한국빅데이터학회
제1권 제2호, 2016, pp. 65-78

프로세스 마이닝 기법을 활용한 공급망 분석: 사례 연구*

Process analysis in Supply Chain Management with Process Mining: A Case Study

이용혁[1,2] · 이호정[1] · 송민석[1†] · 이상진[3] · 박세라[3]

포항공과대학교(POSTECH) 산업경영공학과[1]
울산과학기술원(UNIST) 경영공학과[2]
경동도시가스 마케팅기획팀[3]

요 약

기업 환경의 급격한 변화와 복잡성의 증가에 따라 다양한 장점을 지닌 기업들이 협력을 통해 고객에게 짧은 시간에 최상의 가치를 제공해주는 것이 중요해 지고 있다. 이를 위해 기업은 다양한 공급망에 참여하게 되고, 기업의 공급망 관리에 대한 중요성은 점차 증대되고 있다. 이러한 공급망 관리의 효율성을 높이기 위해 공급망 상에서 생성되는 데이터의 효과적인 분석이 필요하다. 본 연구에서는 프로세스 마이닝 기법을 활용한 공급망 데이터 분석을 제안한다. 프로세스 마이닝 기법이 적용 가능한 공급망 데이터의 분석 범주를 도출하고, 프로세스 마이닝을 활용한 다양한 분석을 제안하다. 이를 통해 기업은 공급망 관리에 대한 인사이트를 얻고 공급망 관리 프로세스의 개선 및 효율화가 가능하다. 사례 연구를 통해 프로세스 마이닝을 활용한 공급망 데이터 분석의 유효성을 검증하였다.

■ 중심어 : 빅데이터, 프로세스 마이닝, 공급망 관리, 프로세스 분석

Abstract

In the rapid change of business environment, it is crucial that several companies with core competence cooperate together in order to deliver competitive products to the market faster. Thus a lot of companies are participating in supply chains and SCM (Supply Chain Management) become more important. To efficiently manage supply chains, the analysis of data from SCM systems is required. In this paper, we explain how to analyze SCM related data with process mining techniques. After discussing the data requirement for process mining, several process mining techniques for the data analysis are explained. To show the applicability of the techniques, we have performed a case study with a company in South Korea. The case study shows that process mining is useful tool to analyze SCM data. On specifically, an overall process, several performance measures, and social networks can be easily discovered and analyzed with the techniques.

■ Keyword : Big Data, Process Mining, SCM, Process Analysis

2016년 8월 10일 접수; 2016년 8월 30일 게재 확정.
* 본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(과제 번호 No. NRF-2014K1A3A7A03073707).
† 교신저자 mssong@postech.ac.kr

Ⅰ. 서 론

기업의 생태계가 점점 복잡해짐에 따라, 하나의 기업이 모든 것을 제공해 주는 것 보다 다양한 장점을 가진 기업들이 협력을 통해 고객에게 짧은 시간에 최상의 가치를 제공해 주는 것이 중요해 지고 있다. 이를 위해, 기업은 최종 산출물을 제공하기 위한 다양한 공급망에 참여하게 되고, 기업의 공급망 관리는 점점 더 중요해 지고 있다. 이러한 공급망 관리의 효율성을 높이기 위해서, 공급망 상에서 생성되는 데이터를 효과적으로 분석하여 공급망 관리에 활용하는 것에 대한 관심이 커지고 있고, 이를 위해서 많은 기업들은 공급망에서 더 많은 데이터를 얻기 위해 데이터 수집 기능을 확장하고 있으며, 각종 빅데이터 처리 기술을 적용하여, 데이터를 저장하고 분석하고자 노력하고 있다.

이런 공급망 데이터를 분석하기 위해서 다양한 기법을 활용할 수 있는데, 프로세스 마이닝 기법이 좋은 대안이 될 수 있다. 프로세스 마이닝은 소위 이벤트 로그라고 불리는 트랜잭션 데이터로부터 비즈니스 프로세스 관련 유용한 정보를 추출해 내는 연구이다. 2000년대 중반에 네덜란드 아인트호벤 공대에서 처음 연구가 시작이 되어서, 유럽을 중심으로 활발하게 연구되고 있는 학문 분야이다. 프로세스 마이닝 분석은 크게 이벤트 데이터로부터 모델을 도출하는 연구와, 모델과 이벤트를 비교하여 적합도를 검사 하는 부분, 기존 모델 또는 도출된 모델에 정보를 추가해서 확장하는 세 가지 부분으로 나누어져 있다[28]. 최근에는 빅데이터 시대의 대용량 데이터 처리, 실시간 데이터 처리 등을 프로세스 마이닝에 접목한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 또한 프로세스 마이닝 기법을 바탕으로 한 툴의 개발도 활발한데, 프로세스 마이닝을 위한 오픈 소스 프로젝트인 ProM 툴(http://www.processmining.org)이 학계에서 많이 쓰이고 있고, DISCO(http://www.fluxicon.com), CELONIS(http://www.celonis.de), ProDiscovery(http://www.puzzledata.com)와 같은 많은 상용 소프트웨어가 개발이 되어, 학계에서만 존재하는 분석 기법이 아니라, 실제 기업에서도 많이 활용될 수 있도록 지원되고 있다. 실제로 의료, 제조, 물류, 금융 등 많은 분야에서 적용되고 있으며, 최근에는 유럽을 중심으로 KPMG, 딜로이트와 같은 컨설팅 회사에서 프로세스 마이닝을 활용하여 실제 기업의 업무 프로세스를 분석하고 개선하는 프로젝트를 하고 있다. 이런 다양한 연구 개발 및 적용에도 불구하고 실제 기업에 적용된 사례에 대한 연구는 많지 않다.

따라서 본 논문에서는 A기업의 실제 데이터를 바탕으로 공급망 관리에 있어서 프로세스 마이닝 기법이 어떻게 적용될 수 있는지를 연구한다. 본 연구에서는 공급망 관리 프로세스에 대한 사례 연구를 실시하는데, 이를 통해서 어떤 프로세스 마이닝 기법으로 어떻게 데이터 분석을 해야 하고, 본 분석으로부터 얻은 인사이트를 어떻게 활용할 수 있는지 고찰해 보았다. 실제 A기업의 데이터를 바탕으로 프로세스 마이닝을 통해서 기존 프로세스에서 어떤 문제점을 파악할 수 있었고, 실제 기업 관계자와의 인터뷰를 통해서 분석 결과를 검증할 수 있었다.

본 논문의 이후의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 SCM과 프로세스 마이닝과 관련된 연구를 소개하며, 제Ⅲ장은 본 연구에 사용된 분석의 개요에 대해서 설명하고, 제Ⅳ장에서는 분석 데이터에 대해서 설명한다. 제Ⅴ장에서는 분석 결과에 대해서 설명하고, 제Ⅵ장에서 결과에 대한 토의를 하며, 제Ⅶ장에서 결론 및 추후 연구를 소개한다.

Ⅱ. 관련 연구

본 장에서는 본 논문의 논제와 관련 있는 SCM

과 프로세스 마이닝 분야의 주요 연구에 대해 소개한다.

2.1 SCM 관련 연구

SCM은 최초 공급자에서 최종 고객까지의 공급 사슬 전 단계를 효율적 관리하여 공급사슬 최적화를 도모하는 것이라고 볼 수 있다[11, 15, 30].

국내외로 SCM에 관한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 먼저, SCM 구축에 필요한 요인들과 그 방법에 대한 연구들이 이루어져 왔는데, 이는 효율적이고 정확한 SCM 구축에 관한 연구들이다[1, 5, 16]. 그리고 이러한 SCM에 대한 평가를 위해, SCM 자체의 성과와 성공요인에 대한 분석이 이루어졌고[7], 이와 함께 국내 제조기업의 SCM 구축 성과 평가와 같이 실제 성과를 평가하는 연구도 있었다[3]. 또한, SCM의 여러 데이터를 수집하기 위한 방안으로 RFID를 제안하면서, 이를 도입하는 방법과 수집된 데이터 관리 방법에 대한 논문도 있었다[9, 10].

최근에는 데이터 마이닝에 대한 관심이 높아지면서, SCM 자체에서 나오는 다양한 데이터를 처리하고 분석하는 연구가 많아지고 있다. 김진승, 이영구[2]는 Stream Data Manager를 통해 실시간으로 원하는 데이터를 추출할 수 있는 방법을 제안하였고, 서준용 외[4]의 경우는 실질적인 웹 로그 데이터를 분석하는 방법과 분석을 통해 나오는 결과에 대해 설명하였다. 또한, 이러한 분석이 적용될 수 있는 기업 및 운영 환경을 제안하였다. 의사결정나무와 같이 데이터 마이닝 기법을 SCM에 도입하여 전반적인 프로세스 분석에 관한 연구가 수행되었으며, 이는 SCM에서 BPM의 활용성을 입증하였다[8].

SCM 관련 연구가 대부분 효율적인 SCM의 구축에 관하여 집중되어 있으며, 최근 빅데이터에 대한 관심의 증가에 따라 공급망 데이터의 수집 및 분석에 대한 연구가 점차 증가하는 추세이다. 그러나 공급망 데이터 활용에 대한 연구는 데이터 추출, 웹로그 분석 등 SCM의 효율화에 간접적이며, 그 수가 많지 않다. 따라서 본 연구는 SCM의 효율화를 위한 공급망 데이터 분석 방법을 제안하고, 실제 데이터를 분석하고, 그 결과를 실제 기업 관계자와의 인터뷰를 통해 검증하였다는 것에 의의가 있다.

2.2 프로세스 마이닝 관련 연구

프로세스 마이닝은 정보시스템에서 나오는 이벤트 로그 분석을 통해 프로세스 모델을 도출하여 비즈니스 프로세스의 개선이나 설계에 유용한 지식을 추출하는 것을 목적으로 한다[24, 27]. 이러한 개념에서 추가적인 연구로 적합성 분석과 프로세스의 확장이 있다. 적합성 분석에 관한 연구는 프로세스 모델이 프로세스 로그를 적절하게 설명하는 정도를 나타낸다. 프로세스의 확장 및 개선은 이벤트 로그로부터 추가적으로 얻은 정보를 프로세스 모델에 추가하여 모델을 향상시키는 방법에 관한 연구이다. 이러한 연구를 통해 프로세스에 관한 의미 있는 정보를 얻을 수 있다[21, 19, 29]. 또한 프로세스 모델 안의 작업자간의 관계를 나타내는 사회 연결망 분석에 관한 연구도 수행되고 있다[13].

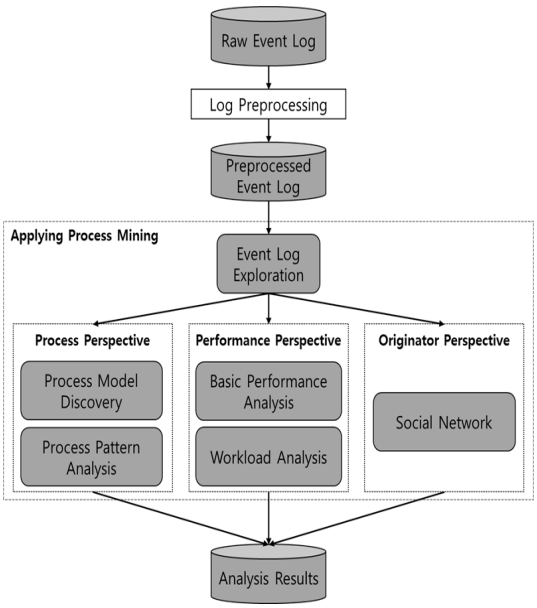
실제 사례에 프로세스 마이닝을 적용한 연구도 있다. van der Aalst et al.[25]은 네덜란드 지방관청의 이벤트 로그를 분석하여, 케이스 성향에 따른 성과 분석을 수행 할 수 있다는 것을 보여주었다. van der Aalst et al.[20]은 Dotted Chart를 활용하여, 네덜란드 재무 기관의 개인 대출 신청 프로세스의 성과 특성과 인적자원 성과분석 등을 수행하였다. 또한. Bozkaya et al.[12]은 업무별 소요시간 및 병목 분석을 네덜란드 정부 조직의 이벤트 로그 분석에 적용하였다. 프로세스 마이닝을 의료 프로세스에 도입한 연구도 있는데, Mans et al.[18]은 네덜란드 병원의 부인과로부터 이벤트 로그를 추출하여, Dotted chart와 Meter

chart를 통해 종양환자 치료 프로세스의 업무 별 체류시간 성과 분석을 수행하였다. 그리고 Kim et al.[14]은 작업, 작업자, 환자 그리고 패턴 별로 작업 소요시간 및 빈도수를 성과지표로 놓고 프로세스 분석을 수행하였다. 제조분야의 경우에는 이벤트 로그를 MES(Manufacturing Execution System)로부터 추출하여 제조업 생산 프로세스를 분석한 연구가 있으며[22], 블록 이동 프로세스[17]나 선박 통관 프로세스 유사성 측정 분석 등의 세부적인 연구도 이루어졌다[31]. 마지막으로, 실제 기업 사례를 분석한 경우도 있는데 양한나, 송민석[6]은 전기 설비 업체의 고객 서비스 프로세스의 이벤트 로그를 통해, 병목 구간 분석, 기본 성과 분석, 패턴분석 등을 수행하였다.

프로세스 마이닝 관련 연구는 프로세스 모델 도출, 프로세스 모델의 적합성 검사, 프로세스 모델의 확장 및 향상의 세 가지 범주를 중심으로 다양한 실제 데이터의 적용에 대하여 이루어지고 있다. 실제 데이터를 활용한 사례 연구도 활발히 수행되고 있는데, 본 연구는 공급망 데이터를 바탕으로 프로세스 마이닝을 적용한 사례연구를 수행하여, 실제 사례를 확보하고, 프로세스 마이닝의 적용 확장에 기여하였다.

Ⅲ. 프로세스 마이닝을 활용한 공급망 분석 개요

본 장에서는 공급망 데이터 분석을 위한 프로세스 마이닝 기반 분석 방법에 대해서 설명한다. 본 연구에서 수행된 데이터 분석은 크게 이벤트 로그 탐색, 프로세스 관점 분석, 성과 관점 분석, 작업자 관점 분석의 네 부분으로 구성된다. 이를 도식화 하면 <그림 1>과 같다.



〈그림 1〉 분석 개요

3.1 이벤트 로그 탐색

유의미한 결과를 도출하기 위한 데이터 분석을 수행하는데 있어서 전체적인 데이터 분석 방향 설정이 중요하다. 비즈니스 및 현업에서 발생하는 이슈가 분석 방향에 관한 결정적인 영향을 끼치지만, 데이터의 기본적인 탐색을 통한 충분한 이해 또한 분석 방향 설정에 있어서 중요하다. 전통적인 데이터 탐색 단계에서는 주로 기초통계 정보를 도출하고 이를 바탕으로 후속 분석 방향에 대한 논의가 진행된다. 프로세스 마이닝 관점에서는 데이터를 이벤트 로그 형태로 변환하여 분석하는 것을 기본으로 하기 때문에 이벤트 로그 탐색을 통해 이벤트 로그에 대한 전반적인 이해를 도모하고, 후속 분석에 관한 방향을 가늠할 수 있다.

프로세스 마이닝 기법을 활용한 이벤트 로그 탐색은 주로 Dotted Chart를 통해 이루어진다[23]. Dotted Chart는 이벤트를 점(Dot) 형태로 시각화하여 각 케이스의 이벤트의 발생 분포 및 소요시간과 케이스별 이벤트 개수의 분포 등을 파악할 수 있다. 더불어 실제 발생 시간에 따른 이벤트 분포 이외에도 케이스 간의 상대적인 분포도 파악할 수 있어 이벤트 로그 탐색에 매우 용이하다.

또한, Dotted Chart는 케이스, 이벤트, 작업, 작업자 등 다양한 관점에서 시각화가 가능하기 때문에 이벤트 로그 탐색에 더욱 효과적이다.

3.2 프로세스 관점

공급망은 프로세스로 관리가 이루어진다는 점에서 프로세스 관점의 데이터 분석은 프로세스 마이닝이 가장 효과적으로 적용될 수 있다. 본 연구에서는 프로세스 관점의 분석으로 프로세스 모델 도출과 프로세스 패턴 분석을 수행하였다.

데이터를 바탕으로 도출된 프로세스 모델은 사실적인 작업 흐름을 나타낸다. 도출된 프로세스 모델을 통해 기존에 개념적으로 이해하고 있던 프로세스에 대한 실제적인 이해가 가능하며, 인사이트를 얻을 수 있다. 또한, 작업 흐름의 지연이 발생하는 병목 구간을 파악하여 실제 프로세스 개선에 활용할 수 있다.

프로세스 패턴 분석은 프로세스에서 발생하는 다양한 작업흐름 패턴에 대한 분석을 가능하게 하는데, 이를 통해 수행 시간이 많이 걸리거나, 특이한 흐름으로 업무가 수행된 패턴을 찾을 수 있다. 이런 흐름의 추가적인 분석을 통해 프로세스의 개선을 위한 단서를 찾을 수 있다.

3.3 성과 관점

프로세스 마이닝 기법을 적용하여 프로세스 상에서 각 케이스, 작업, 작업자 등에 관한 성과를 파악할 수 있다. 빈도수 및 소요시간을 지표로 하는 성과 분석이 가능하며, 본 연구에서는 성과 관점에서 작업/작업자별 성과 분석과 부하 분석을 수행하였다.

작업별 성과 분석은 프로세스 상의 성과 분석이 이루어진다는 점에서 프로세스의 지연 구간의 원인 파악에도 도움이 된다. 또한, KPI(Key Performance Indicators)를 이용한 성과 분석은 각 작업의 성과 모니터링에 활용될 수 있다.

부하 분석은 작업자별로 처리 업무량의 현황 파악을 위해 수행된다. 기준 업무량에 비해 과도한 업무량을 처리하고 있는 작업자는 계속해서 적체현상이 발생하여 전체적인 작업 흐름 지연의 주요한 원인이 될 확률이 높으므로 업무량의 분산이 필요하다. 부하 분석을 통해 이러한 업무 쏠림 현상과 이로 인한 적체현상에 대한 신속한 진단이 가능하다.

3.4 작업자 관점

작업자 관점의 분석은 업무 수행을 프로세스 관점이 아니라, 작업자 사이의 커뮤니케이션 관점에서 사회 연결망(Social Network)을 제공한다. 여러 가지 사회 연결망이 생성될 수 있는데, 가장 많이 사용되는 것이 작업 전달 관계에 의한 사회 연결망(Handover of work)이다. 이 사회 연결망을 통해서 작업자들 사이에 업무가 어떻게 전달되는지 볼 수 있고, 도출된 사회 연결망에서 작업자의 중요도나 중요 흐름을 파악할 수 있다[26].

Ⅳ. 사례연구-SCM 프로세스

본 장에서는 사례연구에 활용된 SCM 프로세스 데이터를 제공한 A기업의 공급망 관련 이슈를 소개하고, 분석에 활용된 데이터를 설명한다.

4.1 SCM 프로세스 이슈

A기업은 에너지 진단, 에너지 절약, 발전사업, 자원개발 사업 분야의 에너지 솔루션 플랫폼 기업이다. 해당 기업에서는 계약, 설계, 인허가를 담당하는 내부부서와 시공을 담당하는 외부 계약업체 전반을 관리하기 위해개념적인 프로세스를 바탕으로 각 단계별 표준일수를 산정하여 전체 일정을 관리하고 있었다. 일례로 연장이 10m 이하일 경우에는 설계의뢰부터 준공까지

2~3달 정도 소요될 것으로 표준일수에 의해 산정되어진다. 그러나 구체적인 근거 없이 조건에 의한 산정법은 신뢰도가 일정하지 않은 이슈가 있었다. 이에 따라 A 기업에서는 효과적인 공급망 관리를 위해 실제 프로세스의 각 단계별 소요 일수 및 실제 프로세스의 진행 과정 파악에 대한 니즈가 존재하였다.

4.2 데이터 개요

본 연구에서는 프로세스 마이닝 기법을 활용하여 A 기업의 공급망 관리 프로세스에 관한 데이터 분석을 수행하였다. A 기업으로부터 수집한 데이터는 공급신청에서 공사 완료까지의 200건 이상의 공급망 관리 프로세스에 관한 데이터이다. 데이터 포맷은 엑셀 형태로 수집되었고, 총 23개의 칼럼으로 구성되었다. 데이터의 구성은 <표 1>과 같으며, A-D1~A-D10, B는 기업에서 민감 데이터로 칼럼명을 익명화하였다.

〈표 1〉 원본 데이터 구성 및 예시

데이터 칼럼명	데이터 유형	값 예시
ID	범주형	1_2_1_1_1_1_1_J_A_D_E_32.7
No	범주형	1
A_D1	범주형	2
A_D2	범주형	1
A_D3	범주형	1
A_D4	범주형	1
A_D5	범주형	1
A_D6	범주형	1
A_D7	범주형	J
A_D8	범주형	A
A_D9	범주형	D
A_D10	범주형	E
B	범주형	32.7
공급신청일	시간	2015-10-20
계약일	시간	2015-10-20
설계의뢰일	시간	2015-10-20
도면완료일	시간	2015-10-23
허가준비완료일	시간	2016-04-21
허가완료일	시간	2016-03-15
예산승인일	시간	2016-03-10
공사시작일	시간	2016-03-17
공사완료일	시간	2016-03-29
필증완료일	시간	2016-03-29

프로세스 마이닝 분석을 수행하기 위해서 데이터로부터 케이스, 이벤트, 수행시간, 작업자에 관한 정보를 추출하여 MXML 형태로 변환하여 데이터 준비 작업을 하였다. 작업자 데이터의 경우, 사생활 보호를 위해 익명화 처리하여 분석을 수행하였다.

실제 프로세스 마이닝을 적용한 분석 데이터의 개요는 <표 2>과 같다. 공급망 관리 프로세스 데이터는 2015년 1월 5일부터 2016년 6월 10일 약 1년 6개월 동안 수집되었다. 이 기간 동안 10개의 작업을 100명의 작업자가 담당하였고, 수행된 케이스 208건, 이벤트 2,080건에 대한 분석을 수행하였다.

〈표 2〉 분석 데이터 개요

구 분	SCM 프로세스 데이터
케이스 수	208
이벤트 수	2,080
작업 수	10
작업자 수	100
기간	2015-01-05 ~ 2016-06-10

Ⅴ. 분석 결과

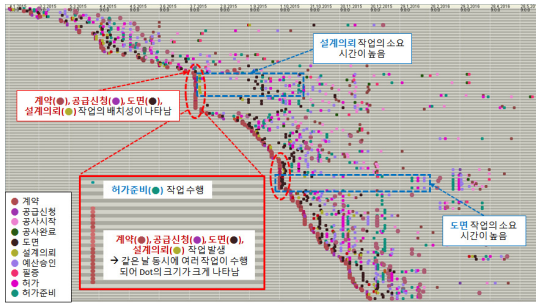
A기업의 공급망 관리 프로세스의 데이터 분석은 이벤트 로그 탐색, 프로세스 관점, 성과 관점, 작업자 관점 총 네 부분으로 수행되었으며, 결과는 다음과 같다.

5.1 이벤트 로그 탐색

Dotted Chart를 이용하여 이벤트 로그 탐색을 수행하였다. 실제 발생 시간을 기준으로 전체적인 이벤트의 분포, 케이스별 소요시간의 분포, 작업별 소요시간의 분포를 Dotted Chart를 이용

하여 도출하였다.

실제 발생시간을 기준으로 하였을 때, <그림 2>에서와 같이 Dotted Chart를 통해 작업의 소요시간과 작업의 배치성에 관한 인사이트를 도출할 수 있었다. 작업 소요시간을 중심으로 살펴보았을 때, 타 작업에 비해 설계의뢰, 도면 작업의 소요시간이 긴 것을 확인할 수 있었다. <그림 2>에서 보이는 바와 같이 특정일에 계약, 공급신청, 도면, 설계의뢰 작업이 동시에 여러 번 나타남에 따라 Dot의 크기가 크게 나타났다. 해당 작업은 특정일에 한 번에 많은 건수가 일괄적으로 처리되는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 특정일에 해당 작업들의 배치성을 확인할 수 있었다.



〈그림 2〉 Dotted Chart 결과(전체 이벤트)

위의 그림을 통해 배치성을 띄는 작업이 존재하며 배치성을 띄는 경우 작업의 소요시간이 오래 걸리는 것을 시각적으로 확인할 수 있었다. 이에 대한 통계적 의미를 파악하기 위하여 t-검정을 실시하였다. 배치성의 발생 기준을 하루에 동일한 작업이 10회 이상 수행되는 것으로 정의하고, t-검정을 실시하기 위한 배치성의 발생 여부에 따른 두 집단을 생성하였다.

t-검정을 위한 사전 준비로 “배치성을 특성으로 구분되는 두 집단의 평균 소요시간의 차이는 없다.”를 귀무가설로 설정하고, “배치성이 있는 집단의 소요시간이 배치성이 없는 집단의 소요시간보다 길다”를 대립가설로 설정하였으며 유의수준은 0.05로 설정하였다.

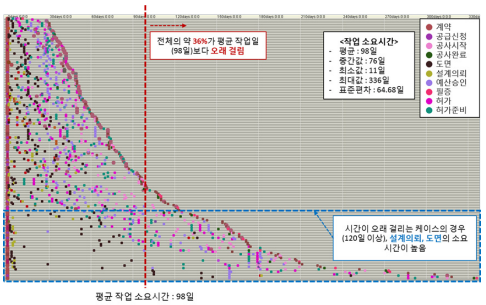
t-검정을 실시한 결과 <표 3>에서 나타나는 바와 같이 p-value 값이 유의수준 0.05보다 작고, 작업의 배치성을 띄는 케이스들의 평균 소요시간이 172.43일, 배치성을 띄지 않는 케이스들의 평균 소요시간은 76.14일으로 나타났다. 따라서 배치성이 있는 집단의 소요시간이 배치성이 없는 집단의 소요시간보다 길다는 것을 통계적으로 결론내릴 수 있다.

〈표 3〉 배치성에 따른 프로세스 지연의 t-검정 결과

구 분	배치성을 띄는 경우	배치성을 띄지 않는 경우
케이스 수	40개	168개
평균 소요시간	172.43일	76.14일
분산	3,784.46	2,635.67
p-value (단측 검정)	1.79×10^{-20}	

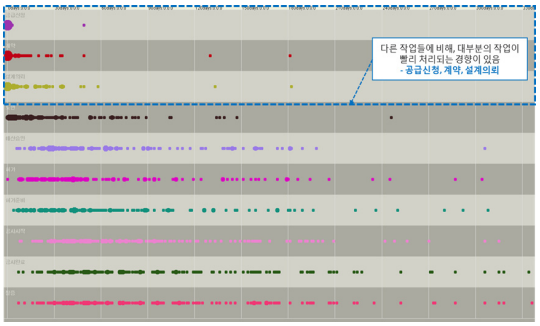
케이스별 소요시간 분포를 살펴보았을 때, 특정 구간에서 오랜 소요 시간이 원인이 되어 대체적으로 해당 케이스의 전체 소요시간 지연에 영향을 끼치는 것을 파악할 수 있었다. <그림 3>에서와 같이 Dotted Chart를 통해 소요시간을 기준으로 상대적인 케이스 분포를 볼 수 있다.

평균 작업 소요시간 98일을 기준으로 전체 케이스 중 약 36%가 평균 작업일 보다 더 오랜 시간이 소요되었다. 120일 이상의 시간이 소요되는 케이스들은 공통적으로 설계의뢰, 도면 작업에서 소요시간이 오래 걸리는 것으로 나타났다.



〈그림 3〉 Dotted Chart 결과(케이스별 소요시간)

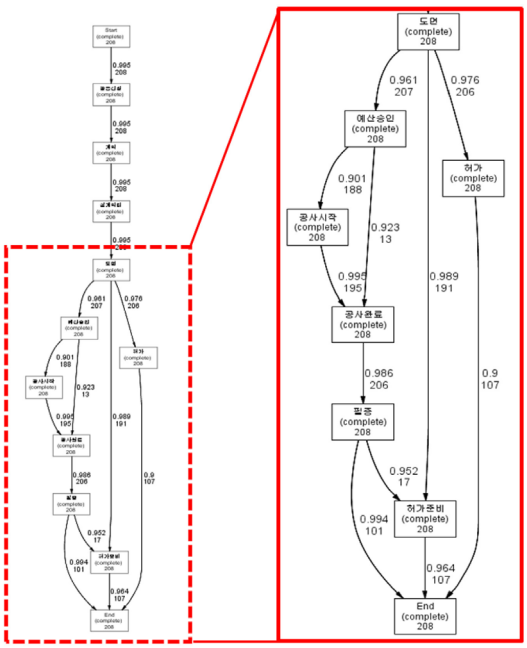
작업별 소요시간 분포를 <그림 4>와 같이 Dotted Chart로 나타내었다. 다른 작업들에 비해 공급신청, 계약, 설계의뢰 작업은 비교적 빠른 시간 내에 처리되는 경향이 있는 것으로 파악되었다.



〈그림 4〉 Dotted Chart 결과(작업별 소요시간)

5.2 프로세스 관점

프로세스 관점에서 분석을 수행하여 프로세스 모델을 도출하고, 가장 주요한 프로세스 패턴을 발견할 수 있었다. 프로세스 모델은 <그림 5>과 같이 도출되었다. Heuristic 알고리즘을 이용하여 도출된 프로세스 모델은 공급신청 작업으로 시작되어 필증, 허가, 허가준비의 세 가지 작업으로 종료되는 프로세스 모델이 도출되었다. 프로세스의 전반부에서는 공급신청 → 계약 → 설계의뢰 → 도면 순의 단일 프로세스가 나타는 반면에 이후의 프로세스 후반부에서는 다양한 작업흐름이 발생하였다.



〈그림 5〉 SCM 프로세스 모델

도출된 프로세스 모델을 바탕으로 프로세스 패턴 분석을 수행한 결과로 빈도수를 기준으로 가장 빈번하게 나타난 상위 5개의 패턴은 <표 4>와 같다. 가장 주요한 프로세스 패턴은 공급신청 → 계약 → 설계의뢰 → 도면 → 허가준비 → 허가 → 예산승인 → 공사시작 → 공사완료

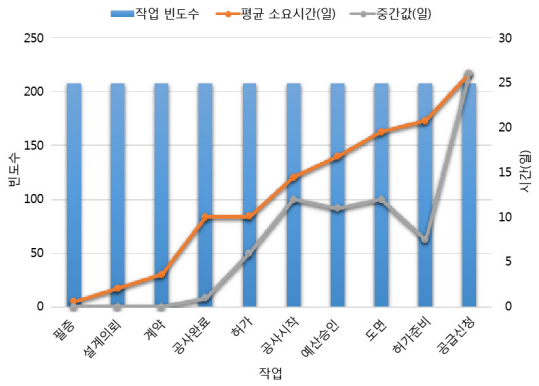
〈표 4〉 프로세스 패턴(빈도수 기준 상위 5개)

No	프로세스 패턴	빈도	비율(%)	소요시간(일)				
				평균	중간값	최소값	최대값	표준편차
1	공급신청 → 계약 → 설계의뢰 → 도면 → 허가준비 → 허가 → 예산승인 → 공사시작 → 공사완료 → 필증	68	33	104.1	95	315	28	57.5
2	공급신청 → 계약→ 설계의뢰→ 도면 → 예산승인 → 허가 → 허가준비 → 공사시작 → 공사완료 → 필증	21	10	110.75	51	336	33	95.88
3	공급신청 → 계약 → 설계의뢰 → 도면 → 허가 → 허가준비 → 예산승인 → 공사시작 → 공사완료 → 필증	18	8.65	84.83	72	171	42	38.33
4	공급신청 → 계약 → 설계의뢰 → 도면 → 예산승인 → 허가준비 → 허가 → 공사시작 → 공사완료 → 필증	16	7.69	137.88	122	274	35	89.3
5	공급신청 → 계약 → 설계의뢰 → 도면 → 예산승인 → 허가 → 공사시작 → 공사완료→ 필증 → 허가준비	14	6.73	87.33	66.5	184	34	54.58

→ 필증으로 나타났다. 68건의 케이스가 해당 패턴으로 프로세스를 수행하였으며, 이는 전체 약 33%를 차지하였다.

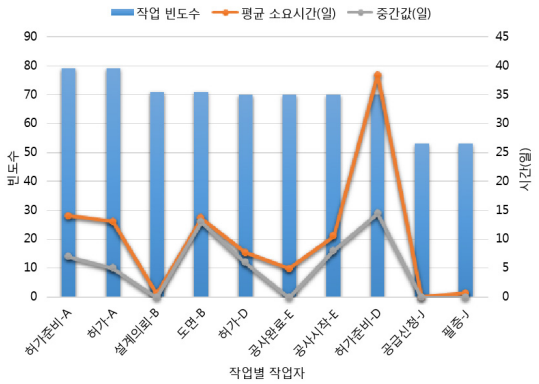
5.3 성과 관점

성과 관점에서는 작업 및 작업자에 대한 성과 분석과 부하분석을 수행하였다. <그림 6>에서와 같이 작업별 성과 분석을 통해 공급신청, 허가준비, 도면 작업의 평균 소요시간이 높게 나타나는 것을 발견하였다. 또한 허가준비, 도면, 예산승인의 소요시간 표준편차가 높게 나타나 해당 작업의 수행 측면에서 꾸준한 관리가 필요할 것으로 예상할 수 있었다.



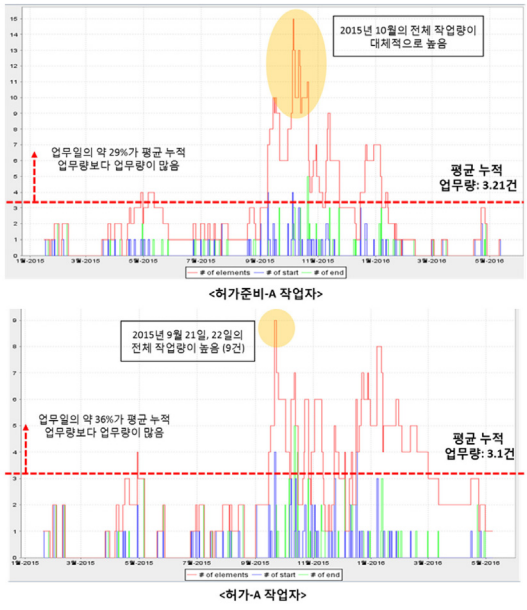
〈그림 6〉 작업별 빈도수 및 소요시간

작업자별 성과분석은 총 100명 중의 빈도수에 근거한 작업량을 기준으로 상위 10명의 성과를 분석하였다. <그림 7>에서 결과를 확인할 수 있으며, 작업량 기준 상위 약 13%의 작업자 중에서 허가준비-D가 타 작업자에 비해 평균 작업 소요시간이 매우 높게 나타났다. 또한, 허가준비-D와 허가-A의 소요시간 표준편차가 높게 나타나 타 작업자에 비해 불안정한 성과를 나타내는 것으로 예상되었다. 허가준비-D 작업자는 평균 작업 소요시간도 매우 오래 걸리는 것으로 나타나 심층관리가 필요할 것으로 보였다.



〈그림 7〉 작업자별 빈도수 및 소요시간
(작업량 기준 상위 10명)

성과 분석에서 작업량이 가장 많은 것으로 나타난 허가준비-A와 허가-A를 대상으로 부하 분석을 수행하였다. 그 결과는 <그림 8>과 같으며 허가준비-A는 업무일의 약 29%가 평균 누적 업무량(3.21건)보다 많은 일일 업무량이 나타났고, 대체적으로 2015년 10월에 업무량의 적체현상이 심화되었다. 또한, 허가-A의 경우에는 업무일의 약 36%의 일일 업무량이 평균 누적 업무량보다 높게 나타났다. 허가-A는 2015년 9월 말에

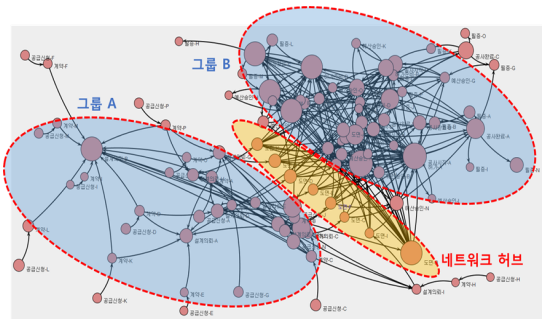


〈그림 8〉 작업자별 부하 분석 결과

업무량의 적체현상이 집중되었다.

5.4 작업자 관점

작업자 관점에서는 사회연결망 분석을 통한 작업자 간의 연결 관계를 파악할 수 있었다. <그림 9>와 같이 작업 전달 관계에 의한 사회 연결망을 도출하였다. 사회연결망을 통해 작업자들은 크게 세 그룹으로 나뉘는 것을 알 수 있었다. 그룹 A와 그룹 B 그리고 그룹 A와 B를 연결하는 네트워크 허브 그룹이다. 그룹 A에서는 주로 프로세스 전반부의 공급신청, 계약 작업을 담당하는 작업자가 주를 이루었다. 반면에 그룹 B는 허가, 예산승인, 공사시작을 담당하는 작업자가 주를 이루었으며 그룹 A에 비해 매우 복잡하게 얽혀있는 관계를 확인할 수 있었다. 네트워크 허브는 두 그룹을 연결해주는 사회 연결망의 매우 중심적인 역할을 수행하는 그룹으로 <그림 9>에서와 같이 네트워크 허브를 통해 두 그룹의 작업 전달 관계가 이루어지는 것을 알 수 있다. 이러한 네트워크 허브 그룹은 도면 작업을 담당하는 작업자들로만 이루어져 있었고, 작업자 간의 작업 전달 관계에 있어서 도면 작업 담당자가 중심적인 역할을 담당하는 것을 발견하였다.



〈그림 9〉 사회연결망 결과

Ⅵ. 시사점

A 기업에서는 공급을 담당하는 내부부서와 계약업체의 효과적인 관리를 위해 실제 각 단계별 소요 일수 및 실제 프로세스의 진행 과정 파악에 대한 니즈가 존재하였다. 본 연구에서 수행된 프로세스 마이닝을 활용한 분석 결과는 기업 관계자와의 인터뷰를 통해 이러한 이슈 해결에 유의미한 기여도가 있는 것으로 검증되었다.

첫째, 실제 데이터를 바탕으로 실제적인 프로세스 진행 과정을 파악하였다. 프로세스 마이닝 기법을 활용하여 사실적인 작업 흐름을 나타내는 프로세스 모델을 도출하였고, 프로세스 패턴 분석을 통해 주요한 실제 프로세스 진행과정(주요 프로세스로 공급신청 → 계약 → 설계의뢰 → 도면 → 허가준비 →허가 → 예산승인 → 공사시작 → 공사완료 → 필증)을 확인할 수 있었다. 개념적인 공급망 관리 프로세스를 구체화하고 실제 프로세스 진행과정의 확인을 통해 공급망 관리 프로세스의 가시성을 확보하였다. 이는 기업의 공급망 관련 의사결정

에 있어서 중요한 근거자료로 활용 가능하며, 보다 효과적인 의사 결정에 도움이 된다.

둘째, 작업별 성과 분석을 통해 프로세스 단계별 소요 일수를 파악할 수 있었다. 프로세스 단계별 표준일수를 조건에 따라 산정하였던 기존의 방법론을 실제적인 소요일수의 산출을 통해 개선하였다. 데이터를 바탕으로 각 단계별로 실제적인 소요일수를 파악하였고, 이를 통해 보다 정확한 단계별 표준일수를 산정하였다. 전체 작업 중에서도 특히 허가준비(20.75일), 도면(19.53일)의 평균 소요 일수가 가장 오래 걸리는 것으로 나타났다. 해당 기업 입장에서는 효과적인 진도 관리를 위해 공급 계약 기업의 도면의 작성 및 허가까지의 과정에 대하여 집중 관리가 필요하다고 판단하였다. 또한, 기존의 개념적인 표준일수 산정에서 벗어나 데이터 기반의 사실적인 표준일수 산정이 가능해지면서 후속 작업 일정에 대한 기간 산정도 효과적으로 이루어지게 된다. 진행 작업에 대한 보다 정확한 기간을 산정하고 이를 바

탕으로 이루어지는 일정관리는 공급 지연에 따른 재고관리, 생산지연 등으로 발생할 수 있는 막대한 비용을 감소할 수 있다.

셋째, 기존의 비즈니스 이슈 관련 사항 이외에도 작업자별 성과 분석, 부하 분석, 사회연결망 분석을 통한 인사이트를 도출하였다. 많은 작업자 중에서도 작업량이 많은 작업자를 대상으로 부하 분석을 수행하여 업무 쏠림 현상 및 적체 현상을 진단하였다. 특히, 작업자 허가준비-D의 경우 작업량도 많고, 소요시간도 오래 걸리는 작업자로 집중적인 모니터링 및 관리가 필요한 것으로 나타났다. 또한, 작업자 허가준비-D가 허가준비를 수행한 후, 작업자 허가-D가 허가 작업을 수행하는 경우 소요시간이 평균 72.5일로 매우 오래 걸리는 것으로 나타나 두 작업자는 함께 일하지 않도록 업무를 분배해야 한다.

작업 전달 관계에 의한 사회 연결망 분석을 통해 도면 작업의 담당자가 네트워크 허브 역할을 수행하는 것으로 나타나 평균 소요일수가 오래 걸리는 도면 작업의 관리의 중요성을 더욱 강조할 수 있었다.

공급망 데이터 분석을 통해 공급 계약 업체뿐만 아니라 기업 내부 공급망 담당자의 업무 현황에 대한 진단을 할 수 있었다. 업무 소요시간 및 빈도에 관한 업무 담당자의 성과를 도출하여 담당자 간의 효과적인 업무 분배를 도모할 수 있다. 또한, 업무 처리에 관한 네트워크상에서 주요한 담당자를 파악할 수 있었고, 이를 통해 기업 경영층은 효과적인 업무 지시를 수행하고 의사결정 과정에서의 불필요한 소요를 줄일 수 있을 것이다.

기업 외부의 공급망 관리 관점에서는 공급망 데이터 분석 결과를 공급 계약 업체에 대한 요구사항의 근거 및 의사결정의 토대 자료로 활용 가능하다. 기업 입장에서 이는 공급망 관리의 효과를 높이고, 공급망과 연계된 기업 내부의 후속 프로세스 효율성 증대를 통해 기업 경쟁력을 제고할 수 있다.

Ⅶ. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 프로세스 마이닝 기법을 활용하여 공급망 데이터 분석을 수행하였다. 이를 통해 공급망 관리에서 프로세스 마이닝 기법이 적용 가능한 이벤트 로그 탐색, 프로세스 관점, 성과 관점, 작업자 관점의 네 가지 분석 범주를 제안하였다. 그리고 실제 기업의 데이터를 바탕으로 사례연구를 수행하여 분석 결과에 대하여 검증하였다.

빅데이터에 대한 관심이 높아지면서 공급망 관리 분야에서 공급망 데이터 활용에 관한 연구가 최근 증가하는 추세이나, 관련 연구가 데이터 수집 방안 및 데이터 마이닝 기법을 활용한 데이터 분석에 치중되어 있다. 이러한 점을 감안할 때 본 논문에서 수행한 프로세스 마이닝 기법을 활용한 공급망 데이터 분석에 관한 연구는 새로운 시도이다. 또한, 프로세스 마이닝 분야에서도 프로세스 마이닝을 실제 기업에 적용한 사례가 미비하고, 공급망 데이터를 새롭게 활용하였다는 점에서 프로세스 마이닝의 연구 범위의 확장에 기여하였다.

특히, 본 연구에서는 공급망 데이터의 프로세스 마이닝 적용을 최초로 시도하였고, 한 개 기업만을 대상으로 사례연구를 수행하였으나, 기업 관계자와의 인터뷰를 통한 검증, 프로세스 마이닝의 분석 데이터 구성 요소와 제안된 분석 방법론을 고려하였을 때 공급망 데이터 분석에 있어서 프로세스 마이닝의 적용성과 유효성을 보장할 수 있다.

본 논문에서 수행한 사례연구를 통해 발견된 인사이트를 실제 기업 관계자와의 인터뷰로 기업 관점에서 유의미한 것임을 검증한 것은 프로세스 마이닝을 활용한 공급망 데이터 분석 방법론의 유효성을 입증한 사례이다. 더불어, 프로세스 마이닝의 적용을 위해 필요로 하는 최소한의 데이터의 구성요소(케이스, 이벤트, 수행시간)

는 누가, 언제, 무엇을 수행했는가에 대한 정보로 기타 데이터 마이닝 기법에 비하여 비교적 간단하다. 게다가 정보통신의 기술의 발달로 각종 설비에서부터 정보시스템에 이르기까지 다양하고 방대한 양의 이벤트 로그 정보가 수집 및 관리되고 있으므로 본 연구에서 제안한 공급망 데이터 분석을 위한 프로세스 마이닝의 분석 방법론은 공급망 데이터 활용에 폭넓게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구로 공급망 관리 프로세스 데이터 이외에 다양한 공급망 분야로 프로세스 마이닝의 적용을 확장하는 연구가 필요하며, 본 연구에서 수행한 분석 결과를 바탕으로 프로세스 마이닝을 활용한 데이터 분석이 일회성에 그치지 않고 지속적인 공급망 관리 프로세스 모니터링 방법으로 활용하는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 김종열, 양해술, “SCM의 선행요인과 활동이 균형성과에 미치는 영향에 관한 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제8권, 제5호, pp.1227-1242, 2007.

[2] 김진승, 이영구, “u-SCM에서의 Stream Data Manager의 적용”, 한국인터넷정보학회 학술발표대회논문집, pp.189-193, 2005.

[3] 김창봉, 배영진, “국내 제조기업의 SCM 구축 성과에 관한 실증연구”, e-비즈니스 연구, 제11권, 제1호, pp.25-44, 2010.

[4] 서준용, 김운식, 고재문, “e-SCM 환경에서 업체 관리를 위한 웹 로그 분석 및 활용 방안”, 한국경영과학회 학술대회논문집, pp.294-298, 2003.

[5] 성명기, “SCM의 효과적 구축 방법”, ie 매거진, 제15권, 제3호, pp.24-25, 2008.

[6] 양한나, 송민석., “프로세스 마이닝을 활용한 제품 수리 프로세스 분석 사례연구”, 대한산업공학회지, 제41권, 제1호, pp.86-96, 2015.

[7] 원동환, “공급사슬구조에 따른 SCM 성과 비교연구”, 무역학회지, 제33권, 제2호, pp.291-310, 2008.

[8] 이상영, 이윤석, “데이터 마이닝을 활용한 SCM 부문에서의 비즈니스 프로세스 분석”, 한국컴퓨터정보학회논문지, 제11권, 제6호, pp.59-67, 2006.

[9] 이종민, 임상환, 엄완섭, “RFID를 활용한 SCM에 관한 연구”, 대한산업공학학회 춘계공동학술대회논문집, pp.874-877, 2005.

[10] 조용준, 복경수, 박용훈, 여명호, 유재수, “SCM 응용을 위한 효율적인 RFID 데이터 관리 기법”, 한국정보과학회 학술발표논문집, 제35권, 제2호, pp.125-129, 2008.

[11] 한동철, 공급사슬관리 SCM, 시그마인사트컴, 2002.

[12] Bozkaya, M., J.M.A.M. Gabriels, and J.M.E.M. van der Werf, “Process Diagnostics: A Method Based on Process Mining”, *Proc. International Conference on Information, Process, and Knowledge Management* (eKNOW 2009), *IEEE*, pp.22-27, 2009.

[13] Choi, I., M. Song, K. Kim, and Y. Lee, “Analysis of social relations among organizational units derived from process models and redesign of organization structure”, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.33 No.1, pp.11-25, 2007.

[14] Kim, E., S. Kim, M. Song, S. Kim, D. Yoo, H. Hwang, and S. Yoo, “Discovery of Outpatient Care Process of a Tertiary University Hospital Using Process Mining”, *Healthcare Informatics Research*, Vol.19, No.1, pp.42-49, 2013.

[15] Lambert, D.M., M.C. Cooper, and J.D. Pagh, “Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities”, *The International Journal of Logistics Management*, Vol.9,

No.2, pp.1-29, 1998.

[16] Lamming, L.T., J.Z. Johnsen, and C. Harland, "An Initial Classification of Supply Networks", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.20, No.6, pp.675-691, 2000.

[17] Lee, D. and H. Bae, "Analysis framework using process mining for block movement process in shipyards", *ICIC Express Letters*, Vol.7, No.6, pp.1913-1917, 2013.

[18] Mans, R.S., M.H. Schonenberg, M. Song, W.M.P. van der Aalst, and P.J.M. Bakker, "Process mining in healthcare-a case study", *Proc. International conference on health informatics* (HEALTHINF '08), INSTICC Press, pp.118-125, 2008.

[19] Maruster, L. and N.R.T.P. Beest, "Redesigning business processes: A methodology based on simulation and process mining techniques", *Knowledge Information Systems*, Vol.21, pp.267-297, 2009.

[20] Molka, T., W. Gilani, and X.-J. Zeng, "Dotted Chart and Control-Flow Analysis for a Loan Application Process", Proc. Business Process Management Workshops (BPM 2012), *Vol. 132 of Lecture Notes in Business Information Processing*, Springer Berlin Heidelberg, pp.223-224, 2012.

[21] Rozinat, A., R.S. Mans, M. Song, and W.M.P. van der Aalst, "Discovering simulation models", *Information Systems*, Vol.34, No.3, pp.305-327, 2009.

[22] Son, S., B.N. Yahya, M. Song, S. Choi, J. Hyeon, B. Lee, Y. Jang, and N. Sung, "Process Mining for Manufacturing Process Analysis: A Case Study", *Asia Pacific Business Process Management Conference* (APBPM2014), Brisbane, Australia, July 3-4, 2014.

[23] Song, M. and W.M.P. van der Aalst, "Supporting process mining by showing events at a glance", *In Proceedings of 17th Annual Workshop on Information Technologies and Systems*, pp.139-145, Montreal, Canada, December 8-9, 2007.

[24] Van der Aalst, W.M.P. and A.J.M.M. Weijters, "Process Mining: A Research Agenda", *Computers in Industry*, Vol.53, No.3, pp.231-244, 2004.

[25] Van der Aalst, W.M.P., H.A. Reijers, A.J.M.M. Weijters, B.F. van Dongen, A.K.A. de Medeiros, and M. Song, "Business process mining: an industrial application", *Information Systems*, Vol.32, No.5, pp.713-732, 2007.

[26] Van der Aalst, W.M.P., H.A. Reijers, M. Song, "Discovering social networks from event logs", *Computer Supported Cooperative Work* (CSCW), Vol.14, No.6, pp.549-593, 2005.

[27] Van der Aalst, W.M.P., M.H. Schonenberg, and M. Song, "Time based prediction based on process mining", *Information Systems*, Vol.36, No.2 pp.450-475, 2011.

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

[29] Van der Aalst, W.M.P., V. Rubin, B.F. van Dongen, E. Kindler, and C.W. Gunther, "Process mining: a two-step approach to balance between underfitting and overfitting", *Software and Systems Modeling*, Vol.9, No.1, pp.87-111, 2010.

[30] Wisner, J. "A Structural Equation Model of Supply Chain Management Strategies and Firm Performance", *Journal of Business Logistics*, Vol.21, No.1, pp.1-26, 2003.

[31] Yahya, B.N., J.H. Park, H.R. Bae, and J.K. Mo, "Similarity Measurement Using Ontology in Vessel Clearance Process", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.37, No.2, pp.153-162, 2011.

저 자 소 개

이 용 혁(Yonghyeok Lee)

- 2012년 : 울산과학기술대학교 테크노경영학부 (학사)
- 2012년~현재 : 울산과학기술원 경영공학과 (공학석사)
- 관심분야 : 프로세스 마이닝, Data Analytics, Big Data

이 호 정(Hojeong Yi)

- 2015년 : 울산과학기술원 경영학부 (학사)
- 2016년~현재 : 포항공과대학교 산업경영공학과 (공학석사)
- 관심분야 : 프로세스 마이닝, Data Analytics, 데이터 마이닝

송 민 석(Minseok Song)

- 2006년 : 포항공과대학교 산업경영공학과 (공학박사)
- 2006년~2009년 : 아인트호벤 공과대학교 (박사후과정)
- 2010년～2015년 : 울산과학기술원 경영학부 조/부교수
- 2016년～현재 : 포항공과대학교 산업경영공학과 부교수
- 관심분야 : 프로세스 마이닝, BPM (Business Process Management), 비즈니스 분석 (Business Analytics)

이 상 진(Sang-Jin Lee)

- 1996년 : 동의대학교 전산통계학과 (학사)
- 2010년~현재 : 경동도시가스 마케팅기획팀 팀장
- 관심분야 : 프로세스 마이닝, Data Analytics, Big Data

박 세 라(Sera Park)

- 2011년 : 부산대학교 통계학과 (학사)
- 2011년~현재 : 경동도시가스 마케팅기획팀
- 관심분야 : 프로세스 마이닝, Data Analytics, Big Data