

수직 용접을 위한 용접 캐리지 시스템 개발에 관한 연구

변홍석
울산과학기술대학교 기계공학부

A Study on the Development of a Welding Carriage System for Vertical Weld

Hong-Seok Byun

School of Mechanical Engineering, Ulsan College

요약 초대형 유류 저장탱크의 후판 용접은 작업자가 직접 손용접을 수행하는데 이로 인해 제품의 품질이 저하되고 재용접을 증가로 인하여 품질 불균일이 발생하며 작업 외부환경 등에 따른 용접 제약성도 많이 따른다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하고 용접의 신뢰도를 높이며 공사기간 단축 및 원가절감으로 생산성을 향상시키고자 자동으로 수직 용접이 가능한 용접 캐리지 시스템을 개발하였다. 수직 용접 캐리지 시스템은 용접 플랫폼 시스템, 용접 캐리지 구동장치 및 제어장치 등으로 구성되고 도출된 설계 사양이 만족되도록 개념설계가 이루어졌으며 각각의 서브시스템은 모듈로서 설계되어지고 제작, 조립되었다. 개발된 시스템에 대해 구조적 안정성 평가와 사전 문제점을 파악하고자 구조강도 해석을 수행하여 구조적 안정성을 확인하였고 그 결과를 설계에 반영하고자 하였다. 또한 개발된 시제품의 성능평가를 위해 수직 용접된 후판에 대한 인장시험, 굽힘시험, 충격시험 및 용접시간 등을 요구조건 및 수동용접과 비교 평가를 수행하였고 만족스러운 결과를 획득할 수 있었다. 특히, 수직 용접시간은 수동용접과 비교한 결과 87%이상 향상되었음을 확인할 수 있었다.

Abstract Thick-shell welding for super-sized oil storage tanks is currently done manually, which causes deterioration in quality and a lack of uniformity due to frequent rewelding. The limitations of the external environment must also be considered for manual welding. This paper describes the development of a carriage system for automatic vertical welding to increase reliability, reduce cost, and enhance productivity. The system consists of a welding platform, carriage device, and control unit, which were conceptually designed according to design specifications and manufactured with modular parts. In addition, the structure was analyzed for safety and to predict design problems in advance, and the results are reflected in reviewing the design. To evaluate the performance of the system, a tensile test, bending test, and weld time test were carried out, and the results were satisfactory. The time required for automatic weld was greatly improved by more than 87%, compared to the manual welding time.

Keywords : Finite Element Analysis, Super-sized Oil Storage Tank, Vertical Weld, Welding Carriage System

1. 서론

국내의 조선업 및 플랜트 산업분야는 3D 기피 현상으로 전문인력의 부족과 노동인건비 상승으로 인하여 가격경쟁력을 확보하지 못하고 있고, 현재 세계적 추세는 노동집약적 산업에서 첨단 생산 자동화 기술이 적용된 사

업으로 변모하고 있다. 이에 국내 산업계는 용접분야의 자동화를 위하여 많은 노력을 기울인 결과, 조선 및 해양 분야에서 세계 1위를 차지함과 용접 생산성 측면에서 용접기술 세계 최고에 도달하였으며, 연구적인 1위를 유지하기 위해서 지속적인 신용접기술을 개발 해오고 있다 [1].

*Corresponding Author : Hong-Seok Byun(Ulsan College)

Tel: +82-52-279-3127 email: hsbyun@uc.ac.kr

Received March 18, 2016

Revised April 22, 2016

Accepted June 2, 2016

Published June 30, 2016

관개의 수평이음에 대한 용접자동화는 수평 자동용접 캐리지 개발을 통해 이미 최고수준의 용접을 수행하고 있으나 수직용접에 대한 연구 개발은 아직까지 세계수준에 도달하지 못하고 지속적인 도전을 하고 있다. 그런데, 용접 산업의 환경은 대부분이 열악하고 작업자의 숙련도 및 불규칙적 작업 조건에 따라 품질의 불균형이 발생하고 있어서 이를 극복하기 위해서는 자동용접장치의 개발이 필수적이라 할 수 있다. 용접자동화를 위한 자동용접장치 즉, 자동용접캐리지 개발은 용접의 효율적인 도구로 사용되며 이를 통해 제조기술 능력과 용접의 품질을 제고하는 방법으로 용접자동화를 대폭 증대시켜 생산성을 높이고 보다 짧은 제조 주기로 상대적으로 강한 기술 경쟁력을 확보할 수 있다.

최근에 용접자동화와 관련된 용접 공정 제어, 용접 캐리지 장치 개발 등 용접 자동화 기술을 통해 용접 품질을 향상시켜 용접의 신뢰성을 개선하고 용접 속도를 향상하여 공사시간을 단축하는 등 용접 생산성 향상에 꾸준한 연구가 진행되고 있는데 이와 관련된 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Kim et al은 컨테이너선의 블록간 맞대기 용접 이음을 수행함에 있어서 용접시공기준서에서 허용하는 용접간 루트갭을 맞춘 후 도그 피스를 이용하여 두 판의 높이를 맞추고 아크 용접을 수행하였다. 이 때 용접선이 긴 탱크탑 부위와 용접선이 짧은 벤치블록 부위는 서로 다른 아크 용접을 수행하는 데, 이 연구에서는 짧은 용접선을 가진 벤치 블록 부위를 용접 자동화하여 이동 및 설치시간을 단축하여 용접생산성을 향상시키고자 하였다. 이를 위해 용접 효율이 높은 지능형 3차원 위빙 캐리지와 3차원 위빙 용접 패턴을 개발하여 선급 승인 시험을 수행하였다. 이 지능형 용접 캐리지는 아래보기 맞대기 용접 이음에만 사용 가능하다[1].



Fig. 1. Manual vertical welding of a huge oil storage tank

Park은 GMA(Gas Metal Arc)용접의 용접 변수의 공정 모니터링 및 제어를 위하여 아크포스 센서를 이용하여 전문가시스템 셸인 Nexpert Object를 이용하여 지능형 용접제어시스템을 개발하였으며 GMA 용접 공정을 최적화하기 위해 신경 회로망 기법을 적용하여 용접품질 특성을 제어할 수 있도록 설계하였다. 이 시스템은 조인트 기하, 성분재료 및 하중조건을 고려한 정적 지식 정보로부터 용접 비드 크기를 예측할 수 있다[2].

Baek et al은 철도차량에 적용되는 GMA용접 이음재의 피로시험을 수행하기 위해 실험계획법을 이용하여 수명에 영향을 미치는 설계인자를 결정하고 이들에 대한 피로시험을 수행하여 피로하중-피로수명과의 관계를 도출하여 유한요소법을 이용하여 용접 이음재의 응력분포를 해석하여 응력과 피로수명과의 관계를 재정의하였다. 피로수명에 작은 영향을 미치는 요인이 전체적으로 미치는 영향 정도와 피로설계시 수명에 대한 적합한 설계조건 인자를 찾고자 하였다. 이것은 철도차량 차체의 GMA 용접 자동화를 위한 경제적이고 합리적인 피로설계를 위한 기초자료로 사용할 수 있다[3].

Kim et al은 파이프 내면 용접에서 용접의 품질에 크게 영향을 미치는 아크용접, 용접전류, 용접속도에 대한 최적 용접조건을 선정하고 Visual C++를 이용하여 메뉴, 그래픽 및 기록 등 세 개의 영역을 구성하는 통합관리시스템을 구축하였다. 이 시스템은 기존 데이터베이스 시스템과 독립적으로 운영가능하고 신경회로망기법을 적용하여 용접조건 선정이 불가능한 부분을 입출력 상관관계를 연동시켜 유기적으로 결합하였다. 이 시스템을 이용하여 파이프 내면 용접용 자동화 장치를 제작하고 파이프 내면 용접을 감시 및 제어 가능한 모니터링 시스템도 개발하였다[4]. Shin et al은 아래보기와 필렛 2F 자세가 가능하도록 하는 용접캐리지 장치와 이를 제어할 소형제어장치로 구성되는 아크용접과 레이저용접을 혼합한 하이브리드 레이저 용접공정을 개발하였다. 이는 레이저 용접의 단점을 보완하기 위해 개발되었으며 파일럿 시제품으로서 반자동형 타입이다[5].

위의 연구들은 아래보기 자세의 용접을 위한 용접캐리지 장치 개발과 용접 변수의 최적 선정 및 용접 공정 제어 등 감시 제어 시스템 개발 연구들을 다루었는데, 아직까지 초대형 탱크의 자동 수직 용접을 위한 연구는 국내에 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 용접의 기술경쟁력 확보를 위

해 현재까지 손용접 작업으로 이루어지는 직경이 100미터 내외의 초대형 유류 저장탱크의 용접자동화를 위해 수직으로 자동 용접작업이 가능한 수직 용접 캐리지 시스템을 개발하고자 한다. 국내 독자적 기술개발을 통해 현재 사용되고 있는 수동 용접 캐리지의 작업환경, 작업 조건 등에 따른 제약성 및 안정성 한계성을 쉽게 극복할 수 있을 것이며, 초대형 유류 저장탱크의 건설비용을 최소한 감소시킬 수 있을 것으로 기대한다.

2. 수직 용접 캐리지 시스템 개발

2.1 운영개념

수직 용접 캐리지 시스템은 초대형 유류 저장탱크를 제작하기 위한 자동으로 용접하는 시스템으로 현재 손으로 하는 수동 용접작업을 대신하기 위해서 개발된다. 용접시스템의 운영 개념은 Fig.2에서 보는 바와 같이 용접 캐리지 시스템을 대형 셸에 안착시키고, 시스템이 내외부 환경에 의해 흔들림이 없도록 고정된 후 용접 캐리지를 상하 이동시키면서 후판용접을 실시한다. 용접이 끝나면 좌 또는 우 측면의 셸 용접을 위해 시스템을 좌우로 이송시킨다.

용접전류, 용접전압, 용접속도 등 용접 품질에 크게 미치는 변수는 외부 온도, 습도 등 환경을 고려한 수년간 데이터베이스화된 자료를 용접작업 전에 제어부에 입력된다. 이로부터 부적합한 용접조건의 빈번한 변경으로 용접불량을 사전에 방지하고 용접 비숙련자도 시스템을 쉽게 운영할 있다.

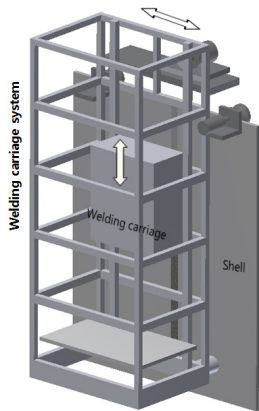


Fig. 2. Operational concept of the welding carriage system

2.2 설계사양 기준

초대형의 유류 저장탱크용 수직 용접 캐리지 시스템 개발을 위해 관련된 국내의 연구 자료와 가스 용접 전문가의 경험, 적용 대상물, 용접 방법 등을 고려하여 개념 설계가 진행된다. 이를 위해 주요 설계 규칙을 제안하였으며 그 내용은 아래와 같다.

- (규칙 1) 용접 캐리지 시스템의 높이는 유류 저장 탱크의 셸의 크기보다 커야 한다.
- (규칙 2) 용접 캐리지 시스템의 무게 중심은 셸에 가까이 있어야 한다.
- (규칙 3) 용접 캐리지는 수직으로 상하이동이 가능하여야 한다.
- (규칙 4) 용접 캐리지 시스템은 좌우 이동이 가능해야 한다.
- (규칙 5) 수직 용접시 용접 캐리지 시스템은 흔들림이 없어야 한다.
- (규칙 6) 시스템은 구조적으로 안전성을 가져야 한다.
- (규칙 7) 작업자가 탑승하여 작업이 수행가능 하여야 한다.
- (규칙 8) 용접 속도는 손용접 대비 50% 이상 향상되어야 한다.
- (규칙 9) 용접비드의 흘러내림 방지를 위해 냉각 장치가 설치되어야 한다.
- (규칙 10) 용접 캐리지 장치는 위치 미세 조정 기능을 가져야 한다.

2.3 설계 프로세스

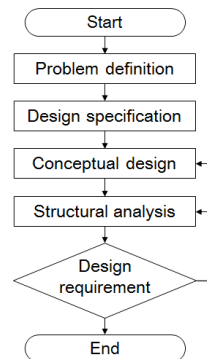


Fig. 3. Design procedure of a vertical welding carriage system

수직 용접 캐리지 시스템의 개념 설계는 Fig. 3과 같이 설계 프로세스를 진행하였다. 최종 설계의 목적은 현

제 초대형 유류 저장탱크 제작을 위해 손으로 이루어지는 수동 수직용접을 대체할 자동 수직 용접 시스템을 설계하는데 있다.

먼저 용접 자동화와 관련한 연구들을 분석하고 현장 용접 전문가들의 경험과 지식을 기반으로 설계 사양 기준을 마련한다. 이로부터 개념설계를 진행하고 획득한 캐드데이터로부터 구조해석을 수행하여 설계 요구사항을 만족한다면 설계안을 채택한다.

2.4 개념설계

수동 손용접에서 발생하는 품질 불량과 불균일한 용접 등을 개선토록 하기 위해 개념연구가 진행되었다. 개념 연구는 설계 사양 기준을 만족하면서 구조적으로 안전성을 가지고 설치 부품의 중량이 적절하게 배치되도록 설계가 진행되었다. 설계의 범위는 용접 캐리지 장치가 가능하고 좌우로 이동할 수 있는 용접 플랫폼 시스템 설계, 상하로 이동하면서 수직 용접을 수행하는 용접 캐리지 구동장치 설계, 용접 변수를 제어하는 제어장치부 설계 등으로 구분된다. Fig. 4는 대형 후판 수직용접을 위해 개념설계된 용접 캐리지 시스템과 각 명칭을 보여준다. 본체 내부에는 작업자 지지대, 용접 캐리지 구동장치 및 가이드 레일 등이 장착되고 보조체에는 쿨링펌프, 용접기, 압축기 등이 장착된다.

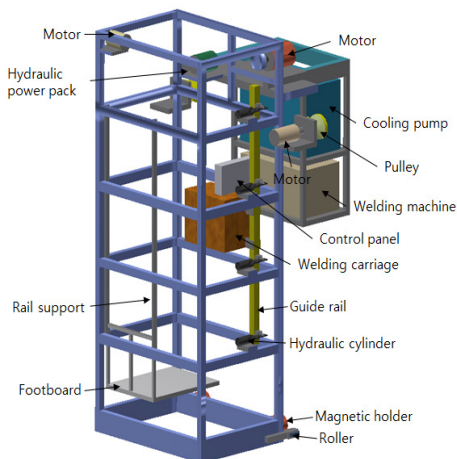


Fig. 4. Conceptual design of welding carriage system

2.5 용접 플랫폼 시스템 설계

용접 플랫폼 시스템은 대형 크레인을 통해서 유류 저장탱크와 탱크간의 이동이 용이하도록 일체형으로 설계

된다. 시스템은 대형 쉘 강판에 거치할 수 있도록 설계가 되고 최소한의 구조물을 사용하여 최대한 경량화 되도록 설계되어졌다. 그리고 시스템의 안정적 운영을 위해 이송도르래의 중심으로 좌우 진후 균형하게 중량물을 배치하였다. Fig. 5는 시스템의 본체 제작도 및 본체와 연결된 보조체 조립도 도면을 나타내고 있으며, 구조물과 용접 캐리지 장치와의 통합 시스템을 보여주고 있다.

초대형 유류 저장탱크를 용접하기 위해서는 작업자가 탑승하여 작업을 모니터링 할 수 있어야 하고, 윈 패스를 통해 한 번에 작업이 완료될 수 있도록 쉘 높이보다 크게 해야 하므로 본체의 크기를 4,600×1,450×1,050mm으로 하고 후면의 보조체는 1,400×1,050×1,210mm로 하였다.

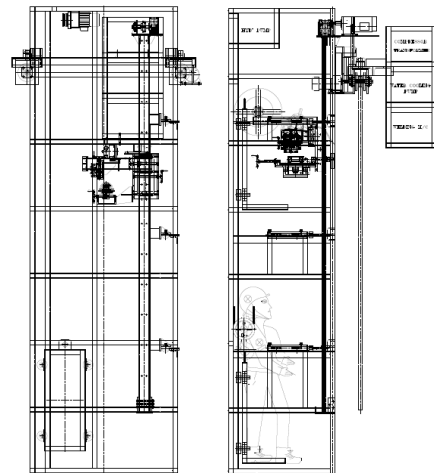


Fig. 5. Drawing of the welding platform system

2.6 용접 캐리지 구동장치 설계

수동 용접시 발생하는 용접부 흔들림을 방지하여 균일한 용접이 이루어질 수 있도록 할 뿐만 아니라 환경의 제약성을 덜 받고 재용접율이 감소하도록 용접 캐리지 구동장치를 설계하였다. 이는 슬라이더, 스크류, 가이드 레일 등으로 구성되는 x-y 이송시스템으로 설계 되어졌다.

용접부에 균일한 용접 간격을 유지하기 위해 용접도치가 진후 이동할 수 있도록 에어실린더를 장착하여 용접부 간격을 개략적으로 조정하고 스크류 이송을 통해 미세 간격을 조정할 수 있도록 하였다. 용접도치 및 와이어 송급장치는 이송시스템에 장착되어 운영되도록 하였다. Fig. 6은 용접 캐리지 구동장치 설계 도면의 일부를 나타낸다.

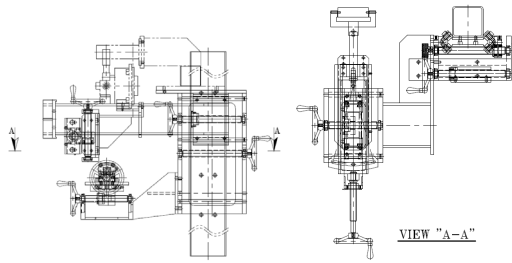


Fig. 6. Drawing of the welding carriage device

2.7 제어장치부 설계

용접캐리지 구동장치의 제어 및 용접 제어는 제어장치부에서 통합하여 설계 및 제작되고 운영된다. 제어장치는 하나로 통합된 시스템으로 구성되어 용접 전압과 전류, 용접 속도, 와이어 송급 속도 제어 등 용접제어와 작업자 리프팅 장치, 용접 캐리지 주행 등을 제어한다. 제어장치부의 제어 범위는 Fig. 7에서 보여주고 있다.

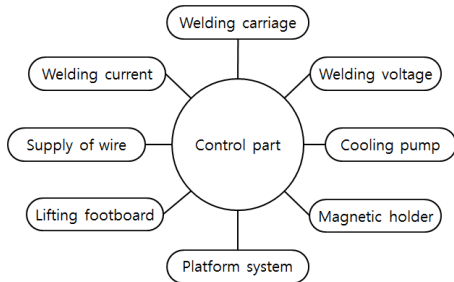


Fig. 7. Range of the control activities for a vertical welding

3. 유한요소해석

3.1 해석모델

구조해석을 수행하기 위한 3차원 모델링 형상은 Inventor 2014를 적용하여 모델링을 수행하였고, 구조해석을 위해서 상용화된 범용 유한요소프로그램인 ANSYS를 사용하였다. ANSYS는 구조, 열유체, 전자기장, 음향 등 해석기능 뿐만 아니라 전·후처리기, 최적설계 등 기능을 가지고 있으며 초보자도 쉽게 사용할 수 있고 효용가치가 높은 결과를 제공한다. 따라서 여러 문헌에서 적용 결과를 볼 수 있는데, 그 해석결과는 실제 실험데이터와 잘 일치하여 실제 모델에서 발생할 수 있는 구조적 문제를 사전에 예측할 수 있는 장점이 있다[6,7].

해석 모델은 구조적으로 영향을 주는 않는 부분을 제거하고 단순화하여 해석 시간을 최소화하고자 하였으며, 그 초기 모델은 Fig. 8과 같다.

해석에 사용된 재료의 물성은 아래 Table 1에 나타냈으며 본 해석에 사용된 용접 자동화 구조물의 요소 수는 53,172개이다. 해석에 사용된 요소는 사면체 요소를 사용하였다.

Table 1. Material properties of the welding structure

Material	Steel
Density(kg/m ³)	7,850
Modulus of elasticity(GPa)	200
Yield Strength(MPa)	250
Ultimate Strength(MPa)	460
Poisson's ratio	0.3

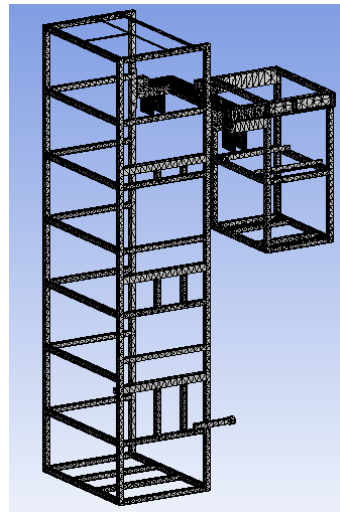


Fig. 8. FEA Model of the welding structure

3.2 경계조건 및 하중

수직 용접 작업을 수행할 때 용접 캐리지 시스템을 대형 후판에 수직으로 걸어 진행하는데 이 때 두 개의 도르래가 용접 시스템을 지지하고 또한 후판 상단 접촉면을 따라 좌우로 이동한다. 하단부의 마그네틱 홀더는 시스템을 강판에 강하게 부착시켜 시스템의 흔들림을 방지하게 된다. 따라서 도르래는 시스템 하중을 지지하고 용접 작업시 접촉면을 따라 미세한 미끄럼이 발생할 수도 있으므로 축방향과 반경방향은 자유도를 구속하고 원주 방향으로 자유롭게 두었다. 마그네틱 홀더와 접촉하는

후판 아래쪽 면은 홀더가 에어실린더에 장착되어 접촉 고정되므로 접촉면에 수직 완충을 고려하여 탄성 구속을 설정하였다.

그리고 하중은 용접 시스템 앞 본체에 장착된 용접 캐리지와 발판, 가이드레일, 구조물 중량 등과 시스템 뒤 보조체에 설치되는 쿨링펌프, 용접기, 구조물 중량 등을 고려하여 구조물 자중과 시스템 앞뒤에 3.8kN, 2kN을 각각 부여하였다. 이로부터 용접 시스템의 응력의 변화와 구조 변형량을 살펴보고자 하였다.

3.3 해석결과

용접 플랫폼 구조물의 변형은 장착 조립품이 가해지는 하중과 구조물의 자체 중량에 의해서 발생한다. 그래서 위의 작용 하중에 대해 용접 플랫폼 구조물의 응력과 탄성변형 및 전체 변형량의 해석결과를 분석하고 고찰하였다.

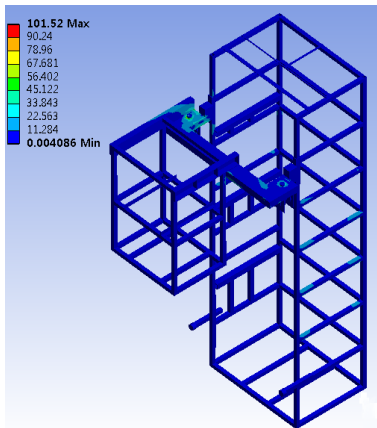


Fig. 9. Von-mises stress of the welding platform structure

Fig. 9는 용접 캐리지 시스템 구조물에서 발생하는 등가응력 분포를 나타내고 있다. 최대응력이 도르래의 힌지 조인트 부위에서 발생하는 것을 알 수 있으며 그 값은 101.52MPa이다. 이는 본체와 보조체의 중량이 후판을 기준으로 앞뒤에서 작용하고 있고, 본체의 장착되는 용접 캐리지 등의 설치대와 보조체의 장착 구성품 등의 하중을 도르래가 모두 지지하고 있기 때문이다. 그러나 최대응력은 구조의 재료 항복강도에 못 미치고 최대 탄성 변형 또한 Fig. 10에서 보듯이 아주 미미하여 재료의 변형과 파괴가 일어나지 않음을 알 수 있다. Fig. 11은 용접 캐리지 시스템 구조물에 발생하는 전체 변형량 결과를

나타낸 것이다.

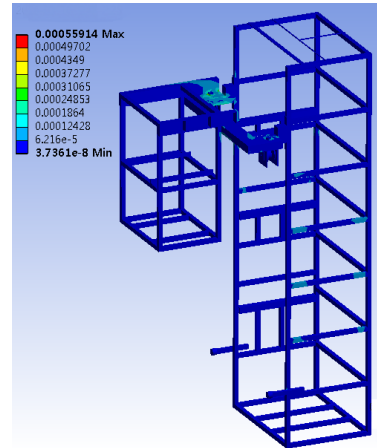


Fig. 10. Elastic strain of the welding platform structure

4.54mm의 최대 변형량이 보조체의 하단부에 발생하는데, 도르래 힌지 조인트 부위의 굽힘응력에 의해서 보조체가 후판 안쪽방향으로 휨이 발생하고 중력가속도 방향으로 처짐량이 발생하여 전체 변형량에 크게 영향을 준 것으로 판단된다. 용접 시스템의 변형 형상은 최대 응력이 발생한 힌지 조인트 지점을 중심으로 굽힘이 발생할 수 있으며, 이 지점으로 굽힘 변형이 일어남을 알 수 있다.

해석결과로 용접 시스템의 안전계수는 2.46으로 안전을 허용할 수 있지만 후판 용접 작업시 캐리지의 상하 이동과 시스템 좌우 주행 등을 고려하여 안전계수를 3이상 되도록 하는 것이 더 안전하다고 할 수 있겠다.

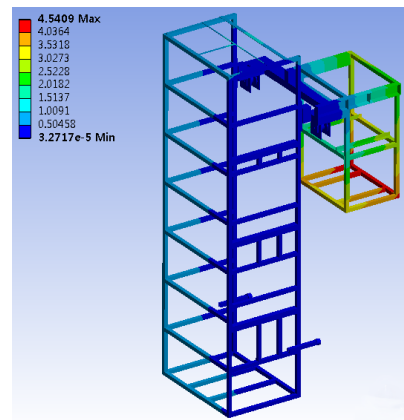


Fig. 11. Total deformation of the welding platform structure

4. 시제품 제작 및 시험평가

4.1 수직 용접 플랫폼 시스템 제조

수직 용접을 위한 용접 캐리지 시스템은 본체 및 보조체, 용접 캐리지 장치, 리프팅 장치, 제어장치부 등으로 구성되고 용접 플랫폼 본체 구조물은 각관을 절단, 용접하여 제작한다. 여기에 보조체 구조물을 제작하여 결합하고 수직 용접 플랫폼 시스템 구조물을 만든다. 각 구성품은 조립 가능한 모듈로 제작하여 수직 용접 시스템에 장착하여 조립한다. Fig. 12는 수직 용접 캐리지 시스템의 조립 장면을 나타낸다.



Fig. 12. The manufacture of the welding platform system

4.2 용접 캐리지 구동장치 제조

Fig. 13은 전후 이동을 위한 에어실린더와 좌우 전후 미세조정을 위한 스크류가 장착된 x-y이송시스템을 보여주고 있으며, 여기에 용접토치가 장착되어 운영된다. 이 구동장치는 가이드레일에 의해 지지되고 상하 이동된다.



Fig. 13. Welding carriage equipment

4.3 제어장치부 제조

제어장치부는 후판 수직 용접을 위한 용접 제어를 비롯하여 용접 캐리지 시스템 운영을 위한 시스템 제어를 통합적으로 담당하는 장치이다. Fig. 14는 제어장

부의 판넬을 보여주고 있다. 용접 및 시스템 제어를 위한 제어변수들은 수년간 축적된 자료를 데이터베이스화되어 관리되고 작업자의 의해서 최적의 변수값이 입력되어진다.



Fig. 14. The control unit

4.4 시험평가결과

개발 시제품의 수직 용접 시험평가에 앞서 후판 쉘의 선정이 중요하다. 일반적으로 초대형 유류를 저장하는 탱크의 강판재로서 사용되는 판은 상온 및 저온용 압력용기판인 A516-60이 많이 사용되고 있다. 이는 보일러용 압력용기에 사용되는 재질로써 압력용기, LPG 탱크, 원유 및 각종 액화물 저장탱크, 원유정제 및 화력발전 보일러 등에 주로 사용된다. 따라서 개발된 시제품의 대형 후판 수직 용접에 대한 시험평가는 A516-60에 대해서 실시하였고 후판 쉘의 두께는 15mm이다. 용접 방식은 EGW(Electro-gas welding) 용접을 실시하였으며 용접은 전압 38~40V, 전류 480~510A로 하였고, 1 패스 용접 실시 후 용접의 품질을 검사하였다. Fig. 15는 용접 시험 장면과 용접결과를 보여준다.



Fig. 15. Welding scene of the developed system and bead appearance

용접결과물은 용접비드 외관에 대한 육안검사 및 인장시험, 굽힘시험, 충격시험 등을 실시하였으며, 또한 용접시간을 최소요구조건인 수동용접의 결과와 비교분석하였다. 시험결과는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Experimental results

	Requirement	Result
Tensile test(MPa)	min. 415	508
Bending test(°)	-	180
Impact test(J)	-	159
Welding time(mm/min)	min. 80	149.8

굽힘시험과 충격시험은 개발 요구목표가 없지만 시험 결과 아주 양호한 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 16에서 보듯이 굽힘시험에서는 용접부의 180도 굽힘 종료까지 용접 표면에 어떠한 결함도 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 또한 용접부 강판의 충격시험에서는 아주 높은 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

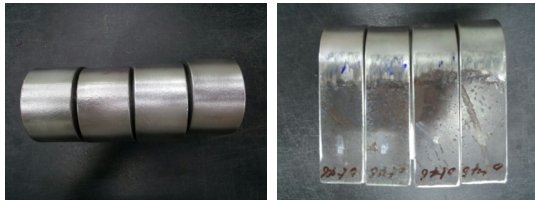


Fig. 16. Result of a bending test

인장시험은 개발 최소 요구 목표인 415 MPa보다 높은 508 MPa의 양호한 값을 얻었으며 용접시간 시험 테스트 결과는 요구사항보다 약 2배 이상 용접시간이 크게 향상되었음을 확인할 수 있었다. 상기의 항목별 시험 평가 결과는 모두 만족스러운 결과를 얻을 수 있었으며 A516-60에 대해 본 수직 용접 캐리지 시스템을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

초대형 유류를 저장하는 탱크 후판의 수직 자세 용접을 손쉽게 할 수 있는 시스템 개발 연구가 진행되었으며 이로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 초대형 유류 저장탱크 제작을 위해 작업자의 손용접으로 이루어지는 기존의 후판 수직 자세 용접을 자동으로 수직 용접이 가능한 용접 캐리지 시스템을 개발하였다.
- 2) 개발 시제품으로 후판 용접을 실시하고 그 결과물에 대해 육안검사, 인장시험, 굽힘시험, 충격시험

및 용접시간 테스트 등을 수행한 결과 모두 만족스러운 결과를 얻을 수 있었고, 시스템의 구조해석결과 또한 최대유효응력이 101.52 MPa(안전계수 2.46)로 구조적 안정성에도 문제가 없음을 확인하였다.

- 3) 수직 용접 캐리지 시스템 기술로 손용접에 발생하는 용접 결함을 최소화하고 2 패스 용접을 1 패스 용접으로 전환함으로써 용접시간을 대폭적으로 감소할 수 있었다.
- 4) 개발품의 용접 단순화로 인해 용접 비숙련자도 쉽게 용접을 수행할 수 있었으며 고속련의 용접기술 인력을 대체할 수 있음을 확인하였다.

본 개발품이 현업의 현장 적용시 수직 용접의 불균형을 개선하고 용접품질을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 공사기간을 단축하여 제조원가를 절감시킬 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Y. Z. Kim, B. H. Kim, Amit, S. B. Lee, W. G. Lee, J. Y. Kim, M. J. Huh, "The Development and Application of Intelligent Welding Carriage with High Deposition Rate by 3-D Weaving", Journal of Korean Welding and Joining Society, Vol.28, No.2, pp. 152-158, 2010.
- [2] C. E. Park, "A Development of Automation of Arc Welding Processes", Journal of Advanced Engineering and Technology, Vol.1, No.2, pp. 315-320, 2008.
- [3] S. Y. Baek, I. S. Sohn, "A Study on GMA Welding Automation of STS301L Joint using Design of Experiment", Journal of KWJS, Vol.28, No.4, pp.403-408, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5781/kwjs.2010.28.4.049>
- [4] H. H. Kim, I. S. Kim, "A Study on Development of the Automated System for In-Pipe Welding", Journal of KWJS, Vol.26, No.5, pp.448-453, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5781/kwjs.2008.26.5.016>
- [5] J. H. Shin, Y. S. Lee, S. H. Ryu, H. J. Sung, "Development of the Hybrid Laser Welding Carriage for Shipbuilding", Journal of Korean Society of Laser Processing, Vol.11, No.3, pp. 21-24, 2008.
- [6] M. S. Oh, S. H. Nam, B. G. Lee, "Structure Analysis for Damper stopper of Lock-up Clutch", Journal of the Korea Academic-Industrial cooperation Society, Vol.15, No.4, pp. 1865-1870, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.4.1865>
- [7] J. S. Lee, "Structure Analysis of High Pressure Cleaning Machine", Journal of the Korea Academic-Industrial cooperation Society, Vol.14, No.10, pp. 4694-4699, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.10.4694>

변 홍 석(Hong-Seok Byun)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 정밀기계 공학과(공학석사)
- 2005년 2월 : 광주과학기술원 (GIST) 기전공학과(공학박사)
- 2005년 2월 ~ 2008년 2월 : 국방 과학연구소(ADD)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 울산과학대 학교 기계공학부 부교수

<관심분야>

CAD/RE, Structural Analysis, Metal Forming