

# Hybrid 마찰교반접합기술에 관한 최근 연구

방한서·방희선·전근홍

## Recent Studies on Hybrid Friction Stir Welding

Han-Sur Bang, Hee-Sun Bang and Geun-Hong Jeon

### 1. 서론

차량, 항공기, 선박 같은 수송기기 산업에서 환경문제와 함께 국제유가 상승으로 인한 경량화에 대한 요구가 부각 되면서 경량합금 사용이 증가하고 있다. 그러나 기존 용접법으로는 접합이 어렵거나 용접열에 의한 용접결함(변형, 잔류응력, 응고균열, 기공, 산화 등) 뿐만 아니라 금속간 화합물생성으로 접합부의 강도가 저하되어 건전한 접합부를 얻기가 어려웠던 이종재료 접합은 마찰교반접합의 개발로 인하여 많은 연구가 진행되고 있다.

마찰교반 접합은 재료의 용융점 이하에서 접합이 이루어지므로 용융용접 시 발생하는 여러 결함들의 발생을 방지할 수 있다. 접합대상이 기존의 알루미늄과 알루미늄 동종계의 경량합금에서 이종재의 경량합금의 영역 뿐 아니라 경량합금과 철강 재료의 접합 영역까지 확대 되고 있다. 그러나 마찰교반접합기술을 이용하여 이종재료를 접합할 경우 물리적인 성질과 기계적인 성질이 상이하여 기존 동종재료의 마찰교반접합 방식으로는 건전한 접합부를 쉽게 얻을 수 없다고 알려져 있다. 두 재료 중 연질인 재료에 툴을 삽입하여 접합한 연구가 보고된바 있으나 접합강도가 부족하고 툴에 마모가 발생하여 아직은 연구가 많이 미흡한 실정이다<sup>1)</sup>. 이러한 문제점들을 더욱 보완하고 우수한 접합부를 얻기 위하여 최근에는 하이브리드 마찰교반접합기술에 대한 연구가 주목을 받고 있다.

따라서 본 보고에서는 현재까지 발표된 하이브리드 마찰교반접합기술에 대한 기술개발 사례와 접합방법 및 일부 연구수행 결과를 소개하고자 한다.

### 2. 하이브리드 마찰교반접합기술

최근 이종재료 접합을 위하여 하이브리드 마찰교반접합기술을 이용한 연구가 많이 진행되고 있다. 그 중 경

량합금인 알루미늄 합금과 구조용 재료인 스틸과의 이종재료 접합 시 레이저와 마찰교반접합기술을 결합한 하이브리드 접합법이 보고되고 있다. 이종재료 접합 시 툴을 연질재료 쪽으로 삽입하고 레이저를 이용해 스틸 판재를 예열함으로써 스틸 접합부의 소성유동성을 높여 건전한 이종접합부를 얻기 위함이다. 또한 기존의 마찰교반접합을 이용한 이종재료 접합 시 경질재료의 마찰에 의해 발생하는 툴의 마모를 하이브리드 마찰교반접합기술을 이용하여 경질재료에 예열을 함으로써 툴의 마모를 줄일 수 있는 장점이 있다.

방한서등은 Al6061-T6과 SS400을 사용한 레이저를 이용한 하이브리드 마찰교반접합 연구결과에서 LAFSW의 경우 단독 FSW 접합과 비교하여 동일한 Rotation speed에서 더 높은 Welding speed에 우수한 인장강도를 나타낸다고 보고하였다<sup>1)</sup>. Fig. 1은 본 보고에서의 실험 방법을 나타낸 것이다.

Fig. 2 (a)와 (b)는 각각 FSW 및 LAFSW 접합시 횡면에서 각 접합변수에 따른 인장응력의 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 3 (a), (b)는 LAFSW 접합부 및 FSW 접합부의 매크로 단면사진이며 (a), (b) 모두에서 알루미늄 합금측은 일반적인 마찰교반 접합부의 형태인 HAZ, TMAZ, SZ가 관측되었고, 철강측은 핀이 삽입된 접합계면 근방에서 소성유동에 의한 소성변형이 관측되었다. 반면에 접합계면 하부에서 LAFSW 접합부는 완전

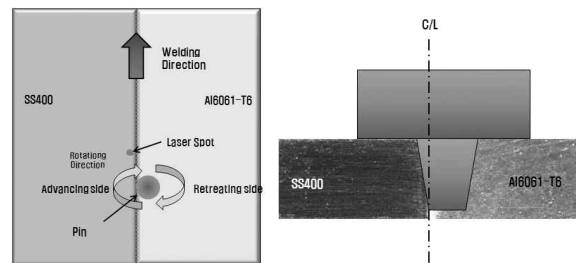


Fig. 1 Schematics of the tool position

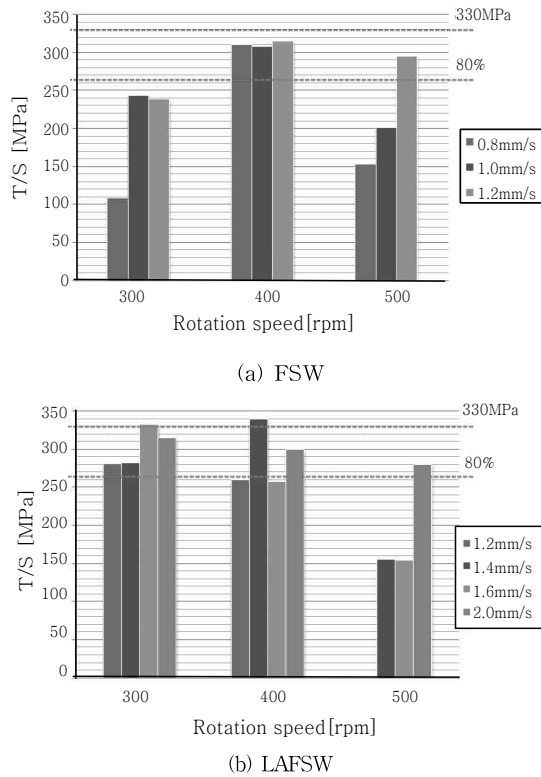


Fig. 2 Relation between the rotation speed and tensile strength

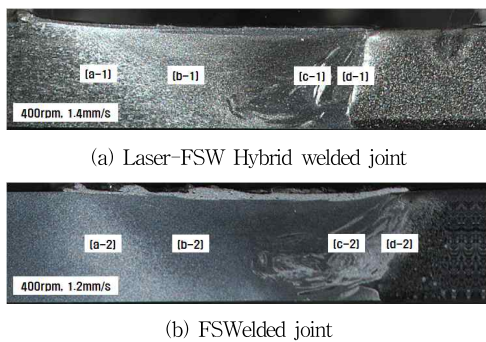


Fig. 3 Cross-Sectional macrostructures of Laser-FSW hybrid weld and FSW joint

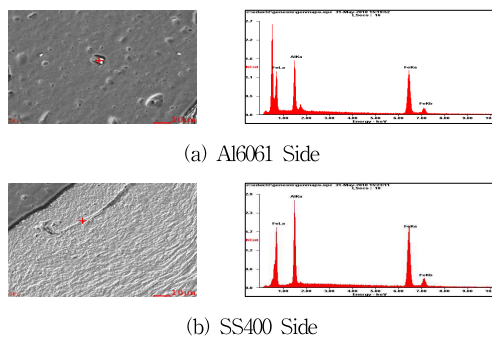


Fig. 4 SEM and EDX results of dissimilar joint by LAFSW

히 접합이 되었음을 확인할 수 있었지만, FSW 접합부에서는 접합이 되지 않은 결과를 보고하였다.

기존 보고에 따르면 LAFSW 접합부 횡단면의 SEM 측정 및 EDX 분석결과 접합계면 상부근방에서 금속간 화합물이 관찰되었다는 보고가 있으며<sup>2)</sup>, Fig. 4의 접합계면에 Al6061 및 SS400의 기지내에 혼입된 스틸 및 알루미늄의 탈락부의 성분 분석결과 Al(20Wt%), Fe(80Wt%)가 검출 되었으며 이는 Fe<sub>3</sub>Al계의 금속간 화합물 일 것으로 추정된다고 보고하였다<sup>2)</sup>.

M. Merklein 등에 의하면 스틸과 알루미늄합금의 이종재료를 다이오드 레이저와 마찰교반접합기술을 결합하여 하이브리드 접합에 관한 연구를 보고하였다<sup>3)</sup>. 하이브리드 접합 시스템은 Fig. 5에 나타낸 바와 같으며 diode laser는 맞대기에서 약 3mm와 틀방향으로 10mm로 위치하여 틀의 용접 방향 바로 앞에 위치했다. 스틸 판재 접합부 가까이 보조열원은 철의 항복 강도를 낮추고, 니켈을 사용한 합금 틀을 사용하여 접합한 연구결과 알루미늄합금 모재 인장강도의 약 80%인 200MPa의 우수한 접합강도를 보고하였다.

포항산업과학연구원 등의 보고에 의하면 고탄소강은 용융용접 시 용접부가 취성이 큰 마르텐사이트 조직으로 변태되어 열영향부가 경화되거나 균열이 발생하는 등 기계적 성질이 문제점이 발생되어 마찰교반 접합기술에 고주파 유도가열을 결합한 하이브리드 접합기술을 보고하였다<sup>4)</sup>.

고주파 유도가열은 가열시간이 매우 짧고 소재의 표면과 내부를 동시에 가열할 수 있는 장점이 있으므로 마찰교반접합의 하이브리드 열원으로 매우 적합한 구조임을 보고하였다. 고주파 유도가열의 출력 크기를 조절하면서 용접속도 960mm/min 조건에서 하이브리드 마찰교반접합한 결과 용접부의 SZ와 TMAZ, HAZ에서 대부분 펄라이트 조직이 관측되었으며 경도도 모재와 거의 유사하며 성형성도 매우 우수한 결과를 보고하

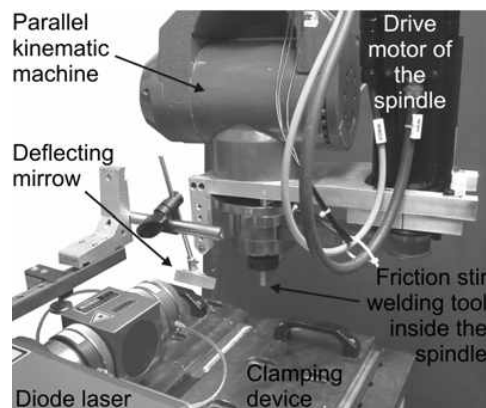


Fig. 5 Setup for laser assisted friction stir welding

였다.

또한 마그네슘 합금과 알루미늄합금의 이종접합을 레이저 하이브리드 마찰교반접합기술을 이용한 연구도 진행하고 있다고 보고하였다.

그밖에도 하이브리드 마찰교반접합기술에 대한 연구가 점차 증가하고 있는 것으로 사료된다.

### 3. 맺 음 말

기존의 용융용접으로는 접합이 곤란했던 이종재료들은 마찰교반접합에 의해 접합이 가능해지고 많은 결함이 줄어들었으나 현재까지도 이종접합부의 금속간 화합물 및 강도 등에 있어 우수한 성과를 얻지 못하고 있다. 이런 문제점들을 보완하기 위해서 하이브리드 마찰교반접합기술이 점차 개발 진행되고 있으며 일부 우수한 강도를 얻는 결과들이 보고되고 있다. 그러나 하이브리드 마찰교반접합기술의 실용화를 위해서는 더 많은 강종과 판재 두께별 접합조건을 최적화 하는 등 해결해야 할 문제점들이 아직 많이 남아 있다. 이종재료의 단독 마찰교반접합에 비하여 하이브리드 마찰교반접합기술의 우수한 접합부 품질과 접합강도 등이 확인되었기 때문에 더욱더 많은 기술을 개발하고 실 제품에 적용가능성을 검토하여 빠르게 적용하여야 할 것이다.



- 방희선
- 1971년생
- 조선대학교 선박해양공학과
- 용접 공정 및 설계
- e-mail : banghs@chosun.ac.kr



- 방한서
- 1951년생
- 조선대학교 선박해양공학과
- 용접 공정 및 설계
- e-mail : hsbang@chosun.ac.kr



- 전근홍
- 1980년생
- 조선대학교 선박해양공학과 대학원
- 용접 공정 및 설계
- e-mail : ghjun@chosun.kr

### 참 고 문 헌

1. H.S. Kim, "A Study on the Weldability and Mechanical Characteristics of Dissimilar Butt Joint by Laser Assisted Friction Stir Welding" Dissertation, University of Chosun, Korean, 2010
2. K.Kimapong, T.Watanabe "Friction Stir Welding of Aluminum Alloy to Steel", Welding journal, 277~282 (2004)
3. M. Merklein, A. Gieral "Laser assisted Friction Stir Welding of drawable steel-aluminium tailored hybrids"
4. Heung-Ju Kim, Chang-Keun Chun, Woong-Seong Chang "Hybrid Laser-Friction Stir Welding Between AA6061-T6 alloy and AZ31 Mg alloy" Abstract of 2008 Autumn of KWJS, Vol. 50 (2008), 142 (in Korean)
5. Hyun-Seok Lee, Jeong Suh, Hee-Shin Kang, Tae-Hyun Kim "A Study of Joining Dissimilar Materials by Laser-FSW Hybrid" Abstract of 2009 Spring of KWJS, Vol. 51 (2009), 112 (in Korean)