



저작자표시 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.

- 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](#) 

2018년 8월

석사학위 논문

이종재 AI/CFRP
마찰교반점용접시 에폭시 접착제
유무에 따른 접합특성 평가

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

박재우

이종재 AI/CFRP
마찰교반점용접시 에폭시
접착제 유무에 따른
접합특성 평가

Effect of epoxy adhesive on Joining
Characteristics of Dissimilar Al5052-CFRP

2018년 8월 24일

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

박 재 우

이종재 AI/CFRP
마찰교반점용접시 에폭시
접착제 유무에 따른
접합특성 평가

지도교수 방 희 선

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2018년 4월

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

박 재 우

박재우의 석사학위논문을 인준함

위원장	조선대학교	특임교수	<u>방한서 (인)</u>
위원	조선대학교	교수	<u>방희선 (인)</u>
위원	조선대학교	조교수	<u>송국현 (인)</u>

2018년 5월

조선대학교 대학원

CONTENTS

List of Figures	III
List of Tables	V
Abstract	VII
1장. 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.1.1 연구배경	1
1.1.2 연구목적	5
1.2 국내 외 기술 동향	6
1.3 마찰교반점용접(FSJ)	9
1.3.1 마찰교반점용접의 원리	9
1.3.2 마찰교반점용접의 특징	11
1.4 AI(5052)/CFRP(PA66) 소재의 특징	12
1.4.1 알루미늄합금	12
1.4.2 탄소섬유강화플라스틱(CFRP)	13
1.5 구조용 접착제의 특징	14

2장 . 연구 방법	15
2.1 실험방법	15
2.1.1 사용소재 및 시험편 제원	15
2.1.2 실험장비 및 틀	18
2.1.3 접합조건	20
2.2 접착제 유무에 따른 접합부 특성 평가	24
2.2.1 단면 및 접합 계면 관찰	24
2.2.2 인장-전단시험	24
2.2.3 미세조직 관찰	25
2.2.4 접합부 온도분포 수치해석	26
3장 . 연구 결과	34
3.1 접착제 유무에 따른 마찰교반점접합부 특성	34
3.1.1 마찰교반점접합 접합부 특성 평가	34
3.1.2 접착제를 채용한 마찰교반점접합 접합부 특성 평가 ..	52
3.1.3 접착제 유무에 따른 마찰교반점접합 특성 비교 평가	64
3.2 표면조도에 따른 AI/CFRP 접합부 특성평가	66
4장 . 결론	66
참고문헌	67

List of Figures

Fig. 1.1 Comparison of CO ₂ emission and regulation	2
Fig. 1.2 Fuel efficiency improvement effect accordign to weight reduction	3
Fig. 1.3 Weight reduction plan of BIW	4
Fig. 1.4 Lap shear of CFRP/metal with edge effect	7
Fig. 1.5 Car body side structure under development in this study	7
Fig. 1.6 Chemical approach for impact resistance of structural adhesive ...	8
Fig. 1.7 Schematic representation of the FSJ process	9
Fig. 1.8 Process flow chart and Weld Zone hardness distribution	10
Fig. 1.9 Principle of friction spot joining	10
Fig. 1.10 Schematic illustration of friction spot joining welds	11
Fig. 1.11 Demand outlook of CFRP	13
Fig. 2.1 Dimension of FSJ specimen	15
Fig. 2.2 Schematic of the Al/CFRP lap joint	16
Fig. 2.3 Friction stir welding machine	18
Fig. 2.4 Tool details used for friction spot joining	19
Fig. 2.5 Surface roughness measuring instrument	22
Fig. 2.6 UTM (Universal Testing Machine)	24
Fig. 2.7 Optical microscope and scanning electron microscope	25
Fig. 2.8 Al/CFRP lap joint two-dimensional Modeling for numerical analysis ·	26
Fig. 2.9 Finite-element mesh division for numerical analysis	27
Fig. 2.10 Heat generation from friction at tool between workpiece	32
Fig. 3.1 Average of tensile shear strength with rotation speed	38
Fig. 3.2 Average of tensile shear strength with dwell time	40
Fig. 3.3 Average of tensile shear strength with plunge depth	42
Fig. 3.4 The computed thermal cycle of the interface when the rotation speed (a) 300rpm, (b)400rpm, (c) 500rpm	46

Fig. 3.5 The computed thermal cycle of the interface when the dwell time
(a) 15s, (b) 20s, (c) 25s 49

Fig. 3.6 Cross-sectional SEM image of interface for lap joint of CFRP to Al5052 51

Fig. 3.7 Mechanism of lap joining between CFRP and Al5052 51

Fig. 3.8 Tensile shear strength of adopted adhesive with dwell time 55

Fig. 3.9 Tensile shear strength of adopted adhesive with plunge depth 57

Fig. 3.10 Locations of EDS point analysis and scanning electron image and
chemical compositions of fracture specimen 60

Fig. 3.11 Locations of EDS point analysis and scanning electron image and
chemical compositions of fracture specimen 62

Fig. 3.12 Tensile strength test according to different process 64

Fig. 3.13 Tensile shear strength depending on the existence of surface roughness 66

Fig. 3.14 Cross section of Al/CFRP joint dependinn on the existence of
surface roughness 67

List of Tables

Table. 1.1 Heat treatment and non-heat treatment	12
Table. 1.2 Typical Classification of structural adhesive	14
Table. 2.1 Chemical compositions and mechanical properties of Al5052/H32	16
Table. 2.2 Properties of CFRP	17
Table. 2.3 Specifications of friction stir welding system	19
Table. 2.4 Process parameters of each joining method used for this investigation	21
Table. 2.5 Welding conditions for friction spot joining with epoxy adhesive ..	22
Table. 2.6 Welding conditions for friction spot joining without epoxy adhesive	23
Table. 3.1 Surface of Al/CFRP joints with rotation speed	35
Table. 3.2 Surface of Al/CFRP joints with plunge depth	36
Table. 3.3 Surface of Al/CFRP joints with dwell time	36
Table. 3.4 Tensile shear strength of various condition without adhesive ..	37
Table. 3.5 Fracture interface after tensile shear test with rotation speed ·	39
Table. 3.6 Fracture interface after tensile shear test with dwell time ...	41
Table. 3.7 Fracture interface after tensile shear test with plunge depth	43
Table. 3.8 Temperature fields with rotation speed	44
Table. 3.9 Temperature fields with dwell time	47
Table. 3.10 Surface of Al/CFRP joints with dwell time	53
Table. 3.11 Surface of Al/CFRP joints with plunge depth	53
Table. 3.12 Tensile shear strength of various condition with adhesive ...	54
Table. 3.13 Fracture interface after tensile shear test with dwell time ..	56
Table. 3.14 Fracture interface after tensile shear test with plunge depth	58
Table. 3.15 Chemical compositions of elements in EDS analysis of (a)	61
Table. 3.16 Chemical compositions of elements in EDS analysis of (b)	61
Table. 3.17 Chemical compositions of elements in EDS analysis of (a)	63
Table. 3.18 Chemical compositions of elements in EDS analysis of (b)	63

Table. 3.19 Fracture interface after tensile-shear test
according to different process 65

ABSTRACT

Effect of epoxy adhesive on Joining Characteristics of Dissimilar Al5052-CFRP

Park Jae-Woo

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

In recent years, regulations on automobile emissions and fuel consumption have been gradually strengthened. Vehicle weight reduction has become an essential element in the automotive industry. Hot stamping, hydro-forming and other methods are adopted to lighten the vehicle. However, it is difficult to meet the tightening regulations. Therefore, In this study, we are trying to satisfy the emission gas and fuel efficiency regulations of automobiles by using lightweight material, which is not a new method for lighter vehicles.

There are many materials such as super high tensile steel plate, non-ferrous material and carbon fiber reinforced plastic as lightweight materials, among which Al and CFRP were selected. There are many methods such as SPR and the like as the joining method between Al and CFRP, but FSJ is selected among them.

The purpose of this study is to improve the bonding between lightweight materials (CFRP and Al alloy) by using friction stir welding and epoxy adhesive. The materials used were CFRP (PA66) with a thickness of 1.5 mm and Al alloy (Al5052) with a thickness of 1.0 mm. The Al alloy was placed on top of the CFRP and overlapped. In order to increase the joint strength by causing interlocking phenomenon between materials, 5 surface roughness was given by Wet-Grinding to the bonding surface of Al alloy.

The process variables include tool rotation speed, plunge depth, and dwell time. Mechanical and metallurgical properties of the joints were evaluated by friction stir welding, adhesive bonding, and hybrid bonding. In this study, thermal distribution characteristics of Al/CFRP joints were investigated using numerical analysis program and compared with the experiment.

As a result, maximum tensile-shear strength in Friction Spot Joining was obtained approximately 3.3kN(400rpm, 0.3mm, 25s) and bonding with adopted adhesive was obtained approximately 6.4kN(400rpm, 0.2mm, 25s). Also, tensile shear strength in adhesive bonding was achieved approximately 6.1kN. The effect of bubble formed in the specimen and surface roughness is also considered in accordance with the results of tensile-shear strength.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

1.1.1 연구배경

지구온난화에 대한 우려와 고유가 상황이 지속되면서 세계의 자동차업체에서는 날이 갈수록 강화되고 있는 연비규제와 CO₂ 배출규제(EU, 신차에서 배출되는 CO₂ 배출량을 2020년까지 95g/km 이하로 억제)를 만족시킬 수 있는 친환경 자동차 기술 개발에 주력하고 있다. 환경 및 연비개선을 위한 방안으로 기존 철강 차체에서는 차체 경량화를 통한 연비향상이 연구되고 있으며 한편으로는 친환경 전기자동차의 개발에도 많은 발전이 이루어지고 있다. 그중 직접적인 큰 효과가 기대되는 것으로 자동차 그 자체를 가볍게 하는 것이다. 특히 소재의 경량화는 엔진효율을 높여 자동차의 성능향상을 극대화하고 그로 인해 연비향상을 도모할 수 있어서, 결국 소재의 경량화는 환경오염 방지와 연료절감에 가장 적합하고 중요한 요소이다.[1-3]

우리나라의 수송부문 온실가스 배출량은 2012년 기준으로 86.4백만 톤으로 전체 배출량 688.3백만 톤의 12.5%를 차지하고 있으며, 산업부문과 비교하면 비용 투입 효과가 적어 중요 감축 대상이 되고 있다. 국가 온실가스 감축 로드맵에서도 타 부문(건물 26.9%, 발전 26.7%, 공공기타 25%, 산업 18.5%)보다 높은 2020년 BAU 대비 34.3%의 감축 목표를 설정하고 있으며, 이를 위해 교통수요 정책, 바이오 연료 보급, 자동차 온실가스 기준 강화, 친환경 차 보급 등이 추진 중이며 가장 많은 온실가스 감축량이 할당된 자동차 평균 온실가스 규제이다.

자동차 평균 온실가스 규제는 자동차제작사별로 판매된 모든 자동차의 평균 온실가스를 기준 이내로 제한하는 규제로 기준을 초과 시에는 초과한 양에 대해 과징금이 부과되는 제도로 2020년 자동차 온실가스 및 연비 기준을 각각 97g/km, 24.1km/L로 설정하였다(MOE, 2014). 이는 2015년 기준과 비교하면 30.7%, 42.9% 강화된 기준으로 자동차제작사에서는 기준 달성을 위해 차량 경량화, 직접분사기술, 엔진 다운사이징, 가변밸브, 변속 시 성능 향상 등의 온실가스 저감 기술 적용 및 하이브리드자동차, 전기자동차 등 친환경 차 보급 등 강도 높은 온실가스 감축 대책 적용이 필요하게 되었다.[1]

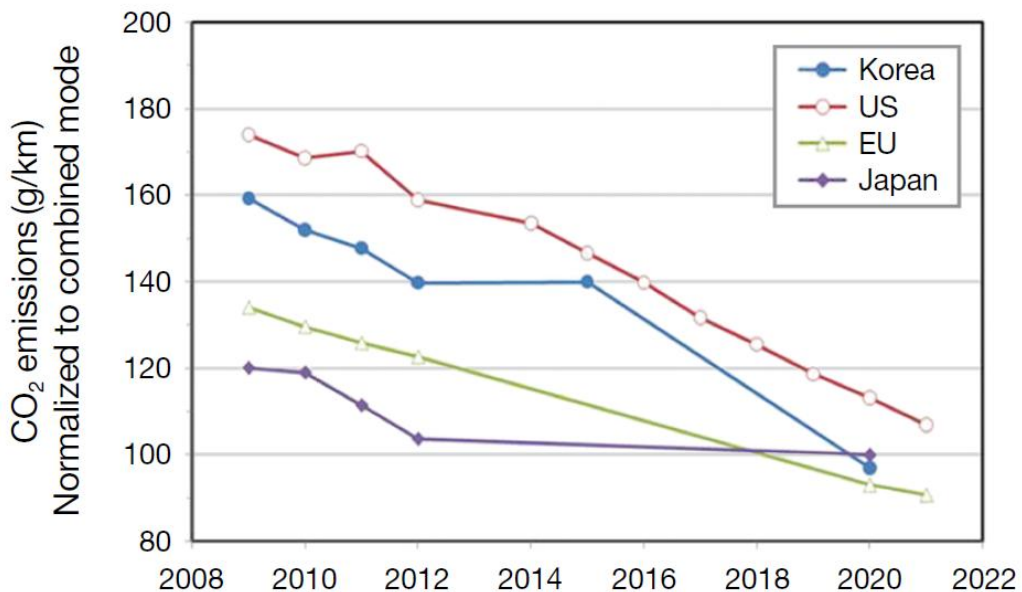


Fig. 1.1 Comparison of CO2 emission and regulation

자동차 중량을 10% 줄이면 가속도 및 제동능력의 향상 그리고 8%의 연비향상과 함께 배출가스가 감소하는 효과가 나타난다. 이처럼 경량화의 중요성과 효과가 인식되면서 경량차체 제작을 위해 기존 철강 차체에서도 알루미늄 합금 등 비철금속과 신소재 등의 적용이 복합적으로 이루어지고 있으며, 특히 전기자동차 제작에서는 100% 비철금속으로 차체개발이 진행되고 있다.[2]

경량화 대체 재료로서 알루미늄은 가장 활발하게 연구되고 있는 소재로서 철의 1/3 수준의 비중 대비 90%의 강성을 갖는 특징이 있다. 이에 따라 차체 부품에서 알루미늄의 사용이 빠르게 증가하고 있으며 유럽과 일본을 중심으로 알루미늄 적용을 위한 연구개발이 활발히 진행 중이다. CFRP는 강도가 스틸의 4배 이상이며, 비중은 철의 1/4이기 때문에 F-1 등의 레이싱카 모노코크 차체 및 브레이크 등에 채용되고 있다. 또한, 핸들, 각종 커버류, 탱크 등 내/외장재가 주종을 이루는 일반 플라스틱 재료와는 달리 CFRP는 후드(Hood), 도어(Door), 루프(Roof) 등의 차체 부품에 이용될 수 있다.[2]

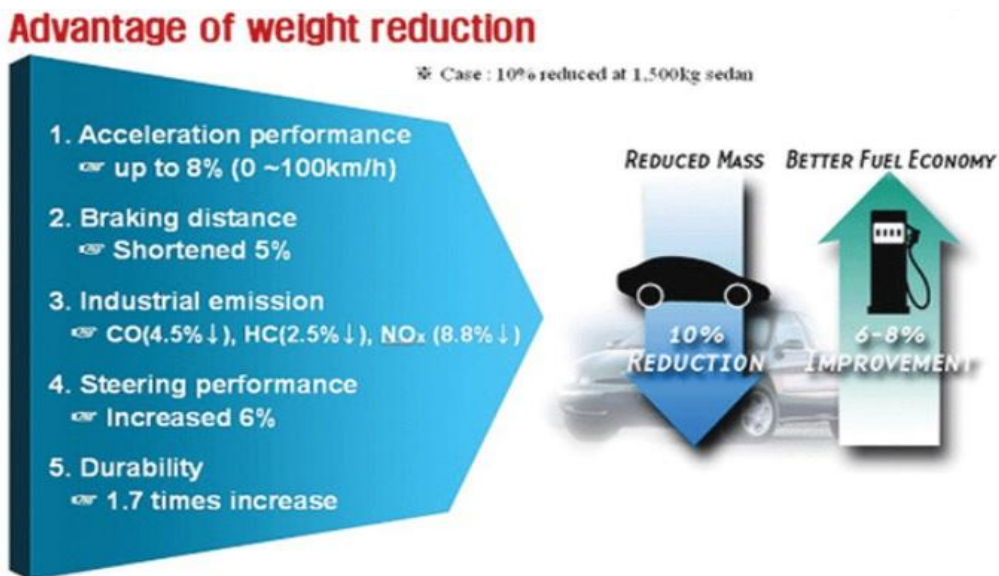


Fig. 1.2 Fuel efficiency improvement effect according to weight reduction

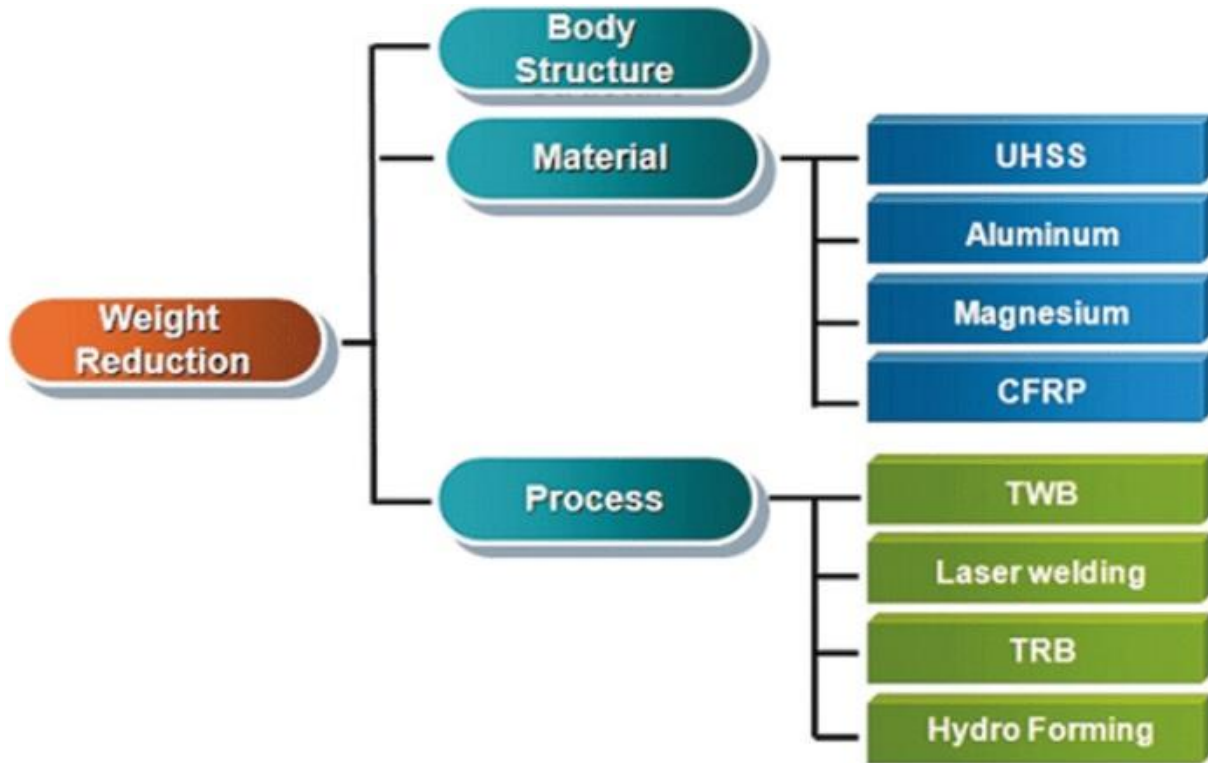


Fig. 1.3 Weight reduction plan of BIW

1.1.2 연구목적

자동차의 배출가스와 연비에 관한 규제가 점차 강화됨에 따라 차량 경량화에 따른 연구가 되고 있음에도 불구하고 차량의 편의시설을 위한 추가적인 부품들로 인하여 자동차의 경량화는 쉽게 이루어지지 않고 있다. 또한, 자동차 엔진 효율 등의 기술적인 부분은 한계에 도달하였다. 엔진 등의 부속품보다는 차량 경량화를 위해선 차체 부분을 경량화 소재를 사용하여 차량의 무게를 줄이는 Multi Material Mix technology를 적용하여 배출가스와 연비에 관한 규제를 만족하려는 많은 연구가 진행되고 있다.[3]

현재 자동차 차체의 체결방법은 주로 저항 점 용접(Resistance Spot Welding)이 적용되고 있지만, 용접부의 강도 등에 한계와 차량 경량화에 어려움을 겪고 있다. 차체 경량화를 위해선 경량화 소재를 사용하는데 기존의 철강 재료가 아닌 비철금속 재료 즉 알루미늄, 복합재료 등은 용접하기 까다로운 실정이다. 이에 따른 비철금속과 플라스틱 간에 마찰교반용접, 마찰교반점용접, 레이저용접 등 많은 공법을 적용하고 있으며, 특히 최근에는 차체 접착제에 많은 연구가 진행되고 있다. 차체 구조용 접착제는 용접 불가 부위 및 소음 또는 구조취약부위에 적용되어 차체의 결함 강성을 증대시키며, 고강성 차체구조를 만들기에도 적합하다고 알려져 있다. 또한, 차체 구조용 접착제는 기계적결함에 비해 무게를 감소하고, 응력집중현상을 방지할 수 있다. 이에 차량 경량화를 위해선 이종소재에 대한 적절한 접합기술의 확보가 중요해졌다.[12]

본 연구에서는 이종소재 알루미늄합금(AI5052H32)과 CFRP(PA66) 간의 접합성 평가를 위하여 접합방법으로 마찰교반점접합(Friction Spot Welding)과 에폭시 접착제(epoxy adhesive)를 기본적으로 적용하여, 마찰교반점용접 단독/접착제 단독/접착제를 채용한 마찰교반점접합 공정을 비교하여 각각의 용접성 특성을 비교, 평가함으로써 접합부에 대한 신뢰성을 확보하고자 한다.

1.2 국내·외 기술 동향

금속소재의 개발과 기가스틸, Mg 등 경량 금속소재의 확대로 탄소복합재료 (CFRP, carbon fiber reinforced plastic)만을 이용하기보다 금속과 CFRP를 혼합하여 각 소재의 장점을 활용하고 있다. 이를 위해 구조용 접착제에 대한 경화시간, 기지재료의 표면상태, 구조용 접착제의 양에 따른 최적 접합공정에 관해 연구가 활발히 진행되고 있다. 접착제의 경화시간은 20분 ~ 30분에 최적 접합강도가 확인되었으며, 접착제 도포 시 모서리 부분을 활용한다면 더 높은 접착력 확보가 가능하였다. 그러나 접합평가 부분에서 인장-전단강도와 파단면 확인에 그치고 있다. [7]

접착제를 사용하여 접착제의 경화시점에 따른 연구가 발표되었었다. 일반적인 접합기술들과 달리 접착제 접합, 클린칭 접합 및 접착제와 클린칭 접합을 병행하여 하이브리드접합에 대한 프로세스 확립에 따라 연구를 진행하였다. 이에 따라 접합 파단모드와 접합강도를 평가하였으며, 경화시점에 따른 하이브리드 접합부 파단하중은 큰 차이가 없었으며, 클린칭 접합 대비 파단하중은 약 50% 이상 상승되었다는 결과가 발표되었다. [8]

또한, 차량 경량화 및 연비향상 연구에 집중되면서 복합재료를 사용할 경우 용접을 대체할 접합 기술이 요구되며, 이에 따라 구조용 접착제의 중요성이 부각되고 있다. 현재 고강성, 내충격성 및 NVH 특성을 구조체에 부여할 수 있는 구조용 접착제가 사용되고 있으나, 복합재료를 구조체에 도입할 경우 부가적으로 이종소재간 열팽창에 견딜 수 있는 특성 또한 요구된다. 먼저 이종소재의 열팽창 차이를 견딜 수 있는 내열강성과 내열접착력이 필요하고 이종소재 간 열팽창과 함께 변형과 복원을 할 수 있는 내열탄성과 내열접착력을 부여하는 것이다. 접착제의 소재적 관점에서 내열강성을 위한 epoxy계와 내열탄성을 위한 Urethane 계가 고려되고 있다. epoxy계 접착제의 경우, 높은 강성과 접착력 및 내충격성을 확보하기 위해 탄성을 부여할 수 있는 Urethane pre-polymer 및 CSR 등의 소재가 요구될 것으로

판단되며, Urethane계 접착제는 우레탄계 고분자의 분자량 및 경화 밀도 그리고 기본물성과의 상관관계에 대한 기초 연구를 수행하여 접착력과 연신 및 내충격성을 동시에 구현할 수 있는 방안을 마련해야 할 것이다.[6]

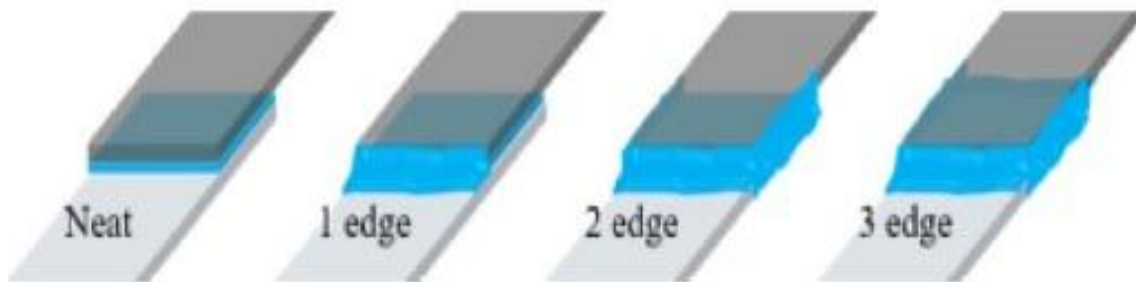


Fig. 1.4 Lap shear of CFRP/metal with edge effect

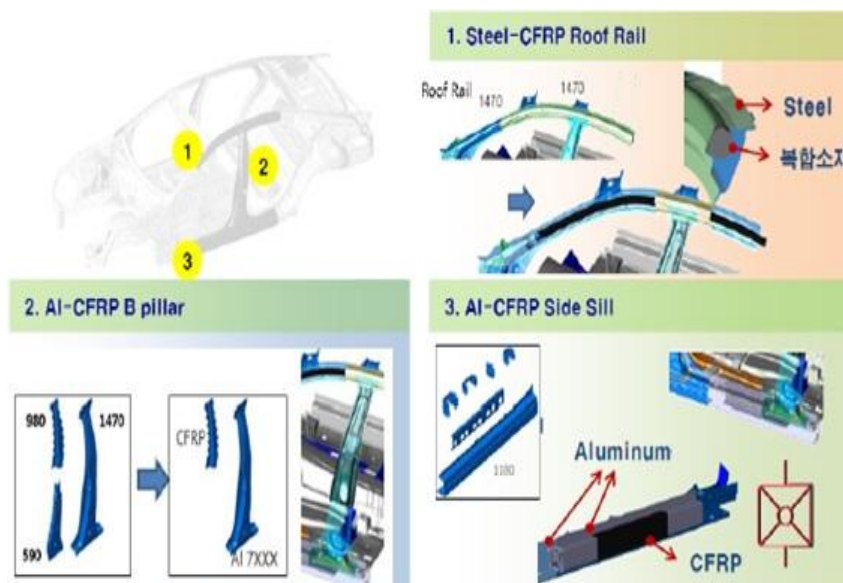


Fig. 1.5 Car body side structure under development in this study

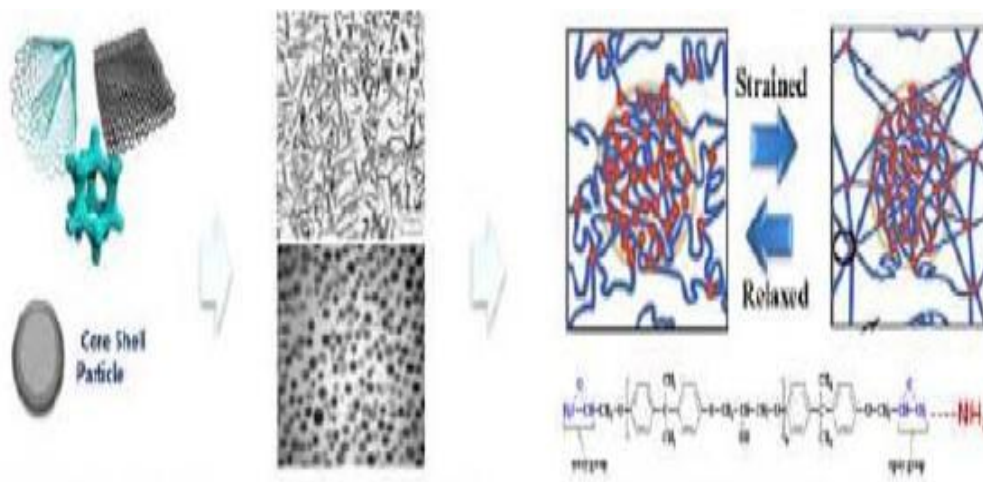


Fig. 1.6 Chemical approach for impact resistance of structural adhesive

1.3 마찰교반점용접 (FSJ)

1.3.1 마찰교반점용접의 원리

마찰교반점용접(FSJ, Friction Spot Joining)은 마찰교반용접(FSW, Friction stir welding)의 응용기술로서 Fig. 1.7 에서와 같이 겹쳐진 모재에 회전하는 비소모식 접합 툴이 적절한 축하중으로 일정한 시간동안 삽입되어 마찰열을 발생시킴으로서 툴에 인접한 모재를 연화 및 고상접합부를 형성하는 공법이다.[14]

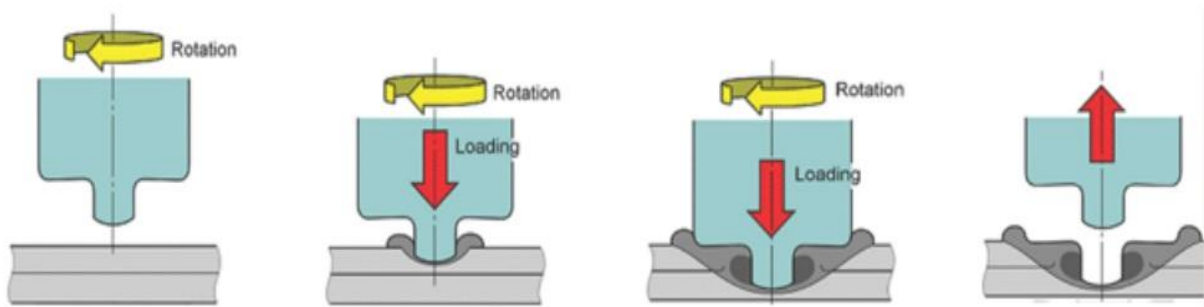


Fig. 1.7 Schematic representation of the FSJ process

기본적인 변수로서 툴의 회전 속도, 축하중, 툴의 삽입깊이, 삽입 후 유지시간, 툴의 제원들 들 수 있으며, 마찰교반점용접의 공정 변수는 Fig. 1.8에 나타내었다. 또한, 마찰교반점용접은 교반부(stir zone)에서 경화될 가능성이 높다. Fig. 1.9는 그러한 예의 하나이며 석출경화형 합금의 경우 이와는 반대로 접합부 연화의 가능성이 높다. 용융용접의 적용이 어려운 경량합금의 경우 마찰교반점용접의 정적 기계적 특성은 우수한 것으로 알려져 있다.[14]

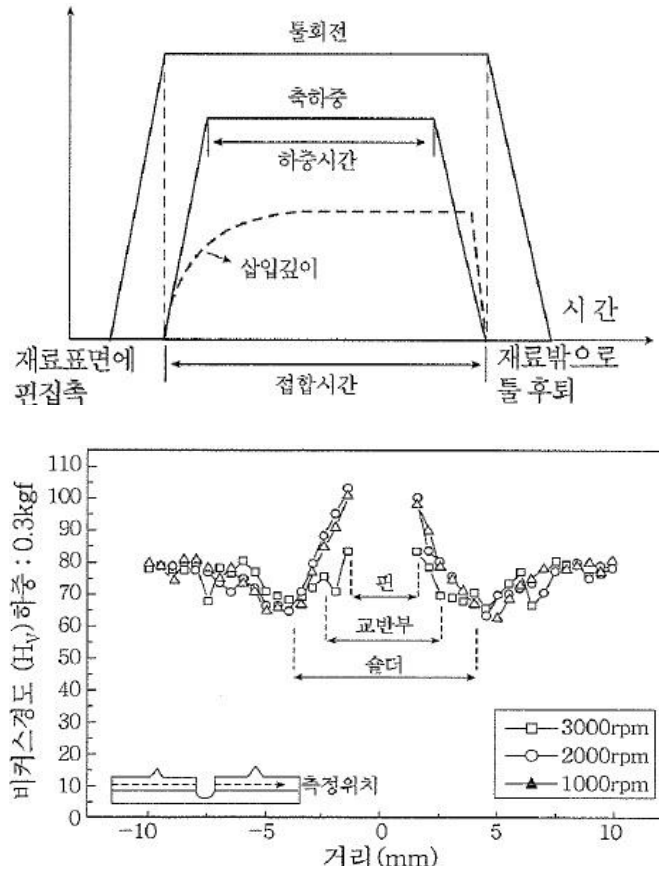


Fig. 1.8 Process flow chart and Weld Zone hardness distribution

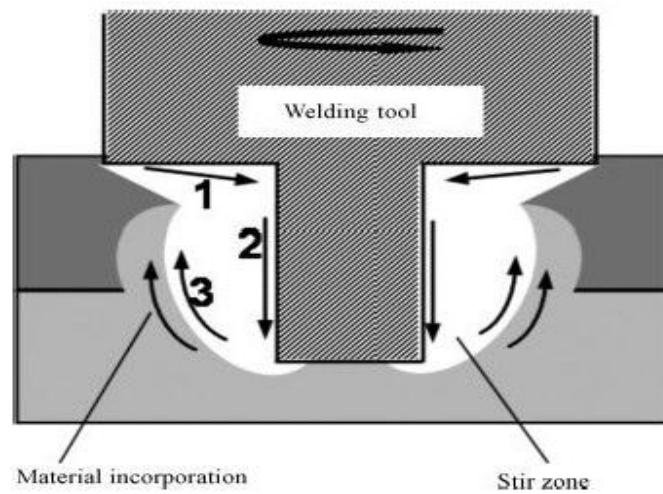


Fig. 1.9 Principle of friction spot joining[9]

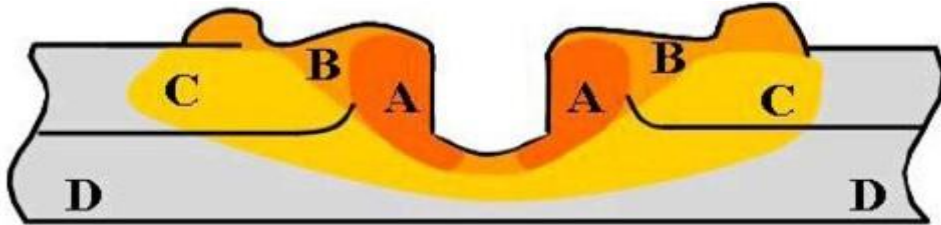


Table. 1.10 Schematic illustration of friction spot joining welds[9]

1.3.2 마찰교반점용접의 특징

- 용융이 일어나지 않아 용융 후 응고 시 발생하는 수축 응고 균열로부터 자유롭다.
- 기공 등의 결함으로부터 어느 정도 자유롭다.
- 이종재료 용접이 다른 용접법에 비하여 용이하다.
- 용융용접의 경우 높은 에너지를 필요로 하는 경량합금의 경우에도 낮은 에너지로 접합이 가능하다.
- 용접 전·후처리가 불필요하며, 용접부의 변형이 적다.
- 용접공정에서 다른 용접법에 비하여 자동화에 적합하다.

1.4 Al(5052)/CFRP(PA66) 소재의 특징

1.4.1 알루미늄합금

알루미늄(Al) 합금은 전신재와 주물, 다이캐스팅 합금으로 나누거나, 또는 열처리하여 사용하는 열처리 합금과 열처리하지 않고 사용하는 비열처리 합금으로 나누기도 한다. Table. 1.1은 전신재 Al 및 그 합금을 열처리 및 비열처리형으로 분류한 것이다. 그밖에도 8000계와 9000계가 있는데, 8000계 합금은 Table. 1.1에 포함되지 않은 기타 원소의 합금을 나타내며, 9000계는 예비로 남겨둔 것이다.[15]

Table. 1.1 Heat treatment and non-heat treatment

비열처리형	1000계	순금속 Al(순도) 99.0%
	3000계	Al-Mn계 합금
	4000계	Al-Si계 합금
	5000계	Al-Mg계 합금
열처리형	2000계	Al-Cu계 합금
	6000계	Al-Mg-Si계 합금
	7000계	Al-Zn-Mg계 합금

특히, 차량경량화를 위한 소재로 선정된 알루미늄합금(Al5052/H32) 5000계는 Mg 첨가에 따라 인장강도가 증가되고, 변형에 대한 저항도 증가되어 가공이 곤란해진다. Mg이 5%이상 함유되면 응력부식이 발생되기 쉬우므로, 통상 Mn, Cr등을 첨가하여 방지한다. 5000계 합금의 용도는 건축, 차량, 선박 등에 사용된다. 5052(2.5% Mg)합금은 200 ~ 300Mpa의 인장강도를 가지며, 용접 구조용 재료와 차량용으로 많이 사용된다.[15]

1.4.2 탄소섬유강화플라스틱(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic)

탄소섬유강화플라스틱은 강도와 탄성률이 높은 탄소섬유와 고분자인 수지가 복합된 재료 및 제품으로 유사한 강성의 초고장력 강판에 비해 중량이 1/2 미만으로 가벼운 소재이다. 탄소섬유강화플라스틱은 수지의 종류에 따라서 열경화성, 열가소성으로 나뉜다. 열경화성 수지에는 기계적 특성이 뛰어난 에폭시가 주종을 이루며 사용 환경과 요구 특성에 따라 불포화폴리에스터, 비닐에스터, 페놀수지, 폴리아미드 등이 있다. 최근에는 탄소섬유강화플라스틱의 인성 및 내충격성 향상, 용융접합, 재활용, 수리보수의 용이성, 생산속도 향상 등의 수요에 따라, 폴리프로필렌, 나일론, PEEK 등과 같은 열가소성 수지의 사용이 확대되고 있는 추세이다.[11]

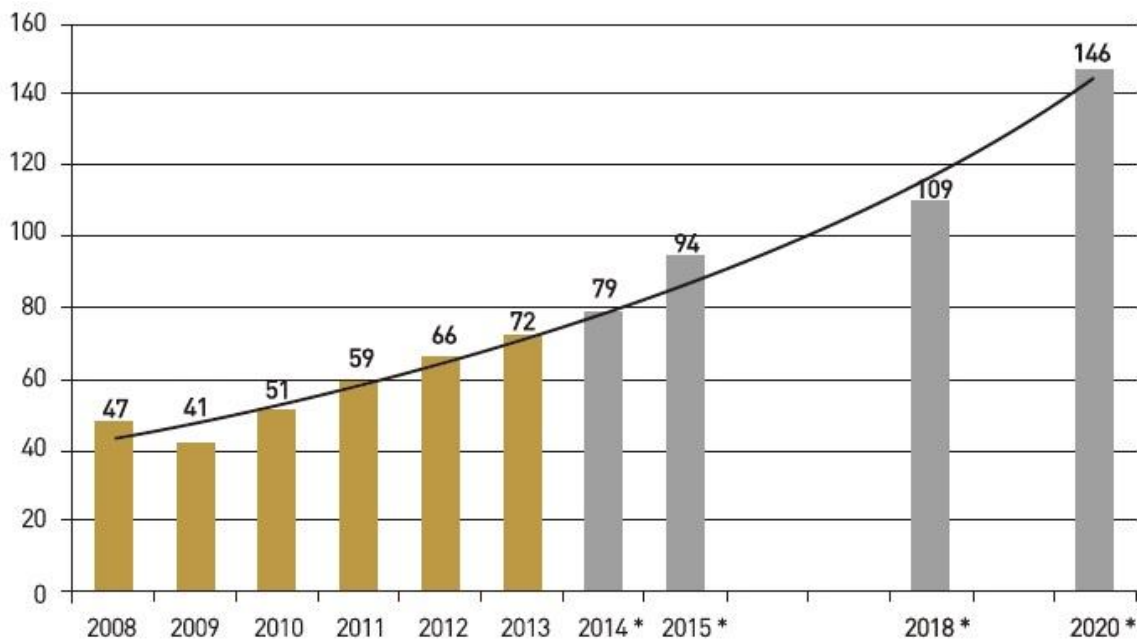


Fig. 1.11 Demand outlook of CFRP [11]

1.5 구조용 접착제의 특징

구조용 접착제는 전통적으로 Urethane 계열의 사용이 지배적이지만, 점차적으로 높은 강도와 강성이 요구되는 BIW와 파워트레인에 구조용 접착제의 사용이 크게 증가하면서 epoxy, Acrylic, Cyanoacrylic 등 다양한 접착제가 사용되고 있다. 구조용 접착제는 차량 경량화를 위해 사용되는 박판의 금속이 충격하중에 취약하고, 특히 저항 점용접과 같은 기존의 접합방식과 함께 사용할 경우 매우 뛰어난 충격 흡수 및 강도향상을 기대할 수 있다.[10]

Table. 1.2 Typical Classification of structural adhesive

Classification	Examples
Physical form	Film, Tape, Powder, Paste, Liquid, etc.
Chemical compositions	epoxy, Phenolic, Acrylic, Cyanoacrylate, Urethane, etc.
Nature of adherends	Wood, Ceramic, Glass, Metal, etc.
End use	Construction, Conductive, Hemming flange, etc.

제 2 장 연구 방법

2.1 실험방법

2.1.1 사용소재 및 시험편 제원

본 연구에서는 차량의 경량화를 위해 사용되는 알루미늄합금(AI5052/H32)과 ‘LANXESS’ 사의 Tepex dynalite로 3k의 탄소섬유와 열가소성 수지인 폴리아미드 66인 CFRP를 사용하였다. 실험에서 상판에는 알루미늄합금, 하판은 CFRP로 마찰교반점용접 단독, 접착제 단독, 접착제를 채용한 마찰교반점접합 공정으로 각각 접합 강도 향상을 위한 접합특성을 고찰하였다.

시험편 제원은 Fig. 2.1 에서 보듯이 길이 (L)=80mm, 폭(B)=30mm로 동일하며, 두께는 알루미늄합금 1mm(t), CFRP 1.5mm(t)로 절단한 후 30mm로 겹쳐 Lap joints 로 각각 공정을 실시하였다. 마찰교반점용접의 접합강도 향상을 위해 전면가압이 아닌 Fig. 에 보이는바와 같이 지그를 설계하여 실험을 진행하였다. 또한, 본 연구에서 사용된 재료의 알루미늄합금(AI 5052/H32)과 CFRP(PA66) 화학적, 기계적 특성은 Table. 1.1 및 Table. 1.2와 같다.

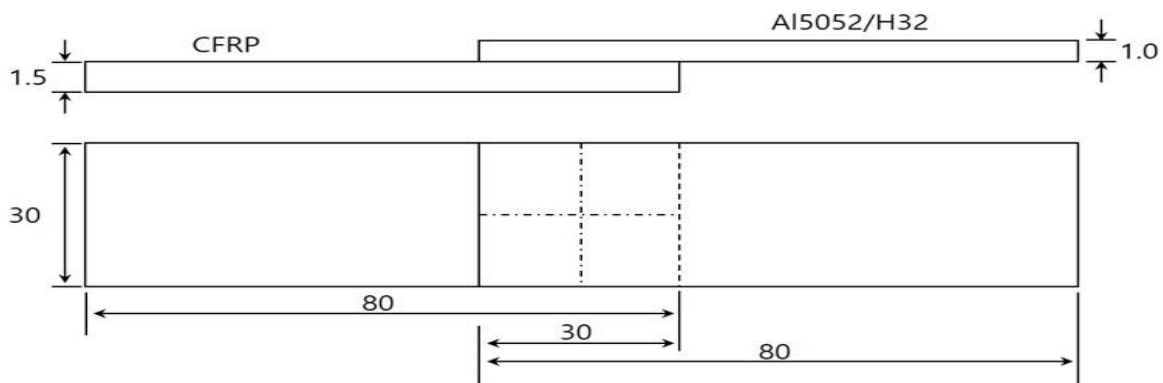


Fig. 2.1 Dimension of FSJ specimen

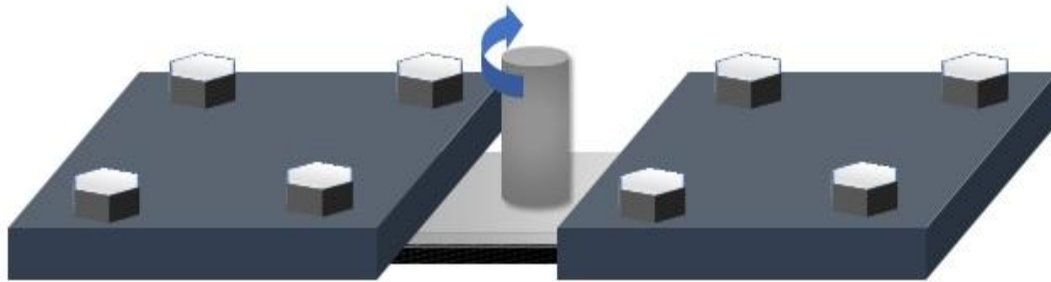


Fig. 2.2 Schematic of the Al/CFRP lap joint

Table. 2.1 Chemical compositions and mechanical properties of Al5052/H32

Chemical composition (%)							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
0.061	0.220	0.019	0.018	2.503	0.178	0.002	0.02

Mechanical properties		
Yield stress(MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation(%)
161	232	9

Table. 2.2 Properties of CFRP

Material						
Reinforcement			Polymer	Laminate		
Fibres	Yarn (tex)	Weight rate (%)	PA66	Density (g/cm ³)	Fiber content (% vol.)	Thickness Per layer (mm)
carbon	3k	50			1.43	45

Mechanical properties			
Tensile Modulus (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation(%)	Poisson' s ratio
53.0	785	2.1	0.07

Thermal properties		
Melting temperature(°C)	Glass transition temperature(°C)	Heat deflection temperature(°C)
260	70	255

2.1.2 실험장비 및 툴(Tool)

본 연구에서는 알루미늄합금(AI5052/H32)과 CFRP(PA66)의 마찰교반점접합을 위하여 X, Y, Z축의 3방향 이동이 가능하며, 회전속도는 MAX 3000 rpm, 최대 가압 하중은 3000Kgf의 Friction Stir Welding 장비를 사용하였다. Fig. 2.3 는 WINXEN의 Friction Stir Welding의 장비이며, 자세한 상세 사양은 Table. 1.4 에 나타내었다.

마찰교반용접에서의 툴의 선정은 재료에 따라 툴의 형상, 핀의 유무, 툴의 재질을 고려하여 선정하여야 한다. 일반적으로 알려진 알루미늄합금(AI5052/H32)와 CFRP(PA66) 간의 접합에서는 CFRP에서 분자결합에 의한 Van Der Waals 결합과 용융된 수지의 버블이 발생하여, 알루미늄표면 조도부분에 앵커링(Anchoring)효과로 인한 Interlocking 효과로 접합이 이루어진다고 알려져 있다.[11,12] 따라서 본 연구에서는 알루미늄합금(AI5052/H32)와 CFRP(PA66)간의 열과 가압력을 부여할 수 있도록 Fig. 2.4 와 같이 핀이 없는 형상의 툴을 선정하였다.

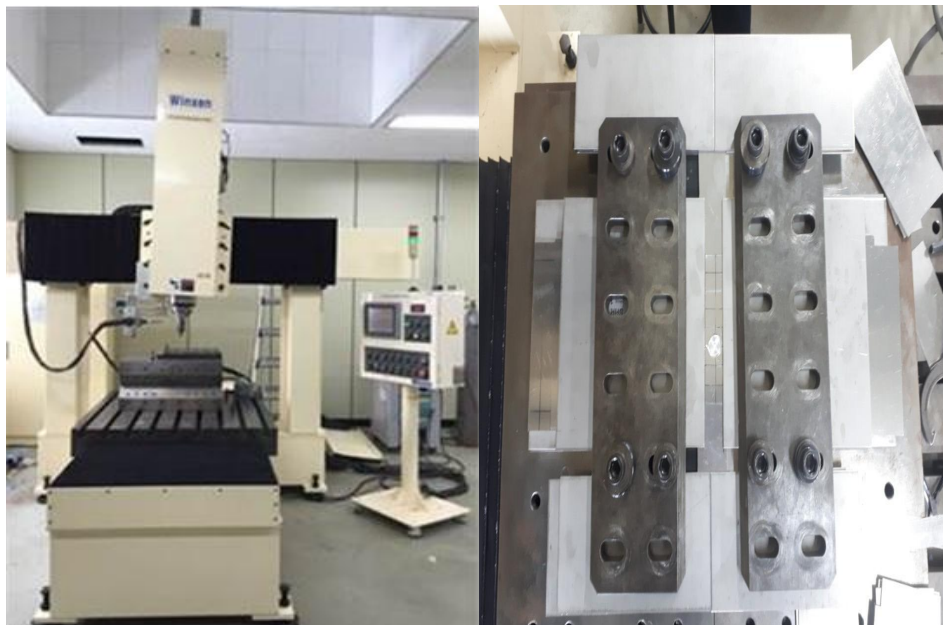


Fig. 2.3 Friction stir welding machine

Table. 2.3 Specifications of friction stir welding system

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

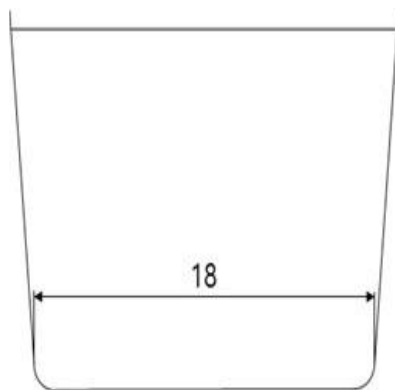


Fig. 2.4 Tool details used for friction spot joining

2.1.4 접합조건

일반적으로 탄소섬유강화플라스틱(CFRP)의 접합을 위하여 접착제(adhesive), SPR(Self Piercing Riveting), 마찰교반용접(Friction Stir Welding), 메카니컬 클린칭(Mechanical clinching), 레이저용접 등을 이용하여 접합을 시도 하고 있다.[7] 본 연구에서는 마찰교반용접 단독, 접착제 단독, 접착제를 채용한 마찰교반용접의 접합성을 파악하기 위해 마찰교반용접의 주요 공정 변수인 톨의 회전 속도, 삽입깊이, 삽입유지시간, 가압력을 고려하여 실험하였다.

먼저, CFRP측에 버블에 의해 발생하는 앵커링(Anchoring)효과를 극대화하기 위해서 에머리페이퍼를 사용하여 Wet grinding 방법으로 알루미늄 표면에 조도($5\mu\text{m}$)를 부여 하였으며, CFRP 표면은 미끄러움을 방지할 정도의 표면조도를 부여하여 실험을 진행하였다. 표면 조도는 Fig. 2.5에 보이는 조도측정기를 사용하여 측정하였다.

본 연구에서 알루미늄합금(A15052/H32)과 CFRP(PA66) 접합성에 대한 경향성을 파악하기 위해 기본적인 공정변수로 회전속도(300, 400, 500 rpm), 삽입깊이(0.2, 0.3, 0.4mm), 삽입유지시간(15, 20, 25s)로 선정하여 접착제를 사용하지 않은 조건으로 접합특성을 파악하였다. 접착제를 사용하지 않은 조건에서 자세한 실험조건은 Table. 1.7 에 나타내었다.

접착제를 사용하지 않은 조건에서의 알루미늄합금(AI5052/H32)과 CFRP(PA66)간의 접합 경향성을 파악한 후, 접착제사용 조건에서는 회전속도를 400rpm으로 고정하고 삽입깊이(0.2, 0.3, 0.4mm), 삽입유지시간(15, 20, 25s)로 변화하여 접착제 사용조건에 대한 접합특성을 비교하였다. 접착제를 사용한 조건에서 자세한 실험 조건은 Table. 1.6 에 나타내었다.

알루미늄합금(AI5052/H32)과 CFRP(PA66)간의 접착제유무에 따른 접합특성을 비교하여 최적조건 선정 후 접착제를 사용한 조건으로 표면거칠기(0, 3, 5 μ m)를 변화하여 표면거칠기가 알루미늄합금(AI5052/H32)과 CFRP(PA66)의 접합에 미치는 영향을 파악하였다.

Table. 2.4 Process parameters of each joining method used for this investigation

방법	공정	
A	마찰교반점용접(Friction Spot Welding)	
B	epoxy adhesive	
A+B	epoxy adhesive	마찰교반점용접 (Friction Spot Welding)



Fig. 2.5 Surface roughness measuring instrument

Table. 2.5 Welding conditions for friction spot joining with epoxy adhesive

표면거칠기 Ra = 5.0

회전속도 (rpm)	삽입깊이 (mm)	삽입유지시간 (sec)
400	0.2	15
		20
		25
	0.3	15
		20
		25
	0.4	15
		20
		25

Table. 2.6 Welding conditions for friction spot joining
without epoxy adhesive

표면거칠기 Ra = 5.0		
회전속도 (rpm)	삽입깊이 (mm)	삽입유지시간 (sec)
300	0.2	15
		20
		25
	0.3	15
		20
		25
	0.4	15
		20
		25
400	0.2	15
		20
		25
	0.3	15
		20
		25
	0.4	15
		20
		25
500	0.2	15
		20
		25
	0.3	15
		20
		25
	0.4	15
		20
		25

2.2 접착제 유무에 따른 접합부 특성 평가

2.2.1 단면 및 접합 계면 관찰

본 연구에서 회전속도(300, 400, 500 rpm), 삽입깊이(0.2, 0.3, 0.4mm), 삽입유지시간(15, 20, 25s)에 따른 마찰교반점용접 단독, 접착제 단독, 접착제를 채용한 마찰교반점접합을 진행한 후, 그에 따른 접합부 외관 형태 및 접합상태를 확인하였다.

2.2.2 인장-전단시험

인장-전단강도는 판너비 30mm, 겹침여유 30mm, 시험편 길이 80mm, 클램프 간 거리 70mm의 인장-전단시험편을 제작하였으며, Fig. 2.6 에 나타난 Shimadzu의 20Ton의 UTM(Universal Testing Machine)을 사용하여 0.5mm/min 속도로 인장-전단강도 시험을 실시하였다. 또한, 접합공정에 따른 접합부 파단형태를 파악하고 특성을 고찰하였다.



Fig. 2.6 UTM (Universal Testing Machine)

2.2.3 미세조직 관찰

접합부의 미세조직을 관찰하기 위하여 콜드마운팅 및 미세연마를 실시한 후 Fig. 2.7에서 나타낸 올림푸스의 BX51M 광학현미경(Optical microscope)을 사용하여 접합부 단면 및 접합 계면을 관찰하였다. 또한, 접합면 성분 검사를 위해 Hitach사의 S-4800 scanning electron microscope(SEM), energy dispersive spectroscopy(EDS)를 이용하여 계면의 특성을 파악하였다.



Fig. 2.7 Optical microscope and scanning electron microscope

2.2.4 접합부 온도분포 수치해석

CFRP는 Glass transition temperature, Melting temperature, Forming temperature, 세 가지로 구분되어 시간에 따른 온도가 중요하다고 알려져 있다. 이러한 현상을 파악하기 위해 본 연구에서는 수치해석 프로그램을 사용하여 Al/CFRP의 FSJ를 시뮬레이션을 하였다. 또한, 본 연구에 사용한 재료들의 비열, 열전도도 등의 변화를 고려한 열분포 해석용 프로그램을 사용하였다.

(1) 해석 모델 및 조건

마찰교반점접합 접합부의 열전도를 위한 수치해석에 사용된 모델의 크기는 80mm(L)X30mm(W)로 겹치기 이음부이며, Fig. 2.8와 같이 모델링을 하였다. 접합부의 Mesh를 가장 작게 하여 세심한 분석을 요구하였고, 요소의 개수는 1430개 절점의 개수는 1627개이다. 또한, 실제 실험 온도이력에 대한 접합성의 신뢰성을 높이기 위해 열전도 분포 이력을 수치해석을 통해 확인 및 특성을 고찰하였다.

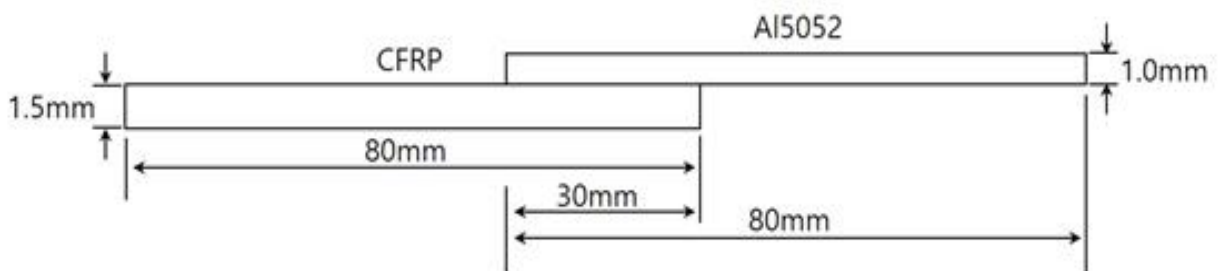


Fig. 2.8 Al/CFRP lap joint two-dimensional Modeling for numerical analysis



Fig. 2.9 Finite-element mesh division for numerical analysis

(2) 열전도 유한요소법

재료가 등방성(isotropic)일 때, 연속체의 비정상 열전도문제의 지배방정식 (governing equation)은 아래의 식과 같다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + \dot{Q} \dots\dots\dots (2.1)$$

이것을 2차원 비정상 열전도 방정식으로 기술하면 아래와 같다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \dot{Q} \dots\dots\dots (2.2)$$

여기서, $T = T(x, y, t)$: 온도(°C), c : 비열(cal/g · °C),
 ρ : 밀도 (g/cm³), \dot{Q} : 단위시간당 입열량 (cal/sec)
 t : 시간 (sec), λ : 열전도율(cal/cm · sec · °C)

이다.

식(2.2)의 열전도 방정식을 정식화하기 위해 유한개의 elements(요소)로 mesh (분할)하고 요소내의 온도 T 를 다음과 같이 표현한다.

$$T(x, y, t) = [N(x, y)] \{ \phi(t) \} \dots\dots\dots (2.3)$$

여기서, T : 요소의 온도

$[N]$: 절점의 온도와 요소내의 온도를 연결하는 형상함수 Matrix

$\{ \phi \}$: 시간 t 일 때의 요소의 절점온도 Vector

형상함수 $[N]$ 을 가중함수로하여 식(2.2)에 Galerkin법을 적용하여 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\int_{v^e} [N]^T \left\{ \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \dot{Q} - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right\} dV = 0 \dots\dots\dots (2.4)$$

여기서 v^e 는 요소의 영역, 위 첨자 T 는 전치행렬을 나타낸다. 위 식(2.4)을 Green-Gauss 정리를 이용하여 전개하고, 열적경계조건으로 열전달을 고려하여

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha_c (T - T_c) \text{로 적용하면 다음과 같다.}$$

$$\begin{aligned} & \int_{v^e} [N]^T \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) dV \\ &= - \int_{v^e} \lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} \right) dV + \int_{s^e} \lambda [N]^T \frac{\partial T}{\partial n} dS \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= - \int_{v^e} \lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} \right) dV - \int_{s^e} q [N]^T dS \\
 &= - \int_{v^e} \lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} \right) dV \\
 &\quad - \left(\int_{s^e} \alpha_c T [N]^T dS - \int_{s^e} \alpha_c T_c [N]^T dS \right) \dots\dots\dots (2.5)
 \end{aligned}$$

여기서, T_c 는 외기온도이며, T 는 모재 경계의 온도, s^e 는 요소의 경계, α_c 는 열전달계수이다.

요소-절점간의 온도관계 식(2.5)과 식(2.3)을 식(2.4)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &- \int_{v^e} \lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} \right) dV \cdot \{\phi(t)\} \\
 &- \int_{s^e} \alpha_c [N]^T [N] ds \cdot \{\phi(t)\} + \int_{s^e} \alpha_c T_c [N]^T ds \\
 &+ \int_{v^e} \dot{Q} [N]^T dV - \int_{v^e} \rho c [N]^T [N] dV \cdot \frac{\partial \{\phi(t)\}}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots (2.6)
 \end{aligned}$$

위 식을 간단히 하면 비정상열전도문제에 대한 유한요소식은 다음과 같다.

$$[K] \{\phi\} + [C] \left\{ \frac{\partial \phi}{\partial t} \right\} = \{F\} \dots\dots\dots (2.7)$$

여기서, $[K]$: 열전도 Matrix, $[C]$: 열용량 Matrix, $\{F\}$: 열유속 Vector이다.

$$\begin{aligned}
 [K] = & \int_{v^e} \lambda \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} \right) dV \\
 & + \int_{s^e} \alpha_c [N]^T [N] ds \dots\dots\dots (2.8)
 \end{aligned}$$

$$[C] = \int_{v^e} \rho c [N]^T [N] dV \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\{F\} = \int_{s^e} \alpha_c T_c [N]^T ds + \int_{v^e} \dot{Q} [N]^T dV \dots\dots\dots (2.10)$$

위 식(2.7) 비선형 열전도 문제에서 ϕ , $\left\{ \frac{\partial \phi}{\partial t} \right\}$ 의 미지수 두 개가 존재하여 풀이가 불가능하다. 따라서 시간 증분을 Δt 라 하고, 증분 전 온도를 ϕ^B , 증분 후 온도를 ϕ^A 그리고 그 중간의 온도를 ϕ^M 이라고 하면 다음과 같으며

$$\frac{\partial \phi^A}{\partial t} = \frac{\phi^A - \phi^M}{(\Delta t/2)}, \quad \frac{\partial \phi^B}{\partial t} = \frac{\phi^M - \phi^B}{(\Delta t/2)} \dots\dots\dots (2.11)$$

식(2.10) 으로부터 다음과 같이 식을 구성할 수 있다.

$$\frac{\partial \phi^A}{\partial t} = \frac{2}{\Delta t}(\phi^A - \phi^M) - \frac{\partial \phi^B}{(\Delta t/2)} \dots\dots\dots (2.12)$$

최종적으로 식(2.7)은 다음과 같이 유도되며, 미지수는 ϕ^A 로 하나만 존재하므로 풀이가 가능하다. (초기조건으로 $\phi^B_{t=0}$ 의 값을 대입)

$$\left([K] + \frac{2}{\Delta t} [C] \right) \{ \phi^A \} = [C] \left(\frac{2}{\Delta t} \{ \phi^B \} + \left\{ \frac{\partial \phi^B}{\partial t} \right\} \right) + \{ F \} \dots\dots\dots (2.13)$$

(2) FSJ Heat generation [21, 21]

FSJ 용접 시 회전하는 비소모성의 툴(Tool)의 숄더(Shoulder)와 용접 재료 사이의 접촉면에서 발생하는 마찰열과 핀(Pin) 부근에서 발생하는 너깃부의 소성변형에 의해 용접이 이루어진다. FSJ의 열전도 수치해석 시, Fig. 2.8과 같이 툴의 숄더와 핀 부근의 접촉면에서 발생하는 마찰열을 주 열원으로 한다.

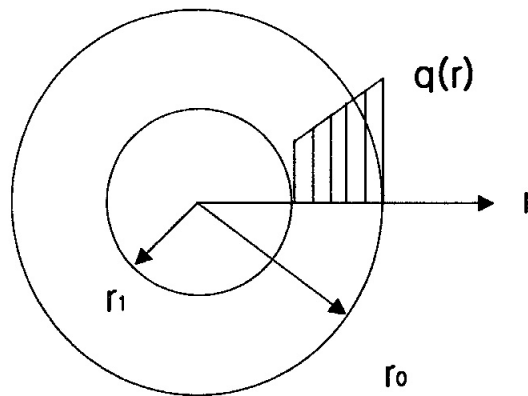


Fig. 2.10 Heat generation from friction at tool between workpiece

이에 대한 FSJ 용접에 의한 입열은 다음 식(2.14)과 같이 가정할 수 있다.

$$q(r) = \frac{3Qr}{2\pi(r_0^3 - r_1^3)} \quad (r_1 \leq r \leq r_0) \dots\dots\dots (2.14)$$

여기서 식(2.14)에 대한 입열 비율의 합은 아래와 같이 식(2.15)로 나타낼 수 있다.

$$\int_{r_0}^{r_1} q(r)2\pi r dr = Q \dots\dots\dots (2.15)$$

또한, 입열의 분포는 툴의 중심으로부터 거리에 비례한다. 그리고 식(2.14)과

(2.15)로부터 마찰계수, 톨의 회전속도, 하중을 변수로 하여 재료에 가해지는 총 입열의 비율은 아래 식(2.16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{\pi\omega\mu F(r_0^2 + r_0r_1 + r_1^2)}{45(r_0 + r_1)} \quad (W/mm^2) \dots\dots\dots (2.16)$$

ω : 톨의 회전속도, μ : 마찰계수, F : 하중

제 3 장 연구 결과

3.1 접착제 유무에 따른 마찰교반점접합부 특성

본 연구에서는 알루미늄합금(AI5052/H32)과 CFRP(PA66)간의 접합특성파악과 접합 강도향상을 위해 마찰교반점접합 단독, 접착제 단독, 접착제를 채용한 마찰교반점접합 세 가지 공법을 적용하여 각각 기계적 및 금속학적 특성 평가를 실시하였다.

3.1.1 마찰교반점접합 접합부 특성 평가

가. 공정변수에 따른 접합부 외관 특성

접합특성파악을 위해 마찰교반점접합 단독 실험에서는 회전속도(300, 400, 500 rpm), 삽입깊이(0.2, 0.3, 0.4mm), 삽입유지시간(15, 20, 25s)을 모두 고려하여 실험을 실시하였다.

Table. 3.1(삽입깊이 0.3mm, 삽입유지시간 25sec) 에 보듯이 회전속도에 따라 다른 형상이 나타난 것을 확인 할 수 있었다. 300 rpm은 400, 500 rpm에 비해 모든 조건에서 깨끗한 외관을 형성하였다. 400rpm에서는 높아진 입열량으로 인하여 가압하지 않은 양쪽에서 CFRP의 검은색 수지가 알루미늄을 덮는 형상이 확인되었다. 마지막으로 500rpm에서는 400rpm과 마찬가지로 가압하지 않은 양쪽의 알루미늄과 CFRP 사이에서 갈변된 CFRP수지가 알루미늄을 덮는 현상을 확인하였다.

일반적으로 CFRP의 접합강도는 CFRP의 용융된 수지가 버블을 형성하고 용융된 구역에서 생성된 버블들이 수지를 밀어내어 이종소재 계면에 접촉시켜 접합된다고 알려져 있다.[12] 또한, CFRP(PA66)의 수지가 갈변이 되지 않는 Forming Temperature(280 ~ 300°)를 유지하도록 알려져 있다. Table. 3.1 Table. 3.2

Table. 3.3 에서 보듯이 이는 마찰교반점접합 단독 시 400, 500rpm의 모든 조건에서 열에 의해서 용융된 수지가 버블을 형성하고 버블이 용융된 수지에 유동을 주어 접합이 된 것으로 사료된다. 또한, 500rpm에서는 높은 입열량으로 인하여 용융된 수지에 갈변이 일어났으며 접합강도에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

또한, 삽입깊이와 삽입유지시간에 따른 외관 특성으로는 삽입깊이와 삽입유지시간이 증가할수록 입열량이 높아져 Table. 3.2(회전속도 400rpm, 삽입유지시간 15sec)와 Table. 3.3(회전속도 400rpm, 삽입깊이 0.2mm) 의 접합부 측면 사진에서 보듯이 용융된 수지가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

Table. 3.1 Surface of Al/CFRP joints with rotation speed






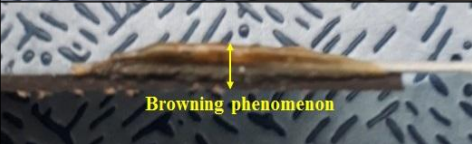
회전속도 (rpm)	접합부 표면	접합부 측면
300		
400		
500		

Table. 3.2 Surface of Al/CFRP joints with plunge depth


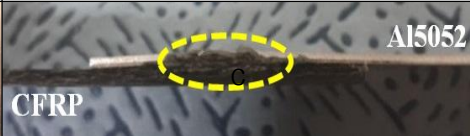







삽입깊이(mm)	접합부 표면		접합부 측면
0.2	CFRP		
0.3			
0.4			

Table. 3.3 Surface of Al/CFRP joints with dwell time

삽입유지시간(sec)	접합부 표면		접합부 측면
15	CFRP		
20			
25			

나. 인장-전단강도 및 파단면 특성

본 연구에서는 공정변수(회전속도, 삽입유지시간, 삽입깊이)에 따라 인장-전단강도 및 파단면을 분석하였다. Table. 3.4는 각 공정변수에 따른 인장-전단강도를 표로 나타내었다.

Table. 3.4 Tensile shear strength of various condition without adhesive

접착제 무				
회전속도 (rpm)	삽입깊이 (mm)	삽입유지시간(sec)		
		15	20	25
300	0.2	1.6	1.7	2.0
	0.3	2.5	2.9	3.1
	0.4	2.5	2.8	2.3
400	0.2	2.5	2.6	2.0
	0.3	3.0	2.6	3.3
	0.4	3.2	2.3	2.6
500	0.2	1.4	1.9	1.8
	0.3	1.8	2.1	2.8
	0.4	1.3	1.2	2.0

(1) 회전속도에 따른 인장-전단강도 및 파단면 특성 평가

마찰교반점접합 단독 시 AI/CFRP 접합 특성평가를 위해 회전속도(300, 400, 500 rpm)를 변화하여 실험을 진행하였다. 300rpm의 최대 인장-전단강도는 3.1kN, 400rpm에서는 3.3kN, 500rpm에서는 2.8kN으로 400rpm에서 가장 높은 인장-전단강도를 확인할 수 있었다. Fig. 3.1은 회전속도에 따른 인장-전단강도를 평균으로 나타내었다. Fig. 3.1에서 볼 수 있듯이, 회전속도가 400rpm까지 증가할수록 인장-전단강도가 증가함을 확인 하였다. 그러나 500rpm에서는 급격하게 인장-전단강도가 저하되는 것을 확인할 수 있었다.

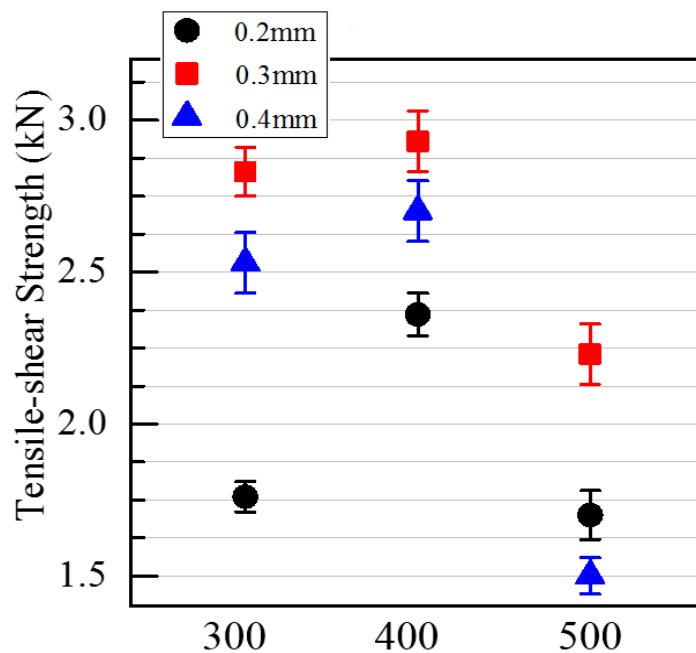
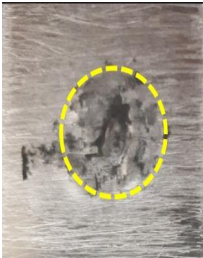

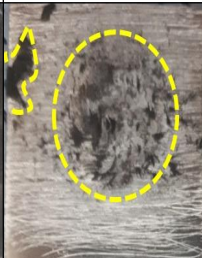





Fig. 3.1 Average of tensile shear strength with rotation speed

Table. 3.1에서 보듯이 Al/CFRP의 접합에서는 적절한 유동이 필요한 것을 알 수 있으며, 500rpm에서는 적절이상의 과도한 유동발생과 입열량 증가로 갈변된 수지가 인장-전단강도에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

Table. 3.5 Fracture interface after tensile shear test with rotation speed

회전속도(rpm)					
300		400		500	
Al5052	CFRP	Al5052	CFRP	Al5052	CFRP
					

인장-전단강도 시험 평가 후 파단된 시험편을 Table. 3.5에 삽입깊이(0.3mm), 삽입유지시간(25sec)의 조건에서 각 회전속도 변화에 따라 나타내었다. 파단면을 확인해 보면 300에서 400rpm 상승할수록 Al표면에 남아있는 CFRP의 수지가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 500rpm에서는 Al표면에 남아있는 CFRP의 수지가 거의 없는 것을 확인하였다. 이는 Al표면에 남아있는 CFRP의 수지가 인장-전단강도에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 인장-전단그래프와 비교해보면, 500rpm에서 인장-전단강도가 약 2배정도 저하되는 것을 확인하였다.

(2) 삽입유지시간에 따른 인장-전단강도 및 파단면 특성평가

본 연구에서는 AI/CFRP 특성평가를 위해 삽입유지시간(15, 20, 25sec)로 변화하여 인장-전단강도 시험을 진행하였고 파단면을 분석하였다. 삽입유지시간별 최대 인장-전단강도로는 각 3.2kN, 2.9kN, 3.3kN으로 미세한 차이만 나타내었다. 그러나 각 삽입유지시간에 따른 인장-전단강도를 평균으로 나타낸 Fig. 3.2를 보면 최대 인장-전단강도 보다 큰 폭의 변화가 나타난 것을 확인할 수 있었다.

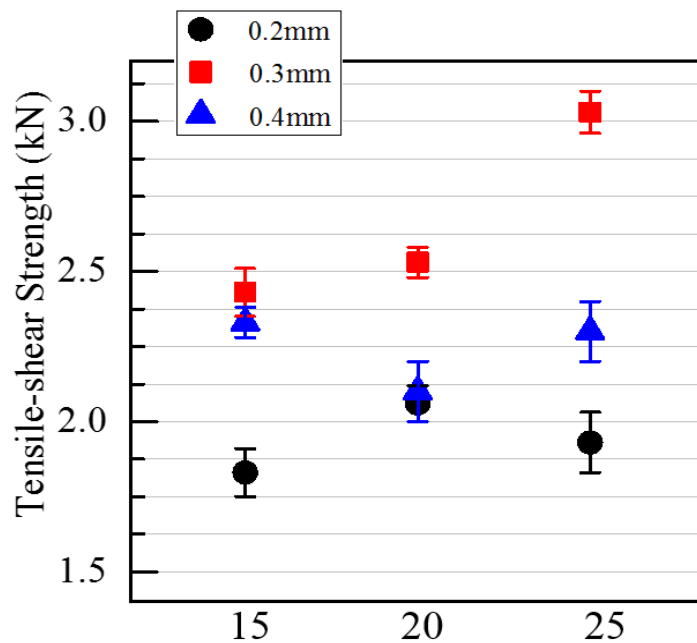
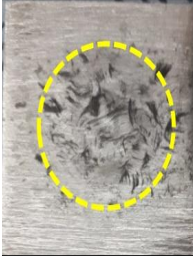

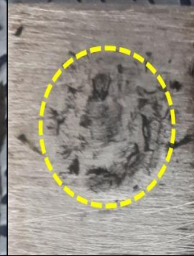





Fig. 3.2 Average of tensile shear strength with dwell time

Table. 3.6 Fracture interface after tensile shear test with dwell time

삽입유지시간(sec)					
15		20		25	
Al5052	CFRP	Al5052	CFRP	Al5052	CFRP
					

삽입깊이(0.3mm), 회전속도(400 rpm)으로 고정하고 삽입유지시간에 따른 인장-전단강도 시험 후 파단면을 Table. 3.6에 나타내었다. Table. 3.7에서 알 수 있듯이, 삽입유지시간이 증가할수록 Al표면에 남아있는 CFRP의 수지의 양이 많아 지는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 3.2의 인장-전단강도와 Table.3.6의 파단면을 살펴보면, 삽입유지시간이 증가할수록 인장-전단강도가 미세하게 상승하는 것을 확인하였으며, 특히 삽입깊이(0.3mm) 조건에서는 인장-전단강도 평균값이 크게 상승한 것을 확인할 수 있었다. 이는 Al/CFRP의 접합강도에는 Al표면에 남아있는 CFRP의 수지의 양이 접합강도를 상승시키는 것으로 사료된다.

(3) 삽입깊이에 따른 인장-전단강도 및 파단면 특성평가

본 연구에서는 삽입깊이(0.2, 0.3, 0.4mm)를 변화하여 공정변수에 따른 AI/CFRP의 접합특성을 파악하였다. 삽입깊이에 따른 인장-전단강도 평균값을 나타낸 Fig. 3.3을 보면, 삽입깊이 0.2mm에서 0.3mm까지는 전체적으로 상승됨을 확인할 수 있었다. 그러나 0.4mm 조건에서는 급격히 인장-전단강도가 급격히 저하되는 현상을 확인할 수 있었다. 이는 과도한 가압력으로 인하여 CFRP에 발생하는 버블이 수지를 AI/CFRP 계면사이로 과도하게 밀치는 현상으로 인하여 인장-전단강도가 급격히 저하된 것으로 사료된다.

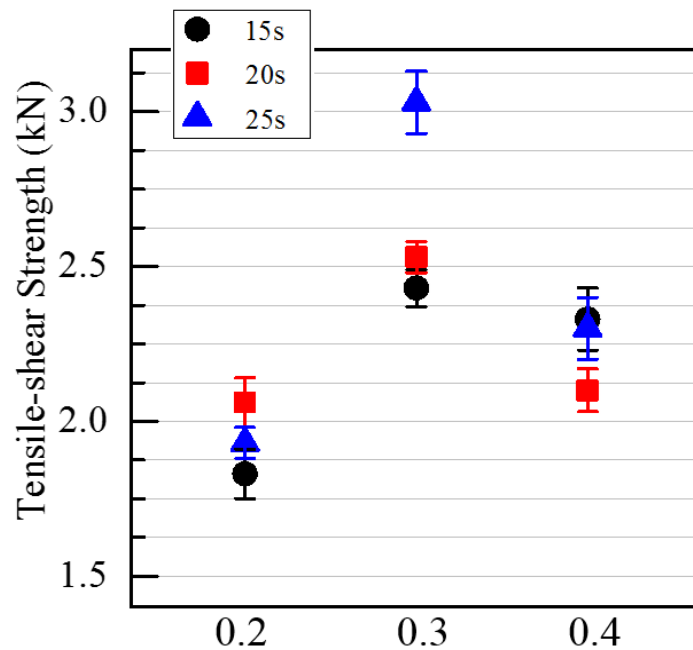
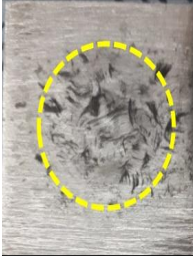

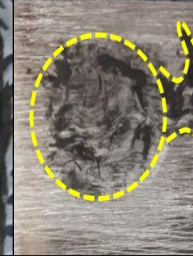

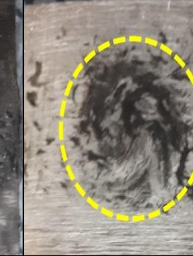



Fig. 3.3 Average of tensile shear strength with plunge depth

Table. 3.7 Fracture interface after tensile shear test with plunge depth

삽입깊이(mm)					
0.2		0.3		0.4	
Al5052	CFRP	Al5052	CFRP	Al5052	CFRP
					

회전속도(400 rpm), 삽입유지시간(25sec)을 고정으로 하고 삽입깊이에 따른 인장-전단강도 시험 후 파단면을 Table. 3.7에 나타내었다. Fig. 3.7을 확인해보면, 삽입깊이가 증가할수록 Al표면에 남아있는 CFRP의 수지의 양이 증가하는 것이 확인되었다. 그러나 삽입깊이가 증가에 따라 인장-전단강도가 증가하다가 0.4mm에서는 인장-전단강도가 저하되는 것을 Fig. 3.3에서 확인할 수 있었다.

인장-전단강도와 파단면을 비교해보면, 이러한 현상은 앞 절에서의 삽입유지시간에 따른 Al/CFRP 접합특성이 잘못된 판단인 것으로 사료된다. 삽입유지시간이 증가함에 따라 Al표면에 남아있는 CFRP의 수지의 양이 많아질수록 인장-전단강도가 증가하였다. 그러나 단순히 Al표면에 남아있는 수지의 양이 인장-전단강도에 영향을 미치는 것이 아니라 용접부가 아닌 용접부 주위에 남아있는 CFRP의 수지의 양에 따라 인장-전단강도가 증가한다고 사료된다. Table. 3.7을 확인해보면 삽입깊이 0.3, 0.4mm의 노란색 원 안에 잔존하는 CFRP 수지의 양은 비슷했으나 노란색 원 밖에 잔존하는 CFRP 수지의 양에 따라 인장-전단강도의 변화를 확인할 수 있었다.

다. AI/CFRP 접합부 열전도 특성

(1) 열전도 수치해석 결과 및 고찰

본 절에서는 AI/CFRP의 접합부의 2차원 비정상 열전도 수치해석을 위한 조건으로 모든 조건에서 최대 인장-전단강도를 가지는 삽입깊이는 0.3mm로 고정하고 회전속도(300, 400, 500rpm)와 삽입유지시간(15, 20, 25s)을 변화하여 열전도 해석을 실시하였다.

Table. 3.8 Temperature fields with rotation speed

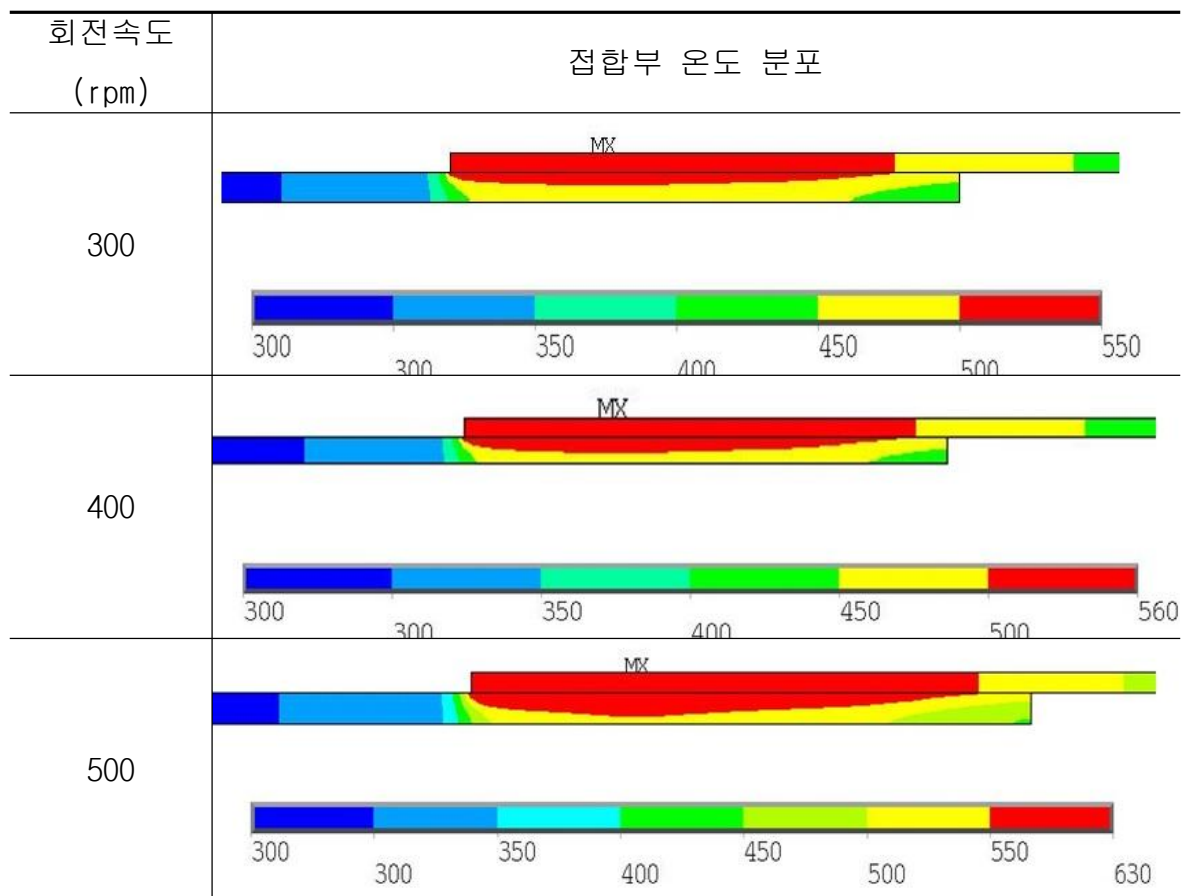
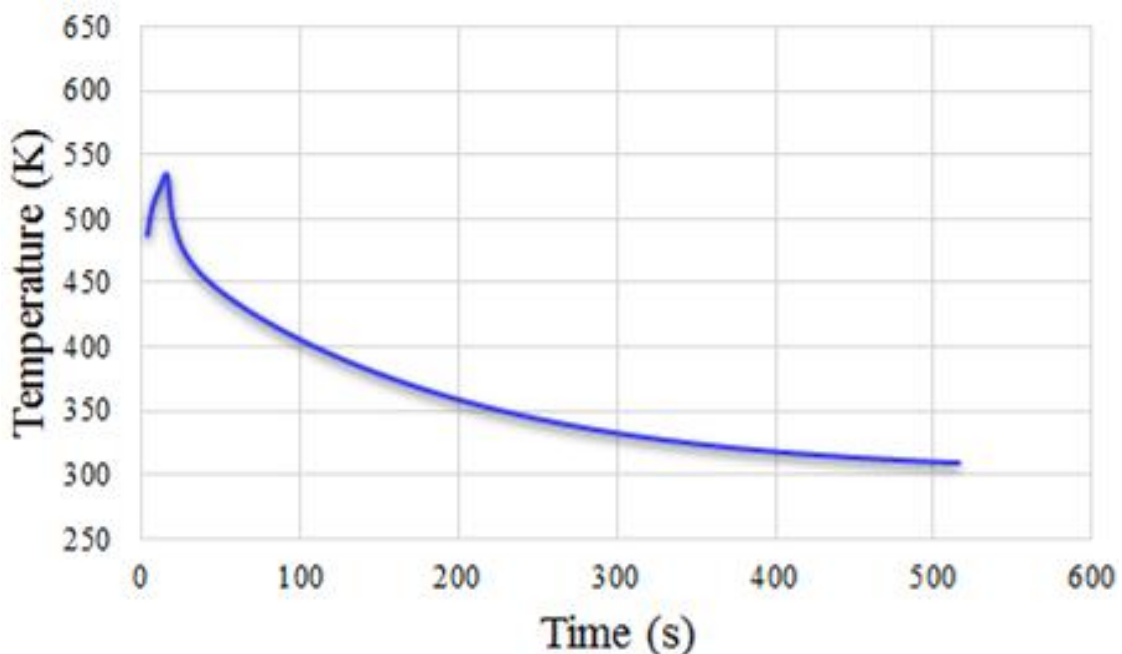
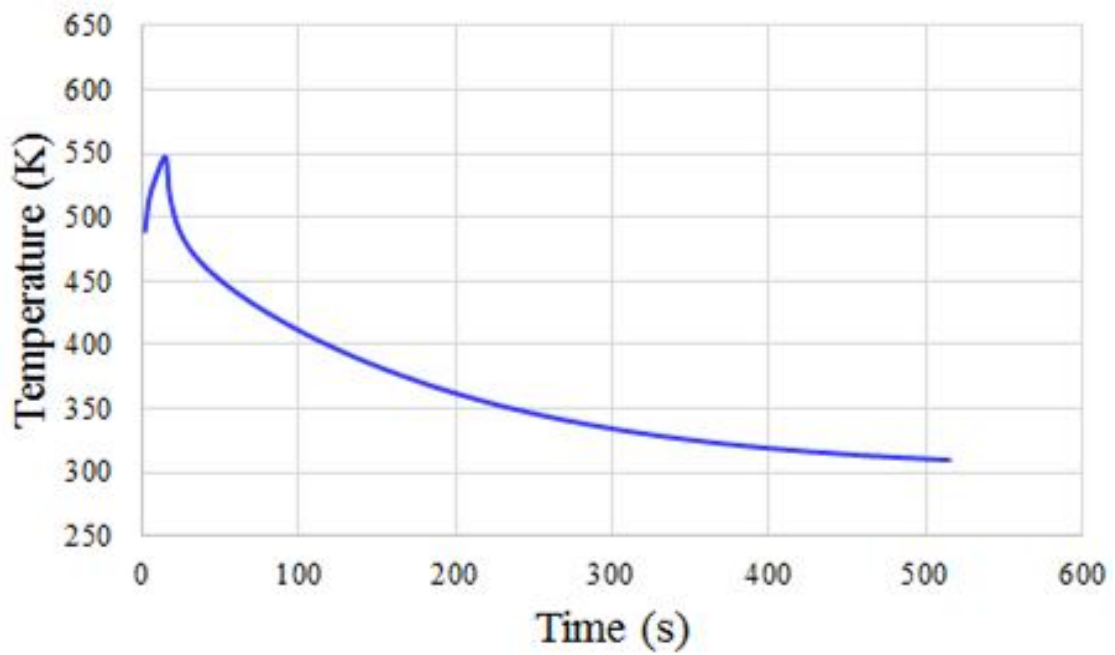


Table. 3.8은 접합부 온도 분포는 AI과 CFRP의 계면온도를 측정하였다. Table. 3.8에서 볼 수 있듯이 회전속도가 증할수록 온도 분포가 증가하였으며 300rpm에서는 약 260℃, 400rpm에서 약 280℃, 500rpm에서는 약 330℃로 확인되었다. 실제 실험 시 사용한 비접촉식 적외선 온도 측정기를 사용하여 측정했을 때 각 회전속도에서 220℃, 260℃, 310℃로 비슷한 양상의 결과라고 사료된다.

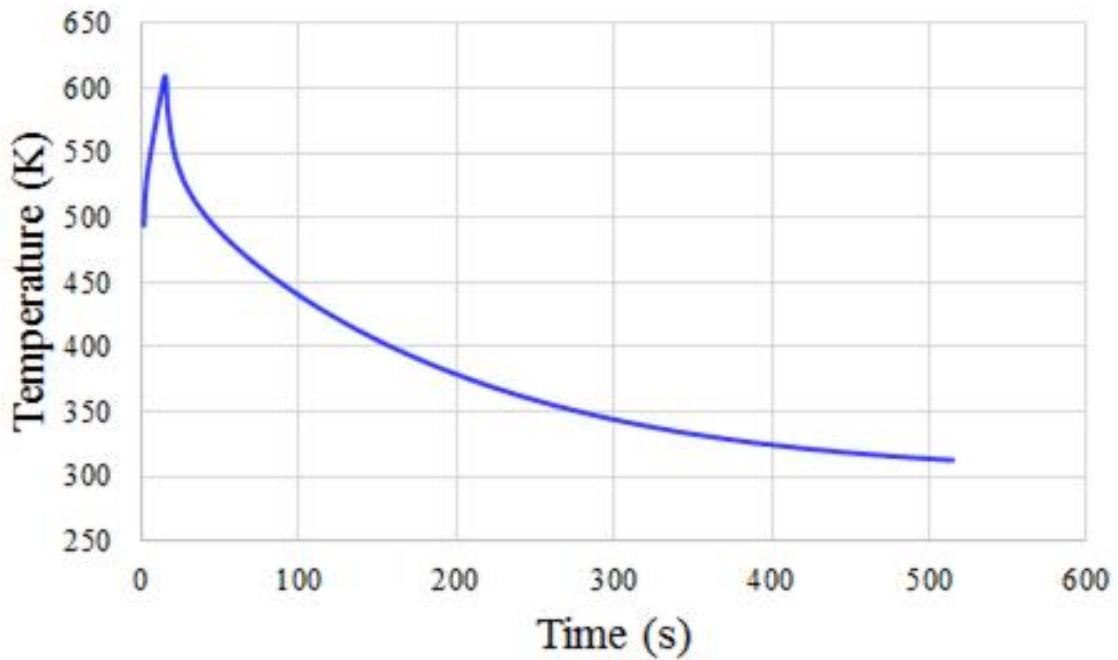
CFRP는 기본적으로 Glass transition temperature, Melting temperature, Forming temperature로 구분되어 있으며, 접합시간은 짧게 가져가는 것을 추천하고 있다. Forming temperature는 280 ~ 300℃로 사이로 가공하는 것을 추천하고 있는데 실제 측정 온도와 열전도 수치해석 모두 400rpm에서 Forming temperature를 만족했으며 실제로 Table. 3.4의 인장-전단강도와 비교하여도 가장 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한, Fig. 3.4에서 나타났듯이 (a)와(b)에 비해 (c)에서는 비교적 가공시간이 길어지는 그래프를 확인할 수 있었다. 이는 CFRP 접합 시 (b)와 같은 Forming temperature와 짧은 접합시간이 중요하다고 사료된다.



(a)



(b)

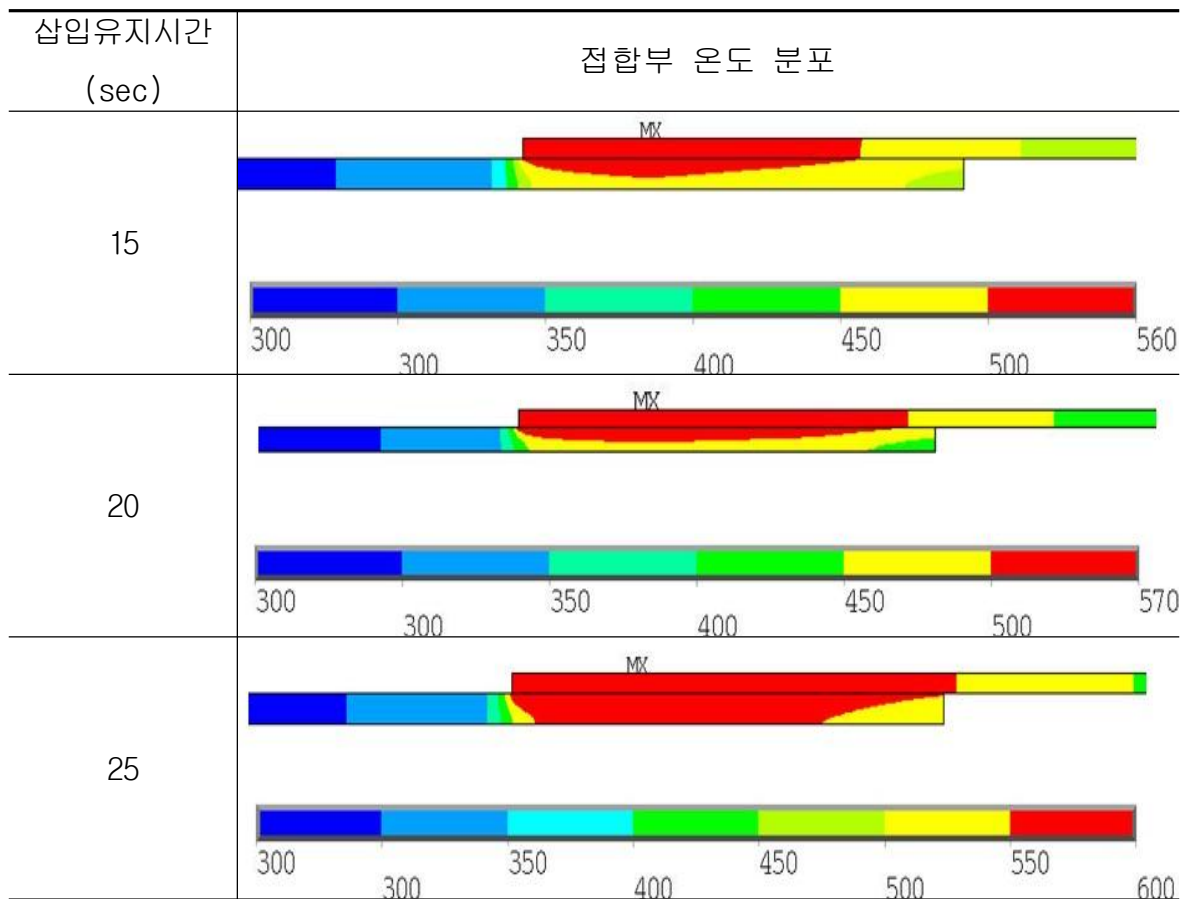


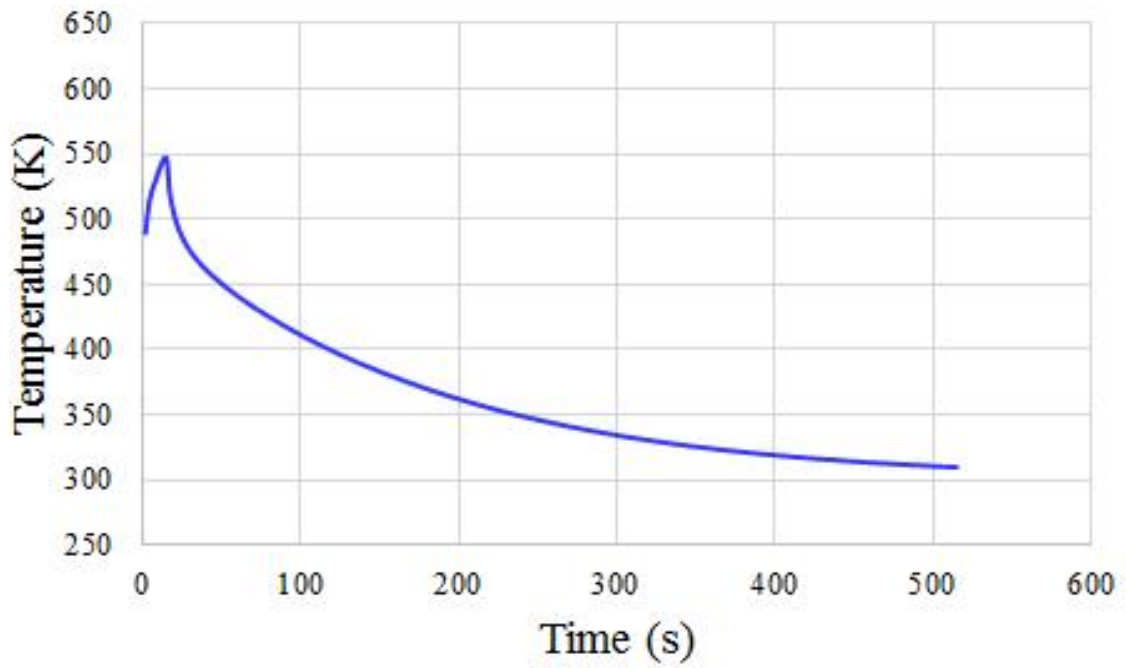
(c)

Fig. 3.4 The computed thermal cycle of the interface when the rotation speed (a) 300rpm, (b)400rpm, (c) 500rpm

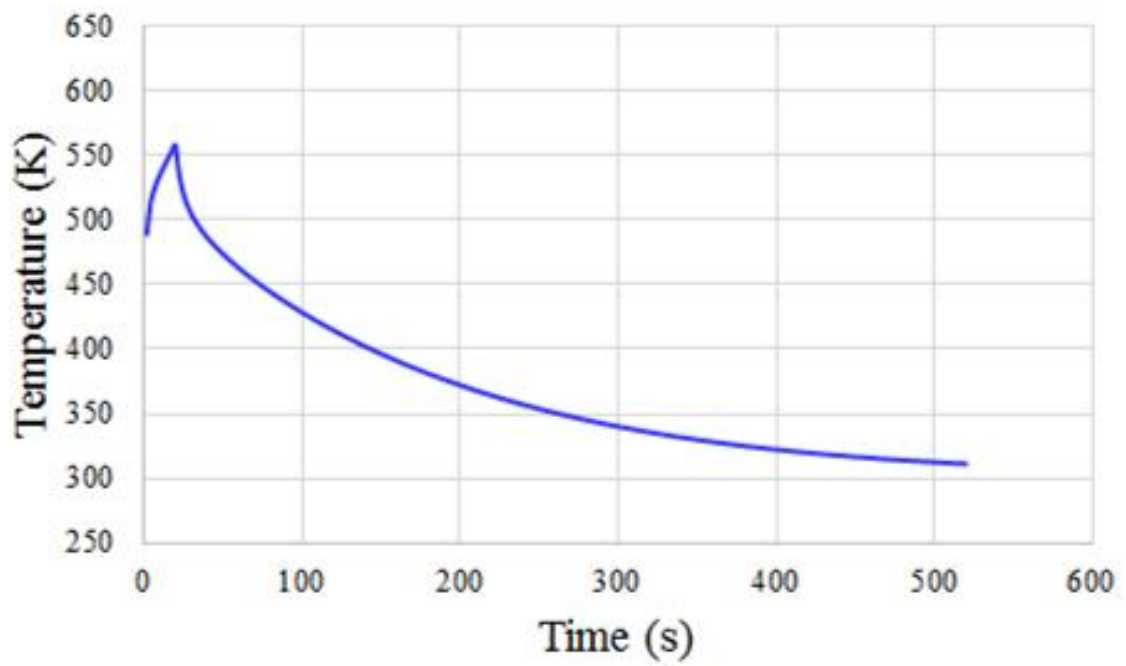
삼입유지시간에 따른 AI/CFRP 온도 분포 특성과 그래프는 각각 Table. 3.9와 Fig. 3.5에 나타내었다. 본 절에서는 앞 절과 동일하게 온도측정은 AI와 CFRP의 계면에서 측정하였으며, 실제 실험 시 비접촉식 적외선 온도 측정기를 사용하였다. 삼입유지시간(15, 20, 25s)따라 각각 약 260℃, 290℃, 300℃로 측정되었으며 비접촉식 적외선 온도 측정기 측정은 약 220℃, 240℃, 270℃로 측정되었다. 접합부 온도 분포 수치해석과 실제 측정 온도가 오차범위가 적은 것을 확인하였고, 최대 인장-전단강도의 조건인 25sec에서 권장 Forming temperature를 만족하였다.

Table. 3.9 Temperature fields with dwell time

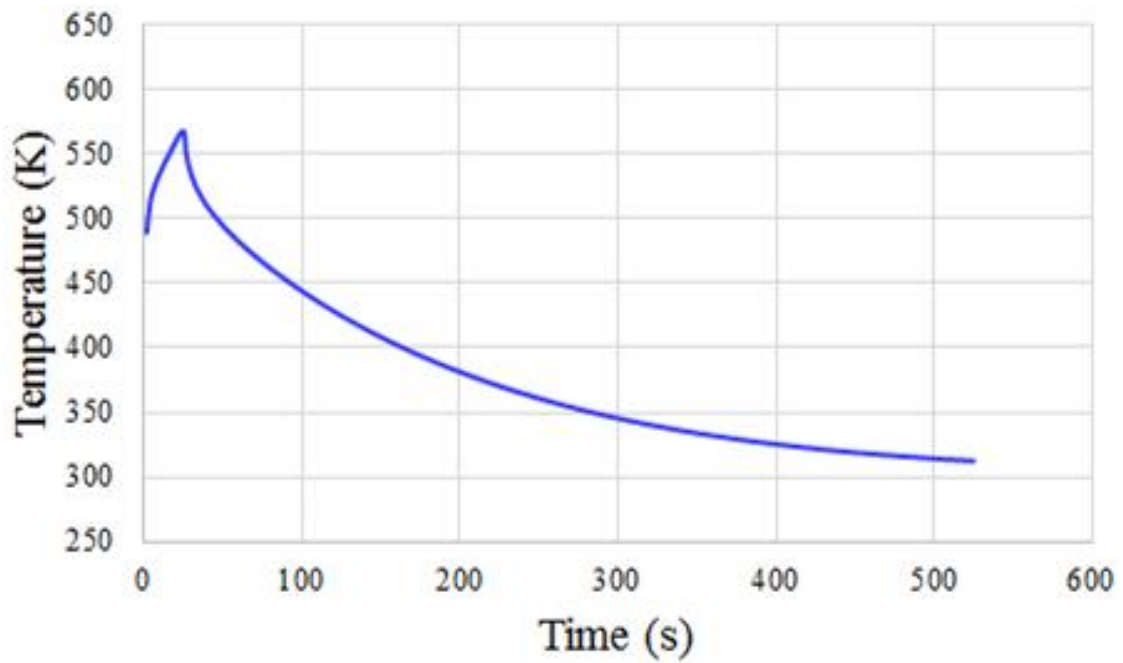




(a)



(b)



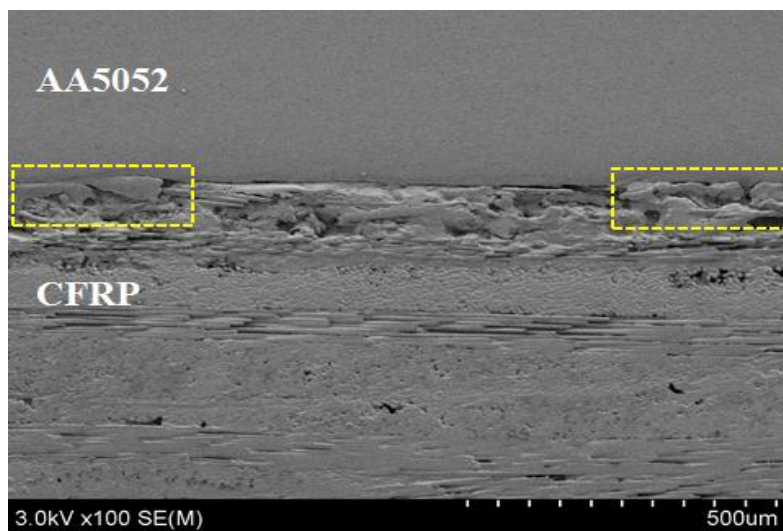
(c)

Fig. 3.5 The computed thermal cycle of the interface when the dwell time (a) 15s, (b) 20s, (c) 25s

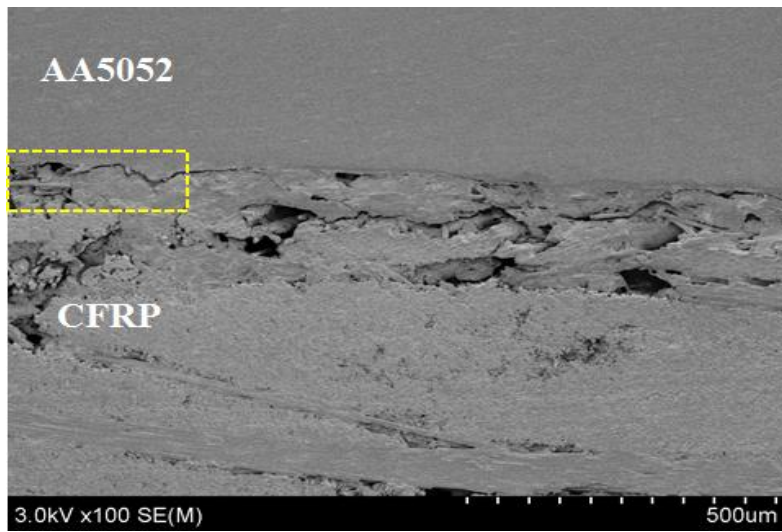
라. 금속학적 특성 평가

접합부의 미세조직 특성을 파악하기 위해 Al/CFRP의 접합부 계면을 SEM-images를 통해 CFRP의 Interlocking 현상을 확인하였다. Al/CFRP간의 접합은 CFRP의 Melted zone에 생성되는 작은 Bubble에 의해서 Al표면에 부여한 조도 부분에 유동을 일으켜 발생하는 앵커링 효과(Anchoring effect)를 일으켜 접합이 된다.[12]

Fig. 3.7은 CFRP의 Mechanism을 모식도로 나타내었다. Fig. 3.6은 실질적으로 회전 속도 400rpm, 삽입깊이 0.3mm, 삽입유지시간 25s 조건으로 실험한 단면을 SEM을 이용하여 이미지로 나타내었다. Fig. 3.6을 확인해보면, 노란색 사각형 부분에 앵커링 효과(Anchoring effect)가 나타난 것을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 3.6 Cross-sectional SEM image of interface for lap joint of CFRP to Al5052

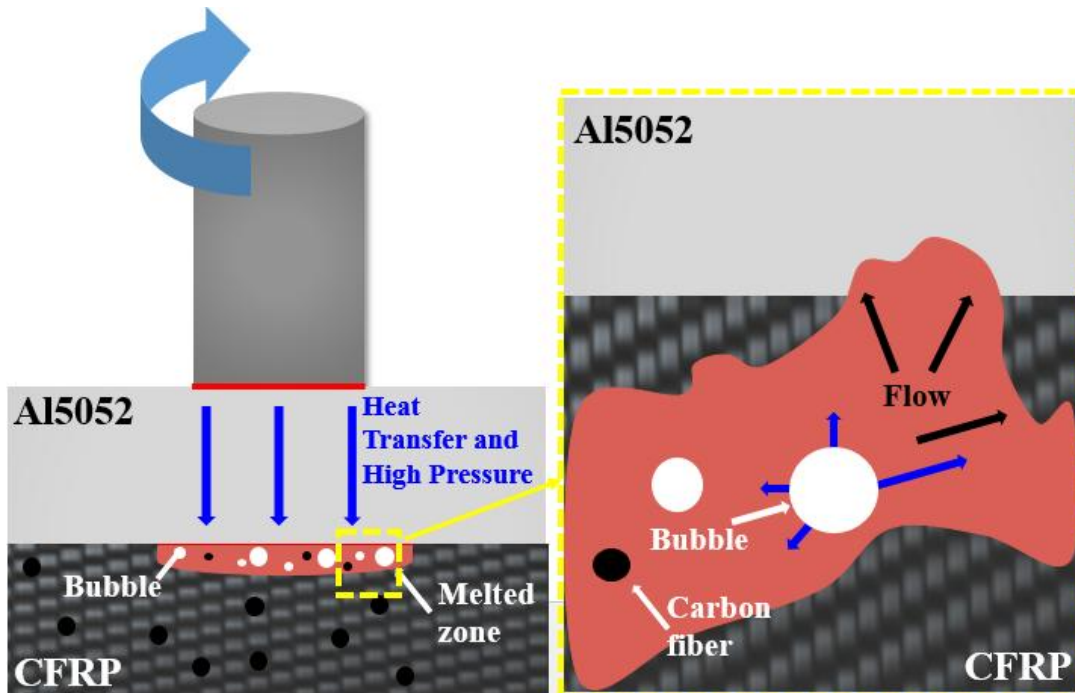


Fig. 3.7 Mechanism of lap joining between CFRP and Al5052[12]

3.1.2 접착제를 채용한 마찰교반점접합 접합부 특성 평가

AI/CFRP간의 접합력 향상을 위하여 마찰교반점접합 단독에서 접착제를 사용하였다. 일반적으로 사용되고 있는 구조용 접착제와 다르게 접합력을 크게 향상시키실 수 있는 상온경화형 접착제를 사용하였으며, 실제로 실험 후 5일 지난 후에 접합부 특성평가를 실시하였다.

가. 공정변수에 따른 접합부 외관 특성

마찰교반점접합 단독을 통한 접합부 외관 특성에서 회전속도(300, 400, 500 rpm)에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다. 본 접착제를 채용한 마찰교반점접합 실험에서는 회전속도를 400rpm으로 고정시켜 삽입깊이, 삽입유지시간에 따른 접합부 외관 특성을 확인하였다.

접착제를 채용한 마찰교반점접합 삽입유지시간에 따른 접합부 특성을 확인한 결과, 삽입유지시간이 증가할수록 입열량이 높아져 가압하지 않은 양쪽의 접합계면 사이로 용융된 수지가 넘치는 양이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 마찰교반점접합 단독 접합부 측면과 비교하면 용융된 수지의 양은 감소하였으나 접착제를 채용한 마찰교반점접합에서는 접착제와 혼합되어 외관상 감소하는 것으로 사료된다.

Table. 3.11은 접착제를 채용한 마찰교반점접합에서 삽입깊이에 따른 접합부 표면 및 측면 사진을 나타내었다. Table. 3.11에서 보듯이, 삽입깊이가 증가할수록 혼합된 용융된 수지와 접착제가 점차 증가하였다. 또한, 삽입깊이(0.4mm)조건에서 과도한 입열량으로 인하여 혼합된 용융된 수지와 접착제가 덩어리지는 현상을 확인할 수 있었다.

Table. 3.10 Surface of Al/CFRP joints with dwell time

삽입유지시간 (sec)	접합부 표면	접합부 측면
15		
20		
25		

Table. 3.11 Surface of Al/CFRP joints with plunge depth

삽입깊이 (mm)	접합부 표면	접합부 측면
0.2		
0.3		
0.4		

나. 인장-전단강도 및 파단면 특성

본 연구에서 마찰교반점접합 단독과 다르게 접착제를 채용한 마찰교반점접합에서는 회전속도(400 rpm), 삽입깊이(0.2, 0.3, 0.4mm), 삽입유지시간(15, 20, 25s)을 변화하여 인장-전단시험 및 파단면을 분석하였다. 또한, 각 공정에 따른 인장-전단강도는 Table. 3.12에 나타내었다.

Table. 3.12 Tensile shear strength of various condition with adhesive

접착제 유				
회전속도 (rpm)	삽입깊이 (mm)	삽입유지시간(sec)		
		15	20	25
400	0.2	6.1	6.0	6.4
	0.3	6.1	6.12	6.2
	0.4	5.6	5.9	5.9

(1) 삽입유지시간에 따른 인장-전단강도 및 파단면 특성 평가

접착제를 채용한 마찰교반점접합의 삽입유지시간에 따른 AI/CFRP 인장-전단강도 및 파단면 특성평가를 보면, 인장-전단강도는 삽입깊이 0.2mm의 조건을 제외하고는 삽입유지시간이 증가할수록 인장-전단강도가 증가함을 확인할 수 있었다. 삽입유지시간에 따른 각 최대 인장-전단강도는 15sec일 때 6.1kN이며 20, 25sec 일 때는 각각 6.12kN, 6.4kN으로 점차 상승됨을 확인하였으며 25sec 조건에서 가장 높은 인장-전단강도를 확인할 수 있었다.

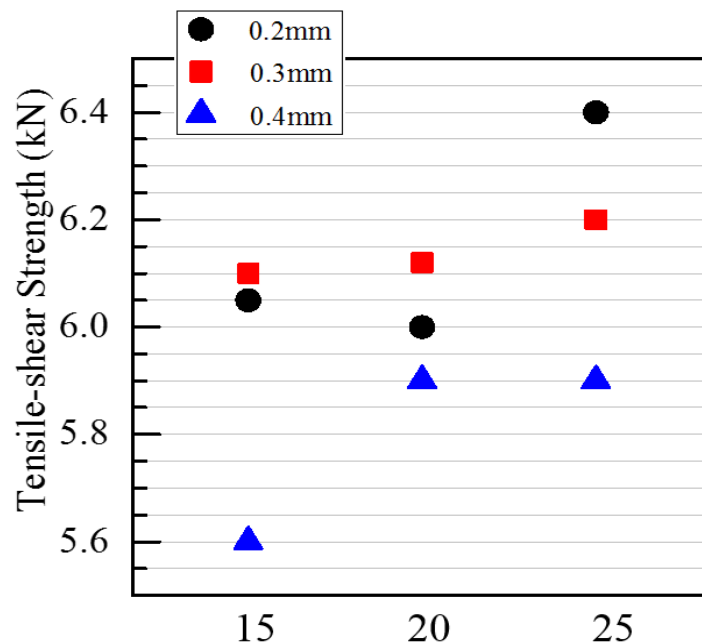


Fig. 3.8 Tensile shear strength of adopted adhesive with dwell time

Table. 3.13 Fracture interface after tensile shear test with dwell time



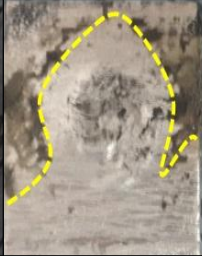

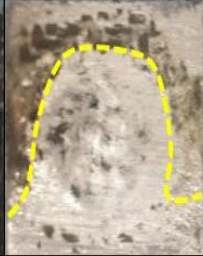

삽입유지시간(sec)					
15		20		25	
Al5052	CFRP	Al5052	CFRP	Al5052	CFRP
					

Table. 3.13에 나타났듯이 삽입유지시간이 증가할수록 Al표면에 남아있는 CFRP 수지와 접착제의 양이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 삽입유지시간이 증가할수록 상대적으로 긴 시간동안 CFRP의 수지와 접착제가 유동할 수 있는 시간과 열이 높아져 인장-전단강도가 증가한 것으로 사료된다.

(2) 삽입깊이에 따른 인장-전단강도 및 파단면 특성 평가

삽입깊이에 따른 인장-전단강도 및 파단면 분석결과, Table. 3.14, Fig. 3.9 을 비교해보면 삽입깊이가 증가할수록 과도한 유동이 발생한 것을 알 수 있었으며 과도한 유동이 발생할수록 인장-전단강도가 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 파단면은 점차적으로 SI표면에 남아있는 CFRP의 수지와 접착제가 감소하는 비례적인 현상을 확인하였다. 이는 높아진 입열량과 가압으로 인하여 앵커효과를 일으키지 못하고 가압하지 않은 접합계면사이로 넘쳐서 인장-전단강도에 영향을 미친 것으로 사료된다.

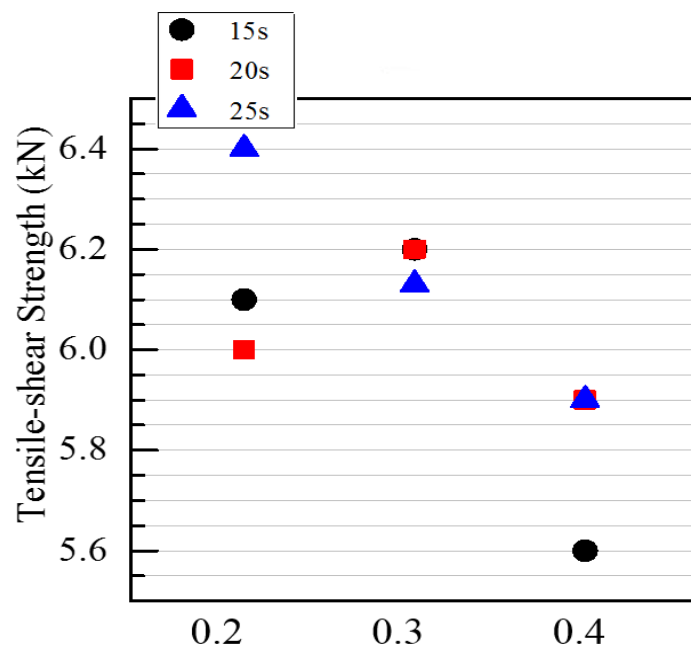








Fig. 3.9 Tensile shear strength of adopted adhesive with plunge depth

Table. 3.14 Fracture interface after tensile shear test with plunge depth

삼입깊이(mm)					
0.2		0.3		0.4	
Al5052	CFRP	Al5052	CFRP	Al5052	CFRP
					

다. 금속학적 특성 평가

마찰교반점접합 단독, 접착제를 채용한 마찰교반점접합에서 접합부가 아닌 접합부 주위에서 잔존하는 CFRP 수지와 접착제가 접합강도에 미친다고 사료했다. 이러한 현상을 규명하기 위해 접착제를 채용한 마찰교반점접합 파단면 두 조건을 선정하여 SEM-EDS를 이용하여 성분 분석을 진행하였다.

Al/CFRP의 접합에서는 분자간의 화학적 결합인 van der waals 결합으로 인해 접합력이 증가한다고 알려져 있다. Al/CFRP간에 생기는 화합물로는 Al_2O_3 , MgO , $Al(OH)_3$ 가 대표적으로 발생한다. 이 중 $Al_2O_3, Al(OH)_3$ 는 FSJ 공정과정 중 환원되어 결국 MgO 만이 Al/CFRP간의 접합강도에 영향을 미친다.[18-20]

본 연구에서는 이러한 분자간의 화학적 결합에 의한 van der waals결합을 규명하기 위해 회전속도 400rpm, 삽입깊이 0.4mm, 삽입유지시간 15s 파단면과 회전속도 400rpm, 삽입깊이 0.2mm, 삽입유지시간 25s 파단면을 성분 분석하여 MgO 생성량과 접합강도를 비교, 평가하였다.

Fig. 3.10의 (a)와 (b)를 확인해본 결과, MgO 의 생성량이 0.22에서 0.49로 상승하였다. Fig. 3.11의 경우에도 (a)와(b)를 비교하면 MgO 생성량이 0.77에서 2.92로 크게 상승된 것을 확인할 수 있었다. 실질적으로 접합강도와 비교하여도 Fig. 3.11보다 Fig. 3.11에서 MgO 생성량이 큰 Fig. 3.11의 인장-전단강도가 크게 증가함을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 SEM-EDS 분석을 통하여 접합강도는 접합부가 아닌 접합부주위에서 영향을 미친다는 것과 MgO 의 생성량이 Al/CFRP간의 접합력에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

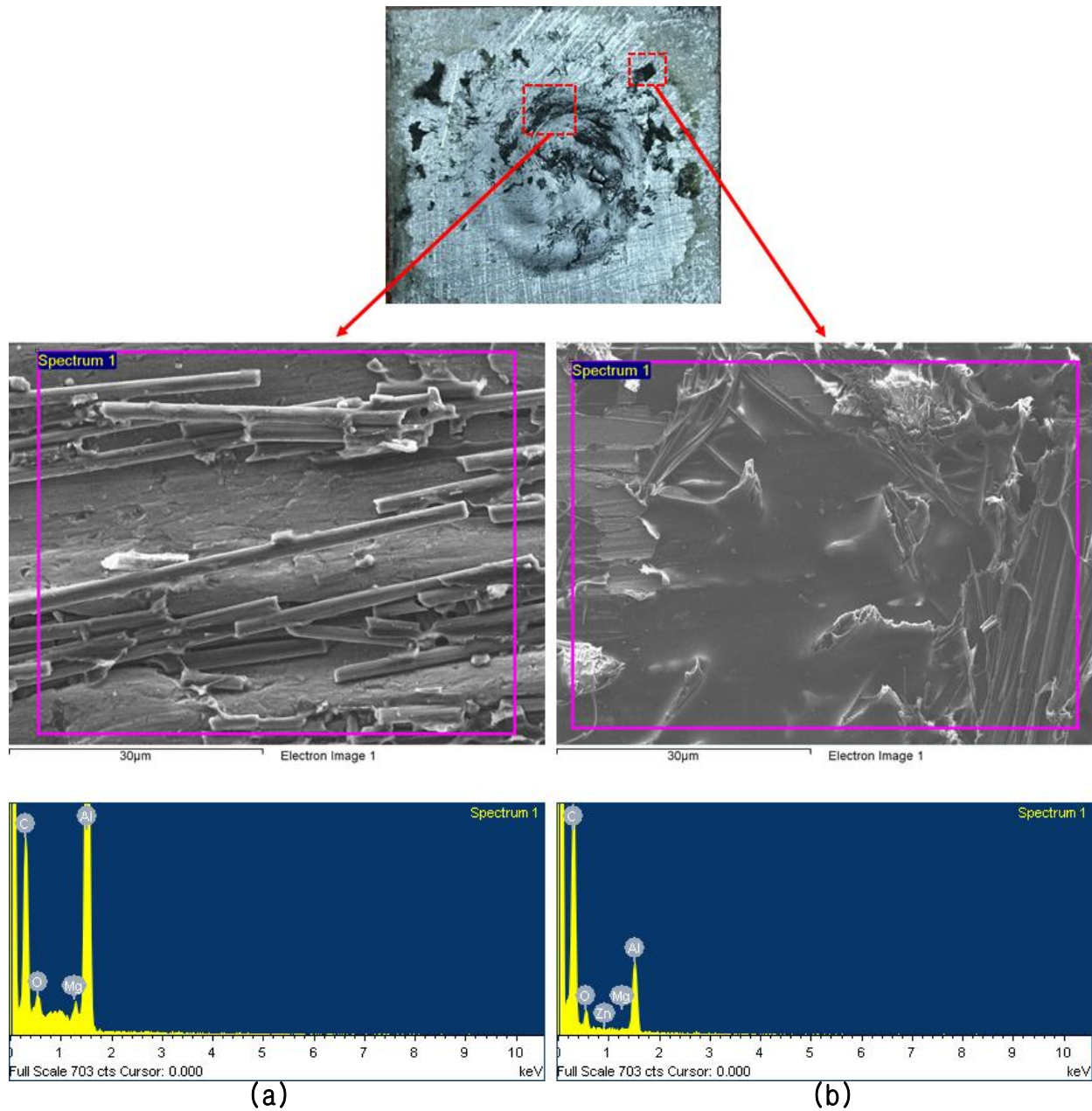


Fig. 3.10 Locations of EDS point analysis and scanning electron image and chemical compositions of fracture specimen

Table. 3.15 Chemical compositions of elements in EDS analysis of (a)

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C K	25.80	32.00	94.53	CO ₂
Mg K	0.13	0.08	0.22	MgO
Al K	2.77	1.53	5.22	Al ₂ O ₃
Zn L	0.02	0.00	0.03	ZnO
O	71.28	66.38		
Totals	100	100		

Table. 3.16 Chemical compositions of elements in EDS analysis of (b)

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C K	22.05	28.46	80.77	CO ₂
Mg K	0.29	0.19	0.49	MgO
Al K	9.92	5.70	18.74	Al ₂ O ₃
O	67.74	65.65		
Totals	100	100		

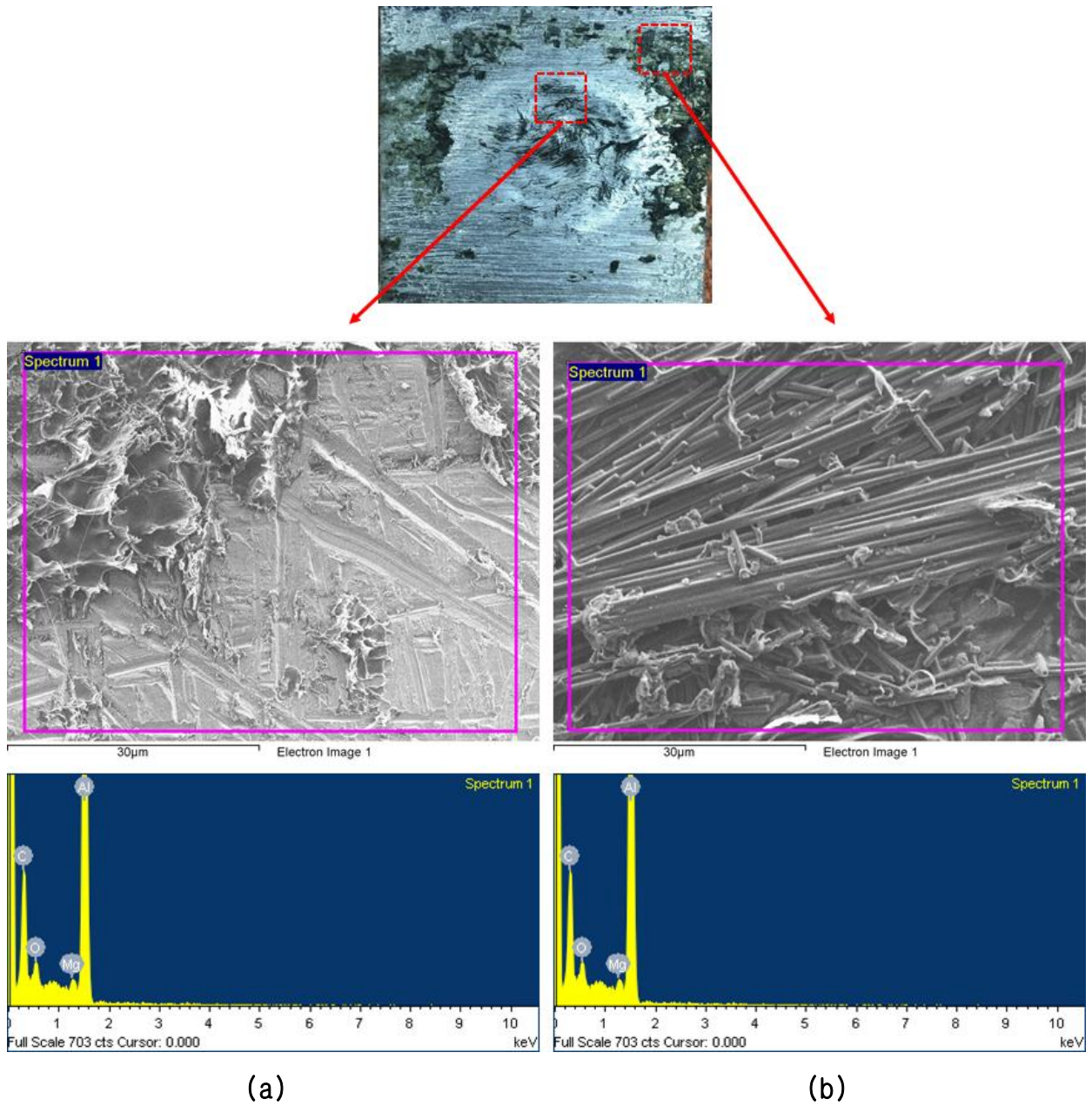


Fig. 3.11 Locations of EDS point analysis and scanning electron image and chemical compositions of fracture specimen

Table. 3.17 Chemical compositions of elements in EDS analysis of (a)

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C K	18.99	25.35	69.57	C ₀₂
Mg K	0.46	0.30	0.77	MgO
Al K	15.70	9.33	29.67	Al ₂ O ₃
O	64.85	65.01		
Totals	100	100		

Table. 3.18 Chemical compositions of elements in EDS analysis of (b)

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C K	22.32	28.72	81.77	C ₀₂
Mg K	1.76	1.12	2.92	MgO
Al K	8.11	4.64	15.32	Al ₂ O ₃
O	67.82	65.52		
Totals	100	100		

3.1.3 접착제 유무에 따른 마찰교반점접합 특성 비교 평가

Fig. 3.12과 Table. 3.19는 각 공정별 최적조건에서의 인장-전단강도와 파단면을 나타내었다. 마찰교반점용접시 3.28kN에서 접착제를 채용한 마찰교반점접합을 할 때 6.42kN로 약 2배 이상 상승됨을 확인하였다. 또한, epoxy adhesive 단독에서는 6.09kN에서 6.42kN으로 소폭 상승됨을 확인하였다.

파단면의 형상을 확인해 보면 3가지 공정모두 접착계면파단, 접착내부파단이 혼합적으로 나타나는 혼합파괴(Mixed failure)가 나타났으며, 혼합파괴의 면적이 증가할수록 인장-전단강도가 증가함을 확인하였다. 또한, epoxy adhesive 단독 대비 상승된 인장-전단강도를 확보하였으나 더 나은 접착제를 채용한 마찰교반점접합의 적합성평가를 위해선 인장-전단강도 외의 기계적 특성평가가 필요하다고 사료된다.

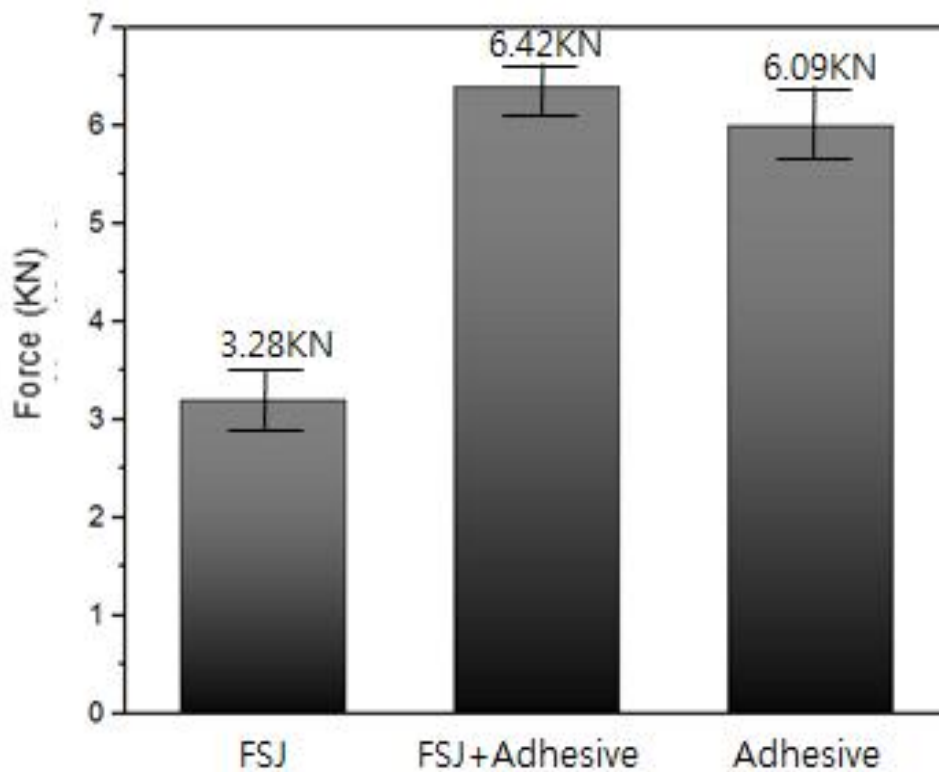





Fig. 3.12 Tensile strength test according to different process

Table. 3.19 Fracture interface after tensile-shear test according to different process

FSJ	접착제 채용 FSJ	epoxy adhesive
		

3.2 표면조도에 따른 마찰교반점접합 특성

접착제를 채운 마찰교반점접합(400rpm, 0.2mm, 25sec) 조건을 선정하여 표면 조도에 따른 AI/CFRP 접합부 특성평가를 실시하였다. Fig.3.14는 광학현미경 (Optical microscope)을 이용하여 각 표면조도의 유무에 따른 현상을 나타내었다. 일반적으로 CFRP에 버블이 생성되어 알루미늄표면 조도부분에 앵커링효과 (Anchoring effect)를 확인하였다.[13]

또한, 표면조도에 따른 인장-전단강도를 확인해 보면, 각 5.58kN, 5.65kN, 6.42kN이 측정되었다. 이는 Fig. 3.14에서의 (b)와 (c)를 비교해 보면 (b)에서는 크게 Interlocking되는 부분을 제외하고 비교적 매끈한 표면이 형성되었으며, (c)는 주위 표면 또한 작은 Interlocking되는 부분을 확인할 수 있었다. CFRP에 버블이 생성되어 버블이 용융된 수지를 AI표면의 밀어 Interlocking 효과가 AI/CFRP간의 접합 향상에 영향을 미치는 것으로 알 수 있었다.

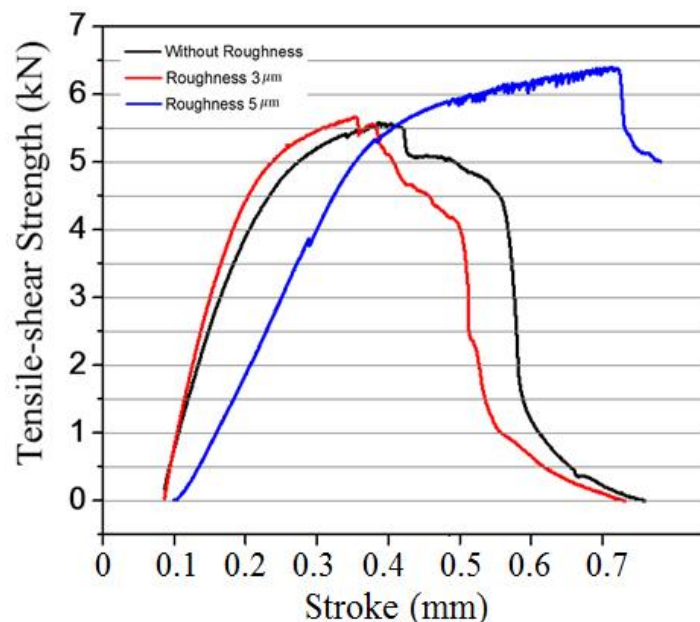
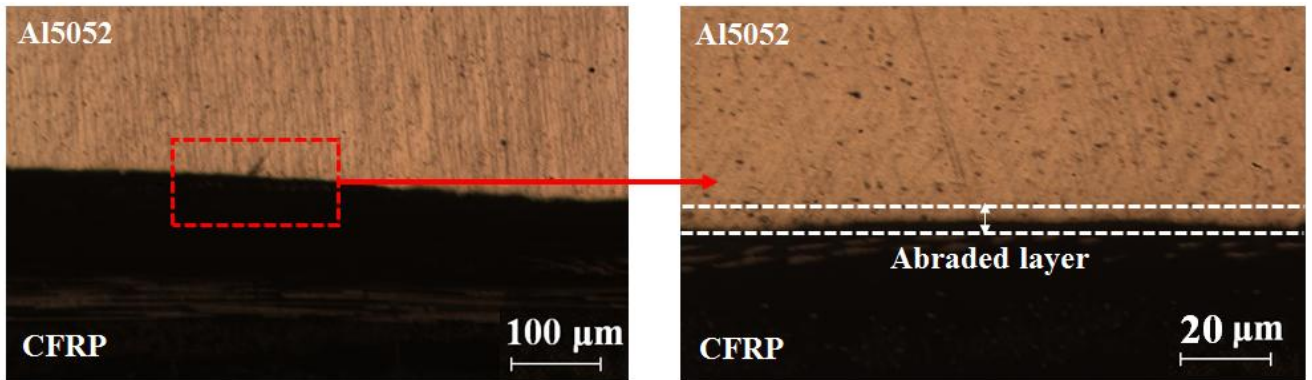
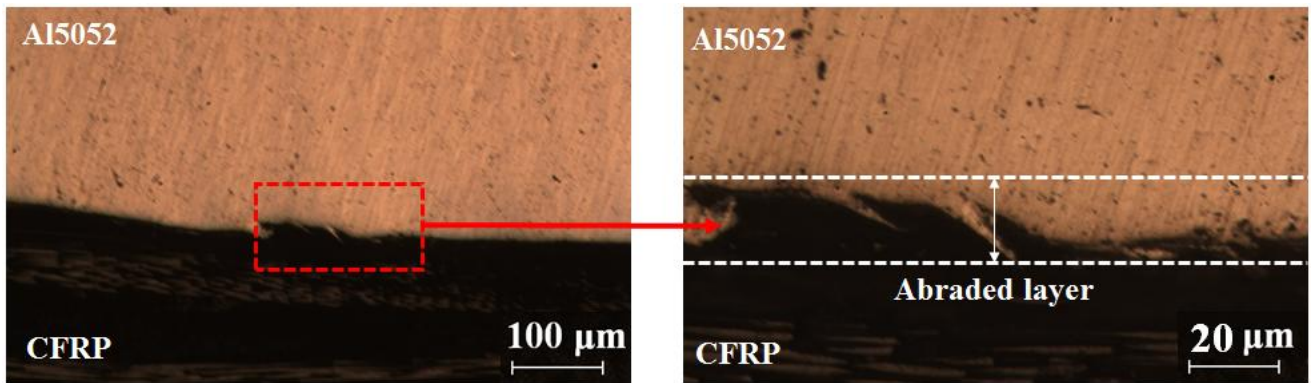


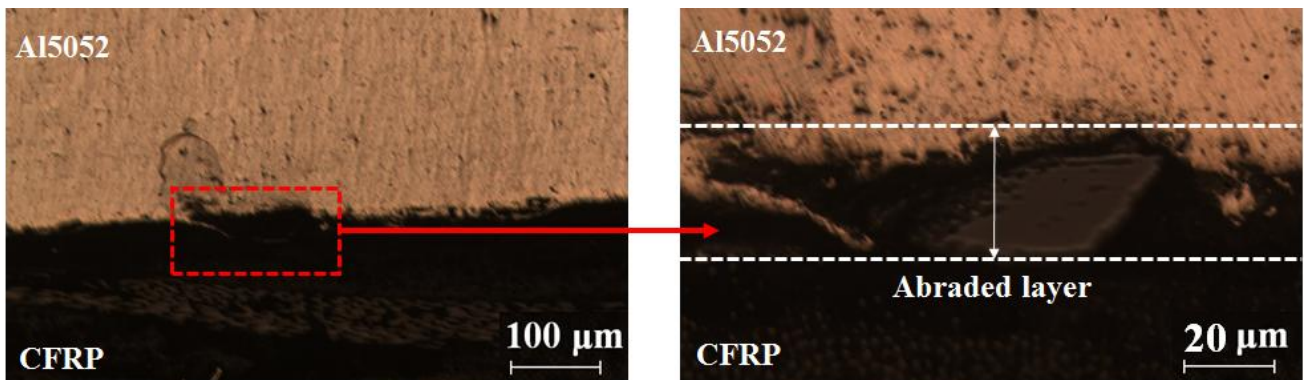
Fig. 3.13 Tensile shear strength depending on the existence of surface roughness



(a) Without roughness



(b) Surface roughness 3 μm



(c) Surface roughness 5 μm

Fig. 3.14 Cross section of Al/CFRP joint depending on the existence of surface roughness

제 4 장 결 론

본 연구에서는 차량경량화를 위한 경량소재인 AI/CFRP을 채용하여 마찰교반점접합을 실시하였다. 기본적으로 AI/CFRP간의 접합력 향상을 위해 $5\mu\text{m}$ 표면조도를 부여하고 AI/CFRP간의 접합력을 파악하기 위해 마찰교반점접합, 접착제를 채용한 마찰교반점접합 세 가지 공법과 공정조건(회전속도, 삽입깊이, 삽입유지시간)을 고려하여 기계적, 금속학적 특성을 비교/평가하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 마찰교반점접합 단독 시, 400rpm 이상에서 CFRP 용융된 수지가 알루미늄을 덮는 현상이 발생하였고 500rpm 이상에서는 CFRP의 수지가 갈변이 되었다. 적절한 유동과 갈변되지 않은 수지가 강도에 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 최대 인장-전단강도는 3.3kN(400rpm, 25s, 0.3mm)을 확보하였다.
- 2) 접착제를 채용한 마찰교반점접합 시, 접합부가 아닌 접합부 주위의 잔존하는 CFRP수지와 접착제에 의해 접합강도가 상승됨을 확인하였다. 또한, 금속학적 특성을 통해 Interlocking 효과와 MgO에 의한 분자결합이 접합강도에 영향이 있는 것을 확인하였으며, 접착제 단독 최대 인장-전단강도인 6.1kN보다 높은 6.42kN(400rpm, 25s, 0.2mm)에서 확보하였다.
- 3) AI/CFRP 접합부의 열전도 수치해석을 실시하여 온도분포 특성을 고찰한 결과 CFRP는 Forming temperature(280 ~ 300℃)가 가장 적절하며, 공정시간을 짧게 가져가는 것이 건전한 접합부를 얻을 수 있었다.
- 4) 표면조도에 따른 AI/CFRP간의 접합력을 고찰한 결과, 조도를 부여하면 확실한 Interlocking 효과를 얻을 수 있으나 $5\mu\text{m}$ 이상에서부터 Interlocking 효과가 증대되어 인장-전단강도에 미치는 영향을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Y. J. Park, S. I. Kwon and J. Y. Lee, “Evaluation of CO₂ Reduction Effected by GHG Reduction Policy of Vehicle” , Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol.32, No.3, pp.280-288, 2016
- [2] Y. Kim, K.Y. Park, and K.D Lee, “Development of Welding Technologies for Lightweight Vehicle” , Journal of Welding and Joining, pp.1-3, 2011
- [3] J. H. Mun, K. D. Han, S. H. Hong, Y. G. Kweon, R. M. Do, “A study on Development of Automobile Parts using CFRP” , pp.59, 2011
- [4] J. G. Kim, Y. D. Park, Y. S. choi, “자동차용 선도장 강판 접합을 위한 구조용 에폭시 접착제 개발” , Nice 제 30권 제 6호, 2012
- [5] Y. S. Kim and S. C. Kil, “Latest Joining Technology of Metal and Plastic” , Jormal of Welding and Joining, 2016
- [6] L. G. Lee, J. T. Kim, J. K. Park, M. G. Bae, S. E. Park, “Development of Structural adhesive for Automotive bonding between different materials” , 한국자동차공학회 추계학술대회, pp.1214-1215, 2017
- [7] D. J. Kwon, S. M. Park, J. M. Park, I. J. Kwon, “A Study on bonding process for Improvement of Adhesion Properties Between CFRP-Metal Dual Materials” , Vol.30, No.6, pp.416-421, 2017
- [8] C. Y. Choi, Dulal Chandra Saha, W. H. Choi, J. K. Kim, J. H. Kim, Y. D. Park, “Evaluation of Failure Mode and Strength on Baking Time of adhesive for Hybrid Joining” , Journal of KWJS, Vol.29, NO.6, pp669-675, 2011
- [9] S. O. Jeong, H. S. Bang, H. S. Bang, “Effects of welding parameters on weldability in Dissimilar Materials(Al5083/DP890) by Friction Spot Joining” , The Korean Welding & Joining Society, pp96, 2016
- [10] B. H. Choi, “Development of Structural adhesives for Light-weight Automotive Applications” , Auto journal, 2017
- [11] I. S Kim, “ 탄소섬유강화 복합재(CFRP)산업의 동향과 기술개발 방향, PD

ISSUE REPORT, VOI.15, 2015

- [12] K.W. Jung, Y. Kawahito, M. Takahashi, S. Katayama, “Laser direct Joining of carbon fiber reinforced plastic to zinc-coated steel” , Joining and Welding Research Institute(JWRI), 2012
- [13] Kimiaki Nagatsuka, Shoichiro Yoshida, Atsuki Tsuchiya, Kazuhiro Nakata, “Direct Joining of carbon-fiber-reinforced plastic to an aluminum alloy using friction lap joining” , Joining and Welding Research Institute, 2014
- [14] 용접접합편람 3편 공정 및 열가공, 대한용접접합학회, pp.189-197
- [15] 용접접합편람 1편 철강 및 비철재료 , 대한용접접합학회, pp.305-308
- [16] J. H. Kim, W. S. Choi, H. S. Bang, H. S. Bang, “Characteristic of Welded Joint for CFRP/Steel by using Laser Heat Source” , 한국정말공학회 추계학습대회논문집, 2017
- [17] Se-Young Lee, Ju-Heon Park, Kyoung-Hak Kim, Han-Sur Bang, Hee-Sun Bang, “Evaluation of Weldability dissimilar materials Al/CFRP using Friction Stir Welding upon pin existence” , Journal of KWJS, 2017
- [18] Hino M, Mitooka Y, Murakami K, Urakami K, Nagase H, Kanadani T, “Effect of aluminum surface state on laser joining between 1050 aluminum sheet and polypropylene resin sheet using insert materials” , Mater Trans, 2011
- [19] The adhesion society of Japan. Secchaku-handbook, Fourth ed. Tokyo : NIKKAN KOGYO SHIMBUN Ltd, 2007
- [20] Wagner WC, Asgar K, “Effect of interfacial variables on metal- porcelain bonding, J Biomed Mater Res, 1993
- [21] Paul Colegrove, 3 Dimensional flow and thermal modelling of the friction stir welding process, The university of adelaide
- [22] Yuh J.Chao, Heat transfer and thermal-mechanical analysis of friction stir joining of AA 6061-T6 plates