

# Aluminum / Steel 이종소재 접합의 모재강도 및 두께별 SPR 접합성에 관한 연구

정택언<sup>\*,\*\*</sup> · 김민규<sup>\*</sup> · 이세현<sup>\*\*</sup> · 감동혁<sup>\*,†</sup>

<sup>\*</sup>한국생산기술연구원 용접접합그룹

<sup>\*\*</sup>한양대학교 대학원 융합기계공학과

## Joint Quality Study of Self-piercing Riveted Aluminum and Steel Joints Depending on the Thickness and Strength of Base Metal

Taek-Eon Jeong<sup>\*,\*\*</sup>, Min-Gyu Kim<sup>\*</sup>, Sehun Rhee<sup>\*\*</sup>, and Dong-Hyuck Kam<sup>\*,†</sup>

<sup>\*</sup>Joining R&D group, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon, 21999, Korea

<sup>\*\*</sup>Department of Mechanical Convergence Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : kamdong@kitech.re.kr

(Received May 2, 2019 ; Revised June 14, 2019 ; Accepted June 24, 2019)

### Abstract

Dissimilar joining of aluminum and steel is one of the fundamental techniques for achieving weight reduction in the automotive industry. Self-piercing rivets have been widely adopted for the aluminum-steel lap joint because of its simplicity and high joining strength. In this study, the joining quality of the aluminum-steel joint produced by self-piercing rivets is investigated depending on the strength and thickness of the aluminum sheet. Four different tensile strengths (228, 305, 320, and 326 MPa) of aluminum are considered in this study, which corresponds to A15052-H32, A15754-H18, A15083-H32 and A16061-T6. For the thickness variation test, A15052-H32 sheets with a thickness of 1.2, 1.5, 2.0, 2.5 mm are used. The SPR joint quality was quantified with cross-sectional visual analysis and tensile lap shear test. In aluminum(top)-steel(bottom) SPR joint, it was observed that the joint load increased with increasing aluminum strength up to 320 MPa. Nevertheless, the thickness of top aluminum was found to not affect the joint strength between the thickness of 1.5 ~ 2.5 mm. In steel(top)-aluminum(bottom) SPR joint, it was found that joint strength did not change with aluminum strength but increased with increasing aluminum thickness.

Key Words : Aluminum, Steel, Dissimilar joint, Thickness, Strength of base metal, Self-piercing rivet (SPR)

## 1. 서 론

자동차시장은 연비향상과 배기가스 규제에 대응하기 위하여 차량 경량화에 대한 연구가 진행되고 있다<sup>1)</sup>. 차량 경량화를 위하여 알루미늄, 초고강도강, 복합소재 등의 경량소재 적용이 증가하고 있다<sup>2,3)</sup>. 특히, 알루미늄은 기존 강재 중심의 차체 경량화를 위해 현재 가장 경제적이고 기술적 진입 장벽이 낮은 소재이다. 하지만 알루미늄과 스틸의 이종금속 접합은 아크용접과 같은

기존 용융용접을 사용할 경우 취성이 강한 IMC 층을 형성하기 때문에 CMT(Cold Metal Transfer)와 같이 특수한 아크용접법<sup>4,5)</sup>을 적용하거나 입열을 최소화할 수 있는 레이저를 이용<sup>6)</sup>하여 IMC층을 제어하는 연구결과가 제안되었다. 그리고 마찰교반 용접<sup>7)</sup>, 초음파 용접<sup>8)</sup>과 같은 고상용접을 적용한 연구도 진행되었다. 하지만 IMC 층의 두께를 제어하기에는 한계가 있기 때문에 블라인드 리벳, FDS (Flow Drill Screw), SPR (Self-Piercing Rivet) 등의 기계적 체결이 제안되었다. 특히 SPR 접합은 홀가공이 불필요하고 공정이 단

순하며 다른 용융용접 공정에 비해 유해부산물이 발생하지 않는다는 장점이 있다. 따라서 SPR 접합에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 알루미늄 SPR 접합<sup>9)</sup>, 스틸 SPR 접합에서 리벳의 Flaring에 관한 연구<sup>10)</sup>, 마그네슘 SPR 접합<sup>11)</sup> 등 난접합성 동종소재의 SPR 접합에 관한 다수의 논문이 발표되었다. 또한 이종소재의 SPR 접합에 관한 연구는 리벳길이와 다이형상에 따른 SPR 접합성 평가<sup>12)</sup>, 모재스틸 코팅층에 따른 SPR 접합하중 비교<sup>13,14)</sup>, 유한요소해석을 이용한 이종소재의 SPR 접합특성 연구<sup>15,16)</sup> 등이 진행되었다. 하지만 알루미늄과 강재의 이종소재 SPR 접합에서 모재의 강도와 두께에 따른 접합성에 대한 연구는 부족하였기 때문에 본 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 알루미늄의 상하관 위치에 따른 알루미늄 모재강도 및 알루미늄 두께에 대한 SPR 접합성을 평가하였다. 사용된 소재는 알루미늄 합금 4종류와 590 MPa급 강판을 사용하였다. 단면 품질 측정인자인 Interlock과 Bottom thickness의 상관관계를 분석하였으며 SPR 접합 인장하중 및 파단모드를 평가하였다.

## 2. 실험방법

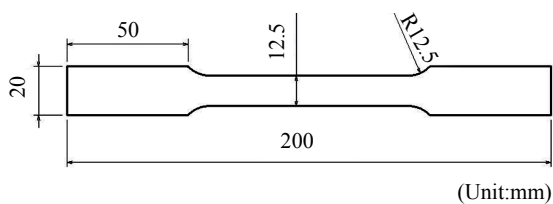
### 2.1 실험 재료

본 실험에서는 Table 1과 같이 4종류의 알루미늄 합금(AI5754 H18, AI5083 H32, AI6061 T6, AI5052 H32) 모재로 사용되었다. 스틸 모재는 두께 1.0 mm의 SPFC590DP를 사용하였다.

모재 인장평가는 ASTM E8M 규격 (Fig. 1)에 따라 진행하였고 이를 Table 1에 나타내었다.

**Table 1** Tensile strength of base metals

Material	Thickness [mm]	UTS [MPa]	YS (MPa)
AI5052H32	1.2, 1.5, 2.0, 2.5	228	193
AI5754H18	2.0	305	280
AI5083H32	2.0	320	250
AI6061T6	2.0	326	287
SPFC590DP	1.0	609	374



**Fig. 1** Schematic diagram of ASTM E8M standard

SPR 접합 실험에서 사용된 장비는 Bollhoff 사의 유압식 RIVSET® GEN 2 (Fig. 2)를 사용하였으며, Setting force는 최대78 kN까지 사용 가능하다.

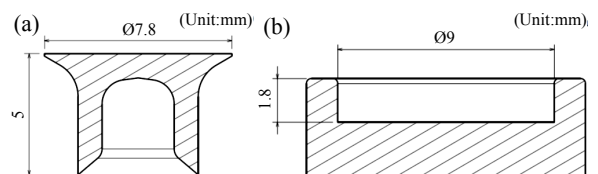
SPR 리벳은 480±30 Hv의 경도값을 가지며 표면에 Almac 코팅처리 된 보론강 (Boron steel) 재질을 사용하였다. 본 실험에서 사용한 리벳과 다이는 Bollhoff사 제품을 사용하였다. Fig. 3 과 같이 리벳 다리 끝부분이 뾰족한 C-type 리벳을 사용하였으며, 다이는 바닥면이 평평한 형태인 FM-type 다이를 사용<sup>17)</sup>하였다.

알루미늄과 스틸의 SPR 접합 인장시험편은 Fig. 4 와 같이 KS B ISO 14273 시험편 규격으로 제작<sup>18)</sup>하였다.

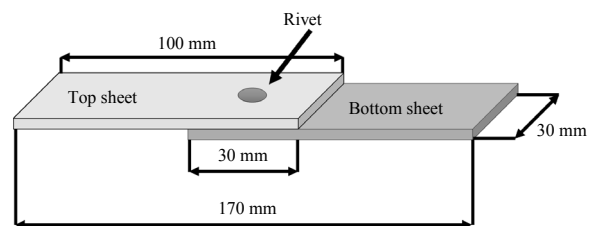
Fig. 5는 SPR 접합부 단면의 주요 측정인자를 표기하였다. 상부판재로부터 리벳이 돌출된 길이인 Head



**Fig. 2** Configuration of self-piercing rivet equipment



**Fig. 3** Geometries of C-type SPR rivet (a) and FM-type SPR die (b)



**Fig. 4** Tensile shear specimen geometry of SPR joints

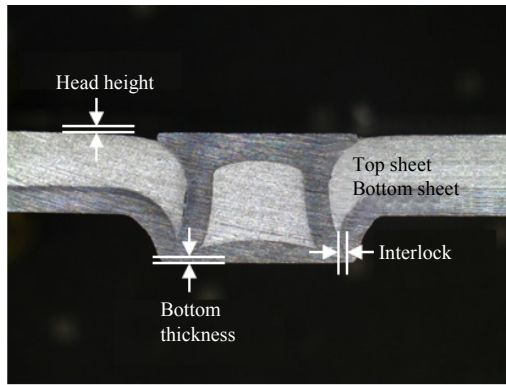


Fig. 5 SPR Measurements by cross-section

height는 다이얼 게이지를 통해 측정하였으며, 본 연구의 모든 실험에서 Head height는  $0 \pm 0.05$  mm로 유지하였다. 하판에서 리벳이 벌어진 길이인 Interlock과 리벳이 삽입된 후 하판의 최소길이인 Bottom thickness는 광학현미경을 통해 측정하였다.

전단인장시험편은 각 조건당 3개의 시편을 제작하였다. Shimadzu AG-300kNX 만능재료시험기를 사용하였으며, 인장속도는 3 mm/min로 설정하여 인장시험을 진행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 알루미늄 합금 모재강도 변화

##### 3.1.1 SPR 접합부 단면 및 측정인자

알루미늄과 스틸 이중소재의 SPR 접합에서 Fig. 4와 같이 알루미늄 판재의 위치와 알루미늄 모재강도에 따른 SPR 접합성을 비교하였다. 알루미늄 합금 소재의 위치는 알루미늄이 상판, 스틸이 하판에 위치하는 알루미늄-스틸 조합과 스틸이 상판, 알루미늄이 하판에 위치하는 스틸-알루미늄 조합 2가지로 구분하였다. 알루미늄 소재의 모재강도는 228 (Al5052-H32), 305 (Al5754-H18), 320 (Al5083-H32), 326 (Al6061-T6) MPa이며 모두 두께 2.0 mm 판재를 사용하였다. 스틸은 두께 1.0 mm의 SPFC590DP 판재를 사용하였다. 본 실험에서 C-type SPR 리벳 길이는 5.0 mm 그리고 FM-type SPR 다이는 직경 9.0 mm로 동일하게 적용하였다.

알루미늄이 상판, 스틸이 하판에 위치한 알루미늄-스틸 SPR 접합부의 단면은 Fig. 6과 같다. 상판 알루미늄 모재강도 228, 305 MPa에서 리벳 Cavity가 생성되지 않았지만, 320, 326MPa에서 리벳 Cavity가 생성되었다. 또한 알루미늄 모재강도 320MPa에서 326MPa로 증가할 때 리벳 Cavity의 수직거리는 0.65 mm에서 0.81 mm로 증가하였다. 이는 상판 모재강도로 인해

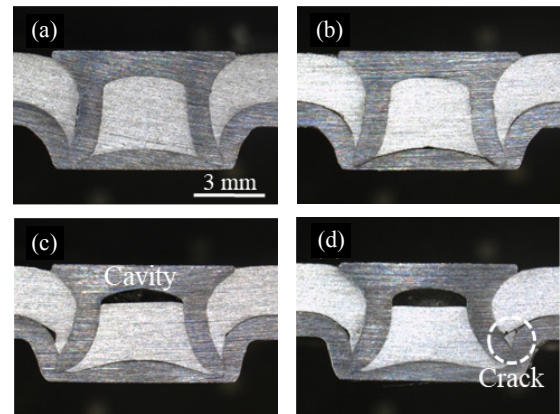


Fig. 6 Cross-sections of the Aluminum (Top) - Steel (Bottom) SPR joints with 4 different aluminum alloy base metal strength: (a) 228 MPa (Al5052-H32), (b) 305 MPa (Al5754-H18), (c) 320 MPa (Al5083-H32) and (d) 326 MPa (Al6061-T6)

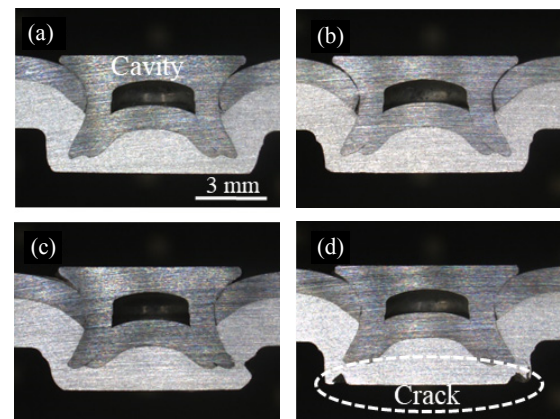


Fig. 7 Cross-sections of the Steel (Top) - Aluminum (Bottom) SPR joints with 4 different aluminum alloy base metal strength: (a) 228 MPa (Al5052-H32), (b) 305 MPa (Al5754-H18), (c) 320 MPa (Al5083-H32) and (d) 326 MPa (Al6061-T6)

리벳이 받는 저항력이 증가하여 상판 판동에 영향을 받았다고 판단된다. 또한 Fig. 6 (d)와 같이 알루미늄이 소성변형되며 알루미늄 소재에 Crack이 발생하였다. 스틸 상판 알루미늄 하판에 위치한 스틸-알루미늄의 단면은 Fig. 7과 같이 나타내었다. 알루미늄 모재강도가 가장 큰 Fig. 7 (d)에서는 Fig. 6 (d)와 마찬가지로 알루미늄에서 Crack이 발생하였다. 알루미늄 모재강도가 326 MPa인 Al6061-T6는 다른 5xxx계 알루미늄 소재보다 인장강도와 항복강도가 높고 성형성이 낮기 때문에 알루미늄 소재에서 Crack이 발생되었다. 이러한 Crack은 부식에 대한 취약부 및 품질불량문제를 야기시킬 수 있다. 또한 Fig. 7에서는 하판 알루미늄의 강도와 상관없이 단면에서 Cavity를 형성하였다. 그 이유는 리벳으로 인해 상판 스틸은 전단성형이 이루어

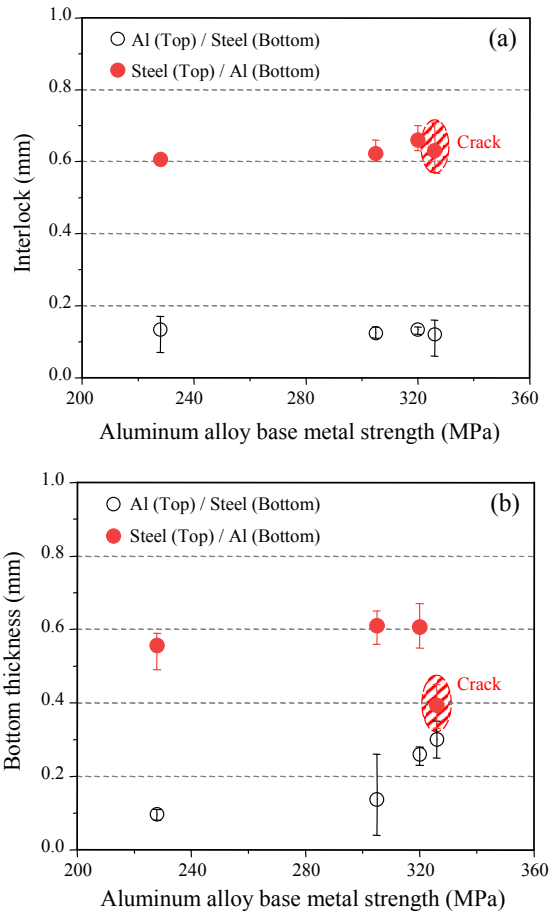


Fig. 8 SPR Measurements of SPR joints with 4 different aluminum alloy base metal strength: (a) Interlock and (b) Bottom thickness

지며 리벳 안쪽에 스틸이 존재하게 된다. 이러한 잔여 스틸은 강도가 높고 연성이 낮기 때문에 소성변형의 어려움이 존재하므로 Cavity가 생성된 것으로 추정된다<sup>18)</sup>.

SPR 접합부의 단면의 품질측정인자는 광학현미경을 통해 수치화하였으며, 이를 Fig. 8과 같이 그래프로 나타내었다. 알루미늄이 상판에 위치한 알루미늄-스틸의 경우, Fig. 8 (a)와 같이 Interlock은 상판 알루미늄 모재강도에 따른 차이를 보이지 않았지만, 상판 알루미늄 모재강도가 증가함에 따라 Fig. 8 (b)와 같이 Bottom thickness가 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 상판 알루미늄 모재강도가 증가할수록 리벳이 관통하며 받는 저항력이 증가하여 리벳이 관재로 덜 삽입되었다고 추정된다. 알루미늄이 하판에 위치한 스틸-알루미늄의 경우, 하판 알루미늄 모재강도가 320 MPa까지 증가할수록 Interlock과 Bottom thickness는 증가하는 경향을 보였다. 하지만 알루미늄 모재강도가 326 MPa (Al6061-T6)에서는 하판 알루미늄 소재에서 Crack으로 인한 접합불량이 발생하였다.

### 3.1.2 SPR 접합부 인장하중 및 파단모드

알루미늄과 스틸의 SPR 접합에서 알루미늄 위치와 알루미늄 강도에 따른 전단인장시험을 진행하였다. SPR 접합부의 인장하중은 Fig. 9와 같이 그래프로 나타내었다. 알루미늄이 상판에 위치할 경우, 알루미늄 모재강도가 증가함에 따라 Fig. 9와 같이 인장하중이 증가하는 경향을 나타내었다. 인장시험 후 Fig. 10 (a)와 같이 리벳 접합부 주변에서 굽힘으로 인해 판재가 변형된 것을 확인할 수 있다. 상판 알루미늄의 모재강도가 클수록 굽힘에 저항하는 힘이 커지기 때문에 상판 알루미늄 모재강도에 따라 인장하중이 상승한 것으로 추정된다. 또한 하판 스틸의 두께가 1.0 mm로 얇고, Fig. 8에서 보여진 것처럼 Interlock과 Bottom thickness가 충분하지 않기 때문에 Fig. 10 (a)와 같이 하판 스틸에서 Rivet pull-out 파단이 발생하였다. 하판에 알루미늄이 위치한 스틸-알루미늄 조합의 경우, 상판 스틸의 두께가 1.0 mm로 얇아 접합부 파단에 취약하기 때문에 하판 알루미늄의 모재강도에 관계없이 Fig. 9와 같이 인장하중이 유사하였다. 파단모드는 공통적으로 Fig. 10 (b)와 같이 상판 스틸에서 굽힘변형과 파손이 일어났으며, 하판 알루미늄에서 Rivet pull-out이 함께 발생한 복합모드이다. 또한 알루미늄 강도 326 MPa (Al6061-T6) 조건에서는 SPR 접합 후 발생한 하판 Crack이 발생하였지만, Interlock 길이가 충분하기 때문에 인장하중에 영향을 미치지 않았다.

## 3.2 알루미늄 합금 두께 변화

### 3.2.1 SPR 접합부 단면 및 측정인자

알루미늄과 스틸의 SPR 접합에서 알루미늄의 위치와 두께에 따른 SPR 접합성을 비교하였다. 알루미늄 소재는 두께 1.2, 1.5, 2.0, 2.5 mm인 Al5052-H32를

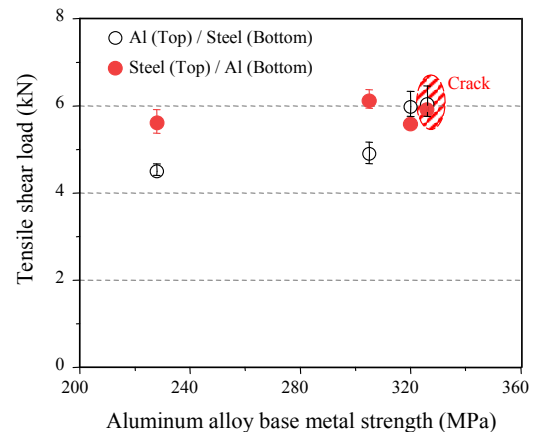
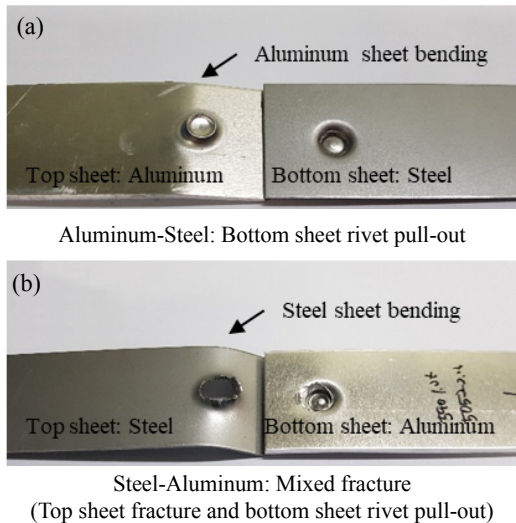


Fig. 9 Tensile shear load of SPR joints with 4 different aluminum alloys base metal strength

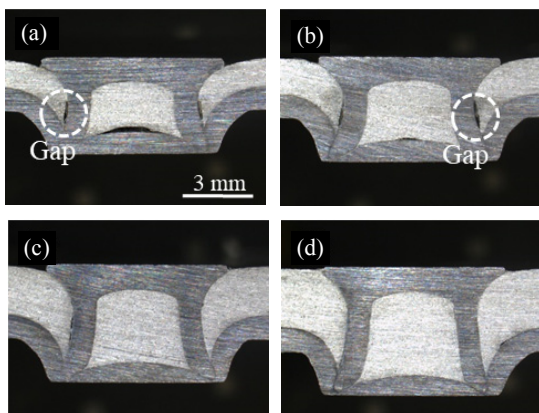




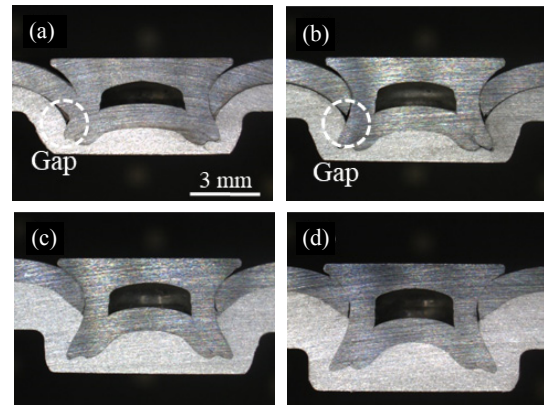
**Fig. 10** Fracture modes for SPR joints samples: (a) Steel (Top) - Aluminum (Bottom) and (b) Aluminum (Top) - Steel (Bottom)

사용하였으며, 스틸은 두께 1.0 mm인 SPFC590DP를 사용하였다. SPR 리벳의 길이는 상하판 두께합 + 2.0 mm로 설정하였으며 C-type SPR 리벳을 사용하였다. SPR 다이는 직경 9.0 mm의 FM-type 다이를 사용하였다.

SPR 접합에서 알루미늄이 상판 스틸이 하판에 위치한 알루미늄-스틸의 단면은 Fig. 11과 같다. Fig. 11 (a), (b)와 같이 상판 알루미늄의 두께가 1.2, 1.5 mm인 경우, 리벳 주위에 틈이 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 틈은 SPR 다이의 형상 치수와 관련이 있는데, 본 실험에서는 직경 9.0 mm, 깊이 1.8 mm인 다이를 고정으로 사용하였다. 상판 알루미늄 두께가 Fig. (c), (d)와 같이 증가하면, SPR 다이 깊이까지 알루미늄 소



**Fig. 11** Cross-sections of the Aluminum (Top) - Steel (Bottom) SPR joints with 4 different aluminum alloys thickness: (a) 1.2 mm, (b) 1.5 mm, (c) 2.0 mm and (d) 2.5 mm



**Fig. 12** Cross-sections of the Steel (Top) - Aluminum (Bottom) SPR joints with 4 different aluminum alloys thickness: (a) 1.2 mm, (b) 1.5 mm, (c) 2.0 mm and (d) 2.5 mm

재가 충분히 충전 되었기 때문에 리벳 주위 틈이 사라진 것으로 추정된다. 알루미늄이 하판에 위치하는 스틸-알루미늄의 단면은 Fig. 12와 같다. Fig. 12 (a), (b)와 같이 하판 알루미늄 두께 1.2, 1.5 mm에서 틈이 존재하였다. SPR 다이의 깊이가 1.8 mm이며, 하판 알루미늄의 두께가 SPR 다이깊이 보다 작기 때문에 하판 알루미늄이 충전되지 못하였다. 그 결과, 상판 스틸과 하판 알루미늄 사이에 틈이 생긴 것으로 판단된다. Fig. 12 (c), (d)와 같이 하판 알루미늄의 두께가 2.0, 2.5 mm로 증가하면, SPR 다이에서 하판 알루미늄이 충분히 충전 되었기 때문에 틈이 사라졌다고 추정된다. 따라서 소재두께를 변화시킨다면, 하판 SPR 다이의 깊이도 고려하여야 한다고 판단된다.

SPR 접합부 단면 Fig. 11, 12에서 측정된 품질측정인자는 Fig. 13 과 같이 그래프로 나타내었다. 상판에 알루미늄이 위치한 알루미늄-스틸의 경우, 상판 알루미늄의 두께가 증가할수록 Fig. 13 (a)와 같이 Interlock 길이는 감소하였다. 상판 알루미늄의 두께가 증가할수록 SPR 리벳의 길이는 증가하였지만, SPR 다이의 직경은 9.0 mm로 고정하였다. 그로 인해 하판에서 성형될 때 리벳의 Flaring이 원활히 이루어지지 못하여 Interlock이 짧아졌다고 추정된다. Fig. 11에서 확인했듯이, 스틸의 두께가 1.0 mm로 얇기 때문에, Fig. 13 (b)와 같이 Bottom thickness의 변화는 큰 차이가 없었다. 그러나 알루미늄이 하판에 위치한 스틸-알루미늄의 경우, 하판 알루미늄 두께가 증가하면 Fig. 12와 같이 체결 가능 길이가 증가하여 Interlock은 증가하였다. 또한 하판 알루미늄의 두께가 증가할수록 Fig. 13 (b)와 같이 Bottom thickness가 증가하는 경향을 나타내었다.

3.2.2 SPR 접합부 인장하중 및 파단모드

알루미늄과 스틸의 SPR 접합부에서 알루미늄의 위치와 두께에 따른 전단인장시험을 진행하였다. 알루미늄이 상판에 위치한 알루미늄-스틸의 경우, 상판 알루미늄 소재는 인장시험 중 Fig. 10 (a)와 같이 굽힘변형이 일어났다. 상판 알루미늄 두께가 증가할수록 굽힘에 대한 저항력이 증가하기 때문에 인장하중은 상판 알루미늄 두께 2.0 mm까지 증가하는 경향을 보였다. 하지만 알루미늄 두께 2.5 mm에서는 Fig. 13 (a)와 같이 Interlock이 감소하였기 때문에 인장하중이 감소하였다고 판단된다. 또한 Fig. 14와 같이 알루미늄 두께에 따른 인장하중의 차이가 크지 않은 이유는 파단모드가 모두 동일하게 Fig. 10 (a)와 같이 하판 스틸에서 Rivet pull-out이었다. 위와 같은 Rivet pull-out 파단모드는 SPR 다이와 리벳을 변화시킨 공정최적화를 진행하거나, 하판 스틸의 두께를 증가시키면 더 높은 인장하중 값을 얻을 것이라고 판단된다. 알루미늄이 하판에 위치한 스틸-알루미늄의 경우, Fig. 13에서 확인할 수 있듯이, 하판 알루미늄 두께가 증가함에 따라 Interlock과 Bottom thickness는 선형적으로 증가하였다. 그 결

과, Fig. 14와 같이 인장하중이 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만 하판 알루미늄 두께 1.5 mm 이하에서는 판재의 두께가 얇기 때문에 Fig. 15 (a), (b)와 같이 상판 스틸에서 굽힘변형이 일어난 후 하판 알루미늄에서 Rivet pull-out 파단이 일어났다. 반면에 하판 알루미늄의 두께 2.0 mm에서는 Fig. 10 (b) 처럼 상판 스틸이 파손과 하판 알루미늄에서 Rivet pull-out

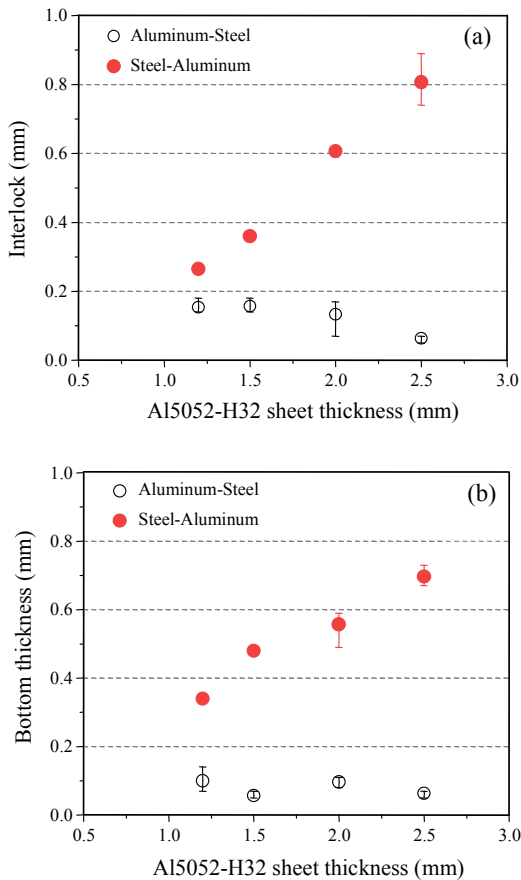


Fig. 13 SPR Measurements of SPR joints with 4 different Al5052-H32 sheet thickness: (a) Interlock and (b) Bottom thickness

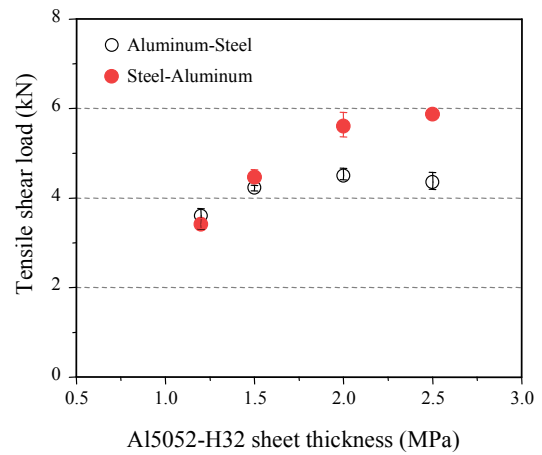


Fig. 14 Tensile shear load of SPR joints with 4 different Al5052-H32 sheet thickness

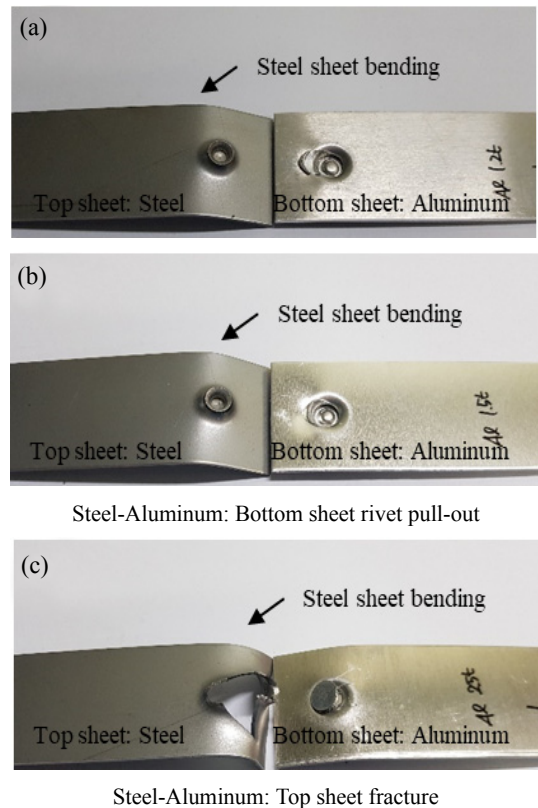


Fig. 15 Fracture modes for SPR joints samples: (a) Al5052-H32 1.2 mm, (b) Al5052-H32 1.5 mm and (c) Al5052-H32 2.5 mm

이 발생하였다. 하판 알루미늄 두께 2.5 mm에서는 Fig. 15 (c)처럼 리벳이 하판 알루미늄에 존재하였고, 상판 스틸이 파손되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 알루미늄과 스틸의 SPR 접합에서 알루미늄 합금의 모재강도 및 소재두께에 따른 SPR 접합 성 평가를 수행하였다. 단면을 통해 품질측정인자를 측정하였고, 전단인장시험을 통해 인장하중을 확인하였다. 인장시험 후 파단모드를 비교 해보았으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 알루미늄이 상판에 위치한 알루미늄-스틸의 경우, SPR 접합 후 상판 알루미늄의 모재강도가 증가할수록 리벳의 Cavity가 커지는 것을 단면을 통해 확인 할 수 있었다. 또한 상판 알루미늄 모재강도가 클수록 굽힘저항력이 크기 때문에 인장하중이 모재강도에 따라 증가하는 경향을 보였다.

2) 알루미늄이 하판에 위치한 스틸-알루미늄의 경우, 하판 알루미늄의 강도 326 MPa (Al6061-T6)에서 성형성이 낮기 때문에 Crack이 발생하였다. 하지만 Crack으로 인한 인장하중의 변화는 없었으며, 하판 알루미늄 모재강도에 따른 인장하중의 변화도 미미하였다.

3) 알루미늄이 상판에 위치한 알루미늄-스틸의 경우, 상판 알루미늄의 두께 1.2, 1.5 mm에서 알루미늄과 리벳 사이 틈이 존재하였다. 상판 알루미늄 두께 2.5 mm에서는 SPR 접합에 사용한 다이의 직경이 9.0 mm로 고정되었기 때문에 리벳의 Flaring이 원활하지 않았다. 또한 상판 알루미늄의 두께가 증가하여도 하판 스틸의 두께가 얇고 Interlock과 Bottom thickness가 작기 때문에 모든 조건에서 하판 Rivet pull-out 파단이 발생하였다.

4) 알루미늄이 하판에 위치한 스틸-알루미늄의 경우, 하판 알루미늄의 두께가 증가할수록 Interlock과 Bottom thickness가 선형적으로 증가하였다. 인장 후 파단모드는 하판 알루미늄 두께 1.2, 1.5 mm에서 하판 Rivet pull-out, 2.0 mm에서는 상판 스틸이 파손과 하판 Rivet pull-out가 복합적으로 발생하였다. 마지막으로 하판 알루미늄 두께 2.5 mm에서는 리벳이 하판에 존재하고 상판 스틸이 파손되었다.

#### 후 기

본 연구는 산업통상자원부 산업소재핵심기술개발사업(과제번호: 10063579)의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

ORCID: Taek-Eon Jeong: <https://orcid.org/0000-0002-0829-2170>  
 ORCID: Min-Gyu Kim: <https://orcid.org/0000-0002-0835-6998>  
 ORCID: Sehun Rhee: <https://orcid.org/0000-0002-0039-5650>  
 ORCID: Dong-Hyuck Kam: <http://orcid.org/0000-0002-4027-3973>

#### References

1. An, F., Earley, R., & Green-Weiskel, L., Global overview on fuel efficiency and motor vehicle emission standards: policy options and perspectives for international cooperation, *United Nations background paper*, 3 (2011), 1-21
2. Mock, P., Reducing CO<sub>2</sub> and fuel consumption from new cars: Assessing the near-term technology potential in the EU, *Berlin, ICCT*, (2013), 1-8
3. Heuss, R., Müller, N., van Sintern, W., Starke, A., and Tschiesner, A., Lightweight, heavy impact, How carbon fiber and other lightweight materials will develop across industries and specifically in automotive, (2012), 1-21
4. Yang, S., Zhang, J., Lian, J., & Lei, Y., Welding of aluminum alloy to zinc coated steel by cold metal transfer, *Materials & Design*, 49 (2013), 602-612  
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.01.045>
5. Y. Kim, K.-Y. Park and K.-D. Lee, Steel to Aluminum Joining by Arc Process, *Journal of KWJS*, 28(5) (2010), 493-495  
<https://doi.org/10.5781/KWJS.2010.28.5.001>
6. S. Katayama, Laser Welding of Aluminum Alloys and Dissimilar Metals, *Welding International*, 18(8) (2004), 618-625  
<https://doi.org/10.1533/wint.2004.3315>
7. Watanabe, T., Takayama, H. and Yanagisawa, A., Joining of aluminum alloy to steel by friction stir welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 178(1-3) (2006), 342-349  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.04.117>
8. Watanabe, T., Sakuyama, H. and Yanagisawa, A., Ultrasonic welding between mild steel sheet and Al-Mg alloy sheet, *Journal of Materials Processing Technology*, 209(15-16) (2009), 5475-5480  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2009.05.006>
9. Li, D. Z., Han, L., Lu, Z. J., Thornton, M and Shergold, M., Influence of die profiles and cracks on joint buttons on the joint quality and mechanical strengths of high strength aluminium alloy joint, *In Advanced Materials Research Trans Tech Publications* 548 (2012), 398-405  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.548.398>
10. Haque, R., Williams, N. S., Blacket, S. E. and Durandet, Y. A simple but effective model for characterizing SPR joints in steel sheet, *Journal of Materials Processing Technology*, 223 (2015), 225-231  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.04.006>
11. Esfahani, M., Durandet, Y., Wang, J. and Wong, Y. C., Effect of joining process on the coatings of self-piercing rivets, *In Advanced Materials Research Trans Tech Publications*, 488 (2012), 1501-1505  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.488-489.1501>

12. Ma, Y., Lou, M., Li, Y. and Lin, Z. Effect of rivet and die on self-piercing rivetability of AA6061-T6 and mild steel CR4 of different gauges, *Journal of Materials Processing Technology*, 251 (2018), 282-294  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.08.020>
13. Han, L., Young, K. W., Hewitt, R., Alkahari, M. R. and Chrysanthou, A., Effect of sheet material coatings on quality and strength of self-piercing riveted joints, *SAE Technical Paper*, 01-0775 (2006)  
<https://doi.org/10.4271/2006-01-0775>
14. Han, L. and Chrysanthou, A., Evaluation of quality and behaviour of self-piercing riveted aluminium to high strength low alloy sheets with different surface coatings, *Materials & Design*, 29(2) (2008) 458-468  
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.12.020>
15. Abe, Y., Kato, T. and Mori, K., Joinability of aluminium alloy and mild steel sheets by self piercing rivet, *Journal of Materials Processing Technology*, 177(1-3) (2006), 417-421  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.04.029>
16. Abe, Y., Kato, T. and Mori, K., Self-piercing riveting of high tensile strength steel and aluminium alloy sheets using conventional rivet and die, *Journal of Materials Processing Technology*, 209(8) (2009), 3914-3922  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.09.007>
17. N.-K. Jeon, S. Rhee and D.-H. Kam, Parametric Study of Self-Piercing Riveting for CFRP-Aluminum Dissimilar Joint, *Journal of Welding and Joining*, 36(3) (2018), 8-17  
<https://doi.org/10.5781/JWJ.2018.36.3.2>
18. N.-K. Jeon, T.-E. Jeong, S. Rhee and D.-H. Kam, Evaluation of CFRP/Steel/Aluminum Three Layer Joining with Self-Piercing Rivet, *Journal of Welding and Joining*, 37(1) (2019), 56-60  
<https://doi.org/10.5781/JWJ.2019.37.1.7>