

알루미늄 선박 상부구조물용 6061-T6 합금의 마찰교반 용접에 관한 연구

Investigation on friction stir welding of 6061-T6 material for upper structure of Al ship

김성중*, 우용빈*, 박종식*, 한민수*, 장석기*

* 목포해양대학교 기관시스템공학부

1. 서 론

최근 국내외적으로 환경규제가 강화되면서 FRP선의 경우 폐선 시 환경유해 물질이 발생하여 그 처리 방법이 전무한 실정이며, 화재에 취약하여 많은 인적, 경제적 손실을 입힌 사고가 다발하였다. 또한 FRP선의 구성 물질이 레이더 파를 반사시키는 강도가 약하기 때문에 중, 대형 선박이 위치를 파악하지 못하여 결국 충돌사고로 이어지는 사고가 전체 사고의 58%를 차지하고 있는 실정이며, 이에 대한 대안으로 알루미늄 선박에 대한 관심이 고조되고 있다. 알루미늄선은 강선에 비하여 비강도가 높아 경량화에 의해 고속화가 가능하며, 추진용 연료의 절감, 높은 내식성에 의한 유지 보수가 용이, 폐선 시 재활용이 가능하여 환경 친화적인 재료이며, FRP 선 대비 수많은 장점을 가지고 있다. 이러한 알루미늄 선박은 해수와 직접 접하는 선체는 5000계열의 알루미늄-마그네슘 합금이 주류를 이루며, 상부는 6000계열이 주류를 이룬다. 기존에는 주로 5000계열에 대한 다양한 용접방법을 연구하였으며, 또한 부식 특성, 응력부식균열과 수소취화를 방지할 수 있는 최적의 조건 등을 연구한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄 선박의 상부구조물로 많이 사용되는 6061-T6 합금에 대하여 다양한 조건에서 마찰교반 용접을 실시하여 최적의 조건을 규명하는데 그 목적이 있다.

2. 실험 방법

알루미늄 선박의 상부 구조물에 많이 사용되는 6061-T6 시편에 대하여 마찰교반용접을 실시하였다. 이때 용접조건은 공구의 어깨 직경은 20Φ, 핀 길이와 압입 깊이는 4.5mm, 핀 직경은 5Φ, 피치는 1.0mm, 전진각은 3°로 하였으며, 전나사형 공구를 반시계 방향으로 실시하였다. 또한 다

Table 1 6061-T6 합금의 마찰교반 용접 조건

Rotation speed(RPM)	Traveling speed(mm/min)
210	22, 87
500	22, 87
800	22, 87, 124, 342, 507, 720
1100	22, 87, 124, 342, 507, 720
1600	22, 87, 124, 342, 507, 720
1800	22, 87, 124, 342, 507, 720

양한 회전속도와 이송속도를 변수로 하여 실시하였으며, 그 내역을 Table 1에 나타냈다. 또한 인장 시편은 그림거리 90mm, 평행부의 길이는 50mm, 두께는 5mm로 가공하였으며, 인장시험은 대기 중에서 0.2mm/min의 인장속도로 3회 실시하여 최대인장강도, 항복강도, 연신율, 파단되는 데 걸리는 시간 그리고 흡수에너지의 평균을 상호 비교하여 최적의 마찰교반 용접 조건을 규명하였다.

3. 실험결과 및 고찰

다양한 용접 조건에서 용접을 실시한 경우, 본 실험 결과 및 고찰에서 다루지 않은 조건은 용접 결과가 좋지 않아서 인장시험을 실시하지 못한 조건에 해당된다.

Fig. 1은 다양한 마찰교반용접 조건에서 인장 실험을 실시한 후 최대인장강도를 상호 비교한 그래프이다. 먼저 모재의 경우 롤링방향은 316.03 MPa을 나타냈으며, 롤링방향과 직각방향에서는 312.25 MPa을 나타내어 거의 비슷한 값을 나타냈다. 먼저 22mm/min인 경우 회전수 변화에 따라 210RPM이 가장 낮은 152.36MPa을 나타냈으며, 가장 높은 값은 500RPM으로 169.48MPa을 나타내었다. 전체적으로 거의 차이가 없으며, 이송속도 변수 중 가장 낮은 최대인장강도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 대부분 동일 이송속도에서는 회전수 변화에 따라 큰 차이가 나타나지

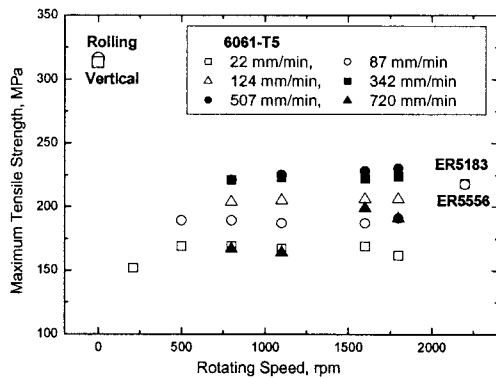


Fig. 1 다양한 조건에서 인장실험 후 최대인장강도 비교

않음을 알 수 있었다. 또한 720mm/min인 경우만 제외하고 전체적으로 이송속도가 증가할수록 높은 최대인장강도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 ER5183과 ER5556의 용접봉을 사용하여 로봇에 의한 용접을 실시한 경우는 각각 217.8MPa과 217.5MPa을 나타냈다. 그러나 마찰교반용접을 실시하여 이보다 높은 최대인장강도를 나타낸 800, 1100, 1600 그리고 1800RPM시 342와 507mm/min으로 나타났다.

항복강도를 상호 비교한 결과, 모재의 경우 롤링방향의 경우는 291.19 MPa을 나타냈으며, 롤링방향과 직각방향에서는 275.21 MPa을 나타내어 롤링방향의 경우가 16MPa 정도 높은 값을 나타냈다. 먼저 22mm/min인 경우, 최대인장강도와 비슷하게 회전수 변화에 따라 거의 차이가 나지 않는 가장 낮은 이송속도임을 알 수 있었다. 그 다음으로 높은 이송속도는 87~124 mm/min인데 이 조건에서도 그다지 높지 않는 값을 나타내며, 또한 전체적으로 회전수 변화에 따라 큰 차이가 나타나지 않음을 알 수 있었다. 이와 같이 124 mm/min의 이송속도에서는 그다지 높지 않는 항복강도이나 이송속도가 증가할수록 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 한편 342~720mm/min인 경우는 전체적으로 높은 항복강도를 나타냈으며, 800과 1100RPM에서는 507mm/min의 경우가 가장 높은 값을 나타냈고, 1600과 1800RPM에서는 720 mm/min의 경우가 가장 높은 항복강도를 나타냈다. 전체적으로 동일 이송속도에서는 회전수에 크게 영향을 받지 않았으며, 이송속도가 빠를수록 높은 값을 나타냈다. 가장 높은 항복강도는 1800RPM에서 720mm/min인 경우로 나타났다. 즉 가장 높은 회전수와 이송속도인 경우가 가장 높은 값을 나

타내고 있음을 알 수 있었다. 또한 ER5183과 ER5556의 용접봉을 사용하여 로봇에 의한 용접을 실시한 경우는 각각 143.91MPa과 141.9MPa을 나타냈다. 그러나 마찰교반용접을 실시하였을 경우 로봇을 이용한 용접을 실시한 경우보다 높은 항복강도를 나타낸 조건은 800RPM, 507mm/min ; 1100RPM, 507mm/min, 1600RPM, 342, 507, 720mm/min ; 그리고 1800RPM, 342, 507, 720mm/min으로 나타났다.

Fig. 2는 다양한 마찰교반용접 조건에서 인장실험을 실시한 후 연신율을 상호 비교한 그래프이다. 먼저 모재의 경우 롤링방향의 경우는 18.15%를 나타냈으며, 롤링방향과 직각방향에서는 17.02%를 나타내어 롤링방향의 경우가 1.13% 정도 높은 값을 나타냈다. 앞에서 언급한 최대인장강도와 항복강도의 경우는 이송속도가 빠를수록 높은 값을 나타낸 반면 연신율은 이송속도가 늦을수록 대체적으로 그 값이 상승한다는 사실을 알 수 있었다. 이는 회전피치가 작을수록 입열이 증가하여 그에 따른 연화가 커지면서 강도는 저하하나 연신율이 향상된 것으로 사료된다. 그러므로 전체적으로 22mm/min인 경우가 회전수에 무관하게 가장 높은 값을 나타냈다. 또한 ER5183과 ER5556의 용접봉을 사용하여 로봇에 의한 용접을 실시한 경우는 각각 7.47%와 7.29%를 나타냈다. 그러나 마찰교반용접을 실시하였을 경우 로봇을 이용한 용접을 실시한 경우보다 높은 연신율을 나타낸 조건은 210RPM, 22mm/min ; 500RPM, 22, 87mm/min ; 800RPM, 22, 87, 342mm/min ; 1100RPM, 22, 87, 507mm/min, 1600RPM, 22, 87mm/min ; 그리고 1800RPM, 22, 87mm/min으로 나타났다.

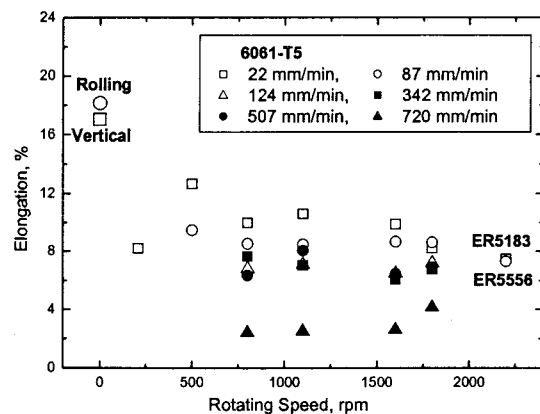


Fig. 2 다양한 조건에서 인장실험 후 연신율 비교

파단시간의 경우, 모재의 경우 롤링방향의 경우는 45.64시간 나타냈으며, 롤링방향과 직각방향에서는 42.78시간을 나타내어 롤링방향의 경우가 높은 값을 나타냈다. 전체적으로 이송속도가 가장 낮은 22mm/min인 경우가 가장 높은 값을 나타냈으며, 이송속도가 빠를수록 낮은 파단시간을 나타내어 연신율과 비슷한 경향을 나타내고 있음이 확인되었다. 또한 ER5183과 ER5556의 용접봉을 사용하여 로봇에 의한 용접을 실시한 경우는 각각 20.73시간과 20.61시간을 나타냈다. 그러나 마찰교반용접을 실시하였을 경우 로봇을 이용한 용접을 실시한 경우보다 긴 파단시간을 나타낸 조건은 210RPM, 22mm/min ; 500RPM, 22, 87mm/min ; 800RPM, 22, 87, 342mm/min ; 1100RPM, 22, 87, 124, 507mm/min, 1600RPM, 22, 87mm/min ; 그리고 1800RPM, 22, 87, 124mm/min으로 나타났다.

흡수에너지를 상호 비교한 결과, 모재의 경우 롤링방향과 롤링방향에 직각인 경우 각각 20452와 18946kgf-mm를 나타냈다. 모재의 다른 기계적 특성과 마찬가지로 롤링방향의 경우가 직각방향에 비해 보다 우수한 기계적 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 전체적으로 이송속도가 가장 낮은 22mm/min인 경우가 전체적으로 가장 높은 값을 나타냈으며, 이송속도가 빠를수록 낮은 흡수에너지를 나타내어 연신율이나 파단시간과 유사한 경향을 나타내고 있음이 확인되었다. 이는 회전피치가 클수록 입열이 저하하는데 이송속도가 느릴수록 입열이 증가하게 된다. 이때 입열에 의해 재료가 연화되면서 연신율이나 파단시간은 증가하나, 연화에 의해 강도는 저하하게 된다. 그러나 이러한 연화에 의해 연신율이나 파단시간이 증가에 의한 영향이 강도 저하에 의한 영향보다 크게 영향을 미쳐서 흡수에너지가 증가한 것으로 판단된다. 또한 ER5183과 ER5556의 용접봉을 사용하여 로봇에 의한 용접을 실시한 경우는 각각 5191과 5066kgf-mm를 나타냈다. 그러나 마찰교반용접을 실시하였을 경우 로봇을 이용한 용접을 실시한 경우보다 큰 흡수에너지를 나타낸 조건은 500RPM, 22, 87mm/min ; 800RPM, 22, 342mm/min ; 1100RPM, 22, 507mm/min, 1600RPM, 22mm/min ; 그리고 1800RPM, 87, 507mm/min으로 나타났다.

지금까지 다양한 조건에서 마찰교반용접을 실시하여 모재와 비교하였으며, 또한 로봇을 이용

한 용접과 그 특성을 요소별로 Table 2에서 상호 비교하였다. 각 요소별 특성을 비교한 경우 최대인장강도와 항복강도는 대체적으로 이송속도가 높을수록 높은 값을 나타냈으며, 회전수와는 큰 특징이 나타나지 않은 사실을 확인할 수 있었다. 그러나 연신율과 파단시간은 반대로 이송속도가 낮을수록 높은 값을 나타내어 최적 조건을 규명하는데 많은 애로가 있었다. 이러한 6061-T6의 경우는 열처리 합금으로 다른 재료에 비하여 모재 대비 현저히 낮은 용접부의 기계적 특성을 보여 주었다. 이를 향상시키기 위해서는 시효처리 등과 같은 다양한 열처리 기술을 적용함으로써 그 특성을 향상시켜야 할 것으로 사료된다. 결국 최대인장강도와 항복강도는 800RPM ~1800RPM의 빠른 회전수와 342, 507mm/min의 빠른 이송속도를 보인 조건에서 우수한 특성을 나타낸 반면, 연신율과 파단시간 그리고 흡수에너지는 양호한 결과를 나타내지 않았다. 한편 연신율과 파단시간 그리고 흡수에너지 비교에서 모든 회전속도에서 낮은 이송속도를 보인 조건에서 양호한 특성을 나타냈다. 결국 모든 기계적 특성을 만족시키는 조건은 1100RPM, 507mm/min인 경우가 최적의 마찰교반용접 조건으로 규명하였다.

Table 2 로봇을 이용한 용접보다 더 높은 기계적 특성을 보인 이송속도 비교

회전 속도 (RPM)	최대인장 강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)	파단 시간 (Hr)	흡수에너지 (kgf-mm)
210			22	22	
500			22, 87	22, 87	22, 87
800	342, 507	507	22, 87, 342	22, 87, 342	22, 342
1100	342, 507	507	22, 87, 507	22, 87, 124, 507	22, 507
1600	342, 507	342, 507, 720	22, 87	22, 87	22
1800	342, 507	342, 507, 720	22, 87	22, 87, 124	87, 507

후 기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.