

프로세스 마이닝을 이용한 PDM/PLM 시스템 활용 프로세스의 효율성 개선

이상일¹ · 류광열^{1†} · 송민석²

¹부산대학교 산업공학과, ²울산과학기술대학교 테크노경영학부

Process Improvement for PDM/PLM Systems by Using Process Mining

Sangil Lee¹, Kwangyeol Ryu^{1†}, and Minseok Song²

¹Department of Industrial Engineering, Pusan Nat'l Univ

²School of Technology Management, UNIST

Received 7 June 2012; received in revised form 9 July 2012; accepted 11 July 2012

ABSTRACT

Process mining is a useful methodology that can be used for extracting user patterns in log files in order to discover efficient or inefficient processes in organizations. In general, it is used to find and reduce differences between pre-defined processes and actually executed processes in an organization. In this paper, we propose a method to improve processes in PDM/PLM systems based on process mining. In order to improve and detect the inefficient processes, we gathered event logs from PDM/PLM systems and derived process models using several process mining techniques such as α -algorithm mining, heuristics mining, and fuzzy miner. By comparing original process models with process mining results, it is possible to detect differences between pre-defined processes and real ones; thereby we can build improved process models for future application.

Key words: PDM, PLM, Process mining

1. 서 론

오늘날 기업들은 급변하는 시장에 대응하고 경쟁력을 강화하기 위해 내부 핵심역량에 집중적인 투자를 하고 있다. 특히 정보통신 기술의 발달로 인하여 ERP(Enterprise Resource Planning), SCM(Supply Chain Management), MES(Manufacturing Execution System) 등과 같은 기업형 솔루션이 도입되어 사용되고 있다. 하지만 사회가 점점 발전

하고 그에 따라 소비자의 요구도 다양해지면서 제품의 수명주기와 개발 주기는 나날이 짧아지고 있다. 이에 따라 전략적인 비즈니스 솔루션으로써 제품 개발 역량 및 프로세스 개선, 제품 생산에 필요한 방대한 정보의 관리, 프로세스의 효율적 관리를 동시에 수행할 수 있는 PDM(Product Data Management)과 PLM(Product Lifecycle Management)의 도입이 빠르게 이루어졌다. PDM과 PLM을 효율적으로 사용하기 위한 교육 및 접근방법에 대해서는 활발한 연구 및 활동이 이루어지고 있다. 하지만 아직까지 PDM/PLM 시스템의 효과적인 활용을 위한 프로세스의 효율적 관리 및 개선 방

[†]Corresponding Author, kyryu@pusan.ac.kr
©2012 Society of CAD/CAM Engineers

안에 대한 연구는 미비한 것이 사실이다. 보통 PDM과 PLM 시스템의 개발을 위해서는 초기 단계에 BPM(Business Process Management) 등을 이용하여 PDM/PLM 시스템의 지원 프로세스를 모델링 또는 정의한다. 초기 모델링 과정에서부터 비효율적인 요소가 포함되었는지의 여부를 효과적으로 찾아내는 것은 상당히 어려운 일이다. 이것이 바로 PDM/PLM 시스템의 효과적 활용을 위한 프로세스의 효율적 관리 및 개선 방안에 대한 연구가 미비한 이유라 하겠다.

따라서 본 논문에서는 프로세스 마이닝을 이용하여 PDM/PLM의 비효율적인 프로세스를 탐지하고, 개선점을 도출하여 결국 PDM/PLM 시스템의 활용 프로세스를 개선할 수 있는 방법을 제안한다. 프로세스 마이닝은 시스템 내부에 존재하는 이벤트 로그(Event Log) 파일에서 사용자의 공통적인 사용 패턴을 추출하여 개선점을 찾아내는 방법론이다. 프로세스 마이닝을 적용하기 위해, 우선 활용 프로세스를 분석하기 위한 로그파일의 형식을 정의한다. 이후 정의된 로그파일과 프로세스 마이닝을 이용하여 PDM/PLM 시스템의 활용 프로세스를 분석하며, 분석된 결과를 바탕으로 기존 활용 프로세스에서의 개선점 및 효율성 측면에서의 향상된 활용 프로세스를 도출한다. 본 논문에서 제안된 방법론은 PDM/PLM의 효과적 활용을 위한 가이드라인을 제공할 수 있을 것이라고 예상된다.

2. 관련 연구

2.1 프로세스 마이닝

프로세스 마이닝은 업무 프로세스를 분석하는 혁신적인 방법으로 데이터로부터 업무수행과 관련된 여러 가지 정보를 분석하는 기법이다. 프로세스 마이닝에 관한 기존 연구로, Agrawal and Leymann^[1]은 워크플로우 관리시스템의 로그를 기반으로 비즈니스 프로세스를 모델링하는 방법을 제시하였으며, Cook and Wolf^[2]는 신경망, 순수 알고리즘, 마코브(Markovian) 방법으로 프로세스 데이터를 분석하여 소프트웨어 공학에서 프로세스 모델을 개선하는 연구를 하였다. 또한, Herbst^[3]는 워크플로우 시스템에 기계학습 알고리즘(Machine learning algorithm)을 이용하여 워크플로우 프로세스 모델을 개선하는 연구를 하였다. 한편, van der

Aalst and Weijters^[4]는 알파 알고리즘(α -algorithm)을 이용하여 선택실행 프로세스를 고려한 워크플로우 프로세스 모델을 재발견(Rediscovery)하는 연구를 수행하였고, van der Aalst *et al.*^[5,6]은 선택실행 프로세스뿐만 아니라 동시실행 프로세스를 고려한 비즈니스 프로세스 개선과 발견을 위해 유전자 알고리즘을 이용하였다. 즉, 그들은 ERP, BPM, CRM(Customer Relation Management), SCM 시스템 등에 기록되어 있는 과거 업무 수행 기록(정보 시스템 로그)을 분석하여, 업무 수행 결과에 대한 여러 가지 정보 및 지식을 추출해 내는 것을 목적으로 하였다. 프로세스 마이닝은 시스템 내부의 이벤트 로그를 분석하여 정보의 흐름과 프로세스를 추출하는 방법으로 BAM(Business Activity Monitoring), BOM(Business Operations Management), BPI(Business Process Intelligence)와 밀접한 관련이 있으며, 데이터 분석을 통한 의미 도출을 수행하는 전통적인 데이터 마이닝 보다 프로세스의 흐름을 밝혀내는데 초점을 두고 있다^[4,7].

또한 최근에는 프로세스 마이닝 기법을 활용하여 실제 업무 프로세스 또는 공정을 분석하고 개선하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 시청과 병원 등의 공공기관 프로세스 분석에 프로세스 마이닝을 활용한 사례가 있고^[8,9], 반도체 장비 제조 회사인 ASML의 테스트 프로세스 분석^[10], 반도체 생산 프로세스 분석 등의 연구가 있다. 또한 최근 MES 시스템의 데이터를 분석하여 MES 공정을 분석하는 연구가 진행되고 있다^[11].

다양한 분야에서 프로세스 마이닝을 적용하기 위한 시도가 있지만, PLM/PDM 분야에서 프로세스 마이닝을 적용한 사례는 없다. 본 연구에서는 PLM/PDM 적용을 통해, PLM/PDM 상의 공정 효율성 향상에 프로세스 마이닝을 어떻게 적용할 수 있는지 기술하고 있다.

2.2 PDM(Product Data Management)

PDM은 산업정보화를 위한 S/W 시스템 개발에 해당하는 기술로 제품개발 활동을 지원하기 위한 시스템이며, 제품 개발 일정관리, 작업 흐름과 프로세스 관리, 제품 구성 관리, 전자 금고 및 문서 관리, 분류 및 코딩 시스템 관리 기능 등으로 이루어져 있다^[12]. PDM은 PLM과 유사하게 제품개발, 설계, 영업 등을 위해 제품 중심의 정보 체계를 제공함으로써, 제조업체의 내부 또는 외부에서 제품

과 관련된 모든 정보를 접근할 수 있게 해주는 일종의 기업 전략 지원 시스템이라고 할 수 있다. 따라서 ERP와 같은 시스템과 통합되어 제조기업 정보 인프라의 향상 및 개선에 핵심역할을 담당하며 기업의 경쟁력 강화에 많은 도움을 주고 있다^[13]. 국내에서는 Lee and Lee^[14]의 PDM에서 운용되는 DMU(Digital Mockup) 시스템 개발 및 Oh *et al.*^[15]의 UML(Unified Modeling Language)을 이용한 시스템 요구사항 분석 방법론 개발, Yang *et al.*^[16]의 PDM간 제품 데이터 교환 방법론 연구 등 다양한 연구가 진행되고 있다.

2.3 PLM(Product Lifecycle Management)

PLM은 제품의 전주기에 걸친 정보와 그에 관련한 프로세스를 관리하는 것에 중점을 둔 시스템이다. PLM은 2000년대 초반 이후 자동차 산업, 항공산업, 전자산업을 중심으로 적용되기 시작하였고, 현재는 소비재, 산업용품, 의료기기, 제약분야 등 점차 그 적용범위가 넓어지고 있는 추세이다. Brant and Halpern^[17]은 PLM의 가장 큰 특징 중 하나가 제품 수명주기 전체를 다루고 있다는 점을 강조하였고, Stark^[18]는 PLM이 ERP, SCM, CRM과 다르게 제품에 초점을 맞춘 기업 전략이라고 언급하고 있다. Macchi *et al.*^[19]은 PLM이 제품 라이프 사이클을 통해 사람, 프로세스, 정보를 통합함으로써 혁신을 주도할 수 있는 기업 전략으로 간주 하였다. 국내에서는 PLM 기반의 국방 형상관리 정보체계 연구^[20], 및 토목 프로젝트 관리를 위한 PLM 시스템 설계 및 구축^[21], 이기종 조선 PLM간 BOM Data 교환을 위한 온톨로지 프레임워크 구축^[22] 등 다양한 분야에서 연구가 수행된 바 있다.

3. 프로세스 마이닝 모듈

PDM/PLM에 적용될 프로세스 마이닝 모듈은 Fig. 1과 같이 세 부분으로 이루어져 있다. 우선, Discovery Module은 Log Data Server에서 Event 로그 데이터를 가공하여 프로세스 마이닝에 필요한 정보만을 가진 로그 스키마 형식으로 변환한다. Discovery Module은 변환된 로그 파일로 알파 알고리즘 마이닝과 휴리스틱 알고리즘 마이닝, 퍼지 마이닝을 수행하여 프로세스 모델을 추출한다. 세가지 알고리즘 중 첫 번째로 알파 알고리즘을 사용하여 추출된 프로세스는 제조공정 혹은 워크플로우가 얼마나 다양하게 변화 되었는지를 알 수 있는 측정 기준이 된다. 기존의 프로세스가 효율적이라면 사용자는 기존의 프로세스를 사용할 것이며 알파 알고리즘에서는 기존의 프로세스만 추출 될 것이다. 만약 기존에 정의되지 않은 다수의 프로세스가 알파 알고리즘의 결과로써 나타난다면 기존의 알고리즘이 개선점이 있을 개연성이 크다는 것을 의미한다. 즉, 알파 알고리즘이 복잡하게 구성되어 있을수록 기존의 프로세스가 비효율적일 수도 있는 것이다. 두 번째로 휴리스틱 알고리즘 마이닝에서 추출된 프로세스 모델은 현재 프로세스에서 가장 빈번히 사용되는 프로세스이며 Conformance Module로 전송되어 기존의 프로세스 모델과 비교·분석을 수행한다. 마지막으로 퍼지 마이닝은 중요하지 않은 부분의 프로세스를 하나의 클러스터로 묶어 표현함으로써 중요한 프로세스 분석에 초점을 맞출 수 있도록 지원한다.

Conformance Module은 Discovery Module에서 전달된 프로세스 모델을 페트리넷(Petri-net) 모델로 변환할 뿐 아니라, 기존의 프로세스 모델 또한

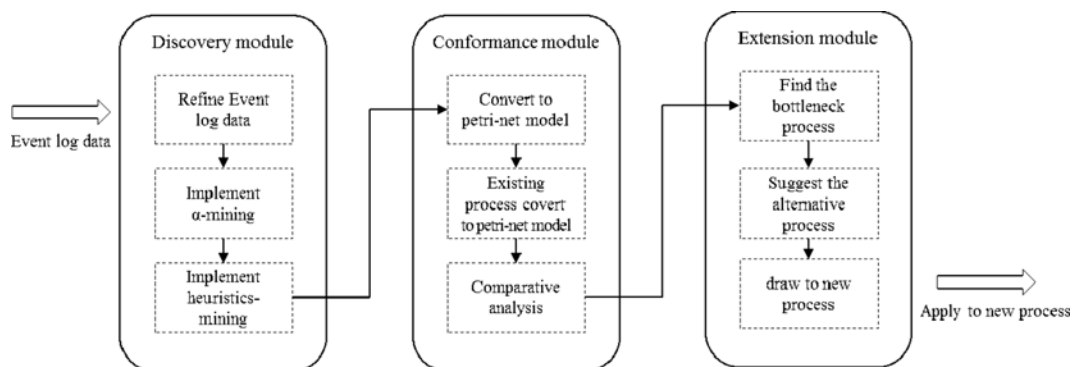


Fig. 1 Process mining module

페트리넷 모델로 변환한 후 두 가지 모델을 비교·분석한다. 작업시간, 납기 등 리소스가 동일한 상태에서 시뮬레이션을 수행하여 비교분석 후, 분석 결과에 따라 효율성이 높은 프로세스 모델을 Extension Module로 전송한다. Extension Module은 전송 받은 프로세스 모델을 다양한 프로세스 마이닝 기법 혹은 알고리즘을 적용하여 병목구간(Bottleneck)을 찾는다.

그리고 병목구간에서의 시간 낭비를 줄일 수 있는 대안이 적용된 프로세스 혹은 병목구간을 우회(Detour)할 수 있는 방법이 존재한다면 이를 표현한 프로세스를 도출하여 프로세스 관리자 혹은 시스템 관리자에게 전송하게 된다.

4. 프로세스 마이닝의 적용

4.1 프로세스 마이닝을 위한 로그파일 구조

프로세스 마이닝을 위한 로그 스키마는 다음과 같은 특징을 지닌다.

- 1) 로그에 저장된 많은 정보 중 프로세스 추출에 필요한 속성만을 모아서 스키마로 정의
- 2) 로그파일로 인한 스토리지, 서버 과부하 등의 단점을 최소화
- 3) 불필요한 로그 정보를 제거함으로써 잡음 발생을 최소화

본 논문에서 제안된 프로세스 모듈의 실험을 위하여 오픈소스 프로세스 마이닝 툴인 ProM⁷⁾을 사용하였다. ProM은 프로세스 마이닝을 위한 분석 기법을 효과적으로 개발하기 위하여 만들어진 프레임워크로, 연구자들이 손쉽게 새로운 기법을 플러그인의 형태로 추가할 수 있도록 구성되어 있으며 본 연구에서 사용한 ProM v5.2에는 약 300여 개의 플러그인이 포함되어 있다. Fig. 2는 ProM 툴

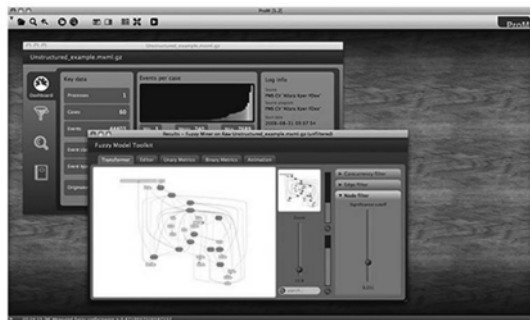


Fig. 2 ProM v5.2

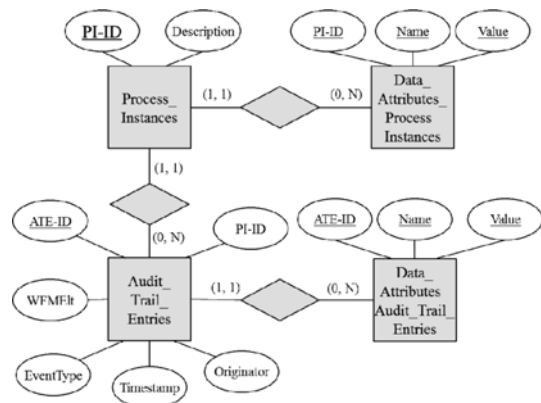


Fig. 3 Structure of log schema

Table 1 Log schema data

WFMElt	해당 서비스 · 기능의 이름
EventType	이벤트 시작과 종료 여부
Timestamp	서비스 · 기능이 실행된 시간정보
Originator	서비스 · 기능의 사용자

의 실행 화면을 보여주고 있다.

프로세스 마이닝에서 사용되는 로그 스키마의 구조는 Fig. 3과 같다. 하나의 프로세스는 다수의 프로세스 인스턴스를 가지고 있고, 하나의 인스턴스는 또다시 다수의 Audit Trail Entry(ATE)를 가지고 있다. ATE는 하나의 이벤트를 나타내는데, Table 1과 같은 정보를 포함한다⁶⁾.

Workflow Model Element(WFMElt)는 이벤트의 이름을 나타내는데, 본 연구에서는 시스템 내부에 정의된 각 기능 모듈 · 서비스 속성의 이름을 나타낸다. EventType은 이벤트의 시작과 끝을 알리는 Start와 Complete 두 가지로 구성되어 있다. Timestamp는 PDM/PLM에서 이벤트가 발생하였을 때 이벤트의 발생 시점을 담고 있다. Originator는 해당 이벤트를 수행한 사용자의 ID를 나타낸다.

4.2 프로세스 마이닝을 위한 분석 시나리오

프로세스 마이닝은 PDM/PLM의 활용 프로세스와 PDL/PLM에서 모델링된 업무 프로세스, 생산 프로세스 등 다양한 분야에서 적용이 될 수 있다. 그 중, 본 연구에서는 업무 프로세스의 예를 통해 프로세스 마이닝 적용 방안에 대해서 논하기로 한다.

PDM/PLM 내에는 제품개발, 설계협업 프로세스 등 다양한 프로세스가 존재하지만, 본 논문에서

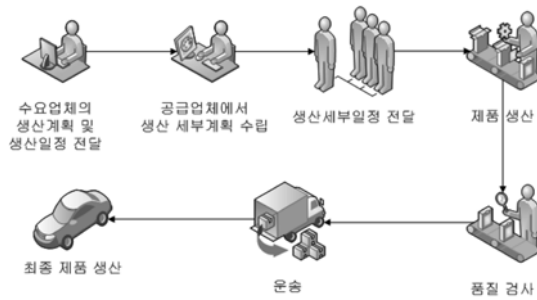


Fig. 4 Production and delivery processes

서는 Fig. 4와 같이 자동차 모듈 생산업체에서 흔히 볼 수 있는 모듈 생산 및 납품 프로세스를 대상으로 분석을 실행하였다. 이 프로세스는 수요기업의 생산계획에 맞춰 모듈 생산업체가 정해진 시간에 제품을 생산해야 하는 특징이 있다. Fig. 5는 Fig. 4의 프로세스를 워크플로우 형태로 나타낸 것이다. 처음과 마지막 프로세스는 수요기업과 공급업체가 관련된 프로세스이며, Reorder 프로세스는 공급업체의 타 부서와 관련된 프로세스이다. 나머

지 프로세스는 생산부서에만 국한된 프로세스이다.

4.3 프로세스 마이닝을 이용한 실험결과

본 연구에서는 프로세스 마이닝의 여러 알고리즘 중에, 알파 알고리즘과 휴리스틱 알고리즘, 퍼지 알고리즘을 사용하였다.

4.3.1 알파 알고리즘 마이닝 결과

알파 알고리즘은 프로세스 모델을 도출하는 알고리즘으로 이벤트의 선후 관계, 병렬 관계, 무(無) 관계의 세 가지 관계를 바탕으로 프로세스 모델을 도출하는 알고리즘이다. 알고리즘의 특성상 모든 이벤트를 같은 중요도로 취급하기 때문에, 빈도수가 적은 흐름도 모두 모델에 표현이 된다. 즉, 로그에서 추출한 모든 경우의 수를 표현할 수 있으며 그 결과는 Fig. 6과 같이 수요기업의 부품 발주 이후 수주 등록과 생산공정 모델링이 동시에 진행되는 프로세스가 추출되었다.

모델 분석 결과, 시스템을 사용하는 일부 사용

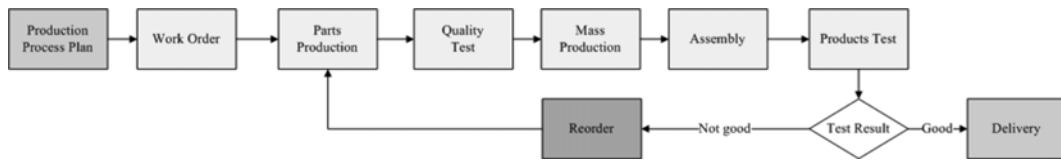


Fig. 5 Production and delivery workflows

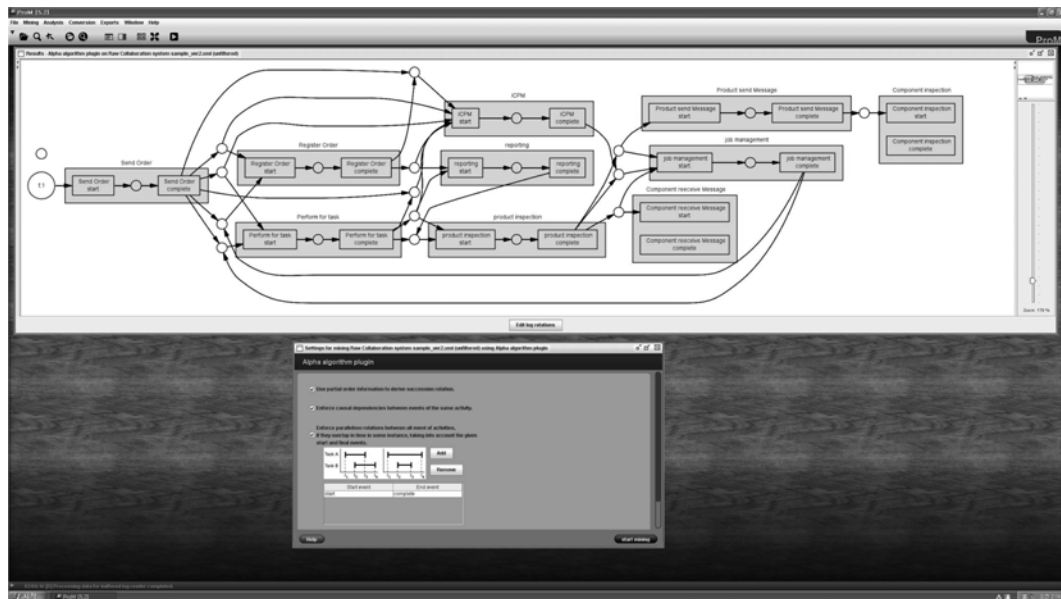


Fig. 6 Alpha algorithm results

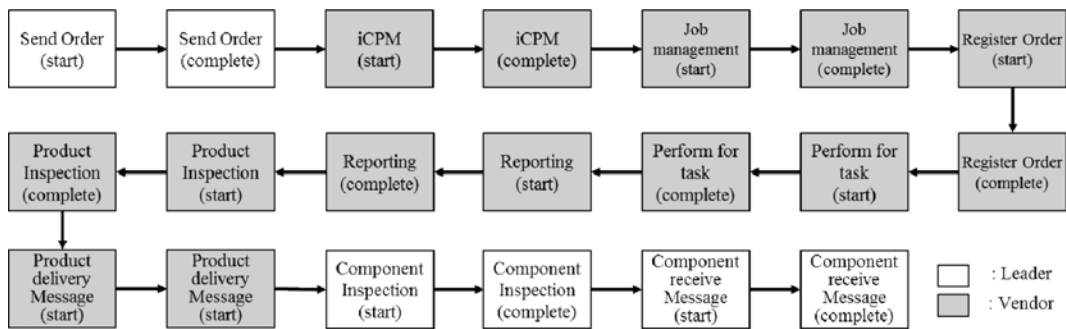


Fig. 7 Heuristics mining results

자는 생산공정 계획이 필요 없는 자동차 모듈의 생산 수주에 관해서는 생산공정 모델링을 제외하고 바로 작업계획 지시 후 자동차 모듈을 생산하고 있는 것을 발견할 수 있었다.

4.3.2 휴리스틱 마이닝 결과

휴리스틱 마이닝은 로그에서 빈도수를 기반으로 작업 사이의 연결 강도를 계산하여 주요한 흐름만을 보여주는 프로세스를 도출하는 마이닝 기법이다. Fig. 7은 휴리스틱 마이닝 결과를 보여주고 있다. 기존의 정의된 프로세스는 공급기업에서 필요한 모듈의 발주 이후에 모듈 수주에 관련된 서류 작업을 진행해야 하며 서류 작업이 끝난 후에 생산 공정 계획을 세워 생산현장에 모듈의 생산을 지시해야 한다. 또한 생산과 검수가 끝난 모듈을 받은 수요기업은 부품 인도에 관련된 작업을 마치고 나서 품질검사가 이루어져야 한다. 하지만 Fig. 7의 휴리스틱 마이닝 결과에서 볼 수 있듯이, 수주기업에서 모듈 발주 직후 서류작업을 진행하기 이전에 먼저 공정 모델러를 이용하는 것으로 나타났다. 이후, 공정 모델링 및 생산 계획 지시와 서류작업을 동시에 진행하여 생산량과 제품이 출하 되기 전까지의 시간을 줄인 것으로 나타났다.

4.3.3 퍼지 마이닝 결과

퍼지 마이닝 기법은 복잡한 프로세스의 분석에 주로 사용되는 방법인데, 작업 사이의 상관관계를 계산하여 상관관계가 높은 작업들을 하나의 클러스터로 나타내거나 중요하지 않은 작업들을 묶어 클러스터로 나타낸다. 따라서, 퍼지 마이닝 기법은 패턴을 알 수 없거나 복잡한 프로세스를 가진 로그 파일의 분석에 적합하다^[23].

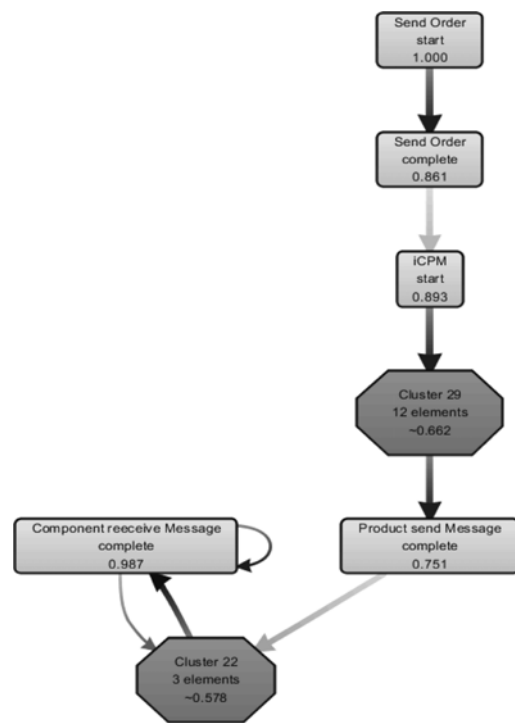


Fig. 8 Fuzzy miner results

Fig. 8은 퍼지 마이닝을 수행한 결과를 보여주고 있다. 이를 통해 상위 레벨에서 주요한 작업들을 관찰할 수 있다. 퍼지 마이닝의 결과 역시 휴리스틱 마이닝의 결과와 비슷하게 모듈 발주 이후 생산공정이 필요 없는 공정에 대해서는 작업계획 지시 후 자동차 모듈을 생산하는 패턴이 도출되었다.

4.3.4 비교 연구

알과 알고리즘 마이닝과 휴리스틱 마이닝, 퍼지 마이닝의 결과와 기존의 프로세스의 차이점은 Fig. 9와 같다. 시스템을 이용하는 대부분의 기업은 모

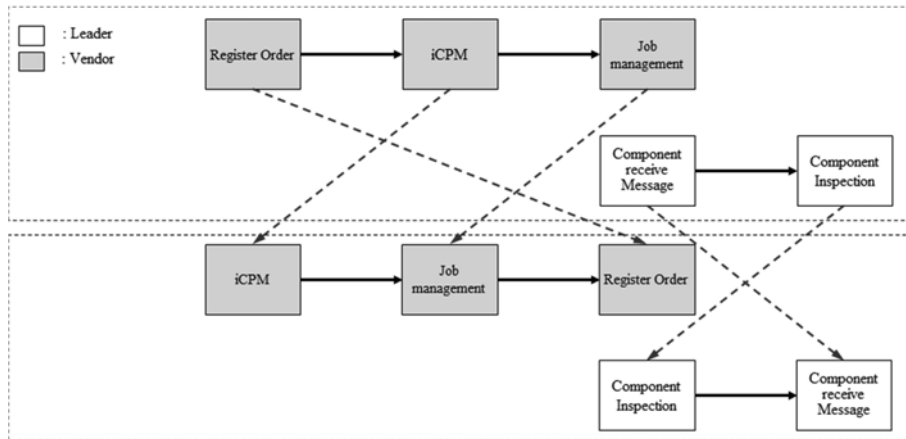


Fig. 9 Differences between ordinary processes with the result of heuristics mining

들 생산을 주문 받았을 때 주문에 대한 서류작업보다 생산계획과 제품의 생산을 먼저 하는 것으로 나타났으며 이 같은 결과는 분석의 대상이 되는 프로세스가 자동차 모듈생산과 납품에 관한 프로세스이기 때문이라고 볼 수 있다. 여러 종류의 모듈을 공급기업에서 공급받지만 생산하는 모듈의 종류는 정해져 있으며 자동차 모듈은 발주부터 납품까지의 시간이 비교적 짧은 편이기 때문이다. 이는 결국 본 논문에서 예시로 제시한 프로세스는 자동차 산업의 특성이 결과에 반영되어 있다고 볼 수 있다.

Register Order와 같은 서류 작업을 제품이 생산되고 있을 때 동시에 진행함에 따라 총 작업 시간은 약 한 시간 정도 빨리지는 것을 알 수 있었다. 따라서 자동차 모듈 생산 및 납품에 관한 서비스는 일반적인 제품의 주문, 생산 방식의 프로세스보다 제품생산의 주문과 동시에 제품 생산을 할 수 있는 프로세스가 더 효율적이라고 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 프로세스 마이닝을 이용하여 PDM/PLM 시스템의 활용에 있어 기존 프로세스의 비효율성과 개선점을 찾는 방법과 PDM/PLM에 적용이 가능한 프로세스 마이닝 모듈을 제안하였다. 본 논문에서 실험을 위한 대상은 자동차 모듈 생산업체였으며, 결과는 일반적인 제품 생산에 필요한 프로세스보다는 좀 더 유연한 프로세스를 필요로 한다는 것을 알 수 있었다.

PDM/PLM은 기업 경쟁력 강화를 위한 전략의 일부로써 BPM과 같은 다양한 방법론을 적용하여 구축 당시 가장 효율적이고 합리적인 프로세스를 만들어 낸다^[24,25]. 하지만 PDM/PLM을 사용하는 시간이 길어짐에 따라 기업을 둘러싸고 있는 환경이 달라지고 그에 따라 프로세스의 효율성 역시 감소할 수 밖에 없다. 본 논문에서 제안한 프로세스 마이닝 모듈과 프로세스 비효율성 탐지 및 개선점 도출 방법은 PDM/PLM의 효율성 개선에 도움을 줄 수 있으리라 생각한다.

본 논문에서는 PDM/PLM 시스템에 있는 다양한 프로세스 중에 업무 프로세스 분석의 사례를 보여 주었다. 기존의 ERP 시스템에서 업무 프로세스 분석의 경우, 시스템의 특성상 분석 가능한 형태의 이벤트 로그를 추출하는데 상당히 많은 시간이 필요한데 반해, PDM/PLM의 경우는 데이터의 변환이 비교적 용이해, 프로세스 마이닝의 적용이 비교적 쉽다는 장점이 있었다. 향후 연구로 PDM/PLM 내에서의 좀 더 다양한 프로세스에 대한 분석이 필요하고, 여러 가지 알고리즘을 사용한 프로세스 마이닝 모듈의 개선 및 PDM/PLM에 적합한 프로세스 마이닝 모듈의 개발 등이 연구과제로 남아 있다.

감사의 글

본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원(NRF-2011-0010561)에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Agrawal, R.D. and Leymann, G.F., 1998, Mining Process Models from Work-flow Logs, *Advances in Database Technology*, 1377, pp. 467-483.
2. Cook, J.E. and Wolf, A.L., 1998, Discovering Models of Software Processes from Event Based Data, *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 7(3), pp. 215-249.
3. Herbst, J., 2000, A Machine Learning Approach to Workflow Management, *Lecture Notes in Computer Science*, 1810, pp. 183-194.
4. van der Aalst, W.M.P. and Weijters, A.J.M.M., 2004, Process Mining: a Research Agenda, *Computers in Industry*, 53(3), pp. 231-244.
5. van der Aalst, W.M.P., de Medeiros, A.K.A., and Weijters, A.J.M.M., 2005, Genetic Process Mining, *Lecture Notes in Computer Science*, 3536, pp. 48-69.
6. van der Aalst, W.M.P., de Medeiros, A.K.A., and Weijters, A.J.M.M., 2006, Genetic Process Mining: A Basic Approach Its Challenges, *Lecture Notes in Computer Science*, 3812, pp. 203-215.
7. Process mining, Available at www.processmining.org (2012. 05. 30)
8. Song, M. and van der Aalst, W.M.P., 2008, Towards Comprehensive Support for Organizational Mining, *Decision Support Systems*, 46(1), pp. 300-317.
9. Mans, R.S., Schonenberg, M.H., Song, M., van der Aalst, W.M.P. and Bakker, P.J.M., 2008, Process Mining in Health Care, *International Conference on Health Informatics*, Funchal, Madeira, Portugal, pp. 118-125.
10. Rozinat, A., de Jong, I.S.M., Günther, C.W., and van der Aalst, W.M.P., 2009, Process Mining Applied to the Test Process of Wafer Steppers in ASML, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part C: Applications and Reviews*, 39(4), pp. 474-479.
11. Song, M., Son, S.Y., Ryu, K., Lee, S., Cho, Y., and Jo, H., 2012, Method for Gathering Logs from c-MES, *2012 Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*, Phoenix park, PyeongChang, Korea, pp. 108-110.
12. Kropsu-Vehkaperä, H., Haapasalo, H., Harkonen, J., and Silvola, R., 2009, Product Data Management Practices in High Tech Companies, *Industrial Management & Data Systems*, 109(6), pp. 758-774.
13. Miller, Ed, 1998, What is PDM, *Mechanical Engineering Magazine*.
14. Lee, K.S. and Lee, S.H., 2003, Development of a DMU System Operated on a PDM System, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 8(3), pp. 157-166.
15. Oh, D.K., Kim, Y.G., Lee, J.H. and Shin, J.G., 2008, Requirement Analysis Using UML on PDM System Development, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 13(2), pp. 121-130.
16. Yang, J., Han, S., and Mun, D., 2008, Sharing Product Data among Heterogeneous PDM Systems Using OpenPDM, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 13(2), pp. 89-97.
17. Brant, K. and Halpern, M., 2002, The Differences in PDM, CPC and PLM Matter, *Gartner Research*.
18. Stark, J., 2005, Vendors in the PLM World, *Product Lifecycle Management e-zine 2PLM*, 8(6), Available at <http://www.johnstark.com/2plm197.html> (2012. 05.30)
19. Macchi, M., Garetti, M. and Terzi, S., 2004, Using the PLM Approach in the Implementation of Globally Scaled Manufacturing, *International IMS Forum 2004: Global challenges in Manufacturing*, IMS, Villa Erba, Cernobbio - Lake Como, Italy.
20. Lim, C., 2008, A Study of Implementation of Defense Configuration Management System based on PLM, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 13(4), pp. 305-313.
21. Kang, H.S., Lee, S.S., Noh, S.D. and Lee, K.M., 2008, C-PLM: Design and Implementation of a PLM System for Effective Management of Civil Projects, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 15(2), pp. 124-135.
22. Kim, D.S., Lee, K.H., Lee, J.M., Lee, K. and Kim J.H., 2011, Building and Applying Shipbuilding Ontology for BOM Data Interoperability in Heterogeneous Shipbuilding PLM Systems, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 16(3), pp. 197-206.
23. Günther, C.W. and van der Aalst, W.M.P., 2007, Fuzzy Mining: Adaptive Process Simplification Based on Multi-Perspective Metrics, *Lecture Notes in Computer Science*, 4714, pp. 328-343.
24. Yang, T.H., Yoon, T.H., Choi, S.S. and Noh, S.D., 2008, A Study on Product Information Exchange between Heterogeneous Systems including Commercial PDM Systems, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 13(3), pp. 175-186.
25. Kim, S.H., Jeon, J.I., Lee, J.H., and Lee, W.J., 2010, Implementation of PLM Functional and Architecture between ETO Shipbuilding and ATO Industries, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 15(6), pp. 425-439.



이 상 일

2009년 동아대학교 경영정보학과
학사

2011년 부산대학교 산업공학과 석사
2011년~현재 부산대학교 산업공학
과 박사과정

관심분야: PDM/PLM, 차세대생산
시스템, 제조협업



류 광 열

1997년 포항공과대학교 산업공학
과 학사

1999년 포항공과대학교 산업공학
과 석사

2004년 포항공과대학교 산업공학
과 박사

2004년~2007년 한국생산기술연구
원 위촉/선임연구원

2008년~현재 부산대학교 산업공학
과 조교수

관심분야: 제조IT융합, 제조 시스
템/프로세스 혁신, PDM/PLM,
제조서비스, 제조협업



송 민 석

1999년 포항공과대학교 산업공학
과 학사

2001년 포항공과대학교 산업공학
과 석사

2006년 포항공과대학교 산업경영
공학과 박사

2010년~현재 UNIST 테크노경영
학부 조교수

관심분야: Process Management,
Process Mining, MES