ISSN 2383-6318(Print) / ISSN 2383-6326(Online)
KIISE Transactions on Computing Practices, Vol. 23, No. 1, pp. 1-12, 2017. 1
https://doi.org/10.5626/KTCP.2017.23.1.1

대규모 산업시설을 위한 전문가 지식 기반 예방정비시스템

(Preventive Maintenance System based on Expert Knowledge in Large Scale Industry)

김 도 형 † 강 병 호 †† 이 승 룡 †††
(Dohyeong Kim) (Byeong Ho Kang) (Sungyoung Lee)

요 약 예방정비는 대규모 산업시설에서 설비의 성능을 최적으로 유지하는 활동을 의미하며, 궁극적으로 고장을 미연에 방지하여 생산 효율을 극대화하는 것을 목적으로 한다. 일반적으로 인력에 의한 주기적인 정비가 이루어지지만, 지속적으로 발생하는 고장을 방지할 수 없는 문제가 있다. 또한, 문제를 조기에 해결하기 위한 고장에 대한 조치는 설비 전문가에 의존하기 때문에, 전문가의 부재 상황이나 미숙련된 전문가에 의한 진단 오류로 인한 대응의 한계가 있다. 인력에 의존한 설비 진단과 문제의 조기 발견을 돕기 위해 알람 시스템이 활용되고 있지만, 단순 정보 수집을 위해 설계되고, 방대하게 알람을 발생시키므로 실제적인 효용성이 없다. 본 논문에서는 시스템에 의한 고장징후 포착과 문제의 원인 및 향후 발생할 문제를 파악하기 위해서, 전문가의 경험지식을 시스템 지식으로 구축을 통한 자동화된 예방정비시스템을 설계 및 개발하였으며, 전문가 지식을 재이용하기 위한 시스템의 구조와 활용 방안에 대해서 논한다.

키워드: 전문가 지식, 예방정비, 고장예측, 알람 처리, 지식 재이용

Abstract Preventive maintenance is required for best performance of facilities in large scale industry. Ultimately, the efficiency of production is maximized by preventing the failure of facilities in advance. Typically, regular maintenance is conducted manually; however, it is hard to prevent repeated failures. Also, since measures to prevent failure depend on proactive problem-solving by the facility expert, they have limitations when the expert is absent or diagnosis error is made by an unskilled expert. Alarm system is used to aid manual facility diagnosis and early detection. However, it is not efficient in practice, since it is designed to simply collect information and is activated even with small problems. In this study, we designed and developed an automated preventive maintenance system based on expert's experience in detecting failure, determining the cause, and predicting future system failure. We also discussed the system structure designed to reuse the expert's knowledge and its applications.

Keywords: expert's knowledge, preventive maintenance, failure prediction, alarm management, knowledge reuse

· This work (Grants No.C0395816) was supported by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2016, by the MSIP(Ministry of Science, ICT and Future Planning), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program (IITP-2015-(H8501-15-1015) supervised by the IITP(Institute for Information & communications Technology Promotion, by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(2011-0030079)

† 학생회원 : 경희대학교 컴퓨터공학과
dhkim@oslab.khu.ac.kr
†† 비 회 원 : Univ. of Tasmania School of Engineering and ICT Associate Professor
byeong.kang@utas.edu.au
††† 종신회원 : 경희대학교 컴퓨터공학과 교수
(Kyung Hee Univ.)
sylee@oslab.khu.ac.kr
(Corresponding author임)

논문접수 : 2016년 1월 4일
(Received 4 January 2016)
논문수정 : 2016년 10월 4일
(Revised 4 October 2016)
심사완료 : 2016년 10월 27일
(Accepted 27 October 2016)

Copyright©2017 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.
정보과학회 컴퓨팅의 실제 논문지 제23권 제1호(2017. 1)

1. 서 론

대규모 산업 시설에서 기계시스템에 결함이나 손상이 발생하였을 경우, 설비의 가동이 중단되어 조업 불가능에 따른 막대한 경제적 손실 또는, 산업재해로 이어져 인명과 사회적 피해를 유발할 수 있다.

따라서 기업은 정상적인 조업을 유지하여 경제적 이익의 극대화를 위해 고장으로 인한 피해를 근절하고자 안전관리 프로세스를 운영하고 있으며 예방정비와 고장예측에 많은 노력을 기울이고 있다.

예방정비는 고장을 미연에 방지하기 위한 가장 중요한 프로세스로 항상 설비의 상태를 최상으로 유지하는데 목적이 있다. 예방정비 프로세스의 한계는 주기적인 정비를 실행함에도 지속적으로 발생하는 고장을 예방할 수 없으며, 그 이유는 주기적인 정비가 효과가 있는 설비는 한정적이기 때문이다. 그리고 설비 이상 유무에 관계없이 수행되는 불필요한 과잉정비는 업무의 비효율과 경제적 손실을 유발한다는 문제가 있다.

고장조치는 고장이 발생했을 때, 적절한 대응으로 설비 가동율을 빠르게 회복시켜 피해를 최소화 하는 데 있다. 그러나 고장조치는 전적으로 인력에 의존하고 있으며, 설비전문가의 경험에 의해 고장진단과 조치가 이루어진다. 문제는 숙련된 설비전문가의 수는 한정적이며 설비전문가 부재 시 고장진단에 대한 실패 가능성이 커진다는 것이다. 또한, 전문가라 하더라도 경험에 의한 비체계적인 고장진단이 수행되므로 휴먼에러 가능성이 항상 존재하며, 경험하지 못한 상황에 대한 진단오류 발생 가능성이 항상 잠재되어 있다.

알람시스템은 설비에 설치된 센서로부터 설비의 상태를 실시간으로 수집하여 컨트롤 룸의 운영자에게 제공함으로써, 인력에 의한 설비 관리의 한계를 보완하는데 이용 된다. 하지만 지속적인 설비 운용에 따른 설비 교체, 노후화, 센서 추가 등으로 인한 초기 알람시스템 설계의 변화는 알람 발생 패턴의 변화와 수많은 알람을 발생시킨다. 이러한 현상을 알람 프루딩(flooding)이라고 하며, 설비 모니터링 담당자가 처리할 수 있는 허용치를 초과하는 정보를 제공하여, 업무 피로를 제공하기 때문에 실제 업무에서 알람을 활용하기 보다는 담당자의 경험에 의존하여 문제를 파악하고 처리한다.

이러한 문제를 해결하고자 알람 처리를 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. 연구의 대부분은 플루딩을 문제를 해결하는 데에 관심을 가지고 있다. 수학적 통계 모델을 이용하여 알람의 유형을 구분하고 알람 패턴을 분석하여 특이 알람을 추출하여 모니터링 담당자가 처리할 수 있는 수준으로 알람의 수를 줄이는데 목적이 있다. 이러한 연구의 한계는 처리 가능한 수준으로 알람이 제공된다고 해도, 알람의 분석, 원인 진단, 고장예측 등 전문가의 판단이 필요하며, 이러한 과정은 수많은 시간과 노력이 요구된다. 고장지식은 전문가의 경험으로 일반화시키기 어려우며, 방대하게 누적된 자료로부터 지식을 찾아야하기 때문이다. 이러한 문제로 인해서 설비 이상 상태를 인지하여도 결국, 발생한 문제에 대한 조치가 늦어지기 때문에, 고장을 피할 수 없다.

본 논문에서는 제철소와 같은 대규모 산업시설에서 설비의 이상 발견하고 설비의 진단 및 고장을 예측을 위한 지식을 자동으로 제공하는 예방정비시스템을 제안하였다. 설비의 이상을 발견하기 위해서 알람을 이용하여 설비의 상태를 인지하는 전문가 시스템을 개발한다. 알람에 대한 전문가의 지식을 시스템 지식화하여, 시스템이 자동으로 발생되는 알람으로 설비의 상태를 인지한다. 또한, 축적된 고장경험을 재이용이 가능하도록 고장보고서를 분석하여 시스템 지식화하는 시스템을 개발하였다. 고장보고서는 고장이 발생한 경우 고장의 원인 분석 및 고장에 대한 조치과정을 기술한 것으로 고장에 대한 인과관계를 갖는 지식과 조치과정이 단계별로 기술된 전문가의 노하우를 포함하고 있다. 이러한 이유로, 실제 고장이 발생한 경우 문제 해결을 위한 중요한 자료로 이용된다. 하지만, 문서화 되어 있으며, 재이용하기 위한 체계적인 관리가 되지 않아, 원하는 정보를 획득하기에 어려움이 있다. 이러한 고장의 인과관계를 갖는 고장보고서의 내용을 이용하면, 고장이 발생하게 된 경위를 진단하고 특정 현상 이후에 발생 가능한 문제를 예측할 수 있다. 자연어로 작성된 고장보고서를 분석 및 처리하여, 구조화된 지식으로 변화하고, 체계적인 저장과 관리를 위해 제안된 지식구조인 프로세스맵에 지식을 구축한다. 알람에 대한 지식과 고장보고서를 이용한 지식은 서로 형태의 일관성을 가지도록 설계되어, 두 지식간의 연동이 가능하다. 알람이 발생하면 전문가시스템에 의해 알람의 상태를 감지하고, 그 결과를 프로세스맵과 매핑하여, 현재 설비의 상태로 예측 가능한 문제를 알아내거나, 설비 상태가 유발된 과정을 진단할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 알람 처리 및 지식관리에 대한 사례와 연구들을 살펴보고, 3장에서는 제안하는 시스템이 전문가 지식을 구축하는 방법에 대해서 소개하고 4장에서는 구현된 시스템을 설명하고 5장에서 실험을 통해 평가한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해서 논한다.

2. 관련 연구

알람은 다양한 분야에서 기기의 진단 및 고장예측을 위해서 이용 가능하다는 점에서 많은 연구가 수행되고 있다. 알람 데이터 분석을 기반으로 하는 outlier detection

방법은 발생되는 알람으로부터 이상치를 보이는 비정상 패턴을 찾아내는데 목적이 있다[1,2]. 하지만, 발견된 비정상적인 알람이 실제적으로 고장과 관계된 유용한 정보인지 판단하기 위해서는 전문가의 개입이 요구되며, 방대한 양의 데이터 분석에 기반 하기 때문에 실시간으로 적용이 불가능하다는 문제가 있다. 기계학습을 기반으로 하는 연구로서 LS-SVM 기법을 이용하여 모델을 생성하여 철강 생산 기계의 온도와 발생 가능한 알람을 예측하는 방법이 있다[3]. 지식기반으로 하는 ALAP 시스템은 규칙 기반의 전문가 시스템이며, 알람으로 발생한 고장에 대한 진단을 목적으로 한다[4]. 또한, 퍼지 로직을 이용하여 알람 플루딩 현상에서 의미 있는 알람에 대한 우선순위를 부여하여 알람을 효율적으로 처리하기 위한 연구가 수행 되었다[5]. 알람시스템 설계에 중점을 둔 연구도 수행되고 있다. [6]의 연구에서는 [7]의 연구에서 제안된 알람 필터링 기법 중에서 최적화된 알람 필터를 평가하였다. [7]의 연구에서는 알람의 연속되는 발생패턴의 유사성을 평가하여 알람을 클러스터링 하는 연구를 수행했다. 또한, 최적의 알람시스템 설계를 위한 프레임워크와 데이터 필터링, 알람 딜레이, 알람 데드라인 설정 등 다양한 알람 관리 기술이 제안 되었다[8]. 여러 방법론을 융합한 연구로는 동적 알람 관리 기법과 베이지안 측정방식을 함께 이용하여 알람 프루딩 관리하는 연구[9]가 있다. 이러한 연구들은 알람의 특성 분석 및 관리에 중점을 두고 있으며, 실제적으로 운영자가 관심을 갖는지 여부와 실제 고장과 관계성은 고려되지 않았다는 한계가 있다.

자연어로 작성된 문서로부터 지식을 추출하는 연구는 자연어처리 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 기계학습, 규칙기반, 사전, 코퍼스 등을 활용한 특정 도메인을 위한 다양한 전문용어, 개체, 개념 등 정보를 추출하는 연구는 현재까지 꾸준히 진행되고 있으며 특히 의료분야와 웹 신문기사로부터 각 개체와 개체간의 관계, 발생되는 이벤트 등을 추출하는데 관심을 갖고 있다[10-13]. 하지만 이러한 연구는 자연어로 작성된 비구조적 지식으로부터 단지. 정보를 추출하는데 중점을 두고 있다. 반면 제안하는 고장분석시스템은 추출된 정보를 구조적인 지식으로 재구성하여 체계적으로 지속적인 관리가 가능하다.

이전의 알람을 처리하기 위한 연구는 주로 방대하게 발생하는 알람에서 의미 있는 알람을 추천하거나, 알람의 수를 줄여 모니터링 후 대처에 용이 하도록 하는 것이다. 이러한 연구의 한계는 알람처리 이후의 단계에서 전문가가 직접 알람의 의미를 분석해야 하므로, 여전히 사람에 대한 의존도가 높다는 것이다. 제안하는 시스템은 알람과 설비의 관계를 전문가 지식을 이용하여 전문가시스템을 구축함으로써, 발생되는 알람에 대한 설비의 상태를 자동으로 인지할 수 있도록 한다. 또한, 과거 고장사례인 고장보고서를 인과관계를 갖는 구조화된 지식으로 변환하여 시스템 지식화 하였으며, 알람에 대한 지식과 연동이 가능한 지식구조를 갖는다. 따라, 알람으로 추론된 설비의 상태를 과거 고장사례에서 찾고, 인과관계 지식을 이용하여, 이전 발생한 설비의 문제를 추적하여 고장진단을 할 수 있으며, 현재 상태 이후에 발생했던 문제를 발견함으로써 현재 알람 이후에 발생될 수 있는 설비의 고장을 예측할 수 있다. 즉, 알람을 통해 설비를 진단하고 과거 고장사례와 연동을 통한 고장진단과 고장예측을 수행하는 일련의 과정이 시스템에 의해 자동으로 이루어진다.

3. 제안하는 예방정비시스템

이 장에서는 제안하는 시스템의 아키텍쳐와 주요 구성요소들을 설명한다. 제안하는 시스템은 크게 알람처리를 위한 룰 기반 전문가시스템과 고장분석시스템으로 구성되며, 상호 연동하여 동작한다. 시스템에 의한 자동화된 예방정비를 위해서는 설비의 이상 징후를 발견하기 위한 지식과 이상 징후에 대한 진단 또는 예측지식이 필요하다. 이 두 지식은 지식의 발생원은 다르지만 고장진단 및 예측을 위해서 동일한 지식 단위를 갖는다. 전문가시스템은 고장 징후 발견을 위한 지식을 생성 및 관리하며, 고장분석시스템은 고장보고서로부터 지식을 추출하여, 고장 진단과 예측을 위해 인과관계를 갖는 지식으로 변형하여 프로세스 맵(Process map)이라고 명명된 지식 저장소에 저장하고 관리한다.

그림 1은 전문가시스템을 통한 예방정비과정을 나타낸다. 고장예측은 고장의 징후를 나타내는 알람과 설비 고장에 대한 인과관계를 갖는 고장지식을 함께 이용하는 고장예측시스템을 통해 이루어진다. 알람은 실시간으로 발생되며, 알람시스템은 전문가시스템으로 한 시간마다 수집되어 처리된 알람을 전송한다. 알람은 발생의 원인이 된 설비와 알람 내용 및 한 시간 동안 발생에 대한 정량적 수치를 포함한다. 또한, 알람저장소에 일정기간 동안 저장되어, 추후에 알람 추세 분석 또는 현장 전문가가 알람 지식을 구축하는데 이용된다. 전문가시스템은 실시간 알람으로부터 설비의 문제 포착을 위한 지식을 획득하는 추론엔진과 수집된 알람을 이용해서 전문가가 직접 전문가 지식을 지식베이스에 생성 및 관리할 수 있는 지식획득엔진으로 이루어진다. 고장예측은 알람이 발생했을 때, 전문가시스템의 추론엔진과 고장지식을 이용하여 수행된다. 전문가시스템의 추론엔진은 알람이 발생했을 때, 어느 설비에 어느 문제가 있는지를 추론 결과로 도출하며, 추론결과를 이용해서 고장지식에

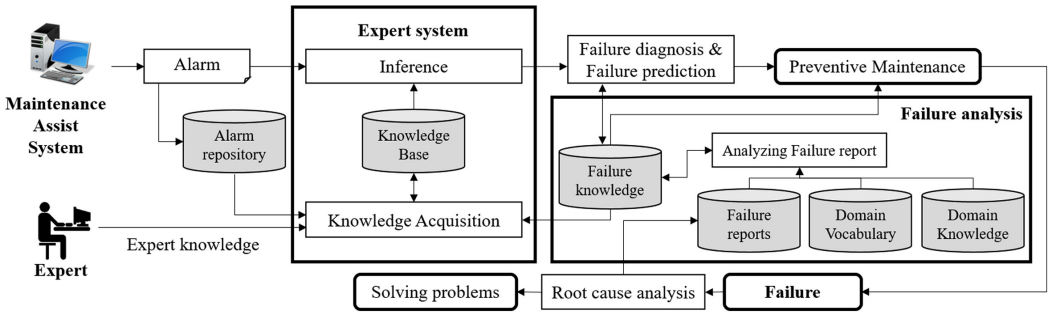

그림 1 예방정비시스템 구조도

Fig. 1 System architecture of preventive maintenance system

서 관련 지식을 검색하고 문제에 대한 원인이나 추후에 발생될 문제를 획득하여 현장전문가에게 제공한다. 현장전문가는 시스템을 통해 현재의 문제와 문제의 원인부터 발생될 문제 및 조치방법을 확인할 수 있기 때문에, 문제파악에서부터 해결에 소요되는 시간을 획기적으로 줄일 수 있다. 예방정비에도 불구하고 고장이 발생하는 경우, 현장에서 고장원인 분석을 통해 문제를 진단하고 해결한다. 그 일련의 과정은 최종적으로 현장전문가에 의해 고장보고서가 작성된다.

고장분석시스템은 고장보고서에 기술된 전문가 경험 지식을 재이용 할 수 있도록 고장보고서를 분석한다. 고장보고서는 문제의 원인과 현재의 문제, 그리고 고장조치 내용이 기록되어 있어, 인과관계를 나타내므로, 고장진단과 예측을 위한 지식으로 이용 가능하다. 고장보고서는 도메인에 종속적인 용어와 제한되며 함축적인 표현, 그리고 사람마다 각기 다른 작성 방식으로 기술되었다. 그렇기 때문에 고장보고서와 도메인 어휘와 도메인 지식을 모두 이용한다. 구축된 프로세스 맵은 전문가시스템과 연동하여 사용되어, 고장예측 및 고장의 원인분석에 활용될 수 있다. 그림 2는 예방정비시스템의 동작 개념을 보인다. 알람 처리를 위한 전문가 시스템과 고장보고서분석을 통해 구축된 프로세스맵 간의 연동을 나타내며, 두 지식의 연동을 통해 획득한 고장사례는 고장진단과 고장예측을 위해 이용될 수 있다.

3.1 지식 모델링

고장지식은 고장보고서를 분석하여, 자연어로 표현된 지식으로부터 최소 의미 단위를 추출하고, 그것들을 인과관계로 구성하고 고장이 발생한 대상 설비와 매핑한 지식을 의미하며, 프로세스 맵에 저장 및 관리된다. 고장보고서에서 최소 의미 단위는 문장에서 가장 단순하고 기본적인 유형인 단문이며, 단문으로부터 주어에 해당하는 설비와 술어에 해당하는 설비의 동작 및 상태로 두 가지 구성요소를 추출한다. 이렇게 획득한 지식을 단위 지식으로써 '고장현상'이라고 명명하며, 구성요소는 대상

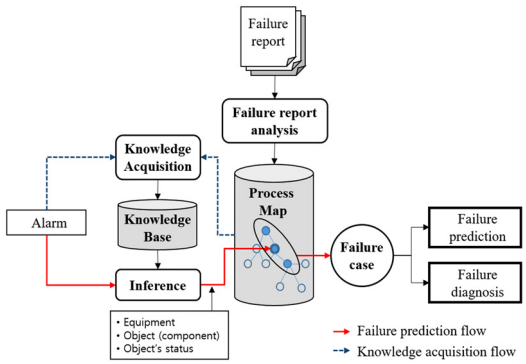

그림 2 예방정비시스템 동작 개념도

Fig. 2 Processing concept of preventive maintenance system

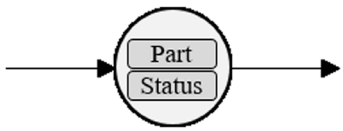

그림 3 고장현상

Fig 3 Failure phenomenon

설비를 나타내는 '대상(Part)'과 대상의 동작/상태 등을 나타내는 '상태(Status)'이며, 그림 3과 같이 노드의 형태로 나타낸다. 고장보고서를 분석하여, 자연어로 작성된 비정형 표현방식으로부터 단문만을 추출하고, 원본과 동일한 의미를 갖도록 단문간의 발생순서와 인과관계를 고려하여, 단문 연결 관계를 형성하며, 이렇게 생성된 지식을 '고장사례'고 한다. 이렇게 생성된 고장사례는 특정 설비가 어떠한 이유로 문제가 발생했으며, 어떻게 문제가 해결되었는지에 대한 일련의 과정이 고장현상간의 연결을 통해 발생 순서대로 구성된다.

그림 4는 프로세스 맵의 개념을 나타낸다. 프로세스 맵은 설비를 기준으로 구성된다. 공장은 수많은 설비가 존재하며, 설비는 유사한 기능을 갖지만 종류는 다양할

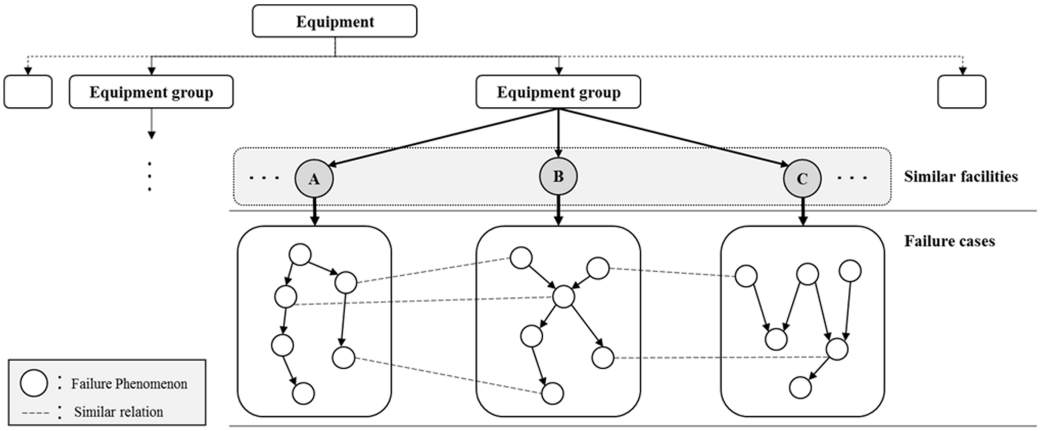

그림 4 프로세스 맵 개념
Fig. 4 Concept of process map

수 있다. 따라서 이러한 설비에 대한 지식을 개별적으로 관리하는 것은 지식생성의 복잡성과 지식관리의 비효율을 유발할 수 있다. 제안하는 프로세스 맵은 기능 중심으로 대표 설비를 지정하고, 대표 설비와 유사한 기능을 갖는 설비를 대표 설비의 하위 설비로 지정하여, 설비에 대한 고장지식을 단순화 하였다. 유사한 기능을 갖는다는 것은, 설비구조가 유사하다는 것을 의미하며, 용도와 다른 설비와 관계성 또한 유사하다고 볼 수 있다. 이러한 지식의 모델링은 대규모 산업 단지와 같이 설비가 많고 복잡한 도메인에서 적합하다고 볼 수 있다. 고장보고서는 고장이 발생한 설비에 대한 고장분석과 고장조치에 대해 기술되어 있으므로, 고장보고서가 분석된 고장사례는 해당 설비와 연결된다. 그림 3에서 보는 것과 같이 A, B, C는 대표설비 하위에 유사 기능을 갖는 설비들이다. 각 설비는 하나 이상의 고장사례를 갖고 있으며, 하나의 패스로 표현된다. 고장사례들이 서로 동일한 고장현상을 가질 경우 고장현상을 통합하고 공유하여 멀티 패스를 구성하여 고장현상들을 표현한다. 유사한 설비의 유사한 고장현상 간에는 연결 관계를 가지기 때문에 전체적으로 네트워크 구조로 되어 있으므로, 직접적인 고장사례 외에 유사한 사례를 참조할 수 있다. 유사설비와 유사 고장사례를 이용 가능한 프로세스 맵은 고장이 발생한 설비에 대한 고장사례의 내용이 부실하거나, 고장사례가 없는 경우, 유사한 설비의 고장사례를 통해 간접적으로 쉽게 지식을 참조할 수 있으므로, 높은 지식 이용성을 달성할 수 있다.

3.2 프로세스맵 구축

자연어로 작성된 고장보고서는 자연어처리 기법을 이용하여, 구조화된 형태로 변형한 후 프로세스 맵에 저장된다. 분석은 시스템에 의해서 자동으로 이루어지며, 유

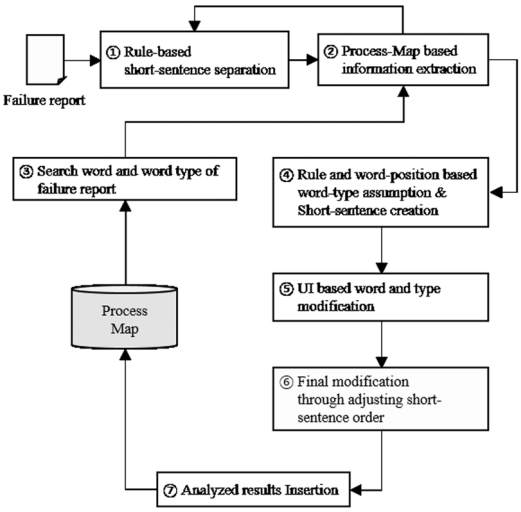

그림 5 고장보고서 분석 과정
Fig. 5 Process of failure report analysis

저인터페이스를 통해서 사용자가 직접 수정이 가능하다. 프로세스 맵에 저장된 내용은 고장보고서 분석을 위한 정보로 이용되며, 동일한 분석 내용은 서로 동일 관계로 연결되어, 정보의 접근 및 확장이 용이하다. 그림 5는 고장보고서 분석 과정을 나타낸 것이다.

① 규칙 기반 문장 단문 분리 : 고장보고서의 모든 문장을 문장의 최소 구성단위인 주어와 서술어로 구성되는 단문으로 문장을 분리한다. 이 단계에서는 정규표현식에 기반 한 단문 분리 규칙과 서술어를 기반으로 한 문장 분리 규칙을 이용하여 문장을 분리한다.

② 문장별 프로세스맵 기반 정보 추출 : ① 단계에서 분리된 단문에 대해서 단문 내 형태소 및 품사를 추출

하고, ③ 단계에서 주어와 서술어에 해당하는 단어를 프로세스맵에서 추출하여 단어의 형태를 결정한다. 프로세스맵에 완전 일치하는 단어가 없다면 부분 일치하는 문자열을 추출한다. 이때, 프로세스맵으로부터 추출된 문자열이 단문내의 어절과 완전 일치 또는 문자열과 조사가 결합된 형태로 일치할 경우 단문에서 해당 문자열을 마킹하고 문자열을 해당 어절 유형 후보 1순위로 등록한다. 그렇지 않고, 프로세스맵으로부터 추출된 문자열이 단문 내 어절과 완전 일치하지 않을 경우 해당 문자열을 마킹하고 문자열을 해당 어절 유형 후보 후순위로 등록한다.

④ 규칙 및 어휘위치 기반 미등록어 용도 추정, 단문 생성 : ② 단계에서 인식된 어휘의 유형이 현상(기능/고장/조치)에 해당할 경우 해당 어휘를 기준으로 문장을 분리한다. ② 단계에서 어휘가 인식되지 않은 경우 미등록어의 유형 추정이 수행된다. 해당 어휘가 불용어가 아니고 어휘의 위치가 문장의 마지막에 존재할 경우 상태 용어로 추정하며, 상태 용어 또한 아닌 경우 대상 용어로 추정한다. 의미가 중복된 단문이 존재할 경우에는, 단문간의 유사도를 계산하여 유사도가 미리 정의한 임계치를 단문 모두 초과할 경우 가장 높은 유사도를 선택하고, 유사도가 낮은 단문은 제거한다. 자연어 자체에서 대상 또는 현상에 해당하는 어휘가 생략된 경우 어휘 복원을 수행하며, 3가지 경우의 처리방법이 있다. 1) 단문의 대상에 해당하는 어휘가 생략되어 있고, 앞 문장으로부터 복원 가능한 대상이 있으면 앞 문장의 대상을 이용하여 단문의 대상을 복원한다. 2) 단문의 대상 어휘가 생략되어 있으나 앞 문장에서 복원 가능한 대상이 없을 경우 뒷문장의 대상을 이용하여 단문의 대상을 복원한다. 3) 단문의 상태 표현이 생략되어 있는 경우 뒷문장으로부터 상태 어휘를 복원하다.

⑤ 사용자 인터페이스를 통한 어휘, 유형 보완 : ④ 단계까지는 자동으로 고장보고서의 분석이 이루어지며, 현 단계에서는 사용자가 UI를 통해서 직접 내용을 보완 할 수 있도록 한다. 분석된 단문의 어휘 형태를 변경하고자 할 경우, 인터페이스를 이용하여, 검색할 어휘를 프로세스맵과 도메인 어휘사전에서 추출하여 변경할 수 있다.

⑥ 단문 시나리오 순서 보정을 통한 최종 보완 : ④ 단계까지 자동으로 분석되어 형성된 단문의 순서를 사용자가 UI를 통해서 변경할 수 있도록 한다. 사용자는 선택한 단문을 위/아래로 순서를 변경할 수 있으며, 선택한 단문을 제거할 수 있다. 또한, 사용자가 새로운 단문을 정의하여 원하는 위치에 삽입할 수 있다.

⑦ 분석결과 저장 : 최종적으로 보완이 완료된 분석결과를 프로세스맵에 저장하는 단계이다. 고장보고서의 순서를 현상-원인-조치 순으로 단문들 순서를 정렬한

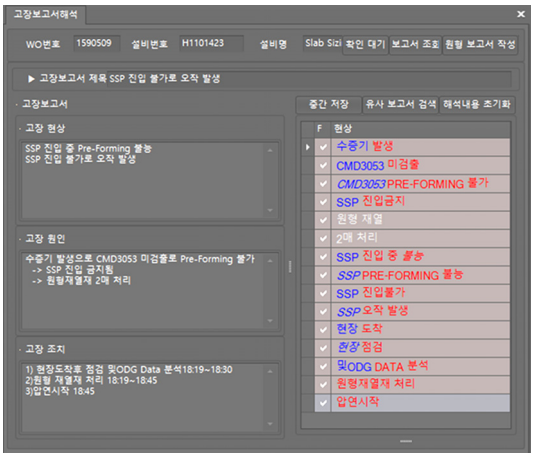

그림 6 고장보고서 및 고장사례예시

Fig. 6 Example of failure report and failure case

후 프로세스맵에 저장한다. 고장 관련 단문인 경우 프로세스맵의 고장현상 부분에 대상과 상태을 입력하고, 입력된 고장 현상들 사이의 원인과 결과 관계를 설정한다. 또한 조치 관련 단문일 경우 단문의 대상과 현상을 프로세스 맵의 조치 부분에 대상과 현상을 입력하고, 조치에 대한 현상들 사이의 선후 관계를 설정한다.

그림 6은 고장보고서와 분석된 고장사례의 예시이다. 고장보고서는 고장이 발생한 설비와 발생 일시, 고장 현상, 고장원인 조치방법이 기술되어 있다. 분석된 고장사례는 고장보고서 내용 우측에 리스트에 표현되며, 고장원인, 고장현상, 조치방법 순으로 재구성하며 인과관계를 갖는 지식으로 이용할 수 있게 한다. 파란색 글자는 고장현상의 대상이고 붉은색 글자는 상태를 나타낸다. 또한, 사용자 인터페이스를 제공하여 현장전문가가 직접 고장현상의 대상, 현상을 편집하고 고장현상의 순서를 조정할 수 있다.

3.3 알람지식 구축

알람지식은 시스템이 실시간 발생되는 알람으로부터 설비의 문제를 포착하기 위해 현장전문가에 의해 구축된 지식으로 지식베이스에 저장 및 관리된다. 알람 처리를 위한 전문가시스템(그림 7)은 알람으로부터 설비에 대한 고장 징후를 포착하고, 그 내용을 프로세스 맵에서 적합한 고장사례를 검색하여, 현장 전문가에게 제공함으로써 고장예측 또는 고장진단을 위한 의사결정을 돕는다.

시스템을 구성하는 알람지식은 고장을 경험한 현장 전문가가 사용자 인터페이스를 이용하여 고장과 알람간의 관계를 고려해서 생성한다. 사람의 지식 표현을 용이하게 할 수 있도록 IF-THEN 형태의 규칙기반으로 지식을 모델링한다. 현장 전문가는 자신의 경험 지식에 기반 하여 알람 패턴으로 발생되는 현상을 지식획득엔진

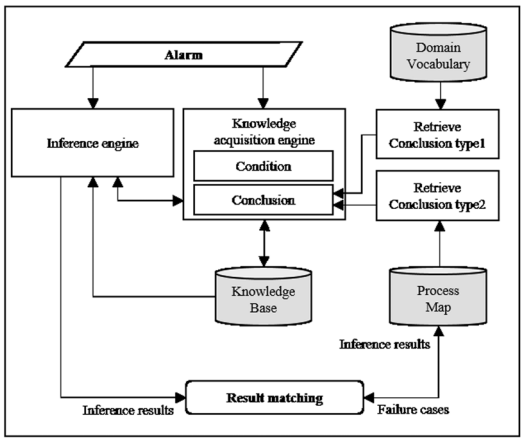

그림 7 전문가시스템 구조도
Fig. 7 Structure of expert system

을 통해서 지식베이스에 생성하고 지속적으로 관리한다. 매시간 알람이 수집되면 추론 엔진은 지식베이스로부터 알람을 처리하는 적합한 규칙을 찾아 결과를 도출한다. 도출된 결과는 프로세스 맵에서 매칭 되는 고장사례를 찾는데 이용된다.

3.3.1 입력케이스

전문가시스템의 입력케이스는 복수의 알람으로 구성된 알람메세지 리스트이며, 추론과 지식획득을 위해 이용된다. 알람시스템은 알람을 실시간으로 수집하고 1시간 간격으로 실시간 수집된 알람을 전처리하여 전문가시스템에 전달한다. 표 1의 알람리스트의 각 알람은 설비ID, 설비명, 알람ID, 알람명과 발생횟수, 지속시간, 알람지수와 같은 정량적 수치를 포함한 7가지 속성으로 구성된 것을 볼 수 있다.

3.3.2 알람지식 표현

현장전문가는 지식획득엔진을 통해서 수집되는 알람을 처리하기 위한 규칙을 생성할 수 있다. 규칙의 조건부에 사용되는 조건은 알람 속성 중 다음과 같이 5가지이다.

- 설비명 : 알람을 발생시킨 설비를 나타내며 문자열의 조합 형태이다.
- 알람메시지 : 알람 메시지이며 문자열의 조합 형태이다.
- 발생횟수 : 해당 알람의 1시간 동안의 발생횟수이다.

Rule 1: If (Counts > 20 of Alarm ID1 AND
Rate > 15 of Alarm ID3)
Then
• **Equipment** = Finishing mill
• **Part** = HSB / **Status** = INHIBIT
Rule 2: If (Alarm message = "SSP FWD PRESS ENTRANCE INHIBIT")
Then
• **Equipment** = Slab Sizing Press
• **Part** = SSP zone / **Status** = tracking disable
Rule 3: If (Equipment = "R2 Area")
Then
• **Equipment** = R2
• **Part** = R2 Area / **Status** = Braking
...

그림 8 지식베이스 예시
Fig. 8 Example of knowledge base

- 지속시간 : 해당 알람의 1시간 동안 지속된 시간이다.
- 알람지수 : 해당 알람이 하루 동안 차지하는 비율이다.

규칙의 결론부는 프로세스맵의 단위지식인 고장현상과 동일한 구조를 가진다. 즉, 결론부는 설비와 대상, 그리고 현상으로 이루어진다. 규칙을 생성하는 현장전문가는 프로세스맵에서 고장현상을 검색하여 선택함으로써 결론을 정의할 수 있다. 따라서 고장예측시스템의 추론결과는 고장지식과 매핑이 되므로, 고장예측을 위해서 프로세스맵을 이용할 수 있다. 그림 8은 지식베이스의 예시를 보인다. 각 룰은 알람의 5가지 속성을 이용하여, 룰 조건을 정의하였으며, 또한, 결론은 프로세스맵의 사례를 구성하는 현상을 이용하여 정의되었다. 예로, Rule 1은 표 1의 1번 알람의 발생횟수(Count)와 알람지수(Rate), 그리고 3번 알람지수로 조건을 생성하였고, 규칙의 결론은 사례의 현상인 Part와 Status로 정의되었다. 다른 예로, Rule 2는 그림 9와 같이 1번 알람의 알람메세지를 조건으로 하고 결론은 사례의 현상을 이용한 것을 볼 수 있으며, 규칙의 결론은 프로세스맵의 지식과 연동되는 것을 알 수 있다.

3.3.3 예방정비시스템

제안하는 예방정비시스템은 실시간으로 발생되는 알람을 통해서 현재 설비의 상태를 파악하고, 프로세스 맵에 구축된 인과관계 형태의 과거 고장사례를 이용하여, 현재 설비 상태가 발생하게 된 원인을 규명하는 고장진단과 현재 상태 이후에 발생할 수 있는 고장예측이 가능하다. 그림 9는 예방정비시스템의 동작예시를 나타낸다. 한 시간 동안 수집된 알람리스트에 4개의 알람이 포함

표 1 알람리스트 예시
Table 1 Example of an alarm list

No	Equipment	Alarm message	Counts	Duration	Rate
1	Slab Sizing Press Area	SSP FWD PRESS ENTRANCE INHIBIT	25	119	33.06
2	R2 Area	R2 ODD PASS ENTRANCE INHIBIT	2	14	3.89
3	Finishing Mill	F3 BOT PC APC ERROR	1	96	26.67
4	Finishing Mill Ent' Area	FM ENTRY ENTRANCE INHIBIT	2	8	2.22

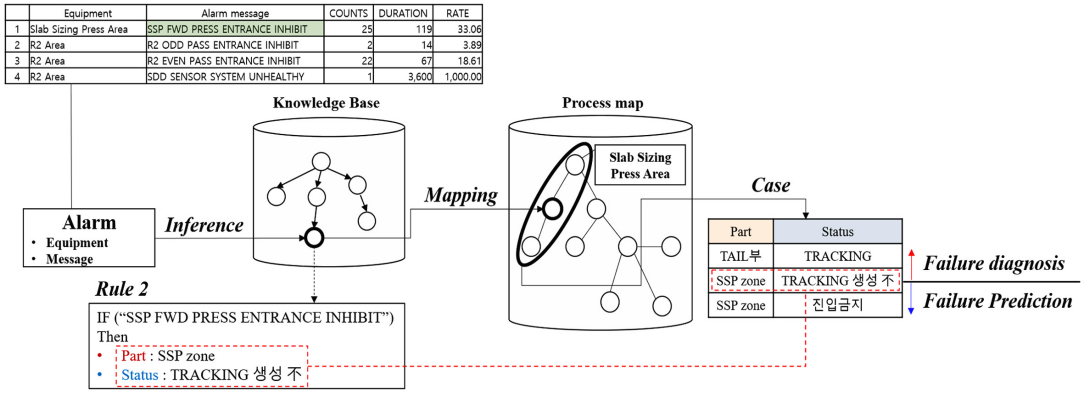

그림 9 예방정비시스템 동작 예시

Fig. 9 Running example of the preventive maintenance system

되어 있으며, 알람리스트는 고장예측시스템의 입력케이스로 이용된다. 그 중 1번 알람에 대한 규칙이 지식베이스에 저장되어 있으므로, 추론엔진은 지식베이스로부터 1번 알람에 해당하는 규칙으로 알람리스트를 평가하여 규칙에 부합하는 경우 결과를 획득한다. 규칙의 결과는 고장현상으로써, 발생한 알람의 영향으로 대상 설비인 ‘SSP zone’에 ‘TRACKING 생성 不’이라는 현상이 발생할 것을 나타낸다. 시스템은 획득한 고장현상으로부터 발생 가능한 고장 예측하기 위해 프로세스 맵에서 고장현상이 포함된 고장사례를 검색한다. 시스템은 알람이 나타내는 설비인 ‘Slab Sizing Press Area’라는 설비에 대한 고장사례를 알람을 모니터링 하는 현장 전문가에게 제공한다. 현장 전문가는 알람으로부터 문제가 되는 설비의 현상과 그 문제로부터 예측 가능한 고장을 고장사례로부터 확인 하는 것과 고장조치 방법을 알 수 있으며, 고장사례에서 현재 고장현상의 이전 고장현상을 역추적함으로써 고장의 원인을 분석하는 것도 가능하다.

4. 구현

이 장에서는 실제 제철소에 구축되어 운용 중에 있는 제안된 시스템의 동작 예시를 소개한다. 그림 10은 예방정비시스템의 구현된 화면이며, 상단의 알람발생 영역에는 1시간 간격으로 시간 경과에 따른 알람의 발생상황을 나타내고, 그와 함께 고장발생 영역에서 알람이 발생하였을 때, 알람지식과 고장지식을 이용하여 획득된 고장예측의 건수가 표시된다. 사용자는 유저인터페이스를 이용해서 특정 시간대를 조절하여 알람 발생의 상세 내용과 알람에 대한 고장사례를 조회할 수 있다. 화면의 좌측 하단에서 알람발생에 대한 상세한 내용을 볼 수 있으며 알람의 종류에 따라 설비알람과 운전 알람으로 구분하며, 알람의 시작과 종료 시간, 알람을 발생시킨 설비, 알람 내용, 그리고 하루 동안에 발생한 전체 알람 중 개별 알람이 차지하는 발생 비율을 보인다. 하단 우측의 고장발생상세는 사용자가 선택한 시간대에서 고장발생이 존재할 경우 그에 대한 내용을 보여주며, 고장예측결과는 알람에 대한 추론 결과이며 ‘SSP가 진입 금지’ 상태인 것을 나타내고, 고장관련 알람에서는 추론결과를 도출하게 한 알람을 보여준다. 유사고장사례는 추론결과를 포함하는 고장사례를 모두 보여주며, 추론 결과를 정확하게 포함하는지 유사도를 측정하여 정렬한 후 결과로 표시한다. 그림 11은 사용자가 유사고장사례에서 특정 고장사례를 선택할 경우 고장사례에 대한 상세한 내용을 보여주며, 우측의 고장사례는 고장보고서가 분석된 고장사례의 내용을 볼 수 있으며, 발생순서와 인과관계에 따라서 정렬되었다. 각 고장현상은 그 속성에 따라서 고장 또는 조치로 구분되므로, 현장전문가는 ‘SSP 진입불가’ 이후에 ‘SSP PRE-FORMING 불능’이 발생할 것을 예측할 수 있으며. 별도의 분석 과정 없이 바로 문제를 점검하고 조치할 수 있다.

5. 실험 및 평가

이 장에서는 제안하는 시스템의 프로세스맵의 고장사례가 인과관계를 갖는 지식임을 증명하기 위해 고장예측 성능을 실험을 통해서 평가하고 논한다.

5.1 실험 데이터

실험에 사용된 데이터는 실제 국내 제철소에서 한건 이상 동일한 고장이 발생한 설비의 고장보고서와 고장발생 전후 각각 1시간 동안 수집된 알람데이터이다. 알람데이터는 실시간 수집된다. 제안된 시스템에는 1시간 단위로 전처리된 데이터가 사용되며, 1시간 동안 발생한 알람에 대한 발생횟수, 발생기간, 발생비율이 산출되며, 2010년 10월부터 2014년 7월까지 총 46개월간 총 502,308

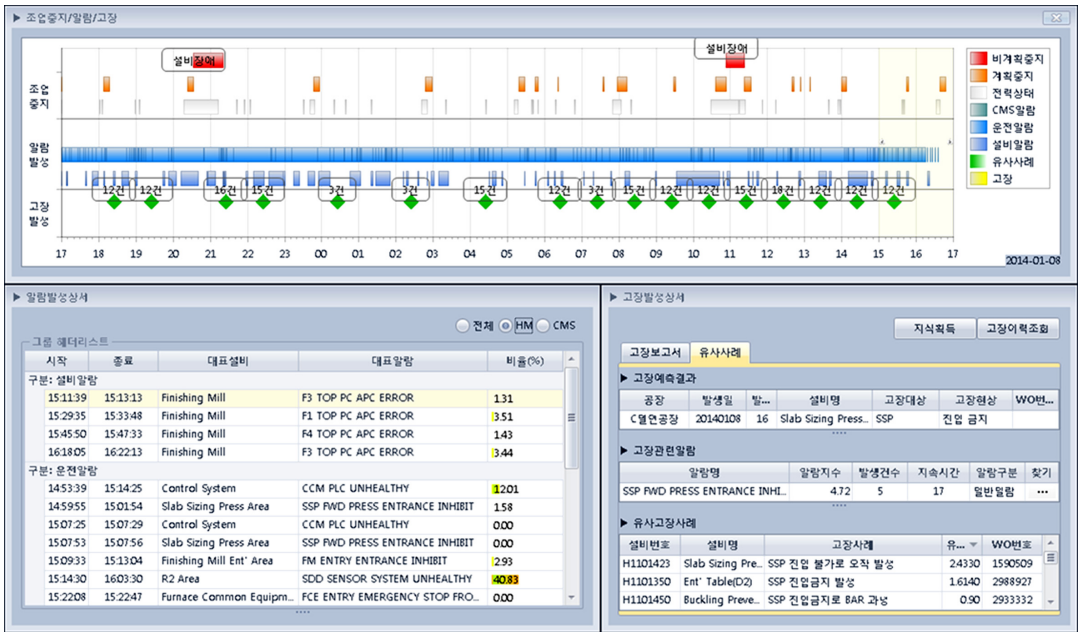

그림 10 시스템 구현 결과

Fig. 10 Result of an implemented system

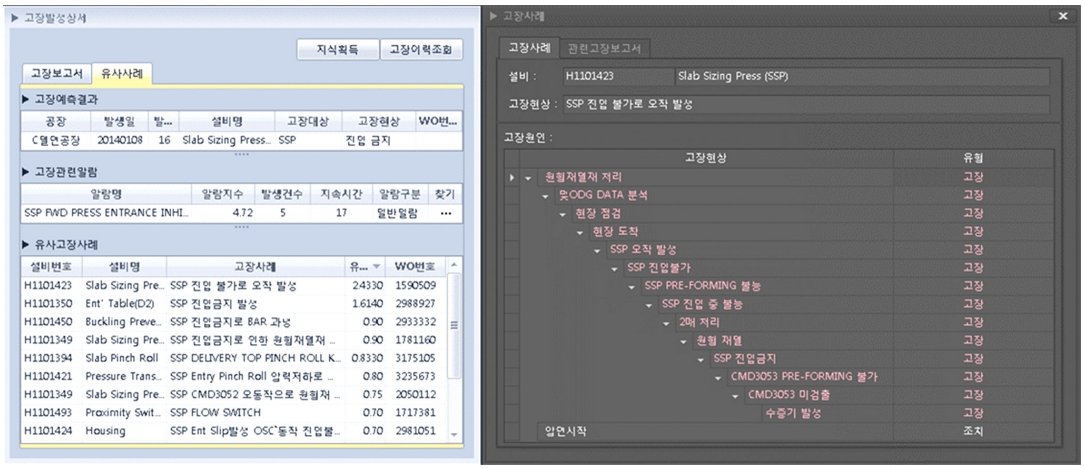

그림 11 고장사례 획득 예시

Fig. 11 Example of acquiring failure cases

개의 알람 데이터를 수집하였다. 고장보고서는 같은 기간에 수집된 총 713개의 고장보고서에서 한건 이상 동일한 고장을 가진 고장보고서 400개를 분석하여 프로세스맵에 구축된 고장사례를 이용한다. 동일한 고장이 발생한 횟수는 일정하지 않지만, 평균적으로 4건의 반복고장이 발생하였다. 전문가시스템의 지식베이스는 현장전문가 2명에 의해서 구축된 237개의 규칙으로 구성 되었다. 실험을 위해 트레이닝 데이터와 테스트 데이터를 6대 4 비율로 이용하였으며, 전체 데이터 중에 고장사례 100개와 알람데이터 200,923개를 테스트 데이터로 사용하였다.

5.2 실험 방법

실험은 다음과 두 부분으로 이루어진다. 첫 번째는 알람에 대한 추론 결과와 고장사례의 고장현상이 매핑되

는 정도를 통해서 고장예측의 성공률을 평가함으로써, 알람과 고장 지식을 이용한 고장예측 방법의 가능성을 보인다. 두 번째는 제안하는 시스템과 3개의 고장예측에 대한 기존연구와 고장예측 정확도를 평가하여 제안하는 시스템의 우수성을 보인다.

고장예측은 발생한 시간 순으로 알람을 시스템에 입력시켜 획득한 전문가시스템으로부터 설비의 상태를 나타내는 추론 결과의 순서가 고장사례의 고장현상 순서와 동일한지 평가한다. 평가는 구축된 알람지식과 고장사례의 신뢰성을 위해서 실제 제철소에서 설비 모니터링을 담당하는 현장 전문가 2명이 전문가시스템을 통한 알람에 대한 추론 결과를 평가하고, 추론 결과와 고장사례의 고장현상의 순서를 고장보고서와 비교하여, 실제 고장의 원인과 발생된 고장이 일치 하는지 여부를 확인하였다.

5.3 실험 결과

5.3.1 지식이용 성공률

제안하는 시스템은 알람 지식과 고장사례 서로 다른 두 지식이 연동되어 동작하므로, 시스템의 성능을 위해서는 두 지식의 이용 가능성을 평가해야한다. 표 2는 알람에 대한 전문가시스템의 추론 성능과 추론 결과와 고장사례를 연동을 통한 고장예측의 성공률을 평가한 것이다. 추론 성공률은 99.1%로 매우 높은 수치를 보인다. 그 이유는 전문가 시스템의 지식베이스가 트리 구조로 구축되기 때문이다. 즉, 트리 상위의 일반적인 알람을 평가하기 위한 규칙에서 하위로 다양한 알람을 추론하기 위해 규칙이 확장되기 때문에, 대부분의 알람에 대한 처리가 가능하다. 하지만, 간혹 희귀하게 발생하는 알람 패턴의 경우, 지식베이스를 구축하는 전문가의 지식 범위를 벗어나기 때문에 0.9%의 예외가 발생한 것으로 볼 수 있다. 고장예측정확도는 추론 결과를 고장사례와의 매칭 정도를 평가한 것으로, 추론 성공률에 비해 98.3%로 다소 낮은 수치를 보인다. 제철소와 같은 대규모 산업시설에서 설비는 다양한 요인으로부터 영향을 받아 고장에 이르게 된다. 따라서 동일한 고장이라 하더라도, 그 인과관계는 경험한 사례와 다를 수 있다. 이러한 경우, 동일한 고장이라 하더라도 사례를 구성하는 고장 현상의 유사도는 매우 낮기 때문에, 추론의 성공률이 고장예측 성공률과 반드시 비례하지 않을 수 있다고 볼 수 있다.

표 2 지식이용 성공률
Table 2 Success rate of knowledge use

	Inference	Failure Prediction
Success rate	99.1%	98.3%

5.3.2 고장예측 성능 평가

제안하는 고장예측 방법의 우수성을 평가하기 위해서 기존 고장예측에 관련한 연구들에서 수행한 방법들과 비교하여 평가를 하였다. 본 논문과 비교된 연구들은 다음과 같다.

- 기존연구 A는 주조공장 도메인에서 공정에 중대한 결함을 예측하기 위해서 기계학습 기법을 이용한 예측 기법을 제안하였다. 베이지안 네트워크, SVM, 의사결정트리를 비교 평가 하였고, 의사결정트리가 가장 높은 예측 성공률을 가지는 것을 보였다[14].
- 기존연구 B는 이산과 연속 상태로 구성된 하이브리드 시스템에서 고장예측을 위해서 신호처리, 베이지안 추론, 기계학습 등 분야에서 적용되는 Particle filter를 이용하여 로봇의 고장을 예측하였다[15].
- 기존연구 C는 풍력 발전용 터빈의 고장 예측을 위해서 지식기반의 신경퍼지추론 기법을 이용하였다[16].

본 논문에서 제안한 고장예측방법의 성능은 A, B, C 각 연구에서 사용된 알고리즘을 동일한 실험환경에서 비교하여 평가 하였다. 즉, 실험 A는 의사결정트리, 실험 B는 Particle filter, 실험 C는 신경퍼지추론 알고리즘을 이용한 것이며, 본 논문에서 제시한 알람데이터에 적용하여 실험하였다. 그림 12는 각 실험에 대한 고장예측 정확도를 비교한 그래프이다.

실험 A의 의사결정트리는 알람 데이터의 특성상 여러 variable들을 정확한 수직 수평적 관계로 정확히 구분하기 어려워 분류가 힘들다. 그러므로, 트리가 복잡해지고 프루닝(pruning)이 다른 도메인의 데이터에 비해 어려운 편이기 때문에 일반적인 의사결정트리를 적용한 사례에 비해서 81.4%로 정확도가 낮게 나타났다. 실험 B의 Particle filter는 몬테카를로 방법을 기반으로 하는데 이 방법은 방대한 양의 샘플 수가 존재하지 않으면 예측이 힘들기 때문에 실험 중 가장 낮은 64.2%의 정확도

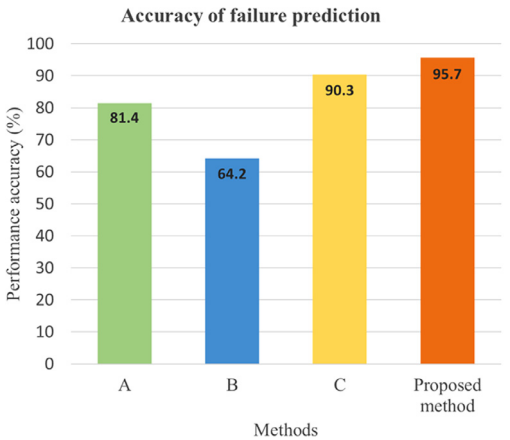

그림 12 고장예측 정확도 비교
Fig. 12 Comparison of accuracy of failure prediction

를 보였다. 실험 C의 신경퍼지추론 방법은 기존의 퍼지 논리방식에 신경망의 학습능력을 도입한 것이다. 전문가 지식기반의 퍼지논리 시스템에 학습기능을 부가하여 기존의 지식에서 지속적인 학습을 가능하도록 만든 것이므로 복잡하고 지속적으로 추가되는 실시간 고장 알람 데이터에 그 특성이 잘 활용되어 90.3%로 기존연구와 유사한 결과를 보였다. 제안하는 방법의 고장예측 성공률은 95.7%로 비교한 방법들 보다 우수한 성능을 보였다. 이는 알람데이터의 특성과 고장에 대해 경험이 많은 전문가들이 직접 지식베이스를 구축하였고, 실제 고장사례를 인과관계를 갖는 지식으로 구축하여 이를 고장예측에 이용하였기 때문이다. 따라서 지식의 품질이 다른 방법에 비해서 높기 때문에 실제 고장상황을 적합하게 반영한 결과라고 볼 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서 제안하는 예방정비시스템은 전문가의 지식에 기반 하므로 사람에 대한 의존도를 줄이며, 시스템에 의한 효과적인 고장예측과 진단이 가능하다는 점에서 현재 대두가 되고 있는 스마트 팩토리로의 트랜드에 부합되는 효과적인 대안이다. 제안하는 시스템은 실제 도메인에서 공유하거나 재이용하기 어려웠던 전문가의 경험지식을 시스템화할 수 있다는 모델로 다양한 도메인에서 활용될 수 있다. 제안하는 고장분석시스템은 그 동안 산업현장에서 난제로 여겨 왔던 지식의 공유와 일반화의 새로운 방안이 될 수 있다는 것에 의의가 있다. 설비나 고장에 대한 지식은 설비 매뉴얼이나, 고장보고서로부터 직접 얻을 수 있지만, 문제는 그 양이 방대하고 원하는 정보를 찾기 쉽지 않기 때문에 실효성이 없었다. 이러한 이유로 활용성이 떨어지는 고장보고서의 작성을 의무적으로 하는 경향이 있어서, 실제 상당 경우 내용이 부실하여 제 기능을 하지 못하고 있다. 이러한 문제는 시스템의 도움을 통해서 업무 환경을 개선하여 해결할 수 있다. 시스템의 기술적 접근 또한 의미가 있지만 실제 운용에서 활용되기 위해서는 시스템에 대한 이해가 요구된다. 현재 고장보고서의 문제는 일반적인 문장 구조에서 벗어나고, 일반화 되지 않은 용어나 축약어를 사용하므로 인해서 사람과 시스템 모두 이해할 수 없다는 데에 있다. 사람이 시스템의 처리 방식을 이해한다면, 시스템이 이용 가능한 형태로 고장보고서를 작성할 것이고, 시스템은 비교적 정확한 분석을 수행할 수 있으며, 결국 사람에 의한 교정 소요가 대폭 줄어 실제적으로 사람에 대한 의존도를 낮출 수 있다. 고장보고서가 분석된 고장 사례의 완성도와 이용 가능성이 높아진다면, 고장사례와 연동 하여 동작하는 전문가시스템 또한 활용도가 높아질 수 있다. 고장사례를 이용하기 위해서, 현장전문가는 알람에 대한 경험지식을 지식베이스에 규칙으로 축적하고 관리할 것이고, 정확도가 높은 지식이 지속적으로 일정 수준의 양이 축적된다면 전문가의 지식을 시스템이 활용함으로 알람에 대한 고장예측 및 고장진단의 정확도는 높아질 것이다. 따라서 산업현장에서 예방정비의 효율성을 극대화하여 경제적인 이익 창출과 함께, 인명 피해와 재해를 극복할 수 있을 것이다.

References

[1] Kang, B. H., Kim, Y. S., Chen, Z., and Kim, T.. "Detecting Significant Alarms using Outlier Detection Algorithms," *Interdisciplinary Research Theory and Technology (IRRT 2013)*, 2013.

[2] Orair, G. H., Teixeira, C. H., Meira Jr, W., Wang, Y., and Parthasarathy, S., "Distance-based outlier detection: consolidation and renewed bearing," *Proceedings of the VLDB Endowment*, Vol. 3, No. 1-2, pp. 1469-1480, 2010.

[3] R. Langone, C. Alzate, A. Bey-Temsamani, and J. Suykens, "Alarm prediction in industrial machines using autoregressive LS-SVM models," *Computational Intelligence and Data Mining (CIDM), 2014 IEEE Symposium on*, pp. 359-364, 2014.

[4] Oi. Foong, S. Sulaiman, D. Rambli, and N. Abdullah, "ALAP: Alarm prioritization system for oil refinery," *the World Congress on Engineering and Computer Science*, Vol. 2, 2009.

[5] W. Zhao, X. Bai, W. Wang, and J. Ding, "A novel alarm processing and fault diagnosis expert system based on BNF rule," *Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific, 2005 IEEE/PES*, pp. 1-6, 2005.

[6] Cheng, Yue, Iman Izadi, and Tongwen Chen, "Optimal alarm signal processing: Filter design and performance analysis," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 10, No. 2, pp. 446-451, 2013.

[7] Ahmed, K., Izadi, I., Chen, T., Joe, D., and Burton, T., "Similarity analysis of industrial alarm flood data," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 10, No. 2, pp. 452-457, 2013.

[8] Izadi, I., Shah, S. L., Shook, D. S., Kondaveeti, S. R., and Chen, T., "A framework for optimal design of alarm systems," *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 42, No. 8, pp. 651-656, 2009.

[9] Zhu, J., Shu, Y., Zhao, J, and Yang, F., "A dynamic alarm management strategy for chemical process transitions," *Journal of Loss Prevention in the Process industries*, Vol. 30, pp. 207-218, 2014.

[10] Sawsaa, A., and Lu, J, "Extracting information science concepts based on jape regular expression," *In In: WORLDCOMP'11 The 2011 World Congress in Computer Science, Computer Engineering, and Applied Computing*, pp. 18-21, Jul. 2011.

[11] Mohapatra, Hrushikesh, Siddhanth Jain, and Soumen Chakrabarti, "Joint Bootstrapping of Corpus Annotations and Entity Types," *EMNLP*, 2013.
[12] Morwal, S., N. Jahan and D. Chopra, "Named entity recognition using hidden Markov model (HMM)," *International Journal on Natural Language Computing (IJNLC)*, pp. 1.4: 15-23, 2012.
[13] Ju, Z., J. Wang and F. Zhu, "Named entity recognition from biomedical text using SVM," *Bioinformatics and Biomedical Engineering, (iCBBE) 2011 5th International Conference on*, IEEE, 2011.
[14] Santos, Igor, Javier Nieves, and Pablo G. Bringas, "Enhancing fault prediction on automatic foundry processes," *World Automation Congress (WAC)*, 2010, IEEE, 2010.
[15] Liu, Yutian, and Jingping Jiang, "Fault diagnosis and prediction of hybrid system based on particle filter algorithm," *2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics, IEEE*, 2008.
[16] Chen, Bindi, Peter C. Matthews, and Peter J. Tavner, "Automated on-line fault prognosis for wind turbine pitch systems using supervisory control and data acquisition," *IET Renewable Power Generation 9.5*, pp. 503-513, 2015.

김 도 형

2009년 광운대학교 컴퓨터공학과(학사) 2011년 광운대학교 컴퓨터공학과(석사) 2012년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 유비쿼터스 컴퓨팅, 전문가시스템, 지식관리, 인공지능

강 병 호

1988년 부산대학교 수학과(학사). 1990년 University of Tasmania, Computer Science(석사). 1995년 University of New South Wales, Computer Science(박사) 1996년~1999년 호서대학교 조교수. 2008년~현재 University of Tasmania, School of Information and Communication Technology, Associate professor. 관심분야는 인공지능, 전문가시스템, 지식관리, 웹기반서비스, 지능형 시스템, 지식기반시스템

이 승 룡

1978년 고려대학교 재료공학과(공학사) 1987년 Illinois Institute of Technology 전산학과(석사). 1991년 Illinois Institute of Technology 전산학과(박사). 1992~1993년 Governors State University, Illinois 조교수. 1993년~현재 경희대학교 전자정보대학 컴퓨터공학과 교수. 관심분야는 유비쿼터스 컴퓨팅, 상황인지, 인공지능, 실시간 시스템, 미들웨어, 보안, 클라우드 컴퓨팅