

해양플랜트 배관재 공정관리 방법에 관한 연구

박중구¹·우중훈^{2,†}

삼성중공업(주) 중앙연구소¹

한국해양대학교 조선해양시스템공학부²

A Study on Process Management Method of Offshore Plant Piping Material

JungGoo Park^{1,†}·JongHun Woo²

Central Research Institute, Samsung Heavy Industries¹

Department of Naval Architecture, Ocean & Architectural Engineering, Korea Maritime and Ocean University²

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In order to secure manufacturing competitiveness of offshore plants, piping process is one of the most important processes. This study is about the design of management system for piping materials manufacturing of the offshore plant. As a result of the study, we analyzed the system and algorithms needed for the processing of piping material products and designed the structure of the entire management system. We conducted a process analysis of the design, manufacturing and installation processes. And also we proposed a system structure to improve the various problems that have come out. We also proposed an algorithm to determine the delivery order of the pipe spools, and proposed a raw material management system for the manufacturing of the pipe spools. And we designed a manufacturing process management system to manage the risk of pipe materials delivery. And finally we proposed a data structure for the installation process management system. The data structures and algorithms were actually implemented, and applied the actual process data to verify the effect of the system.

Keywords : Pipe material(배관재), Procurement(조달), Installation(설치), Management(관리)

1. 서론

한국의 조선해양 산업은 과거 운반선 위주의 제품구조에서 해양플랜트와 운반선을 동시에 건조하는 체제로 변화해왔다. 2010년 초기 고유가 시대를 맞이하여 세계적으로 해양플랜트의 발주가 증가하였다. 각 대형 조선사를 위주로 이제껏 건조해보지 못한 초대형의 해양플랜트를 설계하고 건조하는 작업이 착수되었다. 해양플랜트는 대표적인 고부가가치 선박으로 매우 복잡한 구조와 기능으로 인해 운반선에 비해 높은 선가와 긴 납기가 특징이다. 해양플랜트는 작업 환경이 열악한 해상에서 작업이 이루어지는 바다 위 석유 화학 공장의 개념으로, 기존에 육상에서 수행하던 석유 및 가스 자원 처리를 해상에서 수행할 수 있는 해양설비(offshore platform)라고 할 수 있다. 해양 플랜트의 탑사이드에는 원유, 가스 등의 에너지 자원을 처리하기 위해 수집 설비, 불순물 처리 설비, 정제 설비, 그리고 저장 설비에 이르기까지 다양한 종류의 설비가 설치되며 (Choi, 2010), 서로 다른 설비를 연결해주는 방대한 양의 기자재와 의장재가 설치된다 (Back et

al., 2016). 해양플랜트는 일반 운반선에 비해 높은 수준의 엔지니어링 및 설계 능력을 요구하고 있다. 또한 설계 공정에도 FEED(Front End Engineering Design)를 포함하여 기본설계, 상세설계, 생산설계에 이르기까지 긴 시간이 소요되고 있다. 그리고 해양플랜트에 설치되는 기자재와 배관재 대부분이 유럽 등의 해외 기자재 업체로부터 조달되고 있어서, 업체별로 편차가 있기는 하지만 조선소에 입고되기까지 평균 1년 이상의 시간이 소요되고 있다.

해양플랜트의 생산 과정 또한 운반선의 건조에 비해 두 가지 큰 특징을 가지고 있다. 첫 번째 특징은 해외 장납기 자재의 많은 사용이다. 설계와 생산이 동시에 진행되는 조선해양 산업의 특성 상 설계 완료 후 자재 조달에 충분한 시간이 주어지지 않는 상황이다. 앞서 설명한 것과 같이 해양플랜트 또한 설계에 많은 시간이 소요되고 있어서, 일부 설계가 완료된 부분에 대해 생산을 먼저 진행하게 된다. 하지만, 엔지니어링 설계의 잦은 변경으로 인해 설계가 완료된 부분에 대해서도 자주 개정이 발생하게 된다. 이는 해외 장납기 자재를 많이 사용하는 해양플랜트의 자

재 공급관리에 악영향을 주어 결국 야드에서의 생산성 저하의 큰 원인이 된다. 두 번째 특징은 배관재의 수량이 급격하게 증가한 부분이다. 기존 운반선의 경우 대부분의 제작 물량이 선각 부분에 해당하는 구조 물량이며 배관, 기전장 장비에 해당하는 의장 물량은 상대적으로 적었다. 대표적인 운반선인 컨테이너선의 경우 의장재 특히 배관재의 물량은 10% 수준으로 매우 적으며, 액화천연가스를 운반하는 LNGC의 경우에는 액화된 가스의 적재 및 하역을 위한 배관 구조가 상대적으로 많다. 하지만 이러한 LNGC에 비해 해양플랜트는 6배~10배 이상의 배관재가 설치되며 (Back et al., 2016), 상대적으로 좁은 공간에 많은 배관재를 설치하게 되어 체감하는 작업 난이도 또한 매우 높다. 기존 운반선에 비해 막대한 수량의 배관재는 새로운 관리 방식, 관리 시스템이 요구된다.

하지만 대부분의 대형 조선사들은 기존의 운반선 제작에 최적화된 야드 운영체제를 그대로 유지하면서 해양플랜트를 수주하여, 급격히 증가한 의장 물량에 대응하기 어려운 구조가 되었다. 기존의 선박 건조 방식은 구조물의 일정 계획을 우선 결정하여 확정된 뒤, 구조물의 건조 일정 계획을 기반으로 의장품의 설치 일정을 배치하는 방식으로 생산 계획을 수립하였다. 이러한 방식은 수 백에서 수 천개의 스폴만 설치하면 되는 운반선에 대해서는 별 문제없이 설치 작업을 진행할 수 있었다. 하지만 해양플랜트 건조 공정에서는 설치해야 하는 스폴의 숫자가 수만에서 최대 십 만개에 이르면서 기존의 건조 계획 수립 및 의장품의 관리방법에 한계가 나타나기 시작하였다.

대표적인 문제가 선형 의장률의 저하이다. 선형의장은 대조립 공정을 완료한 뒤 탑재 공정 이전에 대조 블록에 의장품을 설치하는 공정이다. 해양플랜트 건조의 생산성은 곧 선형 의장률과 직결된다고 할 수 있을 정도로 매우 중요한 공정이다. 그런데 이러한 선형의장 공정에서 설치하지 못하는 물량이 늘어나면서 대부분의 의장 작업 물량을 후행 공정에서 설치하게 되었다. 이에 따라 작업 난이도가 높아지게 되고 추가 작업 시수가 급증하게 되었다. 선형 공정에서 의장품을 설치하지 못한 대표적인 원인은 설계 지연, 원자재 공급 지연, 제작 지연 등에 따른 의장품의 납기 지연이다. 구조물의 제작이 완료가 되어 스폴 및 여러 의장품을 설치하는 작업을 진행하려 하지만, 원자재의 납기 지연, 제작 후 검사 시간 과다 소요 등의 원인으로 인해 각각의 의장품별로 정해진 납기 일정이 정확히 파악이 되지 않았다. 그리고 대부분의 의장품이 납기 일정을 지키지 못하였다. 구조물 위주로 정해진 일정 계획에 따라 구조물 제작 및 탑재 작업은 의장품의 설치 작업 여부와 관계없이 진행이 되었고, 구조물이 완성된 후 뒤늦게 입고가 된 의장품들을 설치하는데 많은 어려움을 겪었다. 구조물간의 간섭을 피하면서 많은 양의 의장품을 설치하려는 시도로 인해 막대한 양의 추가 시수를 투입하게 되었다.

이러한 추가 시수의 발생 원인을 살펴보면, 개발 및 설계 과정에서는 설계 역량의 부족에 따른 설계 공정의 지연과 건조 과정에서는 의장품의 공급 관리 체계의 부재가 중요한 실패 요인이라고 볼 수 있다.

본 연구에서는 해양플랜트 배관재의 설계, 제작, 설치, 검사 등 전 공정 분석을 통해 의장품의 제조 및 납기관리 체계 구축을 위한 공정별 개선 필요 항목을 정의하였다. 이를 통해 통합 배관재 공정관리 시스템 구축을 위한 데이터 구조를 제안 하였다.

2. 관련 연구 동향

배관 공정과 관련하여 수행된 연구로는, 배관 공급망의 개선을 위하여 배관이 제작에서부터 설치되는 장소까지 적기에 납품을 시킬 수 있는가에 대한 것으로 Lee (2013)는 배관의 주요 공정 중 배관 의장품을 설치 부서로 적시 납품하기 위한 목적으로 연구를 수행한 바 있다. 해당 연구에서는 배관제작공정의 전체적인 핵심문제를 찾고 해결방안을 수립하기 위한 과정으로 제약이론을 근거로 DBR(Drum-Buffer-Rope) 시스템을 포함한 개선 5단계 기법을 활용하여 구체적인 해결 방안에 대한 연구를 수행한 바 있다. 해당 연구의 경우 배관재들의 평균적인 특징을 가지고 공정 개선을 수행한다는 점에서는 다양한 배관재의 특성을 일률화 하였다는 점에서 한계가 있었다.

배관재 설치 공정 순서 연구로는 Yan (2012)은 호선에 탑재되는 의장품들의 조립 순서 알고리즘을 정의하고 실제 배관 설치 계획에 해당 알고리즘을 적용하여 간섭 및 공정 가능 여부를 확인하는 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 실제 조립 시 고려되어야 하는 제약사항들을 알고리즘화 하여 자동으로 조립 순서 정보를 도출하는 시스템을 구현하였다. 하지만, 해당 연구는 설치 순서를 최적화하는 부분은 모든 배관재들이 배치되어 있다는 점을 가정하고 있기 때문에 배관 공정 전체 개선에는 한계가 있었다고 볼 수 있다.

한편 빅데이터를 제조분야에 활용한 사례는 계속해서 증가하고 있지만 타 산업분야에 비해 조선 및 해양플랜트 산업에서의 활용 사례는 부족한 상황이다. 하지만 최근 들어 조선 업종에서도 빅데이터와 관련된 기술을 도입하여 경쟁력을 강화하고자 하는 노력이 이루어지고 있다.

Ham et al. (2016)은 의장품 중 후행작업에서 많은 지연이 야기되는 배관재의 제작 및 설치 공정의 리드타임을 통해 조달관리의 수준을 높이기 위한 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 배관공정의 공급망을 6개의 공정으로 나누어 리드타임을 정의하였으며 이를 예측하기 위하여 SPSS를 활용한 다중선형 회귀분석과 PLS 회귀분석을 수행하였다. Hur et al. (2015)은 조선소에서의 공수를 예측하기 위하여 선박 설계 및 생산 과정에서 공수와 관련된 데이터만을 분석하였다. 선박블록 및 공수와 관련된 변수를 정의하고 다중선형 회귀분석과 의사결정나무를 활용하여 예측모델을 생성하였다. 해당 연구에서는 공수예측의 정확성을 위하여 분기별, 월별, 일별로 구분하여 예측모델을 생성하였고 그 결과 모델 측면에서는 의사결정나무, 기간 측면에서는 일별에서 가장 설명력 있는 예측 모델을 제시하였다.

3. 해양플랜트 배관 공정 분석

3.1 배관 설계 공정 분석

해양플랜트 배관재의 통합 공정관리 시스템을 구축하기 위해 먼저 설계 및 구매 공정에 대한 프로세스 분석을 진행하였다(Fig. 1). 배관재의 설계는 종합 개념설계인 FEED 설계에서 산출된 각종 배관 spec 및 material selection report 등을 참고하여 배관의 P&ID(Piping and Instrument Diagram) 도면을 먼저 작성하게 된다. P&ID 도면으로부터 배관 라인 리스트, 각종 장비의 리스트를 산출한다. 산출된 라인 리스트는 생산설계 단계에서 구조물 및 장비간의 연결 관계 혹은 간섭을 고려하여 설계된다. 이렇게 설계된 배관 라인은 스폰링(spooling) 단계를 거쳐 설치되는 단위로 분기되며, 스폰링된 배관라인으로부터 배관재의 BOM을 확정하고 원자재의 발주 준비에 들어간다. 프로젝트 전반에 걸쳐 공통적으로 사용되는 배관재의 경우는 대부분 자동으로 발주하는 체계를 갖춘 조선소가 많이 있다. 해당 프로젝트에서만 사용하는 자재의 경우는 설계자들에 의해 수작업으로 발주가 진행된다. 확정된 BOM을 기반으로 PR(Purchase Request)을 작성하면, 구매 담당자들이 접수하여, 자재 코드별로 PO(Purchase Order)를 진행한다. PO가 발행된 배관 원자재는 TBE(Technical Bidding Estimate)를 거쳐 발주가 진행되며, 원자재 공급 업체로부터 공급된 배관 원자재는 통관, 검사 과정을 거쳐 최종 가용 자재로 승인된 후, 원자재 적치장에 적치가 된다.

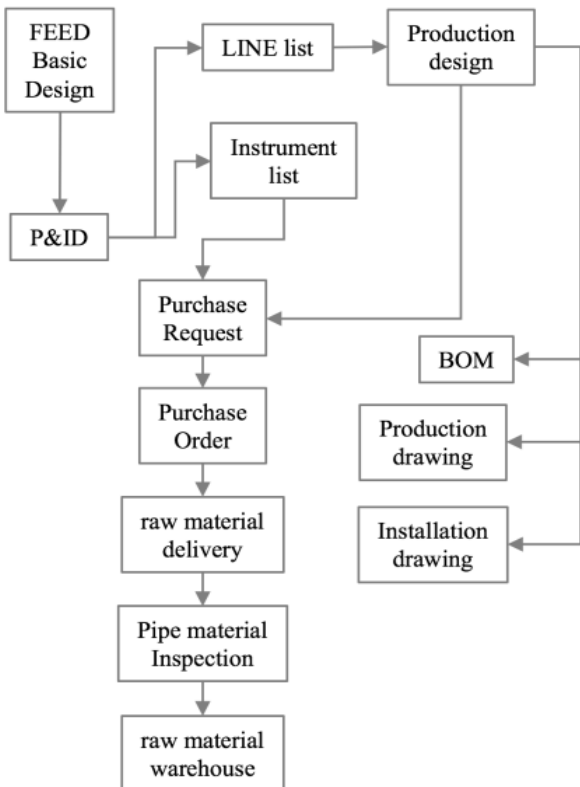


Fig. 1 Process diagram of design process

배관 설계 담당자는 배관 원자재의 발주 외에, 배관 제작도, 배관 설치도를 작성하는 중요한 임무를 가진다. 배관 제작도는 배관 스펙 개별로 제작하는 방법을 도시한 제작용 도면으로, 스펙의 제작을 담당하는 제작처에 제공되는 도면이다. 이 도면에 기재된 원자재를 바탕으로 원자재 출고가 이루어지고, 제작처에서는 원자재를 수령하여 제작 공정에 돌입한다. 배관 설치도는 제작이 완료된 스펙을 해양플랜트 모듈에 설치하기 위해 참고하는 도면으로, 스펙, 설치재 및 장비들 간의 설치 완료 후 형상을 도식화하여 제공하는 도면이다. 그리고 배관 설계 담당자의 다른 임무중 하나는 배관제작 작업 지시이다. 배관제작 작업 지시를 위해서는 배관 스펙을 구성하는 원자재의 발주 및 재고 현황을 파악하고, 설치 착수일 이전에 배관재가 공급될 수 있도록 배관재의 제작 리드타임을 고려하여 제작 작업 지시를 해야 한다.

배관 제작 작업 지시순서는 배관재의 제작 및 설치에 직접적인 영향을 주는 주요한 요인으로, 배관재의 최종 설치 순서에 맞게 제작 작업 지시를 진행해야 한다. 대부분의 해양플랜트의 경우 대형 배관재가 데크와 가까운 부분에 설치가 되고, 직경이 작은 배관재가 그 위에 설치가 된다. 따라서 대형 배관재 위주로 먼저 제작 지시를 하고 입고가 되어야 하며, 최악의 경우 순서가 반대로 되면, 이미 설치된 작은 스펙 들을 대형 배관재 설치를 위해 철거하고 다시 설치해야 하는 경우도 발생 할 수 있다.

배관 설계 및 구매 공정 분석을 통해, 배관재 적기 납입을 위해 필요한 개선 요소들을 도출하면 다음과 같다. 첫째, 배관재의 설치 순서를 로직화하고 이를 배관재 제작 작업 지시에 반영해야 한다. 둘째, 배관재의 원자재 현황을 분석하여 제작 작업 지시시스템 기반으로 수행할 수 있어야 한다. 셋째, 다양한 형태 및 재질의 배관재에 대해 제작 리드타임을 분석하여 납기일 예측을 할 수 있어야 한다.

3.2 배관 제작 공정 분석

해양플랜트 배관재의 경우 대부분 특화된 제작처에서 제작이 진행된다. 대부분 스테인레스(stainless steel) 등의 비철 소재이거나, 슈퍼듀플렉스(super duplex) 등의 특수 재질 등을 사용하는 경우가 많아서 해당 용접 기술이 특화된 제작처에 위탁 의뢰하는 경우가 대부분이다. 이러한 실정으로 인해, 설계 및 구매 단계에서 입고된 원자재를 해당 제작처에 제공하는 단계로부터 제작 공정이 시작된다. 배관 제작 공정에 대한 내용을 Fig. 2에 보이고 있다.

대부분 제작 작업 지시서(work order)에 기재된 원자재를 원자재 관리부서로부터 제공받게 되며, 원자재를 배관 제작 도면에 기재된 크기로 절단 가공하는 작업이 진행된다. 절단 가공작업은 원자재 절단 도면을 이용하여 진행한다. 이 도면은 한 번에 여러 개가 동시에 발행된 W/O로부터 사용되는 동일 원자재끼리 어떤 길이로 잘라야 최소의 작업으로 자를 수 있는지 최적화하여 제공되는 가공 도면이다. 대부분의 원자재가 6,000 mm 단위로 제공이 되는 반면, 사용해야 하는 배관 원자재의 길이는 매우 다양하므로 이렇게 제공되는 도면은 작업효율 증가 및 잔재 감소에도

움이 된다. 가공 작업된 원자재는 취부(fit-up) 공정으로 이송된다. 취부 공정에서는 본 용접에 앞서서 원자재끼리 가 용접을 통해 이어서 완성품의 형태를 잡는 작업으로, 취부 공정 후에 공식적인 첫번째 검사가 이루어진다. 취부 검사에서는 각 원자재간 용접부 간격이 적정하게 구성이 되어 있는지, 전체 치수나 형상에는 문제가 없는지 검사를 진행한다. 취부 검사가 완료된 스펴에 대해 용접 작업이 진행된다. 용접 작업이 완료되면 육안검사 및 내부 결함 검사가 진행된다. 육안 검사는 용접부 비드의 외형상에 문제가 없는지 검사하는 작업이며, 내부 결함 검사는 비파괴검사(NDE, Non-Destructive Examination)로 해양플랜트 배관재의 경우 대부분 방사선 투과 검사(RT, Radiographic Testing)를 진행한다. 방사선 투과 검사는 높은 수준의 방사선이 외부로 노출되는 검사 방식으로 외부와 차폐된 독립된 검사 공간에서 진행되어야 한다. 외부 다른 작업자가 없는 상황에서 검사가 진행되어야 해서 해양플랜트 배관재 제작 공정에서 매우 심각한 병목 공정으로 지목되고 있다. 내부 결함 검사가 완료된 스펴은 다음 공정인 도장 공정으로 이송된다. 도장 공정은 크게 이물질 제거, 도장, 건조 공정으로 진행된다. 도장 공정이 완료된 스펴은 스펴 설치 전 불출 대기를 위해 적치장으로 이동하여 관리된다.

배관 제작 공정 분석을 통해 배관재의 제작 시 병목 공정으로 분석된 비파괴 검사 공정의 최적화가 필요한 것으로 분석되었다. 전체 수작업으로 입력되고 있는 제작 공정 절점별 실적에 대해 자동으로 입력하고 관리할 수 있는 방법에 대한 연구도 필요할 것으로 분석되었다.

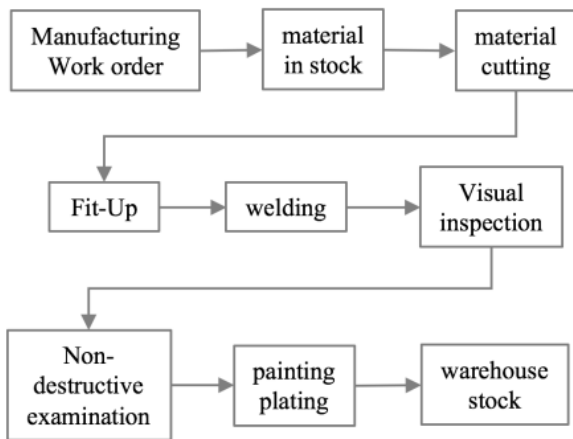


Fig. 2 Process diagram for manufacturing process

3.3 배관재 조달 관리 분석

배관재의 조달관리는 제작되는 배관재가 최종 설치 공정에 적기에 납입될 수 있도록 관리하는 공정으로, 실질적인 적기 납입에 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 배관재의 조달 관리를 위해서 최종 설치 스케줄을 기반으로 각 스펴별 제작 리드타임을 고려하여 납품 계획을 수립한다. 납품 계획 수립을 위해 제작 업체별 리드타임을 고려하여 납품 가능 일자를 계산하고, 이를 제작처별 배량 계획에 참고한다. 배관재의 조달관리를 위해서는 제

작처별 제작량 할당이 매우 중요한 부분이다. 현재의 제작처별 공정 부하, 총 제작 능력 등을 고려하여 할당한다. 또한 설치 공정에 임박하여 설계가 변경되는 등 긴급 제작이 필요한 스펴에 대해서 제작 일정을 관리하는 등의 업무를 담당하고 있다. 이렇게 제작이 완료된 스펴에 대해 제작 완료 검사를 진행하고, 최종 불출대기 장소에 적치하여 관리하는 공정을 담당하고 있다. 배관재 조달 프로세스를 Fig. 3에 보이고 있다.

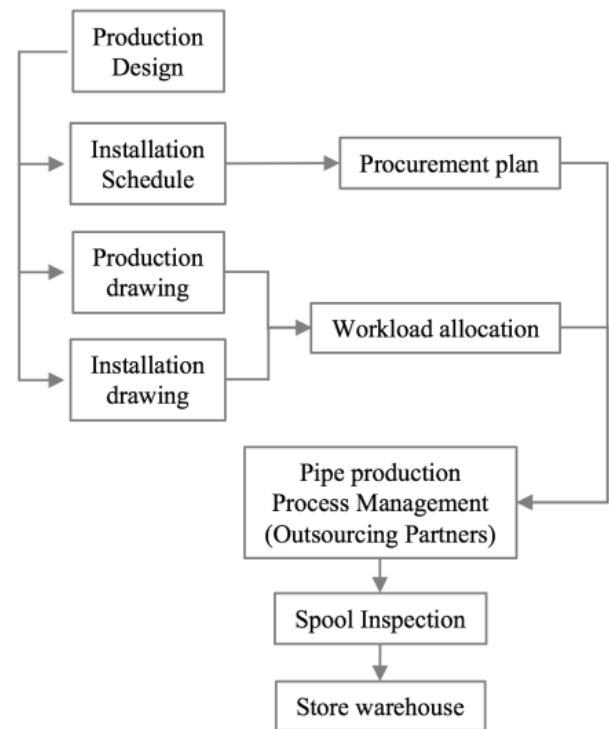


Fig. 3 Process diagram for supply management process

이러한 일련의 조달 관련 공정들이 사내 관리자와 제작 협력사 간의 유선통화, 매일 송수신 등의 형태로 관리되고 있어서 생성된 정보들이 공유되지 않는 단점이 있다. 배관재의 납기 조달관리는 정보공유가 매우 중요한 항목이다. 배관재의 조달 관리자 외에도 공정을 담당하는 관리자들도 이러한 납기관련 정보의 필요성이 매우 높지만 실시간 정보를 제공받기는 어려운 상황이다. 또한 이러한 정보들이 작업자의 수기 정보로부터 수집이 되므로 정보의 정확성, 신뢰성에 문제가 발생하고 있다. 따라서, 배관 제작공정 분석을 통해 공정 실행 정보 수집의 편의성 확대 및 공급 공정정보의 투명성 확보가 중요함을 알 수 있었고, 최근 대형 조선소를 중심으로 IoT(Internet of Things) 혹은 CPS(Cyber Physics System)의 개념을 도입하여 공정 진행 정보 수집의 자동화를 위한 노력을 시도하고 있다. 이러한 정보 수집의 목적은 공급 상황의 투명성 확보가 목표이며, 실시간 정보 관제 체제 구축을 통해 합리적 의사결정을 수행하는 체제의 구축이 궁극적 목표가 된다. 따라서 향후 공급 공정관제에 관한 연구는 IoT 혹은 CPS 기술을 SCM과 어떻게 연계할 것인가에 초점을 맞추어 진행하고 있으며, 이는 통합 공급망 관제의 주요한 연구 방향으로 제시하고 있다.

3.4 배관 설치 및 검사 공정 분석

배관재의 설치 프로세스는 크게 배관재의 설치(installation), 설치 후 기계적 기능 검사(mechanical completion), 도장, 보존의 공정으로 구분할 수 있다. 배관재의 설치 공정은 해양플랜트 건조에서 매우 중요한 공정으로, 많은 시수 투입과 함께 최대 병목 공정으로 분석되고 있다. 배관재의 설치를 위해 설치 일정 계획에 의거하여 필요한 자재에 대한 사전 점검, 설치 도면의 출도 여부 확인, 설치 공정 현황의 확인 작업을 우선 진행하여 최종 설치 계획을 수립한다(Fig. 4). 이러한 각각의 작업은 매우 시간이 많이 소요되는 작업으로 시스템화가 반드시 필요한 공정이다. 배관재의 설치에 필요한 자재를 사전 점검하는 작업은 배관재 설치공정의 핵심 준비 작업이다. 배관 라인을 구성하는 전체 자재, 예를 들면 스펴, 밸브, 서포트, 인스트루먼트 등의 아이템들이 입고가 되어 있는지를 우선 확인한다. 설치 아이тем들의 입고 여부가 확인되면, 이 설치 아이тем을 고정시키는 자재인 설치재들이 입고되어 있는지를 확인한다. 설치재에는 배관재와 배관재 사이에 삽입되는 가스킷(gasket), 배관 서포트와 구조물 사이에 설치되는 슈(shoe) 혹은 슈패드(shoe pad), 스펴과 서포트를 고정시켜주는 각종 볼트류(u-bolt, flange bolt) 등이 포함된다. 이렇게 설치에 필요한 아이тем 및 설치재를 각 설치 단위로 점검하는 작업이 우선되어야 하는데, 설치 준비 담당자들이 도면과 자재 재고현황을 1:1로 비교해가면서 수작업으로 점검을 진행하다 보니 작업의 속도 및 정확도가 매우 낮아지게 되었다. 또한 배관 스펴 간의 설치 작업은 이웃하는 배관재를 함께 설치하면 설치 효율이 높아지는데, 이러한 제약 조건까지 추가되면서 설치작업 준비 담당자의 어려움이 더 높아진 상황이다. 이러한 설치작업 준비 공정 분석을 통해, 설치 아이тем 및 설치재의 준비율을 자동으로 점검하고, 부족한 아이тем에 대해서는 입고 예상일을 전망하여 설치 계획을 수립할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 또한 이웃하는 배관재 간의 설치 가능여부도 자동 점검할 수 있는 알고리즘을 구성하여 설치 준비 자동 점검이 가능한 통합 시스템이 반드시 필요한 것으로 분석되었다.

설치 준비를 통해 설치 가능함을 확인한 배관 라인에 대해서는 자재 불출 신청 작업을 진행한다. 자재 불출 신청은 대부분 설치 담당자들이 시스템을 통해 진행하며, 불출 신청이 완료된 자재들은 현장의 자재 담당자에게 인계되어 설치 작업이 진행된다. 설치 작업은 크게 고박(fit-up), 용접(welding), 검사로 구분할 수 있다. 고박 작업은 아이тем들을 설치 위치에 가 용접 혹은 가 설치 상태까지 진행되는 작업으로 전문 용접사들이 용접 작업을 진행할 수 있도록 위치를 잡아주는 작업을 진행한다. 용접 공정은 스펴과 스펴간 혹은 스펴과 서포트간 용접 작업이 이루어지며, 샵(shop)에서의 작업에 비해 공간이 좁고, 용접 대상물의 회전이나 이동이 불가하며, 간섭물들이 많은 등 작업 여건이 매우 까다로워서 고기량의 용접사가 필요한 공정이다. 용접이 완료된 후 용접부의 검사 공정이 진행된다. 배관재의 제작 공정에서의 검사와 마찬가지로 용접 부위에 비파괴검사를 진행하는데, 검사 수량이 매우 많고 시간이 많이 소요되어 설치 공정 중 병목 공정

으로 분류되고 있다. 또한 이러한 검사 공정은 주변에 다른 작업과 동시에 진행할 수 없는 제약조건으로 인해 대부분 야간에 진행되고 있어서 검사 진행속도 및 작업 효율이 매우 낮아 어려움을 많이 겪고 있는 공정이다. 이러한 검사 공정의 효율화를 위해서는 비파괴검사 개수를 최적화하고, 검사 위치를 쉽게 확인하여 검사 공정을 원활하게 진행할 수 있도록 해 주는 것이 중요하다. 배관재 간의 연결 작업 중 용접에 의한 방법 외에 많은 배관재들이 플랜지 연결 방식으로 체결되고 있다. 플랜지는 배관재와 배관재 사이에 볼트로 체결할 수 있도록 고안된 배관 연결부재이다. 많은 수의 배관재가 이러한 플랜지 방식으로 연결된다. 플랜지 간의 연결은 볼트의 체결 순서, 체결 토크 등이 중요한 변수가 되는데 이는 대부분 해외 엔지니어링 업체에서 수십년 간의 노하우를 통해 데이터화하고 체계화하여 작업 전체를 툰키로 공급하는 경우가 대부분이다.

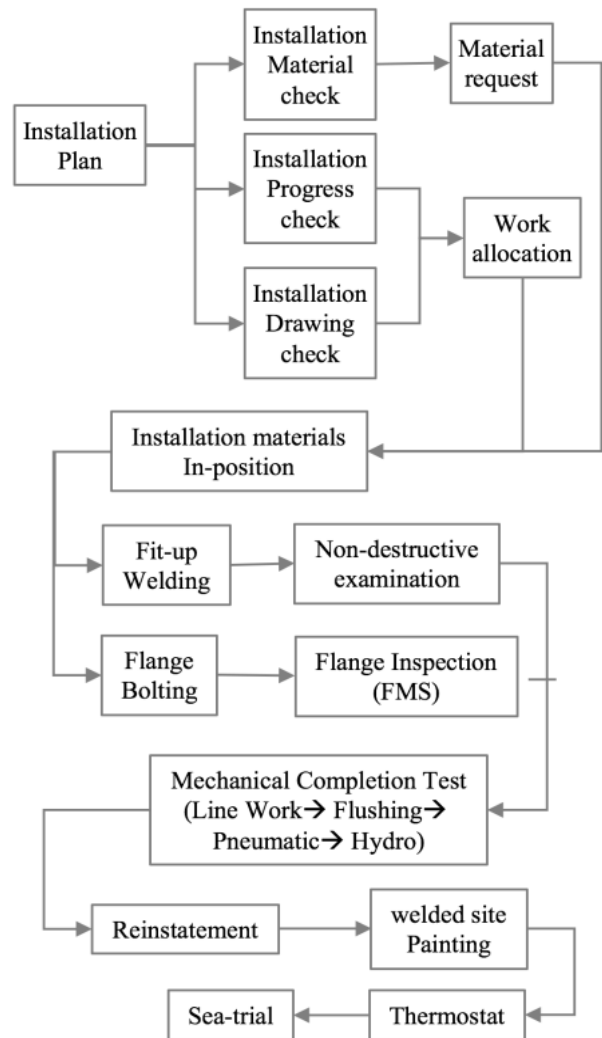


Fig. 4 Process diagram of Installation and inspection processes

설치가 완료된 배관 라인에 대해서는 설치 완료 검사 및 테스트를 진행한다. 설치 완료검사는 대부분 라인워크라는 육안 검사

공정을 진행한다. 라인워크는 설치된 배관라인을 따라가며 설치가 완료되었는지에 대한 여부를 검사하는 것으로 전문 검사 담당자와 함께 육안 검사를 진행한다. 이후 청소(flushing), 수압검사(hydro test), 공압검사(pneumatic test)를 진행하고, 검사 완료된 배관 라인에 복구(reinstatement)를 진행한다.

복구가 완료된 배관라인은 연결부위의 재 도장 작업을 진행한다. 도장작업은 선상에서 진행되는 매우 까다로운 작업으로, 대부분 설치 공정이 지연 완료되는 경우가 많아 출항 일자에 맞추기 위해 긴급히 진행되는 경우가 많다. 또한 설치 및 복구 공정이 진행되는 현황을 계속 모니터링하면서 작업 계획을 수립해야 하는 문제점이 있다. 이러한 공정 분석 결과를 통해 배관 설치 및 복구 공정의 공정현황을 공유하고, 배관 라인별 테스트 진행 현황, 복구가능 여부 점검, 도장 가능여부 점검을 자동으로 할 수 있는 시스템의 구축이 필요함을 알 수 있다.

4. 해양플랜트 배관재 관리 시스템 기능 도출

4.1 배관재 획득 절차 분석 결과

해양플랜트 배관재의 설계, 구매, 조달, 제작, 설치 및 검사 공정 분석을 통해 Table 1과 같은 시스템 및 알고리즘이 공정별로 필요한 것으로 정리되었다.

전체 제작 공정 중 각 공정별로 개선이 필요한 항목에 대해 알고리즘 개발이 필요한 부분과 시스템 구축이 필요한 부분으로 개선 방향을 구분 하였다. 알고리즘 개발의 경우 시스템 구축에 앞서 알고리즘의 구성이 중요한 경우로, 수행되는 업무 분석 결과

최적화 알고리즘, 분석 알고리즘 등 시스템적 업무 수행을 위한 기본 절차가 필요한 경우이다. 시스템 구축은 이미 지식이나 암묵적 경험으로 일부 최적화된 프로세스가 내재화 되어 있으나, 별도 시스템의 도움이 없이 비효율적인 업무 수행이 진행되는 공정에 대해 시스템 구축이 필요한 경우로 표기하였다. 또한 현 단계에서 알고리즘 개발 및 시스템화 하기에는 다른 분야의 선행 연구가 필요한 경우는 연구방향을 제시하는 단계로 종료하였다.

Table 1 Summary of items to improve manufacturing processes

Process	Items	Method	Status
Design	Installation sequence	Algorithm	Develop algorithm
	Analysis material status	System	Verification
	Predict delivery date	Algorithm	Analysis L/T
	NDE optimization	Algorithm	Develop algorithm
Manufacturing	Process result input automation	System	Develop algorithm
	Fabrication process control	System	System develop
Procurement	Optimize piping production distribution	Algorithm	Develop algorithm
	Procurement process	Algorithm	System develop
Installation	Installation planning	algorithm	Develop algorithm
	Installation process control	System	System develop

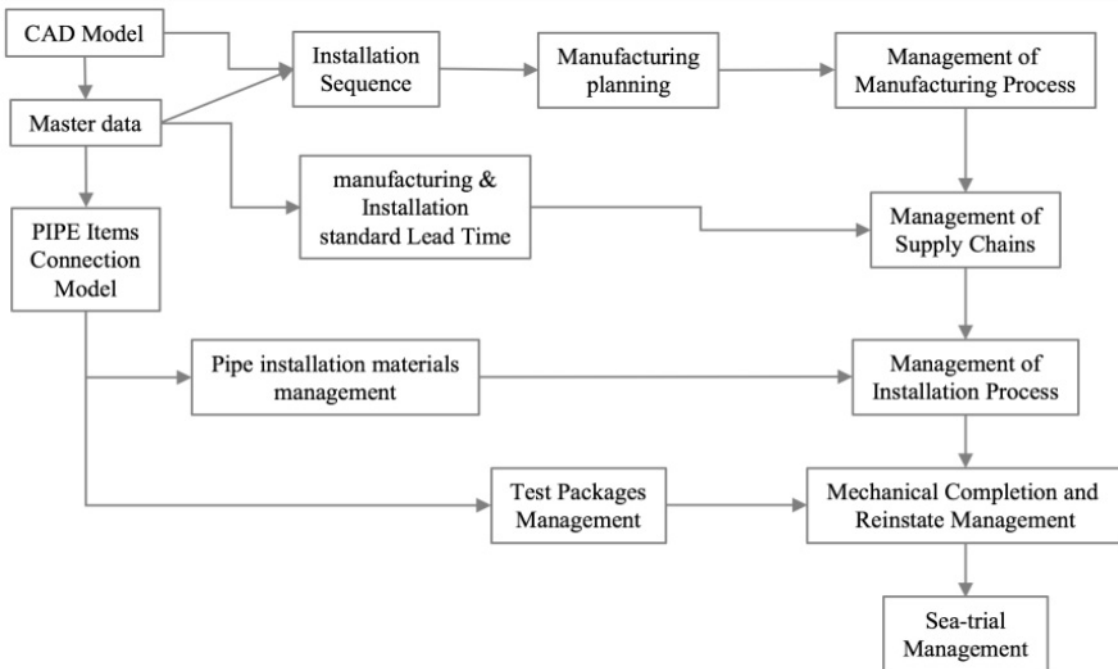


Fig. 5 Conceptual diagram of integrated spool acquisition management

4.2 배관재 통합 관리 시스템 개념 설계

해양플랜트 배관재의 통합 관리 시스템의 개념을 Fig 5에 나타내었다. 배관재의 설계 공정에서부터 설치 공정에 이르는 전체 생산 공정에 대해 앞서 도출한 각 공정별 필요 시스템 및 알고리즘을 바탕으로 통합 시스템의 개념을 도출하였다. 전체 시스템은 각 개별 공정의 개선 외에도 각 개별 공정에서 도출된 데이터 및 개선 항목들이 후속 공정에서도 활용될 수 있도록 공정 전후간의 데이터 소통의 관점에서 설계될 수 있도록 하였다.

전체 시스템은 크게 기준정보를 생성하는 단계와 관리 시스템을 구축하는 단계로 구분할 수 있다. 기준정보에는 기간계 시스템으로부터 수집하는 호선, 블록, 스펴 정보 등 자재를 인식할 수 있는 BOM 정보와 설치 및 제작 일정정보, CAD 모델 정보 등이 있다. 이러한 CAD 모델 및 기준 정보로부터 자재간의 연결관계 정보를 생성한다. 연결 관계 정보는 관리 시스템에서 활용하는 가장 기본이 되는 정보이다. CAD 정보와 기준 정보로부터 배관재의 설치 순서를 도출하고, 스펴의 제작 및 설치에 소요되는 표준 리드타임을 산출한다. 또한 앞서 도출된 연결 관계 정보로부터 설치 단위의 관리를 위한 설치 단위 정보, 테스트 단위 정보인 테스트 패키지(test package) 정보를 도출한다. 도출된 여러 정보들은 각 공정단계별 관리 시스템의 기초 정보로 활용된다.

구축해야할 관리 시스템은 이러한 기초 정보를 바탕으로 구축이 되었으며, 배관재의 제작, 조달, 설치 공정에서 동일한 기준 정보를 활용 할 수 있도록 설계하였다. 배관재의 제작 관리를 위해서는 추가로 배관 원자재의 관리 정보를 ERP 시스템으로부터 수집하였으며, 이를 위해 배관 원자재의 구매, 재고, 검사 정보도 함께 수집하였다. 배관재 제작의 공정 진행 정보의 경우 제작 협력사로부터 기간계 시스템에 입력을 받고 있으며, 입력받은 정보를 그대로 활용하였다. 향후 이 정보의 정합성이 시스템 정확성에 영향을 주었으며, 별도로 개선 방향에 대해 논의 하였다. 배관재 조달 공정 관리를 위해서도 이러한 제작 공정 진행정보가 활용되었으며, 설치 공정에서 배관 자재의 납기일을 예측하고, 설치 가능여부를 판단하는 알고리즘 구성에 활용하였다.

5. 공정별 시스템 설계

5.1 배관재 설치 순서 결정 알고리즘

배관재의 설치 순서는 배관재의 상세 설계 및 구매순서, 제작 순서와 관련된 기준 계획정보로서 해양플랜트의 생산 설계단계에서 매우 중요한 요소이다. 배관재의 설치순서 결정은 매우 복잡한 문제로서, 어떠한 순서로 스펴을 설치해야하는지에 대해 대부분 경험적 지식으로 알고 있지만, 설계 단계에서 명시적으로 전달되지 못하고 있는 실정이다. 본 절에서는 배관재 제작 및 설치의 기준이 되는 배관재의 설치 순서를 결정하는 인자에 대해 검토하였다. 그리고 설치 순서 결정인자에 대해 현장의 인터뷰

조사를 통해 중요도 순으로 분류하여, 설치 순서를 산출하기 위한 방법을 제안하였다.

스플의 설치 일정은 기본적으로 블록별 종일정 계획을 기초로 하여 초기 계획을 수립한다. 이후 블록별로 수립된 설치 일정 계획 안에서 아래의 인자들을 고려하여 실제 설치 작업의 순서를 결정하게 된다.

스플 설치 및 제작의 우선 순위를 결정하기 위해 다음의 세가지 인자를 고려한다. 첫번째는 스펴 자체의 물리적 특성으로 스펴의 직경, 두께, 재질, seam의 개수 등이다. 스펴의 물리적 특성에 따른 제작 우선순위 결정 중 가장 중요시되는 요인은 파이프의 직경이다. 즉 대상 배관재가 대형관인지 소형관인지의 여부이며, 대형관의 구분은 대부분의 해양공사에서 직경 6인치~8인치를 기준으로 나뉘게 된다. 이 기준은 다른 소형관들의 간섭을 피하여 우선적으로 설치해야 하는 현장의 경험적 기준치로 통용되고 있다. 대형 스펴의 경우 메인 라인에 해당하기 때문에 기본 설계 혹은 상세설계 단계에서 대략적인 설치위치 및 길이가 도출되어 선행해서 발주되고 관리하는 경우가 대부분이다.

두번째는 스펴이 설치되는 위치로 데크를 중심으로 위에 설치되는지 아래에 설치되는지 여부, 중앙부 혹은 외곽부인지 여부, 데크를 기준으로 2M 이내의 비 고소 작업인지, 2M 이상의 높이에 설치되는 고소 작업인지의 여부, 1층에 설치되는지 혹은 2층 이상의 고층에 설치되는지 여부 등이다. 설치되는 구역의 특성 또한 중요한 요인이며, 설치되는 구획에 따라 우선 순위를 결정할 수 있다. 스펴이 설치되는 구획 중, 여러 구조물들로 둘러싸인 공간이나, 원통의 벽면 내에 설치되는 공간 등의 밀폐구역이 우선 설치 구획이 된다. 밀폐구역에 접근하기 위해 주변의 간섭이 최소화 된 상태에서 작업을 진행해야 작업성이 높아지기 때문에 밀폐구역을 우선하여 작업을 진행한다. 또한 밀폐구역의 경우 대부분 다른 구조물에 의해 조기에 완전히 접근이 불가하게 되는 경우가 많아 우선 작업 대상이 된다.

세번째는 배관재의 납기와 관련되어 있는 요인으로, 해당 설치 단위에 설치되는 자재들이 모두 준비 되었는지의 여부이다. 이는 배관재 설치에 필요한 배관 서포트는 전 공정에서 미리 설치되어 있는지 여부, 라인을 구성하는 아이템(in-line item)이 모두 입고되어 준비되어 있는지 여부, 장비에 붙는 스펴인 경우 장비가 설치되었는지의 여부 등이다. 상기 세가지 인자 중 첫 번째와 두 번째 인자를 고려하여 주로 스펴의 설치 및 제작 순서를 결정한다. 다만 세 번째 인자는 주로 스펴의 제작 작업 지시를 진행할 것인지 최종 판단하는 단계에서 고려하는 내용으로, 주로 장납기 자재가 포함되어 적기 납입이 불가할 것으로 판단되는 경우, 다른 주변 스펴의 납기를 동시에 연기하도록 알고리즘을 구성한다.

위에서 열거한 여러 가지 설치 우선순위에 고려될 항목들을 작업자들의 경험 및 인터뷰 결과에 따라 순서화 하면 Table 2와 같다. 통상 현장 작업에 있어서 대형관의 운송이 가장 큰 문제로 인식되고 있다. 대형관의 설치 시 주변 구조물과의 간섭 등의 영향으로 설치 난이도가 매우 높아지는 점 등을 이유로 대형관의 설치 우선 순위가 가장 높았다. 또한 seam의 개수가 많을수록

꺼짐 부분이 많이 발생할 가능성이 높아서, seam의 개수가 많을 수록 설치 난이도가 높아지고, 우선 순위가 높게 평가되었다. 두께와 재질의 경우 운송 작업보다는 용접, 플랜지 체결 등 직접적인 설치 작업에 연관된 항목으로, 운송 작업에 비해 체감하는 난이도가 낮게 평가되었다. 설치 위치의 경우도 밀폐구역의 경우 배관재의 운송이 어려운 점이 가능 크게 평가되었고, 데크 하부에 설치되는 경우는 위보기 형태로 작업이 되므로 난이도가 높게 평가되었다. 상대적으로 데크 상부에 설치되는 경우는 작업 난이도가 낮게 평가된다. 이러한 현장 인터뷰 결과를 바탕으로 인자를 아래 표와 같이 도출하였다.

Table 2 Main factors for determine installation sequence

Priority	1	2	3	4
Physical	Diameter	Seam no.	Thickness	Material
Location	Closeness	Deck below	Penetration	Deck above

도출된 인자에 대해 인자별 수준을 분석하여 아래 표와 같이 레벨화 하였으며, 각 레벨별로 점수를 차등하여 부여하였다. 각 레벨의 정의는 현장의 인터뷰를 통해 체감하는 난이도를 조사하여 구분하였다. 각각의 인자에 대해 레벨별로 점수와 가중치를 부여하는 간단한 방식으로 각각의 스펴에 대해 설치 우선순위를 점수화 하였고, 실제 해양프로젝트 1기 수행 사례를 대상으로 검증 진행하였다. 산출된 스코어에 대해 상위 20%를 1순위로 정의하고, 다음 30%를 2순위, 3순위로 정의하였다. 하위 20%를 마지막 4순위로 결정하였다. 실제 설치한 실적 데이터도 상기 분류 기준으로 산출하여 스코어로 산출된 결과와 비교한 결과를 Table 3에 보이고 있다.

Table 3 Some examples of classification of levels

	Level A	Level B	Level C	Level D	Level E	Weight
Diameter	20 ↑	10 ↑	6 ↑	2 ↑	2 ↓	High
Thickness	30 ↑	20 ↑	10 ↑	5 ↑	5 ↓	Middle
Seam	4 ↑	3	2	1	0	Low
Closeness	4 wall	3 wall	2 wall	-	-	High
Position	Below	-	Penetration	-	Above	Middle

가중치의 값과 각 레벨별 값을 어떤 값으로 정의하는가에 따라 스코어가 달라질 수 있지만, 본 연구에서는 방법의 타당성을 정성적으로 검토하기 위해 각 레벨별 점수 간격을 1단위로 세팅하고 검증을 진행하였다.

샘플로 선택한 블록에 속해있는 약 150여개의 스펴 데이터에 대해 실제 설치 실적 상 1순위~4순위로 설치된 스펴에 대해 위의 표에 의거하여 점수를 산출하였다(Fig. 6). 그룹별로 산출된 점수 분포를 아래 그림에 나타내었다. 박스 형태의 그림으로 각각 1사분위, 3사분위 스코어 값을 표현하였고, 중간 실선은 중

간값을 나타낸다. 실제 1순위로 설치된 스펴은 스코어가 높게 나타났다. 낮은 스코어가 산출되더라도 1순위로 설치된 스펴도 관찰되었다. 1사분위, 3사분위, 중간값을 기준으로 스코어 분석 결과와 실제 현장에서 설치한 결과를 비교하였는데, 1레벨의 값에 위치한 박스가 가장 높은 값의 분포에 위치하면서, 우선순위를 잘 반영함을 알 수 있다. 평균적으로 35점 이상의 높은 스코어를 확인할 수 있다. 레벨 2~4의 경우 변별력이 높게 나타나고 있지는 않지만, 중간값의 분포가 레벨 2, 3에 비해 레벨 4가 낮게 나타나는 경향으로 미루어, 설치 순서를 정성적으로 잘 반영함을 알 수 있다. 이 외, 레벨 1의 점수로 표시된 이상치에 대해 상세 분석 결과 현장에서 별도로 납기 및 설치를 요청한 긴급 설치 스펴 물량이 포함된 데이터로 확인되었다. 긴급 설치 물량의 경우 초기에 계획하지 못한 돌발 상황에 의해 발생하는 계획 외 설치 순서 물량으로, 긴급한 설계 개정 등의 원인으로 발생하는 설치 물량이다. 차기 연구에서 이러한 긴급 설치 요청여부를 알고리즘 상에 반영하는 것이 필요함을 알 수 있었다. 정성적으로는 스코어로 산출한 설치 순서와 실제 설치 순서는 높은 상관관계를 가지는 것으로 평가할 수 있으며, 앞서 언급한 바와 같이 물리적 특성, 설치 위치 외의 요인을 고려할 수 있는 알고리즘의 보완이 더 필요함을 알 수 있었다.

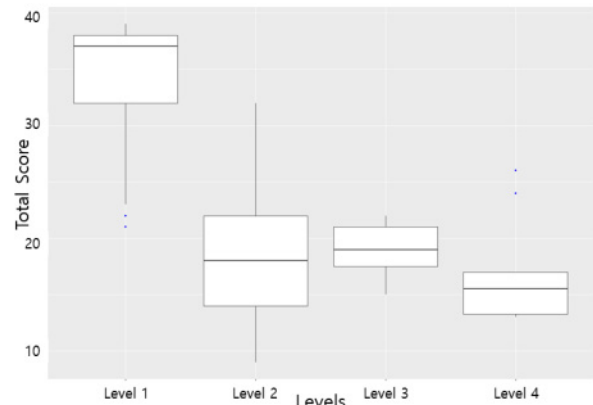


Fig. 6 The result of analyzing spool installation sequence

5.2 배관재 제작 관리 시스템

배관재의 설치 순서가 결정되면, 배관재의 제작 작업 지시를 진행해야 한다. 배관재의 제작 작업 지시를 위해 배관재의 설계 데이터로부터 배관재의 물량을 예상하고 배관재의 제작에 소요되는 자재를 미리 발주하는 체계가 요구된다.

기존의 MTO(Material Take Off) 기반의 원자재 발주 체계에서는 발주에 필요한 자재를 취합하여 동일 자재별로 먼저 그룹핑하고, 그룹핑 된 자재를 하나의 구매 지시로 묶어서 발주하여 관리하는 방식이었다. 그러나 해양플랜트 생산에서는 프로젝트마다 고유한 식별 번호를 부여하고 각각의 자재별로 별개의 PO로 관리해야 하는 프로젝트 사양으로 인해 관리 방식이 대폭 변경되었

다. 이에 따라 관리해야 하는 데이터의 수도 폭발적으로 증가하였다. 기존 일반 상선의 건조 환경에는 동일한 프로젝트가 아니더라도 동일한 자재인 경우 프로젝트 간 자재의 혼용 혹은 전용이 가능하였다. 그러나 해양플랜트 건조에서의 까다로운 자재 관리체계에서는 이러한 혼용 혹은 전용이 불가능하여 개별 관리가 필수적이게 되었다. 이러한 특성으로 인해 프로젝트 별 자재관리 시스템을 별도로 구축하였고, 설계 단계에서 계획한 예방 물량에 대해서도 각 프로젝트 별로 별도의 PO 관리 체계로 운영이 되도록 하였다. 이러한 운영 체제에서는 자재관리의 효율성이 매우 중요한 문제로 제기되었다. 자재 별로 발주 상황의 모니터링, 자재 입고현황 및 자재 재고 현황의 실시간 모니터링이 가능하도록 구성하였다. 또한 자재의 재고 현황과 배관재의 제작 작업 시간에 시스템적 연계가 필요하게 되었으며, 실시간으로 재고를 파악하면서 배관재의 제작 작업지시를 협력사에 제공하는 시스템으로 구성하였다.

전체 시스템 구성을 Fig. 7에 도시하였다. 시스템은 크게 원자재의 재고 현황 분석, 설계 BOM의 분석, 원자재 재고와 설계 BOM의 1:1 매칭, 매칭결과 부족한 자재의 분석을 수행한다. 첫 번째로 원자재의 재고 현황 분석을 위해, 현재 자재 창고에 재고로 보관중인 자재의 현황, 구매에서 발주가 완료되어 입고가 예정되어 있는 원자재의 현황을 분석한다. 그리고 현재 작업 지시가 완료되어 자재 불출이 대기되어 있는 현황, 그외 기타 작업 용도로 원자재의 불출 신청이 되어 있는 현황을 파악하여 현재 시점의 실제 자재 현황을 분석한다. 두 번째로 설계에서 출도된 BOM의 현황을 분석한다. 이를 위해 실제 제작 도면이 출도된 현황을 분석하여 필요한 자재의 수를 자재코드별로 분류하여 분석한다. 실제 필요 수량은 설계에 디자인 된 각 원자재별 소요 수량, 길이 정보로부터 계산한다. 세 번째로 원자재 재고 현황과 설계 BOM 현황을 1:1로 매칭하는 작업을 진행하는데, 이때 설치 순서가 우선순위가 되어 먼저 우선순위가 높게 매칭이 된다. 설계 BOM에 부족한 자재들은 자재 리스트가 출력되어, 각각의 원자재를 사용하고 남은 잔재들의 현황을 취합하여 2차 매칭 작업을 수행한다. 2차 매칭 작업을 수행한 뒤에도 부족한 자재들은 부족한 자재들로 분류되어 추가 구매 절차를 진행한다.

5.3 배관 제작 납기일 예측 알고리즘

배관재 제작 공정에 소요되는 전체공정에 대해 리드타임을 산정하기 위해 각 공정별 완료시간 데이터를 수집하여 분석하는 알고리즘을 구성하였다. 수집된 원 데이터를 분석한 결과, 입력이 되지 않아 비어있는 데이터, 공정이 잘 못 입력된 데이터 등 분석에 오차를 크게 발생시킬 수 있는 데이터들이 다수 발견되어 전처리 과정을 진행하였다. 데이터 전처리를 위해 프로세스 마이닝 기법을 활용하여 (Lee et al., 2013), 각 스펙별로 공정의 표준 진행 프로세스에 맞는 데이터만 선별하여서 공정이 잘 못 입력된 데이터를 걸러내었다. 또한 공정 데이터가 입력되지 않은 경우는 후 공정 데이터의 유무에 따라 두 가지로 데이터를 분류하였다. 프로

세스 상 후 공정의 실행 결과가 있는 경우는 공정 실적 미 입력데이터로 정의하였고, 후 공정 데이터가 모두 없는 경우는 공정이 진행 중인 데이터로 판단하였다. 물론 공정이 진행 중인 데이터는 스펙의 입고 여부 데이터를 확인하여 공정이 진행 중임을 확인할 수 있도록 하였다. 이러한 전처리 과정을 통해 정리된 데이터를 기반으로 각 세부 공정별 소요 시간을 계산하였다.

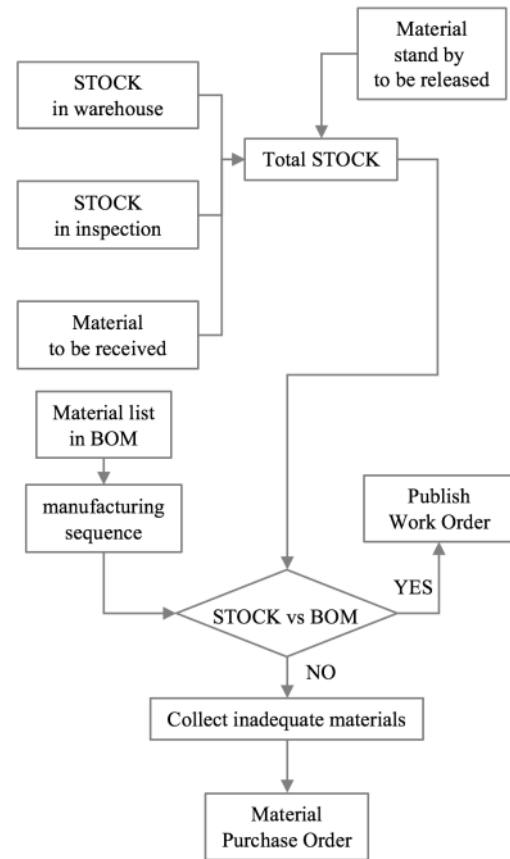


Fig. 7 Process diagram of raw material management system

공정별 소요 시간을 하나의 값으로 정의를 해야 하므로 여러 스펙에 대한 평균값을 취하는 것이 올바른 방법이지만, 제작 공정 이외의 외란으로 인해 발생한 데이터들에 대해서 평균에서 제외하는 방법이 필요하다. 이를 위해 분포 혼합 모델(distribution mixture model)을 활용하여 각 케이스별로 발생한 소요시간의 분포를 혼합하여 하나의 확률분포 모델을 먼저 구성하였다(Fig. 8). 확률분포 모델로부터 각 케이스별 발생 확률을 계산하여 가중치로 곱해서 하나의 리드타임 값으로 계산하는 방식을 도입하였다. 즉, 외란이라고 판단되는 값의 경우는 그 발생 빈도는 매우 낮으나 값이 평균에서 많이 벗어나 평균값에 오차를 많이 발생시키므로, 발생 확률을 가중치로 곱하여 이상치가 주는 영향을 최소화 하도록 하는 방법이다. 발생 빈도를 가중치에 곱해주는 기법을 적용하면서, 가중치와 발생 빈도를 모니터링 할 수 있는 체제도 구축하였다. 이렇게 도출된 공정 리드타임은 배관 제작 공정관계 시스템을 통해 각 제작 협력사별 공정 진행 현황의 확인, 예상되는 납기일의 확인 등의

목적으로 활용 할 수 있도록 하였다. 또한 납기 예측 알고리즘의 주요한 입력 데이터로 활용할 수 있도록 하였다.

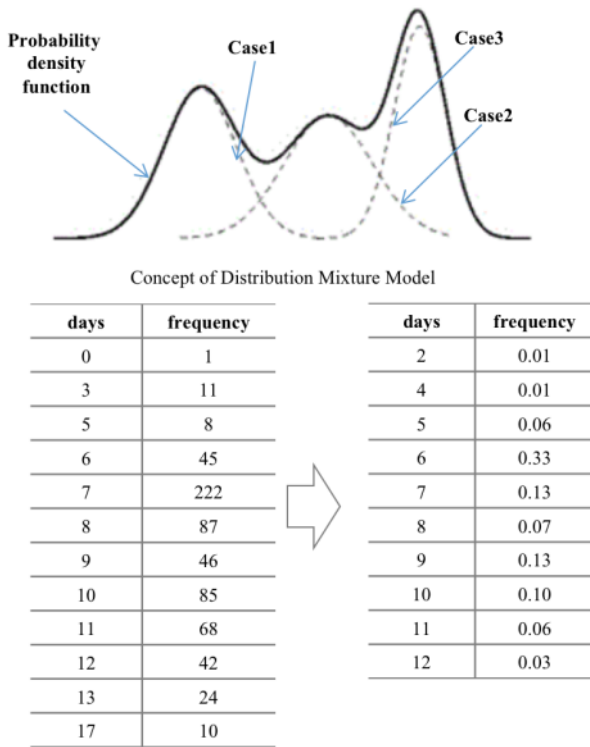


Fig. 8 Simple example of distribution model

5.4 배관재 설치 준비율 관리

조선업에서는 배관재의 설치를 위해 설치할 아이템들이 얼마나 준비되었는지에 대한 설치 준비율을 정의하고 있다. 각 해당 아이템들이 설치 준비가 되었는지를 판단하기 위해서는 설치에 필요한 아이템들의 준비 여부가 중요한 판단 기준이 된다. 배관재 연결 부위에 시공하는 개스킷, 배관 서포트, U자형 볼트, 슈 및 슈패드 등의 아이템들이 중요한 설치 아이템이 된다. 따라서 배관재를 설치하는 관점에서 이러한 설치 아이템들이 모두 준비가 되면 설치를 진행할 수 있다.

또한 각 설치 스푼 개별의 관점에서의 설치 준비율 정의 외에, 여러 스푼 간의 거시적 관점에서도 설치 준비율을 정의하고 있다. 이는 각 스푼의 관점에서 설치 준비가 완료된 경우에 대해 연결 관계의 관점에서 설치 가능 여부를 점검하는 것이다. 통상 현장의 작업 여건 상 3개가 연속되어 설치 준비가 완료된 스푼을 찾아서 설치 작업을 우선 진행 한다. 다른 의미로는 스푼의 완설 가능 여부에 대한 관점에서 정의하는 것으로, 3개가 연속적으로 설치 준비가 완료되면, 중간에 있는 스푼은 양 옆의 스푼과 함께 완전한 설치를 할 수 있는 조건이 되어 완설 작업이 가능하다. 즉, 개별 스푼의 관점에서 설치 준비가 완료되면, 각 개별 배관 스푼과 서포트 사이의 구속 작업만 가능하고, 인접 스푼 간의 연결 작업은 불가하게 된다. 스푼과 서포트의 작업만 수행하는 것은 스푼의 설치 작업에서 다시 한번의 재별 작업을 남겨놓게 되

는 경우가 된다. 예를 들면 스푼 간의 연결 시, 구조물 제작의 오차 혹은 공정 상에서 발생한 여러 치수 오차로 인해, 이미 설치 완료했던 스푼과 서포트 간의 연결을 해제하고 치수를 맞춘 다음 다시 구속해야 하는 이중 작업이 발생하게 된다. 이러한 이유로, 각 개별 스푼이 설치 가능한 것은 당연한 기본 전제가 된다. 스푼 간의 연결이 완성되는 연속 3개의 스푼이 존재해야 한다는 부분이 설치의 관점에서 설치 준비율이라고 정의할 수 있다.

이러한 설치 준비율을 설치 작업 전에 점검하기 위해서는 각 스푼간의 연결이 어떻게 구성되어 있는지에 대한 정보에 각 스푼의 자재가 준비되어 있는지의 정보가 필요하다. 각 스푼간의 연결 관계 구성은 CAD 모델 정보로부터 추출이 가능하다. 각 스푼의 전후에 존재하는 아이템의 종류를 인식하여 선후 관계에 있는 각 스푼을 매핑하여 연결 관계를 찾을 수 있다. 그리고 각 스푼에 속해있는 서포트의 정보를 인식하여 속성 데이터로 매핑하여 스푼과 서포트의 연결관계를 찾을 수 있다. 이렇게 구성된 연결관계 정보를 바탕으로 각 스푼 및 서포트 혹은 밸브류, 기기류에 대한 자재 정보를 매핑하였다. 자재 정보로는 자재의 발주여부, 입고여부, 자재의 고유번호, 설계번호, 설치해야하는 위치 등의 정보가 포함되어 있다.

설치 준비율 점검에 대한 알고리즘은 Fig. 9와 같이 점검하고자 하는 대상을 설치단위를 기준으로 각각의 설치 아이템이 설치 준비가 되었는지를 점검하고, 설치 준비가 완료된 아이템들의 연결 관계가 연속적으로 2개 이상 혹은 3개 이상인 경우가 몇 개 존재하는지 찾는 형태로 구성하였다.

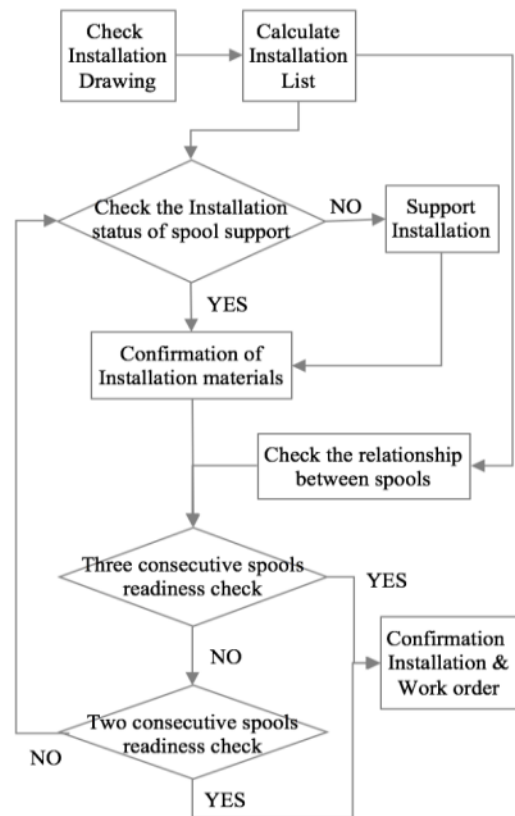


Fig. 9 Sequence diagram for spool install preparation management

6. 시스템 데이터 구조 설계 및 관리 시스템 개발

통합 해양플랜트 공정관리 시스템을 구성하기 위해 통합 시스템의 데이터 구조를 설계하고, 이를 기반으로 관리 시스템을 구축하였다.

데이터 구조는 크게 CAD 모델정보, 기준정보, 공정정보로 구분하였다. CAD 모델 정보 영역에는 CAD 시스템으로부터 추출하여 획득 가능한 정보들을 저장하는데 이는 주로 스폴 및 자재의 ID와 CAD 모델의 ID를 매칭하기 위한 정보와 아이템 간의 연결 관계 정보에 해당한다. 일정정보는 공정 계획 및 실적 입력을 위한 일정에 관한 정보를 저장하였다. CAD 모델로부터 추출한

연결 관계에 관한 정보는 연결 관계 테이블에 별도로 저장하였다. 이를 위해 CAD모델로부터 연결 관계를 추출하는 전처리 과정을 거친 후 데이터를 저장하게 된다. 기준정보와 CAD 정보로부터 일정계획 수립의 기본 데이터가 되는 공정별 리드타임을 계산하여 관리하는 테이블을 별도로 구성하였다. 각 세부 공정관리를 위한 공정 진행 정보는 각 공정마다 별도의 관리 테이블을 구성하였다. 그리고 각 공정별 주요 관리 공정에 대해 계획 및 실적 일정을 관리하도록 하였다. 그림 10에서는 공정관리 시스템의 기반이 되는 데이터 구조를 보이고 있다. 이러한 데이터 구조를 바탕으로 실제 시스템을 구현한 사례를 그림 11에 나타내었다. 그림 11에 도시한 시스템은 배관재 설치 준비율 관리 시스템으로, 각 설치 아이템이 설치 준비가 되었는지를 일목요연하게 표현하여 작업 착수 전에 쉽게 점검이 가능하도록 구성하였다.

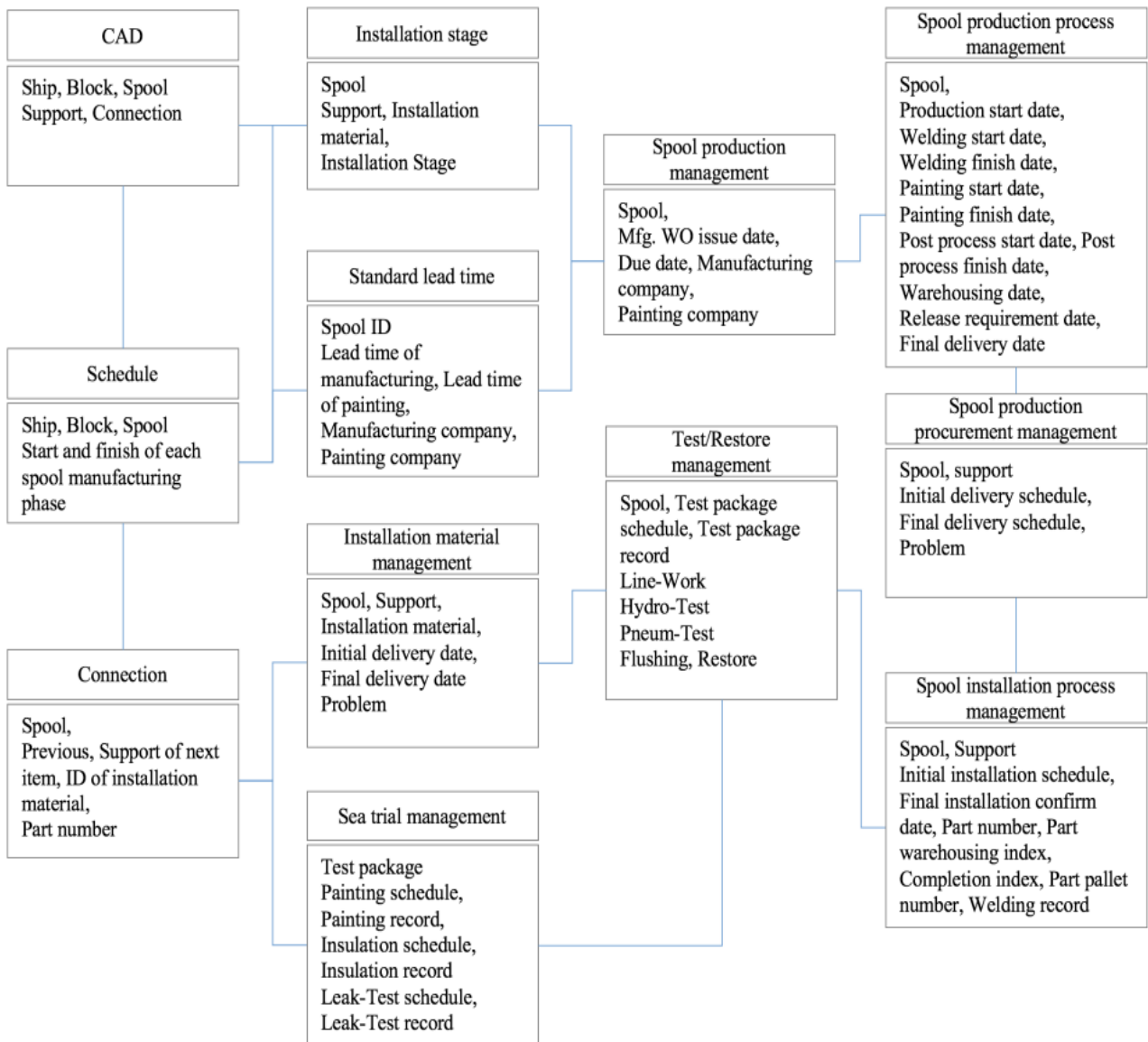


Fig. 10 Data logical structure of offshore process management system

Fig. 11 A simple example of developed system : pool install preparation management system

References

Back, M.G., Woo, J.H., Lee, P. & Shin, J.G., 2017. Productivity improvement strategies using simulation in offshore plant construction. *Journal of Ship Production and Design*, 32(3), pp.144–155.

Choi, K.S., 2010. *Instruction to offshore plant*. Munundang: Seoul.

Ham, D.K., Back, M.G., Park, J.G. & Woo, J.H., 2016. A Study of piping leadtime forecast in offshore plant's outfittings procurement management. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 53(1), pp.29–36.

Hur, M., Lee, S., Kim, B., Cho, S., Lee, D., Lee, D., 2015. A study on the man-hour prediction system for shipbuilding. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(6), pp.1267–1279.

Lee, D.H., Park, J.H., Bae, H.R., 2013. Comparison between planned and actual data of block assembly process using process mining in shipyard. *Journal of Society for e-Business Studies*, 18(4) pp.145–167.

Lee, H.S., 2013. *A case study on improvement of pipe outfitting production process using TOC*. Master's Thesis. University of Ulsan.

Yan, W., 2012. Automatic generation of assembly sequence for the planning of outfitting processes in shipbuilding. *Journal of Ship Production and Design*, 28(2), pp.49–59.

