

# 해저 파이프 설치선용 복합 레이저 용접기술 개발에 관한 연구

## Study of Hybrid Laser Welding Technology for S-laying

현대중공업 산업기술연구소 자동화연구실 **신정현, 박영수, 이윤식, 윤석필, 김형식**

### I. 서론

해저 파이프라인 부설 공정은 작업하는 위치에 따라 연근해의 S-lay와 심해저의 J-lay가 있다. 파이프 이음 공정이 주를 이루며 효과적인 작업을 위해서 흐름방식의 공정으로 이루어진 수개의 용접 스테이지로 구성되어 있다. 따라서 용접시간을 포함하는 단위 공정의 사이클 시간(cycle time)은 종합 생산성을 좌우하게 된다. 작업공정별 사이클 시간이 가장 긴 공정은 파이프 취부(line-up)와 초층 용접을 수행하는 작업공정으로 타 공정 사이클 시간에 비해 2배 이상의 시간이 소요되는 경우도 있으므로 이로 인해 전체 공정의 지연을 초래하게 된다.

현재 널리 사용되는 해저파이프라인 용접 장치는 그림 1과 같이 각종 line fit-up 장비들, 가이드 링(guide ring), 용접 캐리지(welding carriage), 제어기(controller) 등으로 구성된 장치들과 다양한 부대설비를 포함한다. 특히 해상에서 작업이 이루어지므로 해수나 염분에 강한 재질로 구성되어야 하고 한번의 실수로 인해 전 공정이 영향을 받는 흐름화 공사이기 때문에 어느 한 부분도 소홀히 할 수 없이 중요하다. 특히 초층 공정이 타 공정에 비해 시간이 많이 소요되기 때문에 초층 용접에 대한 개선을 통하여 생산성을 높이는 것이 가능하다.

본 연구에서는 하이브리드 레이저 아크 용접을 초층 용접 공정에 적용하여 용접공정 시간을 단축하기 위해 기존의 전통적인 용접기법에서 탈피해 새로운 열원으로 각광받고 있는 하이브리드 용접(레이저 + MAG)을 이용한 파이프 용접 공정을 개발함으로써 용접속도 향상 및 용접 결함에 의한 용접 교정 공수 절감 등의 효과를 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

### II. 실험방법

#### 1. 파이프 용접 장치 구성

파이프 용접 실험을 위해 파이프를 고정하기 위한 지그를 제작하였다. 초기에는 파이프의 안쪽에서 120도 간격으로 3개의 고정지그를 부착하여 클램핑(clamping)이 가능한 장치를 검토하였으나, 파이프의 직경이 상대적으로 크게 변하게되면 클램핑에 문제가 될 수 있으므로 기존의 파이프 용접시험을 위해 주로 사용해온 방법으로 한 개의 고정지그를 부착하여 볼트의 조임을 통해 파이프를 클램핑할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

#### 2. 로봇 자세 검토

파이프를 용접하기 위해 지그에 고정시킨 후 용접이 가능한 로봇 자세를 설정하였다. 원형인 파이프 용접을 위해서 120도 간격으로 3점을 잡아 한바퀴 회전시키는 방법을 이용하여 자세를 확인한 결과, 실제 레이저 용접헤드, 광파이버, 미그토치, 보조가스 라인 등을 간섭 없이 처리하기 위해 다음의 방법들을 검토했다.

우선 로봇 헤드가 파이프 주위로 360도 회전할 경우 안정된 광파이버 궤적을 그릴 수 있는지 확인해 보았다. 발전기에서 발생된 빔을 가공부까지 전송하기 위해 광파이버가 사용되며, 이때 광파이버의 반경

이 200mm 이상이 되어야 양호한 전송이 이루어진다. 하지만 확인 결과 200mm 이하가 되는 영역이 발생하여 추가적인 광파이버 고정지그 없이는 한바퀴 회전이 불가능하므로 본 실험에서는 반바퀴만 회전시켜 용접한 후 용접성을 평가하였다. 또한 광파이버가 중력에 의하여 아래로 처지는 문제가 발생하였으며 이를 방지하기 위해 로봇암에 광파이버 고정용 지그를 부착하는 것도 고려하였다.

하이브리드 용접을 위해 그림 2와 같이 각각의 구성 부품들을 부착한 상태로 파이프 상부에서 하진으로 180도 회전시키며 문제점을 확인해보았다. 그 결과 큰 문제점은 발견할 수 없었으며 단지 광파이버를 지지하는 구조물의 높이가 다소 높아 다른 부분에 간섭이 발생할 수 있으므로, 이를 개선하기 위해 실제 적용에는 90도 반사 용접헤드를 사용하면 로봇암과 평행하게 부착될 수 있으므로 간섭 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

실제 파이프 용접을 위해 아크선행의 기법을 적용하고 용접자세는 하진으로 1G부터 3G와 4G를 거쳐 180도가 조금 더 지나서 용접이 종료 되도록 하였다.

### 3. 파이프를 대상으로 한 BOP 테스트

파이프를 용접하기 위해 용접자세, 광파이버와 호스의 처리 등 필요한 부분들을 조정한 후 실제 파이프용접을 위해 헤드를 회전시켜 자세를 1G부터 시작하여 3G, 4G의 자세로 돌아가면서 양호한 용접비드가 형성되는지를 확인하였다.

그림3의 테스트 결과에서 알 수 있듯이 1G에서 시작하여 3G를 지나는 부분까지는 양호한 비드 형상을 보여주고 있으나 4G로 진입하는 부분에서 비드 drop 현상과 비드의 끊어짐 등 문제점이 발생하였다. 원인을 확인해 본 결과 파이프 용접 중 회전에 의한 미그 토치로 공급되는 와이어의 꼬임에 의해 와이어의 송급이 불안정해져 양호하지 못한 비드를 형성하는 것으로 예상하였다. 이런 문제점이 사실인지 확인하기 위해 용접 중에 미그 호스가 꼬이지 않도록 바르게 유지한 결과 그림 4와 같이 4G까지 안정된 비드를 얻을 수 있었다.

### 4. 파이프 용접 테스트

파이프를 용접하기 위해서 준비한 시험편은 해양공사에 자주 사용되는 강재인 A336-6으로 직경 6inch, 두께 7.11mm인 파이프를 root부 2mm로 하고 개선각은 30도로 밀링 가공하여 두 부분을 맞대고 가접한 후 root부만을 용접하였다.

용접조건을 도출하기 위해 파이프 용접 전 평판에 대해 테스트를 실시하였으며 이 조건을 토대로 실제 파이프 용접 공정에서는 레이저 출력 2kW, 이송속도 1000mm/min, 아크전류 160A, 아크전압 22V에서 수행하였다. 용접 후 단면을 확인한 결과 1G의 경우 하부까지 완전 용입되어 하부 비드가 양호하게 형성되었으나, 3G는 다소 용입이 부족한 것을 확인할 수 있었으며 4G는 다른 자세에 비해 상대적으로 용입이 적은 것을 확인하였다.

이에 대한 원인을 규명하고자 기존의 아크 선행(Arc leading) 방법과 레이저 선행(Laser leading) 방법을 비교한 결과 1G 용접자세에서 평판 BOP의 경우에는 큰 차이점을 발견할 수 없었다. 그러나 그림5의 결과와 같이 개선각을 가진 4G 시험편인 경우 아크 선행보다 레이저 선행이 훨씬 우수한 용입을 얻을 수 있는 것으로 확인되었다. 이는 개선부를 아크가 먼저 선행하는 경우 용융금속이 레이저빔의 침투를 저하시키는 것으로 추측되고, 반면에 레이저가 선행한 경우에는 안정적인 용입깊이를 유지할 수 있으므로 개선부 용접에 적합한 방법은 레이저가 선행하는 기법을 적용하는 것이 필요할 듯 하며 이에 대한 추가실험이 진행될 예정이다.

### 5. CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 파이프 용접 테스트

Nd:YAG레이저의 경우 CO<sub>2</sub> 레이저에 비해 상대적으로 출력이 낮으므로 실제 파이프 용접에 관한 feasibility 개념으로 그림 6과 같은 시스템을 이용하여 집속된 빔과 아크토치는 고정하고 파이프를 회전시키며 용접을 수행하였다.

파이프가 회전하므로 용접자세는 모두 1G이며 용접 후 비드 및 단면을 확인한 결과 그림 7, 8과 같이

전체적으로 양호한 것으로 나타났다. 용접조건으로 출력 4kW, 이송속도 2m/min, 보조 가스는 Ar 30ℓ/min의 조건이며, CO<sub>2</sub> 레이저의 경우 기존의 2kW Nd:YAG 레이저보다 출력이 높음으로 인해 용접속도도가 증가됨을 확인할 수 있었으며 동일한 속도에서 고출력을 사용한다면 용입깊이를 현저히 높일 수 있을 것이다.

### III. 결과 및 고찰

해저 파이프라인 부설 공정에 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용할 경우 바지선 상에서의 공간적 제약과 빔 전송의 어려움 등 문제점이 있으므로 광파이버를 이용해 효율적으로 전송이 가능한 Nd:YAG 레이저를 이용하여 하이브리드 용접장치 구성 및 용접 공정 확립을 통해 적용 가능성을 높였다.

실제 파이프를 대상으로 전자세 용접이 가능한가에 대한 실험을 실시하였다. 그 결과 초반에 비드 형성의 불연속성 및 용융 비드의 하부로 처짐, 광파이버와 호스의 꼬임 등 많은 문제점들이 발견되었으나 지지대의 설치와 와이어 송급 라인에서의 꼬임을 방지한 결과 문제점을 해결할 수 있었다. 추후 현장 적용시 문제점들에 대한 고려를 충분히 반영하도록 할 예정이며 90도 반사 용접헤드를 사용하여 부가시스템과의 간섭 문제도 해결할 계획이다.

고출력 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하여 용접을 수행한 결과, 용접속도를 증가시킬 수 있었고 같은 용접속도에서 용입깊이도 높일 수 있었다. 따라서 개선 형상을 현재의 공정과 달리 root부를 7~8mm 두께까지 증가시킨 후 용접을 한다면 스테이지를 줄이는 것이 가능함을 확인할 수 있었다.

### IV. 결론

본 실험을 통하여 파이프 용접에 적합한 하이브리드 레이저 용접공정을 개략적으로 검토하였다. 특히 Nd:YAG 레이저를 이용한 하이브리드 용접공정은 CO<sub>2</sub> 레이저에 비해 출력은 다소 낮으나 광파이버를 사용할 수 있는 등 빔전송의 유리함으로 실제 현장 적용이 가능할 듯하다. 실험 초기에 공정조건을 확립하느라 다소 어려움이 있었으나 실험을 통해 문제점을 확인하고 해결하였으며 향후 이를 바탕으로 현업 적용을 위한 시스템 개발에 반영 할 예정이다.

### V. 참고문헌

1. Y.Gainand, JP. Mas, CO<sub>2</sub> & Nd:YAG Laser Orbital Welding Application to Offshore Pipeline Construction, ICALEO, 2001
2. Dirk Petring, Hybrid Laser Welding, Industrial Laser Solutions, 2001
- 3 V.E.Merchant, Laser Welding in the Pipeline Industry, Industrial Laser Handbook, 1993

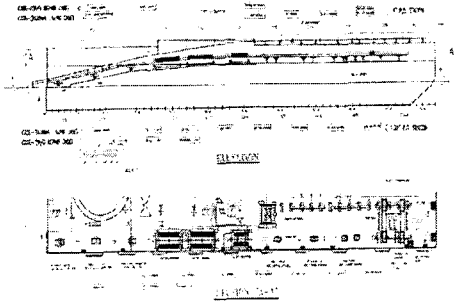


그림 1 해저파이프 라인 용접시스템

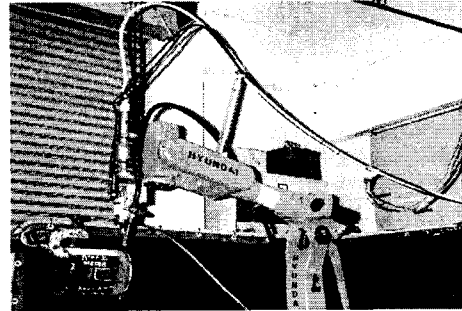


그림 2 광파이버를 부착한 로봇암

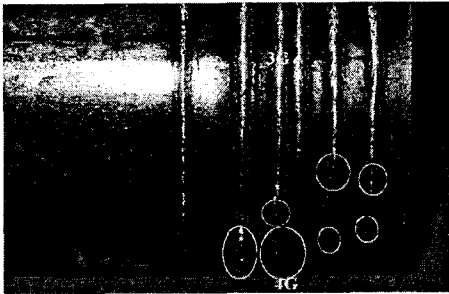


그림 3 BOP 테스트 결과 (I)

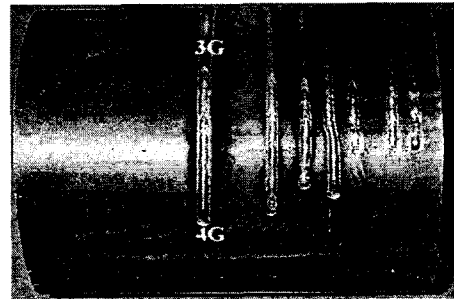


그림 4 BOP 테스트 결과 (II)

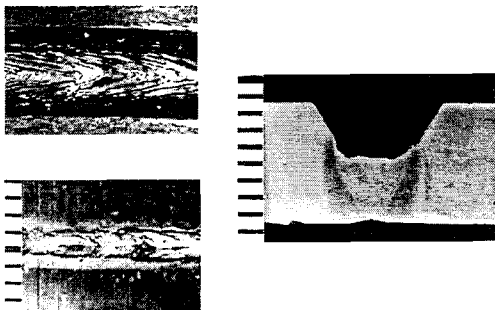


그림 5 레이저 선형 파이프 용접 테스트

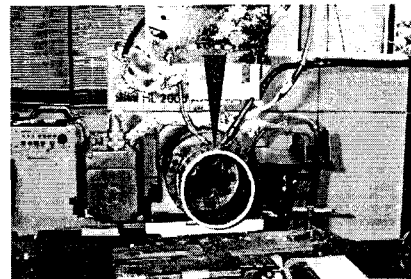


그림 6 CO<sub>2</sub> 레이저 용접시스템 기구부

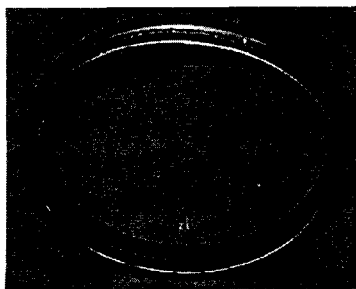


그림 7 CO<sub>2</sub> 레이저 용접 결과 (I)

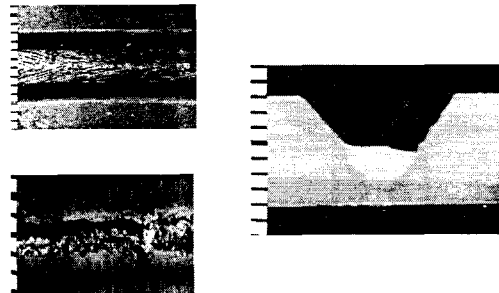


그림 8 CO<sub>2</sub> 레이저 용접 결과 (II)