

# 철도차량 구조물의 마찰교반용접 적용 Friction Stir Welding Application to Rolling Stock

장길수\*  
Chang, Gill-Soo

김경환\*  
Kim, Kyung-Wan

## ABSTRACT

The Friction Stir Weld (FSW) has been prevailing in the rolling stock manufacturers now a day especially in Europe and Japan, that will be an inevitable welding method in Korean domestic railway industry in the near future. The Welding Institute (TWI) in United Kingdom (UK), who has the right of international patents, invented FSW. To meet the recommendation of Cullen's Report for Ladbroke Grove Rail Inquiry (LGRI) in UK, the FSW is considering for the only alternative welding method to improve the aluminium welding quality, i.e. for improve unzipping defect and crashworthiness on car body in Europe Railways within Railway Safety Research Program.

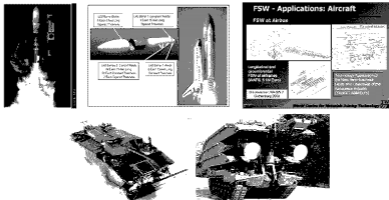
## 1. 서 론

1991년 영국 TWI사에서 개발된 마찰교반용접 (Friction Stir Weld, FSW, Friction Stirring Process, FSP)의 개념을 소개하고 현재 적극적으로 철도차량 제작에 적용하고 있는 Bombardier, Hitachi 제작사 및 용접장비업체의 개발 현황 고찰한다.

## 2. 마찰교반용접의 개요

### 2.1 개발 및 발전

1991년 영국 TWI사 에서 마찰교반용접의 공정을 개발하여 국제적인 특허를 취득하였고, 동시에 세계적인 철도차량 제작사 등이 스폰서를 결성하여 알루미늄, 탄소강, 스테인레스강, 비철합금 및 용융점 차이가 크지 않은 이종 금속간의 용접공정 개발로 계속적인 발전을 하고 있으며, 그림 1과 같이 3차원 형상 (Non-linear, Non-Planar) 용접적용 및 첨단 우주 항공분야 등에 전 산업분야에서 계속적인 개발 성과를 보이고 있다.



\* 주식회사 로템



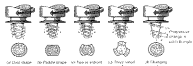


그림 5. FSW tool의 다양한 형상 (Whorl 제품)

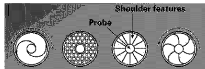


그림 6. FSW tool의 Shoulder Texture 형상

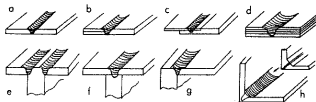


그림 7. FSW 적용한 용접부 이용현상



그림 8. FSW 후판 적용

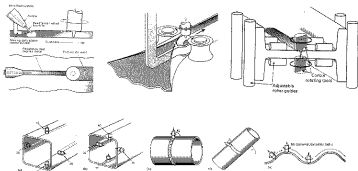


그림 9. FSW의 쇠파이프 응용 공법

### 2.3 FSW의 용접부

알루미늄 압출재에 실제 적용되는 용접부 형성은 MIG 용접에서 용융접합 (Fusion Welding)이 아닌 고온상태 (Plastic Flow) 저온상태 용접으로 미세한 결정립 구조를 가진다.

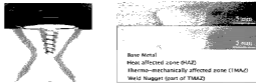


그림 10. FSW 용접부 형성 단면 조직

#### 2.4 FSW와 MIG 용접 단면 비교

용접 공정 및 요구조건에 따라 알루미늄 압출재의 용접부 형상이 상이하고 특히 용입이 상이하다.

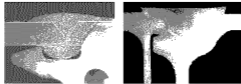


그림 11. MIG 용접부 및 FSW 용접부 단면 비교

#### 2.5 FSW의 장점

절도차량 구조물용 알루미늄 압출재 모재의 용융점이 약 650℃, 일반 MIG 용접의 용융온도는 약 660℃이나 FSW 공정의 모재의 온도상승은 450~500℃ 정도로 모재의 용융점보다 낮은 비용을 고상 집합(Solid State weld)으로 용접시 입열 방향에 의한 용접부의 품질저하를 최소화 할 수 있다.

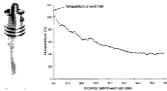


그림 12. FSW Tool의 진행에 따른의 모재 온도

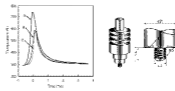


그림 13. FSW 용접 이음선 주위 모재 온도 (A 이음선 중앙 용접선, B/C 중앙 5mm 이격 위치)

용접부 기계적 성질은 모재 성능의 둘레 이상의 향상을 나타내며, 휨, 수축 등 일변형량은 각 변형량의 경우 1/13, 길이 수축량의 경우 1/3, 휨 변형량의 경우 1/26로 감소되어 완제품의 공차 관리가 용이하다.

마찰교반용접의 공정이 자동화로 추진되어 작업자의 숙련도/기량에 의존하지 않고 기공, 크레이터, 오버랩, 언더컷 등 결함이 없어 일관성 있는 용접부 품질유지 및 향상을 되고, 또한 용접시 입열량이 MIG/GMAW의 60% 이하 수준으로 용접부의 변색도 없으며, 용접불, 보호가스 등 부자재의 불필요하여 경비 절감에 유리하다. 또한 용접작업 중에 유해가스, 유해광선, Arc, Spatter, 소음 등 발생되지 않는 친환경 공법이 장점이다.

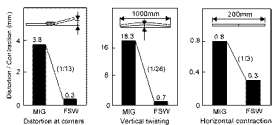


그림 14. 용접열에 의한 변형량 비교

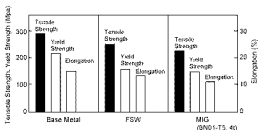


그림 15. 인장강도 및 연신율 비교

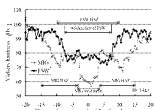


그림 16. 경도 비교

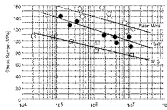


그림 17. 피로강도 비교

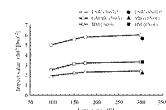


그림 18. 충격강도 비교

## 2.6 철도차량 개발 현황

가장 활발한 개발 실적을 보이고 있는 Hitachi사는 A-Train이라는 개발개념으로 현재까지 약 6개 차종, 300량 정도의 철도차량을 제작하여 상업운행을 하고 있다.

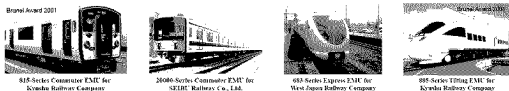


그림 19. 마찰교반용접 적용 철도차량 (일본)



그림 20. 알루미늄 압출재 용접부 형상 비교

초기 개발된 양면용접공정은 한번 FSW용접작업이 완료된 후에 구조물을 뒤집어 이면을 용접하는 공정이었으나, 추후 용접부위의 작업공간 확보후 덮개를 추가함으로써 뒤집는 공정을 제거하는 단순한 단면용접공정을 개발하였다.



그림 21. FSW 양면용접 공정



그림 22. FSW 양면용접 공정



그림 23. FSW 단면/ 양면용접 사례



그림 24. FSW 적용 압출제 단면형상(특허)

### 3. 국내 철도차량에 도입

Hitachi/Bombardier/Alstom/CAF 등 세계적인 철도차량 제작사는 TWI사의 공동스폰서 회원(Group Sponsor Project, GSP)으로써 초기부터 FSW 철도차량 개발에 참여하여 현재 24~25m, 1000mm/min 자동 용접장비를 개발 활용하고 있으며 압부미늄 압출제 형태 및 용접선 태이저 추적, 압출제 경질공차 제어, 비파괴검사 기법 등 상세공정 개발과 함께 유럽, 미국, 한국 등 주요 경쟁국 시장을 목표로 체계적인 특허 획득 활동을 하고 있다. 비약적으로 발전된 FSW 철도차량 적용 현실에 우리나라가 주발주자로 첨단용접기법 개발에 시간적, 금전적인 제약을 따파하기 위해서 정부 주도의 철도차량 국책과제 형태로 부차 및 산학연의 적극적인 연대 개발이 절실하다 하겠다.

#### 참고문헌

1. Friction Stir Welding : An Overview, Dr Philip L. Threadgill, TWI, 2000
2. Friction Stir Welding - A Decade On, E. Dave Nicholas, Stephan W Kalle, TWI, 29 October 2000
3. Friction stir welding - how to weld aluminium without melt it, Stephan W Kalle, TWI, 24 May 2001
4. Research Needs for Joints in Aluminium Rail Cars, Stephan W Kalle, TWI, 11 April 2002
5. Friction Stir welding 'Progress so far', Mick Roe, Bombardier Transportation, 11 April 2002
6. Friction Stir Welding Developments, W M Thomas & R E Dolby, TWI, 15 April 2002
7. Fatigue and fracture properties of friction stir welds, Dr Scott Lockyer, TWI, 2002
8. Friction Stir Welding - Application, Seminar on FSW and other Friction-Based Joining Processes, Japan Dr M J Russel, TWI, October 2003
9. Friction Stir Welding, ESAB SuperStir®, Stefan Stolts, Rolf Larsson, Sylve Antonsson, ESAB, 1999
10. Friction Stir Welding of dissimilar Al-alloys, L Kaellson, H Larsson, S Stolts, ESAB AB, 2004
11. The Ladbroke Grove Rail Inquiry, Rt Hon Lord Cullen, 2001
12. Railway Safety Research Programme, Aqeel Jajua & Ray Ford, Railway Safety, 11 April 2002
13. European Patent Specification, EP0615480B1, TWI, Date of filing 06.12.91
14. International Patent, WO95/26254, HYDRO A.S, Filing date 5 January 1995
15. 대한민국 특허 마찰교반용접 방법, 여기에 사용되는 프리덤 부재 및 그에 의해 형성된 부품, 특허1999-013339, 출원일자 1998년03월27일, 일본
16. 마찰교반용접기술 개발과 응용, 김성준, 이광길, 김상식, 한국기계연구원, 2004. 4
17. 새로운 집합법, Friction Stir Welding의 최근개발동향, 장용성, 최기승, 강문진, 권영라, RIST, 2000
18. Innovative Vehicle - the "A-train", Hideshi Ohiba, Chiaki Ueda, Kouji Agatsuma, Hitachi Review Vol. 50 (2001)
19. FSW, Hitachi-Rail.com