

프로세스 마이닝 기법을 이용한 해양플랜트 배관재 제작 공정 관리 방법에 관한 연구

박중구^{1,2} · 김만규¹ · 우중훈^{2,†}
삼성중공업(주) 조선해양연구소¹
서울대학교 조선해양공학과²

A Study on Process Management Method of Offshore Plant Piping Material using Process Mining Technique

JungGoo Park^{1,2} · MinGyu Kim¹ · JongHun Woo^{2,†}
Ship & Offshore Research Institute, Samsung Heavy Industries¹
Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Seoul National 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.

This study describes a method for analyzing log data generated in a process using process mining techniques. A system for collecting and analyzing a large amount of log data generated in the process of manufacturing an offshore plant piping material was constructed. The analyzed data was visualized through various methods. Through the analysis of the process model, it was evaluated whether the process performance was correctly input. Through the pattern analysis of the log data, it is possible to check beforehand whether the problem process occurred. In addition, we analyzed the process performance data of partner companies and identified the load of their processes. These data can be used as reference data for pipe production allocation. Real-time decision-making is required to cope with the various variances that arise in offshore plant production. To do this, we have built a system that can analyze the log data of real - time system and make decisions.

Keywords : Process mining(프로세스 마이닝), Log data analysis(로그 데이터 분석), Supply management of piping materials(배관재 공급 관리)

1. 서 론

프로세스 마이닝 기법은 기록되어 있는 이벤트 로그를 분석하여 의미 있는 정보를 찾아내는 것을 목적으로 하는 기술로 주로 프로세스에 대한 통찰, 병목점 식별 및 문제 예측, 업무 수행 규정 위반 검사 및 대책 권고, 프로세스 간소화 등의 목적으로 활용되고 있다 (Kim et al., 2013). 이를 위해 주로 BPM, ERP, CRM, SCM 등 많은 업무 처리 시스템에서 기록되는 데이터의 이벤트 로그를 분석하고 (Lambert et al., 1998), 성과 측정, 프로세스 모델 도출, 시뮬레이션 분석 등의 연구를 진행하고 있다 (Lee et al., 2016).

프로세스 마이닝의 가장 핵심적인 기술은 이벤트 로그에서 프로세스 모델을 도출하는 기술이라 할 수 있으며, 이를 통해 아직 가시화되지 않은 프로세스를 찾는데 유용하게 쓰일 수 있다.

또한 이를 통해 실제 공정 등에서 작업이 어떻게 수행되고 있는지를 빠르고 정확하게 추출할 수 있다 (Song et al., 2009).

국내 조선 산업에서도 IT 기술의 발달과 함께 다양한 생산 공정 모니터링 시스템이 개발되어 현장에서 활용되고 있다. 대부분의 시스템들은 현재 공정 현황을 확인하고, 다음 작업할 공정에 대한 준비 상황을 점검하는 형태로 이루어져 있다. 이러한 공정 현황 확인에 추가적으로 생산 공정에 축적된 이벤트 로그를 이용하여 프로세스 모델을 도출하고, 생산 계획 단계와 실행 단계에서 발생한 프로세스를 비교 분석하여 개선 항목을 도출할 수 있다면 데이터 기반의 공정관리 기술의 유효성을 높일 수 있다 (Lee et al., 2012).

본 논문에서는 해양 플랜트의 배관 제작 공정 관제를 위해 제작 과정의 로그 데이터를 이용하여 프로세스 마이닝 기법을 적용하였다. 배관재 제작 로그 데이터의 수집 및 가공, 분석을 위한 프레임워크를 구축하고, 프로세스 마이닝을 통한 배관재 제

작 공정에 대한 분석 연구를 수행하였다. 이를 통해 이상 프로세스의 패턴을 분석하여 공정 모니터링 시스템에 적용하였고, 식별된 병목 공정 결과를 이용하여 배관재 공급 관리에 응용하였다.

프로세스 마이닝 기술은 크게 세가지 기본 유형 및 단계가 있다. 첫 번째는 프로세스의 도출 단계로, 프로세스에 대한 사전 모델 구축 없이 이벤트 로그로부터 프로세스 모델을 생성하는 기법이다. 두 번째는 프로세스 모델의 적합도 검사 과정으로, 도출된 프로세스의 적합도를 평가하는 단계이다. 적합도 검사를 위해 기존에 만들어진 프로세스에 실제 프로세스 데이터를 입력하여 모델의 적합성을 정량적으로 평가하는 단계이다. 세 번째 단계는 프로세스 모델의 개선 단계로, 적합도 검사로부터 측정된 모델의 적합도에 근거하여 모델의 개선이나 향상을 추구하는 단계이다 (Lee et al., 2013).

본 연구에서는 배관재의 제작 공정 관제를 통해, 배관재의 이상 공정 발생 현황을 감시하고, 적기에 납입하기 위한 시스템을 구축하였다. 배관재의 제작 과정은 협력사에서 입력해주는 실적 정보로 분석할 수 있으나, 자동화된 분석 프로세스의 부재로 인해 제작 공정의 관제가 어렵기 때문이다. 공정 관제 및 프로세스 관제 시스템을 구축하기 위해 프로세스 도출을 위한 데이터 수집 및 전처리, 프로세스 모델의 도출 및 프로세스 모델의 적합도 평가를 수행하였다. 도출된 프로세스에 적합하지 않는 케이스를 식별하는 과정에서 비정상적으로 진행된 프로세스를 확인할 수 있다. 이를 기반으로 프로세스 마이닝 기법을 적용한 배관재 제작 관제 시스템을 구축하고, 적합도 검사를 하면서 발생하는 이벤트의 흐름을 추적하는 과정에서 병목 공정을 분석하고 가시화할 수 있도록 하였다.

2. 프로세스 데이터 분석 시스템 구성

2.1 데이터 수집, 정제 및 분석

공정 로그 데이터 기반의 공정관제 시스템의 전체적인 구성은 데이터 수집, 데이터의 정제 및 분석 그리고 분석 결과의 가시화로 구분할 수 있다. 데이터 수집은 기간계 시스템으로부터 로그 데이터를 수집하는 단계로, 공정 프로세스 분석 대상 및 기간을 설정하고 프로젝트 단위의 공정 데이터를 수집한다. 그리고 수집된 데이터를 전처리하고 데이터 상의 오류를 검사한다. 이후 데이터 분석 단계에서는 프로세스 모델의 도출, 프로세스 패턴분석, 작업 지연 및 병목 분석과 마지막으로 작업 종류, 작업 부서, 작업장 별 부하 분석 등을 수행한다. 분석 결과의 가시화 단계에서는 각종 분석 결과들을 차트 등을 통해 웹 상에서 가시화하고, 전체 공정 관리 시스템에 결과 데이터를 반영한다. 이러한 전체적인 분석 단계를 바탕으로 시스템을 구축하였다.

프로세스 모델 도출을 위한 분석 기법에는 크게 휴리스틱 마이닝, 퍼지 마이닝 및 알파 마이닝 기법이 있다. 휴리스틱 마이닝 기법은 이벤트간 프로세스의 흐름과 빈도를 이용해서 프로세스 모델을 도출하는 방법으로, 공정 가시화에서 많이 사용하는

기법이다. 퍼지 마이닝은 복잡한 프로세스를 프로세스의 발생 빈도를 기준으로 주요 프로세스를 구분하는 알고리즘이다. 알파 마이닝은 이벤트 집합 내의 프로세스 패턴을 확인하여 적합도 검사를 쉽게 할 수 있게 하는 특징이 있다. 이 외에도 프로세스 도출을 위한 다양한 프로세스 마이닝 기법들이 지속적으로 개발되고 있다 (Lee et al., 2013). 본 연구에서는 이벤트간 프로세스의 흐름과 빈도 분석에 초점을 맞추어 병목 공정 및 이상 프로세스를 분석하는데 목적이 있으므로, 휴리스틱 마이닝 기법을 활용하였다.

데이터 전처리는 프로세스 마이닝에서 매우 중요한 첫번째 단계로, 전처리 결과에 의해서 분석 데이터의 품질과 결과에 많은 영향을 준다. 데이터 전처리에서 중요한 부분은 예외 케이스에 대한 정의이다. 대부분의 데이터가 시간 로그 데이터와 시간 로그데이터를 식별할 수 있는 데이터로 구성되기 때문에 데이터의 형식이나 내용이 복잡하지는 않다. 다만, 다양한 예외 케이스 데이터들에 대해 전처리 과정에서 제외할 수 있는 알고리즘을 구성하였다. 이상공정 감지 및 병목 공정 분석이라는 목적을 달성하기 위해, 이상 프로세스로 오인할 수 있는 데이터를 사전에 제외하거나, 효율적인 병목 분석을 위해 데이터를 분류하는 작업을 진행하였다. 데이터 전처리를 위해 다음과 같은 데이터 분류 및 예외 케이스 정의를 진행하였다.

제작 작업 지시에서 제작완료 후 적치, 야드 입고 후 설치 완료 공정까지 발생하는 전체 실적 데이터를 수집한 뒤, 데이터가 없는 케이스 중 다음의 케이스에 대해서는 분석에서 제외하였다.

(1) 제작 및 도장 작업장의 데이터가 없는 경우

제작 및 도장 작업장의 데이터가 없는데 실적 데이터가 있는 경우는 분석 데이터에서 제외하였다. 대부분 데이터 수집 과정에서 발생하는 오류로, 작업장 명이 잘 못 입력되었거나 데이터 형식이 잘 못되어 수집되지 않은 경우이다.

(2) 첫 번째 공정 데이터인 제작 작업지시 실적이 없는 경우

스폴 제작의 첫 번째 공정인 제작 작업지시 공정의 실적이 누락된 경우는 분석에서 제외하였다. 프로세스의 시작 실적이 이후 공정의 리드타임 분석, 성과분석 데이터의 날짜 기준이 되므로 기준 데이터가 없는 경우는 분석에서 제외하였다.

(3) 첫 공정과 마지막 공정 사이에 2개 이상의 연속된 공정 실적이 없는 경우

스폴의 제작에 해당하는 공정 중 연속된 2개 이상의 공정 실적이 없는 경우는 전처리 과정에서 제외 하였다. 각각의 중간 공정 데이터 한 개씩 없는 경우는 앞 뒤 두 공정 사이의 실적을 평균하여 사용하였다.

(4) 실적이 입력된 날짜가 3개 이상 동일한 경우

실적이 입력된 공정 중, 3개 이상의 공정이 동일한 날짜에 입력된 경우는 분석에서 제외하였다. 이는 실적 입력이 성실히 되지 않은 케이스로, 프로세스 분석 결과에 좋지 않은 영향을 줄 수 있어서 제외하였다. 다만, 특별히 긴급 제작하는 경우 데이터 수집 주기인 1일 이내에 두 개의 공정은 수행할 수 있어서, 2개의 공정 실적이 동일한 날짜로 기재된 것은 분석에 활용하였다.

(5) 제작 과정에서 폐기되어 사용하지 않는 스펙의 데이터 설계 변경 등의 이유로 제작 과정에서 스펙이 폐기가 되면 시스템 내에 폐기 스펙으로 등록이 되며, 이 데이터는 분석에 제외하였다. 제작 과정에서 설계가 변경되면 제작중인 스펙도 폐기가 되는데, 폐기 전까지의 공정 데이터가 수집되어 있더라도 해당 데이터는 삭제하도록 하였다.

위와 같이 데이터의 전처리 과정을 통해 제외할 데이터를 찾아낸 뒤, 효율적인 데이터 분석을 위해 데이터를 사전 분류하는 작업을 진행하였다. 데이터 분류는 아래와 같이 다양한 분석 목적에 맞는 데이터를 쉽게 활용할 수 있도록 사전에 분류하는 과정이다. 데이터의 분류 기준은 아래와 같다.

(1) 제작 및 도장 협력사별 데이터 분류

공정 관제를 위해 제작 협력사와 도장 협력사별 데이터를 사전 분류하였다. 제작, 도장 작업 만 진행되는 협력사와 두 개의 공정을 동시에 진행되는 협력사를 분류하여, 제작 후 도장 공정 사이의 이동 시간 차이를 데이터 분석에 고려할 수 있도록 하였다. 또한 제작 및 도장 협력사간의 업무 친밀도 분석을 위해서 사전 분류를 진행하였다.

(2) 긴급, 준긴급, 정상 제작 리드타임 스펙 분류

설치 일정의 특성에 따라 제작 스펙에 대해 긴급, 준긴급 혹은 정상으로 분류를 하는데, 이를 사전에 분류하여 별도로 프로세스 분석을 진행하였다. 긴급도에 따라 각 공정에 부여된 리드타임이 다르며, 제작의 긴급도도 달라진다. 이러한 특성이 전체 공정 분석에 외란으로 작용할 수 있어서, 사전 분류 후 분석 작업을 진행하였다. 수집한 데이터 항목은 각각의 스펙을 인지할 수 있는 호선, 블록, 스펙ID와 각 공정별 완료 실적 로그 데이터이다. 이 데이터를 바탕으로 각 분석 목적에 맞도록 데이터를 가공 처리하였으며, 이를 총 8개의 테이블로 정리하였다. 테이블 간의 논리구조는 아래의 Fig. 1과 같다.

2.2 데이터 분석 항목의 정의

수정된 데이터를 이용하여 분석을 수행할 항목을 다음과 같이 정의하였다. 분석 목적은 제작 프로세스의 문제 상황 모니터링 및 협력사 별 성과 분석이다.

(1) 스펙 제작 및 도장 작업 프로세스 모델 분석

프로세스 모델을 통해 전체 프로세스를 직관적으로 이해할 수 있다. 프로세스 모델 분석은 프로세스의 이해, 제작 공정 상에서 발생하는 지연 공정의 파악, 전체 제작 및 도장 공정 중 병목 공정의 파악 등에 활용 할 수 있다. 이를 통해 작업 지연 프로세스를 개선하여 스펙의 적기 납입 효과를 얻을 수 있고, 각 공정의 리드타임 분석 및 예측이 가능하다.

(2) 제작 및 도장 공정의 다양한 프로세스 패턴 분석

프로세스 패턴을 분석하여 프로세스 상의 특이 사항을 분석할 수 있다. 주요 메인 프로세스의 패턴을 이해하고 작업 유형별 프로세스 차이를 이해할 수 있다. 또한 부서별, 작업별 빈도 및 시간 분석을 할 수 있고 이를 통해 작업 성과, 작업량 추세 파악 등이 가능하다.

(3) 프로세스의 적합도 분석

프로세스 표준화를 통해 특이 프로세스를 분석하고 진단할 수 있다. 이를 통해 특이한 프로세스 패턴을 발견하고 문제가 발생하지 않도록 사전 조치가 가능하다. 특이 프로세스 패턴에 대한 분석을 통해 스펙 제작 및 도장 공정에서 발생하는 이상 프로세스를 감지하도록 하여, 스펙 제작이 지연되거나 중단되는 케이스들을 조기에 감지할 수 있도록 하였다. 또한 동일한 프로세스가 다르게 수행되는 프로세스 간의 차이점을 분석할 수 있고, 표준 프로세스의 패턴을 분석할 수 있다. 이를 통해 작업 시간의 낭비 부분을 찾아 개선할 수 있다.

(4) 스펙 제작-도장 협력사 간 작업 연결망 분석

프로세스 내에서 작업 주체 간의 이해관계를 구성할 수 있다. 스펙의 제작, 도장 협력사간 작업 연결망 분석을 통해, 물류의 흐름을 가시화할 수 있다. 또한 사외 적치장, 사내 최종 설치 작업장 간의 작업 연결망 분석을 통해 작업간 최소 거리가 유지되는 물류 네트워크를 검토할 수 있다. 그리고 공정 간의 관련성을 분석하고, 작업 주체 간의 연결 관계를 시각화 할 수 있다.

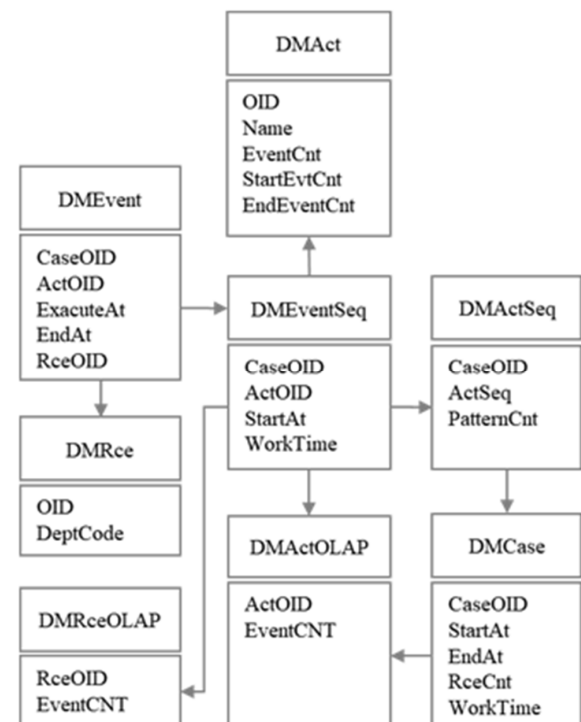


Fig. 1 Log data collection items and data structures

3. 공정 로그데이터의 분석 결과

3.1 공정 프로세스 패턴 분석 및 모니터링

스펙의 제작 및 도장 공정에서 발생하는 실적 로그 데이터를 분석하여 제작 프로세스의 패턴, 공정상의 문제점 발생 패턴을 분석하였다. 또한 공정 실적이 입력된 패턴을 분석하여 실적 입력의 이상 발생 상황을 감지할 수 있는 분석 방법을 개발하였다.

이를 위해 공정 현황을 아래 Fig. 2에서 보여주는 예와 같이 크게 4가지로 분류하였고, 아래와 같이 상세히 정의하였다. 그림 2의 숫자들은 각각의 공정의 순서를 나타내고, 점선으로 표기된 공정은 아직 실적이 입력되지 않은 공정을 의미한다. 프로세스의 구분은 프로세스 탐색을 통해 도출된 수많은 프로세스들을 1차적으로 그룹핑하여 도출하였다.

- (1) 정상 완료: 지정된 모든 제작 프로세스를 ‘올바른 순서’로 ‘모두’ 진행한 케이스
- (2) 정상 미완료: 지정된 모든 제작 프로세스를 ‘올바른 순서’로 ‘일부분’ 진행한 케이스
- (3) 이상 완료: 지정된 제작 프로세스 중 최소 한 곳 이상이 ‘올바르지 않은 순서’로 진행되거나 혹은 누락된 뒤, 마지막 프로세스를 수행한 케이스
- (4) 이상 미완료: 지정된 제작 프로세스 중 최소 한 곳 이상이 ‘올바르지 않은 순서’로 진행되고, 마지막 프로세스가 진행되지 않은 케이스

위와 같은 분류 기준에 따라, 로그 데이터의 분석을 통해 프로세스의 패턴을 군집화 하였다. 수집된 로그 데이터를 제작 및 도장 협력사에서 입력한 실적 데이터를 기반으로 프로세스를 분석하고 분류하였다. 프로세스 패턴은 크게 15개로 분류가 되었으며, 각각의 공정이 진행된 실적이 어떤 시간 순서로 배열되었는지에 따라 분류하였다. 프로세스 패턴은 프로세스 케이스(PC)로 구분하여 나타내었고, 각 프로세스별로 발생한 인스턴스의 비율을 나타내었다.

분류된 프로세스 케이스에 대해 앞서 정의한 정상, 비정상 공정을 분류하였고, Table 1과 같이 총 15개의 프로세스 패턴으로 분류하였다. 분류된 케이스를 살펴보면, PC1과 PC2, PC6, PC7을 정상 종료케이스로 분류하였다. PC1의 경우, 전체 대상 공정이 순차적으로 모두 완료된 케이스로 표준 프로세스 케이스로 볼 수 있다. PC2는 제작 완료 후 도장 공정을 거치지 않는 스톱에 대한 케이스로 정상 완료된 케이스로 분류하였다. PC6의 경우는 7번 NDE 공정 실적이 없는 경우인데, 해양 공사의 경우 NDE를 100% 수행하지 않기 때문에 실적이 없는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 정상 완료된 케이스로 분류하였다. PC7의 경우는 2번 공정인 원자재 불출 공정의 실적이 누락된 케이스로, 특정 협력사에서 원자재 불출 후 실적을 입력하지 않아 발생한 오류로 확인되었다. 그러나 나머지 공정이 정상적인 순서로 완료 되었으므로, 정상 완료된 케이스로 분류하였다. 위와 같은 기준에 의거하여 프로세스의 표준 순서를 지키지 않고 공정이 진행되었던 경우이거나, 혹은 공정은 진행되었으나 실적이 순서에 맞지 않게 입력된 경우에 대해서는 모두 이상 완료 혹은 이상 미완료로 분류하였다. 각각 분류된 프로세스 패턴별로 정상 공정과 이상 공정의 인스턴스가 차지하는 비율을 살펴 보았다. 그 결과 27%의 인스턴스가 비정상 진행 혹은 비정상 종료된 케이스로 분류가 되었다. 다만 스톱 제작 작업의 특성상, 작업의 순서를 변경해서 진행하는 불가능하며, 실제 작업이 순차적으로 이루어졌지만 공정 수행 후 실적의 입력이 제대로 되지 않아서 발생한 오류일 가능성이 가장 크다. 이러한 현상

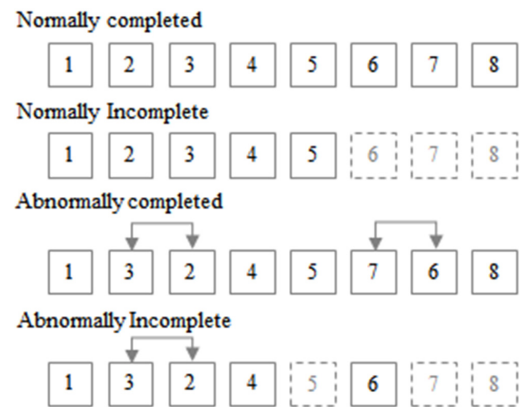


Fig. 2 Data classification criteria for process pattern analysis

이 발생하는 대표적인 원인으로 설계 개정으로 인한 실적의 재 발생 과정에서 입력이 잘 못 된 경우가거나, 혹은 단순한 실적 입력의 오류로 판단할 수 있다. 이상 발생 케이스에 대해서는 추가적인 조사를 진행하였다. 우선, 정상 진행 케이스를 대조군으로 하여, 개정 발생 여부와 이상 프로세스 발생 여부 간의 상관 관계를 조사하였다. 조사 결과를 아래 그림에 나타내었다. 특별히 이상 케이스와 정상 케이스 사이의 차이점이 발견되지 않았고, 도면 개정 회수와의 비율도 두 케이스가 매우 유사하게 분포되어, 상관 관계가 없음을 확인할 수 있었다. 다음은 설계 및 제작 과정에서 공정 담당자들이 기재한 대표적인 문제 사항들을 요인으로 하여 분석을 진행하였다. 설계 및 제작 과정에서는 설계 개정 등으로 인한 설계 오류, 설계 출도의 지연 문제 등 다양한 유형의 문제들이 발생하고 있으며, 이러한 문제 요인에 따라 정상 공정과 이상 공정을 분류하여 요인별 영향도를 검출하고자 하였다. 그러나 표2에서 나타낸 바와 같이, 각 요인별 영향도는 검출이 불가하였다. 이를 통해, 이상 발생 프로세스에 대해서는 특별히 영향을 주는 문제요인의 인자는 없는 것으로 확인되었고, 오히려 이러한 문제요인 인자와는 관계없이 랜덤하게 발생할 수 있는 실적 입력의 부정확함이 이상 프로세스의 발생을 유발함을 고찰할 수 있었다.

Table 2에서 분석한 결과를 바탕으로 공정상에서 발생할 수 있는 각각의 대표 문제점에 대해 이상 프로세스가 발생한 공정별로 분류하였다. 분석 결과를 살펴보면, 제작 공정에 대해 여러 가지 문제점들이 많이 발생하고 있고, 상대적으로 후 공정인 도장 공정이나 후처리 공정에서는 이상 프로세스가 적게 발견되고 있다. 이러한 고찰을 통해 실제 공정상에서 문제가 많이 발생하는 곳이 자재의 공급 과정과 제작 과정임을 알 수 있었고, 이에 대한 공정 개선이 필요함을 고찰할 수 있었다.

프로세스 케이스에 대한 클러스터링 결과는 아래 3표과 같다. 프로세스 패턴 분석을 통해 분류된 15개의 패턴을 4개의 프로세스 구분에 따라 클러스터링 하였다. 정상 수행이 완료된 케이스를 PC1, PC2, PC6, PC7로 분류하였다. PC2, PC6, PC7의 경우에는 공정 중간 중간에 실적 입력이 누락이 되었지만, 프로세스 순서가 정상적이므로 정상 공정으로 판단하도록 하였다. 비정상 프로세스

는 공정의 누락 여부와는 관계없이, 공정의 순서가 잘못된 모든 케이스에 대해 분류하였다. 공정의 순서가 잘못된 경우에 대해서 완료 여부만 판단하여 프로세스를 구분하였다. 이러한 클러스터링 과정을 통해 총 4가지의 공정 분류로 나타내었고, 실적 입력이 정상적으로 수행되어, 정상 공정 프로세스로 수행되는 것으로 확인되는 케이스는 전체의 72.8%로 비정상 실적 입력이 27.2%에 달하는 것을 확인할 수 있다. 이렇게 비정상 실적 입력이 27%에 달하여, 입력된 실적을 근거로 진행하는 여러가지 후 공정의 공정

관리에 변동성이 매우 높아질 수 있음을 판단할 수 있다.

물론 이러한 비정상 케이스 내에는 설계 개정 등의 이유로 발생한 공정 실적 입력의 역전 현상이 포함될 수는 있다. 예를 들면, 가공 및 용접이 끝난 상태에서 다른 추가의 부재가 더 투입이 되는 경우에는 용접 실적이 한번 더 발생하면서 후 공정인 검사 공정에 비해 실적이 추가로 입력될 수 있다.

실제 프로세스 모델을 가시화하면 아래 Fig. 3와 같이 나타낼 수 있다. PC1과 PC2의 경우는 정상 수행의 케이스로, 대부분의

Table 1 Detailed analysis and classification of process patterns

Process cases	No of instance	Process details																Process classification
PC1	18,127	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	N / C
PC2	3,574	1	2	3	4	5	6	7	8			11	12	13	14	15	16	N / C
PC3	2,371	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	12				A / I
PC4	2,360	1	3	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	A / C
PC5	1,886	1	2	6	7	3	4	5	9	8								A / I
PC6	1,445	1	2	3	4	5	6		8	9	10	11	12	13	14	15	16	N / C
PC7	1,357	1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	N / C
PC8	1,141	1	2	3	4	5	6	7	8			11	12	13				N / I
PC9	561	1	3	2	4	5	6	7	8			11	12	13	14	15	16	A / C
PC10	558	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	16	13	14	A / C
PC11	498	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	15	A / C
PC12	446	1	2	6	3	4	5		8	9	7							A / I
PC13	432	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	13	15	16	A / C
PC14	258	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	13	14	16	A / C
PC15	215	1	3	4	5	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	A / C

1: Start Mfg, 2: Mat. Inlet 3: Cutting, 4: Fit-up, 5: Welding, 6: VI, 7: NDE, 8: Finish Mfg, 9: Start painting, 10: Finish painting, 11: In stock, 12: Out stock, 13: Mat. ready, 14: Mat. position, 15: Start installation, 16: Finish installation

Table 2 Percentage of process due to process abnormality

Division	Fabrication	Painting	Stock	Install
Normal Process	49.2%	46.9%	35.2%	52.0%
Painting delay	0.9%	4.5%	8.2%	0.4%
Design revision	8.1%	1.9%	5.7%	3.5%
Design problem	8.6%	9.1%	7.0%	10.4%
Design holding	4.1%	16.7%	9.5%	2.4%
Material shortage	11.4%	2.7%	9.4%	4.9%
Fabrication prob	17.1%	12.1%	24.5%	25.6%
Quality prob	0.4%	0.8%	0.3%	0.5%
After treatment	0.1%	5.3%	0.3%	0.2%

Table 3 Process case classification and ratio

	Process cases	Ratio
Normally completed	PC1, PC2, PC6, PC7	69.6%
Normally incomplete	PC8	3.2%
Abnormally completed	PC4, PC9, PC10, PC11 PC13, PC14 PC15	13.9%
Abnormally incomplete	PC3, PC5, PC12	13.3%

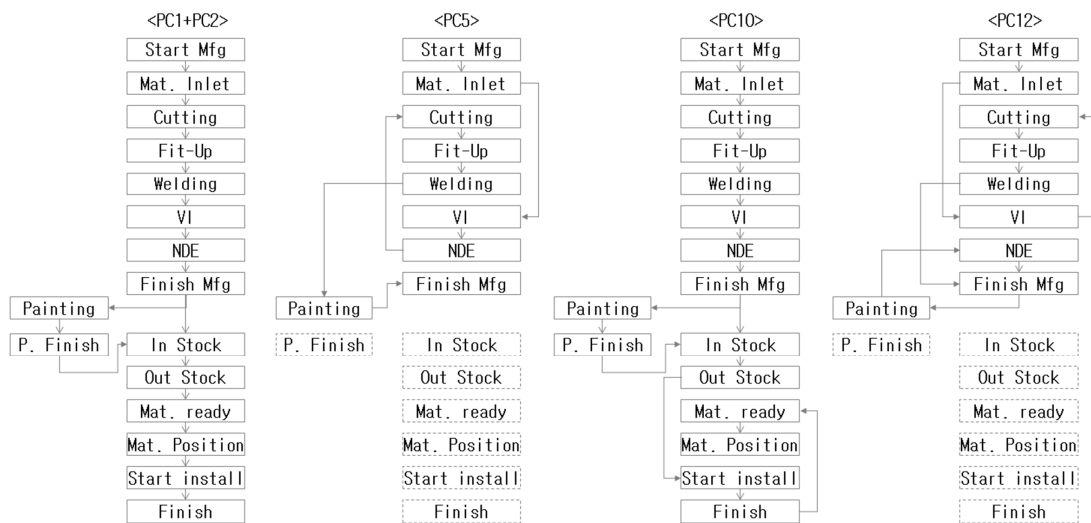


Fig. 3 Process map visualization by clustering cases

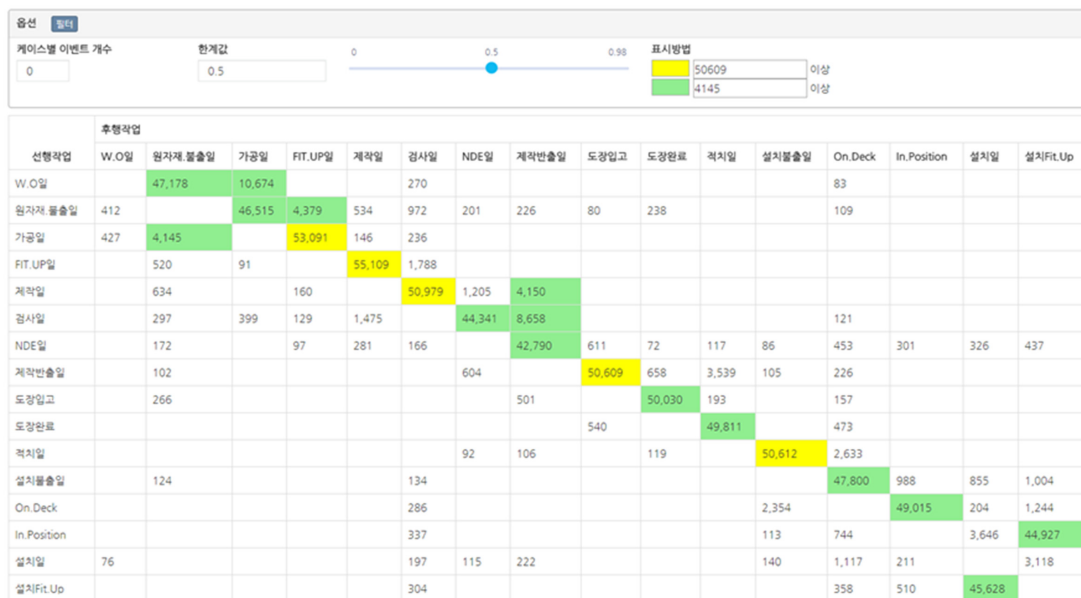


Fig. 4 Abnormal process occurrence detection chart

인스턴스들이 이와 같은 정상 케이스로 분류된다. PC1과 PC2는 도장 작업의 유무로 분류가 되며, 도장 작업이 있는 경우 제작 반출을 통해 도장 작업으로 입고되고, 없는 경우는 적치장으로 바로 이송된다. PC10의 경우는 12번 Out stock 공정 후, Mat. ready 공정 실적과 Mat. position의 실적이 역전된 경우이다. 대부분의 후행 공정에서 Mat. ready, Mat. position과 Start installation, Finish installation 실적이 동일 작업장에서 발생하는 점을 고려하면, 앞선 Mat. ready의 실적이 입력되지 않은 상태에서 Start installation의 실적이 발생하면서 동시에 실적이 입력되었다고 볼 수 있다. 이는 실적 입력의 시차로 인해 발생할 수 있는 문제로, 적기 실적 입력의 필요성을 확인 할 수 있는 분석 케이스이다. 또한 대부분 입력된 실적을 기초로 공정을 최종 정산하는 관점으로 볼 때, 정상적인 실적이 입력되었는지에 대한 부분도 점검해볼 수 있는 초기 분석 데이터라 할 수 있다. 이

러한 점이 극단적으로 나타나는 케이스가 PC12이다. 프로세스의 작업 순서가 논리적으로는 도저히 설명이 안 될 정도로 실적 입력의 순서가 뒤엉켜 있는 케이스이다. 실제 제작을 이리한 순서로 할 수 없으므로, 결국은 실적 입력을 하는 각각의 주체들이 실적 입력을 제때 하지 않아서 발생한 케이스라 볼 수 있다. 각각의 실적입력 주체별로 적기 실적 입력률을 이리한 분석 기법을 통해 분석해 낼 수 있으며, 협력사의 실적입력 신뢰도에 대한 중요한 평가 지표로 활용할 수 있다.

시스템 로그로부터 수집 된 데이터 분석을 통해 이상 공정의 발생 여부를 직관적으로 확인할 수 있도록 아래의 Fig. 4와 같은 차트를 구성하였다. 녹색으로 표현된 공정은 전 공정 수행 후 바로 수행되는 후 공정을 나타낸 것으로, 실질적으로 녹색으로 표현된 공정 외에는 모두 비정상적으로 수행되는 공정이라 할 수 있다. 순서를 지키고 있는 것, 즉 좌하단 삼각형에 속하는 경우는

정상 순서로 수행되는 케이스라 볼 수 있지만, 우상단 삼각형에 속하는 경우는 공정 순서가 역전되어 비정상적으로 수행되는 케이스라 볼 수 있다. 이렇게 1차적으로 이상 공정 발생 여부를 확인하여 대상을 설정하고, 2차 프로세스 패턴 분석을 통해 이상 공정 발생을 확정하는 체제로 구성하였다.

3.2 병목 공정 분석 및 가시화

제작 협력사 및 도장 협력사별로 데이터를 분류하고 시간의 흐름에 따라 제작 물량의 흐름을 가시화하여 병목 공정을 분석하였다. 설계에서 출되된 물량을 최종 탑재하는 모듈 단위로 구분하고, 해당 모듈에서 시작하여, 각 스폴별로 제작 공정을 담당하는 협력사와 도장 공정을 담당하는 협력사를 거쳐 적치장에 적치 후 최종 설치를 담당하는 작업장에 전달되는 과정을 가시화한 것이다. 이러한 과정을 통해 물량의 흐름을 애니메이션 형태로 가시화하여 직관적으로 확인 할 수 있다. 또한 앞서 분석된 이상 공정 분석 결과도 함께 가시화하여 이상 공정의 발생과 병목 공정의 발생을 동시에 확인할 수 있도록 하였다. 아래 Fig. 5는 의장품 제작 공정을 대상으로 가시화 한 예로 적치 공정이 하나의 협력사에 과다하게 발생하여 병목이 발생함을 직관적으로 분석할 수 있는 예이다. 또한 제작 공정에서 이상 공정이 발생하였던 의장품들이 특정 적치장으로 몰리는 현상을 통해, 제작 과정의 이상 공정과 적치 과정에서의 병목 현상이 동시에 발생하여 개선이 필요함을 직관적으로 확인할 수 있다. 이러한 병목 공정 분석을 통해 어떤 제작 협력사에 병목이 발생하고 있는지 확인할 수 있으며, 병목이 발생한 협력사에서 산출되는 산출물도 어느 정도 지연이 발생하고 있는지 함께 확인할 수 있다.

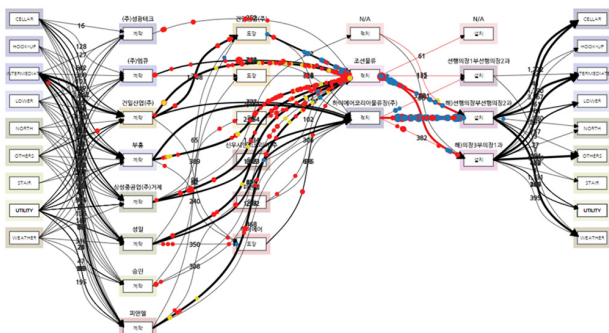


Fig. 5 Logistics flow analysis and visualization for bottleneck process analysis

3.3 성과 분석 및 가시화

로그 데이터 분석을 통해 스폴의 제작 과정에서 발생하는 각종 성과 분석을 진행하고 그 결과를 가시화 할 수 있도록 하였다. 앞서 그림5에서 도시하였던 방법과 같이 전체 물량의 흐름을 애니메이션으로 가시화 할 수도 있지만, 아래 Fig. 6과 같이 Sanky chart를 통해 흐름을 한번에 표현할 수도 있다. 호선 단위로 물량이 어떤 협력사를 통해 어느 정도의 비율로 이동하였

는지를 한번에 직관적으로 확인 할 수 있으며, 향후 협력사의 물량배분에 기초적인 데이터로 활용 할 수 있다. 해당 차트를 통해 실제적으로 병목 현상을 관찰 할 수 없지만 향후 병목이 예상되는 공정 혹은 협력사를 확인할 수 있다. 그림 6에서의 공정에서는 하나의 협력사에 물량이 과중하게 흘러가는 것을 직관적으로 확인할 수 있으며, 향후 병목이 예상됨을 확인할 수 있다.

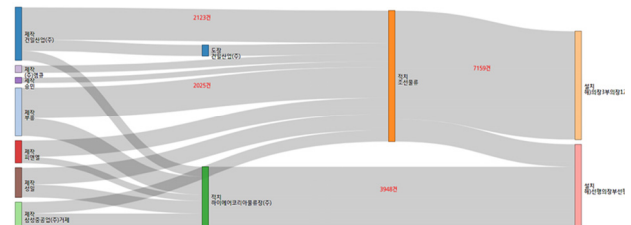


Fig. 6 Quantity flow chart of spools by production and painting partners

협력사별 부하 분석 차트를 Fig. 7과 같이 구성하였다. 각각의 세부 차트를 통해 각 제작 협력사별로 프로젝트 수행 기간에 따른 공정 부하의 추이를 나타내도록 하였다. 공정을 진행한 일정 단위로 협력사별 제작을 완료한 물량을 가시화하여 협력사의 부하를 간접적으로 추정할 수 있도록 하였다. 협력사별 제작 물량 배분에서는 협력사의 부하를 균등하게 가져갈 수 있도록 해주는 것이 중요하며, 이러한 부하 차트를 통해 부하를 관제하고 보완해 줄 수 있다. 아래의 Fig. 7의 예에서 두 개의 봉 사이에 골이 나타나는 형태의 차트는 협력사 입장에서 매우 좋지 않은 상황이라 할 수 있으며, 원청사에서는 이러한 형태의 공정 부하가 발생하지 않도록 물량 배분을 해 주는 것이 중요하다. 앞서 도시한 sanky chart와 함께 부하분석 차트 역시 협력사별로 물량의 추이, 협력사별 부하의 추이를 직관적으로 확인할 수 있는 도구이며, 물량 배분의 기초 데이터로 활용할 수 있다.

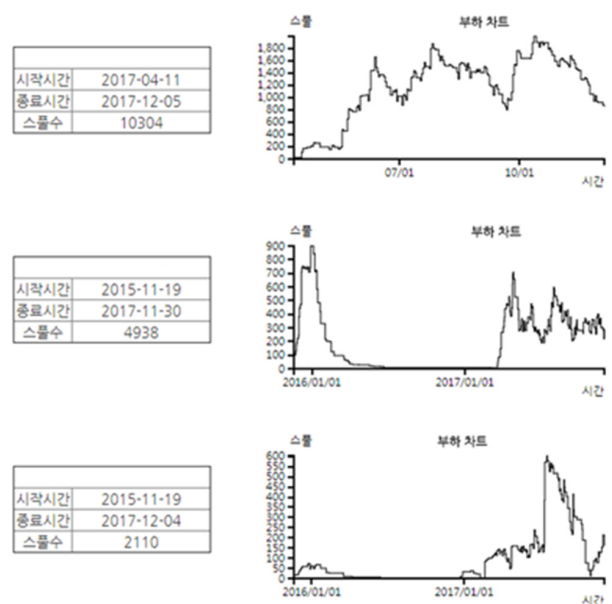


Fig. 7 Load trend analysis of spool production partners

그리고 협력사별 업무 관계망 분석을 진행하였고 그 결과도 함께 가시화하였다. 제작, 도장, 적치, 설치로 이어지는 순차적인 업무 흐름에 있어서 다음 공정과의 업무적 연계가 어떻게 구성되어 있는지도 매우 중요한 부분이며, 실제 협력사간 거리에 따른 운송 비용 등과 함께 검토하여 업무 관계망을 구성하는데 활용되고 있다. 대부분 각 공정단위에서 물량 배분에 대한 의사 결정을 진행하기 때문에 전체적 관점에서 어떤 형태로 연계가 되어있는지 판단하기 매우 어려운 실정이어서 이러한 분석 결과는 조달 관리 담당자에게 많은 인사이트를 주는 분석 결과가 되고 있다. 당연한 논리이겠지만, 연속되는 제작 공정상에 있는 두 협력사간의 거리가 멀다고 하면 물류비 측면에서는 다른 업무 관계망을 갖도록 물량 배분하는 것이 중요하게 된다.

4. 해양플랜트 건조에서 공급관리의 역할

앞서 언급한 프로세스 마이닝 기반의 제작 공정 관리 기법은 실제 의장품의 적기 납입을 담당하고 있는 조달관리 업무에 직접적인 도움을 줄 수 있는 분석 방법들이다. 마지막으로 이번 절에서는 해양 플랜트 건조에서의 조달관리의 역할에 대해 정리하고자 한다. 해양 플랜트 건조에서는 기본 설계 단계에서의 잦은 사양 변경이 발생하고, 이로 인한 잦은 생산 설계 변경이 필연적으로 발생하여 제작 품의 변경이 수시로 발생한다. 의장품의 조달 관리 입장에서는 항상 설계 변경의 발생 여부를 모니터링하고 후 공정인 생산 공정에 미칠 영향을 분석해야 하며, 이를 통해 의장품의 조달 우선순위를 실시간으로 결정해야 한다. 자재의 적기 공급이 이루어지지 않으면, 생산 입장에서는 설치 순서를 변경하고, 설치 일정을 변경하고, 급기야는 납기 일정을 변경하게 되는 최악의 상황을 맞이할 수 있다. 또한, 의장품의 조달을 전량 사외에서 수행하는 현재의 사업 구조 상, 각 제작 및 도장 협력사 간의 제작량 조율이 매우 중요한 업무가 되고 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 설계의 변경에 따라 협력사의 물량을 조율해가면서, 자재를 적기에 납입해야 하는 조달관리 업무는 해양 플랜트 생산 경쟁력 확보를 위한 핵심 업무라 할 수 있다. 조달 관리는 이러한 선단의 설계에서 발생하는 변동 상황과 후단 생산에서 발생하는 변동의 충격을 중간에서 조율해주는 완충 작용을 하고 있는 업무 영역으로, 유연함이 생명이라 할 수 있다. 이러한 유연함을 갖추기 위해서는 앞서서 제안한 여러 가지 실시간 분석 시스템과 최적화된 의사 결정 체계가 반드시 필요하다.

공급 공정관리에서의 유연성은 설치 시점에 맞게 자재를 공급하되 재고가 최소화 되는 방향으로 공급을 조절해 주는 데 있다. 선행의장 공정에서 필요한 자재들을 최대한 설치 준비율에 맞추어 공급을 하되, 블록 제작 일정이 변동이 되면 전체적인 자재의 공급 일정을 블록의 제작 일정에 같이 맞추어 줘야 한다. 또한 설치 일정이 도래하고 있는 자재가 지연이 되고 있는 경우에는 자재의 제작 긴급도를 조절하여 자재가 적기에 납입이 될 수 있도록 일정을 조정해 주어야 한다. 또한 설계 변경, 기타 다른 이유로 제작 납기를 지키지 못할 것으로 판단되는 자재에 대

해서는 후 공정인 후행 의장 공정으로의 이관을 결정해주어야 한다. 후행 의장공정의 이관 결정이 늦어지면 자재들은 야드 내에서 재고로 존재하게 되고, 공정관리 측면에서 부담으로 작용하게 된다. 이 외에도 협력사에서 발생하는 여러 가지 문제 상황에도 대처하고, 협력사와의 상생 혹은 협력사 간의 조율 등에도 중요한 역할을 해야 한다. 이러한 중간 조율사로서의 조달관리의 역할로 인해 야드에서는 자재의 안정적인 공급 체계를 가져갈 수 있고, 더불어 공정이 안정화되는 효과를 확인 할 수 있다.

5. 결 론

이번 연구를 통해 해양플랜트의 배관재 공급 과정에서 발생하는 로그 데이터의 분석 및 공정 관리 기법에 대해 기술 하였다. 로그 데이터 분석을 위해 프로세스 마이닝 기반의 데이터 분석 체계를 구축하였고, 프로세스 가시화, 병목공정 분석, 협력사별 성과 분석 등 다양한 분석을 진행하였다. 또한 공정 과정에서 발생하는 로그 데이터를 분석하여 이상 공정의 발생을 사전에 감지할 수 있도록 하여, 제작 과정에서 발생하는 납기 지연을 사전에 조치할 수 있도록 하였다. 마지막으로, 제작 및 도장 협력사별로 공정을 수행한 이력을 분석하여, 협력사별 부하 분석 및 물량 배분을 위한 기초 데이터로 활용하도록 하였다.

설계 변경에 따른 제작 대상의 변경이 잦은 해양플랜트 건조의 특성 상, 유연한 공급 체계의 구축은 사업의 성패와 관련된 중요한 문제이다. 공정의 현황을 실시간으로 잘 파악하고, 의사 결정을 할 수 있는 데이터들을 실시간으로 가시화하는 체계가 구축이 되어야 유연한 공급 체계를 구축할 수 있다. 실시간으로 발생하는 시스템의 로그 데이터를 수집하고 분석하는 체계는 향후 조선해양 산업의 데이터 분석의 한가지 방향을 제시하고 있다고 할 수 있으며, 다양한 분야에의 확대 적용을 통해 새로운 가치를 많이 창출해야 한다. 이번 연구를 통해 프로세스 마이닝 기법을 이용한 다양한 분석 내용이 공급 관리를 위한 정보로서의 가치가 있음을 확인 하였다.

후 기

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신산업진흥원의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다. (S0607-18-1006, 공정 예측 모델을 활용한 의장 조달 프레임워크 핵심 기술 개발)

References

- Kim, E.S., Kim, S. & Song, M.S., 2013. Discovery of outpatient care process of tertiary university hospital using process mining. *Healthcare Informatics Research*, 19(1) pp.42-49.
- Lambert, D.M., Cooper, M.C. & Pagh, J.D., 1998. Supply chain

- management: Implementation issues and research opportunities. *The International Journal of Logistics Management*, 9(2), pp.1-29.
- 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, S.Y., Ryu, K.Y. & Song, M.S., 2012. Process improvement for PDM/PLM systems by using process mining. *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, 17, pp.294-302.
- Lee, Y.H., Lee, H.J., Song, M.S., Lee, S.J. & Park, S.R., 2016. Process analysis in supply chain management with process mining : A case study. *Journal of Korea Bigdata Society*, 1(2), pp.65-78.

- Song, M., Gunther C. W. & van der Aalst, W. M. P., 2009. Trace clustering in process mining. *BPM 2008 Workshops, Lecture Notes in Business Information Processing*, 17, pp.109-120.



박종구



김민규



우종훈