

알루미늄/GFRP 접착 조인트의 강도에 대한 샌딩과 프라이머의 영향

김효성¹, 방우석², 이광주^{2*}

¹한국자동차연구원 기능성복합소재연구센터, ²한국기술교육대학교 기계공학부

Effects of Sanding and Primer Coating on the Strength of Joints between Aluminum and GFRP

Hyo-Seong Kim¹, Wooseok Bang², Kwangju Lee^{2*}

¹Functional Composite Materials R&D Center, Korea Automotive Technology Institute

²School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 두 개 이상의 부품을 체결하는 방법으로, 접착을 사용하는 방법이 점차 증가하고 있다. 본 연구에서는 알루미늄과 유리섬유강화 플라스틱 (GFRP)의 단일 겹침 조인트의 접착 강도를 향상시키기 위해 사용하는 샌딩 및 프라이머의 영향을 고찰하였다. 알루미늄과 GFRP의 표면을 샌딩할 때에는 각각 샌드 블라스트와 사포를 사용하였다. 알루미늄과 GFRP에 프라이머를 도포할 때에는 각각 폴리우레탄과 폴리에스터 프라이머를 사용하였다. 접착제로는 에폭시를 사용하였다. 인장시험 후 시편 표면에서 파괴 형태 (Failure Modes)를 관찰하였다. 대부분 시편에서는 접착파괴가 발생하였다. 그러나 알루미늄과 GFRP 양면을 샌딩하고 알루미늄에 프라이머를 도포한 시편에서는 응집파괴가 발생하였다. 이 경우 접착 강도가 가장 높게 나타났다. 프라이머 도포와 샌딩은 모두 접착강도를 향상시켰으나, 프라이머 도포보다 샌딩이 접착강도를 더 많이 향상시켰다. 또한 GFRP의 표면상태보다 알루미늄의 표면상태가 접착 강도에 더 큰 영향을 미쳤다.

Abstract The use of bonding gradually increases to the fastening of two or more components. This study used sanding and primer coating to improve bonding strength in single lap joints of aluminum and glass fiber reinforced plastic (GFRP). Sandblast and sandpaper were used to sand the surfaces of aluminum and GFRP, respectively. In addition, polyurethane and polyester primers were coated as primers on aluminum and GFRP, respectively. An epoxy adhesive was used in bonding. As part of the study, failure modes were observed on surfaces of specimens after tensile tests. The results showed that an adhesive failure occurred in most cases. However, cohesive failure occurred when both sides of aluminum and GFRP were sanded, and the primer was coated on aluminum. In this case, the bonding strength was the highest. Both primer coating and sanding improved bonding strength. However, bonding strength improved more by sanding than by primer coating. The results also show that the surface of aluminum had more effect on bonding strength than GFRP.

Keywords : Bonding Strength, GFRP, Primer, Sanding, Single Lap Joint

본 논문은 2019년도 한국기술교육대학교 교육연구진흥과제 연구비 지원에 의하여 연구되었음

*Corresponding Author : Kwangju Lee(Korea University of Technology and Education)

email: klee@koreatech.ac.kr

Received November 23, 2021

Revised December 17, 2021

Accepted January 7, 2022

Published January 31, 2022

1. 서론

경량화를 위해 강재를 대체하여, 알루미늄이나 섬유강화 복합재료 등의 사용이 점차 증가하고 있다[1]. 다양한 소재가 사용됨에 따라서 기존에 주로 사용하였던 용접을 대체할 수 있는 이종 소재간의 접착 기술에 대한 연구가 많이 수행되고 있다.

용접에 비하여 접착제를 사용할 때의 첫 번째 장점은 열에 의한 변형을 최소화할 수 있다는 것이다. 두 번째 장점은 재료 선택을 비교적 자유롭게 할 수 있다는 것이다.

구조용 접착제에 대해서는 다음과 같은 연구가 진행되어 왔다. 김현웅 등은 2액형 에폭시를 경화시킨 뒤 인장 실험을 진행하여 기계적 물성을 평가하였다[2]. P. Galvez 등은 강/탄소섬유강화 복합재료 (CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic) 접착 조인트에서 폴리우레탄 (PU: Polyurethane) 접착제의 접착강도를 연구하였다[3].

S. Budhe 등은 2009년부터 2016년까지 발표된 접착 조인트에 대한 논문을 검토하여, 조인트에 영향을 끼치는 주요 매개변수를 논의하였다[4]. V.H. Martínez-Landeros 등은 접착제 접합 전 단방향 CFRP 피스의 표면과 CFRP 피스의 접착제 접합 후 접합 품질에 대한 다양한 표면처리의 영향을 분석하였다[5]. V. Anes 등은 매우 낮은 온도에서 이종 재료 접착 조인트의 접착강도를 평가하였다[6]. X. Shang 등은 복합 소재를 이용한 접착 조인트에서 접착 강도를 향상시키는 방안에 대해 검토하였다[7]. 이러한 기술은 접착제의 강도를 높이고 응력 집중을 감소시키는 데에 기여하였다.

이우경 등은 이종 소재의 하이브리드 조인트에 대해 하중을 기반으로 한 설계방법을 연구하였다[8]. G. Jeevi 등은 자동차, 항공 및 건설과 같은 다양한 응용분야에서 접착 기술의 최근 발전상을 검토하였다[9].

본 논문에서는 알루미늄/유리섬유 강화 복합재료 (GFRP: Glass Fiber Reinforced Plastic) 단일 겹침 조인트의 접착강도에 대한 샌딩과 프라이머의 영향을 실험적으로 연구하였다. 알루미늄과 GFRP의 표면에 샌딩을 할 때에는, 각각 샌드블라스트와 샌드페이퍼를 사용하였다. 알루미늄과 GFRP에 프라이머를 도포할 때에는, 각각 폴리우레탄 (PU: Polyurethane) 및 폴리에스터 (PE, Polyester) 계열의 프라이머를 사용하였다. 알루미늄과 GFRP를 서로 접합할 때에는 에폭시 접착제를 사용하였다. 실험을 통하여 파괴형태에 따른 접착강도의 변화와 접착강도에 대한 샌딩과 프라이머 도포의 상대적 중요성을 확인하였다.

2. 시편 제작

2.1 시편의 표면 처리

2.1.1 샌딩

재료 표면의 오염물을 제거하거나 재료 표면의 내식성, 내마모성, 내열성을 갖게 하는 방법을 표면처리라고 말한다. 화학적 또는 물리적 방법이 사용된다. 물리적 표면처리 방법 중 하나인 샌딩은 모래를 이용하여 표면처리를 하는 방식으로 샌드블라스트나 사포 등을 활용하여 진행된다.

샌드블라스트는 규사 등의 모래를 분사시키거나 공작물 표면에 투사하여 산화물이나 녹을 제거하며 표면 거칠기를 증가시키는 방법이다. 표면 거칠기가 증가하면, 접착제와 피착물 사이의 표면 면적이 증가하여 접착강도가 향상될 수 있다.

사포를 사용하면 샌드블라스트와 유사한 효과를 거둘 수 있다. 사포는 사람의 손을 이용하여 샌딩을 하는 것이기 때문에, 사포질을 한 표면의 거칠기는 비교적 균일해가 어렵다. 또한 사포질을 하게 되면 표면에 사포질을 한 방향이 나타나며, 사포질의 방향에 따라서 접착강도가 달라질 수도 있다. 이에 비해 샌드블라스트를 사용하면 균일한 표면 거칠기를 얻을 수 있으며, 표면의 방향성도 사라지게 된다. 사포를 사용하면, 전체 표면의 일부에 대하여 부분적인 샌딩을 하는 것이 가능한 장점이 있다. 이에 비해 샌드블라스트를 사용하면, 전체 표면의 일부에 대하여 샌딩을 하는 것이 어렵다.

본 논문에서는 알루미늄과 GFRP의 표면을 각각 샌드블라스트와 사포를 이용하여 샌딩을 하였다. 두 경우 모두 동일한 그릿 사이즈 100을 사용하였다.

2.1.2 프라이머 도포

시편의 표면처리를 위한 또 다른 방법으로 프라이머를 도포할 수 있다. 본 연구에서는 알루미늄과 GFRP에 각각 폴리우레탄 및 폴리에스터 계열의 프라이머를 사용하였다.

시편 표면에 오염물이나 유분이 있다면 프라이머가 도포되어지더라도 접착력 향상 효과를 기대할 수 없기 때문에, 프라이머 도포 전에 표면을 세척하였다. 세척에는 아세톤과 아이소프로판올 (Isopropanol)을 사용하였다. 아세톤으로 한번 세척한 이후 아이소프로판올을 이용하여 다시 세척을 진행하였다.

점도를 맞추기 위해서 프라이머에 희석제를 사용하였다. 희석제로는 MEK (Methyl Ethlyl Ketone)를 사용하

였다. 희석제를 사용하여 프라이머를 희석시킨 후, 이를 시편에 도포한 다음에 경화조건에 맞추어 경화시켰다 [Table 1].

Table 1. Curing conditions and diluents for primers

Primer	Curing Condition		Diluent
	Temperature (°C)	Time (min)	
Polyurethane	150	10	MEK
Polyester	150	10	MEK

2.2 시편

2.2.1 시편의 규격

시편의 크기를 결정하기 위하여 ASTM D5868과 ASTM D1002을 참고하였다[10, 11]. 얇은 두께의 알루미늄 표면을 샌드블라스트하기 어렵기 때문에, 알루미늄과 GFRP의 두께를 모두 3mm로 결정하였다[Fig. 1].

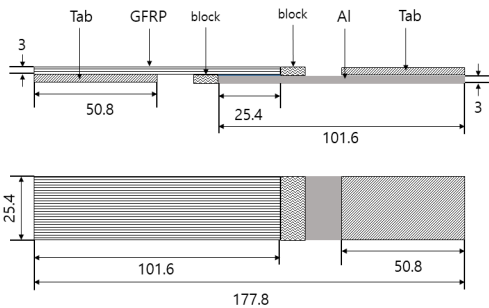


Fig. 1. Test specimen dimensions (mm)

시편의 제작 과정에서는 불필요한 접착제의 필렛이 형성이 될 수 있으며, 이 필렛이 접착강도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이러한 필렛이 형성되지 않도록 시편 제작과정에서 블록 (Block)을 사용하였다[Fig. 1]. 시편이 제작된 이후에 이 블록을 제거하고 나서 접착강도를 측정하였다. 블록을 제거한 시편의 사진을 아래에 나타내었다 [Fig. 2].



Fig. 2. Test specimen

2.2.2 지그

시편의 제작과정에서 지그를 이용하였다. 본 연구에서는 지그를 사용하여 시편 치수의 균일성과 시편의 생산

성을 확보할 수 있었다. 시편을 접착하고 경화시키는 데에 1시간이 소요되기 때문에, 지그를 사용하여 한 번에 8개의 동일한 시편이 동시에 제작되도록 하였다. 또한 접착제의 경화 이후에 시편과 지그가 잘 분리될 수 있도록 사전에 이형 처리를 하였다.

지그의 상판과 하판을 볼트로 서로 체결한 상태에서 접착제의 경화가 이루어 질 수 있도록 하였다. 이 과정에서, 가해지는 압력이 일정하도록 상판과 하판의 유격을 항상 일정하게 유지하였다. 지그의 정확한 가공을 위해 MCT (Machining Center Tool)를 이용하였다. 지그의 사진을[Fig. 3]에 나타내었다.

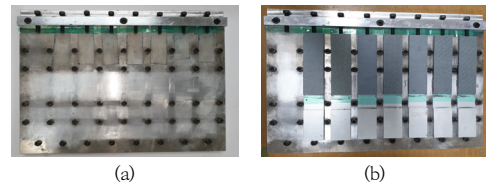


Fig. 3. Jig to produce specimens of single lap joints (a) Jig without specimens (b) Jig with specimens

3. 접착강도 평가를 위한 인장실험

3.1 인장실험

시편의 접착강도를 측정하기 위하여, MTS 810 인장 시험기를 사용하였다[Fig. 4].

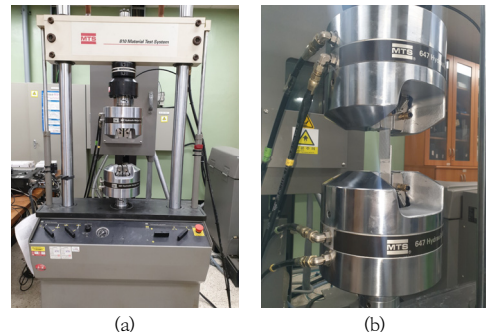


Fig. 4. Test equipment (a) MTS 810 material test system (b) Test specimen in hydraulic wedge grip

인장실험을 통하여, 시편이 파단될 때의 하중을 측정하였다. 이 파단 하중을 접착면적으로 나누어서 접착강

도를 계산하였다.

실험을 통하여 프라이머의 사용 여부, 프라이머 재질 및 샌딩 여부에 따른 접착강도를 비교하였다. ASTM D5868에서는 각각의 경우에 5개 이상의 시편 사용을 권고하고 있다[10]. 본 연구에서는 각각의 경우에 7개의 시편을 사용하여 접착강도를 구하였다[Table 2].

Table 2. Test cases and number of specimens in each test case

Sanding	Primer			
	No Primer	PE on GFRP	PU on Al	PE on GFRP and PU on Al
Al NS / GFRP NS	7	7	7	7
Al NS / GFRP SP	7	-	-	-
Al SB / GFRP NS	7	-	-	-
Al SB / GFRP SP	7	7	7	7

- NS: No Sanding, SB: Sand Blast, SP: Sand Paper
 - PE: Polyethylene, PU: Polyurethane

3.2 인장실험 결과

3.2.1 시편의 파괴 형태

인장실험 이후에 파단된 시편의 표면을 관찰함으로써, 파괴 형태를 확인하였다. 실험을 진행한 각각의 경우에 7개의 시편이 있으며, 이들 중에서 평균 접착강도와 가장 유사한 값을 나타내는 시편의 파단면을 관찰하여 Fig. 5~Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 5에는 알루미늄과 GFRP에 모두 샌딩을 한 경우에 파단면의 사진을 나타내었다. 알루미늄과 GFRP의 표면은 각각 샌드블라스트와 샌드페이퍼를 사용하여 샌딩하였다.

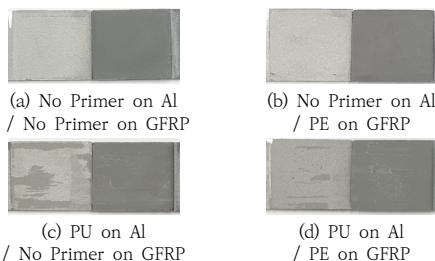


Fig. 5. Fractured surfaces of specimens where aluminium is sanded with sand blast and GFRP with sand paper

Fig. 5 (a), (b)와 같이 알루미늄에 폴리우레탄 프라이머를 도포하지 않은 경우에는, 알루미늄의 파단면에 접

착제가 전혀 묻어 있지 않은 것을 확인하였다. Fig. 5 (c), (d)와 같이 알루미늄에 폴리우레탄 프라이머를 도포한 경우에는, 알루미늄의 파단면에 접착제의 일부가 남아있는 것을 확인하였다.

Fig. 6에는 알루미늄과 GFRP에 모두 샌딩을 하지 않은 경우의 파단면의 사진을 나타내었다.

Fig. 6의 모든 파단면에서는, 알루미늄 표면에서는 접착제가 전혀 남아 있지 않고 GFRP 표면에만 접착제가 남아있음을 확인할 수 있다.

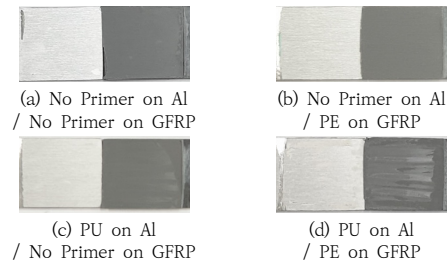


Fig. 6. Fractured surfaces of specimens where aluminium and GFRP are not sanded

Fig. 7에는 프라이머를 도포하지 않고, 알루미늄과 GFRP 표면 중에서 한 면에만 샌딩을 한 경우의 파단면 사진을 나타내었다. 알루미늄의 표면에 샌드블라스트로 샌딩하거나 또는 GFRP의 표면에 샌드페이퍼를 사용하여 샌딩을 하였다.

Fig. 7 (a)는 알루미늄에만 샌드블라스트를 이용해 샌딩을 한 경우로, 알루미늄 표면이 거칠다는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 7 (b)는 GFRP에만 사포를 이용해 샌딩을 한 경우로, 알루미늄 표면이 깨끗하다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 두 경우 모두, 파단된 시편의 단면에서 GFRP 쪽에만 접착제가 남아 있음을 확인할 수 있었다.

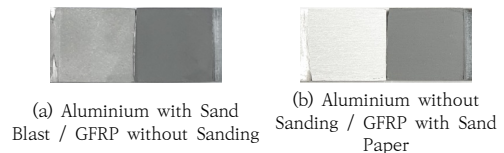


Fig. 7. Fractured surfaces of specimens where primer is not used before bonding

Fig. 5~Fig. 7의 파단면 관찰 결과에 의하면, 알루미늄/GFRP 접착조인트에서 대부분의 시편들에서는 접착 파괴 (Adhesive Failure)가 일어난 것으로 관찰되었다.

이 때 접착제는 모두 GFRP에 붙어 있는 것으로 관찰되었다.

일부 경우에는 다른 파괴형태가 관찰되었다. Fig. 5 (c)와 (d)에서처럼 알루미늄과 GFRP의 표면이 각각 샌드블라스트와 샌드페이퍼로 샌딩이 되었고 알루미늄에 폴리우레탄 프라이머가 사용된 경우에는, 접착제가 GFRP와 알루미늄의 표면에 모두 붙어 있는 응집파괴 (Cohesive Failure)가 관찰되었다.

3.2.2 프라이머 도포에 따른 접착강도 비교

프라이머를 사용한 경우에는, 알루미늄 표면에는 폴리우레탄 프라이머와 GFRP 표면에는 폴리에스터 프라이머를 도포하였다. 알루미늄과 GFRP에 모두 샌딩을 하지 않은 경우의 접착강도를 Fig. 8에, 그리고 모두 샌딩을 한 경우의 접착강도를 Fig. 9에 정리하였다.

Fig. 8에 의하면 알루미늄과 GFRP에 모두 샌딩을 하지 않았을 때, 폴리에스터 프라이머만 GFRP 표면에 도포한 시편의 접착강도는 3.8MPa로 프라이머를 전혀 도포하지 않은 시편의 접착강도 4.7MPa보다 23.7% 감소하였다.

폴리우레탄 프라이머만 알루미늄 표면에 도포한 시편의 접착강도는 5.4MPa로 프라이머를 전혀 도포하지 시편의 접착강도보다 14.9% 향상되었다. 폴리우레탄 프라이머를 알루미늄 표면과 폴리에스터 프라이머를 GFRP 표면에 도포한 시편의 접착강도는 6.1MPa으로 프라이머를 전혀 도포하지 않은 시편의 접착강도보다 29.8% 향상되었다.

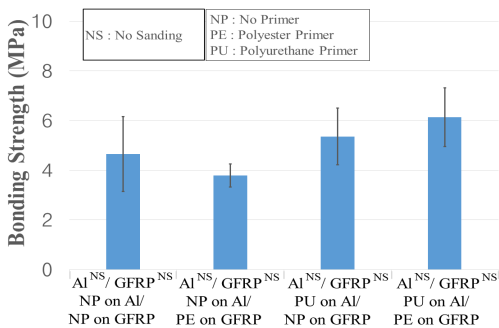


Fig. 8. Bonding strength when both surfaces of aluminum and GFRP are not sanded

Fig. 9에 의하면 알루미늄과 GFRP 모두 샌딩을 했을 때, 폴리에스터 프라이머만 GFRP 표면에 도포한 시편의 접착강도는 7.4MPa으로 프라이머를 전혀 도포하지 않은

시편의 접착강도 6.8MPa에 비해 접착강도가 약 9.0% 향상되었다.

폴리우레탄 프라이머만 알루미늄 표면에 도포한 시편의 접착강도는 7.7MPa으로 프라이머를 전혀 도포하지 않은 시편의 접착강도보다 13.2% 향상되었다. 폴리우레탄 프라이머를 알루미늄 표면과 폴리에스터 프라이머를 GFRP 표면에 도포한 시편의 접착강도는 9.1MPa으로 프라이머를 전혀 도포하지 않은 시편의 접착강도보다 33.8% 향상되었다.

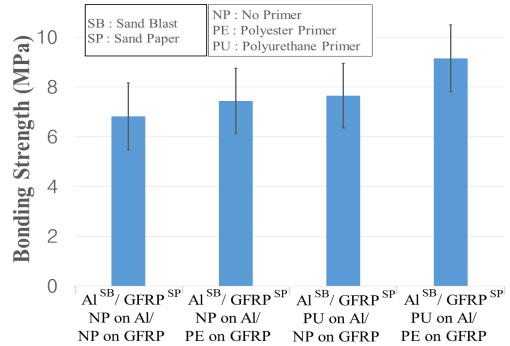


Fig. 9. Bonding strength when surfaces of aluminum and GFRP are sand blasted and sand papered, respectively

Fig. 8과 Fig. 9의 결과를 통해서, Fig. 8의 두 번째 경우를 제외하고 프라이머를 도포함으로써 접착강도가 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 접착면의 한 쪽에만 프라이머를 사용하는 것보다, 접착면의 양 쪽에 프라이머를 사용하는 것이 접착강도를 더욱 향상시킴을 확인할 수 있었다.

프라이머를 한 쪽 면에만 도포하는 경우에는, GFRP의 표면에 프라이머를 도포하는 것보다 알루미늄의 표면에 프라이머를 도포하는 것이 접착강도를 더욱 향상시키는 것을 확인하였다. 이는 알루미늄/GFRP 조인트에서 접착제로 사용된 에폭시 EA9394는 금속보다 동일한 에폭시 계열의 접착제로 제작된 GFRP와의 접착력이 상대적으로 더 우수하기 때문이다. 에폭시와의 접착력이 상대적으로 낮은 알루미늄의 표면에 폴리우레탄 프라이머를 도포함으로써, 알루미늄의 표면 자유 에너지가 높아졌기 때문에 접착강도가 향상된 것으로 보인다. 이러한 이유로 GFRP에 프라이머를 도포하는 것보다 알루미늄 표면에 프라이머를 도포하는 것이 접착강도를 향상시키는 데 많은 영향을 끼쳤다.

3.2.3 샌딩에 따른 접착강도 비교

샌딩을 한 경우에는, 알루미늄과 GFRP의 표면을 각각 샌드블라스트와 샌드페이퍼로 처리하였다. 알루미늄과 GFRP에 모두 프라이머를 도포하지 않은 경우의 접착강도를 Fig. 10에, 그리고 모두 프라이머를 도포한 경우의 접착강도를 Fig. 11에 정리하였다.

Fig. 10에 의하면 알루미늄과 GFRP에 모두 프라이머를 도포하지 않았을 때, 알루미늄에만 샌딩을 한 시편의 접착강도는 6.3MPa으로 전혀 샌딩을 하지 않은 시편의 접착강도 4.7MPa보다 34.0% 향상되었다. GFRP에만 샌딩을 한 시편의 접착강도는 5.0MPa으로 전혀 샌딩을 하지 않은 시편의 접착강도보다 6.4% 향상되었다. 알루미늄과 GFRP에 모두 샌딩을 한 시편의 접착강도는 6.8MPa으로 전혀 샌딩을 하지 않은 시편의 접착강도보다 44.7% 향상되었다.

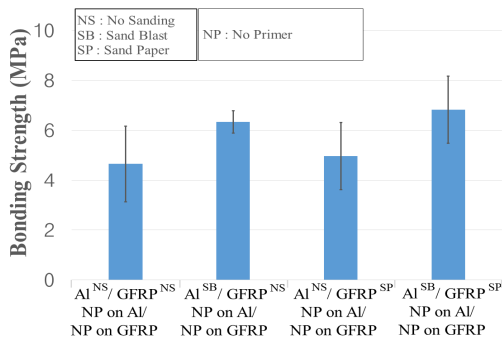


Fig. 10. Bonding strength when primer is not used

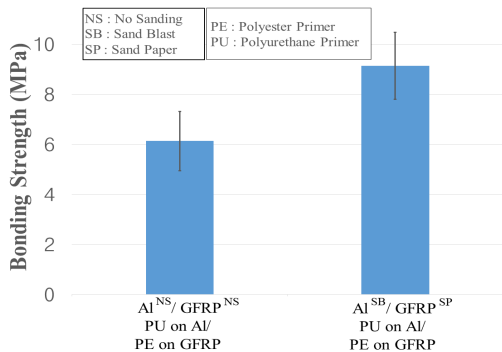


Fig. 11. Bonding strength when polyurethane and polyester are used as primer for aluminum and GFRP, respectively

Fig. 10에 대한 고찰로부터, 알루미늄/GFRP 접착 조인트에서 알루미늄의 샌딩의 효과가 GFRP의 샌딩의 효과보다 더 좋은 것을 확인하였다. 그 이유는 알루미늄이 GFRP보다 에폭시 접착제와의 접착성이 상대적으로 낮기 때문이다.

Fig. 11에 의하면 알루미늄과 GFRP 모두에 프라이머를 도포하였을 때, 알루미늄과 GFRP 모두에 샌딩을 한 시편의 접착강도는 9.1MPa로 샌딩을 하지 않은 시편의 접착강도 6.1MPa보다 49.2% 향상되었다. 즉, 프라이머를 도포하더라도 피착물의 샌딩을 하는 것이 접착강도를 더욱 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

3.2.4 샌딩과 프라이머의 상대적 중요성

일반적으로 접착강도 향상을 위해서 샌딩과 프라이머 도포 등의 방법이 사용된다. 이들 두 가지 방법 중에서 어느 방법이 접착강도 증가에 더 큰 영향을 미치는지 살펴 보았다.

Fig. 12에서 알루미늄에 샌딩이나 프라이머를 도포하지 않은 경우의 접착강도를 정리하였다. 이 때 GFRP에 샌딩이나 프라이머를 도포하지 않은 경우, GFRP에 샌딩만 한 경우 및 GFRP에 프라이머만 도포한 경우의 접착강도를 정리하였다.

Fig. 12에 의하면, GFRP에 샌딩만 한 시편의 접착강도는 5.0MPa이며 GFRP에 샌딩이나 프라이머를 도포하지 않은 시편의 접착강도 4.7MPa보다 6.4% 향상되었다. GFRP 표면에 폴리에스터 프라이머만을 도포한 시편의 접착강도는 3.8MPa이며 GFRP에 샌딩이나 프라이머를 도포하지 않은 시편의 접착강도보다 오히려 23.7% 감소하였다.

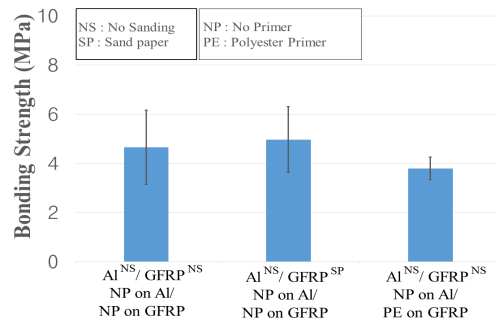


Fig. 12. Bonding strength when sanding and primer are not applied to aluminum

Fig. 12의 고찰에 의하면, 알루미늄/GFRP 접착 조인트에서 GFRP의 샌딩이 GFRP에 대한 프라이머 도포보다 접착강도 증가에 더 큰 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

Fig. 13에서 GFRP에 샌딩이나 프라이머를 도포하지 않은 경우의 접착강도를 정리하였다. 이 때 알루미늄에 샌딩이나 프라이머를 도포하지 않은 경우, 알루미늄에 샌딩만 한 경우 및 알루미늄에 프라이머만 도포한 경우의 접착강도를 정리하였다.

Fig. 13에 의하면, 알루미늄에 샌딩만 한 시편의 접착강도는 6.3MPa로 샌딩이나 프라이머를 도포하지 않은 시편의 접착강도 4.7MPa보다 34.0% 향상되었다. 알루미늄 표면에 폴리우레탄 프라이머를 도포한 시편의 접착강도는 5.4MPa로 샌딩이나 프라이머를 도포하지 않은 시편의 접착강도보다 14.9% 향상되었다.

Fig. 13의 고찰에 의하면, 알루미늄/GFRP 접착 조인트에서 알루미늄의 샌딩이 알루미늄에 대한 프라이머 도포보다 접착강도 증가에 더 큰 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

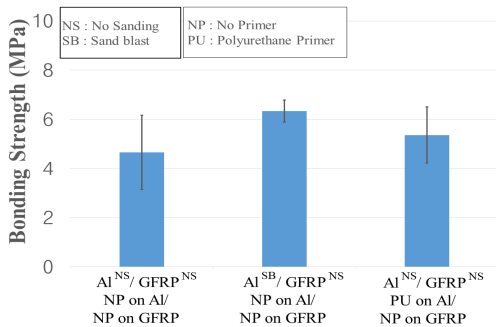


Fig. 13. Bonding strength when sanding and primer are not applied to GFRP

4. 결론

알루미늄과 GFRP의 단일 겹침 조인트에서 샌딩과 프라이머가 접착강도에 미치는 영향을 확인하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 파괴 형태 (Failure Modes)

대부분의 경우 접착파괴 (Adhesive Failure)가 발생하였으나, 알루미늄과 GFRP에 모두 샌딩을 하고 알루미늄에 프라이머가 사용된 시편에서는 응집파괴 (Cohesive

Failure)가 발생하였다. 응집파괴가 발생한 경우에는 상대적으로 더 높은 접착강도를 얻을 수 있었다.

2) 프라이머 도포에 따른 접착강도

일반적으로 프라이머를 도포함으로써 접착강도가 향상되었다. 또한 알루미늄 표면에 프라이머를 도포하는 것이 GFRP 표면에 프라이머를 도포하는 것보다 접착강도가 더 크게 향상되었다. 그 이유는 알루미늄과 접착제 (에폭시) 사이의 낮은 접착성이 알루미늄에 프라이머를 도포함으로써 더 크게 향상되었기 때문이다.

3) 샌딩에 따른 접착강도

샌딩을 통하여 접착강도가 향상되었다. 또한 알루미늄을 샌딩하는 것이 GFRP를 샌딩하는 것보다 접착강도가 더 크게 향상되었다.

4) 샌딩과 프라이머의 상대적 중요성

프라이머보다 샌딩이 접착강도를 더 크게 증가시키는 것을 확인하였다.

References

- [1] T. Ishikawa, K. Amaoka, Y. Masubuchi, T. Yamamoto, A. Yamanaka, M. Arai and J. Takahashi, "Overview of Automotive Structural Composites Technology Developments in Japan," *Composites Science and Technology*, Vol. 155, pp. 221~246, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.09.015>
- [2] H. Kim and H. Kim, "Evaluation of Mechanical and Fracture Properties of Structural Adhesives," *KSAE Annual Conference Proceedings*, pp.1152, 2019.
- [3] V. Anes, R. Pedro, E. Henriques, M. Freitas and L. Reis, "Bonded joints of Dissimilar Adherends at Very Low Temperatures - An Adhesive Selection Approach," *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, Vol. 85, Part A, pp. 99~112, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tafmec.2016.08.012>
- [4] P. Galvez, J. Abenojar and M.A. Martinez, "Durability of Steel-CFRP Structural Adhesive Joints with Polyurethane Adhesives," *Composites Part B : Engineering*, Vol. 165, pp.1~9, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.097>
- [5] W. Lee, S. Yoon, M. Kang, M. Jeong and M. Bae, "A Study on the Design Methodology of Hybrid Joints for the Multi-material Carbody Parts," *Transactions of KSAE*, Vol.28, No.7, pp.463~470, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2020.28.7.463>

- [6] S. Budhe, M.D. Banea, S. de Barros and L.F.M. da Silva, "An Updated Review of Adhesively Bonded Joints in Composite Materials," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 72, pp.30~42, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.10.010>
- [7] G. Jeevi, S.K. Nayak and M.A. Kader, "Review on Adhesive Joints and Their Application in Hybrid Composite Structures," *Journal of Adhesion Science and Technology*, VOL. 33, NO. 14, pp. 1497~1520, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01694243.2018.1543528>
- [8] X. Shang, E.A.S. Marques, J.J.M. Machado, R.J.C. Carbas, D. Jiang and L.F.M. da Silva, "Review on Techniques to Improve The Strength of Adhesive Joints with Composite Adherends," *Composites Part B : Engineering*, Vol. 177, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107363>
- [9] V.H. Martínez-Landeros, S.Y. Vargas-Islas, C.E. Cruz-González, S. Barrera, K. Mourtazov and R. Ramírez-Bon, "Studies on The Influence of Surface Treatment Type, in The Effectiveness of Structural Adhesive Bonding, for Carbon Fiber Reinforced Composites," *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 39, pp. 160~166, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.02.014>
- [10] ASTM International, "ASTM D1002: Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal)," *Annual Book of ASTM Standards*
- [11] ASTM International, "ASTM D5868: Standard Test Method for Lap Shear Adhesion for Fiber Reinforced Plastic (FRP) Bonding," *Annual Book of ASTM Standards*

방 우 석(Wooseok Bang)

[준회원]



- 2022년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학부 (기계공학학사, 예정)

<관심분야>

구조역학, 자동차공학

이 광 주(Kwangju Lee)

[종신회원]



- 1985년 2월 : 서울대학교 항공공학과 (항공공학석사)
- 1991년 11월 : 미국 Virginia Polytechnic Institute and State University (항공우주공학박사)
- 1992년 6월 ~ 1992년 12월 : 국방과학연구소 선임연구원
- 1993년 1월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

구조역학, 재료응용

김 효 성(Hyo-Seong Kim)

[정회원]



- 2021년 8월 : 한국기술교육대학교 일반대학원 기계공학과 (기계공학 석사)
- 2021년 7월 ~ 현재 : 한국자동차연구원 연구원

<관심분야>

구조해석, 복합재료