

# 프로세스 마이닝 기법을 활용한 고장 수리 프로세스 분석

## Analysis of a Repair Processes Using a Process Mining Tool

최상현\*, 한관희\*\*, 임건훈\*\*  
충북대학교 경영정보학과\*, 경상대학교 산업시스템공학부·공학연구원\*\*

Sang Hyun Choi(chois@cbnu.ac.kr)\*, Kwan Hee Han(hankh@gnu.ac.kr)\*\*,  
Gun Hoon Lim(limkunhun@gmail.com)\*\*

### 요약

최근 기업의 비즈니스 프로세스를 혁신하고 효율화하기 위한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데, 의미 있는 비즈니스 프로세스 모델을 생성하고 분석하는 프로세스 마이닝 연구 분야가 주목받고 있다. ERP (Enterprise Resource Planning) 시스템이나 BPM (Business Process Management) 시스템에서 발생하는 업무 처리 내역이나 이벤트 로그를 분석하여 의미 있는 정보나 규칙을 발견해 낼 수 있는 프로세스 마이닝 기법은 다양한 분야에서 적용되고 있다. 본 연구에서는 프로세스 마이닝 도구인 ProM 시스템을 실제 고장 수리 사례에 적용하여 고장 수리 프로세스를 분석하고 제품의 주요 고장 패턴을 발견하는 방법을 제시한다. 고장 수리 프로세스 분석 결과 단순 통계 분석 결과에서 발견할 수 없었던 연결된 흐름의 빈도 분석이 가능하였으며, 연결된 흐름들 중에서 문제가 되는 프로세스에 대한 업무 향상 방안을 제시할 수 있었다.

■ 중심어 : | 프로세스 마이닝 | 고장 수리 | 비즈니스 프로세스 | 패턴 분석 |

### Abstract

Recently, studies about process mining for creating and analyzing business process models from log data have received much attention from BPM (Business Process Management) researchers. Process mining is a kind of method that extracts meaningful information and hidden rules from the event log of enterprise information systems such as ERP and BPM.

In this paper, repair processes of electronic devices are analyzed using ProM which is a process mining tool. And based on the analysis of repair processes, the method for finding major failure patterns is proposed by multi-dimensional data analysis beyond simple statistics. By using the proposed method, the reliability of electronic device can be increased by providing the identified failure patterns to design team.

■ keyword : | Process Mining | Repair Process | Business Process | Pattern Analysis |

## 1. 서론

극심한 경쟁에서 생존하기 위해 많은 기업들은 다양

한 정보 기술을 활용하여 경영의 효율성 및 생산성 향상을 도모하고 있다. 이를 위해 비즈니스 프로세스 수행 중에 발생하는 다양한 거래 처리 이력들은 프로세스

관리의 혁신과 효율화를 위해 다양하게 분석되고 있다. 이러한 노력들 중 하나인 비즈니스 프로세스 관리(BPM: Business Process Management)의 개념은 기업의 프로세스 분석 및 관리에 대한 관심을 높이게 되었다[1]. 이러한 비즈니스 프로세스 관리를 위한 기반 정보 시스템으로는 기업 내부의 프로세스 흐름을 자동화하기 위한 워크플로 관리 시스템(WfMS: Workflow Management System)을 들 수 있다.

그런데, 기존의 워크플로 관리 시스템은 미리 정의된 프로세스를 실행하는데 초점을 두고 있어서 기존 프로세스에 대한 문제점을 발견하거나 분석하는 용도로는 적합하나[2], 아직 정의되지 않은 새로운 프로세스를 발견하거나 재설계하는 데에는 한계를 가지고 있다. 이를 개선하기 위한 방법으로 대두된 것이 프로세스 마이닝(Process Mining)이다.

프로세스 마이닝이란 비즈니스 프로세스 실행 과정에서 누적된 이벤트 로그를 분석함으로써 유용한 정보를 추출하는 것을 말하는데[3][4], 프로세스 마이닝은 활동 간 의존 관계 표현이 가능하도록 프로세스 모델을 유도하거나[5], 프로세스 수행상의 특징을 분석하거나[6], 프로세스 실행이 정의된 모델에 따라 실행되는지에 관한 일관성 검토(conformance checking)를 수행하는 용도[7]로 활용된다.

본 논문에서는 실제 컴퓨터 제조 회사의 비즈니스 프로세스 수행 과정에서 축적된 제품 고장 수리(After Service) 이벤트 로그를 분석함으로써 주요 작업 프로세스를 도출하고 제품의 고장 패턴 분석 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다. 분석 도구는 오픈 프레임워크인 ProM 시스템을 사용한다. 이와 같이 프로세스 마이닝 기법을 이용하여 제품 고장 수리 이력 데이터를 분석함으로써 고장수리 프로세스의 흐름을 분석하고, 제품 고장 패턴을 제품 설계에 피드백 함으로써 신뢰성 있는 제품 개발을 위한 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 관련 연구

기존의 트랜잭션 워크플로(transactional workflow)

의 경우, 실행 프로세스가 대부분 사전에 기술된 프로세스 정의를 벗어나는 경우가 상대적으로 흔하지 않았다[8]. 그러나 실제 기업의 업무 흐름들은 매우 가변적이고 유연하게 운영되기 때문에 실제 업무 수행 결과를 분석하는 것이 점점 더 중요해지고 있다[4].

최근 기업들은 각 기업에 필요한 비즈니스 프로세스를 정의하여 실행하기 위한 다양한 정보 시스템을 활용하고 있다. 기업 정보 시스템은 프로세스 실행 과정에서 발생한 주요한 사건(event)을 시스템 로그에 기록하고 있다. 이러한 비즈니스 프로세스 실행 결과가 저장된 시스템 로그를 분석하기 위하여 비즈니스 프로세스 마이닝 연구가 등장하였는데, 기존의 연구에서는 프로세스 마이닝 적용을 위한 알고리즘 소개 및 적용 가능성을 제시하는 논문들은 다양하게 제시되고 있으나 실제 프로세스 로그를 분석한 사례를 제시한 논문은 많지 않다.

최근 프로세스 마이닝 분석을 위한 도구로서 아인트호벤 공대에서 개발한 오픈 프레임워크인 ProM 시스템이 여러 분야에서 활용되고 있다[9]. ProM 시스템 내에는 다양한 알고리즘이 플러그인 형태로 제공되고 있다. 실제 사례를 기반으로 이벤트 로그를 ProM을 이용하여 분석한 결과를 소개한 예로는, 네덜란드 암스테르담 대학 병원의 산부인과 관련 질병 진단 및 치료 프로세스 분석[10]과 RF-ID를 이용한 대형 마트에서의 고객 이동 경로 분석[11] 및 GUI 설계 개선을 위한 웹사이트 방문 패턴 분석[12] 등을 들 수 있다.

본 논문에서는 컴퓨터 제조 회사의 고장 이력 데이터를 분석하여 고장 수리 프로세스의 효율성을 점검하고, 인과 관계를 갖는 작업 프로세스 간의 흐름을 분석하여 제품의 주요 고장 패턴과 고장 부품을 도출하며, 실제 로그 데이터의 추출부터 분석까지의 과정을 보임으로써 프로세스 마이닝 도구를 이용한 분석 방법에 대한 일종의 가이드라인을 제시하고자 한다.

## 3. 프로세스 마이닝 기법을 활용한 A/S 프로세스 분석

### 3.1 대상 프로세스 소개

본 연구의 분석대상은 Tablet PC를 생산하는 컴퓨터 제조 회사 (이하 S사)의 A/S (After Service) 프로세스로서 A/S 프로세스 분석에 사용된 이벤트 로그는 S사의 고장 수리 이력 데이터베이스에서 추출하였다. S사는 Tablet PC를 생산하여 판매한 후 고장이 난 제품들이 입고되면 해당 수리 전문가가 고장 현상을 파악하고, 고장 원인을 분석한 후 적합한 조치를 취하는 형식으로 A/S 작업 프로세스를 진행한다.

대상 데이터는 Tablet PC 제품군 중 Smart Compact 제품으로 한정하였고, 2006년 6월 11일부터 2011년 1월 2일까지 접수된 총 1,765개의 고장 건에 대한 이벤트 로그를 포함하고 있다. S사의 A/S 프로세스에 대한 이해를 돕기 위해 [그림 1]의 페트리 넷 (Petri Net) 모델로 설명한다. [그림 1]에서와 같이 A/S 프로세스는 생산 (A), 입고 (B), 고장 현상 파악 (C), 고장 원인 분석 (D), 조치 (E), 출고 (F)의 순서로 주된 작업 활동 (activity)이 이루어지며, 고장에 대한 조치가 완료된 이후에 제품이 재입고 되는 활동도 포함되어 분석하였다.

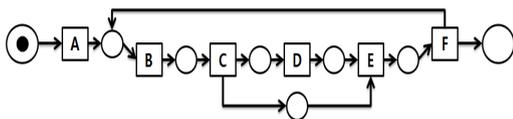


그림 1. S사의 A/S 프로세스

표 1. A/S 이력 데이터

	CaselD	Time stamp	Activity	Resource
1	P606SC0004	2006-06-11	production	P
2	P606SC0009	2006-06-11	production	P
3	P606SC0013	2006-06-11	production	P
...	...	...	...	...
1763	P908SC0024	2011-01-02	shipping	S
1764	P908SC0071	2011-01-02	(MR)refix	MR
1765	P908SC0071	2011-01-02	shipping	S
	255종		56종	5종

[표 1]에서 보느냐와 같이 이벤트 로그는 총 1,765개의 레코드로 구성 되어 있다. 데이터 필드는 Case ID, Time stamp, Activity, Resource로 이루어져 있다. Case ID는 Smart Compact 제품의 일련번호를 의미하며, Time stamp는 해당 활동이 이루어진 시점을 기록

하였으며, Activity는 생산-입고-고장 현상 파악-고장 원인 분석-조치-출고로 이뤄진 작업 활동들을 표현하고, Resource는 작업을 수행하는 작업자를 나타내는데, 본 연구에서는 실제 작업자에 대한 정보가 정확하지 않아서 각 활동을 대표 할 수 있는 대표 작업자 기호로 대체 사용하였다.

### 3.2 프로세스 분석 단계

프로세스 마이닝을 이용한 이벤트 로그 분석 방법은 [그림 2]에서와 같이 데이터 추출-데이터 정제-데이터 변환- 데이터 편집-데이터 분석 과정을 거친다.



그림 2. 프로세스 마이닝 분석 단계

분석 단계 중 데이터 정제를 위해서는 엑셀을 이용하였고, 데이터 변환 및 편집에는 Nitro[13]와 Eclipse를 적절히 병행 하였다. 원천 데이터가 엑셀 형태이므로 데이터 변환에는 ProM Import Framework 보다 Nitro가 더욱 편리하였다. 분석 도구로는 ProM을 이용 하였는데, 이를 위해서는 프로세스 마이닝에서 많이 쓰이는 MXML 포맷의 프로세스 로그로 변환하는 과정을 거쳐야 한다.

### 3.3 작업 프로세스 기초 통계 분석

프로세스 마이닝 분석 작업 전에, 우선적으로 수리 이력 데이터에 대한 기초 통계량을 분석하였다. S사에서는 고장 수리 접수가 된 제품에 대한 작업 프로세스를 진행하면서 고장 현상, 고장 원인, 조치의 각각에 대해 몇 가지 범주로 구분하여 분류하고 있다. 구체적으로 살펴보면, 고장 현상은 스크린 오류 (screen error) 등 35 가지의 현상들로 분류하고 있으며, 고장 원인은 접촉 불량 (contact error) 등 23 가지의 원인들로 분류하고 있고, 조치 사항은 부품 교체 (part change) 등 14 가지의 항목으로 분류하고 있다.

표 2. 고장 현상 기초 통계

고장현상(MS)	빈도	비율
(MS) screen error	107	34.4%
(MS) booting error	42	13.5%
(MS) touch error	29	9.3%
(MS) battery error	25	8.0%
(MS) power error	20	6.4%
(MS) Unknown_general check	16	5.1%
(MS) LAN error	14	4.5%
(MS) LCD/LED error	12	3.9%
(MS) H/Woption change	10	3.2%
(MS) button error	7	2.3%
(MS) active sync error	6	1.9%
(MS) S/W error	6	1.9%
(MS) 'sleep' function break down	4	1.3%
(MS) SIP Module error	4	1.3%
(MS) Membrane defect	2	0.6%
(MS) System down of during use	2	0.6%
(MS) Case scratch	1	0.3%
(MS) CF Card Slot cognition error	1	0.3%
(MS) Mainboard defect	1	0.3%
(MS) Pogo Pin	1	0.3%
(MS) RFID error	1	0.3%

기초 통계 분석의 결과, 주요 고장 현상의 경우 [표 2]에서 보는바와 같이 스크린 오류가 34.4%로 가장 많이 발생하였으며, 스크린 오류, 부팅 오류 및 터치 오류가 Big 3로서 전체 고장 현상의 57% 정도를 차지하고 있다.

표 3. 고장 원인 기초 통계

고장원인(CI)	빈도	비율
(CI) Contact error	62	23.3%
(CI) Part failure	37	13.9%
(CI) Operation error	36	13.5%
(CI) time-worn	34	12.8%
(CI) 'H/Woption change' checkup	32	12.0%
(CI) etc.	15	5.6%
(CI) 'S/Woption change' checkup	11	4.1%
(CI) Material defect	7	2.6%
(CI) cold soldering	6	2.3%
(CI) overvoltage	6	2.3%
(CI) flood	4	1.5%
(CI) dropout	3	1.1%
(CI) foreign substance	3	1.1%
(CI) (null)	2	0.8%
(CI) damage by a fire of Fuse	2	0.8%
(CI) Reception defect	2	0.8%
(CI) abrasion	1	0.4%
(CI) crack	1	0.4%
(CI) damagebyafireof board	1	0.4%
(CI) disconnection	1	0.4%

주요 고장 원인의 경우 [표 3]에서 보는바와 같이 접촉 불량률이 23.3%로 가장 빈도가 높았으며, 접촉 불량,

부품 고장, 작동 오류가 Big 3로서 전체 고장 원인의 51% 정도를 차지하고 있다.

표 4. 주요 조치 사항 기초 통계

조치(CI)	빈도	비율
(MR) Part change	147	47.3%
(MR) Refix	32	10.3%
(MR) Option change	24	7.7%
(MR) Education of equipment checking skill	20	6.4%
(MR) cleaning	15	4.8%
(MR) SoftWare UpGrade	14	4.5%
(MR) soldering	13	4.2%
(MR) etc.	7	2.3%
(MR) remove	5	1.6%
(MR) No Action	2	0.6%
(MR) correction	1	0.3%

주요 조치 결과의 경우에는 [표 4]에서 보는 바와 같이 부품 교체가 47.3%로 가장 높은 빈도를 보였으며, 부품 교체, 재정리, 옵션 변경이 Big 3로서 전체 조치 사항의 65% 정도를 차지하고 있다.

기초 통계 분석을 요약하면, 고장 현상으로는 스크린 에러 (screen error)가 가장 많고, 고장 원인으로는 접촉 불량 (contact error)이 가장 빈번하며, 조치 사항으로는 부품 교체 (part change)를 가장 많이 수행하였음을 알 수 있다.

### 3.4 프로세스 마이닝을 이용한 A/S 프로세스 분석

수리 이력 데이터를 이용한 기초 통계 분석 결과 스크린 오류 (고장 현상), 접촉 불량 (고장 원인), 부품 교체 (조치 사항)가 각각 작업 활동 별로 가장 높은 빈도를 보이는 것으로 나타났다.

보다 의미 있는 결과 도출을 위해, 이 절에서는 A/S 프로세스를 대상으로 프로세스 마이닝 도구를 이용하여 주요 고장 패턴을 발견하고, 프로세스 마이닝 결과와 기초 통계 분석 결과 간에 어떠한 차이를 보이는지를 설명한다.

프로세스 마이닝 분석에서는 두 가지 유형의 분석을 수행하였다. 첫 번째, 휴리스틱 마이닝과 퍼지 마이닝 도구를 이용해서 고장 수리 프로세스의 흐름별 빈도 분석을 수행하였다. 두 번째, 고장 수리 프로세스의 흐름 패턴에 대한 통계 분석을 통해 중점적으로 관리해야 하

는 프로세스를 찾아내는 프로세스 패턴 분석을 수행하였다.

[그림 3]은 휴리스틱 마이닝 도구를 이용한 수리 이력 프로세스 로그 분석을 수행하여 주요한 프로세스 흐름을 도출한 결과이다. [그림 3]에서 직사각형은 단위 작업 (Activity)을 나타내고 직사각형 내의 숫자는 해당 단위 작업의 빈도수를 나타내며 작업에 대한 선후 관계는 화살표로 나타난다. [그림 3]에서 확인할 수 있듯이 56 개의 단위 작업이 직사각형으로 표현되어 있으며 최상단부터 생산-입고-고장 현상 파악-고장 원인 분석-조치-출고의 작업 활동들을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다.

기초 통계 분석 결과와 마찬가지로, [그림 3]에서도 고장 현상 중 screen error, 고장 원인 중 contact error, 조치 사항 중 part change가 가장 높은 빈도로 발생한 것을 확인할 수 있다. 하지만, 해당 단위 활동을 연결한 작업 프로세스 흐름이 가장 높은 빈도를 가지는 것은 아닌 것으로 분석되었다.

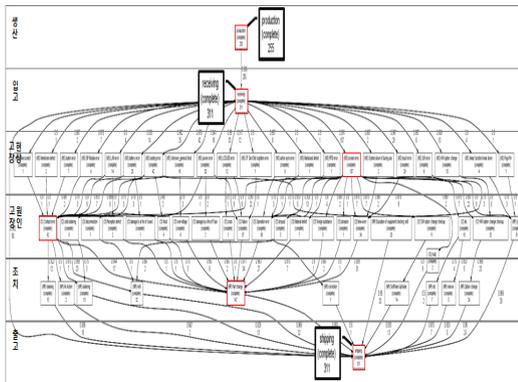


그림 3. 휴리스틱 마이닝 수행 결과

[그림 3]의 생산과 입고 활동에서 나타난 바와 같이, 총 255 개가 생산되어 311 회의 A/S 입고가 이뤄진 것으로 보아 한번 고장이 발생되어 출고 되었다가 동일 또는 다른 고장이 발생되어 재입고 되는 케이스가 56회 발생한 것을 확인할 수 있다.

휴리스틱 마이닝 기법은 알파 마이닝 기법에 비하여 수행 속도가 빠르고 전체 프로세스를 손쉽게 알아볼 수 있다는 점에서 프로세스 마이닝 분석에 많이 사용되고

있다. 또한, 휴리스틱 마이닝 기법으로 대체적인 프로세스 흐름을 파악한 후 퍼지 마이닝 기법을 이용하여 주요 프로세스만 도출할 수도 있다.

ProM의 퍼지 마이닝 기법은 구조화하기 어려운 프로세스에 대해 연관된 활동들을 군집화 하여 보여줌으로써 프로세스 구조를 파악하기 쉽게 도와주는데, 군집화된 클러스터를 선택할 시 세부 활동들을 볼 수 있는 기능도 제공하고 있다. 즉, 수행 빈도수가 적은 활동들이 많은 프로세스의 경우에는 주된 프로세스 경로를 파악하기 어려운데, 퍼지 마이닝 기법에서는 [그림 4]와 같이 연관된 활동들을 하나의 클러스터로 축소하고 주된 활동과 클러스터 간의 흐름만을 표현함으로써 프로세스 구조에 대한 이해를 돕는다. 여기에서, 직사각형은 주된 활동을 나타내고, 팔각형은 클러스터링 된 세부 활동들의 집합을 나타내며 화살표의 굵기로 활동들 간의 선후행 연결 빈도를 표현한다.

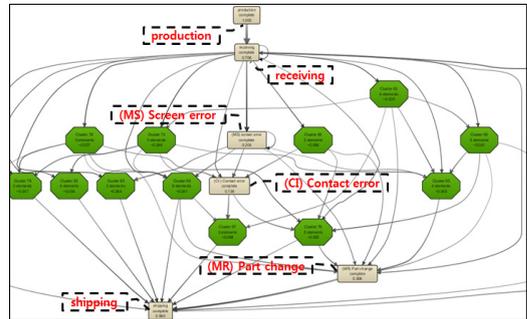


그림 4. 퍼지 마이닝 수행 결과

[그림 4]의 퍼지 마이닝 수행 결과는 기초 통계 분석 결과와 일치함을 보이고 있으며, 퍼지 마이닝을 통한 A/S 프로세스의 주된 활동들은 [표 5]와 같다.

표 5. 퍼지 마이닝을 통한 A/S 프로세스의 주요 활동

Activity	Resource	Frequency
production	P	255
receiving	R	311
(MS) Screen error	MS	107
(CI) Contact error	CI	62
(MR) Part change	MR	147
shipping	S	311

그렇지만, 위의 결과만을 가지고는 선행 작업과 후행

작업 사이의 인과 관계를 갖는 고장 패턴을 도출하기에는 무리가 있다고 판단된다.

왜냐하면, 각 작업 활동에서 최대 빈도에 해당하는 스크린 에러 (screen error) - 접촉 불량 (contact error) - 부품 교체 (part change)은 각 활동에서의 최빈도이지 그 활동들이 연결된 전체 프로세스의 최빈도가 아니기 때문이다. 즉, 스크린 에러 고장 현상의 주된 원인이 접촉 불량이 아닐 수 있고, 접촉 불량 원인의 주된 조치 사항이 부품 교체가 아닐 수도 있는 것이다.

이와 같이 각 작업 활동의 인과 관계가 연결된 A/S 고장 패턴을 분석하기 위해서는 ProM의 성과 순서 분석 (Performance Sequence Analysis)을 이용할 필요가 있다.

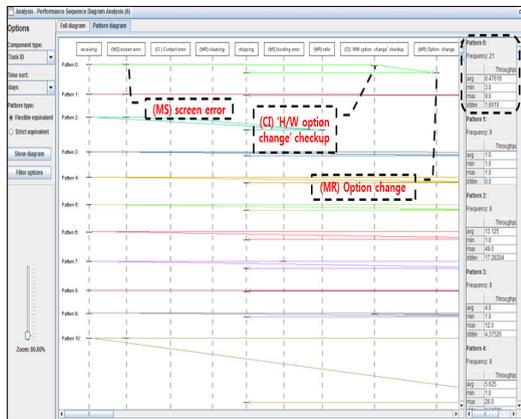


그림 5. 성과 순서 분석 결과

[그림 5]에 나타난 A/S 프로세스의 성과 순서 분석 결과를 보면, 고장 현상 파악-고장 원인 분석-조치 사항 활동에 대응하는 다양한 패턴을 보여주며, 각각의 패턴에 대한 빈도와 수행 시간을 나타내고 있다. 단, 본 논문에서는 고장 패턴 분석이 목적이므로 생산 (Production) 관련 데이터는 제외하고 분석을 수행 하였다.

분석 결과, 총 134 개의 프로세스 패턴이 발견 되었으며 최대 빈도수를 기록한 Pattern 0은 스크린 에러 (screen error) - 하드웨어 옵션 변경 점검('H/W option change' checkup) - 옵션 변경(Option change)로 나타났다. 이 프로세스 패턴의 수행 빈도수는 21이며 평균 수행 시간은 8.5일로 나타났다. 즉, 이 분석 결과로 기초

통계 분석을 통해 나타난 단위 활동별 최대 빈도를 가지는 스크린 에러-접촉 불량-부품 교체로 연결되는 프로세스가 최대 빈도를 갖는 프로세스 패턴이 아닌 것으로 판명되었다.

표 6. 패턴 분석 결과표

NO.	프로세스(MS-CI-MS)	빈도
0	(MS) screen error - (CI) 'H/W option change' checkup - (MR) option change	21
1	(MS) screen error - (MR) (null)	9
2	(MS) screen error - (CI) operation error - (MR) part change	8
3	(MS) power error - (CI) failure - (MR) part change	8
4	(MS) LCD/LED error - (CI) failure - (MR) part change	8
5	(MS) screen error - (CI) contact error - (MR) refix	8
6	(MS) touch error - (MR) (null)	7
7	(MS) screen error - (CI) contact error - (MR) part change	7
8	(MS) touch error - (CI) time-worn - (MR) part change	7
9	(MS) screen error - (CI) time-worn - (MR) part change	7

[표 6]에서는 총 134 개의 프로세스 패턴 중 상위 10 개의 패턴을 나타내고 있다. [표 6]에서 나타난 바와 같이, 기초 통계 분석에서 최대 빈도수를 기록한 스크린 에러 (screen error) - 접촉 불량(contact error) - 부품 교체 (part change)로 이루어지는 작업 프로세스는 8 번째 높은 빈도를 기록한 Pattern 7에 해당하였으며 수행 빈도수는 7이고 평균 수행 시간은 7.4일로 나타났다.

즉, 작업 활동 간의 인과 관계로서 표현되는 프로세스 패턴 분석의 경우에는 기본 통계치 분석 자료만을 가지고 결론을 내리기에는 무리가 있다고 할 수 있는 것이다.

또한 [그림 6]에서 나타나듯이, 주요 프로세스인 Pattern 0과 각 단위 활동별 최대 빈도를 보인 Pattern 7의 수행 시간을 비교하여 보면 평균치는 7~8 일로 유사하지만, 표준 편차의 경우 Pattern 0은 1.66 일이고 Pattern 7은 6.45 일인 것으로 볼 때, Pattern 7 작업 프로세스를 수행하는 작업자들의 수행 시간 편차가 Pattern 0에 비해 높은 것을 알 수 있다.

이와 같이 마이닝을 통해 도출된 작업 수행 시간의 편차가 높은 작업 프로세스의 경우에는 해당 작업 프로세스의 각 활동별 수행 방법을 표준화하고, 해당 작업

담당자에 대한 작업 처리 실무 교육을 시행함으로써 업무 생산성을 향상시킬 수 있다.

<b>Pattern 0:</b>	
Frequency: 21	
Throughput time	
avg	8.47619
min	3.0
max	9.0
stdev	1.6619
<b>Pattern 7:</b>	
Frequency: 7	
Throughput time	
avg	7.42857
min	1.0
max	16.0
stdev	6.45128

그림 6. 프로세스 패턴 간 작업 수행 시간 비교

그리고 제품의 신뢰성 향상을 위해서는 초도 고장 시점 분석이 중요한데, 본 논문에서는 ProM의 성과 순서 분석을 이용하여 생산 시점에서부터 최초 고장 발생 시점까지의 경과 시간을 분석하였다. 분석 결과, 전체 255개의 생산 제품에 대한 최초 고장 발생 시기는 최소 0일 ~ 최대 1,573일로 평균 426일 만에 고장이 발생하는 것으로 나타났다. 고장 발생 현상 별로 최초 고장 발생 시점까지의 경과 시간 상세 분석은 [표 7]과 같다.

표 7. 고장 현상 별 최초 고장 발생 경과 시간

생산(P) → 최초고장현상(MS)	빈도 (회)	최소 (일)	최대 (일)	평균 (일)
(MS) screen error	83	20	1573	331
(MS) booting error	34	91	1552	708
(MS) touch error	22	32	876	325
(MS) battery error	19	29	1140	443
(MS) power error	16	100	1106	459
(MS) LAN error	14	28	1573	587
(MS) Unknown_general check	13	68	333	166
(MS) H/Woption change	10	68	1425	506
(MS) LCD/LED error	10	36	764	338
(MS) button error	6	27	1154	418
(MS) S/W error	5	70	533	266
(MS) 'sleep' function break down	4	0	1573	602
(MS) active sync error	3	81	1163	407
(MS) SIP Module error	3	189	1061	656
(MS) System down of during use	2	434	438	436
(MS) Pogo Pin	1	712	712	712
(MS) RFID error	1	141	141	141
(MS) Case scratch	1	938	938	938
(MS) Membrane defect	1	78	78	78
(MS) Mainboard defect	1	346	346	346

[표 7]에서도 알 수 있듯이, 스크린 에러 (screen error) 고장 현상의 최초 발생일 평균이 331일로서 평균 (426일) 이하인 것을 알 수 있다. 반면 부팅 에러 (booting error) 고장 현상의 경우 최초 고장 발생 시기가 평균 708일로서 고장이 적게 일어남을 알 수 있다. 이러한 분석 결과를 살펴보았을 때 스크린 관련 부품들에 대한 신뢰성 향상 방안이 필요하며, 이는 향후 제품 설계 시 반영되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 실제 기업 비즈니스 프로세스 수행 과정에서 축적된 제품 고장 수리 이벤트 로그를 사용하여 프로세스 마이닝 분석을 수행하였다. 프로세스 마이닝 분석은 기초 통계량, 프로세스 흐름, 성과 순서 등의 분석을 통하여 단위 활동의 빈도수, 프로세스 흐름의 빈도수, 프로세스 흐름별 수행 시간의 평균값 및 표준편차 값을 산출함으로써 자주 발생하는 고장 현상 및 원인의 인과 관계를 찾아내어 고장 원인 및 대처 방안을 도출할 수 있게 한다.

본 연구의 분석 결과, S사의 smart compact 제품은 크게, 1) 사용자 측면의 사용 미숙과, 2) 제조사 측면의 부품 에러가 원인이 되어 스크린 에러가 발생하는데, 향후 smart compact 제품에 대한 고장 발생을 줄이기 위해서는 사용자의 조작 실수를 줄일 수 있도록 제품 조작 매뉴얼을 자세히 제작하고, 관련 부품의 조립을 재구성하여 제품의 부분 업그레이드를 실시하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

본 논문에서는 한 가지 제품에 대한 고장 패턴과 원인을 분석 하였지만, 보다 종합적인 분석을 위해서는 비슷한 군의 제품들을 포함하여 동일 부품을 사용하는 관련 제품들에 대한 통합 분석이 향후 연구로서 필요하다.

#### 참고 문헌

[1] H. Smith and P. Fingar, Business Process

Management: The Third Wave, Meghan-Kiffer Press, 2003.

[2] 김영철, 김윤정, “워크플로우 지향 도메인 분석”, 한국콘텐츠학회논문지, Vol.6, No.1, pp.55-64, 2006.

[3] W. M. P. van der Aalst, H. A. Reijers, A. J. M. M. Weijters, B. F. van Dongen, A. K. Alves de Medeiros, M. Song, and H. M. W. Verbeek, “Business Process Mining : An Industrial Application,” Information Systems, Vol.32, No.5, pp.713-732, 2007.

[4] W. M. P. van der Aalst, Process Mining, Springer, 2011.

[5] W. M. P. van der Aalst, A. J. M. M. Weijters, and L. Maruster, “Workow Mining : Discovering Process Models from Event Logs,” IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol.16, No.9, pp.1128-1142, 2004.

[6] W. M. P. van der Aalst, H. A. Reijers, and M. Song, “Discovering Social Networks from Event Logs,” Computer Supported Cooperative work, Vol.14, No.6, pp.549-593, 2005.

[7] A. Rozinat and W. M. P. van der Aalst, “Conformance checking of processes based on monitoring real behavior,” Information Systems, Vol.3, No.1, pp.64-95, 2008.

[8] 김상국, 신성호, “BPM을 기반으로 한 ISO 9001 품질경영시스템 구축”, 한국콘텐츠학회논문지, Vol.6, No4, pp.38-45, 2006.

[9] <http://www.processmining.org>

[10] 송민석, C. W. Gunther, W. M. P. Van Der Aalst, 정재운, “자취 군집화를 통한 프로세스 마이닝의 성능 개선”, 대한산업공학회, Vol.34, No.4, pp.460-469, 2008.

[11] 오규협, 정재운, “RFID 이벤트 분석을 위한 프로세스 마이닝 프레임워크”, 대한산업공학회 춘계 학술대회 논문집, 2010.

[12] 한관희, 황보람, 전정환, 프로세스 마이닝을 통한

웹페이지 방문 패턴 분석, 한국경영과학회 추계 학술대회 논문집, pp.191-196, 2012.

[13] <http://ntrotasks.com>

저 자 소 개

최 상 현(Sang Hyun Choi)

정회원



- 1998년 2월 : KAIST 경영정보공학(공학박사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 경영정보학과 교수

<관심분야> : 데이터 마이닝, 의사결정지원 시스템, 전략정보 시스템

한 관 희(Kwan Hee Han)

정회원



- 1996년 8월 : KAIST 자동화및설계공학(공학박사)
- 1984년 4월 ~ 2000년 2월 : 대우전자(주) 및 대우정보시스템(주) 근무
- 2000년 3월 ~ 현재 : 경상대학교 산업시스템공학부 교수

<관심분야> : BPM/Workflow, Process Mining, Enterprise Modeling, Virtual Manufacturing

임 건 훈(Gun Hoon Lim)

정회원



- 2012년 2월 : 경상대학교 산업시스템공학과(공학석사)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 삼성전자 CS 환경 센터 근무

<관심분야> : 프로세스 마이닝, 의사결정지원 시스템