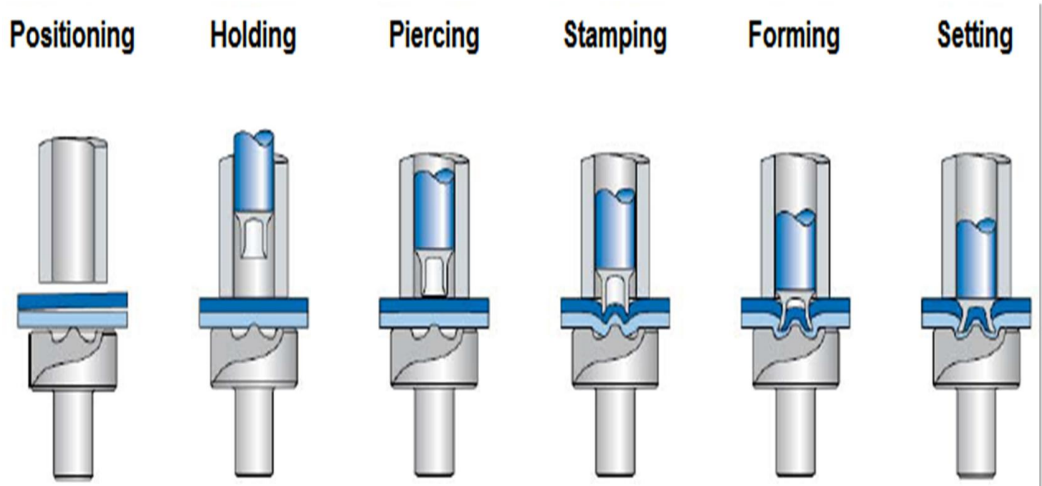


Fig. 1.4 SPR 작업 공정도





<SPR 솔루션이 적용되는 자동차 제조 과정> / 출처 : 아트라스콥코

Fig. 1.5 Manufacturing process to vehicle by SPR

### 1.2.2.2 Adhesive Bonding 기술 동향

접착제를 이용한 접합은 이종재료의 접합이 쉬우며, 접합 설계 및 접합 과정이 간단하다. 또한 접착제 자체가 수분에 대한 차폐막 역할을 하게 되어서 후 작업이 필요성이 없어진다. 그러나 접합 시간이 길고, 환경적 문제가 있는 것이 그 단점이다. 일반적인 접착제를 이용한 접합과정은 시편이 준비된 상태에서 준비된 시편을 전처리 작업을 수행한다.[11] 그다음 접착제를 일정두께로 도포하고 마지막으로 시편을 겹친 후에 일정압력을 가하여 접착제를 경화시킨다. 이와 같은 과정을 Fig.1.6 에 나타내었다.

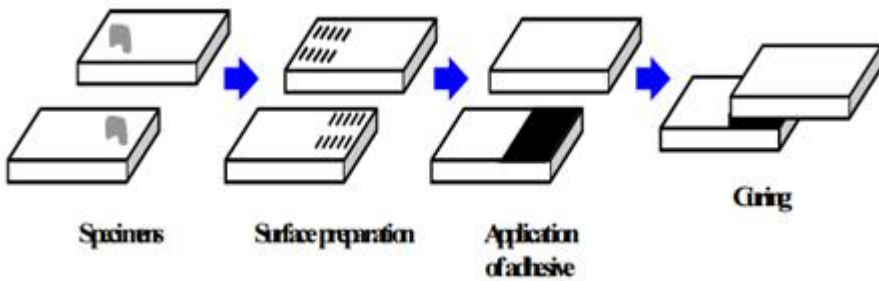


Fig. 1.6 Procedure of adhesive bonding

## 제 2 장 연구 방법

### 2.1 사용소재

본 실험에 사용한 소재는 Al 5083과 SGAFc1180와 리벳으로 화학적 조성을 Table 1 에 나타내었다. Al5083과 SGAFc1180 재료의 기계적인 물성은 Table2 와 같다. 시편의 규격은 Fig.3과 같이 일반적으로 사용되는 겹치기 이음시편으로 SGAFc1180 은 가로 100 mm, 세로 30mm 이고 두께는 1 mm 이고 Al5083은 가로 100 mm, 세로 30mm 이고 두께는 2mm 인 I형 겹치기 시편이다. 실험에 사용한 리벳은 내경, 외경 은 각각 3.7, 7.75mm 이고, 길이는 5mm 인 아큐먼트사 Ø 6.5이다. 재료는 아연 코팅된 카본 스틸로서 경도는 450~500Hv 이다.

Table. 2.1 Chemical composition of SPRC440, Al 5J32, Rivet

Materials	Chemical composition(%)				
	C	Si	Mn	P	Mg
Al 5083	-	0.4	0.4	-	4.0
SGAFc1180	0.33	0.067	3.68	-	-
Rivet	0.46	0.045	0.446	0.013	-

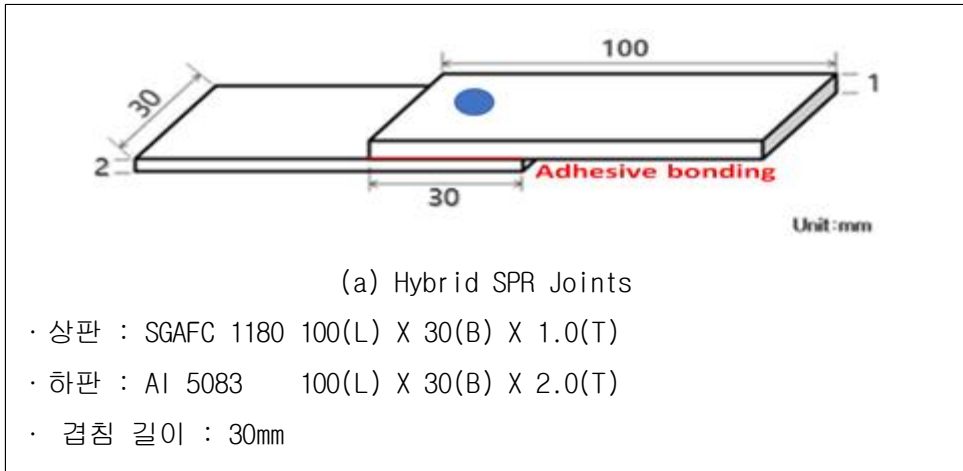


Fig. 2.1 Configuration of specimen

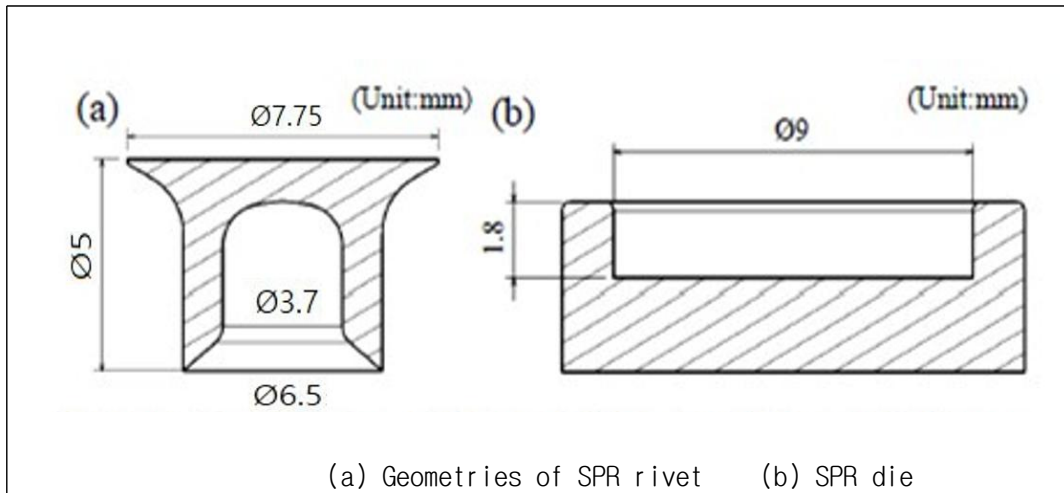


Fig. 2.2 SPR Process

접착제는 시편을 전처리 작업을 수행한 후 접착제를 일정두께로 도포하고 마지막으로 시편을 겹친 후에 일정 압력을 가하여 접착제를 경화시켰다. 접착 두께가 증가하면 접착제에서 발생하는 전단응력이 증가와 접착 계면에 많은 기공을 내포할 수 있으며, 경화 후 잠재적인 결함의 원인이 될 수 있으므로. 최적의 두께로 추천되는 접착두께는 0.1 ~ 0.2 mm도포하였다.

## 2.2 실험장비 및 접합조건

SPR 장비는 사용목적에 따라 정치식과 로봇건식 등의 종류가 있으며, 본 실험에 사용한 장비는 고정식 장비이다. 실험장치의 구성은 크게 3부분으로 구성되어 있으며 C형 후램으로 구성된 셋팅 틀부분 및 리벳을 자동공급해주는 Feeding 장치와 세팅틀을 작동해주는 유압 유니트장치부로 구성되어 있다 . 실험조건은 가압력 5kN로 설정하여 리벳팅을 하였다. [11]

접합 조건은 Hybrid 판재 접합 실험에서는 Henkeltk 구조용 에폭시 계열의 접착제를 이용하여 0.1MM 도포후 180도℃에서 30분간 경화 작업을 한후 SPR 접합을 실시했다. 겹치기 부분의 접착두께는 약 0.2 mm가 유지되도록 하였다.

인장 전단 실험은 이음시편으로 SG AFC1180은 가로 100 mm, 세로 30mm 이고 두께는 1 mm 이고 AI5083은 가로 100 mm, 세로 30mm 이고 두께는 2mm 사용했고, 피로 시험은 S사의 20 Ton UTM(Universal Testing Machine)사용을 했고 0.5 mm/min 속도로 인장 강도 시험을 실시 하였으며, 공정에 따른 접합부 파단형태를 파악후 특성을 고찰 하였다.



Fig. 2.3 Universal Testing Machine

## 2.3 기계적 특성 평가 방법

본 논문에서는 SPR 접합강도를 향상시키고자 SPR과 접착제를 이용한 Hybrid 접합부에 대한 기계적 특성을 평가하고자 한다.

이를 위해 이종재 A15083과 SGAF1180의 SPR 단독공정과 Adhesive를 병행한 Hybrid 접합부의 인장 전단강도 및 피로강도와 파괴거동을 고찰하고자 하였다.

Table.2.2 Tensile and Fatigue Strength

	Mean load (kN)	Amplitude load (kN)	$F_{Max}$ (kN)	$F_{Min}$ (kN)
20%	0.99	0.81	1.8	0.18
30%	1.43	1.17	2.6	0.26
40%	1.93	1.58	3.5	0.35
60%	2.92	2.39	5.3	0.53

- 하중 응력비 : 0.1
- 반복하중 : 정현파 (sine wave)
- 주파수 : 10Hz

상판(Al), 하판(Steel) 리벳이 결합되는 주변인 상판과 접촉되는 지점에서 프레팅으로 인한 균열이 발생되고 그 부위로부터 시작하여 성장하는 것으로 나타났다. 피로하중의 응력비는 0.1로 설정하였고, 반복하중의 파형은 정현파, 시험 주파수는 10Hz fh 하여 피로 시험을 하였다.



## 제 3 장 연구 결과

### 3.1 접합부의 외관 및 단면

SPR 겹치기 접합부 영역은 30 × 30 mm이며, 그 중앙에 SPR 접합을 실시하였다. Hybrid 접합부의 경우는 접합부 영역 30 mm에 일정량의 접착제를 도포하고 그 중앙에 SPR 접합을 실시하였다. 또한 접합공정에 따라 제작된 SPR과 Hybrid 접합부 시험편은 Fig. 3.1와 같다.

Fig. 3.2의 Hybrid 접합부의 단면을 살펴보면 리벳헤드 높이는 0.16mm, 하부 두께는 0.9mm, 인터록 0.5mm이며 상판 스틸과 하판 알루미늄합금 그리고 리벳이 만나는 위치에서 미세 크랙과 기공이 내포되어 있음을 알 수 있다.

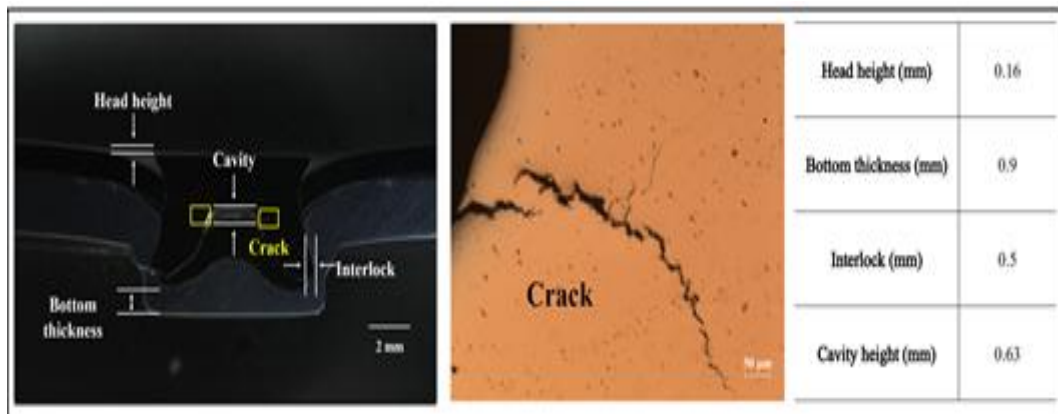
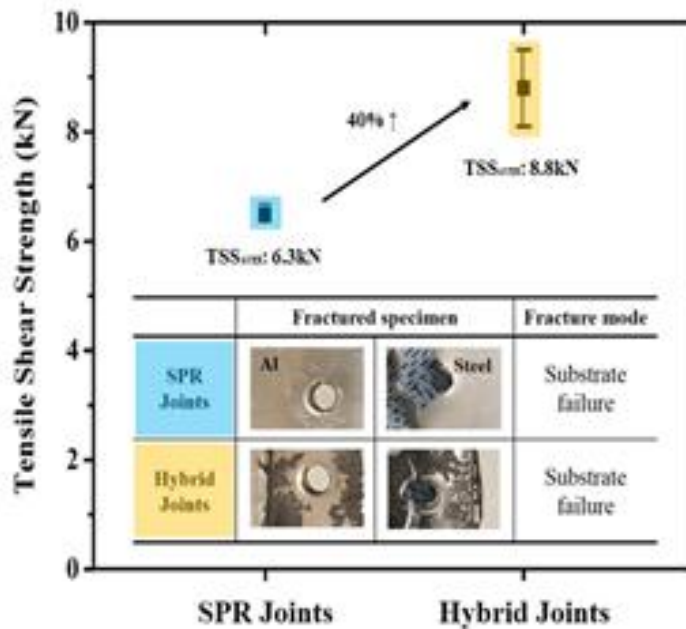


Fig. 3.1 Cross section of hybrid joint

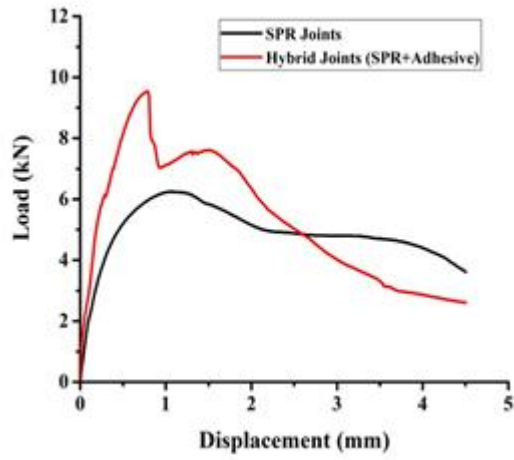
### 3.2 접합부 인장전단강도

인장 전단실험 결과 SPR 접합부 및 Hybrid 접합부의 상부 알루미늄층에서 굽힘 변형이 과도하게 발생하였다. 또한 파단은 리벳 꼬리 분리(rivet tail pull-out), 리벳 머리 분리(rivet head pull-out), 모재 파단(substrate failure)의 3가지 양상중 리벳주위 모재에서 파단이 시작되어 진전되어 파단되는 모재파단 양상을 나타내었다.

인장 전단강도값을 살펴보면 Fig.3.2처럼 Hybrid 접합의 경우 최대인장전단하중이 8.8kN이며, SPR 접합의 경우는 6.3kN을 나타내었다. 이는 Hybrid 접합을 수행하였을 때 SPR 접합의 경우 40%이상 접합강도가 향상되었다.



(a) Failure mode



(b) Load-displacement curve

Fig. 3.2 Tensile shear strength and load-displacement curve after tensile shear test; (a) Failure mode, (b) Load-displacement curve

### 3.3 접합부 피로강도

피로 하중의 응력비  $R(\sigma_{min}/\sigma_{max})$ 은 0.1 로 설정하였으며, 파형은 정현파 (sine wave) 그리고 하중제어 방식으로 ASTM E 466-96 규격에 의하여 시험을 수행하였다. 진폭은 최대 인장하중( $P_{max}= 8.8 \text{ kN}$ )의 60%~30%수준을 적용하였다.

Fig. 3.3 는 Hybrid 시편의 파단형태를 보여준다. 접착제 결합의 파단형상은 벌크파괴(bulk failure), 천이파괴 (transition failure), 계면파괴(interfacial failure), 모재파단(substrate failure)으로 분류된다. 본 Hybrid시편은 접착제의 천이파단과 SPR 접합부의 알루미늄 합금에서 모재파단이 동시에 발생하였다.



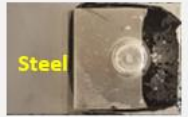
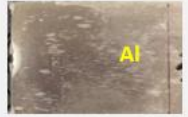


Amplitude Load (kN)	Fracture surface		Fracture mode
2.4			Substrate failure (SPR) + Transient failure (Adhesive)
1.6			
1.2			

Fig. 3.3 Failure mode of hybrid joint after fatigue test

Fig. 3.4 은 피로시험 S-N Curve를 보여주며 본 실험에서는 피로수명이  $10^6$  이상을 피로한도로 판단하여 실험을 수행하였다. Hybrid 접합은 진폭은 최대 인장하중 ( $P_{max}= 8.8 \text{ kN}$ )의 30 % 수준인 1.2 kN에서  $10^6$ 수명이었다. 피로한도( $10^6$ )에 해당하는 사이클을 기준으로 해당 진폭하중은 0.8kN이었으며, Hybrid 접합부 평균 인장 전단강도의 약 10%를 나타내는 결과를 나타내었다.

Fig. 3.5는 피로시험후 파괴거동을 고찰하기 위해 파단면을 관찰하였다. Fig. 3.5의 (a)는 최대 인장하중( $P_{max} = 8.8$  kN)의 60%, (b)는 40%, (C)는 30%에 해당한다. 상판(Al), 하판(Steel) 리벳이 결합되는 주변인 상판과 접촉되는 지점에서 프레팅으로 인한 균열이 발생되고 그 부위로부터 시작하여 성장하는 것으로 나타났다.

(a), (b) 최대 인장하중( $P_{max} = 8.8$  kN)의 60%, 40%에 해당하는 하중진폭에서는 하판인 알루미늄 판재에 하중방향으로 프레팅(fretting)이 발생하면서 균열이 생성되고, 미세한 균열부에 응력이 집중되면서 균열이 전파되는 양상을 나타내는 것으로 판단되어짐. 그리고 (c)최대 인장하중( $P_{max} = 8.8$  kN)의 30%에 해당하는 낮은 하중진폭에서는 상판 스틸과 하판 알루미늄합금 그리고 리벳이 만나는 위치에서 균열이 발생하여 성장하는 것으로 보여진다.

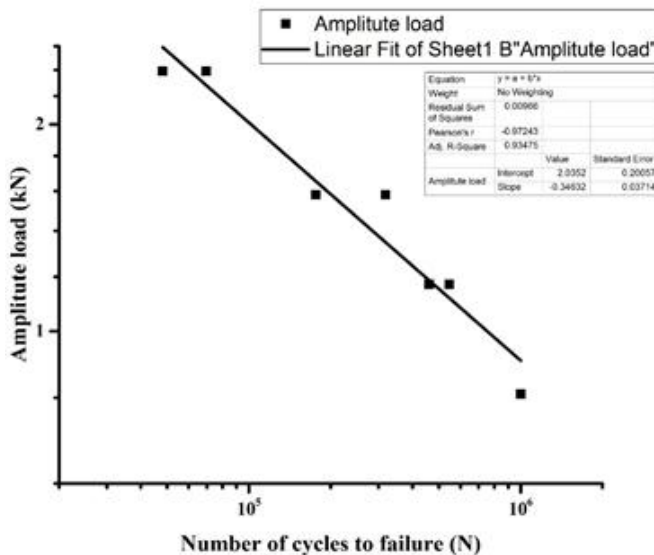
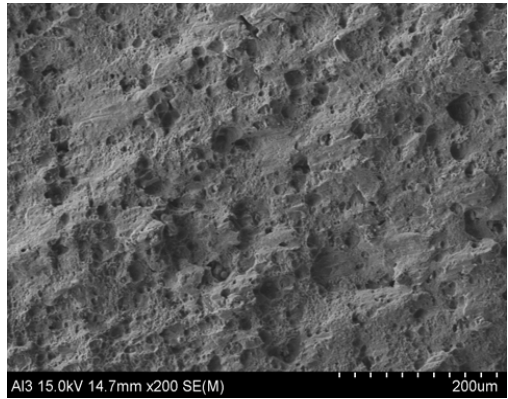
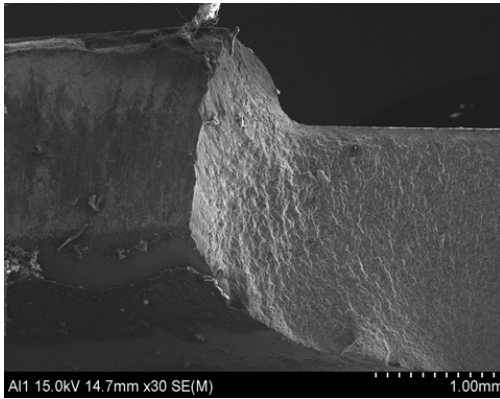
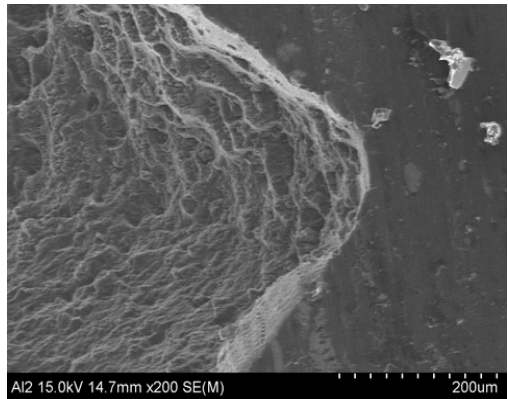
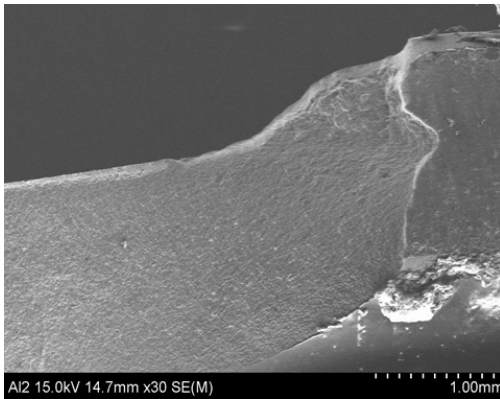
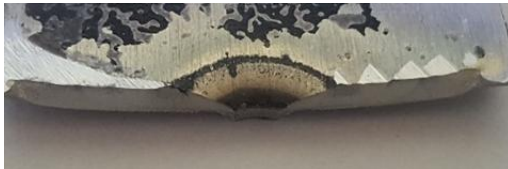


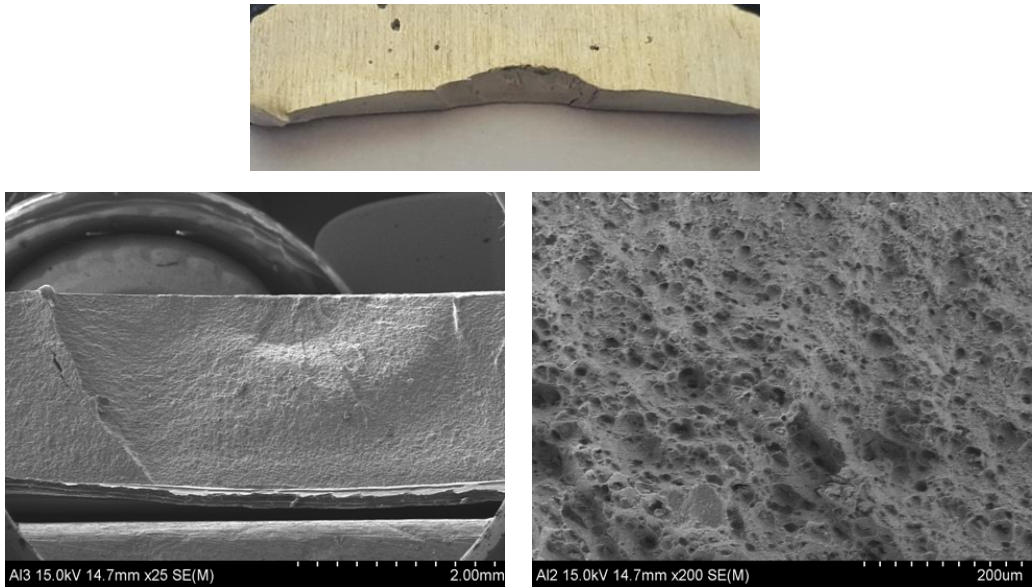
Fig. 3.4 S-N curve of hybrid joint



(a) 최대 인장하중의 60%



(b) 최대 인장하중의 40%



(c) 최대 인장하중의 30%

Fig. 3.5 Fracture surface of hybrid joint after fatigue test; (a) 60% (b) 40% and (c) 30%

## 제 4 장 결 론

본 논문에서는 자동차 차체 경량화 대비하여 접합강도를 향상시키고자 SPR과 접착제를 이용한 Hybrid 접합부에 대한 기계적 특성을 평가하였다. 이에 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 정적시험의 결과에서 Hybrid SPR 접합부의 평균 인장전단강도(8.8kN)는 단일 SPR 접합부(6.3kN)에 비해 약 40%강도가 증가되었으며, 두 접합부 파단은 동일하게 모재(Substrate failure)에서 발생되었다.
2. 피로시험 결과에서 피로한도( $10^6$ )에 해당하는 사이클을 기준으로 해당 진폭하중은 0.8kN이었으며, Hybrid SPR접합부 평균 인장전단강도의 약 10%를 나타내는 결과를 나타내었음. 피로시험편의 파단은 알루미늄합금측에서 발생하였으며, 계면에서 경화된 접착제의 파괴는 혼합천이파괴(Transient failure) 형태를 나타내었다.
3. 파괴거동 관찰로부터 최대인장전단강도의 60% 및 40%에 해당하는 하중진폭에서는 하판인 알루미늄판재에 하중방향으로 프레팅이 발생하면서 균열이 생성되고, 미세한 균열부에 응력이 집중되면서 균열이 전파되는 양상을 나타내는 것으로 판단되어진다. 그리고 최대인장전단강도의 30%에 해당하는 낮은 하중진폭에서는 상판 스틸과 하판 알루미늄합금 그리고 리벳이 만나는 위치에서 균열이 발생하여 성장하는 것으로 보여진다.



## 참고문헌

- [1] Dae-Young Kim, Dong-Wook Kim, Sang-Sik Jeon, A Study on the Fatigue Characteristics of SPR and Hybrid Joint, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 2018, Vol.35, No.3 pp.335-340
- [2] Se-young Kang, Taek-Young Kim, Man-Jin Oh, Ho-Kyung Kim, Tensile-Shear Fatigue Strength of Dissimilar Materials Self-Piercing Rivets, Journal of Korean Society of Safety, August 2015, Vol. 30, No.4, pp.1-7
- [3] Tae-Young Kim, Seo-Jung, Hee-Shin Kang, Young-Shin Lee, Chun-Dal Park, Fatigue Evaluation of Bonding Dissimilar Materials Using SPR and Adhesives, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 2015, Vol.28 No.10 pp.1204-1209
- [4] Dongbum Kim, Yuangen Qiu and Hae-Yong Cho, Design of self-piercing rivet to joint in advanced high strength steel and aluminium alloy sheets, Journal of Welding and mechanism, June 30, 2015, JWW > Volume 33(3); 2015 > Article
- [5] Yong Kim\*, Ki-Young Park\* and Sung-Bok Kwak\*\*, Mechanical fastening and joining technologies to using multi mixed materials of car body, Center for Robot & Manufacturing, Journal of Welding and Joining, 2015, Vol.33 No.3, pp12-18
- [6] Dae Yeong Kim, Dong Ok Kim, and Seong S. Cheon, Experimental Investigation on Fatigue Characteristics of SPR (Self-Piercing Rivet) and Hybrid Joints, Korean Soc. Precis. Eng, 2018, Vol. 35, No. 3, pp. 335-340

- [7] Yong Kim\*, Ki-Young Park\* and Sung-Bok Kwak\*\*, Mechanical fastening and joining technologies to using multi mixed materials of car body, The Korean Welding and Joining Society, 2015, Vol. 33, No. 3, pp.12-18
- [8] Taek-Eon Jeong\*\*, Min-Gyu Kim\*, Sehun Rhee\*\*, and Dong-Hyuck Kam\*, Joint Quality Study of Self-piercing Riveted Aluminum and Steel Joints Depending on the Thickness and Strength of Base Metal, Journal of Welding and mechanism, JWJ > Volume 37(3); 2019 > Article
- [9] Jin-Hee Bae, jae-Won Kim, Ildong Choi, Dae-Geun Nam, Jun-Ki Kim, Yeong-Do Park, A Study on Tensile Shear Characteristics of Dissimilar Joining Between Pre-coated Automotive Metal Sheets and Galvanized Steels with the Self-Piercing Rivet and Hybrid Joining, Journal of Welding and mechanism, 2016, Vol. 34, No. 1, pp.59-67
- [10] Nam-Ki Jeon, Sehun Rhee, and Dong-Hyuck Kam, Parametric Study of Self-Piercing Riveting for CFRP-Aluminum Dissimilar Joint, The Korean Welding and Joining Society , May 2018, 36(3): 8-17
- [11] Tae-Hyun Kim, Automobile Lightweight Bonding Technology Trend, 2011, Technical Information Magazine, 2nd Half, P 31
- [12] Jae-Keun Hong, Chang-Dong Lim, Soo-Hyun Kim Trends and Future Trends in the Advanced Lightweight Metal Material Industry, ISSN 2093-7946, 2016.12

