

LNG 하역 플랜트의 Off Shore 배관시공절차 확립에 관한 연구

김용탄, 문승재*, 유호선**†

(주)한양, *한양대학교 기계공학부, **승실대학교 기계공학과

Establishment of Construction Procedure on the Off Shore Piping Work of a LNG Unloading Project

Yong-Tan Kim, Seung-Jae Moon*, Hoseon Yoo**†

Hanyang corporation, Seoul 138-731, Korea

*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received August 19, 2009; accepted September 28, 2009)

ABSTRACT : LNG stevedoring plant offshore pipelines requires human power and the longest construction period in constructing LNG storing terminal and influences on the success of the project absolutely. In this paper, the constructing procedures of LNG stevedoring plant offshore pipeline was established. Establishment of constructing procedures of LNG stevedoring plant offshore pipeline includes procurement of main equipments, iron frame and pipelines. To predict any expectable problems, that may occur by the stage of construction the application to the field works with a base of theoretical and practical contents for the constructing procedures of LNG stevedoring plant offshore pipelines can be established.

Key words : LNG 하역 플랜트(LNG stevedoring plant), 배관시공절차(piping work procedure)

1. 서론

메탄을 주성분으로 하는 천연가스는 일련의 정제 과정 후 장거리 수송을 위해 액체 상태로 변화시킨다. 액체 상태로 된 천연가스를 LNG(liquefied natural gas, 액화천연가스)라 하며 부피는 천연가스의 600분의 1로 감소되고 이때 온도는 -162°C 이다. LNG는 초저온 보냉 적하 탱크를 실은 전용 선박에 의해 포화 압력상태로 운송되며 바다 위의 해상(off shore) 하역 플랜트로 접안한다. 해상 하역 플랜트에 도착한 LNG는 언로딩 암, 해상 배관 등을 통하여 육상의 LNG 저장 탱크에 저장된다.

LNG 하역 플랜트 프로젝트는 통상 매매계약이 20년에서 25년 장기간동안 연간, 월간 일정량을 인도

받아야 한다. 하역 플랜트 해상 배관의 이상 시에도 구매자는 LNG 도입 비용을 지불하여야 하고 하역 플랜트 해상 배관의 성능이 LNG선박의 체류기간에도 영향을 미친다. 해상 배관은 일정한 규칙, 규격이 없고 대단히 복잡하며 공기의 대부분을 차지한다. 따라서 LNG 하역 플랜트에서 해상 배관은 매우 중요하다.

본 연구에서는 LNG 하역 플랜트에서 주요기기, 철골, 배관 등의 조달 및 시공 단계별 발생이 예상되는 문제를 사전에 예견하여 LNG 하역 플랜트 해상 배관시공절차에 대한 이론적, 실무적 내용을 근간으로 현장에서 일어나는 업무에 적용시키고자 해상 배관시공절차를 확립하고자 한다.

2. LNG 하역 플랜트

2.1 프로세스

현재 국내에서 운영되고 있는 통영 인수기지, 평택

† Corresponding author

Tel.: +82-2-820-0661; Fax +82-2-820-0668

E-mail address: hsyoo@ssu.ac.kr

인수기지, 인천 인수기지의 LNG 하역 프로세스를 살펴보면 LNG 하역, 저장, 재순환, 증발가스 처리 및 기화의 일관된 형태로 운영되고 있다.⁽³⁾

하역은 LNG 선박의 펌프를 이용하여 3기의 언로딩 암을 통하여 이루어진다. 하역 플랜트는 언로딩 암의 로봇 팔 격인 스웨벨 조인트를 통해서 선박의 송출펌프 배관라인과 연결된다. 언로딩 암을 통해서 선박에서 하역된 LNG는 2 라인의 해상 배관 및 헤더를 통하여 육상의 저장탱크로 이송된다.

LNG는 100,000 m³ ~ 200,000 m³(최대 액위 - 최소 액위간의 유효체적 기준) 크기의 저장탱크에 저장된다. 저장탱크에 연결된 모든 파이프 라인은 탱크 상부 돔을 통하여 저장 또는 송출이 가능하며, 송출 시는 탱크 내부의 펌프를 이용한다.

해상하역배관을 사용하지 않을 때에 배관을 냉각 상태로 유지하기 위해 소량의 LNG를 재순환시킨다. 저장탱크의 펌프에 의해서 송출되는 LNG는 탱크지역에 있는 송출 헤더라인을 통과한 후 하역 해상 배관중 하나의 라인을 통해 해상 라인을 따라 흐른 후 같이 연결되어진 다른 하역 해상 배관을 통하여 저장탱크 지역으로 돌아와 재액화기로 보내진다.

저장탱크에서 발생하는 증발가스는 증발가스 헤더를 통하여 압축기로 보내진다. 증발가스 헤더는 LNG 인수기지의 각 탱크사이에 압력평형을 유지시키는 기능을 하며, 정상 운전 시에는 탱크로부터 발생하는 증발가스를 처리하기 위해서 증발가스 압축기를 구동시킨다.

LNG는 기화기에서 기체 상태로 변화시키며, 기화기 출구에서의 가스온도는 약 0℃가 유지되도록 한다. LNG 기화기는 ORV(open rack vaporizer)와 SMV(submerged combustion vaporizer)의 두 가지 형식이 주로 사용된다. ORV는 LNG를 기화시키기 위해서 바닷물과 열교환하여 송출량에 상당하는 열 부하를 공급하는 방식이며, SMV는 천연 액화가스를 기화시키기 위해서 물을 이용하여 가열하여 열 부하를 공급하는 방식이다.

2.2 주요기기 설치방법

하역 설비 주요기기의 설치는 크게 LNG 용 하역용 언로딩 암 및 부속품 하역, 언로딩 암 설치, 선박에 필요한 물품 하역 및 공급용 갱웨이 타워·지브 크레인 설치, 선박에서 LNG 하역 시 초기 드레인용 코 드럼 설치, 하역 시 선박의 펌핑 열 및 해상 배관외부에서 유입되는 열에 의해 발생하는 기화가스를 연소시키는 연소용 굴뚝 설치 등 5가지로 분류할 수 있다.⁽⁴⁾

2.2.1 언로딩 암 및 부속품 하역

해외 제작업체에서 운반된 언로딩 암 부재는 국내에서 LNG 인수기지로 육상 운반이 불가능하므로 해상 바지선에 선적하여 예인선에 의해서 운반하며, 운반된 언로딩 암 부재를 대형 수압 크레인을 이용하여 해안 물량장에 하역한다.

2.2.2 언로딩 암 설치

조립된 언로딩 암을 대형 해상 크레인으로 바지선에 선적 후, 예인선을 사용하여 육상에서 해상으로 이동한다. 바지선이 설치 위치에 근접하면 체인 블럭을 사용하여 와이어 로프로 암을 고정한다. 체인 블럭을 사용하여 암을 세운 후 대형 해상 크레인을 이용하여 해상 주요기기 설치 도면 및 해상 철골도면을 참고하여 가설치 하고 검사 후 완료한다. 워킹 플레이트 하부 기초볼트의 조임은 선박을 이용하여 워킹 플레이트 상부에 비계 발판을 조립한 후 실시한다.

2.2.3 갱웨이 타워 및 지브 크레인 설치

갱웨이 타워 및 지브 크레인을 대형 해상 크레인으로 바지선에 선적 후, 예인선을 사용하여 육상에서 해상으로 이동한다. 해상에서 대형 해상 크레인을 이용하여 갱웨이 타워를 해상 주요기기 설치 도면 및 해상 철골도면을 참고하여 가설치 한다. 가설치된 갱웨이 타워 상부에 지브 크레인을 설치하고 검사 후 조립 완료한다. 워킹 플레이트 하부 기초볼트의 조임은 선박을 이용하여 워킹 플레이트 상부에 비계 발판을 조립한 후 실시한다.

2.2.4 코 드럼 설치

대형 해상 크레인으로 바지선에 선적 후, 예인선을 사용하여 육상에서 해상으로 이동한다. 해상에서 해상 크레인을 이용하여 해상 주요기기 설치 도면 및 해상 철골도면을 참고하여 가설치 하고 검사 후 완료한다. 기초 부분은 무수축 콘크리트로 보강한다.

2.2.5 연소 굴뚝 설치

물량장에서 조립된 연소용 굴뚝을 대형 해상 크레인으로 바지선에 선적 후, 예인선을 사용하여 육상에서 해상으로 이동한다. 해상에서 대형 해상 크레인을 이용하여 해상 주요기기 설치 도면 및 해상 철골도면을 참고하여 가설치하고 검사 후 연소용 틱을 설치한다.

3. LNG 하역용 해상 배관 시공절차 확립

해상 배관 시공을 철골, 배관 및 양중으로 나누어 아래와 같이 확립하고자 한다.

3.1 LNG 하역 플랜트 해상 철골시공 절차

LNG 하역 플랜트 해상 철골은 5 m길이의 부재로 구성되어 있다. 각 부재는 해상 위에 설치된 강교의 철 구조물로 된 거더 박스 위에서 조립되어 1 경간 · 50 m씩 조립하게 되어 있다. 본 연구는 해상에서 설치시의 안전 문제 등을 고려하여 대형 장비의 접근이 가능한 해안 작업장에서 1 경간 · 50 m씩을 모듈화 한 후, 조립된 철골을 전용 트레일러로 육상 운반 및 바지선 등을 이용하여 해상으로 운반한 후 해상 크레인을 사용하여 해상 철골을 시공하는 절차를 확립하였다. 그 절차는 다음과 같다.

3.1.1 철골 모듈 조립

각각의 부재는 제작된 워크 샵에서 해안 조립 샵으로 이동한다. 각 부재를 해상철골 도면과 같이 1 경간 · 50 m씩 볼트로 가조립 한다. 1 경간 · 50 m씩 수평도 및 직각도를 검사 후 볼트 조임을 60%만 실시한다. 철골조립 도면의 수평도 및 직각도 검사가 끝난 후 볼트 조임을 100% 실시한다.

3.1.2 철골 모듈 운반

철골 조립이 완성된 1 경간 · 50 m 모듈을 운반하는 작업은 워크 샵 조립장에서 해안 물량 야적장으로 이동하는 육상 운반과 대형 바지선을 이용하는 해상 운반으로 구분된다.

육상운반은 철골의 편하중을 방지하기 위한 균형 거치대를 이용하여 완성된 철골 1 경간 · 50 m 모듈을 모듈 운반 전용 트레일러에 상차시킨 후 해안 물량 야적장으로 운반하는 것으로 이루어진다.

모듈화된 철골은 대형 해상 크레인을 이용하여 모듈을 바지선에 모듈 균형 거치대를 포함하여 선적한 후 예인선을 이용하여 해상 설치 위치로 운반한다. 바지선에 선적한 철골 모듈은 해상 운반도중 파도, 바람 등에 의해서 바지선이 흔들리므로 이탈 방지를 위한 임시 지지대 설치 등 사전 조치를 철저히 실시하여야 한다.

3.1.3 철골 모듈 해상 설치

철골 모듈의 해상 설치의 해안 조수 간만의 차, 편하중, 거더 박스와 철골의 기울기 편차 등을 고려하

여 설치한다. 철골 모듈 해상설치는 대형 해상 크레인을 이용하며, 기존구조물인 교각 등의 간섭을 피하고, 조수 간만의 차, 풍량 및 파고 등을 고려한다. 철골 모듈 해상 설치시 모듈 균형 빔을 이용하여 편하중을 분포 하중으로 균등하게 분배하도록 편하중에 대한 안전을 고려한다. 해상 구조물 거더 박스와 철골 기초 빔과의 기울기차가 발생하므로 이를 보강하기 위한 보강용 플레이트를 준비한다. 철골 모듈의 위치가 거더 박스 위에 정확히 맞추어지면 기울기 보강용 플레이트로 마무리 한다.

3.2 LNG 하역 플랜트 해상 배관시공 절차

LNG 하역 플랜트 해상 배관의 시공은 현장에서 제작된 배관 스펴을 해상 거더 박스위의 철골상부에서 배관 스펴의 각 부분을 용접하여 설치한다. 본 연구에서는 배관 스펴 제작 시 배관 스펴과 연계한 자재 납기, 배관 스펴 제작관리등을 고려하여 해상에서 배관의 각 스펴 설치 시 1 경간 · 50 m 철골 모듈 길이로 안전을 고려하여 배관 스텝거를 제작 후, 모듈에 해상 배관을 시공하는 절차를 확립하였으며, 그 절차는 다음과 같다.

3.2.1 배관 반입 · 취급 및 저장

LNG 하역 플랜트에 사용되는 배관자재는 플랜트 해상 배관의 특성상 긴 공정 주기를 가지므로 입고 후 품질 저하가 발생하지 않도록 반입, 취급, 저장을 거치는 동안에 자재의 특성에 맞는 관리가 필요하다. 배관의 자재 저장은 외부환경의 영향으로부터 품질의 저하가 발생하지 않도록 취급한다. 각 스펴은 외관검사 후 배관제작 스펴 도면에 의거하여 치수 검사 후 모든 배관 끝 부분 및 플랜지는 캡이나 마개로 밀봉한다. 오스테나이트 스테인레스 강은 탄소강과 분리하여 별도 야적장에 저장하였고 방수 덮개 및 양끝단에 마개 등으로 처리하여 빗물 등에 의한 품질의 저하가 발생하지 않도록 조치한다. 밸브의 양단부는 먼지나 이물질이 스며들지 않도록 덮개를 씌운다.

배관 스펴의 현장 설치의 배관 설치 스펴 도면과 배관 플랜도면 및 철골 도면을 참조하여 스펴 번호 순서대로 스텝거로 설치한다. 배관 및 기기의 연결 작업 중 당분간 진행되지 않고 중단했을 시는 임시 덮개로 합판 및 철판, 합석을 사용하며 형깊이나 고무판을 사용하지는 않는다.

샵 스펴 오스테나이트 스테인레스 강은 부분조립 제작이 끝난 후 용접 부스러기, 녹, 그리스, 오일, 먼

지 및 물질 등을 제거하기 위해 청소작업을 한다.

3.2.2 배관 현장 시공

배관 스플 및 스타터의 현장설치는 중장비 등에 의해서 배관 표면에 상처가 생기지 않도록 시공하며, 품질의 저하는 방지하고 시공 후 재작업을 하지 않도록 주의하며 스플 설치, 손상표면보수, 플랜지 연결, 밸브설치, 보강 부착물 순서로 한다.

3.2.3 배관 청소

배관의 청소는 관 내부 표면의 조건, 배관재료 및 LNG, 천연가스, 시상수, 소화수, 해수, 공업용수 등 유체의 종류를 고려하여 수행한다. 계기류가 설치된 계장용 배관은 원칙적으로 계기류를 떼어내고 청소한 후 재설치 한다. 콘트롤 밸브는 설치될 배관의 상·하류를 청소한 후 설치한다. LNG, 천연가스 배관 등 오스테나이트 스테인레스 배관은 물로 청소하지 않는다.

물을 이용한 배관청소 시 순수 여과수 및 공업용수 등을 사용한다. 물청소 물에 압력을 주어 관을 충만시킨 후, 햄머링을 행하고 일시에 배출시킨다. 청소 후 압축 공기나 스폰지, 스몰 볼 등을 이용하여 배관 내부를 건조시킨다. LNG 및 천연가스배관과 같이 수분을 함유하지 않는 배관은 공기를 이용하여 청소하며, 압축공기를 이용하여 햄머링을 실시하여 청소한다.

청소 종료 후 밸브의 시트부에 이물질이 들어 있는지 필히 확인하고 개폐하기 전에 시트부가 서로 맞는지 확인한다. 청소가 완료된 배관은 표식을 하고 계통도에 그 부분을 명확히 검사하여 구별해 놓는다.

3.2.4 배관 산세정

오스테나이트 스테인레스 강의 용접부는 불활성 가스로 보호 후 용접을 이행하여도 열에 의한 산화작용이 발생하므로 산세정 후 보호 피막을 형성하여 오스테나이트 스테인레스 강의 산화를 방지한다.

세정약품은 용접외부는 용접 길이 방향의 용접 심에서 양측 대칭으로 최소 100 mm 폭으로 나일론 브러쉬를 사용하여 규칙적인 두께로 도포한다. 도포작업 중 처리표면 온도는 0 ~ 50℃를 유지하여 40℃ 미만의 물로 세정약품을 씻는다. 나일론 브러쉬로 강제에 묻어 있는 자국을 제거하고, 깨끗하고 마른 스펀지가 없는 천으로 세정 약품을 제거한다. 이때 먼지, 섯가루, 그리스, 기름, 페인트 등의 이물질에 의

한 영향이 없도록 한다.

3.2.5 배관 용접 작업

LNG 하역 플랜트 해상 배관은 LNG, 천연가스, 니트로젠, 액화 니트로젠 등의 프로세스 배관과 연료가스, 소화배관, 플랜트 에어, 해수배관, 상수도등의 유틸리티 배관등으로 다양하게 구성되어 있다. 이와 같이 다양한 배관에 적합한 용접봉재료, 용접방법, 용접절차, 용접수행방법 등은 다음과 같다.

LNG 하역 플랜트 해상 배관의 피복 금속 아크 용접에서 가스 텅스텐 아크 용접(gas tungsten arc welding)으로 루트패스한 용접부, 설계온도가 0℃ 미만이거나 1차 밸브 및 플랜지 등급이 600 파운드 이상인 배관계통, 그리고 재료의 탄소 함유량이 0.30% 이하로 나타나 있지 않으며, 탄소에 대하여 규정된 최대 함유량의 지시가 없는 강재인 경우에는 저수조계 용접봉을 사용한다. 피복 금속 아아크 용접(shielded metal arc welding)은 최대 탄소함유량이 0.30% 이하인 일반탄소강 배관에 E7016-AS 용접봉을 사용할 경우는 나머지 부분을 저수조계 용접봉으로 용접한다. 오스테나이트 스테인레스 강은 가스 텅스텐 아아크 용접으로 용접한다. 가스 텅스텐 아크 용접에 사용되는 용거재는 탄소강에 대한 화학 기계 시험 요건과 오스테나이트 스테인레스 강에 대한 화학 기계 시험 요건이 일치하도록 하여야 한다.

탄소강 배관 자재의 용접방법은 피복금속 아크용접, 잠호 아크용접(submerged arc welding) 및 가스 텅스텐 아크용접을 사용한다. 오스테나이트 스테인레스 강의 용접은 모재의 두께에 따라 가스 텅스텐 아아크 용접 또는 피복금속 아아크 용접을 채택하며, 두께가 비교적 얇은 경우에는 가스 텅스텐 아아크 용접을 적용한다. 루트 패스 다음에 용접되는 패스는 부식 매개체와 접촉하는 용입 층의 표면조건을 양호하게 하기 위하여 필히 가스 텅스텐 아아크 용접으로 용접 수행한다.

파이프 용접을 하기 전에 줄질, 연마, 쇄술질, 또는 솔벤트 세척 등으로 모든 표면을 깨끗이 한 후, 각 패스는 다음 패스가 용착되기 전에 슬래그 등이 없도록 깨끗이 한다. 파이프 용접 수행 시 접지선은 직접 피용접물에 나사 클램프 등으로 확실하게 설치한다. 루트 패스 용접 진행시 가접에 의한 지지물은 모재와 동일한 재질이라 할지라도 반드시 그라인더로 제거 후 용접한다. 밸브 및 기타 배관류는 편하중이나 어긋남이 없도록 용접순서를 사전에 고려 시

행한다.

용접이음은 한 개의 용접층을 완료 한 후 용접부위의 용접 슬래그를 완전히 제거 후 다음 용접 작업을 수행 한다. 용접봉 직경의 2.5배의 위빙을 초과 하지 않는다. 용접 완료 후에는 다음 패스 용접을 위하여 플릭스, 슬러그등은 그라인더 등을 이용하여 완전히 제거한다. 용접진행 방향을 따라서 용착시킨 즉시 다음 패스를 위하여 층간의 용합 및 용입을 염두에 두고 작업한다. 워크 샵 용접작업 시에는 배관을 회전시켜 행하고 수직 자세에서의 하향용접을 하지 않는다.

3.3 LNG 하역 플랜트 해상 배관양중 절차

LNG 하역 플랜트 해상 배관조립을 위한 자재 및 언로딩암, 철틀 모듈, 배관 스팅거 등의 대형 중량물을 해상으로 이동 조립 설치한다. 본 연구에서는 이를 위한 양중절차를 확립하였으며, 그 절차는 다음과 같다.

3.3.1 양중계획의 수립

크레인 양중계획도를 Fig. 1에 나타내었다.⁽⁵⁾ 양중계획은 양중계획도에 의하여 해안에 근접한 육상의 워크샵 또는 물량장에서 바지선 등을 이용하여 해상으로 이동하여 해상 크레인을 이용하여 조립, 설치해야할 언로딩암, 철틀, 배관 스팅거 등의 양중 해야

할 자재, 기기류, 작업원을 파악하여 시공 및 공정 스케줄에 따라 적시적소에 이동, 조립설치하기 위한 시스템 설비를 계획 및 수립 하는 것이다. LNG 하역 플랜트 해상배관 공중에서의 양중물을 어떠한 장비, 경로로 운반할 것인가를 검토한다. 치수, 중량에 맞는 장비의 선정, 설치장소, 작업동선 등을 계획, 결정한다.

3.3.2 양중장비의 상세 검토

LNG 하역플랜트 해상 배관의 경우 철틀, 언로딩암, 배관 스팅거, 철틀등 규모가 비교적 크고, 양중기 가동률이 낮은 경우 면밀한 검토가 필요하다.

최대 양중횟수를 파악하기 위해 철틀, 배관 스팅거 등 주요 공정마다 양중 형식별 부하도를 작성하여 최대 양중횟수를 구한다. 필요한 양중장비의 검토는 크레인 등 장비 용량의 대형화 보다는 각 공정별 자재를 해상 철틀 구조물의 적절한 위치에 양중하는 주기를 근거로 1일 양중가능횟수를 산정한다. 양중 주기는 양중높이와 양중기의 속도를 근거로 상승, 하강에 필요한 시간과 해상, 육상의 조립 물량장을 오가는 시간과 각종 작업에 요하는 시간을 합계한 것으로 1일 가동시간을 이것으로 나누어 1일 양중 횟수를 구한다. 양중기의 설치대수는 원칙적으로 양중자재 부하도로 구한 최대 양중횟수와 양중주기에 서 구한 1일 양중가능횟수로 결정한다.

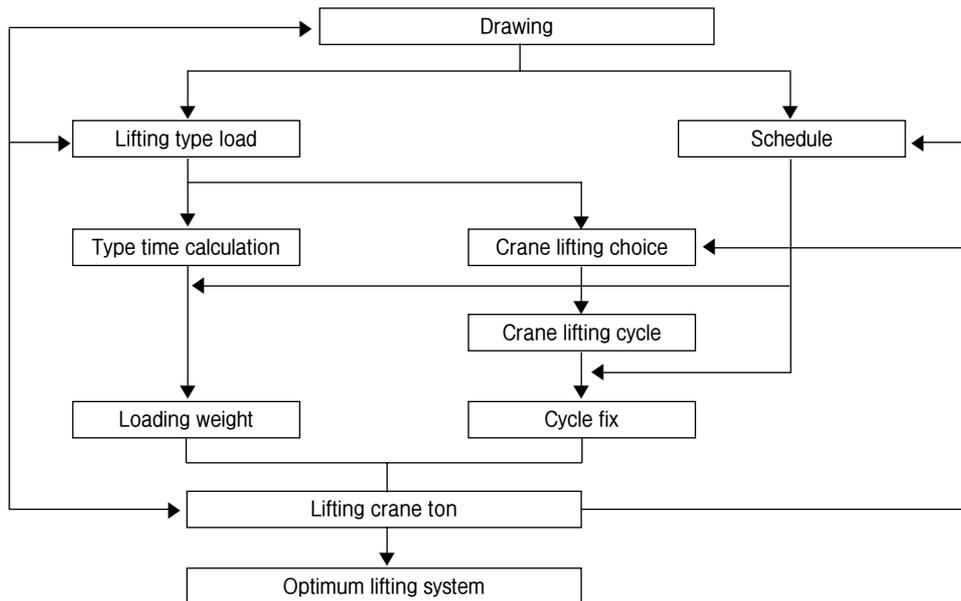


Fig. 1 Crane lift plan

3.3.3 양중장비의 형식·용량의 선정

양중장비의 계획과 상세 검토 후에는 해상구조물의 규모 및 구조, 해상 및 육상 내외의 상황 및 이동 거리, 장비 조달 가능 여부, 안전성, 경제성, 공기 그리고 이용기간 등을 고려하여 형식, 용량을 결정하여 LNG 하역 플랜트 해상의 각 공중에 맞는 최적의 양중장비를 선정한다.

5. 결론

본 연구에서는 LNG 하역 플랜트 해상 배관 시공 절차를 확립하기 위해서 철골, 배관 스텍 등을 해안에 근접한 워크 샵에서 제작·조립한 1 경간·50 m 모듈을 해상에 설치함에 있어서 이에 대한 이론적인 검토를 실시한 결과, 모듈화 된 하역 플랜트 해상을 성공적으로 수행하기 위해서 아래와 같은 절차를 확립 하였다.

1) 워크 샵에서 제작한 철골 모듈 조립 및 운반

방법.

- 2) 배관 스텍거·배관 현장 시공 방법.
- 3) 모듈의 해상 현장설치를 위한 양중계획.

참고문헌

1. (주)한양, 2002, 플랜트 교육과정, (주) 한양 플랜트 사업본부, p.46.
2. (주)대우건설, 2004, 통영 생산기지 건설지, (주)대우건설, p.15.
3. (주)한양, 1999, 평택LNG 인수기지 건설지, (주)한양, p.18.
4. (주)한양, 2002, 플랜트 교육과정, (주) 한양 플랜트 사업본부, p.73.
5. 김문한 외 17인, 2008, 건설경영공학, 기문당, p.221.