

Hybrid SPR 접합을 적용한 이종소재 인장전단에 관한 연구

유관종*, 최두복*[#], 김재열**

*조선대학교 미래사회융합대학 신산업융합학부, **조선대학교 기계공학과

Investigating the Tensile-Shear of Dissimilar Materials Joined Using the Hybrid SPR Technique

Kwan-jong Yu*, Du-bok Choi*[#], Jae-yeol Kim**

*College of Future Society Convergence Department of Advanced Industry Convergence, Chosun Univ.,

**The department of Mechanical Engineering, Chosun Univ.,

(Received 29 July 2020; received in revised form 13 August 2020; accepted 17 August 2020)

ABSTRACT

Self-piercing rivets are often used in the automotive industry, among other industries, as mechanical components to join multiple materials such as aluminum alloys. Self-piercing rivets have a strong sealing property, although there is considerable scope for their performance improvement. In this study, to enhance the performance of self-piercing rivets, the hybrid self-piercing riveting (SPR) technique, using the existing SPR and structural adhesive, was proposed. Moreover, heterogeneous material specimens subjected to the hybrid SPR technique were manufactured and tested. The joint strength of the test pieces of different materials was evaluated through finite element analyses.

Key Words : SPR(셀프 피어싱 리벳), Hybrid SPR(하이브리드 셀프 피어싱 리벳), Adhesives(접착제), Dissimilar Materials(이종소재), Tensile Shear Test(인장 전단 시험), FEA(유한요소해석)

1. 서 론

최근 산업의 발전으로 인해 배기가스 배출이 지구온난화와 환경 파괴의 주범으로 인식되어 선진국을 중심으로 모든 산업에서 배기가스 감축을 위해 노력 중이다. 특히 자동차 산업에서의 연비개선 노력이 경쟁적으로 이루어지고 있으며, 기존의 철강재에서 경량소재를 적용하여 많은 연구가 진행 중

이다. 이는 친환경 전기자동차, 수소차 등의 개발에도 많은 도움이 되고 있다^[1].

자동차 산업에서 알루미늄 합금과 함께 경금속의 적용이 증가함에 따라 적용된 재료의 따라 가장 적합한 용접 및 접합 방법을 선택해야 한다. SPR 조인트는 일반적으로 강도가 높아 이종재료 접합에 적용할 수 있다. 자동차 산업에 적용하기 위한 SPR 결합의 특성은 밀봉 특성이다. SPR 접합에 하부 시트가 완전히 침투하지 않기 때문에 접합부에서의 수분 및 물의 누출이 발생하지 않으며 부식 방지도 좋다^[2].

Corresponding Author : choidb@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7956, Fax: +82-62-234-3015

Kim 등은 이종 재료의 접합에 AHSS 및 알루미늄 합금과의 접합 조건을 위해 SPR용 셀프 피어싱 리벳과 앤빌을 설계해, 다양한 조건에서 시뮬레이션을 수행하였고^[3],

Ahn 등은 클린칭 접합시 고장력강의 변형없이 알루미늄의 변형만을 이용한 홀 클린칭 접합공정을 개발하여, 설계된 클린칭 접합공정의 유효성을 평가하기 위해 유한요소해석을 수행하였고, 홀 클린칭 접합의 접합강도는 인장전단시험을 통하여 평가하였다^[4].

Kim 등은 SPR과 하이브리드 접합에 의한 압출 알루미늄 단일 랩 조인트의 피로 수명을 준 정적 및 피로테스트를 기반으로 특성화했고, 준 정적 인장시험에서 SPR 접합 시편에서 리벳 꼬리 인발 파단이 발생하는 이유는 박리 응력으로 인해 리벳이 접합부에서 분리되기 때문에 접합 시편의 리벳이 분리되는 것을 효과적으로 방지하기 위해 접착제를 고려했다^[5].

Miyashita 등은 AM50 마그네슘 합금 시트를 사용하여 SPR 접합을 수행하였고, 접합 실험결과 합금의 성형성이 좋지 않아 하부 Sheet에서 균열이 발생하기 쉬웠으며, 조인트의 정적 및 피로 강도는 전단인장 하중 조건에서 평가하였다^[6].

본 연구에서는 SPR 접합의 특성을 제고하기 위해 기존의 SPR 접합 전에 접착제를 함께 사용한 Hybrid SPR 접합방법에 대한 연구를 수행하였다. 시뮬레이션은 시간과 비용을 절약할 수 있고, 설계 대상의 형상 변화가 쉽기 때문에 형상의 설계변수를 통한 다양한 접합 시뮬레이션이 가능하다. Hybrid SPR 접합부 특성평가를 위하여 선행연구로 Hybrid SPR 접합부 공정의 실제 조건에 따라 비선형 구조물의 동적거동을 모사할 수 있는 유한요소 프로그램인 ANSYS를 사용하였고, 인장전단 시험을 통해 해석과 시험 값을 비교하여 기술하였다^[7].

2. Hybrid SPR

갈바니 부식(galvanic corrosion)을 현실적으로 막는 방법은 접합면에 수분이 접근하지 못하게 하는 것이다. 현재의 기계적 결합방법은 대부분 밀봉 기능이 없어 갈바니 부식문제를 야기시킨다. 이에 본

연구에서는 SPR 접합의 밀봉기능을 제고하기 위해 이종소재 접합면에 접착제를 도포한 후 기존의 기계적 접합인 SPR 접합을 함께 실시하는 하이브리드(Hybrid) 접합법을 제안한다.

2.1 SPR(Self Piercing Rivet)

셀프 피어싱 리벳(SPR)은 블라인드 및 솔리드 리벳의 개념적으로 동일한 결합 작용을 제공하여 알루미늄, 강철, 플라스틱 또는 복합재와 같은 둘 이상의 이종 재료를 기계적으로 연결한다. 이러한 리벳은 사전에 홀 드릴링이 필요하지 않기 때문에 접합공정이 간소화된다. 리벳구조는 반 관형 구조와 유사하여 리벳 스템(헤드와 반대쪽)에 막힌 구멍이 있지만 추가 모따기는 재료의 피어싱을 가능하게 한다. 리벳의 셋업 과정은 유압 또는 전기 세터 드라이버를 사용하여 리벳을 재료로 단일 단계 기술이다. 리벳 세터 선택은 결합주기 시간에 영향을 미치며 1초 정도 소요될 수 있다. 리벳 변형은 꼬리가 가장 낮은 재료 층에 맞물려 작은 버튼을 생성한다. 세터는 리벳이 재료의 최상층을 관통하게 하는 반면, 가장 낮은 것은 변형되지만 공정의 끝에서 관통되지 않는다. 이러한 측면은 물 또는 가스로부터 조인트 밀봉을 보장한다. Fig. 1은 셀프 피어싱 리벳 설정 단계를 나타낸다. 금속 판재를 뚫기 위해서는 리벳이 더 딱딱해야 하는 것은 분명하다. 그렇기 때문에 결합 될 재료에 따라 리벳은 상이한 수준의 경화 열처리를 거친다. 리벳 경도와 결합 될 재료의 적절한 일치를 찾는 것은 필수적이다. 리벳이 판재의 비례 너무 연약한 경우 리벳은 리벳 가공 과정에서 버클이 걸리거나 압축된다. 반대로, 금속 판재에 비해 너무 단단하면 리벳은 세팅 후에 작은 변형을 보일 것이다. 이는 서로 다른

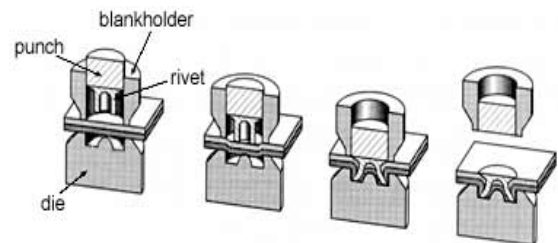


Fig. 1 Self-piercing rivets setting steps

재료 판재 사이의 연동이 불충분하고 결과적으로 접합 강도가 낮음을 의미한다. 생산적인 관점에서 셀프 피어싱 리벳(SPR)의 이점은 다음과 같다.

- 고강도
- 우수한 반복 가능한 품질
- 단일 단계 공정(사전 드릴링이 필요 없음)
- 육안 검사에 적합
- 금속 및 비금속 재료를 결합할 수 있는 가능성
- 다양한 재료 강도 및 두께를 결합할 수 있는 유연성

2.2 접착제(Adhesives)

일반적인 접착제는 서로 다른 두 가지 성분의 한 쪽 또는 양쪽 표면에 적용되는 서로 다른 성질의 화학 물질이 서로 결합하여 분리되지 않게 한다. 접착제는 응력이 큰 구성 요소간에 하중을 전달하거나 공유하기 충분한 강도 있는 경우 구조적 이다. 구조용 접착제 분야에서 결합된 구성 요소를 분리하기 위해서는 최소 6.9MPa의 하중이 필요하다.

강철, 알루미늄, 탄소섬유 등을 접착하는데 접착제를 사용할 수 있다. 접착제를 중량 절감 외에도 구멍(hole)이 필요하지 않으므로 조립 공정이 줄어들고, 전반적인 비용 절감의 원인이 된다. 접착제 사용 시에는 접착 표면 세정, 고정 및 경화와 같은 접착력을 최대화하기 위해 특정 표면처리가 여전히 필요하다는 것을 고려해야 한다. 표면처리 여부가 처리시간과 비용을 결정하기 때문이다^[8].

3. 시험방법

3.1 사용된 재료와 시편 제작

본 연구에 사용된 재료는 두께 2mm의 Al5083, 두께 1.2mm의 SGACEN, SGARC780, SABC1470을 사용하였다. 시편 물성은 Table 1과 같다. 정적 강도 시험을 위해 시편 100×30mm 크기로 절단하여 Fig. 2와 같이 겹치기 이음하였고, 상온 경화가 가능하고 가장 우수한 접합 강도를 보유한 접착제로 평가되는 자동차산업에서 주로 사용되는 구조용 접착제인 Plexus MA 420을 사용한 후 SPR을 적용하

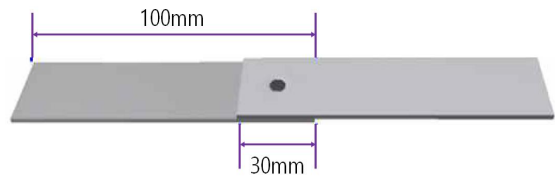


Fig. 2 Lap joint specimen size

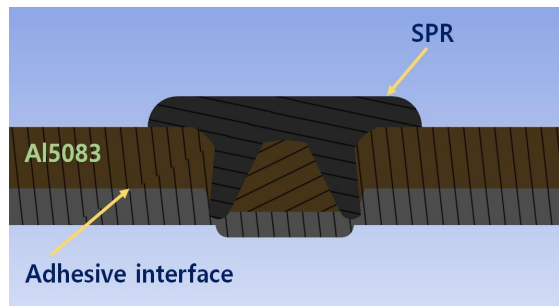


Fig. 3 Specimen cross section

Table 1 Specimen properties

No.	Combination	Thickness [mm]
1	Al5083	2
	SGACEN	1.2
2	Al5083	2
	SGARC780	1.2
3	Al5083	2
	SABC1470	1.2

여 시편을 제작하였다. Fig. 2는 겹치기 이음 시편의 크기를 나타낸다. Fig. 3은 시편의 단면형상을 나타내며 상판은 Al5083이며, 하판은 SGACEN, SGARC780, SABC1470을 적용하였고, SPR을 나타냈다.

3.2 강도평가

인장전단 시험은 신강정밀공업(주)의 SGA-E-20AD 모델로 만능재료시험기(Universal Test Machine)로 수행되었으며, “KS B 0802 금속 재료 인장 시험 방법”을 참고하여 정적 강도를 평가하기 위해 2mm/min의 변위속도로 정적 인장전단 시험을 진행하였다^[9-10].

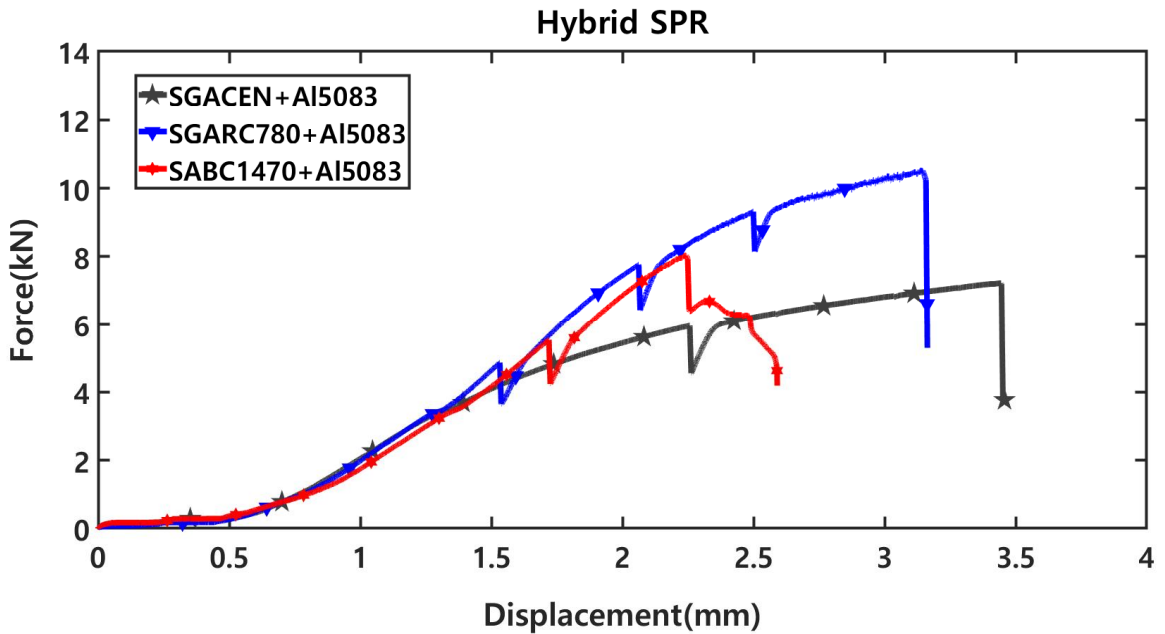


Fig. 4 Hybrid SPR tensile shear results



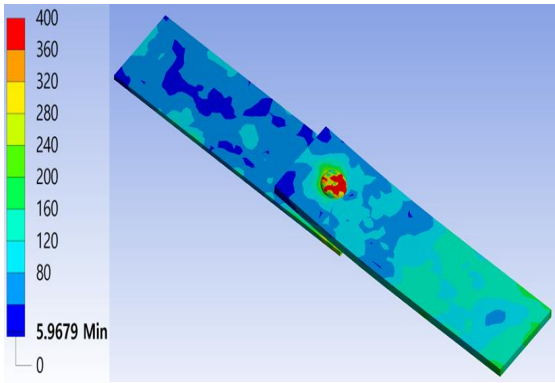
Fig. 5 Appearance of Hybrid SPR tensile shear test piece

4. 결과 및 고찰

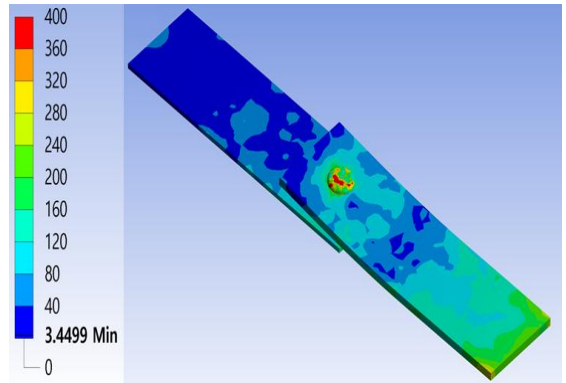
SPR의 밀봉 성능을 높이기 위해 기존의 SPR에 접착제를 함께 사용한 Hybrid SPR을 적용하였다. 인장전단 시험 후 대부분이 Fig. 5와 같은 형상으로 소성변형(plastic deformation)이 나타났으며, 시편 조합별 3회씩 시험을 수행하였다. Fig. 5는 Hybrid SPR 인장 전단 후 시험편의 외관을 나타낸다. 시편 조합별 Hybrid SPR의 최대 전단 인장 하중은 사용된 접착제 유형에 따라 크게 달라진다. 사용된 접착제의 강도는 최대 하중에서 지배적이지만, 리벳은 Hybrid SPR 경우 파단공정에도 영향을 미친다.

Fig. 4는 Hybrid SPR 접합의 시편별 인장전단 시험 결과를 나타낸다. 시험결과 SGARC780+Al5083

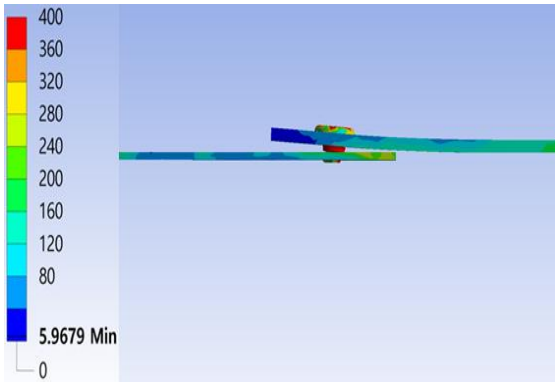
조합에서 10.12kN으로 높은 접합강도를 보였다. 이는 금속 판재의 강도가 높아짐에 따라 전단하중도 증가함을 확인하였다. 이에 따라 판재의 강도와 접합부의 전단하중은 비례 관계가 있다고 볼 수 있다. Fig. 6은 Al5083+SGACEN 시편 유한요소해석 결과를 나타낸다. (a)는 사시도를 나타내고, (b)는 정면도, (c)는 SPR 단면을 나타낸다. Fig. 6에 (b)를 보면 Fig. 5와 같이 비슷한 형태로 소성변형이 일어남을 확인할 수 있고, SPR에 응력집중 현상이 나타났다. Fig. 7은 Al5083+SGARC780 시편 유한요소해석 결과를 나타낸다. (a)는 사시도를 나타내고, (b)는 정면도, (c)는 SPR 단면을 나타낸다. Fig. 7에 (b)를 보면 Fig. 5와 같이 비슷한 형태로 소성변형이 일어남을 확인할 수 있고, SPR에 응력집중 현상이 나타났으며, rivet이 분리되기 직전의 모습을 나타낸다. Fig. 8은 Al5083+SABC1470 시편 유한요소해석 결과를 나타낸다. (a)는 사시도를 나타내고, (b)는 정면도, (c)는 SPR 단면을 나타낸다. Fig. 8에 (b)를 보면 Fig. 5와 같이 비슷한 형태로 소성변형이 일어남을 확인할 수 있고, rivet에 응력집중 현상이 나타났다.



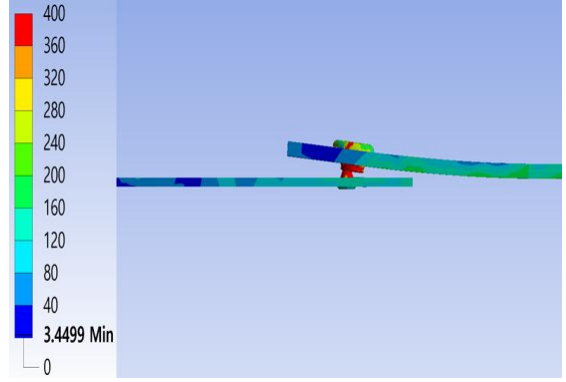
(a)



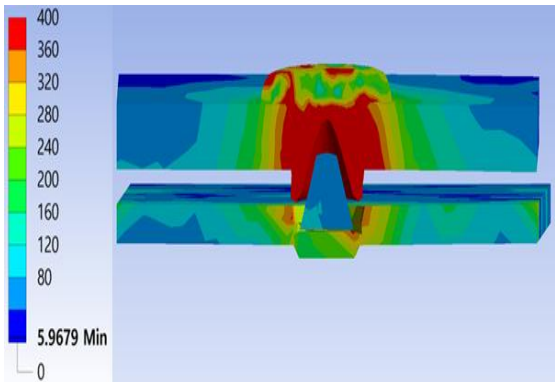
(a)



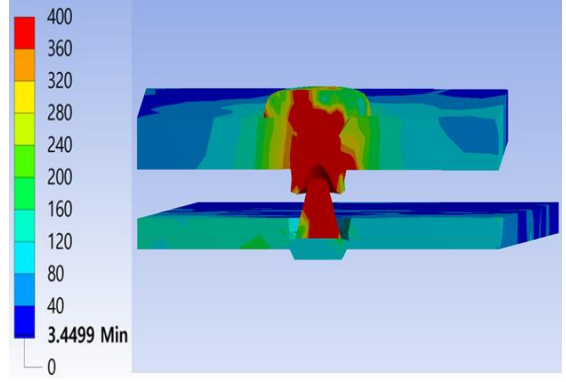
(b)



(b)



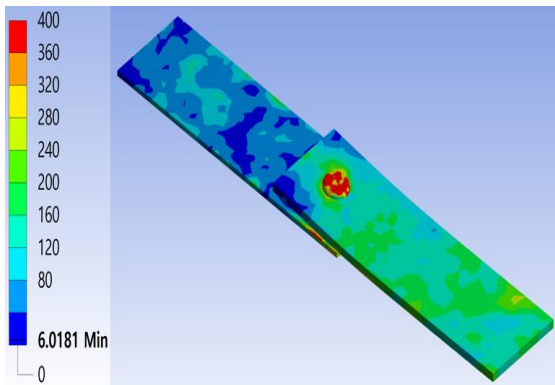
(c)



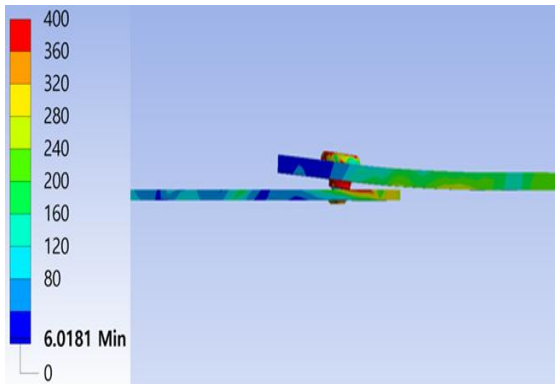
(c)

Fig. 6 Al5083+ SGACEN test piece finite element analysis result

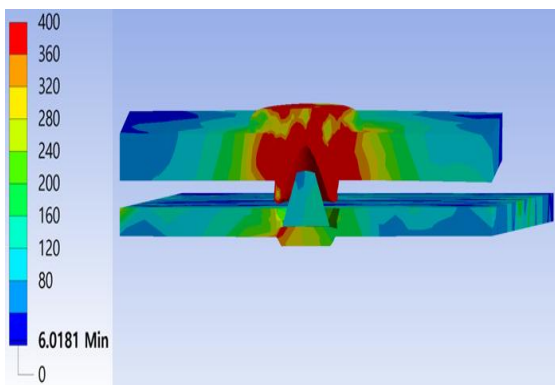
Fig. 7 Al5083 + SGARC780 test piece finite element analysis result



(a)



(b)



(c)

Fig. 8 Al5083+SABC1470 test piece finite element analysis result

5. 결 론

본 연구에서는 갈바닉 부식을 방지하기 위해 밀봉성능에 효과적인 Hybrid SPR 이종소재 접합에 관한 연구를 진행하였고, 신뢰성 제고를 위해 유한요소 해석을 진행하여 결과값을 예측한 후, 인장전단 시험을 진행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인장전단 시험 결과 Fig. 5와 같은 형태를 나타냈다. 이는 접착제 경화로 인하여 완전히 분리되지 않고 위와 같은 형상을 보인 것으로 사료된다.
2. Hybrid SPR을 적용한 인장전단 시험을 통해 SGARC780+Al5083 조합에서 10.12kN으로 높은 접합강도가 측정되었다.
3. 유한요소해석과 인장전단 시험 결과값을 비교한 결과 해석과 시험값이 비슷함을 확인하였다. 이로 인해 유한요소해석을 통해 실제 시험에 투입되는 시간과 비용을 절약할 수 있을 것으로 사료되며, 경향을 확인하는데 충분하리라 판단된다.

후 기

“이 논문은 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음(2019)”

REFERENCES

1. Kang, S. H., Kim, T. Y., Oh, M. J., Kim, H. K., “Tensile-Shear Fatigue Strength of Self-Piercing Rivets Joining Dissimilar Metal Sheets,” Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 30, No. 4, pp. 1-7, 2015.
2. Lim, J. B., Han, J. I., Cho, H. Y., “Design of Punch Unit for Strengthening Joint of Helical SPR,” Transactions of the KSME A, Vol. 41, No. 12, pp. 1209-1214, 2017.
3. Kim, D. B., Qiu, Y. G., Cho, H. Y., “Design of self-piercing rivet to joint in advanced high strength steel and aluminium alloy sheets,”

- Journal of Welding and Joining, Vol. 33, No. 3, pp. 75-80, 2015.
4. Ahn, N. S., Lee, C. J., Lee, J. M., Ko, D. C., Lee, S. B., Kim, B. M. "Joining High-Strength Steel and Al6061 Sheet Using Hole Clinching Process," Transactions of the KSME, A, Vol. 36, No. 6, pp. 691-698, 2012.
 5. Kim, D. Y., Kim, D. O., Cheon, S. S., "Experimental Investigation on Fatigue Characteristics of SPR (Self-Piercing Rivet) and Hybrid Joints," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 35, No. 3, pp. 335-340, 2018.
 6. Miyashitaa, Y., Jack Teowa, Y. C., Karasawaa, T., Aoyagib, N., Otsukaa, Y., Mutoha, Y., "Strength of adhesive aided SPR joint for AM50 magnesium alloy sheets," Procedia Engineering, Vol. 10, pp. 2532-2537, 2011.
 7. Kim, D. B., Kim, K. W., Cho, H. Y., "Design of Helical SPR for Joining Advanced High Strength Steel and Aluminum Alloy Sheets," Journal of Welding and Joining, Vol. 33, No. 6, pp. 55-59, 2015.
 8. Lee, S. W., Kim, J. W., "Selecting Optimum Conditions for SPR Processing of High Tension Steel Plates and Aluminium Sheets Using Response Surface Methodology," Journal of Welding and Joining, Vol. 37, No. 4, pp. 339-346, 2019.
 9. Jung, Y. S., Lee, G. I., Kim, J. Y., "Study on Optimal Design of F-Apron of Vehicles by Multi-material Bonding," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 2, pp. 102-107, 2019.
 10. Jeong, T. E., Kim, T. E., Rhee, S. H., Kam, D. H., "Joint Quality Study of Self-piercing Riveted Aluminum and Steel Joints Depending on the Thickness and Strength of Base Metal," Journal of Welding and Joining, Vol. 37, No. 3, pp. 212-219, 2019.