

스마트 팩토리의 제조 프로세스 마이닝에 관한 실증 연구

김태성*

*금오공과대학교 산업공학부

An Empirical Study on Manufacturing Process Mining of Smart Factory

Taesung Kim*

*School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

Abstract

Manufacturing process mining performs various data analyzes of performance on event logs that record production. That is, it analyzes the event log data accumulated in the information system and extracts useful information necessary for business execution. Process data analysis by process mining analyzes actual data extracted from manufacturing execution systems (MES) to enable accurate manufacturing process analysis. In order to continuously manage and improve manufacturing and manufacturing processes, there is a need to structure, monitor and analyze the processes, but there is a lack of suitable technology to use. The purpose of this research is to propose a manufacturing process analysis method using process mining and to establish a manufacturing process mining system by analyzing empirical data. In this research, the manufacturing process was analyzed by process mining technology using transaction data extracted from MES. A relationship model of the manufacturing process and equipment was derived, and various performance analyzes were performed on the derived process model from the viewpoint of work, equipment, and time. The results of this analysis are highly effective in shortening process lead times (bottleneck analysis, time analysis), improving productivity (throughput analysis), and reducing costs (equipment analysis).

Keywords : Manufacturing Process Mining, Information Systems, MES, Process Data Analysis

1. 서론

프로세스 마이닝(Process Mining)은 업무 프로세스 수행을 기록한 이벤트 로그로부터 업무 수행에 관한 다양한 데이터 분석을 수행한다. 즉, 정보 시스템에 저장된 이벤트 로그 데이터를 분석하여 업무 수행에 필요한 유용한 정보를 추출하는 것이다. 분석을 통해 프로세스 마이닝은 업무 수행자에게 객관적인 통찰력을 제공하여, 업무 프로세스의 개선 효과를 가져올 수 있다[1]. 병원, 항만, 관공서 등 다양한 분야의 비즈니스 프로세스 분석을 위해 많이 활용되고 있지만, 제조 산업의 비즈니스 프로세스를 분석

한 연구는 활발하게 이루어 지지 않고 있다.

스마트 팩토리의 제조 공정의 경우, 제조 프로세스의 개선, 사이클 시간의 단축, 비용의 관리 등의 다수의 개선 목표를 갖고 있기 때문에, 단순하게 프로세스를 문서화해 직감적으로 개선점을 논의하는 것은 한계가 있다.

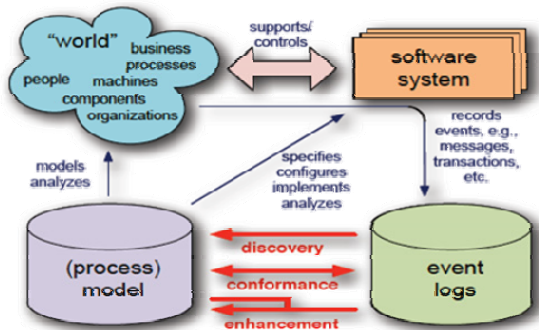
4차 산업혁명 시대의 제조 산업은 급변하는 시장환경에 맞춰, 생산성 향상과 직결되어 있는 경쟁력 있는 공정 기술의 중요성이 커지고 있다. 특히, 많은 기업들이 제조 및 생산 프로세스의 중요성을 인식하고 프로세스를 기업 경쟁력에 직접적으로 활용하기 위한 기술 개발에 많은 투자를 하고 있다. 효과적인 프로세스 경영 성과를 위해 ERP(Enterprise Resource Planning), CRM(Customer

[†]This paper was supported by general research fund, Kumoh National Institute of Technology.

[†]Corresponding Author : Taesung Kim, Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Global 608, 61 Daehak-ro, Gumi, Gyung Buk, E-mail: tkim@kumoh.ac.kr

Received October 4, 2022; Revision December 14, 2022; Accepted December 29, 2022

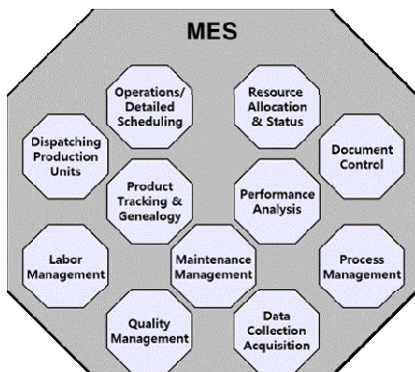
Relationship Management), MES(Manufacturing Execution System) 등 IT 기반의 정보 시스템이 사용되고 있다[9]. 그 중 MES는 제조 현장에서 작업을 수행하기 위한 모든 제반 활동을 지원하는 정보 시스템으로, 제조 현장의 실시간 정보를 제공하여 관리자가 더 용이한 의사결정을 할 수 있도록 지원한다. 국제 MES 협회(MESA: Manufacturing Execution System Association)에 따르면 MES는 성과 분석, 프로세스 관리, 품질 관리 및 데이터 수집 저장 등의 다양한 기능을 제공하여, 최근 많은 기업들이 기업의 특성에 따라 다양하게 MES를 적용하고 있다[7].



[Figure 1] Process Mining Model

Source: Van der Aalst W. M. .P., "Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes", Springer, 2011[19]

프로세스 마이닝은 정보 시스템에 저장된 이벤트 로그를 수집 및 분석하여, 업무 수행을 위한 유용한 정보를 제공하는 연구이다[4]. [Figure 1]에서 보여지듯이, 프로세스 마이닝은 유럽 시장을 중심으로, 볼보, 필립스 등의 기업에서 도입 및 활용된 사례가 많지만, 국내에서는 병원, 항만, 공공기관의 데이터를 분석한 사례가 있을 뿐 제조 산업 분석 사례는 거의 없다. 제조 산업의 경우 제조 프로세스 발견, 병목점 발견, 성과 분석 및 상관 관계 분석 등이 가능하여, 업무 수행자들에게 개선 방향을 제공할 수 있다.



[Figure 2] Eleven Features of MES

Source: MESA (Manufacturing Execution System Association), www.mesa.org[7]

최근 4차 산업혁명 시대의 스마트 팩토리는 다품종 소량 생산에 따른 복잡한 생산 프로세스 관리를 위한, 경쟁력 있는 전략 수립이 필요해졌다. 뿐만 아니라, 제조 산업에서는 계획시스템과 생산 현장의 실제 정보와의 차이가 존재했고, 생산 현장 작업에 필요한 정보 제공 및 수집의 한계로 인해 효율적인 생산 관리의 필요성이 대두되었다. 따라서, 제조현장과 상위 전산 시스템(ERP, MRP (Material Requirement Planning))과의 연결 역할을 하는 MES를 도입하게 되었다. MES는 공정작업, 생산자재, 보유 자원, 설비명세 및 현황, 품질 자료 등의 정보를 Database에 저장 및 관리하여, 이를 기반으로 정보를 제공한다[7]. [Figure 2]는 MESA에서 제시하는 11가지의 MES의 주요 기능을 보여준다. 본 연구에서는 MES의 여러 기능 중, 데이터 수집 및 공정관리에서 추출한 정보를 활용하여 분석을 수행하였다.

2. 문헌 연구

2.1 선행연구

비즈니스 프로세스 설계는 프로세스의 가시성을 향상시켜 관리능력과 프로세스의 최적화 등의 기대효과가 있다[2,3,5,8].

프로세스 마이닝에 대한 선행 연구에서는 이벤트 로그를 포함하고 있는 업무성 데이터를 분석하고 시각화 함으로써 업무 프로세스 전반을 빠르게 이해시켜 기업의 생산비를 혁신적으로 절감하고 프로세스에 가치를 부여하게 함으로써 혁신적으로 문제를 해결하는데 적용하고 있다[10].

학습 프로세스 마이닝 및 애널리틱스 기술을 크게 개방형 플랫폼 기반 학습 데이터 수집 및 이벤트 로그 DB 구축, 학습 이벤트 로그 기반 프로세스 마이닝, 그리고 학습 프로세스 애널리틱스 기술로 구성된다[14]. 분석 방법으로 4차산업혁명 기술의 핵심인 통계, 인공지능, 딥러닝 기법들을 프로세스 마이닝에서 사용하고 있으며 수 많은 툴의 개발도 증가하고 있다. 선행 연구자들의 연구를 보면 크게 두 가지 접근법으로 프로세스 마이닝을 활용하고 있는데 프로세스 모델링 및 분석과 데이터 마이닝 측면으로 연구가 이루어지고 있다.

프로세스 마이닝 연구에는 웹로그 데이터를 활용하여 고객의 프로세스를 모델링하여 특정 이탈지점 및 주요 경로 등을 파악하는 연구가 진행되었다[15]. 데이터 측면으로 접근한 논문을 살펴보면 웹 방문자가 제품이나 서비스를 구매하는 과정에서 발생하는 대용량의 데이터를 데이터 마이닝 기술을 도입하여 유용한 정보를 찾고 특정한 패

턴을 분석하는 연구가 진행되었다[13].

2.2 다양한 분야에 적용된 연구

제조분야에서 프로세스 마이닝 기법을 통하여 제품 수명 주기를 분석하고 제품의 고장 패턴을 인식하여 고장 수리 프로세스를 분석하여 도출하는 방법을 제시하였다[16].

의료 분야에서는 개인의 의료정보 보안을 위한 이상 탐지 알고리즘을 개발하여 전자의무기록, 처방전달시스템, 의료영상저장전송시스템 및 환자 개인 정보 취급 프로세스에 대한 분석을 수행하였다[12,17].

조선 산업의 적용 사례를 살펴보면 조선은 산업의 특성상 작업 공정이 매우 복잡하고 잦은 변경에 의한 재작업이 많은 산업군이다. 대부분 작업 현장에서 작업 변경에 대한 프로세스를 분석하고 재정립하였고 도면이나 선행의장 확대 및 선후공정 안정화를 위한 일정관리를 하였다. 그런데 프로세스 마이닝 기법을 적용한 후로는 고장 수리 프로세스 분석, 프로세스 마이닝 기반의 공정 프로세스 분석, 그리고 업무 실행 로그 데이터를 활용한 비교 분석 등 조선 산업에 적용하기 시작하였다. 이를 시작으로 조선 산업의 선박 건조 공사 수행 과정에서 발생하는 불규칙한 재작업의 문제 분석부터 조선소에서 수시로 발생하는 문제를 데이터를 바탕으로 퍼지 마이닝, 패턴분석을 실시하여 쉽게 프로세스 모델을 얻는 연구를 수행하였다[18].

3. 연구 방법

3.1 연구 목적

제조 및 생산 프로세스의 지속적인 관리와 개선을 위해

서는 프로세스를 구조화하고 모니터링 및 분석을 해야 하지만, 이를 위해 활용될 적당한 기술이 부족한 실정이다. 프로세스 마이닝을 활용한 공정 데이터 분석은 MES에서 추출한 실제 데이터를 분석하여, 정확도 높은 제조 프로세스 분석을 가능하게 한다. 프로세스 마이닝은 이벤트 로그로부터 자동으로 프로세스 모델을 도출하고, 이를 바탕으로 병목점 (Bottleneck Point) 분석 및 공정 유형 분석이 가능하다. 특히 공정 시간 분석, 설비 효율 분석 및 통과 수율 분석이 가능하다.

본 연구의 목적은 프로세스 마이닝을 활용한 제조 프로세스 분석 방법을 제시하고, 실증 데이터를 분석하여 스마트 팩토리의 제조 프로세스 마이닝 체계를 확립하는 것이다. 본 연구는 실제 MES에서 추출한 트랜잭션 데이터를 사용하여 프로세스 마이닝 기법으로 제조 공정을 분석한다. 제조 공정과 설비들 사이의 관계 모델을 도출하고, 도출된 프로세스 모델을 대상으로 공정(Task), 설비(Resource), 시간(Time) 관점에서 다양한 성과 분석을 수행한다.

3.2 연구 방법

연구는 프로세스 마이닝 기법을 이용하여 제조 공정 분석의 가능성을 검증한다. 이를 위해 프로세스 마이닝의 분석 기능과 제조 프로세스 분석 업무와의 연계성을 분석해야 한다. <Table 1>은 프로세스 마이닝을 통한 분석 가능 목록과 연계되는 제조 프로세스 분석 업무를 정리한 표이다.

제조 프로세스 분석 업무를 위해서는 공정 현황 분석, 제조 능력 분석, Loss 분석, Layout 분석이 수행되어야 한다. 먼저, 공정 현황 분석을 위해서는 프로세스 모델 도출 및 모델 상의 병목점 도출, 적합도 분석, 공정 시간 분석 등의 결과가 사용될 수 있다. 특히, 도출한 모델을 바탕으로 한 병목점 분석은 현 공정의 Neck 공정 파악이 가능하

<Table 1> Relationship between Process Mining Function and Manufacturing Process Analysis

Process Mining Function	Analytical Technology	Manufacturing Process Analysis
Derivation of process model	Heuristic Miner, Fuzzy Miner, Comp Miner	<ul style="list-style-type: none"> • Derivation of process models from MES transaction logs • Comparison with standard process models and discovery of process improvements • Derive models that include rework and non-standard process flows
Derivation of process model bottlenecks	Performance analysis with petri-net	<ul style="list-style-type: none"> • Identify manufacturing lead time bottleneck points based on derived process models. • Select a process between two desired processes to determine the lead time
Data and process model suitability analysis	Conformance Checking	<ul style="list-style-type: none"> • Calculation of goodness of suitability of derived MES data and derived model • Calculation of the suitability between the standard process model and the provided MES data

Process Mining Function	Analytical Technology	Manufacturing Process Analysis
Animation analysis of the process model	Fuzzy Miner	• Animation of lot flow based on derived process model
Analyze the distribution of jobs for specific jobs or facilities	Dotted Chart	• Use dotted line graphs to see the distribution of jobs and wait times by worker or facility
Analysis of work time distribution by process	Dotted Chart	• Analyze the work time distribution for each process and identify when work is concentrated
Derive a lot flow model between field technicians (or facilities)	Social Network Miner	• Derive equipment that is the center of information flow by deriving lot flow model between field technicians (facilities)
Derivation of equipment network model	Frequency Miner	• Calculate lot flow or transfer frequency between facilities to derive models
Derivation of equipment structure model	Organizational Miner	• Facility grouping
Process-equipment relationship analysis	Comp-miner	• Graph the type of equipment and frequency of use for each process
Standard facility non-compliant process analysis	DB Query	• Standard equipment non-conformance process analysis
Standard equipment non-compliance model derivation and simulation analysis	Frequency Miner and Animation	• Derive models for standard equipment and performance equipment, and derive models for understanding flow
Analysis of process performance by manufacturing, waiting, lead time	Basic Performance Analysis	• Calculate work frequency, maximum, minimum, median and average of work hours
Compare production, wait, and lead time performance for specific jobs and equipment	Basic Performance Analysis	• Enables comparative analysis of manufacturing, waiting time, and work lead time for specific processes, and performance measurement of equipment and workers
Capacity utilization comparison analysis	DB Query	• Calculation of occupancy rates by facility and measurement of facility performance through comparative analysis
Product family usage comparison analysis	Basic Performance Analysis	• Analysis of frequency and utilization of product families by facility
Lead time analysis according to standard equipment	DB Query	• Understand changes in total work time due to compliance with standard equipment
Equipment standard yield analysis	DB Query	• Yield calculation per facility
Comparison of facility yields	DB Query	• Measurement of facility performance by calculation and comparative analysis of each facility
Yield analysis based on standard equipment	DB Query	• Understand change in total yield with adherence to standard equipment
Yield variation analysis per lot	Event data attribute analysis	• Derivation of yield variation graph for one lot
Process Standard Yield Analysis	DB Query	• Yield analysis by process
Create a simulation model	Petri-net, Organizational Miner, Decision Tree, CPN Tool	• Derive available simulation models

다. 두 번째로 제조 능력 분석은 관리자가 정한 표준 규정과 실제 업무 수행과의 차이를 파악하고, 이를 바탕으로 개선 범위를 파악한다. 이를 위해 프로세스 마이닝은 표준 설비와 실적 설비의 비교 분석 결과와 실제 설비들의 업무 수행 분석 결과를 제공할 수 있다. 세 번째로 Loss 분석은 원가 절감과 생산성 향상을 저지시키는 원인을 도출하는 분석으로, 병목점 분석, 공정 시간 분석, 통과 수율 분석이 사용될 수 있다. 마지막으로 Layout 분석은 제조 프로세스 모델과 설비 네트워크 모델을 사용하여 공정과 설비의 배치에 효과적으로 된다.

프로세스 마이닝은 이벤트 로그를 바탕으로 분석을 수

행한다. 이벤트 로그는 이벤트가 발생 순서대로 기록되어 있고, 각 이벤트는 프로세스의 단위 작업을 나타내며, 하나의 케이스 관련을 맺고 있어야 한다. 이벤트 로그에는 이벤트에 대한 부가적인 정보를 포함 할 수 있고, 이를 통해 더욱 더 다양한 분석이 가능하다.

본 연구를 위해 실제 MES에서 추출한 6개월간의 Lot 정보를 사용하였다. 프로세스 마이닝 분석을 위해서 Lot No, 공정명, 표준설비명, 실적설비명, 투입시간, 완료시간, 작업자명, 투입수량, 완성수량 정보를 사용하였다.

4. 분석 결과

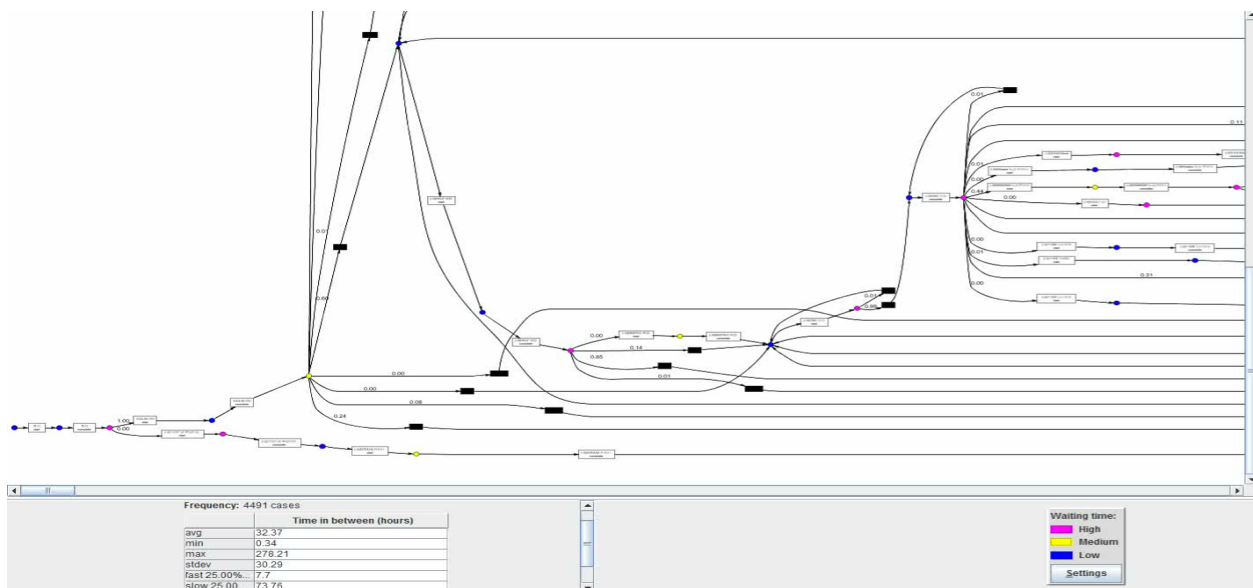
4.1 공정 프로세스 모델 분석

프로세스 마이닝의 가장 기본적인 기능인 Process Model Discovery는 기존 모델 도출을 쉽고 빠르게 프로세스 모델로 변환하게 한다. Heuristic Mining, Petri-net 등의 다양한 알고리즘을 사용하여 데이터에 존재하는 다양한 프로세스 모델이 도출된다. 본 연구에서는 그 중에서도 전체 프로세스를 보여줄 수 있는 Heuristic Mining과 좀 더 간결한 프로세스를 보여주는 Petri-net을 이용하여 분석한 결과이다.

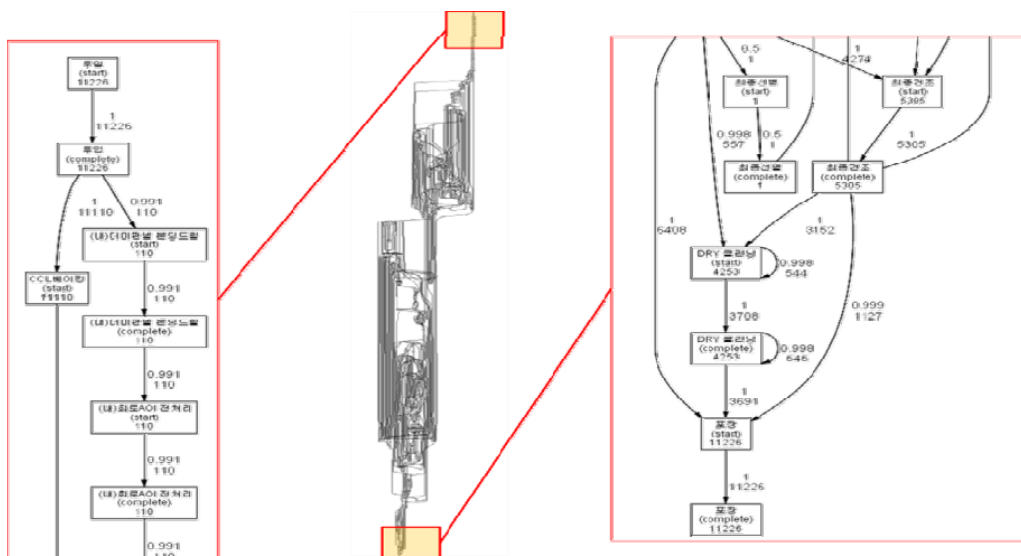
[Figure 3]은 Heuristic Mining을 이용해 특정 제품군

생산 프로세스를 가시화한 모델로, 시작과 종료를 투입과 포장으로 하는 케이스의 프로세스를 보여준다. Heuristic Model은 대부분의 공정 흐름을 보여주고, 공정간에 실제 진행한 Lot의 개수를 제공한다. 예를 들어, 투입 종료의 11,226의 Lot 중 CCL 베이킹 공정으로 가는 11,110개의 Lot과 분당 드릴 공정으로 가는 110개의 Lot이 존재함을 확인할 수 있다.

프로세스 개선을 위해 도출한 프로세스 모델에서 주 공정(Critical Path)을 식별한 후, 주 공정을 구성하는 공정들을 중심으로 성과 분석을 수행할 수 있다. 프로세스 마이닝을 이용한 병목점 분석은 도출한 모델 위에 평균 작업 전달 시간이 높은 흐름의 위치를 표시하여, 전체 리드타임을 증가시키는 원인 분석을 수행한다. [Figure 4]는



[Figure 3] Production Process using Heuristic Mining



[Figure 4] Analysis of Bottlenecks based on Petri-net

앞서 도출한 Heuristic Mining 결과를 바탕으로 도출한 Petri-net 모델 위에 작업 전달 시간이 긴 구간부터 낮은 구간까지 분홍, 노랑, 파랑 세 가지 색으로 표현한다. 파란색으로 표시된 구간은 공정 간의 리드타임이 적절했음을 의미하고, 분홍색은 공정 간의 리드타임이 긴 것을 의미한다. 분석 결과를 통해, 전체 리드타임을 증가시키는 공정의 위치를 파악할 수 있고, 프로세스 개선을 위한 정보를 제공할 수 있다. 본 연구는 각 패턴에 대한 세부적인 리드타임을 가지적으로 확인했으며, 생산 프로세스 패턴 중 평균 리드타임이 가장 높은 패턴과 가장 낮은 패턴을 확인하였다. 평균 리드타임이 낮은 패턴은 비정상적인 흐름 없이 모든 공정이 균일하게 잘 처리되었다는 의미이며, 비정상적으로 높은 Duration을 가지는 공정은 리드타임이 높게 나타났다.

4.2 설비 분석

제품(모델)의 생산 프로세스의 기본이 되는 설비의 효율적인 사용은 프로세스의 수행 속도 및 수준을 높이고, 전체적인 비용 절감 및 품질 향상을 기대할 수 있다. 프로세스 마이닝의 설비 네트워크 분석을 이용한 설비 분석은 설비간의 작업 및 연계 과정을 우선적으로 분석하여, 설비간의 작업 전달이 제대로 수행되고 있는지를 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 Organizational Miner와 Resource by Task Matrix를 이용해 각 작업별로 설비의 사용 실태 및 빈도수를 계산하여, 각 공정에 해당하는 설비가 효율적으로 운영되고 있는지 파악할 수 있다.

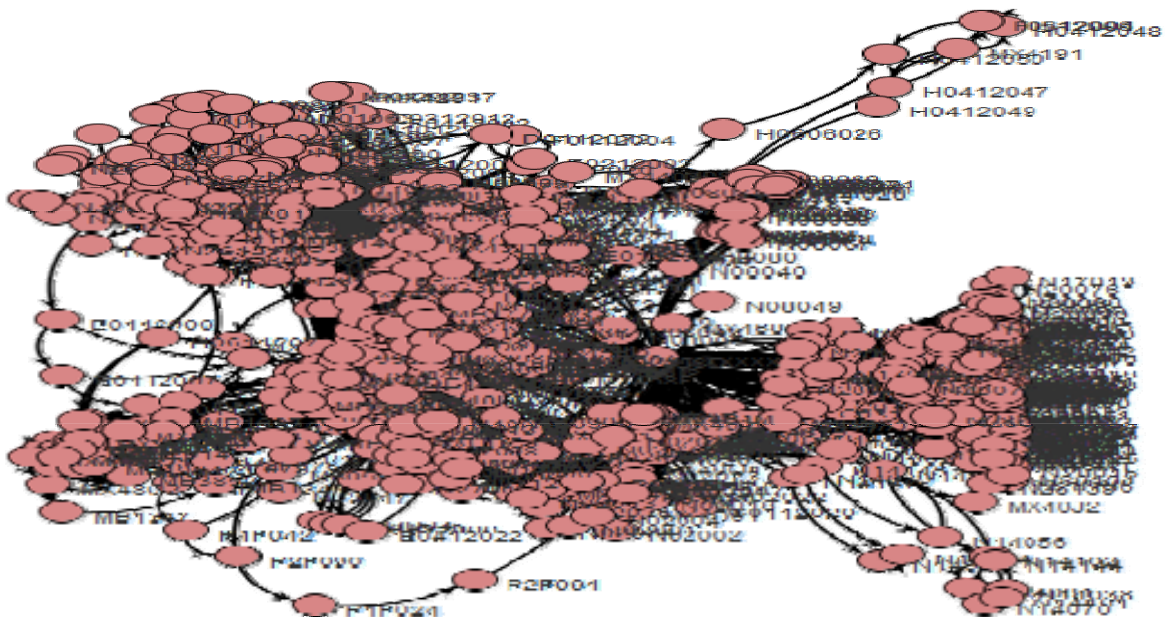
[Figure 5]는 전체 설비 네트워크 모델로, 각 설비간의

작업 이관에 대한 정보를 파악할 수 있다. 각 Node는 설비를 의미하고, Node를 연결하는 화살표는 설비간의 작업 전달을 의미한다. 결과를 통해, 작업 전달 빈도수가 높은 설비들의 관계를 파악할 수 있고, 이를 통해 공정 전달의 중심이 되는 설비의 파악이 용이하다.

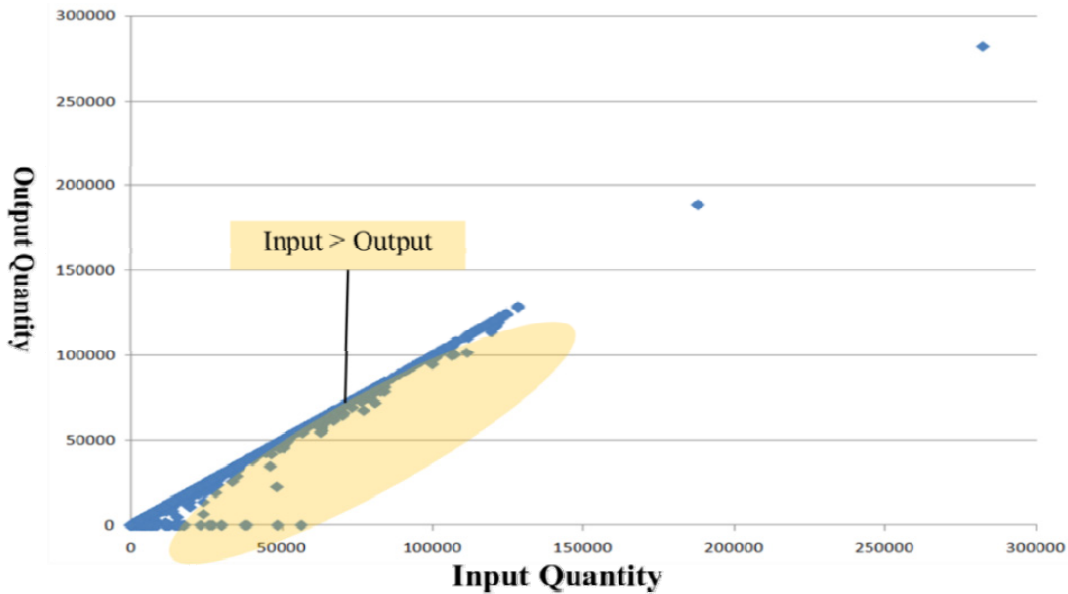
4.3 통과 수율 분석

Lot은 제조 산업에서 쓰이는 제조 단위로 동일한 조건 아래에서 만들어진 균일한 특성 및 품질을 갖는 제품군을 말한다. 각 Lot에는 생산되는 다수의 제품이 포함되어 있다. MES에는 각 공정 이벤트마다 작업의 시작 전 투입된 제품의 개수와 작업 완료 후 통과한 제품의 개수가 기록되어 있다. 각 작업 이벤트 별로 투입수량 대비 완성수량의 차이는 공정에 대한 통과 수율을 의미한다. 통과 수율의 분석은 생산성 향상과 연결된 분석으로, 제품의 생산 수율을 높이고, 불량률을 낮춰 투입되는 자원의 소모를 줄일 수 있다.

[Figure 6]은 투입 대비 완성수량의 Dotted 그래프이다. 투입 대비 완성 수량의 감소가 일어난 공정이 존재함을 확인할 수 있다. 통과 수율이 감소하는 공정의 정보를 바탕으로 공정 과정 중의 불량 발생 가능성을 찾을 수 있다. 각 공정당 통과 수율을 계산하여 공정의 효율성을 검증한다. 이를 위해 작업 이벤트 기준으로 통과 수율을 비교 분석하였다. 공정 이벤트별 통과 수율 계산은 투입 수량과 완성수량이 동일한 작업횟수에서 해당 공정의 총 작업 횟수를 나눈 값의 비율이다.



[Figure 5] Equipment Network Analysis Model



[Figure 6] Variance Chart of Completion Quantity of Input

5. 결론

본 연구는 MES에서 수집한 공정 트랜잭션 정보를 프로세스 마이닝의 다양한 분석 기법으로 분석하여, 공정 프로세스 상의 문제를 진단하고 개선 방향을 제시하는 것으로 진행하였다. 실제 제품 가공 데이터를 분석하여 프로세스 마이닝을 활용한 공정 프로세스 분석의 가능성을 검증하기 위해 진행되었다. 또한 가공 데이터의 분석에서 나온 결과는 설비와 관련되어 있다. 제조 관리자는 생산 프로세스 진행과 관련된 룰에 대해 업무 수행이 동일하게 진행되고 있는지 확인하고, 이를 업무 개선에 활용하게 된다. 작업 관리자는 업무 수행결과와 규정의 일치 여부를 판단하고 그에 따른 파생효과를 비교하여 더 나은 운영을 위한 개선의 기회를 가지게 된다. 이를 위해 통과 수율과 작업 리드타임의 차이를 분석하였다.

본 연구는 프로세스 마이닝을 활용한 제조 공정 분석에 관한 연구이다. 프로세스 마이닝의 유효성을 검증하기 위해 실제 MES에서 추출한 이벤트 로그 데이터를 활용했다. 분석을 통해 프로세스 마이닝의 제조 공정 분석의 가능성을 확인하였다. 프로세스 마이닝을 활용한 분석을 통해 실제 공정 수행 결과를 바탕으로 제조 공정 모델을 쉽고 빠르게 도출할 수 있고, 리드타임 단축, 생산성 향상, 그리고 원가절감 등의 제조 프로세스 개선에 활용할 수 있는 다양한 프로세스 분석 결과를 수행할 수 있다. 다양한 Layout 정보를 바탕으로 최적화된 설비 배치를 위한 분석과 내/외주 공정에 대한 정확한 공정 성과 분석이 가능할 것으로 기대된다.

6. References

- [1] J. Bae, L. Liu, J. Caverlee, W. B. Rouse(2006), Process mining, discovery, and integration using distance measures. ICWS06, pp. 479-488.
- [2] J. Champy(1995), Reengineering management. New York, NY: Harper Collins Publishers.
- [3] M. Hammer(2010), "What is business process management?." In B. Jvom and M. Rosemann (Eds.), Handbook on business process management (pp. 3-16). Springer, Heidelberg.
- [4] J. Kleinberg(2003), "Burst and hierarchical structure in streams." Data Mining and Knowledge Discovery, 7(4):373-397.
- [5] S. Kumar, R. Harris(2004), "Improving business processes for increased operational efficiency: A case study." Journal of Manufacturing Technology Management, 15(7):662.
- [6] H. Luo, J. Fang, G. Q. Huang(2015), "Real-time scheduling for hybrid flow shop in ubiquitous manufacturing environment." Computers & Industrial Engineering, 84:12-23.
- [7] MESA(2004), MESA's next generation collaborative MES model. White Paper Number 8, Pittsburgh, USA, Manufacturing Enterprise Solutions Association (MESA).
- [8] H. A. Reijers, S. L. Mansar(2005), "Best practices in business process redesign: An overview and

- qualitative evaluation of successful redesign heuristics.” OMEGA, 33(4):283.
- [9] S. Wang, J. Wan, D. Zhang, D. Li, C. Zhang(2016), “Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination.” Computer Networks, 101:158-168.
- [10] C. Y. Kim(2020), “Process mining using log data: A case study of healthcare and e-business industry.” Master’s thesis, Hallym University.
- [11] S. Wang, J. Wan, D. Li, C. Zhang(2016), “Implementing smart factory of industry 4.0: An outlook.” International Journal of Distributed Sensor Networks, 12(1):1-10.
- [12] P. Pijnenborg, R. H. Verhoeven, M. Firat, H. Van Laarhoven(2021), “Towards evidence-based analysis of palliative treatments for stomach and esophageal cancer patients: A process mining approach.” Conference: 2021 3rd International Conference on Process Mining(ICPM). doi: 10.1109/ICPM53251.2021.9576880
- [13] J. Srivastava, R. Cooley, M. Deshpande, P. N. Tan(2000), “Web usage mining: Discovery and applications of usage patterns from web data.” Acm Sigkdd Explorations Newsletter, 1(2):12-23. doi: 10.1145/846183.846188
- [14] H. A. Kim(2019), “Learning process mining techniques based on open education platforms.” The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), 5(2):375-380. doi: 10.17703/JCCT.2019.5.2.375
- [15] N. Poggi, V. Muthusamy, D. Carrera, R. Khalaf (2013), “Business process mining from e-commerce web logs.” In Business process management (pp. 65-80). Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-40176-3_7
- [16] S. H. Choi, G. H. Han, G. H. Lim(2013), “Analysis of a repair processes using a process mining tool.” The Journal of the Korea Contents Association, 13(4):399-406. doi: 10.5392/JKCA.2013.13.04.399
- [17] B. Y. Choi(2019), “A study on process improvement & personal data protection using process mining: Focused on a general hospital case.” Master’s thesis, Seoul National University of Science and Technology.
- [18] S. Shin, J. H. Jeon(2018), “Cause analysis of ship rework problems based on process mining.” Journal of Industrial Innovation Research, 34(4):231-254.
- [19] W. M. P. Van der Aalst(2011), Process mining: Discovery, conformance and enhancement of business processes. Springer Heidelberg Dordrecht.

저자 소개



김 태 성

New Jersey Institute of Technology 산업공학과 석사, Louisiana State University 산업공학과 공학박사, 현재 금오공과대학교 교수로 재직 중.

관심분야 : SCM/APS, MES, Smart Factory, Blockchain

주소 : 경북 구미시 대학로 61, 금오공과대학교 산업공학부 글로벌관 608호