



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學博士 學位論文

프로세스 마이닝을 이용한 해양플랜트 방폭
검사 공정 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of Explosion-proof Inspection
Process using Process mining



指導教授 金 潤 植

2020 年 8 月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

金 知 門

본 논문을 김지문의 공학박사 학위논문으로 인준함

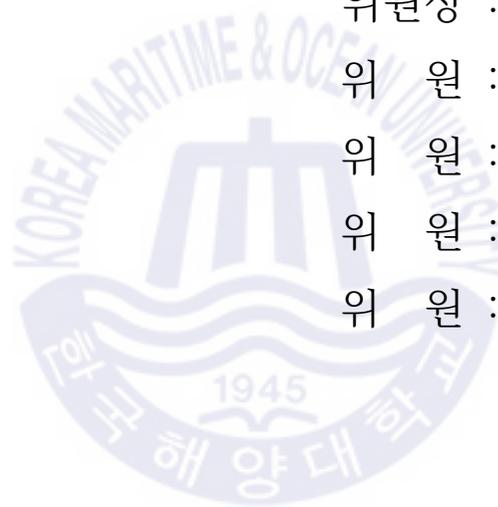
위원장 : 이 성 근 인

위 원 : 길 경 석 인

위 원 : 안 병 원 인

위 원 : 배 철 오 인

위 원 : 김 윤 식 인



2020 년 07 월 20 일

한국해양대학교 대학원

목 차

목 차	i
List of Tables	iv
List of Figures	v
Nomenclature	vii
Abstract	viii
제 1 장 서 론	
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 연구의 내용 및 방법	6
제 2 장 관련 이론 및 선행 연구 고찰	
2.1 해양플랜트 방폭	9
2.1.1 개요	9
2.1.2 위험 구역의 분류 (Hazardous Area Classification)	10
2.1.3 방폭 기기의 분류	14
2.1.4 연구 동향	17
2.2 프로세스 마이닝	19
2.2.1 개요	19
2.2.2 프로세스 마이닝의 유형	20
2.2.3 주요 분석 기법 및 관점	23
2.2.4 연구 동향	28
제 3 장 방폭 검사 프로세스	
3.1 방폭 검사	31
3.1.1 검사의 유형	31
3.1.2 검사 등급	32
3.1.3 검사원의 자격	40

3.2 현재의 방폭 검사 프로세스 분류	40
3.2.1 계약자가 장비를 공급 및 설치한 경우	43
3.2.2 주문주가 장비를 공급하고 계약자가 설치한 경우	45
제 4 장 방폭 검사 프로세스 분석	
4.1 분석 대상	46
4.2 프로세스 마이닝을 이용한 분석	46
4.2.1 프로세스 마이닝 도구	47
4.2.2 데이터 준비	48
4.2.3 데이터 전처리	50
4.3 분석 결과	51
4.3.1 빈도수 관점 분석 (Frequency)	51
4.3.2 시간 관점 분석 (Duration)	55
4.3.3 분석 결과에 대한 고찰	58
4.4 제안된 개선 방안	60
4.4.1 합동검사 (Combine Inspection)	60
4.4.2 케이블 글랜드 검사 선행	63
4.4.3 검사 신청 프로세스 개선	64
4.5 개선 방안 고찰	65
제 5 장 공정 개선 알고리즘	
5.1 알고리즘 개요	66
5.2 적용 효과와 검증	70
5.2.1 적용된 모듈의 분석	70
5.2.2 결과 분석	84
제 6 장 결과 및 고찰	
6.1 연구 결과	88
6.2 향후 연구	90

참고문헌 91~96



List of Tables

Table 2.1 The gas grouping table	13
Table 2.2 Maximum surface & ignition temperature by temperature class	14
Table 2.3 Features of event logs	22
Table 2.4 Process mining application project	30
Table 3.1 Inspection schedule for Ex “d” , Ex “e”	33
Table 3.2 Inspection schedule for Ex “i” installations	36
Table 3.3 QVD definition	41
Table 4.1 Details of DISCO	48
Table 4.2 Example of events logs	49
Table 4.3 Application to process mining analysis tool	50
Table 4.4 Analysis of activity	59
Table 4.5 Analysis of combine inspection result	62
Table 5.1 Heat tracing schedule	68
Table 5.2 Example of NOI (Notification Of Inspection)	69
Table 5.3 Analysis of activity for A module	76
Table 5.4 Analysis of activity for B module	83
Table 5.5 Comparison delay day between un-applied and applied modules	85

List of Figures

Fig. 1.1 Offshore plant demand	2
Fig. 1.2 Offshore Plant	3
Fig. 1.3 Deepwater horizon accident	4
Fig. 1.4 Manufacturing process of module	7
Fig. 2.1 Triangle of explosion	9
Fig. 2.2 Fixed roof vented storage tanks, adequately ventilated	12
Fig. 2.3 Photo of pressurized enclosure	15
Fig. 2.4 Photo of oil filled transformer	16
Fig. 2.5 Schematic of process mining	19
Fig. 2.6 Three types of process mining	21
Fig. 2.7 Principle patterns of alpha algorithm	24
Fig. 2.8 Dependency graph	25
Fig. 2.9 Spaghetti model	26
Fig. 2.10 Process mining overview	29
Fig. 3.1 Schematic of typical inspection procedure for periodic inspections	39
Fig. 3.2 Schematic of explosion-proof inspection	44
Fig. 4.1 Schematic of process mining procedure	47
Fig. 4.2 Schematic of frequency	54
Fig. 4.3 Schematic of duration	57
Fig. 4.4 Schematic of explosion-proof inspection	65
Fig. 5.1 Schematic of proposed algorithm for explosion-proof inspection	66
Fig. 5.2 Screen of output from proposed algorithm	68
Fig. 5.3 3D model of A module	70
Fig. 5.4 Schematic of frequency for A module	73
Fig. 5.5 Schematic of duration for A module	75

Fig. 5.6 3D Model of B module	77
Fig. 5.7 Schematic of frequency for B module	80
Fig. 5.8 Schematic of duration for B module	82
Fig. 5.9 Comparison the delay day of QVDs by modules	86
Fig. 5.10 Comparison the frequency of QVDs by modules	87



Nomenclature

ATEX	: ATmospheres EXplosibles
CPF	: Central Processing Facility
EHT	: Electric Heat Tracing
EPC	: Engineering, Procurement & Construction
ERP	: Enterprise Resource Planning
ETL	: Extract, Transform and Load
Ex	: Explosion-Proof
FPSO	: Floating, Production, Storage and Offloading
HVAC	: Heat, Ventilation & Air Conditioning
IEC	: International Electrotechnical Commission
ITC	: Information and Communication Technologies
ITR	: Inspection Test & Report
LEL	: Lower Explosion Limit
MC	: Mechanical Completion
NFPA	: National Fire Protection Association
NOI	: Notification of Inspection
UEL	: Upper Explosion Limit
QVD	: Quality Verification Document

A Study on the Improvement of Explosion-proof Inspection Process using Process mining

Kim, Zi Moon

Department of Electric & Electronics Engineering
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

Since 2010, most offshore plants have been subjected to explosion-proof inspection in accordance with IEC 60079 to prevent catastrophic offshore plant explosions. However, domestic shipyards have a lot of difficulties in the inspection process due to the lack of experience in explosion-proof. Nevertheless, domestic research institutes and shipyards do not have a interested in understanding, technology development, and process analysis about explosion-proof. Moreover, as a domestic shipyard that is always chased by delivery schedules due to complicated construction processes and frequent design changes, any small part for completion must take action to meet construction schedule. Most of the research for process improvement is focused on the production process but not on quality process.

In this paper, in the process of explosion-proof inspection at offshore plant, a meaningful knowledge was extracted for the accumulated data (event log) from the production and quality management system and this was analyzed a frequency perspective and a duration perspective using a process mining technique. It was found that there had more lead time than 1~2 days predicted for explosion-proof inspection. Three of improved methods were proposed to improve the process of explosion-proof inspection. The first was

a combine inspection, which is conducted together with the prerequisite inspection and explosion-proof inspection. There are many duplicate inspection items in the electric and instrument prerequisite inspection items and explosion-proof inspection items. For this reason, it was expected that the total inspection time will be reduced due to the reduced burden on duplicate inspection items and prompt on-site action on the faults found. As a result of the combine inspection for 4 days, the efficiency of the combine inspection was lower than the separate inspection due to the waiting for the explosion-proof inspector during the prerequisite inspection, the waiting for the prerequisite inspector during the explosion-proof inspection, and the waiting for the explosion-proof inspector for equipment that does not require explosion-proof inspection. The second was the cable gland pre-inspection. Cable gland inspection is required for most explosion-proof inspections and can be conducted with or without the completion of prerequisite inspections. As the cable gland inspection is only one check item for explosion-proof inspection, it was not available to proceed with a the inspection as official inspection and was conducted when the explosion-proof inspector had a time to spare. Therefore, no objective figures to confirm the improvement were obtained. However, it was found that the explosion-proof inspection time was reduced in the applied module compared to the non-applied module. Third, an algorithm was developed to check tags that is able to perform the explosion-proof inspection through the system, which had checked by manual method.

The algorithm is composed of an input, a process, and an output. The input is equipment tag list, cable tag list, and quality verification document (QVD) extracted from the quality management system that require explosion-proof inspection. The process checks the completion status of all the prerequisite QVDs such as the cable inspection and the prerequisite equipment

inspection required for the individual explosion-proof equipment from the extracted QVD status data. The output is that the system screen shows the tag which is able to carry out an explosion-proof inspection if all the prerequisites for explosion-proof inspection are completed.

For empirical verification of this algorithm, two modules that did not start the inspection were applied for about 11 months. In the first module, the time from the completion of the prerequisite QVD to the completion of explosion-proof QVD is improved up to 11 days. The second module, maximum 8 days was improved. In particular, it was found that the QVDs with high frequency were improved more. Although some of the prerequisite QVDs had an additional delay of 1 to 4 days and no improvement after application of the algorithm, the frequency was not high and did not significantly affect the process delay.

From this paper, a significant delay improvement was achieved through an algorithm for confirming the explosion-proof inspection possibility in the explosion-proof inspection process. In addition, it was found that the cable gland pre-inspection, which could not confirm the improvement result with quantitative values, also contributed to the improvement of the explosion-proof inspection productivity. Through the improvement of the explosion-proof inspection process, it helped the schedule of MC (Mechanical Completion) Walk-down and commissioning, which is a follow-up process, and helped the entire project completion schedule reduction. In addition, improvements in human and material resources that occurred in the previous manual method were also found.

KEY WORDS: Offshore plant, Explosion-proof, Process mining, Inspection, IEC 60079.

프로세스 마이닝을 이용한 해양플랜트 방폭 검사 공정 개선에 관한 연구

김 지 문

한국해양대학교 대학원
전기전자공학과

초록

2010년 이후부터, 대부분의 해양플랜트는 재앙적인 해양플랜트 폭발 사고를 예방하기 위해 IEC 60079에 따라 방폭 검사가 요구되고 있다. 그러나, 국내 조선소들은 방폭 검사에 대한 경험 부족으로 인해, 검사 진행에 많은 어려움을 겪고 있다. 그럼에도 불구하고, 국내 연구소 및 조선소에서는 방폭에 대한 이해와 기술 개발 그리고 프로세스 분석에 대한 연구가 이루어지지 않고 있다. 더군다나, 복잡한 건조 공정과 잦은 설계 변경 등으로 항상 인도 일정에 쫓기는 국내 조선소로서는 어느 작은 한 부분이라도 공기 준수를 위한 노력이 필요하다. 그러나, 대부분의 공정 개선을 위한 연구는 생산 프로세스에 초점이 맞추어져 있고, 품질 프로세스에 관한 관심이 낮은 것이 현실이다.

본 연구에서는, 해양플랜트 방폭 장비 검사 공정 프로세스를 생산 및 품질 공정 과정에서 축적된 데이터(event log)로부터 의미 있는 지식을 추출하여 프로세스 마이닝 기법을 이용하여 빈도수와 시간의 관점에서 분석하고 예상했던 지연시간보다 방폭 검사 공정 지연의 발생 원인을 확인했다.

문제점을 개선하기 위해서 3가지의 방법이 제시되었다. 첫 번째 개선안은 합동검사로 선행 검사와 방폭 검사를 함께 실시하는 것이다. 전기 및 계장 선행 검사 항목과 방폭 검사 항목에는 중복된 검사 항목이 많다. 이로 인해, 합동검사로 중복 검사 항목에 대한 부담 감소 및 발견된 결점에 대한 신속한 현장 조

치로 전체 검사 시간이 감소할 것으로 예상했다. 4일간의 합동검사 결과, 선행 검사 진행 중 방폭 검사원 대기, 방폭 검사 진행 중 선행 검사원 대기 그리고 방폭 검사가 요구되지 않는 장비에 대한 방폭 검사원 대기로 인해 개별검사 진행보다 낮은 효율성을 확인했다.

두 번째 개선안은 케이블 글랜드 선행 검사다. 케이블 글랜드 검사는 대부분의 방폭 장비 검사에 요구되고, 선행 검사 완료 여부와 관계없이 진행할 수 있다. 케이블 글랜드 검사는 방폭 검사의 한 항목이어서 정식 검사로 진행할 수 없었고, 방폭 검사원이 시간적 여유가 있을 시 실시하였다. 객관적 분석을 위한 정량적인 결과는 얻지 못했지만, 비적용 모듈대비 적용 모듈에서의 방폭 검사 시간 감소 및 케이블 글랜드 작업 품질 향상을 확인했다.

세 번째는 매뉴얼 방식으로 방폭 검사 가능 태그를 확인하던 방법을 시스템으로 확인 할 수 있도록 알고리즘을 개발했다. 알고리즘은 입력부, 처리부, 출력부로 구성된다. 입력부는 방폭 검사가 요구되는 장비 태그 리스트, 케이블 태그 리스트 그리고 품질 관리 시스템에서 추출한 검사서(QVD, Quality Verification Document) 데이터이다. 처리부에서는 추출한 QVD 데이터로부터 개별 방폭 장비에 요구되는 케이블 검사 및 선행 장비 검사의 모든 선행 QVD의 완료 상태를 확인한다. 방폭 검사를 위한 모든 선행 조건이 만족되면, 시스템 스크린에 방폭 검사 가능으로 표기된다.

본 알고리즘의 실증적 검증을 위해, 검사가 시작되지 않은 두 모듈에 약 11개월 동안 적용하였다. 첫 번째 모듈에서는 선행 QVD 완료 후 방폭 QVD가 완료되기까지의 시간이 최대 11일 개선되었다. 두 번째 모듈에서는 최대 8일 개선되었다. 특히, 모듈에서 빈도수가 높은 QVD들에서 큰 개선 결과를 확인했다. 비록, 몇몇 선행 QVD에서는 알고리즘 적용 후 1~4일의 추가 지연이 발생으로 개선을 확인 못 했지만, 빈도수가 높지 않아 공정 프로세스 지연에는 크게 영향을 주지 않음을 확인했다.

본 연구로부터, 방폭 검사 프로세스에서 방폭 검사 가능 확인을 위한 알고리즘을 통해 상당한 지연 시간 개선을 확인했다. 또한, 정량적인 수치로 개선 결

과를 확인할 수 없었던 케이블 글랜드 선행 검사도 방폭 검사 생산성 향상에 이바지한 것을 확인했다. 방폭 검사 프로세스 개선을 통해, 후행 공정인 MC(Mechanical Completion) Walk-down 및 시운전 공정 진행에 도움이 되었으며, 전체 프로젝트 완료 일정 단축에도 도움이 되었다. 이외에도, 수기 방식에서 발생하던 인적, 물적 자원에 대한 개선도 함께 확인했다.

KEY WORDS: 해양플랜트, 방폭, 프로세스 마이닝, 검사, IEC 60079.



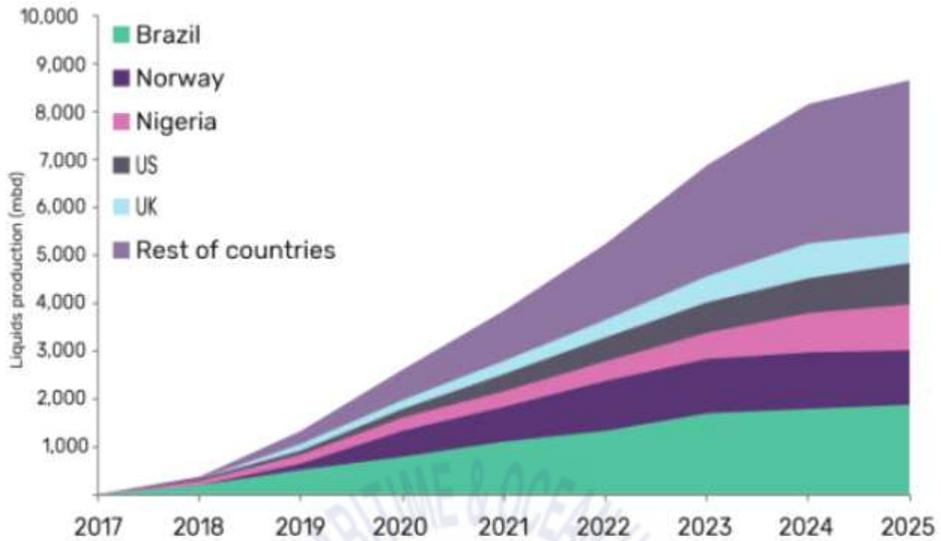
제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

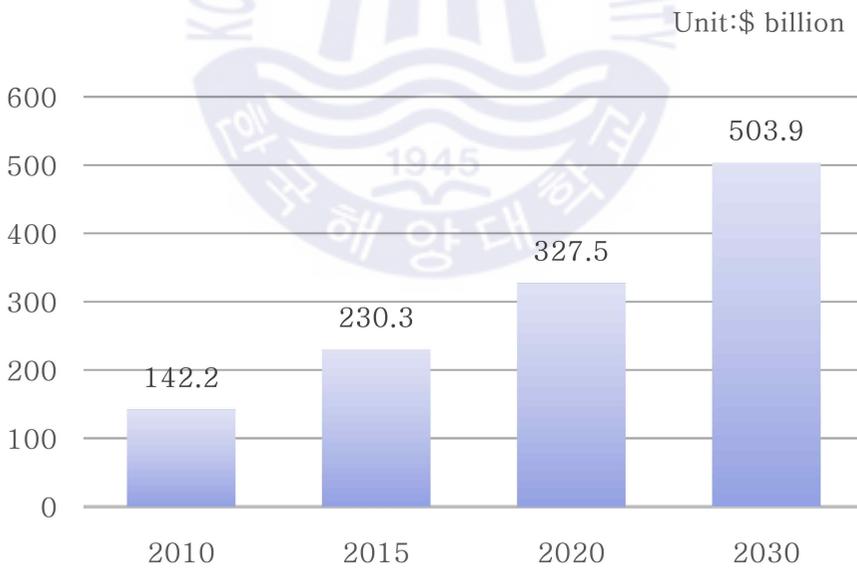
2008년 글로벌 금융위기 이후 침체 된 조선 산업은 한국의 많은 조선소에 어려움을 주고 있다. 특히 상선 시장은 세계 무역량 감소로 인해 신규 발주량이 급감하여, 조선 산업 호황기인 2007년에 약 27개에 이르던 한국 중소 조선소들이 대부분 경영 악화로 매각, 워크아웃 그리고 구조조정의 상황을 겪었다. 해양 플랜트 산업은 2010년 초 고유가의 영향으로 대형 석유 기업들로부터 많은 해양플랜트 프로젝트를 수주하였지만, 2016년 유가가 배럴당 30달러 선으로 떨어진 이후, 세계 경제 회복의 둔화로 메이저사 오일 회사에서 신규 프로젝트 발주에 소극적인 모습을 보여, 국내 조선 해양 산업도 많은 어려움을 겪고 있다.

그러나, 대형 조선소들의 경우는 선진국들의 경제 회복과 중국과 같은 개발도상국의 경제성장에 따른 석유에너지 사용 증가로 세계 원유시장의 고유가가 지속해서 유지되고 있다. 또한, 육상과 대륙붕의 자원이 고갈될 것이라는 연구 보고서에 따라 경제성이 낮았던 한계 유전 및 심해 자원의 개발과 시추가 증가하는 추세이다. 이로 인해, 해양플랜트 산업은 2010년 이후 급성장하여 21세기 한국 조선소의 새로운 성장 동력의 역할을 하고 있다. 국내 연구기관에서도 극한지 오일 생산 플랜트 건설 산업에 예비 타당성 조사 등 미래 신성장 개발에 노력을 기하고 있다^[1].

2018년에 작성된 글로벌 데이터지의 보고서, Fig. 1.1 (a)에 따르면 전 세계적으로 계획 및 발표된 원유 및 천연가스 프로젝트 387개가 2018부터 2025년 사이에 운영될 것으로 예상하고, 이 중 154개는 개발 계획이 확정된 프로젝트이다^[29]. 그리고 233개는 개념 연구를 진행 중이며 개발 승인을 곧 받을 것으로 예상된다. 그리고, Fig. 1.1 (b) 한국지식경제부 보고서에도 해양플랜트 시장은 매년 평균 5.4% 증가했으며 2020년에는 3,275억 달러, 2030년에는 5,039억 달러로 확장되고, 해양플랜트 시장은 지속해서 성장할 것으로 예측된다^[30].



(a) Total crude oil production plan



(b) Global offshore plant market

Fig. 1.1 Offshore plant demand

또한, 최근에는 오일 & 가스 기업들의 수익성 향상 노력과 공정 효율화로 채산성이 개선됨에 따라 신규 프로젝트에 대한 기대감이 상승하고 있다. 해양플랜트는 바다 위 석유 화학 공장의 개념으로 작업 환경이 열악한 해상에서 작업이 이루어지고, 기존에 육상에서 수행하던 석유 및 가스 자원 처리를 해상에서 수행할 수 있는 해양설비(offshore platform)라고 할 수 있다^[2]. Fig. 1.2는 서호주의 브라우저 바신(Browse Basin)에 위치한 익지스 필드(the Ichthys Field)에 설치된 해양플랜트들이다.



(a) CPF (Central Processing Facility)



(b) FPSO (Floating, Production, Storage and Offloading)

Fig. 1.2 Offshore Plant

해양플랜트는 설계 목적상 원유의 생산, 분리, 저장, 하역과 그에 수반된 다양한 작업 대부분이 상부 구조물(Topsides)에서 이루어지고 그에 따른 많은 사고가 수반된다. 특히 오일 및 가스 누출로 인한 화재 및 폭발 사고는 다른 사고들에 비해 발생할 확률은 낮으나 물적, 인적으로 막대한 손실을 초래하고, 심각한 해양 오염을 일으킬 수 있다. 그리고, 원유 생산 공정에도 큰 영향을 끼쳐 경제적으로 막대한 손실을 입히게 된다. 이러한 피해를 막기 위해 전 세계적으로 해양플랜트 정의 화재 및 폭발에 대한 구조물의 위험도 평가(Risk assessment)와 제반 안전 규정이 더욱 중요하게 부각 되고 있다. Fig. 1.3은 2010년 4월 20일 미국 루이지애나주 앞바다 멕시코만에서 발생한 딥워터 호라이즌(Depwater Horizon)호의 폭발 사고 사진이다. 본 시추 설비는 국내 조선소에서 설계 및 건조되었으며, BP에서 운영한 반잠수식 시추선(Semi-submersible Rig)이다. 이 폭발 사고로 11명의 시추 노동자가 사망했고, 18명이 부상 당했다. 보고서에 의하면 490만 배럴의 원유가 바다로 유출된 것으로 추정하며, 심각한 해양 오염을 유발했다^[3].



Fig. 1.3 Deepwater Horizon accident

특히, 최근에 건조되는 해양플랜트의 생산 및 저장 장비들은 한정된 공간에 다양한 설비가 위치함에 따른 시스템의 직접화로 위험이 증가하고 있다. 이에 장비의 최신화 및 작업자의 행동 조치 강화 등의 조치를 하고 있지만, 해양플랜트 정유 설비에서 오일 및 가스 누출은 꾸준히 증가하고 있다.

이에, 최근 해양플랜트는 IEC 60079-10 기준으로 오일 및 가스 누출의 빈도, 특성 및 시설물을 고려하여 위험구역을 지정하고, IEC 60079-14에 따라서 방폭 장비를 선택 및 설치한다. 그리고 IEC 60079-17에 따라 검사를 하고 있다. 방폭 장비 선택은 엔지니어링 단계에서 이루어지며, 설치 및 검사는 생산공정에서 이루어진다. 일반적으로 방폭 장비의 검사는 장비에 전원을 인가하기 전 마지막 단계로, 검사 일정이 다음 단계인 시운전(Commissioning) 및 전체 공정에도 큰 영향을 미친다.

이러한 방폭 장비의 검사, 관리 및 유지의 중요성은 점점 높아지고 있으며, 공사 시공서에도 세부적으로 요구되고 있다. 그리고 기존 공사에서는 체계적으로 관리되지 않았던 방폭 요구 사항의 확인 및 검사가 이제는 공정의 필수 부분으로 자리 잡아감으로써 주문주(Owner) 및 계약자(Fabrication yard) 입장에서는 추가적인 비용 및 공기, 납기 일정의 부담으로 다가오고 있다. 특히, 대형 프로젝트처럼 여러 개의 모듈이 순차적으로 제작 인도되는 경우는, 여러 모듈이 동시다발적으로 진행되기 때문에 관리의 어려움뿐만 아니라 해상 운송의 환경적 요소 및 현지의 공정 스케줄로 출하 일정(Sail-away schedule)을 조정하기에 어려움 있어 납기 일정 준수가 특히 중요하다. 현재, 국내 조선소에서는 해양플랜트의 공정 지연 문제점을 찾고 분석하려고 큰 노력을 하고 있다. 그러나, 대부분은 엑셀을 이용한 데이터 분석 및 통계적 기법을 이용하고 있어 분석 결과를 얻기에 시간 소요가 많아 해당 프로젝트에 적용하기에 어려움이 있다. 그러므로, 큰 비용과 시간적 노력에도 불구하고 구체적인 결과는 얻지 못하고 있다.

본 연구에서는, 복잡한 해양플랜트 건조에서의 방폭 장비 검사 공정에 대한 프로세스를 생산 및 품질 공정 과정에서 축적된 데이터(event log)로부터 의미 있는 지식을 추출하여 짧은 시간에 분석 결과를 시각화하여 볼 수 있는, 프로

세스 마이닝 기법을 이용하여 분석함으로써 방폭 검사 공정 지연의 발생 원인을 확인하고 개선된 방법을 이용하여 방폭 검사뿐만 아니라 전체 프로젝트의 비용 절감 및 생산성 향상을 목표로 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에 적용된 해양플랜트 프로젝트는 기존의 오일 정제 설비(Oil Refinery Facility)를 증축하여 일일 생산량을 26만 배럴로 증설하는 공사이다. 2015년 국내 대형 조선소가 미국 오일 메이저사로부터 81개 모듈 제작을 발주 받았으며, 크기는 약 179,160톤이고 총 179개의 유닛으로 구성된다. 국내에서 제작된 81개의 모듈은 설치 국가인 카자흐스탄으로 해상으로 이동 후 다른 제작소에서 만들어진 설비들과 함께 연결되어 설치된다. 이동 중, 모듈의 크기로 인해 운하를 통과하지 못하는 경우는, 정해진 규격에 맞게 국내에서 디스태킹(De-stacking)되어서 설치 국가로 이동된다. 국내에서는 모듈에 구조물 및 장비 설치가 주 업무이며, 전동 설비 및 공조 설비만 국내에서 시운전을 실시한다.

모듈의 건조 공정은 Fig. 1.4와 같이 총 4단계로 구성되어 있다. 첫 번째 공정인 블록 단계(Block Stage)에서는 계약자의 블록 분할 계획에 따라 블록을 제작한다. 조립 단계(Erection Stage)에서는 계약자의 조립 단계에 따라 개별 제작된 블록을 조립한다. 모듈화 단계(Module Stage)에서는 물리적 설치 작업을 완성하고 시운전을 실시하며, 마지막 단계인 디스태킹(De-stacking)은 해상 운송이 가능하도록 모듈을 개별 유닛으로 분리하는 작업으로 안전한 이동을 위한 중량 확인, 이동용 보호 설비 설치, 그리고 운반선에 고정하는 작업을 실시한다.

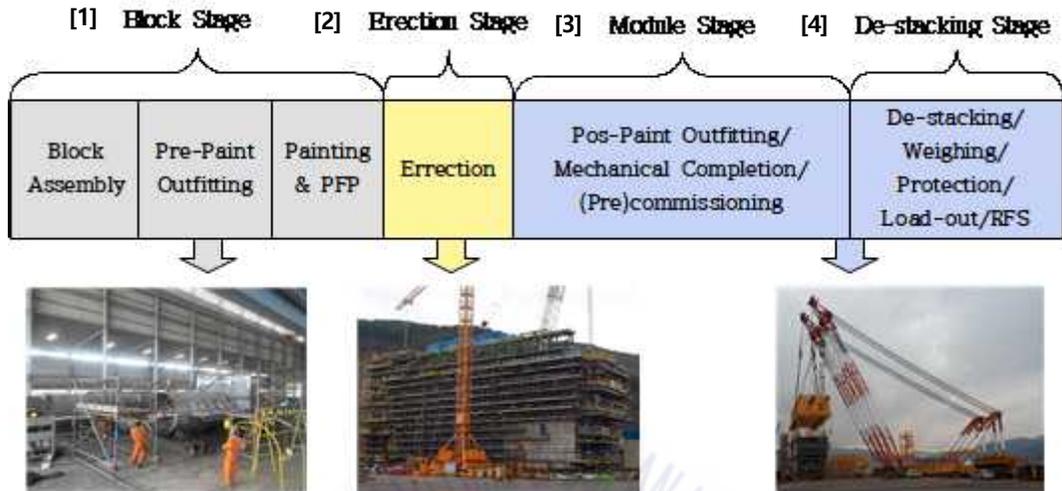


Fig. 1.4 Manufacturing Process of Module

모듈화 단계에서 각종 장비의 설치가 완성되고, 설치에 대한 품질은 국제 표준 및 설치 국가 표준 그리고 프로젝트 표준 등에 따라서 검사가 시행된다. 방폭 검사는 전체 프로젝트 공정에서 건조(Construction) 내의 품질 단계(Quality)에 속하며, IEC 60079-10 및 설치 국가 표준(PUE)에 따라서 방폭 장비가 요구되는 장비에 대해서만 검사를 한다. 방폭 검사는 위험구역에 설치되는 전기 및 계장 장비에서만 요구되고, 일반 품질 검사가 완료된 후 실시하며, 장비에 전원을 넣기 전 마지막 품질 검사이다. 그러므로, 설비에 대한 안전성뿐만 아니라 운영 작업자(Operator)의 안전 확보를 위해서도 중요한 검사이다. 또한, 다음 공정인 시운전뿐만 아니라, 전체 프로젝트 완성 일정 준수에 큰 영향을 미친다.

본 연구는 품질 검사 내에서 일반 품질 검사 완료 후부터 방폭 검사까지의 프로세스를 연구 대상으로 한다. 국내 조선소에서는 2013년 이후부터 해양플랜트의 방폭 검사를 하고 있으며, 대부분의 방폭 검사는 주문주에 의해 시행되었다. 그러므로, 그동안 방폭 프로세스 분석 및 효율성 향상을 위한 연구가 부족한 실정이다. 복잡한 조선 산업의 여건과 선행 연구의 부재로 정확한 이해와 분석에 어려움이 있지만, 공정관리에 이용되는 품질 관리 시스템의 데이터를

기반으로 프로세스 마이닝 기법을 이용하여 분석하고, 문제점 및 개선점을 제시하고자 한다.

본 논문의 전체적인 구성은 다음과 같다. 2장의 관련 연구 부분에서는 방폭 개념과 프로세스 마이닝 기법에 대한 개요와 실제 적용 사례에 관한 연구들을 살펴본다. 3장에서는 방폭 검사 프로세스에 대한 설명, 그리고 4장에서 방폭 검사 프로세스 분석 및 결과로 제안된 개선 방안을 도출한다. 5장에서는 제안된 개선 방안 중 가장 효율성이 좋은 것으로 나타난 알고리즘 개발에 대하여 설명하고 개발된 알고리즘 적용에 따른 결과를 확인한다. 6장에서 본 연구에 대한 결론 및 향후 연구 방향과 과제 등에 관하여 기술한다.



제 2 장 방폭 관련 이론 및 선행 연구 고찰

2.1 해양플랜트 방폭

2.1.1 개요

폭발 위험성이 있는 장소에서 전기설비로 인한 화재 폭발이 발생하려면 “폭발성 분위기와 점화원이 공존” 하여야 하며, 이 조건이 성립되지 않도록 하는 것이 방폭의 기본 대책이다. 전기설비로 인한 화재 폭발을 방지하기 위해서는 폭발성 분위기가 생성되는 확률과 전기설비가 점화원이 되는 확률의 곱을 0에 가까운 작은 값을 갖도록 해야 하며, 이에 대한 구체적인 조치로 먼저 폭발성 분위기의 생성을 방지하고 그다음에 전기설비의 방폭화를 하는 것이다.^[5]

Fig. 2.1은 폭발이 발생하기 위한 3요소를 나타낸다. 방폭의 기술은 폭발 3요소 중 어느 하나를 제거하거나, 이들을 폭발에 이르지 못하는 수준으로 관리하는 것으로 설명할 수 있다.

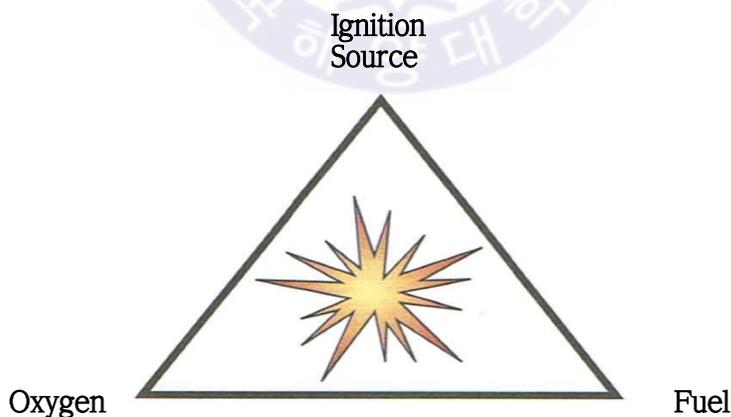


Fig. 2.1 Triangle of Explosion

산소(Oxygen)는 우리가 숨 쉬는 공기 가운데 21%를 차지하고 있어 폭발에 쉽게 이용될 수 있으며 산소를 제거하는 것으로서 화재 또는 폭발을 방지할 수 있지만, 실현되기엔 현실성이 부족하다.

연료(Fuel)는 점화될 수 있는 가스, 증기 그리고, 가연성 분진의 세 가지 형태로 가진다.

점화원(Ignition source)은 가연성 물질 혹은 폭발성 분위기에 불을 붙일 수 있는 근원을 말하며, 점화원의 종류는 전기적 아크 및 스파크(용접 아크 포함), 기계적 스파크(충격 및 마찰), 화염, 고온 표면, 정전기, 낙뢰, 고온 가스, 레이저, 초음파 등으로 다양하다. 그러므로 산업 플랜트에서 점화원을 모두를 제거하는 것은 불가능하다.^[7]

2.1.2 위험구역의 분류 (Hazardous Area Classification)

위험구역 분류는, IEC 60079-10에 따라 폭발성 가스의 누출 가능성, 가스의 누출량, 공기의 흐름 그리고 인위적인 배기 시스템 등을 고려해서 ZONE 0, ZONE 1, ZONE 2로 구분된다.

ZONE 0은 가연성 공기와 위험 가스, 증기 그리고 연무가 지속해서 또는 장기간 빈번하게 존재하는 영역을 말한다. 미국 석유협회 기준에 의하면 폭발성 가스 노출 시간이 1,000 h/년 이상인 지역을 ZONE 0으로 규정한다. 주요 장소로는, 밀폐된 프로세스 용기의 증기 공간, 밀폐된 저장 탱크와 컨테이너 등이 있다.

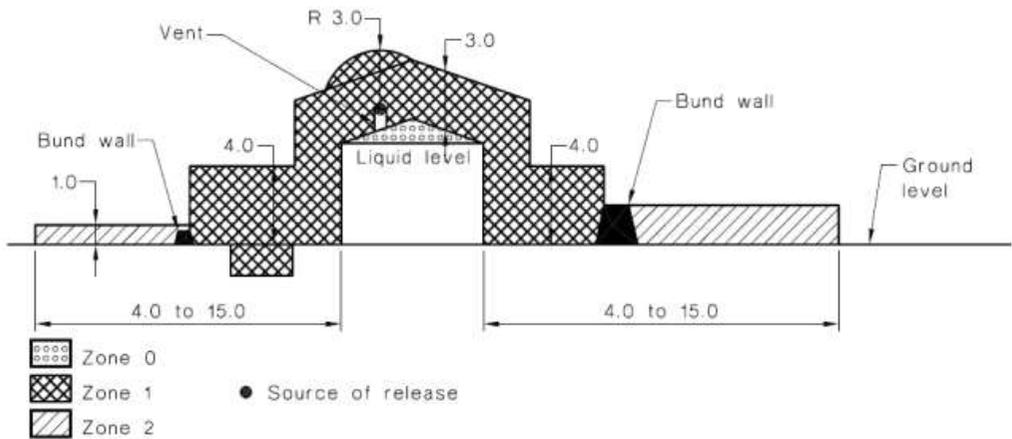
ZONE 1은 가스, 증기 또는 연무 형태의 가연성 물질과 공기의 혼합물로 구성된 폭발성 대기가 정상 작동에서 때때로 발생할 수 있는 영역으로, 미국 석유협회에서는 노출 시간이 10 h/년 이상 ~ 1,000 h/년 미만 지역을 ZONE 1로 규정한다. 주요 장소는, ZONE 0 부근과 원료 투입 또는 제품 인출 작업 공간, 생산 공정이나 저장시설 등에서 설비 결함으로 폭발 위험성 물질이 방출될 가능성이 있는 지역이다.

ZONE 2는 가연성 물질과 공기의 혼합물로 구성된 폭발성 대기가 정상적인 작

동에서는 발생하지 않지만, 발생하면 짧은 시간 동안만 지속하는 영역이다. 미국 석유협회 기준으로 노출 시간이 10h/년 미만이다. 주요 장소로는, 통풍이 잘되는 지역에서 비정상 상태로 가스 또는 증기가 분산되는 곳으로 플랜지와 밸브 등이 설치된 지역이다.

Fig. 2.2는 인화성 액체가 든 고정식 루프 환기형 탱크의 예로, 탱크 내부의 액체 표면에서 증기가 연속 배출되어 탱크 내 증기 공간에 영역 ZONE 0이 형성된다. 특히 탱크가 가득 차 있거나 채우는 동안 햇빛이 탱크를 가열하여 증기 공간의 증기가 팽창될 때, 정상 가동 중 정기적으로 탱크 벤트에서 증기가 배출되어 방벽이 있는 구역 끝단까지 연장된 탱크 벤트 주위에 ZONE 1구역이 형성된다. 증기가 공기보다 무겁기 때문에 탱크에서 배출된 증기가 가라앉고 증기를 날려 보내거나 희석시킬 바람이 없을 때는 탱크 주변 방벽에 모이기 때문에 ZONE 1구역으로 방벽과 그 위 공간이 포함된다.

정상 가동 중에는 증기가 공기 움직임에 의해 희석되어 멀리 날아가 버리기 때문에 방벽 바깥에 상당량의 증기가 있을 거라고는 예상하지 않는다. 하지만 탱크가 과충전 또는 누출되는 경우 방벽 내에 인화성 액체가 있고 위험한 농도의 증기가 방벽을 넘어서 발견될 가능성이 크다. 이는 정상 가동이 아닌 예측 가능한 고장이므로 이를 설명하는 방벽 바깥의 ZONE 2구역으로 분류된다. 그리고, ZONE 2의 크기는 탱크 누출 시 방벽 안으로 들어오는 액체량인 탱크 용량에 따라 결정된다.



DIMENSIONS IN METRES

Fig. 2.2 Fixed roof vented storage tanks, adequately ventilated ¹⁸¹

위험 지역의 그룹(Group)은 인화성 물질의 특성에 따라 결정된다. 위험구역용 전기 장비는 사용 구역에 따라 다른 인증을 받으며 이에 맞게 표시된다. 이 표시를 장비 그룹 또는 간단히 그룹이라고 한다.

- 그룹 I: 폭발성 가스에 민감한 광산에 사용하는 장비(지하 탄광)
- 그룹 II: 가스, 증기 및 연무가 있는 곳에 사용하는 장비(지상 산업 시설)
- 그룹 III: 가연성 분진(combustible dust)이 있는 곳에 사용하는 장비

그룹 II는 3개 서브 그룹인 IIA, IIB 및 IIC로 구분되며 가스 및 증기가 생성되는 폭발 압력과 발화시키는데 필요한 에너지를 근거로 구분된다. Table 2.1은 가스 그룹별 온도 등급, 점화 온도, 하한 폭발 한계 (LEL, Lower explosion limit)와 상한 폭발 한계 (UEL, Upper explosion limit)를 나타내는 표이다.

Table 2.1 The gas grouping table ^[9]

Group	Gas or vapor	Temp. class	Ignition temperature (°C)	Lower explosion limit	Upper explosion limit
I	Methane		595	5.0	15.0
IIA	Acetaldehyde	T4	140	4.0	57.0
	Acetone	T1	535	2.5	13.0
	Ammonia	T1	630	15.0	28.0
	Amyl alcohol	T3	300	1.3	10.5
	Butane	T2	365	1.5	8.5
	Benzene	T1	560	1.2	8.0
	Butanol	T2	340	0.8	5.8
	Butylacetat	T2	370	1.2	75.0
	Cyclohexane	T3	259	1.2	8.3
	Cyclohexanone	T2	419	1.3	9.4
	Decane	T3	205	0.7	5.1
	Ethane	T1	515	3.0	15.5
	Ethanol	T2	425	3.5	15.0
	Ethyl acetate	T1	460	2.1	11.5
	Ethyl chloride	T2	510	3.6	14.8
	Heptane	T3	215	1.1	6.7
	Hexane	T3	233	1.2	7.4
	Hydrogen sulfide	T3	270	4.7	46.0
	Carbon monoxide	T1	605	12.5	74.0
	Chloro benzene	T1	638	1.3	11.0
	Methane	T1	595	5.0	15.0
	Methanol	T1	455	5.5	26.5
	Naphthalene	T1	528	0.9	5.9
Nonane	T3	205	0.7	5.6	
Ethylene	T2	425	2.7	34.0	
IIIB	Ethylene oxide	T2	440	3.0	100.0
	Ethylether	T4	170	3.0	50.0
	Tetrahydrofurane	T3	224	1.5	12.0
IIC	Acetylene	T2	305	1.5	82.0
	Hydrogen	T1	560	4.0	75.6
	Carbon disulfide	T5	102	1.0	50.0

위험구역의 온도 등급은 과열되지 않는 장비를 선택할 수 있도록 자연 발화 온도와 관련된 정보에 의해서 결정된다. 구역 관점에서는 폭발 방지를 위한 최대 허용 온도를 나타내고, 장비 측면에서는 장비가 발생할 수 있는 최대 온도에 근거한 온도 등급을 표시한다. Table 2.2는 점화 온도별 온도 등급과 온도 등급에 따른 허용 장비 온도 등급을 나타낸 표이다.

Table 2.2 Maximum surface & ignition temperatures by temperature class

Temperature class required by the area classification	Ignition temperature of gas or vapour in °C	Allowable temperature classes of equipment
T1	> 450	T1 - T6
T2	> 300	T2 - T6
T3	> 200	T3 - T6
T4	> 135	T4 - T6
T5	> 100	T5 - T6
T6	> 85	T6

2.1.3 방폭 기기의 분류

위험구역 시설에 가장 널리 사용하는 통제 조치 가운데 하나는 방폭 전기 장비를 사용하는 것이다. 이 장비는 장비 작동 과정에서 화재 삼각형의 3개 요소가 공존하지 않도록 특수 설계한 전기 장비이다.

1) 내압 방폭 기기 (Flameproof Enclosure, ‘Ex d’)

용기(Enclosure) 내 폭발이 발생 시, 용기가 내부 폭발을 견디며 접합면 및 개구부를 통해 외부에 인화될 우려가 없는 기기이다. 주로 인클로우저, 모터, 스위치 등에 많이 적용되며, 주로 강철로 만들어진다. 장비의 가격이 비싸고, 많은 유지 보수가 필요한 특징을 가지고 있다.

2) 압력 방폭 기기 (Pressurized Enclosure, ‘Ex p’)

압력 방폭 구조는 용기 내부에 신선한 공기 또는 불활성 가스를 밀어 넣어 내부압력을 유지 시킴으로써 폭발성 가스 또는 증기가 용기 내부로 유입되지 않도록 한 방폭 기기를 말한다. Fig. 2.3은 압력 방폭 장비이다.



Fig. 2.3 Photo of pressurized enclosure

3) 유입 방폭 기기 (Liquid Immersion, ‘Ex o’)

폭발성 대기를 발화시킬 수 있는 부품을 오일 또는 기타 비가연성 절연 액체에 담겨 오일면 상부 그리고 인클로저 외부의 가스 및 증기가 전기 아크, 오일 레벨 아래에서 발생하는 스파크 또는 뜨거운 잔류 물에 의해 발화되지 않도록 하는 방폭 기기이다. Fig. 2.4.는 대표적인 유입 방폭 기기로 유입식 변압기이다.

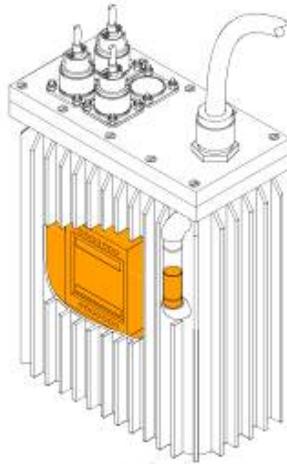


Fig. 2.4 Photo of oil filled transformer

4) 안전증 방폭 기기 (Increased Safety, 'Ex e')

안전증 방폭 기기의 기본 개념은 더 높은 수준의 보호를 제공하는 것으로, 전기 장비의 내부 및 외부 부품에서 허용할 수 없는 고온, 스파크, 전기 스파크를 확실하게 방지 할 수 있는 기기이다.

5) 본질안전 방폭 기기 (Intrinsic Safety, 'Ex i')

본질안전 방폭 기기는 본질 안전 회로 요구 사항을 충족하는 회로만을 가지는 기기이다. 회로 구성에 따라 Zone 0, 1, 2 지역에 구분하여 사용할 수 있다. 본질적인 방폭 구조는 폭발성 분위기가 폭발을 일으키는 데는 전기불꽃 및 정전기와 같은 점화원에 의해 최소점화 에너지가 주어질 필요가 있다는 개념을 기초로 하여, 최소점화 에너지 이상의 전기 및 열에너지를 방출할 수 없는 장비와 배선을 의미한다^[7].

6) 충전 방폭 기기 (Powder Filling, ‘Ex q’)

충전 방폭 기기는 점화원을 발생시킬 수 있는 전기기기를 용기 내부에 고정하고, 충전재로 충전함으로써 폭발성 분위기 유입을 차단하여 폭발이 일어나지 않도록 방지하는 방폭 구조이다.

7) 몰드 방폭 기기 (Encapsulation, ‘m’)

불꽃이나 열에 의해 폭발성 대기를 발화시킬 수 있는 부품을 폭발성 대기의 점화를 방지하기 위해 물리적, 전기적, 기계적, 화학적 영향에 강한 화합물로 구성되어 있는 컴파운드로 캡슐화하여 폭발이 일어나지 않도록 보호하는 방폭 구조이다.

2.1.4 연구 동향

국내에서 방폭 관련 연구 활동은 방폭 장비의 인증 및 구조에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 특히, 방폭 LED 전등 특성화 대학원에서는 전등에 적용할 수 있는 방폭 기술에 관한 활발한 연구가 이루어지고 있다. 주요 연구로는, LED 방폭 조명 설계 및 조명 특성에 관한 연구^[7] 그리고 방폭용 LED Signal Lamp 구동 시스템의 성능개선^[12] 등에 관한 연구가 있었다.

2018년에 발표된 “방폭 전기설비 적용의 법적 대상 구분”^[5]에서는 산업안전보건법 제49조의 2의 규정에 따른 방폭 설비의 법적 적용 대상에 관한 연구가 있었으며, 국제전기위원회(IEC)에서 발표한 국제규격(IEC 60079)과 노동부에서 발표한 방호장치 의무안전인증 고시에 따른 전기기기의 인증절차에 관한 연구^[13] 와 인증 과정에서의 문제점에 대한 논문^[14]도 발표되었다.

국외 연구 활동으로는 미국 NFPA(National Fire Protection Association)와 EU의 방폭 규정에 대한 비교^[26] 및 지역별 상호 인증 장비의 호환성에 관한 연구 그리고, 산업 특성에 따른 방폭 구조 기술에 대한 연구^[27] 등이 이루어지고 있

다. 노르웨이 베르겐 대학에서는 내압 방폭 기기의 프레임패스 겹 표면 (Flamepath Gap surface)에 발생한 주요 손상이 내압방폭 기능에 미치는 영향에 관한 연구를 하였다^[28]. 그리고, 국외에서도 방폭 장비의 ATEX 인증절차에 관한 연구^[15] 등이 있었다.

다양한 방폭 관련 연구 논문이 있으나, 대부분 논문이 방폭 구조 및 방폭 이론, 국가 및 지역 간 방폭 규정 비교, 방폭 인증절차에 관련된 것이고 방폭 검사 및 방폭 검사 프로세스에 관한 연구는 미비하였다.

본 연구에서는, 복잡한 해양플랜트 건조 과정 중에 진행되는 방폭 검사 프로세스를 분석하여 문제점을 발견하고, 나아가 개선 방안을 찾는 것을 연구하였다.



2.2 프로세스 마이닝

2.2.1 개요

프로세스 마이닝은 기록되어 있는 이벤트 로그를 분석하여 의미 있는 정보를 찾아내는 것을 목적으로 하는 기술로 빅데이터 시대의 기업 경영 관리에 필수적이다. 프로세스 로그 분석은 프로세스에 대한 통찰, 병목점 식별 및 문제 예측, 업무 수행 규정 위반 검사 및 대책 권고, 프로세스 간소화 등 매우 다양한 목적으로 활용될 수 있다. 즉, 프로세스의 액티비티 실행 과정에서 누적된 기록을 통하여 프로세스의 개선이나 설계에 필요한 유용한 지식을 추출하는 것이다. 프로세스 저장소의 실행 결과 및 이벤트에 관한 로그를 추출하여 기존의 통계 기법, 인공지능 기법, 사회적 네트워크 기법 등을 이용하여 분석함으로써, 프로세스 모델을 유도하거나, 업무의 상관관계, 작업자의 업무 전달 관계 등 프로세스 수행상의 특징을 분석한다^{[4][10]}. Fig. 2.5는 프로세스 마이닝의 핵심 개념을 나타낸다. 소프트웨어 시스템에 기록된 이벤트 로그(Event logs)를 기반으로 프로세스 모델을 만들고, 분석된 결과는 다시 프로세스에 적용된다.

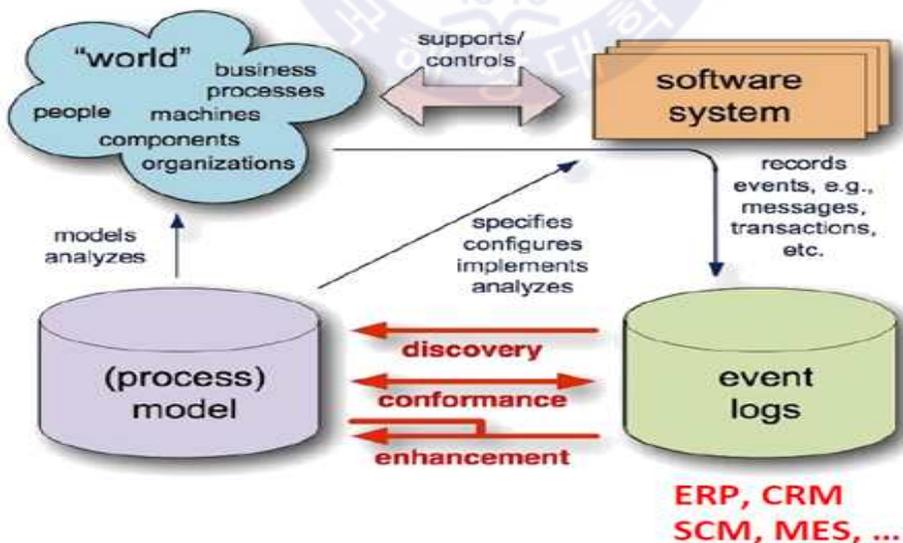


Fig. 2.5 Schematic of process mining ^[4]

2.2.2 프로세스 마이닝의 유형

프로세스 마이닝은 Fig. 2.6과 같이 주요 세 가지 유형으로 나타낼 수 있다. 첫 번째, 프로세스 도출(Process Discovery)은 관리 시스템에서 이벤트 로그를 기반으로 프로세스 모델을 만드는 것을 말한다. 이는 프로세스 마이닝의 출발점으로 이벤트 로그만을 이용하여 어떠한 기타 정보 없이 프로세스 모델을 만든다. 두 번째, 프로세스 모델의 적합도 검사(Conformance checking)는 새로 도출된 프로세스 모델과 기존 모델에서 생성된 이벤트 로그를 비교하여 프로세스 모델에 대한 신뢰도를 확인하는 것이다. 적합성 검증을 통해 정제되어 있는 작업, 불필요한 재작업의 발견과 같은 프로세스 관점에서의 성과 분석을 수행할 수 있다. 세 번째, 프로세스 모델의 개선(Enhancement)은 이벤트 로그로 확인된 프로세스를 평가하여, 프로세스 모델을 개선 및 향상하는 것이다. 적합도 검사는 모델과 현실 사이의 정합성을 측정하는 반면에, 모델의 개선 및 향상은 이전 모델을 바꾸거나 확장하는 것을 목표로 한다. 지속적인 개선은 기존 프로세스의 혁신을 통해 변화하는 환경에 효과적으로 대응하기 위함으로 프로세스의 문제점을 정확히 파악하는 것이 매우 중요하다. 프로세스 마이닝 기술의 활용 관점에서는 이 세 가지 유형이 모두 단계적으로 이루어질 때 큰 의미를 가진다^[11,22].

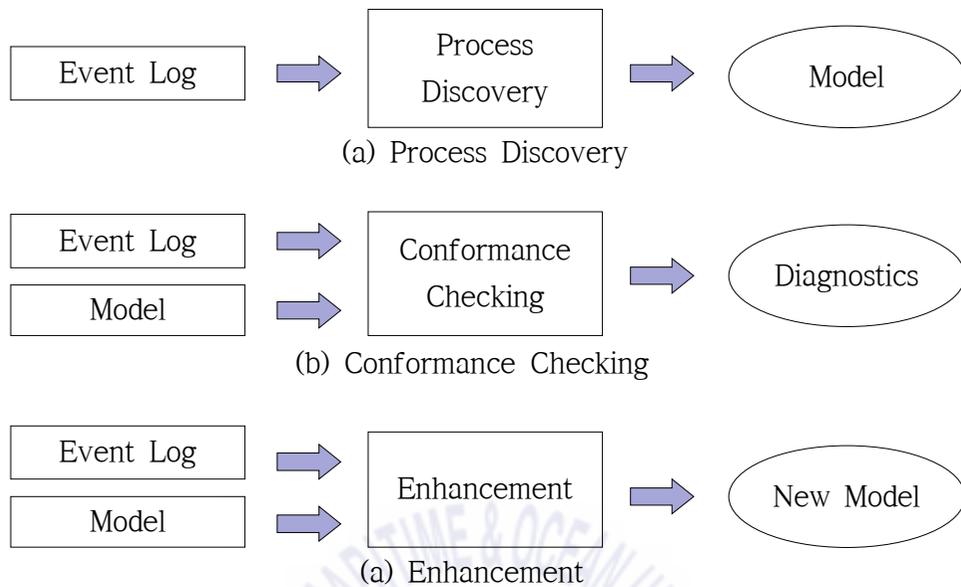


Fig. 2.6 Three types of process mining

세 가지 프로세스 마이닝 유형은 프로세스 마이닝의 가장 기본이 되는 데이터 형태인 이벤트 로그를 기반으로 만들어진다. 데이터 소스(Data source)는 서로 다른 정보시스템의 구축 환경에 따라 다양하게 선택될 수 있다. 단일 엑셀 시트, 트랜잭션 로그, 데이터베이스의 테이블 등이 데이터 소스의 종류에 해당한다. 이벤트 로그로 활용 가능한 형태의 단일 엑셀 시트나 잘 구조화된 데이터 소스의 경우 별도의 복잡한 ETL(Extract, Transform, and Load) 과정이 필요하지 않다. 그러나 많은 경우에 매우 복잡한 ETL 과정이 필요하며, 프로세스 마이닝을 적용하기 위한 목적과 활용 방법에 따라 데이터 소스는 다르게 선택될 수 있다. 추출된 이벤트 로그는 그 자체로도 프로세스 마이닝을 통해서 활용될 수 있지만, 데이터의 필터링을 통해 프로세스 마이닝의 목적에 맞는 이벤트 로그로 재구성될 수 있다^[24].

Table 2.3 Features of Event logs

Item	Description
Case ID	Unique identifier where the events can be ordered.
Activity	A well-defined step in some work flow/process.
Timestamp	The date and time at which something worthy of note happened.

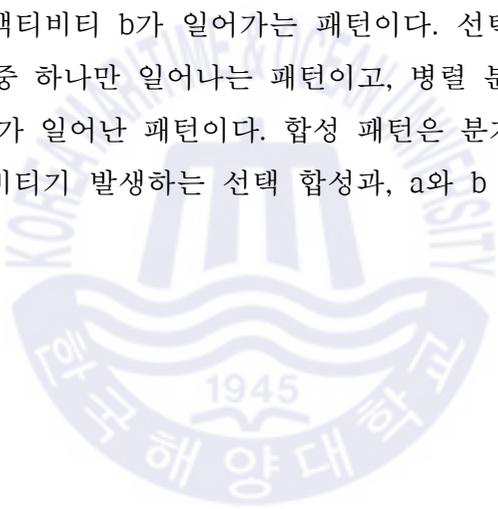
이벤트 로그는 Table 2.3과 같이 Case ID, Activity, Timestamp 등의 속성을 가지고 있다. 위 세 가지의 필수적인 요소 외에도 리소스(Resource), 관계 정보(Transaction information) 등을 포함 할 수 있다.

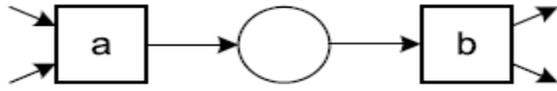
$$L_1 = [\langle a, b, c, d \rangle^3, \langle a, c, b, d \rangle^2, \langle a, e, d \rangle] \quad (2.1)$$

식 2.1은 이벤트 로그의 주요 표시 형태이다. <>는 케이스 내에서 발생한 액티비티의 패턴을 말한다. 즉, <a,b,c,d>는 케이스 내에서 액티비티 a,b,c,d 순서대로 액티비티가 발생했다는 것이다. 이 하나의 패턴을 트레이스(trace)라고 한다. <> 위에 있는 숫자는 해당 패턴을 보이는 케이스가 일어난 횟수를 의미한다. 즉, 전체 이벤트 로그에서 <a,b,c,d> 패턴을 보인 케이스가 3개, <a,c,b,d> 패턴을 보인 케이스가 2개, <a,e,d> 패턴을 보인 케이스가 1개라는 뜻한다.

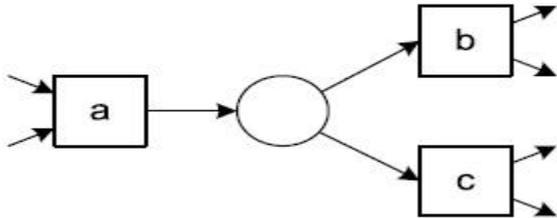
2.2.3 주요 분석 기법 및 관점

프로세스 마이닝으로 프로세스 모델을 발견하기 위한 대표적인 알고리즘은 알파 마이닝(Alpha mining), 휴리스틱 마이닝(Heuristic mining), 퍼지 마이닝(Fuzzy mining)이다. 첫 번째로, 알파 마이닝은 이벤트 로그로부터 프로세스 모델을 찾는 가장 기본이 되는 기법이다. 기본으로 총 5가지의 패턴으로 프로세스 모델을 도출한다. 순차적 흐름(sequential flow), 선택 분기(XOR-split), 병렬 분기(AND-split), 선택 합성(XOR-join), 병렬 합성(AND-join)을 포함하여 프로세스 모델을 도출한다. Fig. 2.7은 5가지 패턴을 나타낸다. 순차적 흐름은 단순히 액티비티 a 다음에 액티비티 b가 일어난다는 패턴이다. 선택 분기는 a가 일어난 후, b와 c 액티비티 중 하나만 일어난다는 패턴이고, 병렬 분기는 a가 일어난 후, b와 c 액티비티 모두가 일어난다는 패턴이다. 합성 패턴은 분기와 반대로 a 혹은 b가 일어나면 c 액티비티가 발생하는 선택 합성과, a와 b 모두가 일어나야 c가 일어난다는 패턴이다^[25].

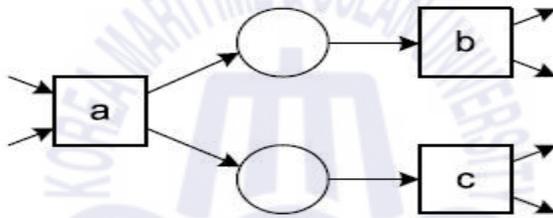




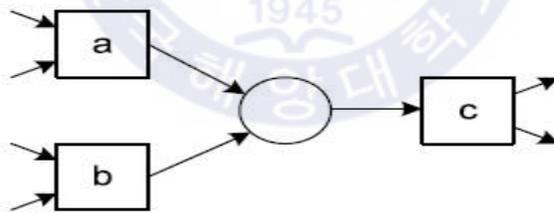
(a) Sequence pattern



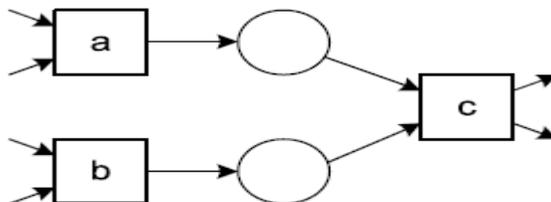
(b) XOR-split pattern



(c) AND-split pattern



(d) XOR-join pattern



(e) XOR-join pattern

Fig. 2.7 Principle patterns of alpha algorithm

두 번째로 휴리스틱 마이닝은 알파 알고리즘 이후 두 번째로 개발된 알고리즘으로 Ton Weijters 박사에 의해 개발되었다. 경험을 기반으로 주어진 문제를 해결하거나 학습 또는 발견하는 분석기술을 말한다. 한정된 시간 내에 업무를 수행하기 위해 최적보다는 현실적으로 적합한 수준의 해결방안을 도출한다. 하지만 휴리스틱 기법은 해결하려는 문제별로 그 특성에 맞게 해법을 개발해야 하는 어려움이 있다^[21,25]. 프로세스 표현 방식은 Fig. 2.8과 같이 액티비티 사이의 횡수(Frequency)와 종속(Dependency)관계를 나타낼 수 있는 디펜던시 그래프(Dependency graph)로 표시된다. a와 b의 관계에서 a 액티비티 이후 b 액티비티가 총 5회 발생하였고, 종속 값은 0.83이 된다. 아래 식 2.2는 종속관계를 나타내는 식이다. $|a \Rightarrow b|$ 는 a 바로 다음에 b가 일어난 횡수를 의미한다.

$$|a \Rightarrow b| = \begin{cases} \frac{|a > b| - |b > a|}{|a > b| + |b > a| + 1} & \text{if } a \neq b \\ \frac{|a > a|}{|a > a| + 1} & \text{if } a = b \end{cases} \quad (2.2)$$

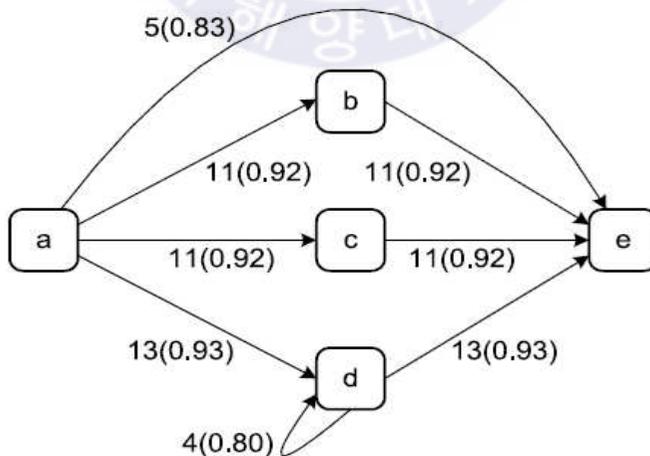


Fig. 2.8 Dependency graph

세 번째로 퍼지 마이닝은, 2007년 Fluxicon의 공동 설립자인 Christian W. Gunther에 의해 개발되었다. 많은 프로세스 디스커버리 알고리즘들은 정제되지 않은 실생활 데이터로 인해, Fig. 2.9과 같은 복잡한 ‘Spaghetti’ 모델을 도출하는 고질적인 문제를 가지고 있다^[21,22].

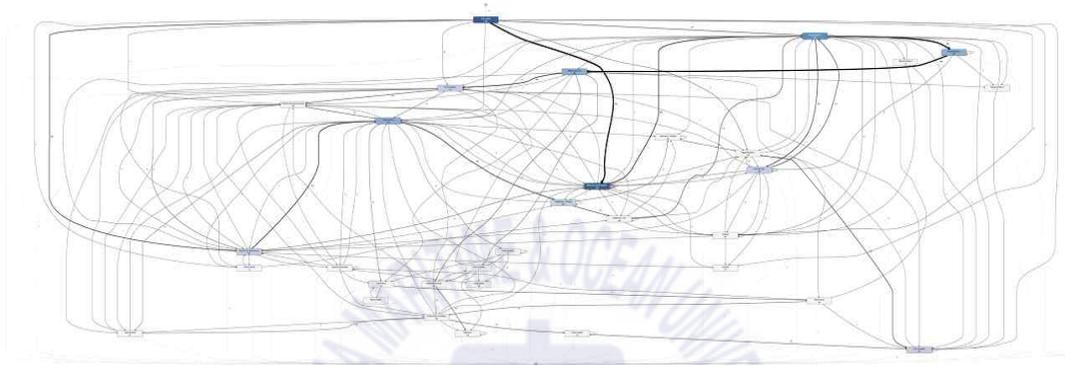


Fig. 2.9 Spaghetti model

이런 문제점을 해결하기 위해, 애매한 문제의 답을 정량적으로 표현하기 위해서 0과 1 사이의 수로 표현하여 데이터로부터 의미 있는 정보를 추출하는 기법이다^[21,22]. 따라서, 모든 액티비티와 관계선(Edge)를 표현하기보다, 중요도(Significance)와 상관관계(Correlation)을 고려하여 불필요한 관계선(Edge)를 합하거나 생략하여 간단하게 표현하는 기법이다.

$$util(A, B) = ur * sig(A, B) + (1 - ur) * cor(A, B) \quad (2.3)$$

식 2.3은 관계선을 필터링하기 위한 수식이다. ur는 utility ratio의 값으로 0과 1 사이의 값으로 지정한다. 그리고, 컷오프 파라미터(Cutoff parameter)에 의해 지정된 값 이하의 값은 필터링한다. 이를 통해 복잡한 대용량의 데이터라도 직관적으로 프로세스 모델을 도출한다.

프로세스 마이닝 기법을 이용한 프로세스 모델의 도출은 제어-흐름 관점(control-flow perspective)을 활용의 기초로 한다. 제어-흐름 관점은 프로세스를 구성하는 액티비티들의 연결(path)을 도식화하고, 복잡한 프로세스 경로의 특징을 찾아 이를 효과적으로 표현하는 것에 목적이 있다. 그러나 프로세스 발견은 제어-흐름 관점에만 국한되지 않는다. 프로세스 모델의 확장에 따라 다양한 관점을 추가하여 분석에 활용할 수 있으며, 다양한 관점의 활용은 이벤트 로그 데이터로부터 시작된다^[23].

1) 제어-흐름(Control-flow) 관점

제어-흐름 관점은 이벤트 로그로부터 프로세스를 구성하는 업무, 작업, 행위 등의 액티비티 실행 순서에 따른 프로세스 모델을 도출한다^[22].

2) 조직(organizational or resource) 관점

조직 관점의 프로세스 마이닝 기법 활용은 액티비티를 수행한 리소스를 대상으로 분석함에 그 목적이 있다. 업무의 패턴, 조직의 구조, 업무 이양 관계를 표현하는 소셜 네트워크 등의 도출 및 분석을 통해 조직 관점에서의 통찰력을 획득할 수 있다^[22].

3) 케이스(Case) 관점

케이스 관점의 프로세스 마이닝 기법의 활용은 실행된 각 케이스의 각종 속성(attributes)에 초점을 둔다. 액티비티의 연결 관계 및 업무 수행성과 등에 따라 케이스를 분류하고, 같거나 유사한 패턴의 케이스집단(variant)을 도출하고 이에 대한 특징에 대해 분석할 수 있다^[22].

4) 시간(time) 관점

시간 관점의 프로세스 마이닝 기법의 활용은 이벤트가 발생한 시점을 기반으로 이벤트 발생 빈도와 함께 시간에 따른 프로세스 성과 관련 분석에 초점을 둔다. 이로부터 케이스 수행 시간, 작업 단위별 수행 시간, 작업 간 대기 시간 등을 분석할 수 있으며 나아가 병목점 도출 및 시스템 가동률, 업무 진행 상황에 대한 통찰력을 획득할 수 있다^[22].

2.2.4 연구 동향

기존에는 프로세스를 분석하고 개선을 하기 위해서, 빅데이터로부터 유용한 정보를 추출하여 의미 있는 규칙이나 패턴을 찾는 데이터 마이닝 기법이 많이 이용되었다. 그러나 최근 유럽에서 실제 데이터, 즉 이벤트 로그 데이터를 활용한 프로세스 마이닝 관련된 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 한국, 호주, 중국에서도 연구가 활발히 진행 중이다. Fig. 2.10과 같이 연구 관점에 따라 프로세스를 분석할 수 있는데 조직 관점에 대한 분석으로는 이벤트 로그에서 업무 수행자/리소스 사이의 관계를 도출하는 소셜 네트워크 마이닝, 업무 관점에서 부서 관계나 팀 관계를 도출하는 조직(organizational) 마이닝, 업무 수행자/리소스가 어떻게 작업에 할당되는지에 대한 패턴을 도출하는 스태프 어사인먼트(staff assignment) 마이닝 기법이 활용된다. 또한 업무 성과 관점에서는 프로세스 관점에서 업무의 수행 시간, 병목점 등을 도출하는 페트리넷 기반 퍼포먼스 분석(performance analysis with petri-net), 업무의 수행 패턴을 도출하는 시퀀스 패턴(sequence pattern)분석, 이벤트 로그의 전반적인 모습 및 패턴 파악에 유용한 Dotted chart 분석 기법이 사용된다.

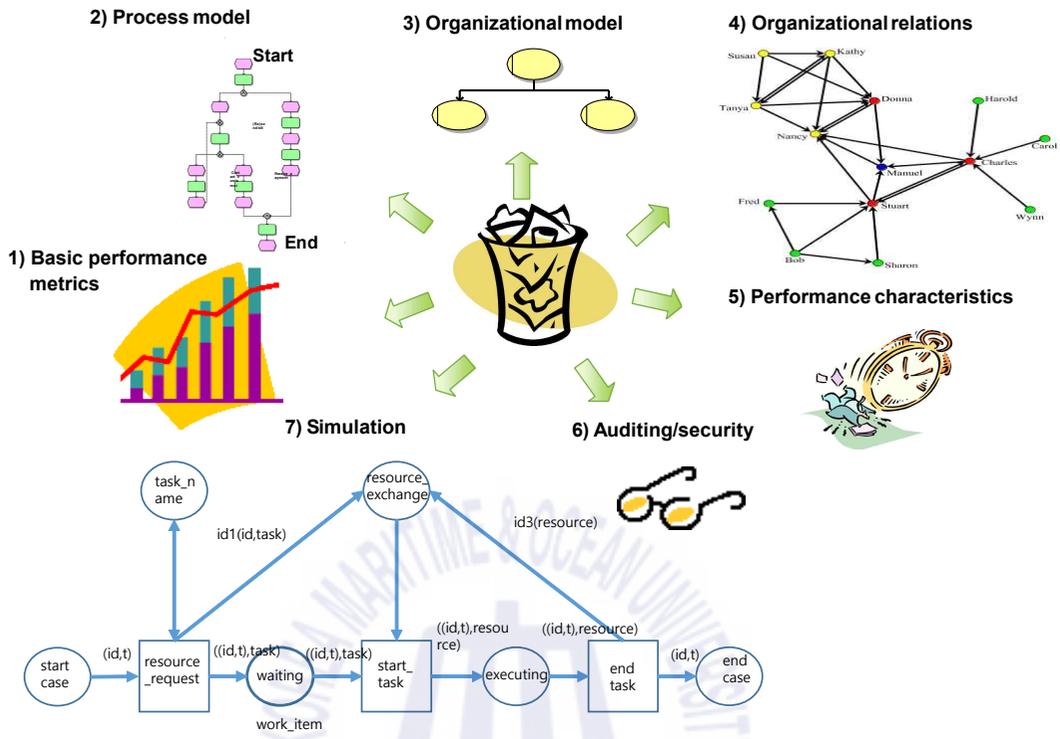


Fig. 2.10 Process mining overview

국내의 경우 삼성전자, 현대중공업 등의 국내 기업들의 관심이 점점 높아지고 있고, 대학 연구소, 연구기관 등에서도 관련 연구가 활발하게 이루어지고 있다. Table 2.4는 프로세스 마이닝을 이용한 분석사례이다. 주요 사례는 항만 물류 분야에서는 컨테이너 관리 프로세스 분석, 제조 분야에서는 모터 생산 공정을 분석하여 계획과 실적 비교 등이 있다^[16].

Table 2.4 Process Mining Application Project

Sector	Description
Port Logistic	Container management process
Manufacturing	Motor production process to compare plans and performance
Ship building	Block assembly process
Department store	Analyze the distribution of store and marketing method based on customer's movement
Education curriculum	Comparing the standard curriculum and student enrollment patterns through the course completion data
Sport	How to find the pitcher's pitching pattern based on the pitching record and how the pitcher can attack in each situation

국내 조선 산업에서도 ERP(Enterprise Resource Planning) 등의 업무 처리 시스템에서 기록되는 빅데이터의 이벤트 로그 분석을 통해 공정상 병목현상이 어디에서 발생하는지 파악하고, 프로세스를 개선하여 상당한 비용 절감을 한 사례가 발표되었다. 최근에는, 배관 재제작 공정 관리방법 및 선박 블록 조립 공정 개선 등에 관한 연구가 이루어지고 있다. 프로세스 마이닝은 점차, 발견된 프로세스 모델을 기반으로 문제를 발견하고 해결하는 방향, 그리고 나아가 프로세스의 결과와 미래를 예측하는 방법론을 개발하는 쪽으로 무게 중심이 옮겨가고 있다^[17].

본 연구에서는, 제작 공정에 비해 국내에서 많은 연구가 이루어지지 않는 해양플랜트 품질 공정에 대하여 프로세스 마이닝으로 분석한다. 분석한 결과를 고찰하고 개선 방안에 관하여 연구하였다.

제 3 장 방폭 검사 프로세스

3.1 방폭 검사

3.1.1 검사의 유형

방폭 검사의 유형은 IEC 60079-17에 명기된 바와 같이 크게 세 분류로 구분된다.

1) 초기 세부 검사(Initial Detailed Inspection)

장비를 운영하기 전에, 전기 장비의 설치 및 시스템 전체를 검사하는 것을 말한다. 초기 세부 검사는 실제 완료된 방폭 장비, 즉 최종 시운전 이외의 장비에 대한 추가 작업이 필요하지 않은 경우에만 수행할 수 있으며, 적절한 훈련을 받은 직원이 수행해야 한다.

2) 주기적 검사 (Periodic Inspection)

모든 방폭 장비는 장비 공급업체에서 제공한 품질 관리 매뉴얼에 따라, 시스템 및 설치에 대한 검사를 정기적으로 수행된다. 또한, 특별한 환경과 운영을 고려하여 시설 운영자에 의해 결정되기도 한다.

3) 샘플 검사 (Sample Inspection)

공급된 장비 중, 시스템 및 설비 일부에 대한 실시하는 검사이다.

3.1.2 검사 등급

검사 등급은 시각적 (V), 근접 (C) 또는 상세 (D)의 3가지 등급으로 구분된다. Table 3.1은 내압 방폭 구조, 안전중 방폭 구조 그리고 Table 3.2는 본질 안전 방폭 구조에 대하여, IEC 60079-17에서 요구하는 주요 검사 항목을 나타낸 표이다. “X” 로 표기된 항목이 검사가 요구되는 항목을 나타낸다. 육안 검사 및 근접 검사는 장비 운영 중에도 수행할 수 있고, 상세 검사는 일반적으로 장비가 전원으로부터 차단된 경우에 실시한다.

1) 육안 검사 (Visual Inspection)

육안 검사는 장비를 검사하기 위한 도구나 장비를 사용하지 않고 볼트가 빠지는 등의 결함을 눈으로 확인하는 검사이다.

2) 근접 검사 (Close Inspection)

육안 검사에서 다루는 검사를 포함하며, 볼트 풀림과 같은 결함을 확인하기 위함이다. 필요한 경우 도구와 장비를 사용할 수 있지만, 일반적으로는 장비를 열거나 장비의 전원을 차단하지 않고 실시한다.

3) 상세 검사 (Detailed Inspection)

상세 검사는 근접 검사에서 포함하는 모든 항목을 검사하고, 장비를 열어 도구 및 테스트 장비를 사용하여 확인할 수 있는 터미널의 조임 상태 등의 결함을 확인한다.

Table 3.1 Inspection schedule for “Ex d” and Ex “e” [18]

Check That : X = required		Ex “d”			Ex “e”		
		Grade of inspection					
		D	C	V	D	C	V
A	GENERAL (ALL EQUIPMENT)						
1	Equipment is appropriate to the EPL/Zone requirements of the location	X	X	X	X	X	X
2	Equipment group is correct	X	X		X	X	
3	Equipment temperature class is correct (only for gas)	X	X		X	X	
4	Equipment maximum surface temperature is correct						
5	Degree of protection (IP grade) of equipment is appropriate for the level of protection / group / conductivity	X	X	X	X	X	X
6	Equipment circuit identification is correct	X			X		
7	Equipment circuit identification is available	X	X	X	X	X	X
8	Enclosure, glass parts and glass-to-metal sealing gaskets and/or compounds are satisfactory	X	X	X	X	X	X
9	There is no damage or unauthorized modifications	X			X		
10	There is no evidence of unauthorized modifications		X	X		X	X
11	Bolts, cable entry devices (direct and indirect) and blanking elements are of the correct type and are complete and tight						
	- physical check	X	X		X	X	
	- visual check			X			X
12	Threaded covers on enclosures are of the correct type, are tight and secured						
	- physical check	X	X				
	- visual check			X			
13	Joint surfaces are clean and undamaged and gaskets, if any, are satisfactory and positioned correctly	X					
14	Condition of enclosure gaskets is satisfactory	X			X		
15	There is no evidence of ingress of water or dust in the enclosure in accordance with the IP rating	X			X		
16	Dimensions of flanged joint gaps are: within the limits in accordance with manufacturer’ s documentation or within maximum	X					

	values permitted by relevant construction standard at time of installation or within maximum values permitted by site documentation							
17	Electrical connections are tight				X			
18	Unused terminals are tightened				X			
19	Enclosed-break and hermetically sealed devices are undamaged							
20	Encapsulated components are undamaged				X			
21	Flameproof components are undamaged				X			
22	Breathing and draining devices are satisfactory	X	X		X	X		
	EQUIPMENT SPECIFIC (LIGHTING)							
23	Fluorescent lamps are not indicating EOL effects				X	X	X	
24	HID lamps are not indicating EOL effects	X	X	X	X	X	X	
25	Lamp type, rating, pin configuration and position are correct	X			X			
	EQUIPMENT SPECIFIC (MOTORS)							
26	Motor fans have sufficient clearance to the enclosure and/or covers, cooling systems are undamaged, motor foundations have no indentations or cracks.	X	X	X	X	X	X	
27	The ventilation airflow is not impeded	X	X	X	X	X	X	
28	Insulation resistance (IR) of the motor windings is satisfactory	X			X			
B	INSTALLATION - GENERAL							
1	Type of cable is appropriate	X			X			
2	There is no obvious damage to cables	X	X	X	X	X	X	
3	Sealing of trunking, ducts, pipes and/or conduits is satisfactory	X	X	X	X	X	X	
4	Stopping boxes and cable boxes are correctly filled	X						
5	Integrity of conduit system and interface with mixed system maintained	X			X			
6	Earthing connections, including any supplementary earthing bonding connections are satisfactory (for example connections are tight and conductors are of sufficient cross-section)							
	-physical check	X			X			
	-visual check		X	X		X	X	
7	Fault loop impedance (TN systems) or earthing resistance (IT systems) is satisfactory	X			X			

8	Automatic electrical protective devices are set correctly (auto-reset not possible)	X			X		
9	Automatic electrical protective devices operate within permitted limits	X			X		
10	Specific conditions of use (if applicable) are complied with	X			X		
11	Cables not in use are correctly terminated	X			X		
12	Obstructions adjacent to flameproof flanged joints are in accordance with IEC 60079-14	X	X	X			
13	Variable voltage/frequency installation complies with documentation	X	X		X	X	
	INSTALLATION - HEATING SYSTEMS						
14	Temperature sensors function according to manufacturer' s documents	X			X		
15	Safety cut off devices function according to manufacturer' s documents	X			X		
16	The setting of the safety cut off is sealed	X	X		X	X	
17	Reset of a heating system safety cut off possible with tool only	X	X		X	X	
18	Auto-reset is not possible	X	X		X	X	
19	Reset of a safety cut off under fault conditions is prevented	X			X		
20	Safety cut off independent from control system	X			X		
21	Level switch is installed and correctly set, if required	X			X		
22	Flow switch is installed and correctly set, if required	X			X		
	INSTALLATION - MOTORS						
23	Motor protection devices operate within the permitted tE or tA time limits.				X		
C	ENVIRONMENT						
1	Equipment is adequately protected against corrosion, weather, vibration and other adverse factors	X	X	X	X	X	X
2	No undue accumulation of dust and dirt	X	X	X	X	X	X
3	Electrical insulation is clean and dry				X		
(D = detailed, C = close, V = visual)							

Table 3.2 Inspection schedule for Ex “i” installations ^[18]

Check that: X = required		Grade of inspection		
		D	C	V
A	EQUIPMENT			
1	Circuit and/or equipment documentation is appropriate to the EPL/Zone	X	X	X
2	Equipment installed is that specified in the documentation	X	X	
3	Circuit and/or equipment category and group correct	X	X	
4	IP rating of equipment is appropriate to the Group III material present	X	X	
5	Equipment temperature class is correct	X	X	
6	Ambient temperature range of the apparatus is correct for the installation	X	X	
7	Service temperature range of the apparatus is correct for the installation	X	X	
8	Installation is clearly labeled	X	X	
9	Enclosure, glass parts and glass-to-metal sealing gaskets and/or compounds are satisfactory	X		
10	Cable glands and blanking elements are the correct type, complete and tight	X	X	X
	- physical check			
	- visual check			
11	There are no unauthorized modifications	X		
12	There is no evidence of unauthorized modifications		X	X
13	Diode safety barriers, galvanic isolators, relays and other energy limiting devices are of the approved type, installed in accordance with the certification requirements and securely earthed where required	X	X	X
14	Condition of enclosure gaskets is satisfactory	X		
15	Electrical connections are tight	X		
16	Printed circuit boards are clean and undamaged	X		
17	The maximum voltage U_m of the associated apparatus is not exceeded	X	X	
B	INSTALLATION			

1	Cables are installed in accordance with the documentation	X		
2	Cable screens are earthed in accordance with the documentation	X		
3	There is no obvious damage to cables	X	X	X
4	Sealing of trunking, ducts, pipes and/or conduits is satisfactory	X	X	X
5	Point-to-point connections are all correct (initial inspection only)	X		
6	Earth continuity is satisfactory (e.g. connections are tight, conductors are of sufficient cross- section) for non-galvanically isolated circuits	X		
7	Earth connections maintain the integrity of the type of protection	X		
8	Intrinsically safe circuit earthing is satisfactory	X		
9	Insulation resistance is satisfactory	X		
10	Separation is maintained between intrinsically safe and non-intrinsically safe circuits in common distribution boxes or relay cubicles	X		
11	Short-circuit protection of the power supply is in accordance with the documentation	X		
12	Specific conditions of use (if applicable) are complied with	X		
13	Cables not in use are correctly terminated	X		
C	ENVIRONMENT			
1	Equipment is adequately protected against corrosion, weather, vibration and other adverse factors	X	X	X
2	No undue external accumulation of dust and dirt	X	X	X
(D = detailed, C = close, V = visual)				

Fig. 3.1은 신규 플랜트와 기존 플랜트의 방폭 검사 절차에 대한 순서도를 나타낸다. 본 연구에서 적용한 신규 플랜트에서는 초기 상세 검사를 하고, 장비의 특징에 따라 검사 주기를 결정한다. 주기 검사는 일반적으로 샘플 타입의 육안 검사를 실시한다. 기존 플랜트의 경우는 장비 특성에 따라 주기 검사로 근접 검사를 하거나 샘플 타입의 상세 검사를 한다. 주기는 매번 조금씩 늘어가며 3년 이상이 되면, 장비가 점화할 가능성에 따라 검사의 등급이 결정된다. 점화할 가능성이 있으면 근접 검사를 하고, 점화할 요소가 없으면 육안 검사를 한다. 검사 결과로 검사 주기를 증가할 수 있다고 판단되면 안전 점검하여 주기 증가를 검토한다.



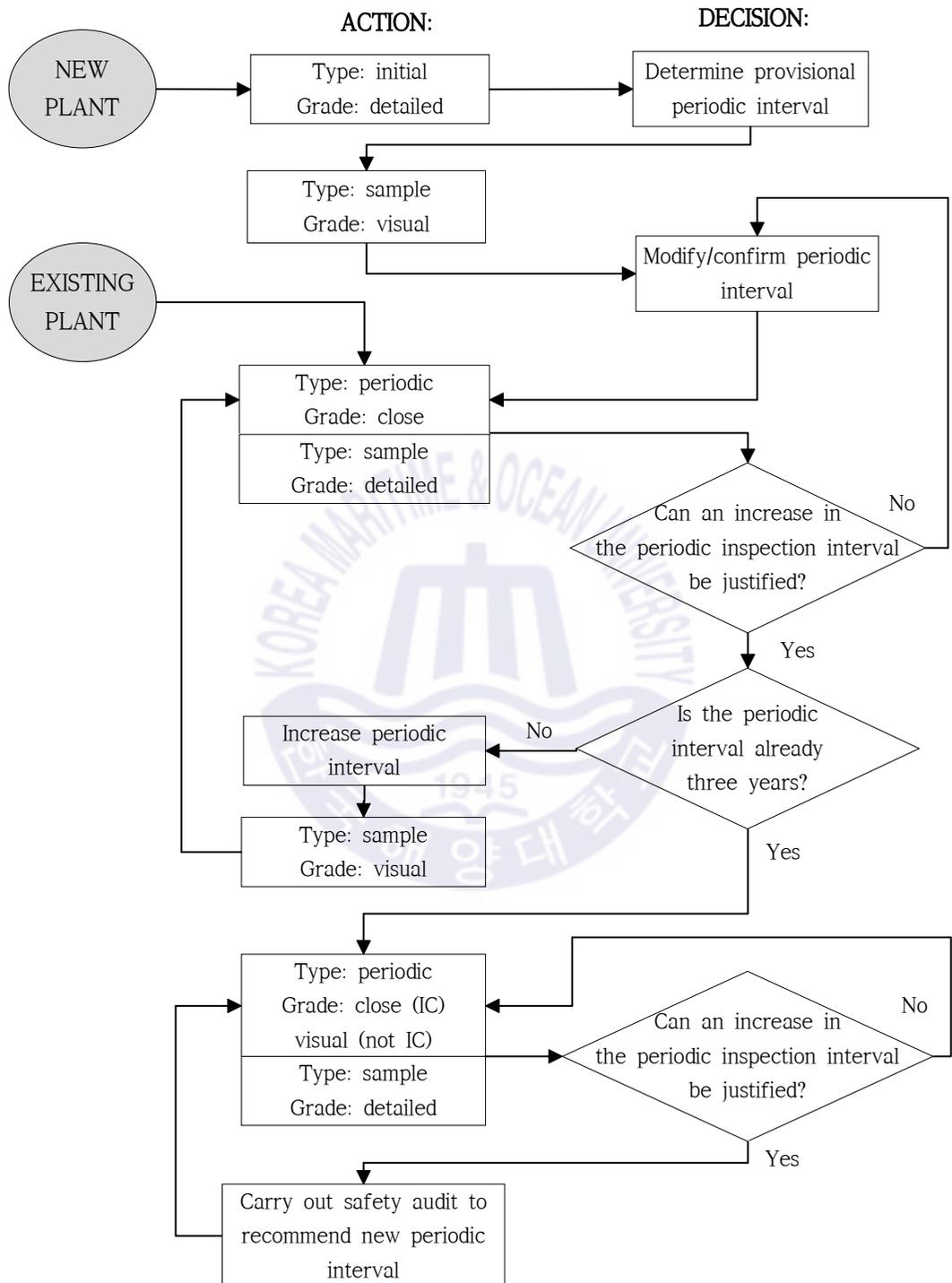


Fig. 3.1 Schematic of typical inspection procedure for periodic inspections^[18]

3.1.3 검사원의 자격

IEC 60079-17에 따라, 설비의 검사와 유지 보수는 다양한 유형의 보호 및 설치 관행, IEC 60079 표준의 요구 사항, 설치 및 구역 분류의 일반 원칙 및 관련 국가 규정 / 회사 규칙에 대한 교육을 받은 숙련된 직원만 수행해야 한다. 정기적으로 적절한 지속적 교육 또는 훈련이 이루어져야 하고, 관련 경험 및 교육은 문서화 되어야 한다^[19].

3.2 현재의 방폭 검사 프로세스 분류

본 연구에 적용된 해양플랜트 프로젝트는 기존의 오일 정제 설비(Oil Refinery Facility)를 증축하는 공사로, 일일 생산량 26만 배럴로 증설하는 공사이다. 전체 프로젝트 중, 81개의 모듈을 국내에서 제작하여 해상으로 설치 국가로 이동 후 설치된다. 이동 중, 모듈의 크기로 운하를 통과하지 못하는 경우는, 정해진 규격에 맞게 국내에서 디-스테킹(De-stacking) 되어서 설치 국가로 이동된다. 국내에서는 구조물 및 장비 설치가 주 업무이며, 전등 및 공조 설비는 국내에서 시운전을 실시한다.

Table 3.3 QVD Definition

QVD Number	Description
ICS-011-A (A1)	Fire and gas Device Installation Checklist
ICL-014A (A1)	PA System Installation Checklist
ICL-004H (A1)	Radio and Wireless Gateway Equipment
ICS-010-A (A1)	Instrument Installation Checklist
ICS-013-A (A1)	Instrument Junction Box
ECS-040-A (A1)	Junction Box
ECS-034-A (A1)	Control Station/Panel/Cubicle
ECS-036-A (A1)	Motor
ECS-056-A (A1)	Thermostat
ECS-068-K (A1)	Heat Tracing Tape - Before Insulation
ECS-066-K (A1)	Heat Tracing Circuit
ECS-002-A (A1)	LV/Control Cable Test Record
ICS-016-A (A1)	Schedule of installed instrumentation cables
ECS-064-A (A1)	Ex Inspection (Explosion-proof)

본 설비는 국제 표준 및 설치 국가의 국내법에 따라서 설계, 제작, 설치 및 시운전을 실시한다. 전기 계장 품질 검사도 상기 언급된 바와 같이, 프로젝트에서 지정한 표준 및 규정에 따라서 시행된다. 방폭 검사의 경우는 전기 및 계장의 검사와 구분되어 시행되며, IEC 60079-17을 기준으로 모든 폭발 위험 지역에 설치되는 전기기기에 대해서 실시한다. 검사 진행 절차와 관련해서는, 대부분의 해양플랜트에서 방폭 검사를 전기 및 계장 검사가 완료된 후에 실시해야 한다고 문서화되어 있지는 않지만, 방폭 검사를 장비에 전원을 공급하기 까지

막 단계로 간주하고 방폭 검사를 모든 관련 검사가 완료된 후에 실시한다. 생산공정의 스케줄에 따라 장비와 케이블이 설치되면, 생산에서는 장비 및 케이블 검사를 위해 NOI(Notification Of Inspection)를 이슈 한다. 품질 팀에서는 NOI에 따라 프로젝트 스펙(Project Specification), 국제 표준(International Standard) 및 설비의 설치 국가의 국내법을 준수하여 설치되었는지를 Table 3.3의 개별 QVD (Quality Verification Document)에 의해 확인한다.

계약자 측에서는 방폭 관련 사전 품질 검사가 완료되었는지를 품질 공정관리 시스템에서 개별 확인하고, 시스템이 아닌 매뉴얼 방식으로 방폭 검사 가능 여부를 판단하여 방폭 검사를 신청한다. 예를 들어, 한 장비에 여러 개의 케이블이 연결되면, 개별 케이블 검사 확인을 도면에 표시해 두었다가, 장비 검사가 완료됨을 확인하면 도면에 매뉴얼로 업데이트하여, 방폭 검사를 위한 사전 검사가 완료되었음을 확인한다. 그리고 품질 검사 신청 절차에 의해 방폭 검사 신청서를 작성한다. 방폭 검사 결과는 방폭 QVD에 작성하여 품질 관리 시스템에 등록한다. 방폭 검사 실시 중에 결점(Defect)이 발견되면, 중요도에 따라 방폭 검사 완료 여부가 결정된다. 결점의 정도가 장비 운영에 중대한 영향을 주어 선행 검사가 다시 필요한 경우는 선행 관련 QVD를 리 오픈하여 첫 단계부터 다시 검사를 실시한다. 방폭 QVD에 작성되는 방폭 기술 (Ex details), 위험 지역의 등급(Hazardous Area Classification Grade), 각종 관련 문서 (Reference Document)는 건조 공정 이후에 유지, 보수(Maintenance) 및 운영(operation) 단계에서 방폭 장비에 대한 관리를 위해 데이터화하여 전자 파일(Ex Register)로 보관한다.

위험구역(Hazardous Area)에 설치되는 모든 전기기기는 IEC 60079에 따라 방폭 검사가 요구되지만, 본 연구에 적용된 프로젝트는 일반적인 EPC (Engineering, Procurement & Construction) 공사와 다르게 주문주가 주요 장비를 공급하고 계약자는 장비 및 전선을 설치를 하는 방식이다. 단, 벌크성 장비, 전등 및 전기 히팅 시스템 등은 계약가가 공급 및 설치를 하였다. 이런 공사 방식에 따라, 본 프로젝트는 장비 공급 주체에 따라 방폭 검사 범위가 결정되었다. 본 연구에서는, 계약자가 실시하는 방폭검사 공정에 대해서만 분석하였

다. 주문주가 구매한 장비의 경우는 국내 야드에 이동되기 전에 방폭 검사를 완료하여 프로세스 분석을 할 수 없었다. 계약자에 의해 실시되는 방폭 검사는 장비 공급 주체에 따라 아래의 두 경우로 구분된다.

3.2.1 계약자가 장비를 공급 및 설치한 경우

첫 번째 단계로, 계약자는 위험 지역 구분(Hazardous Area Classification)에 따라 방폭 검사가 요구되는 지역의 장비를 확인 후, 방폭 검사와 관련된 문서들을 정리하여 방폭 QVD가 품질 관리 시스템에서 생성되어 있는지를 확인한다. 그리고 현장에서 작업자들이 IEC 60079-14를 준수하면서 장비를 설치하는지 모니터링을 한다. 계약자는 방폭 검사가 요구되는 장비의 선행 품질 검사가 모두 완료되었는지를 확인하고 방폭 검사 준비가 완료되면 검사 신청서 (NOI, Notification of Inspection)을 요청하고, NOI에 따라 방폭 검사원은 IEC 60079-17에서 요구하는 검사 항목이 포함된 방폭 QVD에 따라서 검사를 실시한다. 모든 검사 항목이 표준에 나와 있는 요구 사항을 만족한 경우는 방폭 QVD를 작성하여 품질 관리 시스템에 제출하게 된다. 만약, 검사 중 요구사항을 만족시키지 못하는 항목이 발견되면 수정작업을 실시 후 무결하다고 판단되면 QVD를 작성한다. 만약, 수정작업이 불가능하면 결점(Punch) 등록 절차에 따라 품질 관리 시스템에 등록한다.

결점 등급은 장비에 전원을 공급하여 기능에 영향을 주는 정도에 따라, A 카테고리나 B 카테고리로 나누어진다. A 카테고리의 경우는, 검사 진행이 중단되고 결점은 시스템에 등록된다. 결점에 대한 조치 완료 확인 후, 재검사를 통해 QVD를 완료한다. 표준 요구 사항에는 만족을 못 하지만 장비 전원 공급에는 문제가 없는 경우는 B 카테고리로 결점을 시스템에 등록하고 QVD는 시스템에 제출한다. Fig. 3.2는 본 연구에 적용한 방폭 검사 순서도이다.

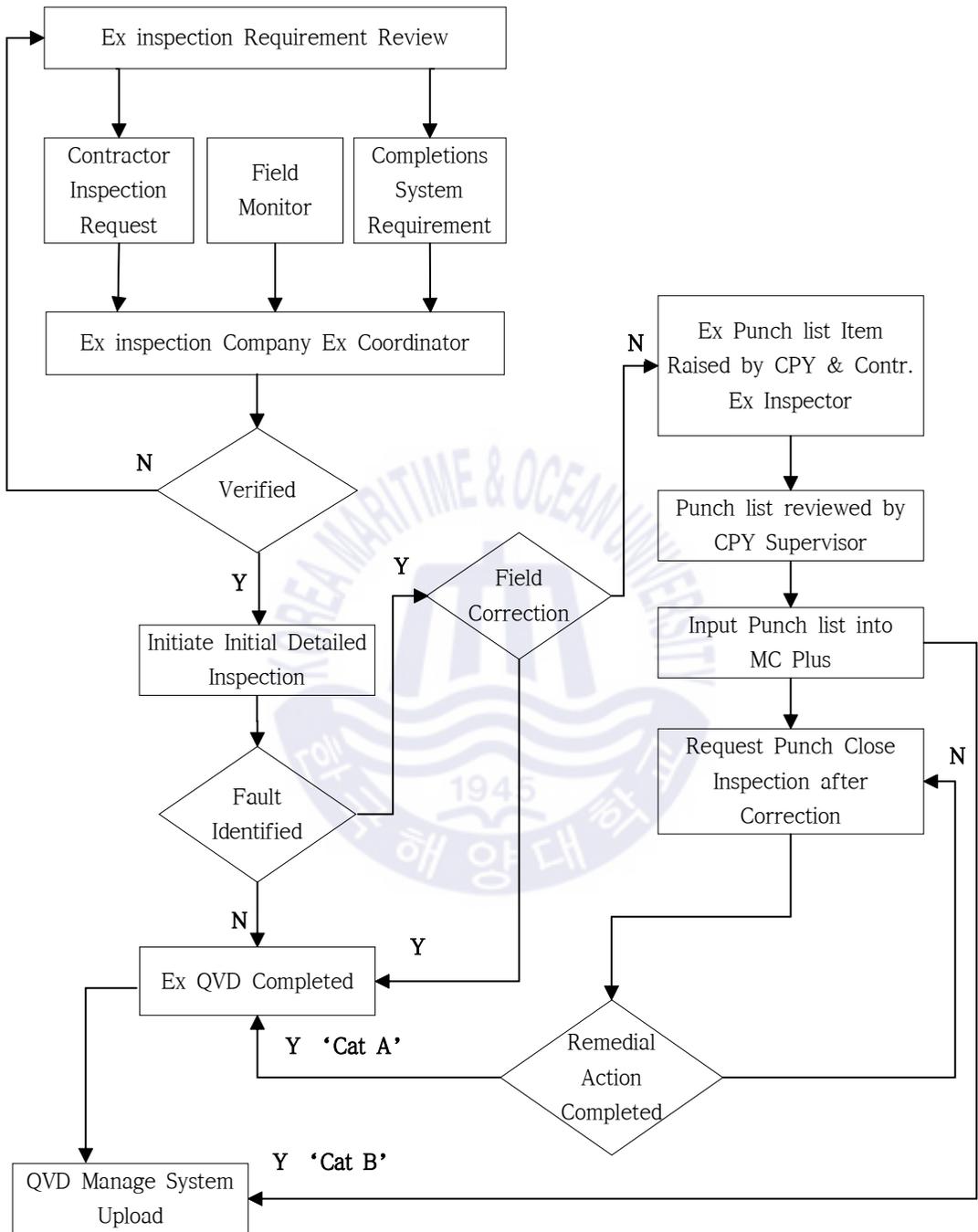


Fig. 3.2 Schematic of Explosion proof inspection

3.2.2 주문주가 장비를 공급하고 계약자가 설치할 경우

상기의 경우는, 장비 공급업체에서 주문주에 의해 방폭 검사를 하고 국내 야드에 입고가 된다. 그리고 계약자에 의해서 케이블이 인입되는 장비에 한해서 방폭 검사를 국내 야드에서 다시 실시한다. 그러므로 장비 인입 케이블 검사만 완료되어도 방폭 검사를 할 수 있다. 검사 진행은 3.2.1에서 언급된 방식과 같다. 방폭 검사가 장비 공급업체에서 완료되지 않은 경우는 주문주와 계약된 제 3의 계약자(PJV)에 의해 단독 진행되며 수량이 적어서 본 연구에서 고려되지 않았다.



제 4 장 방폭 검사 프로세스 분석

4.1 분석 대상

방폭 검사 프로세스의 분석을 위해 제작 중인 총 81개 모듈 중 건조 완료된 모듈에 대하여 분석하였다. 본 모듈은 오일 정제 공정 중 가스의 과압(Over Pressure)을 방지하는 설비의 온도를 안정적으로 유지 시키는 설비로 전체 무게는 1942톤이며, 전체 8053개의 QVD 중 전기 및 계장 관련 QVD는 총 3097개이다. 건조 기간은 2017년 9월에 시작하여 2018년 11월에 완료되었으며, 전기 및 계장 관련 검사는 2018년 5월부터 2018년 10월까지 6개월간 실시 되었다.

4.2 프로세스 마이닝을 이용한 분석

본 논문에서는 방폭 검사 프로세스를 분석하기 위해서 프로세스 마이닝 기법을 이용하였다. 현재, 현장에서는 업무 분석을 위해 일반적으로 마이크로소프트사의 엑셀을 사용하고 있다. 그러나, 엑셀을 이용한 분석은 적은 데이터에 용이하고, 많은 양의 데이터를 기반으로 하나의 케이스를 시간에 따라 나열하여 분석하기에는 어려움이 있다. 그러나, 프로세스 마이닝은 프로세스 수행기록을 분석하고 실제 프로세스 흐름을 자동으로 시각화하여 프로세스의 전체적인 모습을 빠르고 객관적으로 파악할 수 있다. 그래서 본 논문에서는 프로세스 분석을 위해 기존에 익숙한 엑셀이 아닌 프로세스 마이닝을 이용하였다.

Fig. 4.1과 같이, 프로세스 마이닝 분석은 크게 4단계로 구성된다. 단계 1은 데이터 준비로 이벤트 로그 데이터를 수집한다. 단계 2는 데이터 전처리로 중복 입력 값 등의 불필요한 데이터를 삭제하고 분석에 필요한 데이터만 분류하여 프로그램에 적용한다. 단계 3에서는 분석 결과를 분석하고, 단계 4에서 평가 및 해석을 한다.

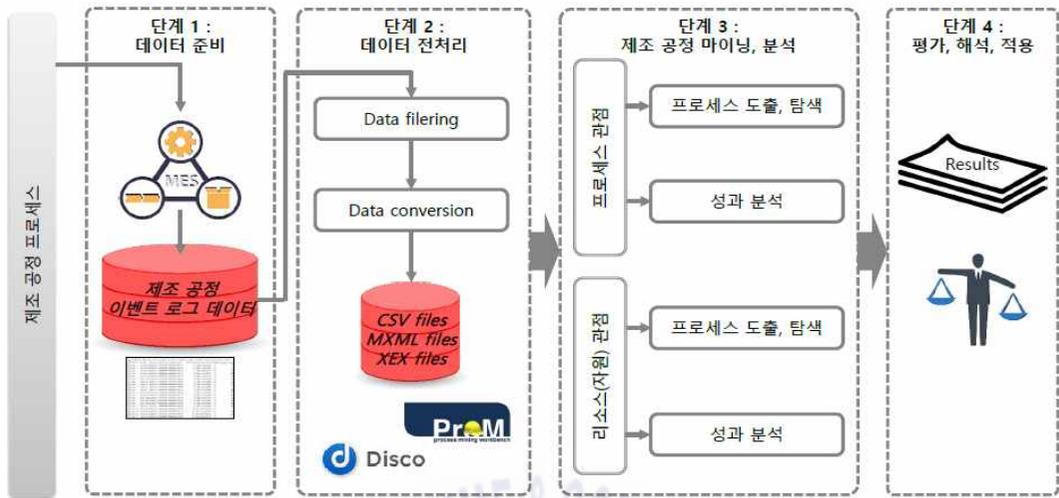


Fig. 4.1 Schematic of process mining procedure [20]

4.2.1 프로세스 마이닝 도구

현재 대중적으로 이름이 알려진 프로세스 마이닝 도구는 ProM, Disco, BPMOne, Futura Reflect, ARIS Process Performance Manager 등이 있다. 그밖에도 프로세스 마이닝 기술을 연구하여 기업의 비즈니스 프로세스 분석에 도움이 되도록 여러 업체에서 다양한 프로그램을 시중에 출시하였고, 일부는 프로젝트 개발 중에 있다. 본 연구에 적용한 프로세스 마이닝 도구는 2007년 네덜란드 Fluxicon사의 공동 창업자인 Christian W. Gunther의 퍼지 마이너(Fuzzy miner)를 기반으로 개발된 Disco이다. Disco는 프로세스 마이닝 분석의 핵심적인 기능들을 제공하고, 사용자들이 쉽게 접근할 수 있는 독립형, 경량의 프로세스 마이닝 도구이다. Disco는 설계 우선순위로 유용성(usability), 충실도(fidelity) 및 성능(performance)을 먼저 고려하였고, 프로세스 마이닝을 쉽고 빠르게 적용할 수 있는 도구이다. 특히, 다른 프로세스 마이닝보다, 많은 양의 데이터를 빠른 시간에 분석할 수 있고 프로세스를 알기 쉽게 그래픽으로 표현할 수 있다. 또한, 이벤트 로그를 기반으로 시간이 흐름에 따른 프로세스의 수행 모습을 재현할 수도 있다. 그러나, 상용제품이기 때문에 다양한 플러그인 활용과 프로세스 모델 생성의 세부적인 옵션 설정에는 한계를 갖고 있다^[21].

Table 4.1 Details of Disco

Disco Process Mining Tool	
Company	Fluxicon (Netherlands)
System requirement	<ul style="list-style-type: none"> ● Mac OS X 10.7 or later ● Windows XP or later ● Java JRE 1.7 / 7.0 or later ● 2 GB RAM (4 GB or more recommended) ● Dual-core CPU or better recommended ● At least 5 GB free disk space ● SSD / fast HD recommended ● At least 1440x900 display recommended ● Internet connection recommended
Supported import formats	<ul style="list-style-type: none"> ● CSV files ● MS Excel (XLS and XLSX) files ● MXML and MXML.GZ files (ProM 5) ● XES and XES.GZ files (ProM 6) ● FXL Disco log files ● DSC Disco project files
Process map export	<ul style="list-style-type: none"> ● PDF vector-based documents ● PNG images ● JPEG images

4.2.2 데이터 준비

해양플랜트 프로젝트는 품질 검사 관리를 위하여, ITR(Inspection Test Report) 혹은 QVD를 문서화 하여 관리하는 시스템을 가지고 있다. 그 예로는, MCPlus, Zenator, WinPCS 그리고 ICAPS 등이 있다. 본 논문에 적용된 프로젝트는 품질 관리 시스템으로 MCPlus를 사용하였다. Table 4.2은 MCPlus에서 추출한 데이터로 개별 QVD는 고유의 ID 넘버를 가지고 있으며, 완료 날짜, 태그 넘버 그리고 해당 모듈 등의 정보를 가지고 있다.

Table 4.2 Example of event logs

Record Id	QVD Number	QVD Description	Date Completed	Tag Number	Module No
147061	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-09-11	42-NGC-020305	M071
147062	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-08	42-NGC-020305	M071
147329	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-09-19	42-NGC-020306	M071
147330	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-15	42-NGC-020306	M071
147351	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-09-15	42-NGC-020310	M071
147352	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-11	42-NGC-020310	M071
146655	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-09-19	42-NGC-020314	M071
146656	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-15	42-NGC-020314	M071
147354	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-09-13	42-NGC-020315	M071
147355	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-04	42-NGC-020315	M071
147694	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-09-19	42-NGC-020316	M071
147695	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-15	42-NGC-020316	M071
146658	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-09-15	42-NGC-020328	M071
146659	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-12	42-NGC-020328	M071
146661	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-09-15	42-NGC-020329	M071
146662	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-12	42-NGC-020329	M071
147360	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-07-18	42-NGC-020415	M071
147361	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-07-14	42-NGC-020415	M071
147706	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-07-18	42-NGC-020416	M071
147707	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-07-14	42-NGC-020416	M071
147363	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-07-27	42-NGC-020417	M071
147364	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-07-25	42-NGC-020417	M071
262546	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-07-27	42-NGC-020418	M071
262547	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-07-25	42-NGC-020418	M071
147076	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-07-18	42-NGC-020419	M071
147077	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-07-14	42-NGC-020419	M071
147739	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-09-15	42-NGT-020197	M071
147740	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-11	42-NGT-020197	M071
147097	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-09-19	42-NGT-020199	M071
147098	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-15	42-NGT-020199	M071
147745	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-10-05	42-NGT-020206	M071
147746	ICS-011-A (A1)	FIRE AND GAS DEVICE INSTALLATION CHECKLIST	2018-09-19	42-NGT-020206	M071
146685	ECS-064-A (A1)	Ex Inspection	2018-10-05	42-NGT-020207	M071

분석을 위하여 해당 모듈에 할당된 QVD들의 데이터를 품질 관리 시스템으로부터 추출하였다.

4.2.3 데이터 전처리

데이터 전처리 단계에서는 분석의 신뢰성 확보를 위해 불필요한 데이터를 제거한다. 본 모듈에 할당된 총 8053 QVD 중 전기 및 계장 QVD 이외의 QVD는 방폭 검사에 영향을 주지 않으므로 모두 삭제하였다. 그리고, MC(Mechanical Completion) 확인을 쉽게 하려고 하나의 장비이지만 서브 시스템별로 QVD가 할당된 경우, 하나의 QVD를 제외하고 삭제했으며 방폭 검사가 요구되지 않는 장비의 선행 QVD도 제거했다.

다음으로, 프로세스 마이닝 프로그램인 Disco로 분석하기 위해 각 데이터를 입력 형태에 맞게 분류하였다. Table 4.3은 품질 관리 시스템에서의 분류와 Disco의 입력 형태에 따른 분류표이다. Case ID는 각 장비의 태그 넘버를 나타내고, Activity는 어떤 작업을 진행하는 사건을 보여주는 것으로 본 연구에서는 QVD 넘버를 의미하며, 마지막으로 Timestamp는 검사가 완료된 QVD가 품질 관리 시스템에 입력되는 날짜로 분류했다.

Table 4.3 Application to process mining analysis tool

QVD Management System	Disco (Process Mining Program)
Tag Number	Case ID
QVD Number	Activity
Date Completed	Timestamp

분류된 데이터는 Disco에 입력되어 분석되었다. 선행 QVD를 가지지 않는 방폭 QVD는 Disco의 필터 기능으로 분석에서 제외했다.

4.3 분석 결과

방폭 검사를 수행하기 위해 선행으로 완료되어야 하는 QVD를 기준으로 빈도수 관점과 시간 관점으로 분석하였다. 빈도수 관점은 선행 QVD가 발생한 횟수를 확인하여, 공정에 끼치는 영향력을 확인하기 위함이다. 시간 관점의 분석은 선행 QVD 완료 후 방폭 QVD가 완료될 때까지 걸리는 시간을 확인하는 것이 목적이다. 방폭 QVD와 관련되지 않은 선행 QVD 이전의 공정 지연에 대한 분석은 본 연구에서 배제하였다.

4.3.1 빈도수 관점 분석 (Frequency)

프로세스 마이닝으로 분석한 결과를 발생 빈도수의 관점에서 분석하였다. 빈도수 관점의 분석 목적은 개별 QVD가 가지는 중요도를 확인하기 위함이다. 전기 및 계장을 포함한 모듈 전체의 분석 결과는 Fig. 4.2 (a)에 나타났다. 그리고 전기와 계장 장비를 구분한 분석 결과는 Fig. 4.2 (b)와 (c)와 같다. 예외적으로, Fig. 4.2 (a)에서 전기 QVD인 ECS-040-A 후 계장 QVD인 ICS-016-A가 발생한 3가지 경우와 계장 QVD인 ICS-016-A 후 전기 QVD인 ECS-036-A가 발생한 2가지의 5가지 경우는 전기 및 계장을 구분한 분석 결과에는 제외했다. 빈도수 결과는 분석 결과 스케메틱에 표시되어 있으며, 시각화를 위해 화살표의 굵기와 색의 농도를 달리하여 나타났다.

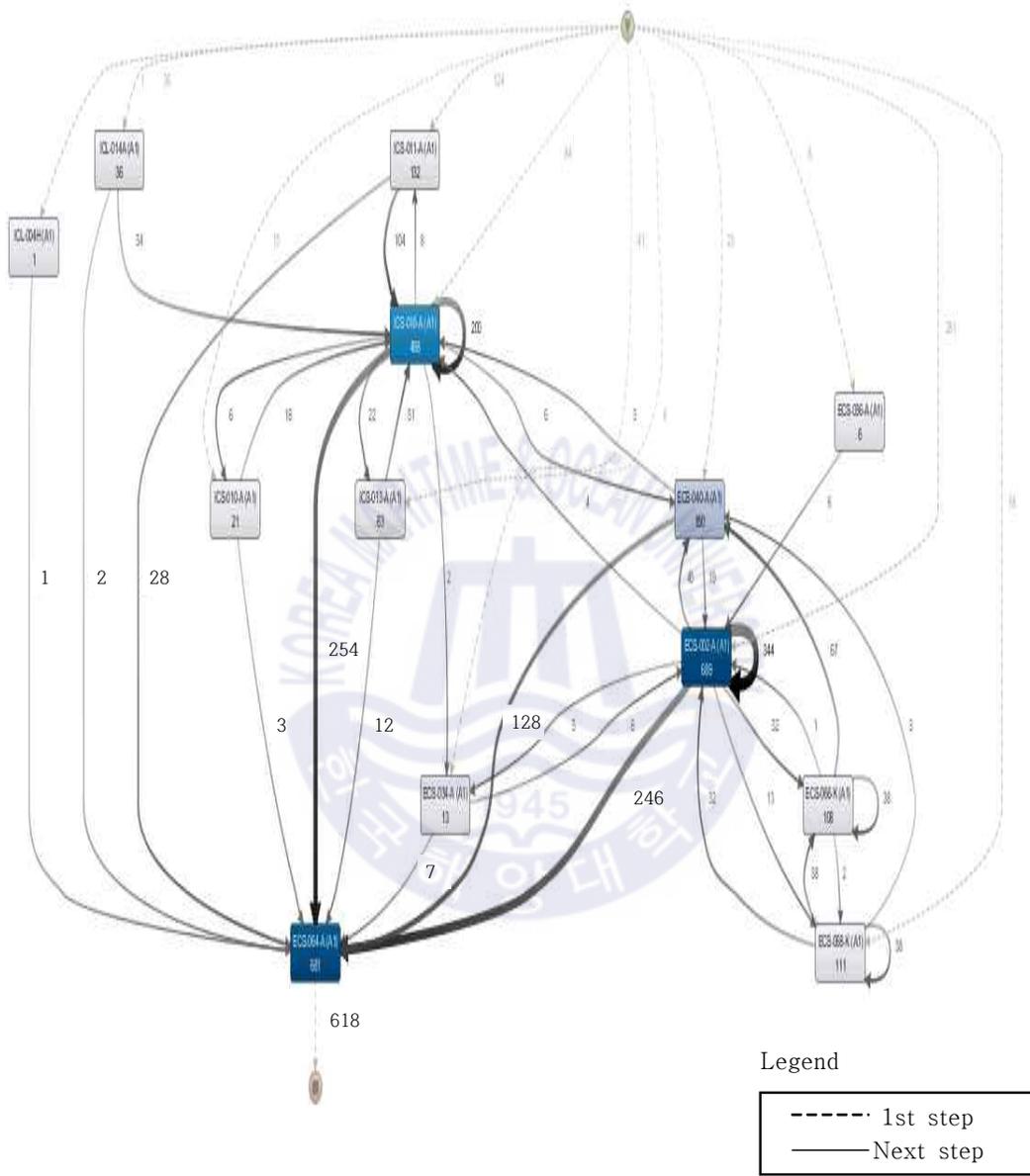
전기 QVD들만 분석한 결과, Fig. 4.2 (b)에 나타나듯이 ECS-002-A QVD가 246번 최고 많이 발생했다. 전기용 정선 박스 (Junction Box)용 ECS-040-A QVD가 125번으로 두 번째로 많은 빈도수를 가졌음을 확인했다. 전기 전체 376 QVD 중, 두 QVD가 371로, 98.7% 차지하였다. 그러므로, 두 QVD 완료 후 방폭 검사 진행까지의 문제점을 분석하면 전기 장비 공정 지연에 대한 많은 개선이 있을 것을 확인했다.

Fig. 4.2 (c)는 계장 QVD의 빈도에 대한 분석으로, ICS-016-A QVD가 249번으로 계장 QVD 중 84.4%, 다음으로 화재 감지 장치 QVD인 ICS-011-A가 28번임을 확인했다. ICS-013-A(계장 정선 박스), ICS-010-A (일반 계장 장비), ICL-014A

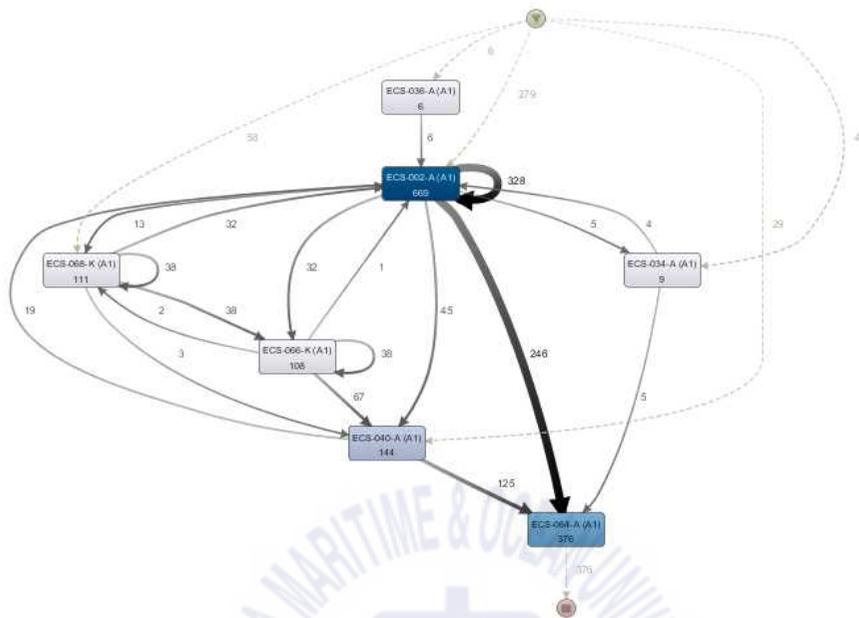
(일반 통신 장비) 그리고 ICL-004H(라디오 및 무선 장비)는 빈도수가 많지 않음을 확인했다.

결과적으로 계장 케이블 검사 QVD인 ICS-016-A가 254 case로 해당 모듈에서 가장 빈도수가 많았다. 다음으로, 전기 케이블 검사 QVD인 ECS-002-A가 246번으로 전체의 36.1% 였다. 방폭 검사 프로세스 개선을 위해서는 전기 및 계장 케이블 검사와 전기용 정선 박스 문제점 분석이 반드시 필요하다는 것을 확인했다.

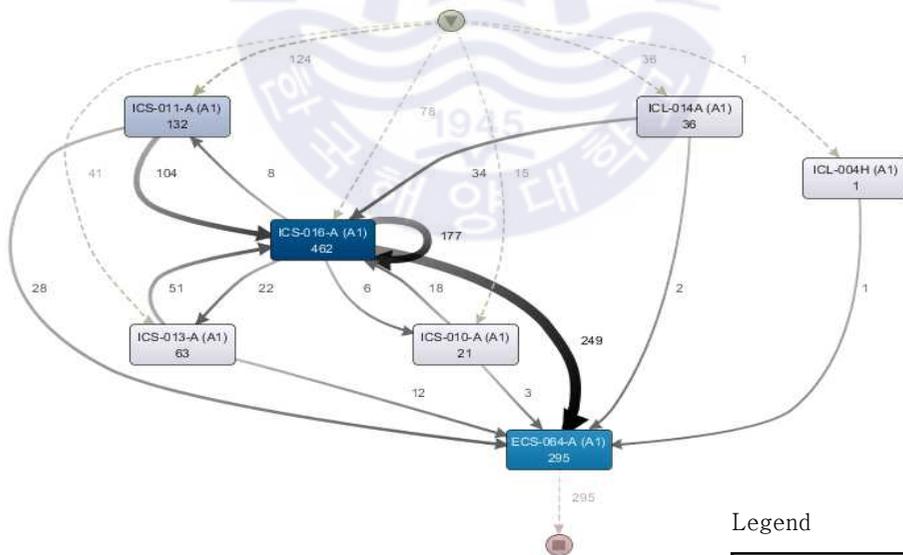




(a) Overall QVDs



(b) Electric QVDs



(c) Instrument QVDs

Legend

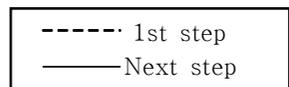


Fig. 4.2 Schematic of frequency

4.3.2 시간 관점 분석 (Duration)

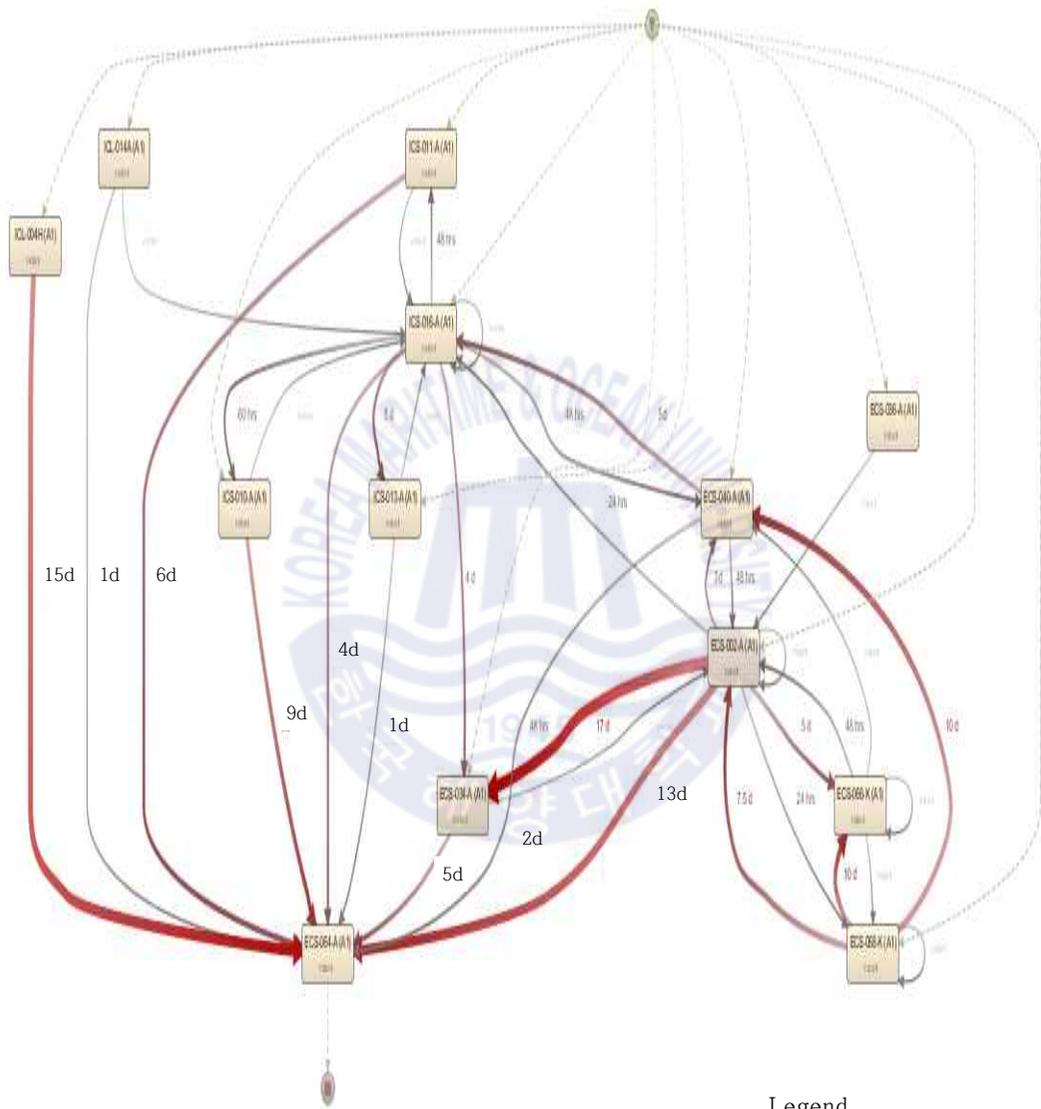
지연시간 관점의 분석은 선행 QVD가 완료된 후, 방폭 검사 완료까지 소요되는 시간을 확인하는 것에 목적이 있다. 시간의 분석 결과는 평균 시간(Mean duration)과 중앙값 시간(Median duration) 구분해서 확인했다. 평균시간은 개별 QVD 완료 시간을 모두 합한 후 발생한 총 빈도수를 나눈 값이다. 중앙값 시간의 경우는 개별 QVD 시간 값들의 중앙에 있는 값을 말하므로 비정상적인 값에 영향을 크게 받지 않는다. 따라서, 본 논문에서는, 데이트 분석 결과 매우 크거나 작은 극단 값들이 존재하여 중앙값 시간(Median duration)으로 분석하였다.

Fig. 4.3은 전체 QVD에 대한 중앙값, 전기 QVD에 대한 중앙값, 계장 QVD에 대한 중앙값으로 나타냈다.

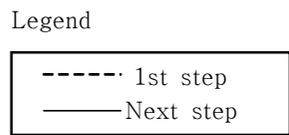
Fig. 4.3(a)은 전체 선행 QVD에 관한 결과로 화살표의 굵기로 선행 QVD 별 상대적인 지연시간을 확인했다. 전기 QVD들의 지연시간을 나타낸 Fig. 4.3(b)에서는 방폭 QVD를 진행하기 위한 선행 QVD는 ECS-002-A, ECS-034-A 그리고 ECS-040-A 중에서 ECS-002-A QVD가 중앙값 지연으로 13 d가, 평균값으로 14.1 d 소요되어 가장 오랜 지연시간이 발생하였다. 다음은, ECS-034-A로 중앙값 5 d, 평균값은 9.4 d로 중앙값과 평균값에 4.4 d의 차이가 있었다. 마지막으로 ECS-040-A는 중앙값 48 h과 평균값 64.9 h 소요되었다.

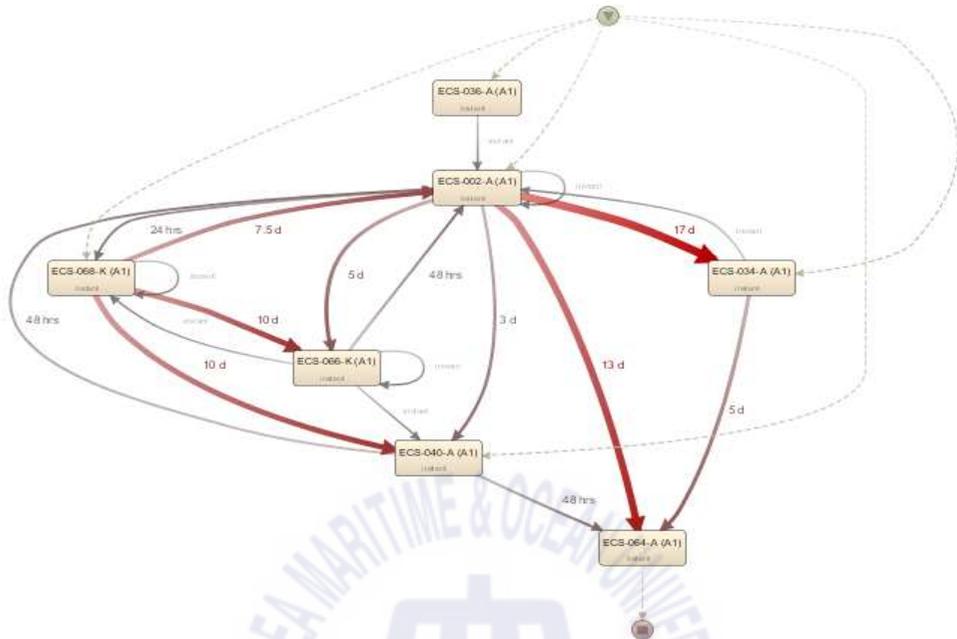
Fig. 4.3(c)은 계장 QVD들에 대한 결과를 나타낸다. ICL-004H-A QVD가 가장 긴 시간인 15 d가 소요되었고, 다음으로 ICS-010-A는 중앙값 9 d 그리고 평균값으로 6.3 d가 소요되었다. ICS-011-A는 중앙값으로 6 d가 소요되었고, ICL-014-A는 24 hr의 아주 짧은 지연시간을 보여주었다.

전기 및 계장 QVD 중에서 ICL-004H-A QVD가 15 d로 선행 QVD 검사 이후 방폭 QVD 완료까지 2 주 이상의 시간이 소요되었고, ECS-002-A QVD는 13 d로 다음으로 긴 지연시간을 가졌다. 가장 소연 시간이 짧은 QVD는 ICL-014-A와 ICS-013-A로 선행 QVD 검사 후 1 d 내로 완료된 것을 확인했다. 평균값과의 비교에서는 ECS-034-A를 제외하고 3 d 이내의 차이를 보였다.

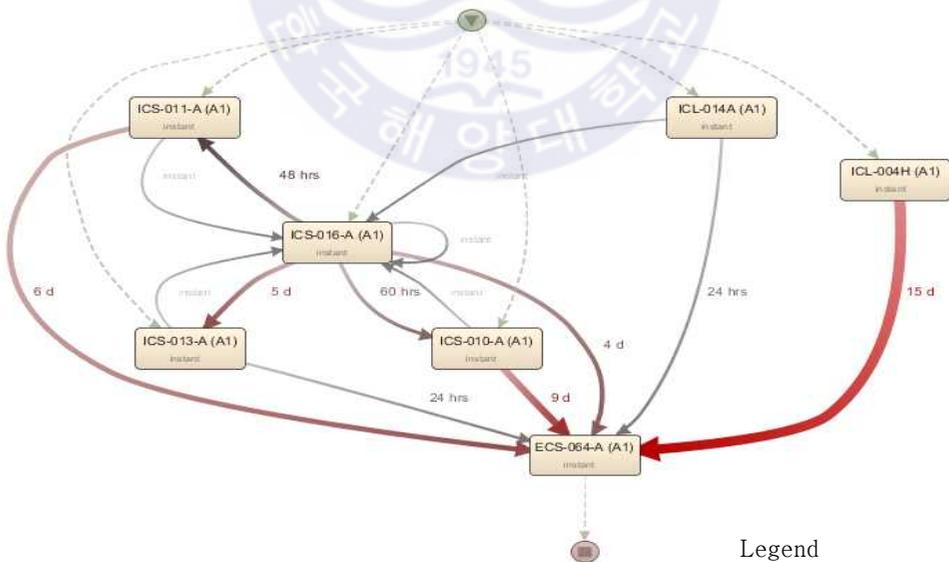


(a) Overall QVDs





(b) Electric QVDs



(c) Instrument QVDs

Legend

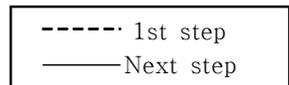


Fig. 4.3 Schematic of duration

4.3.3 분석 결과에 대한 고찰

본 논문에서는 해양플랜트 방폭 검사 공정의 프로세스를 프로세스 마이닝을 이용하여 분석하였다. 데이터는 실제 국내 조선소에서 건조가 완료된 모듈의 프로젝트 품질 관리 시스템에서 추출하였고, 데이터 전처리 작업을 통해 불필요한 데이터를 제거하였다.

본 모듈에서는 방폭 검사가 요구되는 장비의 종류에 따라, 방폭 검사 전에 선행되어야 하는 총 13개의 QVD 중 9개가 있음을 확인하였다.

Table 4.3은 분석 결과를 테이블 형태로 표현하였다. 선행 QVD 빈도수 분석(Frequency)으로 ICS-016-A와 ECS-002-A의 계장 및 전기 케이블 검사 QVD가 방폭 검사 진행을 위한 선행 검사의 73.4%를 차지하는 것으로 확인하였다. ECS-040-A가 18.8%로 세 번째로 많은 QVD를 가지고 있었다. 나머지 QVD는 들은 그 빈도수는 많지 않음을 확인하였다. 또한, 모터 검사 QVD인 ECS-036-A의 사례가 없으므로, 본 모듈에서는 계약자에 의해 공급된 모터가 없음을 부가적으로 확인하였다. EHT(Electric Heat Tracing) 관련 QVD인 ECS-056-A, ECS-066-K 그리고 ECS-068-K 발생하지 않음으로 모듈에 보온이 요구되는 장비가 없음도 확인하였다.

시간 관점에서는 중간값 지연시간(Median duration)으로 분석하였다. Table 4.4에 나타낸, 평균 지연시간(Mean duration), 최대 지연시간(Max. duration) 그리고 최소 지연시간 (Min. duration)은 전체 시스템의 경향을 이해하기 위함이다. 최대 지연시간은 비정상적인 프로세스, 즉 중대한 결점 및 기타 이유에 의한 얼마나 지연될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 그 예로, 최대 완료 시간이 16.7 주 걸린 ECS-002-A의 경우는, 케이블 검사 완료 후 장비의 문제로 인해 방폭 검사 진행에 지연이 발생한 것으로 확인됐다. 최소 지연시간은 개선 가능한 지연시간을 확인하기 위함이나, “0”으로 표기된 것은 후행 공정의 일정으로 인해 선행 검사와 방폭 검사가 같은 날에 완료된 경우이므로 분석에서 제외했다. 그리고 평균 지연시간은 중간값 지연시간의 신뢰성을 확보하기 위해 나타냈다. 평균 지연시간과 중간값 지연시간은 그 값에서 큰 차이가 없음을 확

인함으로써 극도로 치우친 값에 의한 영향이 제한적임을 확인했다. 생산 공정 완료 스케줄에 반영된 시간과의 비교에서는 계획보다 2~3일 정도 지연되는 것을 확인했다.

Table 4.4 Analysis of activity

	Frequency (Cases)	Relative frequency (%)	Median duration (Day)	Mean duration (Day)	Max. duration (Day)	Min. duration (Day)
ICS-011-A (A1)	28	4.1%	6 d	8.2 d	14 d	2 d
ICL-014A (A1)	2	0.3%	1 d	1 d	1 d	1 d
ICL-004H (A1)	1	0.1%	15 d	15 d	15 d	15 d
ICS-010-A (A1)	3	0.4%	9 d	6.3 d	9 d	1 d
ICS-013-A (A1)	12	1.8%	1 d	1.6 d	3 d	0 d
ECS-040-A (A1)	128	18.8%	2 d	2.77 d	14 d	1 d
ECS-034-A (A1)	7	1.0%	5 d	7.6 d	16 d	3 d
ECS-036-A (A1)	-	-	-	-	-	-
ECS-056-A (A1)	-	-	-	-	-	-
ECS-068-K (A1)	-	-	-	-	-	-
ECS-066-K (A1)	-	-	-	-	-	-
ECS-002-A (A1)	246	36.1%	13 d	14.1 d	116.9 d	0 d
ICS-016-A (A1)	254	37.3%	4 d	6.9 d	37 d	0 d
ECS-064-A (A1)	681					
Total	1362					

4.4 제안된 개선 방안

프로세스 마이닝으로 분석한 결과를 바탕으로, 관련 부서 및 현장 책임자들과 문제점 확인을 위해서 브레인스토밍(Brain storming)하였다. 분석 결과 이외에, 참고 자료로 결점 등록 리스트(Punch list)와 계약자 사내 공정관리 시스템에서 작업 완료 입력 데이터와 품질 검사 신청 데이터를 사용하였다. 주요 개선 방안으로, 방폭 검사와 일반 품질 검사를 동시에 진행하는 합동검사, 방폭 검사의 중요 검사 항목인 케이블 글랜드(Cable gland) 설치 검사를 방폭 검사 이전에 선행해서 실시하는 방안, 마지막으로 방폭 검사 가능 확인을 수기에 의존하던 방법에서 시스템으로 확인 가능 하도록 시스템 개발 방안이 제안되었다.

4.4.1 합동검사 (Combine Inspection)

제안된 합동검사는 방폭 검사 전에 선행되어야 하는 일반 전기 및 계장 검사 즉, 앞 장에서 언급한 13개 선행 QVD 검사와 방폭 검사를 동시에 하는 방안이다. 일반 전기 및 계장 검사와 방폭 검사에는 중복된 항목이 많아 검사 시간을 줄여 줄 것으로 예상되며, 검사 중 발견된 결점(Fault)은 작업자가 검사원들과 동행하면서 현장에서 즉시 조치함으로써, 기본 방식에서 발생하는 결점 확인, 결점 처리 그리고 확인 검사에 따른 시간을 줄일 수 있을 것으로 예상하였다.

제안된 합동검사는, 총 4일에 걸쳐 시행되었다. 그 결과는 Table 4.5와 같이 정리되었다. 첫째 날 전등 및 스펴 파워(Small Power) 시스템의 경우, 개별 방폭 검사 시 시간당 5개의 QVD가 완료 가능했지만, 합동검사 시에는 3개의 QVD가 가능하였다. 선행 검사(MC 검사)의 경우도 기존 방식은 시간당 2 서킷을 검사할 수 있었지만, 합동검사에서는 1.5개의 서킷만 가능하였다. 통신 장비용 정션 박스의 경우도 개별검사 대비 방폭 및 선행 검사 모두 기존 대비 33%의 효율에 그쳤다. 화재 및 가스 장비의 경우도, 방폭 검사는 66%, 선행 검사는 40%의 효율을 확인하였다. 나머지 3d 동안도 첫째 날의 결과와 큰 차이가 없음을 확인하였다.

본 결과에서, 선행 검사와 방폭 검사를 동시에 시행함으로써 기대되었던 시간 단축보다는 선행 검사 진행 중, 방폭 검사원들의 현장 대기, 방폭 검사 동안 선행 검사원들 현장 대기 그리고 방폭 검사가 요구되지 않는 장비에 대한 선행 검사로 방폭 검사원의 대기 등의 불필요한 대기 시간이 많이 발생하였다. 따라서, 합동검사로 인해 방폭 검사는 기존 대비 46.76%, 선행 검사는 50.23%로 효율성이 떨어진다는 것을 확인했다. 그러므로 본 제안 방법은 방폭 검사 프로세스 개선에 도움이 되지 않음을 확인했다.



Table 4.5 Analysis of combine inspection result

Date	Inspection Items	Ex Inspection			MC Inspection		
		Separate Inspection	Combine Inspection	Effici. (%)	Separate Inspection	Combine Inspection	Effici. (%)
1st Day	LTG & SP Circuit	5 QVD	3 QVD	60	2 Circuit QVD	1.5 Circuit QVD	70
	Telecom JB's	3 QVD	1 QVD	33	3 MC + 3 Cable QVD	1 MC + 1 Cable QVD	33
	F&G Detectors	3 QVD	2 QVD	60	5 MC + 5 Cable QVD	2 MC + 2 Cable QVD	40
	Power JB's	3 QVD	1 QVD	33	3 MC + 3 Cable QVD	1 MC + 1 Cable QVD	33
2nd Day	Power JB's (1)	3 QVD	2 QVD	66	3 MC + 3 Cable QVD	2 MC + 2 Cable QVD	66
	Power JB's (2)	3 QVD	1 QVD	33	3 MC + 3 Cable QVD	1 MC + 1 Cable QVD	33
	F&G JB's	4 QVD	2 QVD	50	3 MC + 3 Cable QVD	2 MC QVD	66
	Socket Outlets	5 QVD	3 QVD	66	2 Circuit QVD	0.5 Circuit QVD	20
3rd Day	Power JB's	3 QVD	1 QVD	33	3 MC + 3 Cable QVD	1 MC + 1 Cable QVD	33
	EHT Power Kit	5 QVD	1 QVD	20	3 MC + 3 Cable QVD	1 MC + 1 Cable QVD	33
	LTG & SP Circuit	5 QVD	2 QVD	40	2 Circuit QVD	1 Circuit QVD	50
	SP JB's	5 QVD	4 QVD	80	3 MC + 3 Cable QVD	4 MC + 4 Cable QVD	130
	Instrument Devices	3 QVD	2 QVD	66	5 MC + 5 Cable QVD	2.5 MC + 2 Cable QVD	50
4th Day	LTG & SP Cir.(1)	5 QVD	2 QVD	40	2 Circuit QVD	1 Circuit QVD	50
	LTG & SP Cir.(2)	5 QVD	3 QVD	66	2 Circuit QVD	1 Circuit QVD	50
	LTG & SP Cir.(3)	5 QVD	2 QVD	40	2 Circuit QVD	1 Circuit QVD	50
	Power JB's	3 QVD	1 QVD	33	3 MC + 3 Cable QVD	1 MC + 1 Cable QVD	33
	Telecom , F&G JB's	3 QVD	1 QVD	33	3 MC + 3 Cable QVD	1 MC + 1 Cable QVD	33
	EHT Power Kit	5 QVD	2 QVD	40	3 MC + 3 Cable QVD	2 MC + 2 Cable QVD	66
	Fan Motors	2 QVD	1 QVD	50	2 MC + 2 Cable QVD	1 MC + 1 Cable QVD	50
	Switches	5 QVD	2 QVD	40	3 MC + 3 Cable QVD	2 MC + 2 Cable QVD	66
Average Efficiency		46.76%			50.23%		

4.4.2 케이블 글랜드 검사 선행

제3장에 언급된 검사 스케줄에 있는 방폭 검사 항목 중, 케이블 글랜드(Cable gland)는 케이블 엔트리 디바이스(Cable entry device)의 한 종류로 대부분의 방폭 장비에서 요구되는 검사 항목이다. 그리고, 종류에 따라 설치 방법이 상이하 여 작업자의 능력에 따라 결점이 많은 특성이 있다. 또한, 방폭 검사 시간의 약 30% 정도 차지하고, 선행 검사의 완료 여부와 관계없이 진행할 수 있으므로 방폭 검사 요구 장비인지의 확인 후 검사를 진행할 수 있다. 따라서, 일일 검사 배정을 받지 못한 방폭 검사원들이 사전에 검사하여 공식 방폭 검사 시 검사 시간을 줄일 수 있고, 발견된 결점에 대하여 빠른 수정으로 검사 진행의 생산성을 향상할 수 있을 것으로 예상했다.

본 제안 방안은, 적용 모듈과 비적용 모듈로 나누어 실시하였다. 진행 방법은 설치 업체에서 제공하는 모듈별 케이블 글랜드 설치 완료된 리스트에 의한 검사와 사이트 조사(Site Surgery)를 통한 검사로 진행하였다. 공식적인 검사가 아닌 사전 검사 개념의 접근으로 방폭 검사원이 시간적 여유가 있을 시 실시하였으며, 발견된 결점에 대해서는 프로젝트 결점 처리 프로세스에 의한 처리가 아닌 수정작업 요청 방식으로 진행하였다. 요청 방식의 목적은, 설치 업체의 품질 결점에 따른 실적 저하에 대한 부담을 경감시켜주고, 결점에 대한 시스템 입력, 처리 담당자 설정 그리고 완료 조치 보고 등에 드는 인적 물적 자원 절감을 얻기 위함이다.

정량적인 결과를 확인하기 위해서 일일 검사 시간과 수량을 기록하도록 검사원에게 요청하였다. 그러나, 검사 결과 기록을 위한 시간 소요에 대한 부담감으로 수치상으로 표현할 수 있는 값을 얻지는 못했다.

따라서, 객관적인 자료에 의해 개선 방안의 결과를 확인할 수는 없었지만, 적용 모듈과 비적용 모듈에서의 공식 방폭 검사 시, 적용 모듈에서의 검사 시간의 단축으로 방폭 검사원들의 생산성 향상에 도움이 된 것을 확인했다.

4.4.3 검사 신청 프로세스 개선

프로세스 마이닝을 이용한 방폭 프로세스의 분석 결과에 대한 병목 구간(Bottle neck)을 검사 관련 담당자들과의 브레인스토밍(Brain storming)을 통해, 선행 검사의 완료 여부 확인 및 방폭 검사 가능 여부 확인을 위한 시간적 소비가 가장 큰 문제점인 것을 확인하였다. 일반적인 검사 신청은, 생산 공정 관리 시스템의 결과를 바탕으로 개별 담당 부서에서 검사 신청을 하고 있지만, 방폭 검사의 경우 검사 가능 유무를 시스템에 의해서 판단하는 것이 아니라, 개별 장비에 대한 도면에 표시 및 개별 스프레드시트(Spreadsheet)로 관리하는 수기 기록방식으로 이루어지고 있음을 확인했다.

방폭 검사는 검사 장비와 관련된 선행 전기 혹은 계장 검사가 완료된 후, 실시하며 그 결과는 수기로 각 협력업체에서 관리하였으며, 자동화된 방폭 검사 가능 확인 프로그램 부재로 인해 방폭 검사 진행 여부를 판단하기에 어려움이 있음을 확인했다. 기존에 매뉴얼 방법에서 새로운 방폭 검사 알림 알고리즘을 통해 공정관리의 개선이 필요한 것으로 판단하였다.

Fig. 4.4는, 본 연구의 분석 대상이 되는 해양플랜트에서 선행 단계인 전기 및 계장 검사부터 방폭 검사까지에 대한 공정 순서도이며, 프로세스의 어느 부분에서 제안된 알고리즘의 적용되었는지를 나타냈다.

제안된 방폭 검사 알림 알고리즘은, 위험 지역 구분 도면에 따라 방폭 검사가 필요한 장비에 대한 리스트를 작성하고, 각 장비에 방폭 검사를 위해 선행해야 하는 QVD에 대한 목록을 정리한 뒤, 모든 선행 QVD가 완료되면 개별 태그(Tag)에 방폭 검사 가능으로 표시되도록 구성하였다. 제안된 알고리즘에 대해서는 제5장 공정 개선을 위한 알고리즘 개발에서 자세하게 설명한다.

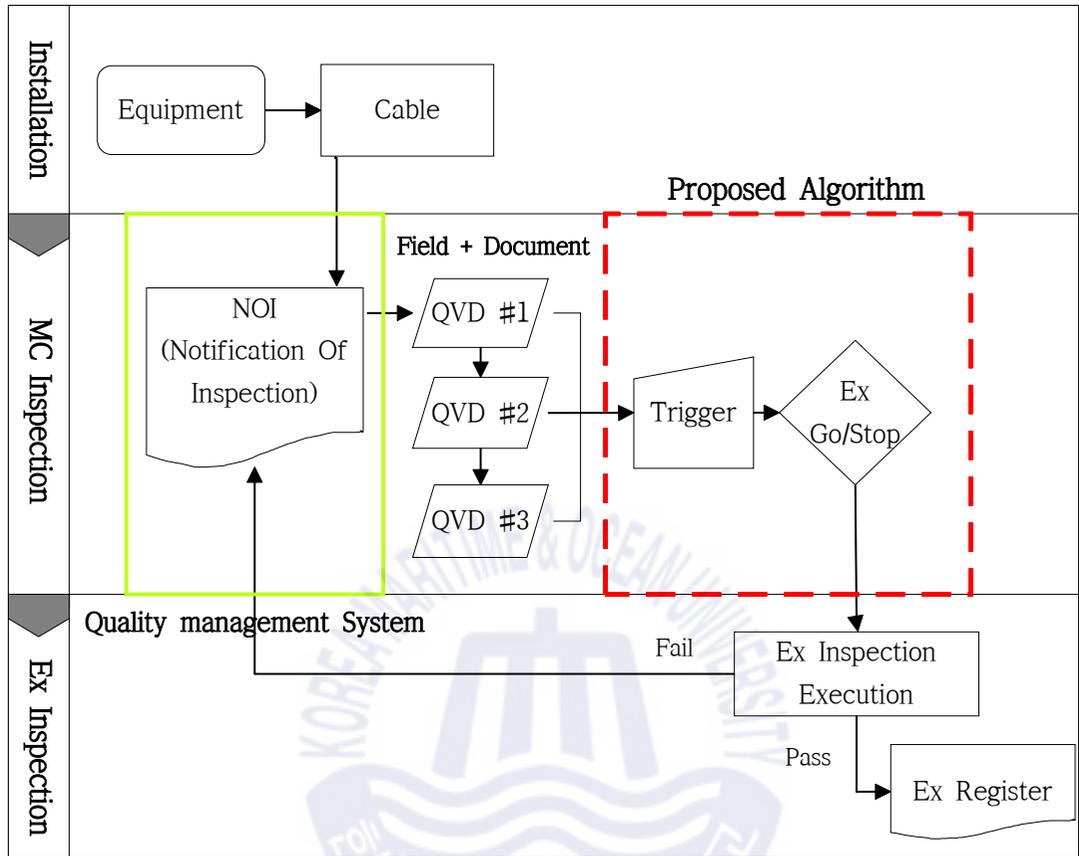


Fig. 4.4 Schematic of explosion proof inspection

4.5 개선 방안 고찰

프로세스 마이닝으로 분석된 방폭 검사 프로세스에 대한 개선 방안으로 합동 검사, 케이블 글랜드 검사 선행 그리고 검사 가능 여부 확인을 위한 알고리즘 개발의 3가지의 개선안이 나왔다. 합동검사는, 개별검사보다 효율성이 떨어지는 것으로 확인되었고, 케이블 글랜드 검사는 정성적인 개선은 확인하였지만, 전체 지연시간 개선은 확인하지 못하였다. 가장 큰 개선이 예상되는 새로운 알고리즘을 통한 방폭 검사 가능 유무 판단 알고리즘은 제5장에서 설명하도록 한다.

제 5 장 공정 개선 알고리즘

5.1 알고리즘 개요

본 알고리즘은, 방폭 검사 장비의 선행 검사 완료 정보를 바탕으로 방폭 검사 진행 가능 여부를 기존 수기 방식에서 시스템을 통해 확인하는 것에 목적이 있다. Fig. 5.1은 제안된 알고리즘의 순서도이다.

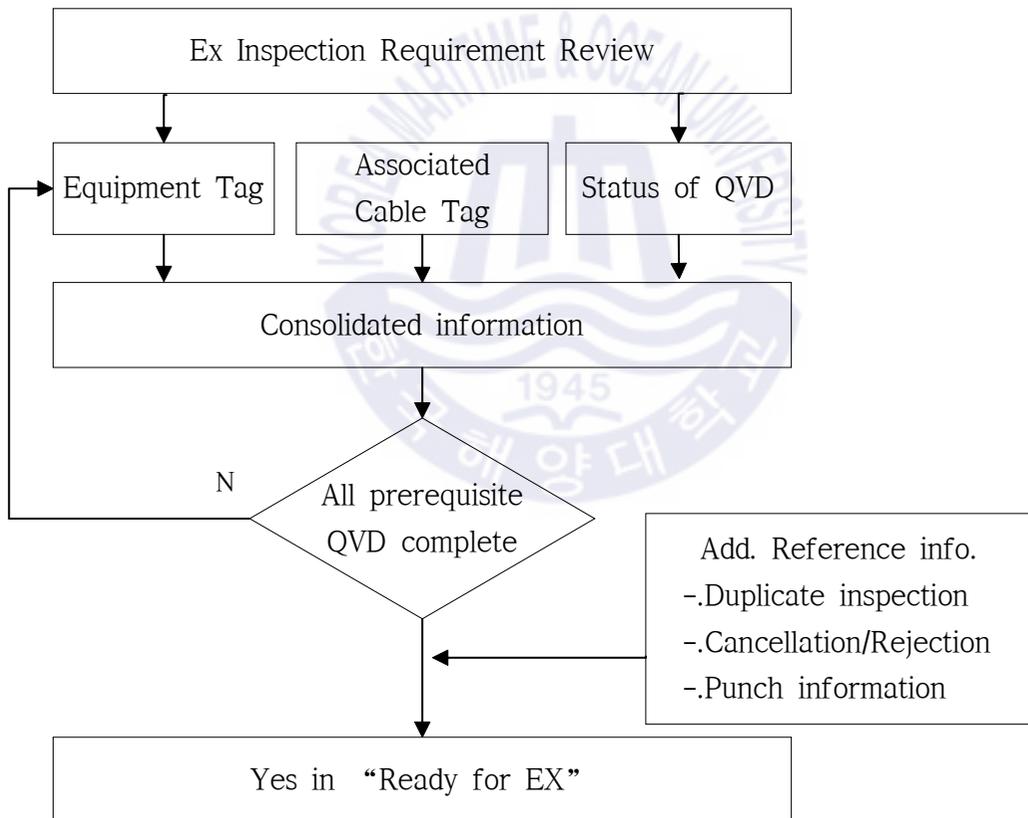


Fig. 5.1 Schematic of proposed algorithm for explosion proof inspection

제3장에서 언급한 바와 같이, 본 연구에 적용된 방폭 검사는 장비 공급자에 따라 요구되는 선행 검사가 달라진다. 첫 번째로, 장비를 계약자가 공급한 경우 장비 선행 검사와 케이블 검사를 모두 가진다. 전체 방폭 검사를 요구하는 장비의 약 70%가 이 조건을 가지고 있다. 두 번째로는, 주문주가 장비를 공급하고 계약자가 설치하는 경우로, 장비 검사에 대한 선행 검사를 가지지 않고, 계약자 책임의 케이블 설치와 검사가 완료되면 방폭 검사를 진행할 수 있다.

먼저, IEC 60079에 의한 작성된 위험 지역 구분도 (Hazardous Area Classification)에 따라, 장비가 방폭 검사가 필요한 지역에 설치되는지 확인한다. 방폭 검사가 필요한 장비는 장비 태그 리스트(Tag list)가 작성되고, 장비에 설치되는 케이블에 대한 태그도 알고리즘의 입력값으로 사용하기 위해 리스트화된다. 알고리즘의 입력값으로는 방폭 장비 태그 리스트, 방폭 장비에 설치되는 케이블의 태그 리스트 그리고 프로젝트 품질 관리 시스템으로부터 리포트 형태로 도출이 가능한 QVD 검사 결과(QVD Status)다.

그리고 장비 태그는 장비 군집에 따라 구분하여 입력하였다. 그 군집은 Lighting & Small power, Fire & gas, Electric, Instrument 그리고 HVAC으로 총 5개로 구분하였다. 구분한 목적은, 시스템별 구분으로, 차후 공정인 MC Walk-down team과 시운전(Commissioning) 팀에게 시스템별 완료 및 미완료 장비에 대한 정보를 쉽게 제공하기 위함이다.

케이블 태그는 모듈별로 작성된 케이블 스케줄(Cable Schedule)의 From & To 정보를 이용해서 장비에 인입되는 케이블을 확인하였다. 그러나, Table 5.1 열선 케이블(Heat tracing Cable)의 경우는 케이블 스케줄에 From & to로 정보가 없고, 열선의 태그도 파워 정선 박스(Power Junction Box) 태그 번호와 EHT(Electric Heat Tracing) 태그 번호가 분리되어 있어 품질 관리 시스템의 태그 형태인 43TDB9207-01_EHT-01와 상이하였다. 입력값으로 사용하기 위해, 파워 정선 박스의 태그의 서킷(Circuit) 번호와 EHT 태그 번호로 품질 관리 시스템의 태그와 동일 형태로 만들었다.

Table 5.1 Heat tracing schedule

Marshalling Box/Transition Box	Circuit Reference No.	Power Junction Box No.	EHT Tag No.	Normal Temp. (°C)	Max design Temp. (°C)	Heater type	Length (M)	
58TDB2207-TJB-01J1	58-TDB-2207-01	58TDB2207-TJB-0101	EHT-01	25	75	BSX 8-2-FOJ	6.9	
			EHT-02	25	75	BSX 8-2-FOJ	1.2	
				25	75	BSX 8-2-FOJ	11.6	
				25	75	BSX 8-2-FOJ		
				EHT-03	25	75	BSX 8-2-FOJ	11.5
			EHT-04	25	75	BSX 8-2-FOJ	1.3	
				25	75	BSX 8-2-FOJ	26.4	
				25	75	BSX 8-2-FOJ		
				25	75	BSX 8-2-FOJ	2.4	
				25	75	BSX 8-2-FOJ	21.1	
			58TDB2207-TJB-0103	EHT-05	25	75	BSX 8-2-FOJ	13.1
					25	75	BSX 8-2-FOJ	

QVD의 결과는, QVD 작성 프로세스에 따라 현장에서 검사가 완료되면 개별 ID 바코드(Barcode)를 가진 QVD에 기록되고, 그리고 품질 관리 시스템에 등록된다. 그러므로 품질 관리 시스템에서 QVD 완료 일자 및 선행 검사의 완료를 확인할 수 있다. 업데이트된 QVD 상태(Status)는 엑셀 파일의 리포트 형태로 추출되어 입력값으로 사용된다. 이 데이터는 실시간 업데이트되며, 일반적으로 하루에 1회 업데이트된 데이터를 추출하여 알고리즘에 사용하였으며, 필요한 때에 따라 실시간 데이터를 사용하였다.

No.	Equipment Tag No.	Discipline	ICS-016-A or ECS-069-X or ECS-002-A or ICL-004D or ICS-014-A or ECS				ICS-011-A or ICL-001A-1 or ICS-013-A or ECS-040-A				Ready for Ex inspection	Cable Test Completion	Ex Inspection Completion
			Associated Cable #1				Associated Inspection						
			Cable Tag	Date	Result	Result #1	Tag	Date	Result	Result #1			
1	58-NAL-220081-R	FBG	58-NAL-220081-R	14-May-2019	Completed	Accepted	58-NAL-220081-R	10-Jun-2019	Completed	Accepted	Yes	Yes	Accepted
2	58-NAL-220101-R	FBG	58-NAL-220101-R	15-May-2019	Completed	Accepted	58-NAL-220101-R	11-Jun-2019	Completed	Accepted	Yes	Yes	Accepted
3	58-NAL-220102-R	FBG	58-NAL-220102-R	15-May-2019	Completed	Accepted	58-NAL-220102-R	11-Jun-2019	Completed	Accepted	Yes	Yes	Accepted
4	58-NAL-220131-R	FBG	58-NAL-220131-R	14-May-2019	Completed	Accepted	58-NAL-220131-R	11-Jun-2019	Completed	Accepted	Yes	Yes	Accepted
5	58-NAL-220132-R	FBG	58-NAL-220132-R	15-May-2019	Completed	Accepted	58-NAL-220132-R	11-Jun-2019	Completed	Accepted	Yes	Yes	Accepted
6	58-NAS-220081	FBG	58-NAS-220081	14-May-2019	Completed	Accepted	58-NAS-220081	21-Jun-2019	Completed	Accepted	Yes	Yes	
7	58-NAS-220101	FBG	58-NAS-220101	15-May-2019	Completed	Accepted	58-NAS-220101	21-Jun-2019	Completed	Accepted	Yes	Yes	
8	58-NAS-220102	FBG	58-NAS-220102	15-May-2019	Completed	Accepted	58-NAS-220102	21-Jun-2019	Completed	Accepted	Yes	Yes	
9	58-NAS-220131	FBG	58-NAS-220131	14-May-2019	Completed	Accepted	58-NAS-220131	21-Jun-2019	Completed	Accepted	Yes	Yes	
10	58-NAS-220132	FBG	58-NAS-220132	15-May-2019	Completed	Accepted	58-NAS-220132					Yes	

Fig. 5.2 Screen of output from proposed algorithm

세 가지의 입력값으로 방폭 검사가 요구되는 장비의 모든 선행 QVD들이 완료되었는지를 판단할 수 있도록 알고리즘을 만들었다. 또한, 검사 일정의 효율성을 극대화하기 위해서, 일일 방폭 검사 결과 중 중복 검사, 검사 취소 및 리젝(Reject) 그리고 결점에 대한 정보를 입력하여 디스플레이 창에 표현될 수 있도록 하였다.

Fig. 5.2는 제안된 알고리즘으로 구성된 화면이다. 입력된 장비 리스트를 기준으로 관련 케이블 및 선행 장비 QVD 상태가 완료 날짜와 완료로 표시된다. 그리고 방폭 검사를 위해 완료되어야 하는 선행 QVD가 모두 완료가 된 것이 확인되면 ‘Ready for Ex inspection’ 에 ‘Yes’ 로 표기된다. 특히, 주문주가 장비를 공급한 경우는 선행 장비 검사가 요구되지 않아 관련 케이블 검사만 완료되면 방폭 검사가 진행이 가능하기 때문에 ‘Cable Test Completion’ 부분을 따로 두어 방폭 검사 가능 여부를 확인 할 수 있도록 했다. 방폭 검사 가능으로 확인된 태그들은 시스템에 입력되어 공식 검사 신청서인 NOI로 Table 5.2와 같이 방폭 검사가 신청된다.

Table 5.2 Example of NOI (Notification Of Inspection)

Division		OFFSHORE		DAILY INSPECTION SCHEDULE						To	
Issued Date		2019-11-15								NOI No.	
Insp. Date		2019-11-16								Revision No.	
										0	
No.	Project No	Disp	Location	Time	MC TAG NO.	Insp. Characteristic	SUB-SYSEM NO.	QVD NO.	Results	Remark	
1	606B	E	M078	13:30	42-BDII-034111.1	PCS/DCS ANALOGUE&DIGITAL I/O JUNCTION BOX	42-0340-GS-GS5-GS2	ECS-064-K (A1)			
2	606B	E	M078	13:30	42-BFIN-034153	F&G ANALOGUE&DIGITAL I/O JUNCTION BOX NOT	42-0340-GS-RIE01-FGZ2	ECS-064-K (A1)			
3	606B	E	M078	13:30	42-NAL-034006-R	FIRE & GAS - VISUAL ALARM BEACON	42-0340-GS-RIE01-FGZ2	ECS-064-K (A1)			
4	606B	E	M078	13:30	42-NMC-034076	FIRE & GAS - MANUAL CALLPOINT	42-0340-GS-RIE01-FGZ2	ECS-064-K (A1)			
5	606B	E	M078	13:30	42-RWY-0303	ROOT ACCESS POINT	42-0340-GS-RIE01-GWA	ECS-064-K (A1)			
6	606B	E	M078	13:30	42TDB0301-TJB-0302	TRACE HEATING JUNCTION BOX	42-0340-GS-EE001-TDB0301-A	ECS-064-K (A1)			
7	606B	E	M078	13:30	42TDB0302-TJB-2803	TRACE HEATING JUNCTION BOX	42-0340-GS-EE001-TDB0302-A	ECS-064-K (A1)			

5.2 적용 효과와 검증

제안된 알고리즘을 적용하기 위해, 가스 프로세스 공정과 제어실을 가지고 있는 A & B 두 모듈을 선택하였다. 모든 입력값은 검사 시작 2주 전에 준비되었으며, 제안된 알고리즘을 적용한 프로그램이 잘 운영되는지는, 가상의 입력값으로 확인하였다. QVD Status는 매일 오후 5시 기준으로 업데이트하였으며, 프로그램에서 확인된 검사 가능한 태그는 검사 신청 시스템에 등록되고, 공식 검사 신청서인 NOI로 검사가 요청되었다.

5.2.1 적용된 모듈의 분석

A 모듈, Fig. 5.3은 총 중량 3,068톤의 유틸리티 연료가스 모듈 (Utility Fuel Gas Module)이다. 그 크기는, 길이 57.9 m, 폭 14.7 m 그리고 높이 19.4 m로 가스 처리 설비(Gas Process Facility)와 전기제어실(Electric & Control Room)을 함께 가지고 있다. 전기제어실은 배터리 룸(Battery Room) 상부 25%를 제외하고는 모두 안전지역(Safe Zone)으로 방폭 검사가 요구되지 않는다. 그 외 모든 지역은 위험구역 Zone 1로 지정되어 있다. 2018년 9월 7일부터 2019년 4월 3일까지 전기 및 계장 선형 검사와 방폭 검사가 이루어졌다.



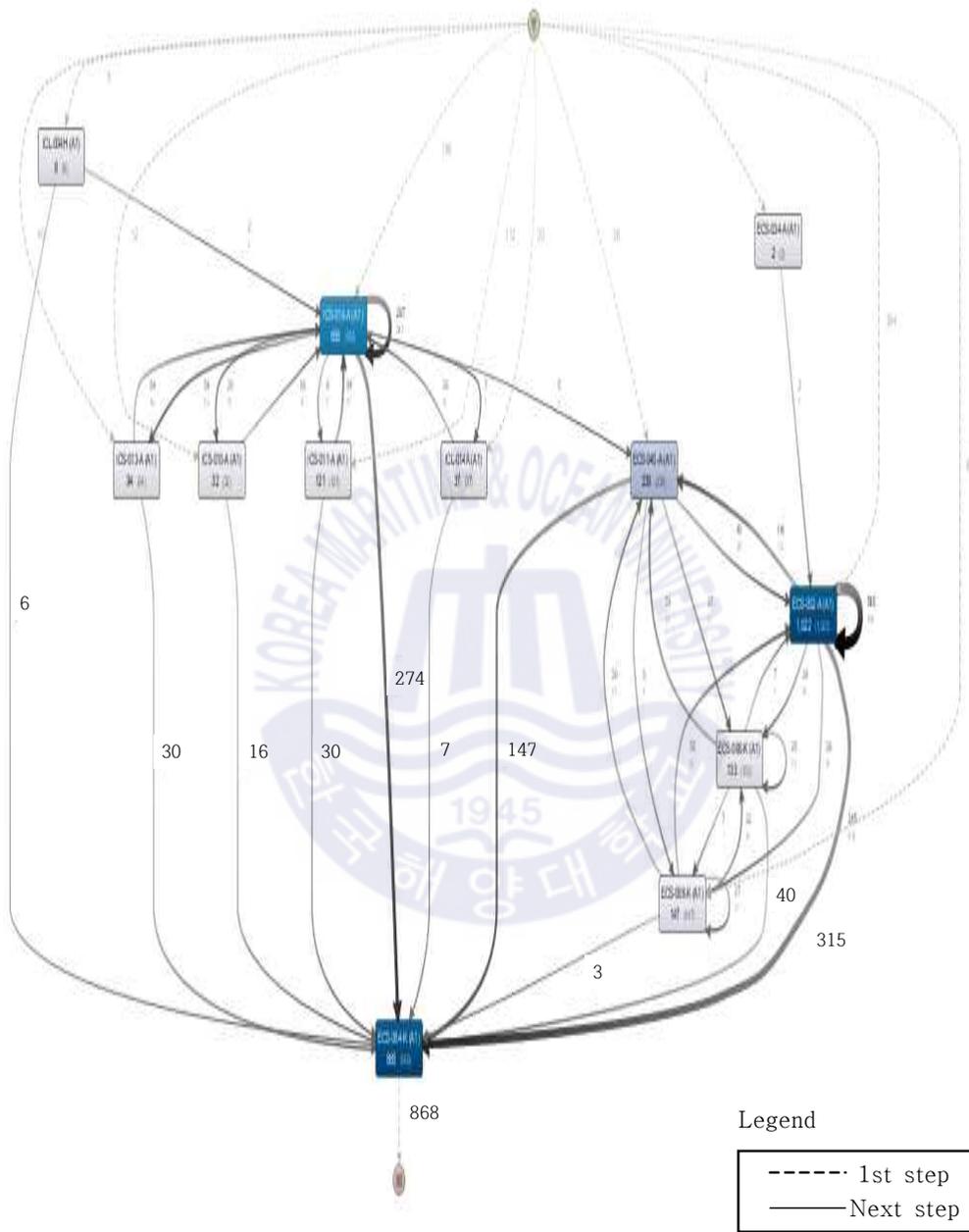
Fig. 5.3 3D model of A module

모든 검사가 완료된 후, 품질 관리 시스템에서 QVD 데이터를 내려받아 프로세스 마이닝으로 결과를 확인하기 위해서 데이터 전처리 작업을 시행하였다. 총 6023개의 QVD가 할당되어 있으며, 데이터 전처리 작업으로 선행 및 방폭 QVD 포함 1736개의 유효 QVD를 확인하였다.

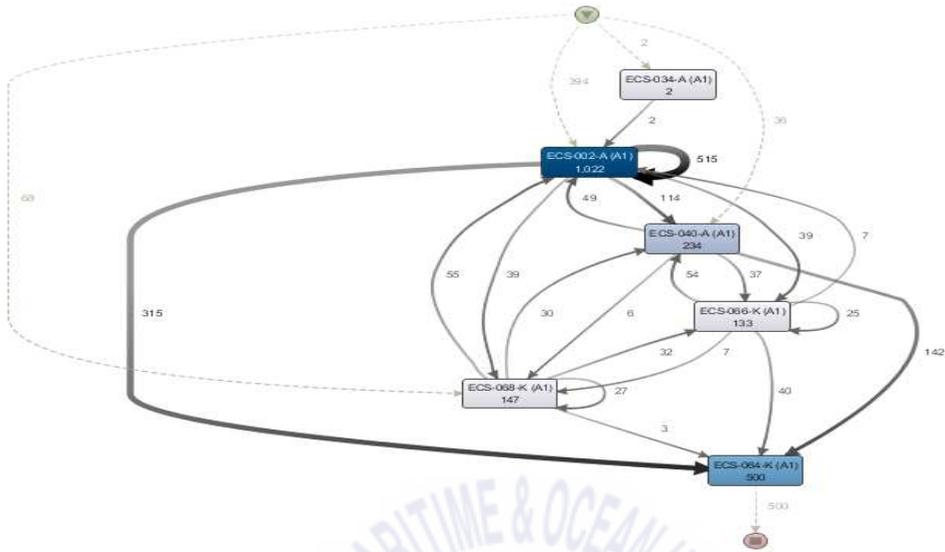
전처리된 데이터는 Disco에 의해 분석되었고, 868개의 케이스와 11개의 Activities가 있음을 확인하였다. Fig. 5.4는 빈도수 관점의 결과를 나타내고, 지연시간 관점은 Fig. 5.5로 도식화 하였다.

빈도수 관점에서 전기 QVD인 ECS-002-A가 315 케이스로 전체의 36.3%로 가장 많은 QVD를 차지하였고, 다음으로 계장 QVD인 ICS-016-A가 31.6%의 빈도를 나타냈다. 세 번째로 ECS-040-A가 16.9% 이었고, 나머지 QVD 들의 빈도수는 크지 않아, 전체 공정 진행 (Progress)에 영향이 적음을 확인했다. 또한, ECS-034-A, ECS-036-A, ECS-056-A에 대한 검사 없으므로 위험구역에 설치되는 모터, 전기 패널 그리고 온도조절기가 없음을 확인할 수 있었다.

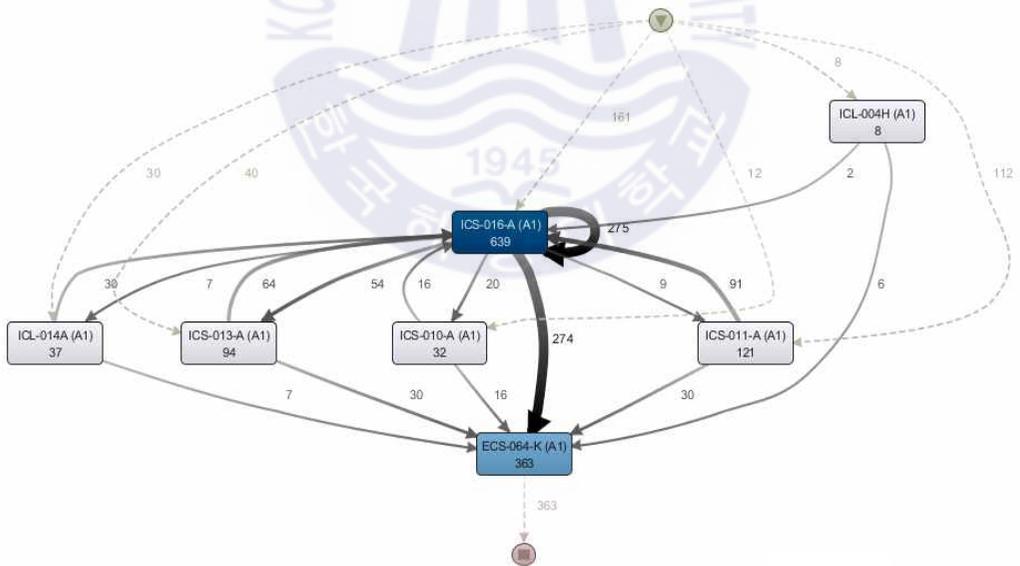
지연시간 관점에서 전기 QVD인 ECS-068-K가 6 d로 가장 긴 지연시간을 가졌지만, Table 5.3에서 같이, 최대/최소 소요 시간이 모두 6 d인 것으로 미루어 보아 시스템의 문제가 아닌 현장에서의 결점에 의해 지연된 것으로 판단된다. 가장 빈도수가 높았던 ECS-002-A는 2 d 지연시간을 보였다. 두 번째, 많은 빈도를 가진 ICS-016-A는 3 d의 지연시간을 보였고, 16.9%로 세 번째로 많았던 ECS-040-A도 3 d의 지연시간을 보였다. 빈도수가 적은 QVD에서는 다소 많은 지연시간이 발생했지만, 대부분의 QVD에서 2~3 d 정도의 지연시간을 보임을 확인하였다.



(a) Overall QVDs



(b) Electric QVDs



(c) Instrument QVDs

Legend

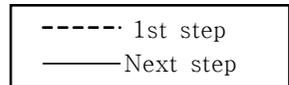
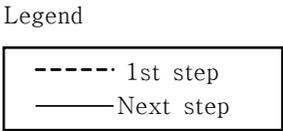
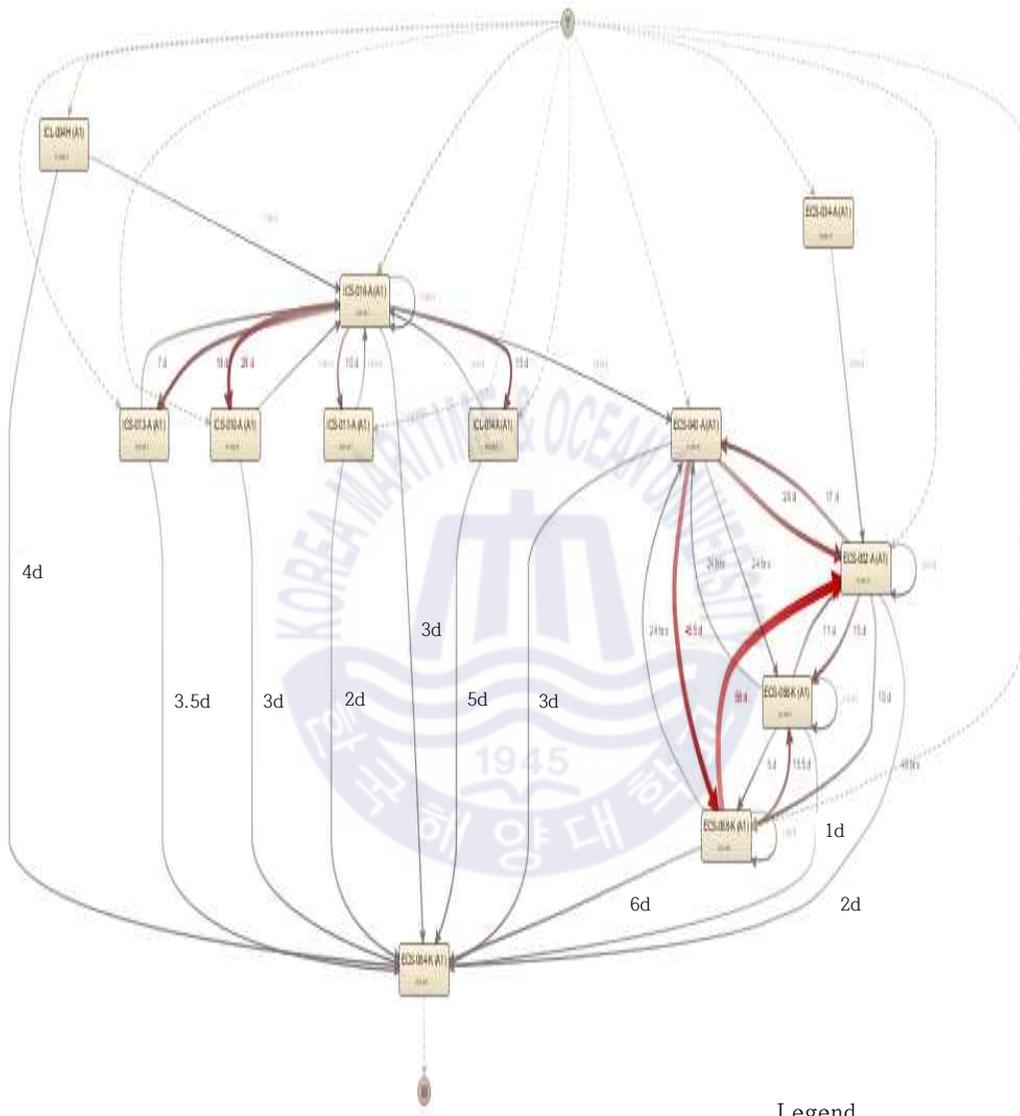
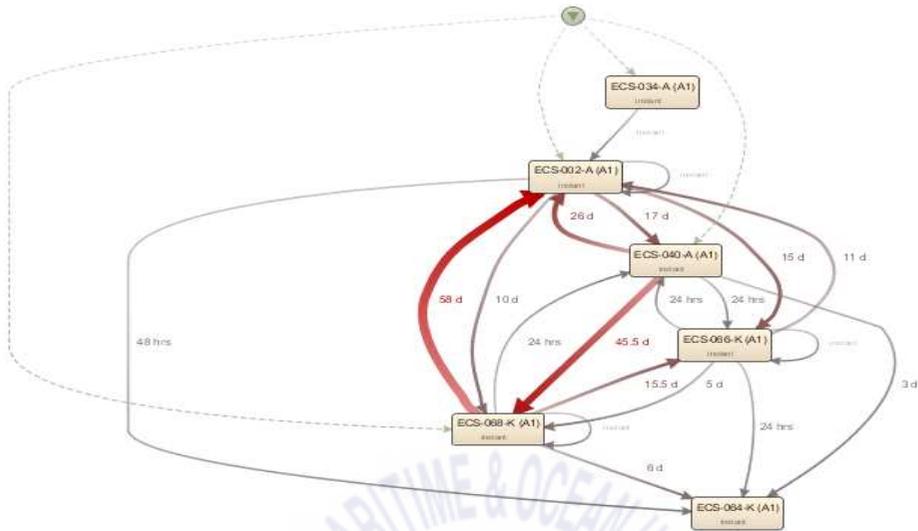


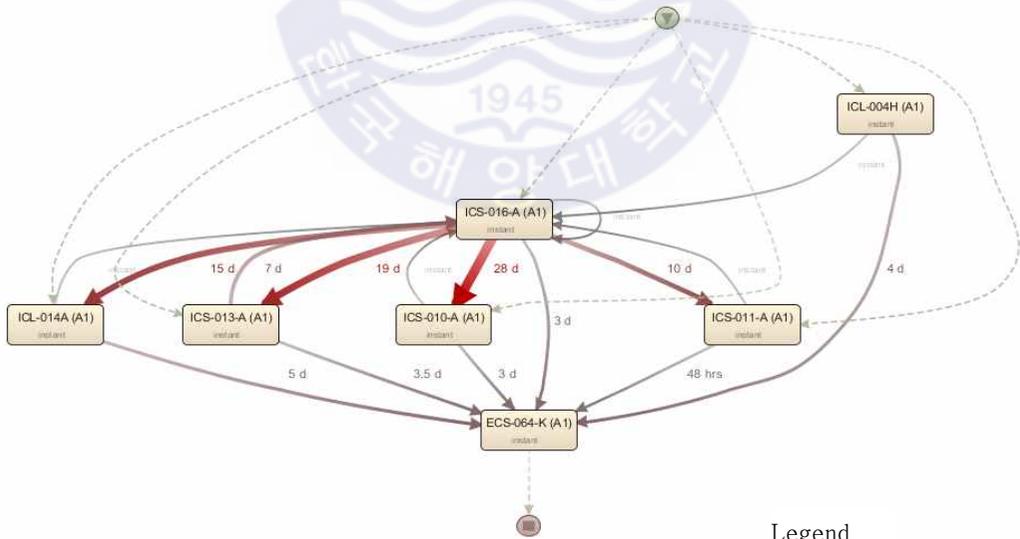
Fig. 5.4 Schematic of frequency for A Module



(a) Overall QVDs



(b) Electric QVDs



(b) Instrument QVDs

Legend

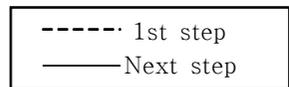


Fig. 5.5 Schematic of duration for A Module

Table 5.3 Analysis of activity for A module

	Frequency (Cases)	Relative frequency (%)	Median duration (Day)	Mean duration (Day)	Max. duration (Day)	Min. duration (Day)
ICS-011-A (A1)	30	3.5%	2 d	4.3 d	10 d	1 d
ICL-014A (A1)	7	0.8%	5 d	4 d	6 d	1 d
ICL-004H (A1)	6	0.7%	4 d	4.3 d	11 d	1 d
ICS-010-A (A1)	16	1.8%	3 d	2.8 d	4 d	0
ICS-013-A (A1)	30	3.5%	3.5 d	4 d	13 d	0
ECS-040-A (A1)	147	16.9%	3 d	11 d	64 d	0
ECS-034-A (A1)	-	-	-	-	-	-
ECS-036-A (A1)	-	-	-	-	-	-
ECS-056-A (A1)	-	-	-	-	-	-
ECS-068-K (A1)	3	0.3%	6 d	6 d	6 d	6 d
ECS-066-K (A1)	40	4.6%	1 d	1 d	2 d	0
ECS-002-A (A1)	315	36.3%	2 d	6 d	74 d	0
ICS-016-A (A1)	274	31.6%	3 d	10.3 d	157 d	0
ECS-064-A (A1)	868					
Total	1736					

Table 5.3은 프로세스 마이닝에 의해 분석된 A 모듈의 결과를 빈도수와 지연 시간을 함께 분석하기 위해 테이블로 표현하였다. 도식화로 표현되지 않은, 지연시간에 대한 평균값 그리고 최대/최소 지연시간도 함께 나타냈다. 제4장에서 언급한 바와 같이, 비정상적인 최대 지연시간은 장비의 결점 및 외부적인 요인에 의해 발생하므로 본 연구에서는 배제한다. 지연이 발생하는 대부분의 QVD

에서는 3일 이내의 중앙값과 평균값에 차이가 있음을 확인하였다. ECS-034-A (A1), ECS-036-A (A1) 그리고 ECS-056-A (A1) 검사는 본 모듈에 없는 것으로 확인되었다. ICS-010-A (A1), ICS-013-A (A1), ECS-040-A (A1), ECS-066-K (A1), ECS-002-A (A1) 그리고, ICS-016-A (A1)은 후행 공정의 일정으로 인해 방폭 검사와 선형 검사가 같은 날에 완료된 경우가 있어, 최소 지연시간이 “0” 으로 표기되었다.

두 번째인 B 모듈은, 가스 정제 프로세스에 설치되는 파이프라인 밸브 매니폴드(Pipeline Valve Manifold) 모듈로, 총 중량 1,000톤이며 크기는 길이 49.9 m, 폭 15.9 m 그리고 높이 8.9 m로 국내 조선소의 제작하는 81개 모듈 중 작은 크기에 해당한다. Fig. 5.6과 같이 프로세스 파이프와 밸브가 주요 장비이며, 전기 실은 가지고 있지 않다. 본 모듈은 IEC 60079에 따라 모듈 전체가 위험구역 Zone 1로 지정되어 있으므로, 설치된 모든 장비는 방폭 검사가 요구된다. 전기, 계장 그리고 방폭 검사는 2019년 4월 19일부터 2019년 7월 3일까지 시행되었다.

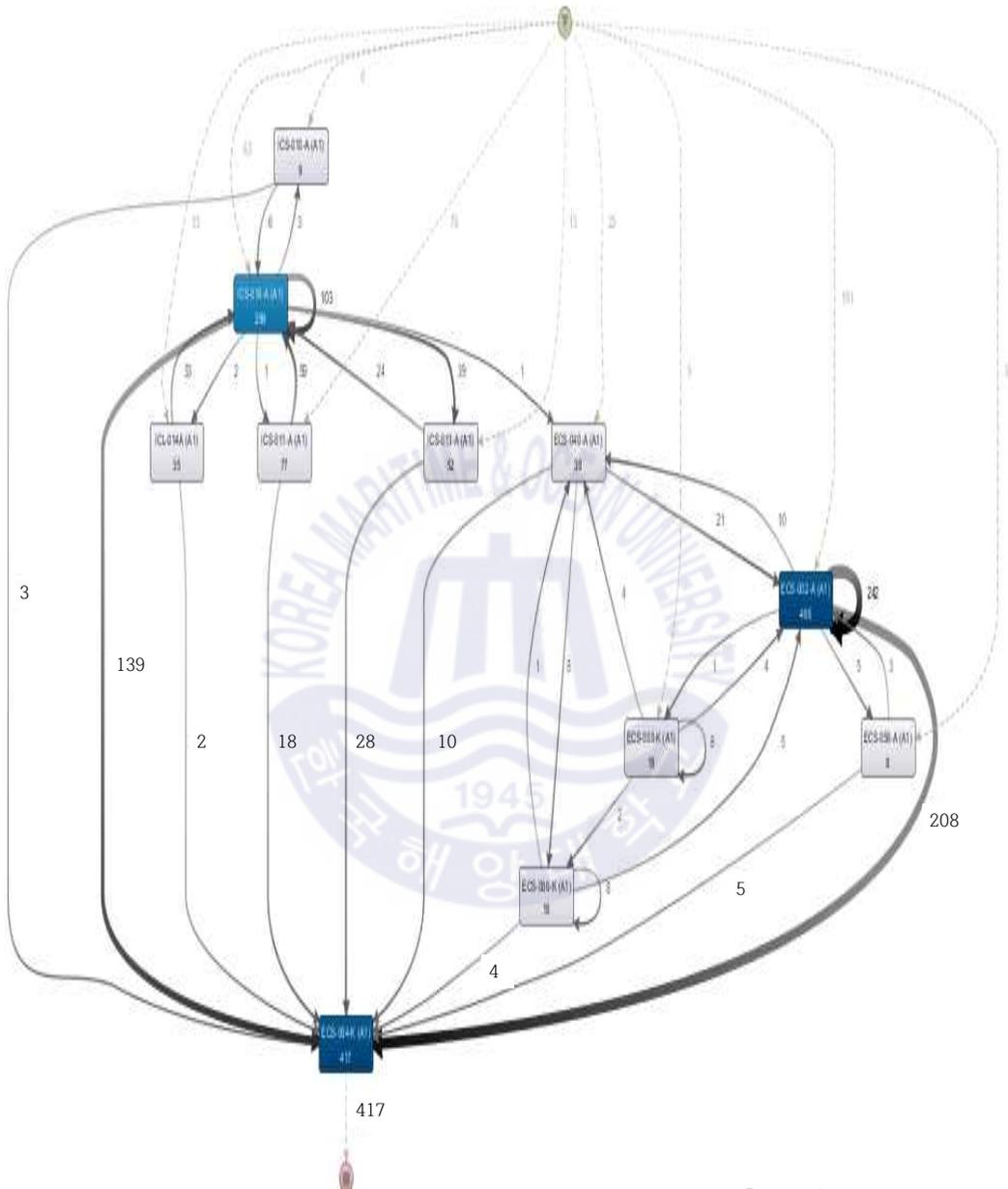


Fig. 5.6 3D Model of B Module

B 모듈에 대한 적용 결과를 확인하는 방법도 A 모듈과 같은 절차로 진행했다. 완료된 QVD 데이터를 품질 관리 시스템에서 추출하여 전처리 과정을 거친 후, 834개의 유효 QVD를 Disco 프로그램으로 분석하였다. 본 모듈에서는 Case는 417개 그리고 Activity는 10가지가 있음을 확인했다.

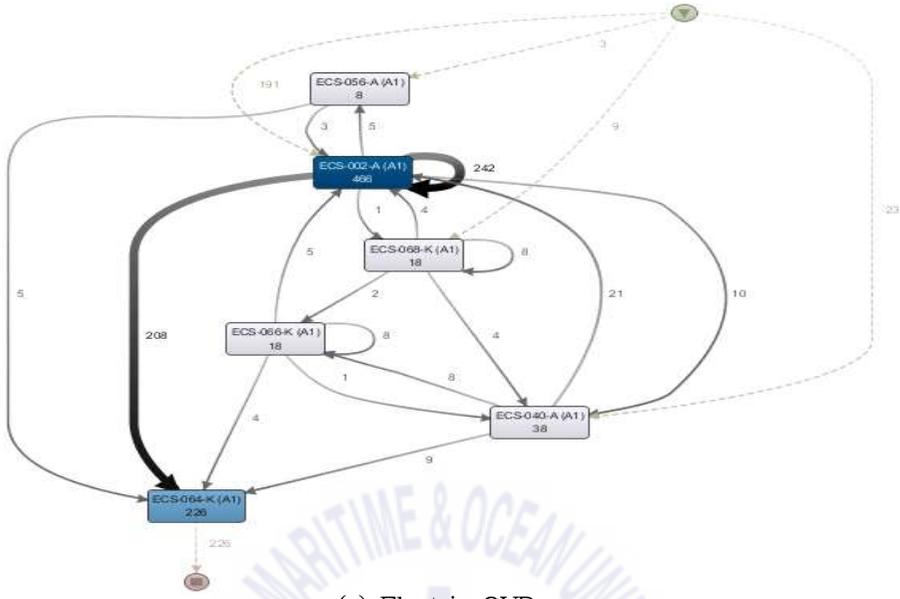
Fig. 5.7은 빈도수에 대한 전기 및 계장 QVD의 결과이다. 가장 질은 색의 ECS-002-A QVD가 총 208 case로 전체의 절반가량인 49.9%이고, ICS-016-A가 두 번째로 33.3%로 나타났다. ICL-004H, ECS-034-A 그리고 ECS-036-A QVD가 본 모듈에 할당되지 않았음을 확인하였다.

지연시간을 나타내는 Fig. 5.8에서는 ECS-066-K가 빈도수는 적으나 가장 큰 지연시간인 9 d가 소요되었고, 또한 가장 큰 빈도수를 가지는 ECS-002-A QVD가 5 d로 두 번째로 큰 지연시간이 발생하였음을 확인하였다. 두 번째로 빈도수가 높은 ICS-016-A는 2 d의 짧은 지연시간을 보였으며, 나머지 QVD들도 1~3 d 사이의 합리적인 지연시간을 보였다.

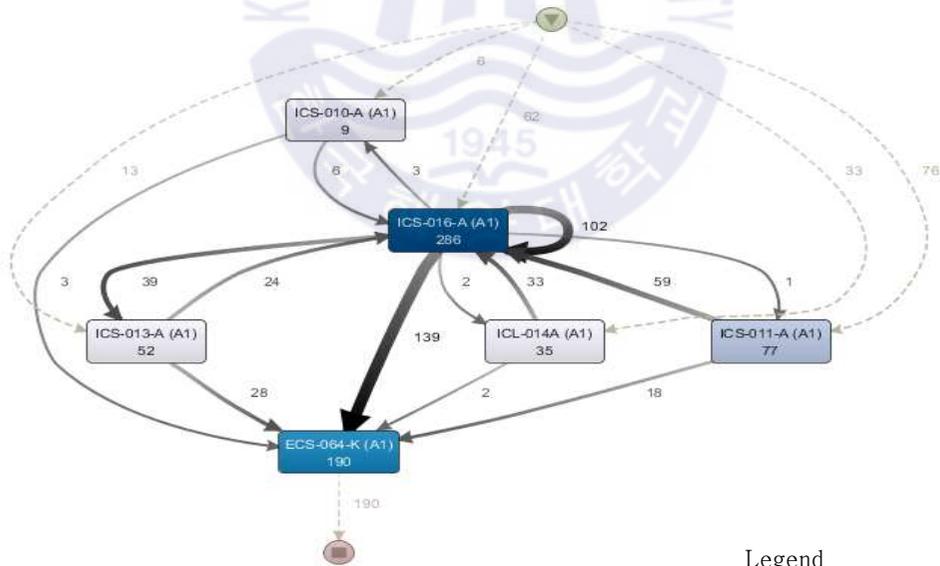


(a) Overall QVDs

Legend
 ----- 1st step
 ————— Next step



(a) Electric QVD



(b) Instrument QVDs

Legend

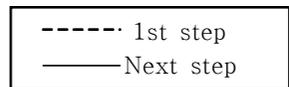
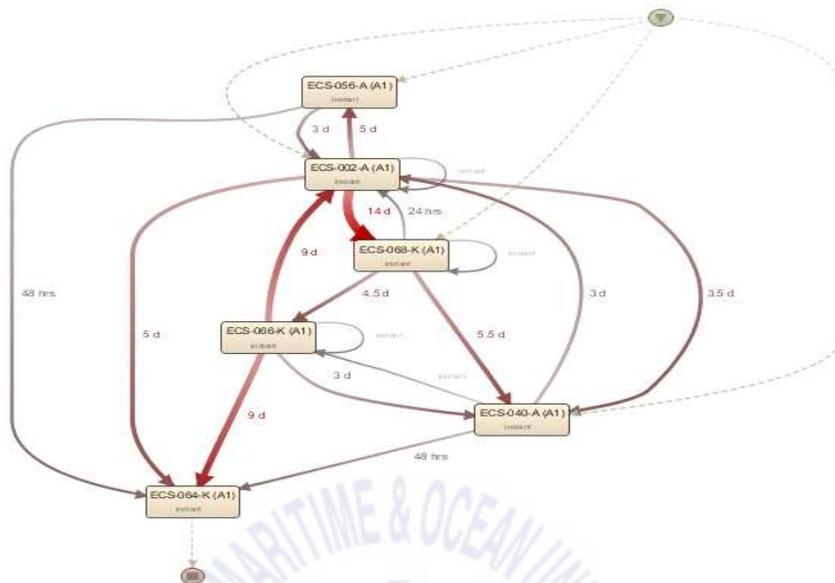
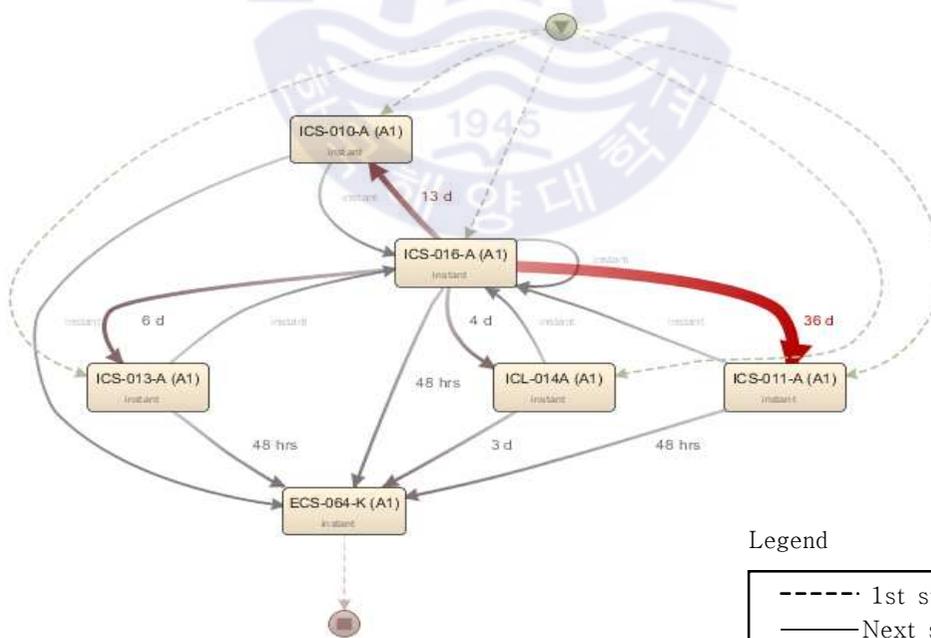


Fig. 5.7 Schematic of frequency for B module



(b) Electric QVD



Legend
 ----- 1st step
 ————— Next step

(c) Instrument QVD

Fig. 5.8 Schematic of duration for B module

Table 5.4 Analysis of activity for B module

	Frequency (Cases)	Relative frequency (%)	Median duration (Day)	Mean duration (Day)	Max. duration (Day)	Min. duration (Day)
ICS-011-A (A1)	18	4.3%	2 d	1.8 d	3 d	0
ICL-014A (A1)	2	0.5%	3 d	3 d	3 d	3 d
ICL-004H (A1)	-	-	-	-	-	-
ICS-010-A (A1)	3	0.7%	1 d	1 d	3 d	0
ICS-013-A (A1)	28	6.7%	2 d	2.3 d	9 d	0
ECS-040-A (A1)	10	2.4%	2 d	6.7 d	20 d	0
ECS-034-A (A1)	-	-	-	-	-	-
ECS-036-A (A1)	-	-	-	-	-	-
ECS-056-A (A1)	5	1.2%	2 d	4.4 d	9 d	0
ECS-068-K (A1)	-	-	-	-	-	-
ECS-066-K (A1)	4	1.0%	9 d	7.8 d	9 d	4 d
ECS-002-A (A1)	208	49.9%	5 d	6.9 d	37 d	2 d
ICS-016-A (A1)	139	33.3%	2 d	2.8 d	20 d	2 d
ECS-064-A (A1)	417					
Total	834					

Table 5.4는 제안된 알고리즘이 적용된 B 모듈에 대한 프로세스 마이닝 분석 결과를 빈도수와 지연시간을 함께 분석하기 위해 테이블로 표현하였다. 지연시간에 대한 평균값 그리고 최대/최소 지연시간도 함께 나타냈고, 비정상적인 최대 지연시간은 장비의 결점 및 외부적인 요인에 의해 발생하므로 본 분석에서는 배제하였다.

ICL-004H (A1), ECS-034-A (A1), ECS-036-A (A1) 그리고 ECS-068-A (A1) 검사는 본 모듈에 없는 것으로 확인되었다. ICS-011-A (A1), ICS-010-A (A1), ICS-013-A (A1), ECS-040-A (A1), ECS-056-A (A1)는 방폭 검사와 선형 검사가 같은 날에 완료된 경우가 있어, 최소 지연시간이 “0” 으로 표기되었다.

5.2.2 결과 분석

프로세스 마이닝 기법을 이용한 방폭 검사 프로세스의 분석에서 가장 큰 문제점으로 판단된 방폭 검사 가능 시스템의 개선을 위해 본 연구에서는 수기 방식이 아닌 품질 관리 시스템의 데이터를 활용하여 검사 가능 태그를 확인하는 알고리즘을 제안했다.

제안된 알고리즘은 약 11개월 동안 2개 모듈에 적용하였다. 제안된 알고리즘에 적용하기 위해 방폭 검사 요구 장비의 리스트와 케이블 리스트 작성하였고, 프로젝트 품질 관리 시스템으로 관리되는 품질 검사 문서인 QVD의 상태 데이터를 활용하였다.

각 모듈의 결과는 모든 검사가 완료 후, 비적용 모듈 분석에 적용했던 프로세스 마이닝을 이용하여 분석하였다. 결과는 빈도수 관점과 지연시간 관점으로 나누어 분석하였다.

Table 5.5 Comparison delay day between un-applied and applied modules

QVD (Activity)	Un-applied Module		Applied Module				Deviation with un-applied Module	
			A Module		B Module		A Module	B Module
	Days	%	Days	%	Days	%	Days	Days
ICS-011-A (A1)	6	4.11%	2	3.46%	2	4.32%	-4	-4
ICL-014-A (A1)	1	0.29%	5	0.81%	3	0.48%	4	2
ICL-004-H (A1)	15	0.15%	4	0.69%	-	0.00%	-11	-
ICS-010-A (A1)	9	0.44%	3	1.84%	1	0.72%	-6	-8
ICS-013-A (A1)	1	1.76%	3.5	3.46%	2	6.71%	2.5	1
ECS-040-A (A1)	2	18.80%	3	16.94%	2	2.40%	1	0
ECS-002-A (A1)	13	36.12%	2	36.29%	5	49.88%	-11	-8
ICS-016-A (A1)	4	37.30%	3	31.57%	2	33.33%	-1	-2
Total (Average)	6.94 Days		2.56 Days		3.56 Days		-4.38	-3.38

Table 5.5는 제안된 알고리즘을 적용한 모듈과 적용하지 않은 모듈을 비교 표현하였다. 알고리즘 적용 전과 후를 비교 분석하기 위해서, 전후 모듈 모두에 할당된 8개의 QVD만 분석하였다. 3개 모듈에서, 선행 QVD 중 가장 많은 빈도수를 가지므로 지연시간 개선으로 공정 개선에 가장 큰 영향을 줄 수 QVD는 ECS-002-A로 전기 장비의 케이블 검사임을 확인했다. 적용 전 모듈에서 36.12%, 적용 후 A 모듈에서 36.29% 그리고 B 모듈에서 49.88%였으며, A 모듈에서는 11 d의 개선 그리고 B 모듈에서 8 d의 개선을 확인하였다.

다음으로 많은 QVD는 계장 장비 케이블 검사인 ICS-016-A이다. 3개 모듈 모두 30% 이상의 빈도를 가지며, A 모듈에서는 1d 그리고 B 모듈에서는 2d가 개선되었다. 계장 QVD 중, 두 번째로 많은 빈도수를 가진 ICS-011-A는 A, B 모듈 모두 4d의 지연시간 개선을 확인했다.

그러나, 전체 선행 QVD 중 세 번째로 많은 빈도수를 가지는 ECS-040-A는 A 모듈에서 기존보다 1d가 늘어났고, B 모듈에서는 개선사항을 확인하지 못했다. ICL-014A와 ICS-013-A에서는 적용 전보다 지연시간이 다소 증가하였지만, ICL-014A의 경우 빈도수가 1% 미만이므로 건조 공정에 끼치는 영향은 미미하다고 판단하였고, ICS-013-A는 카자흐스탄 방폭 인증서 문제로 다소 지연된 것으로 확인되었다.

마지막으로 ICL-004H와 ICS-010-A는 지연시간의 큰 개선은 있었지만, 빈도수가 낮아 공정 향상에 대한 기여도는 미비하다고 할 수 있겠다.

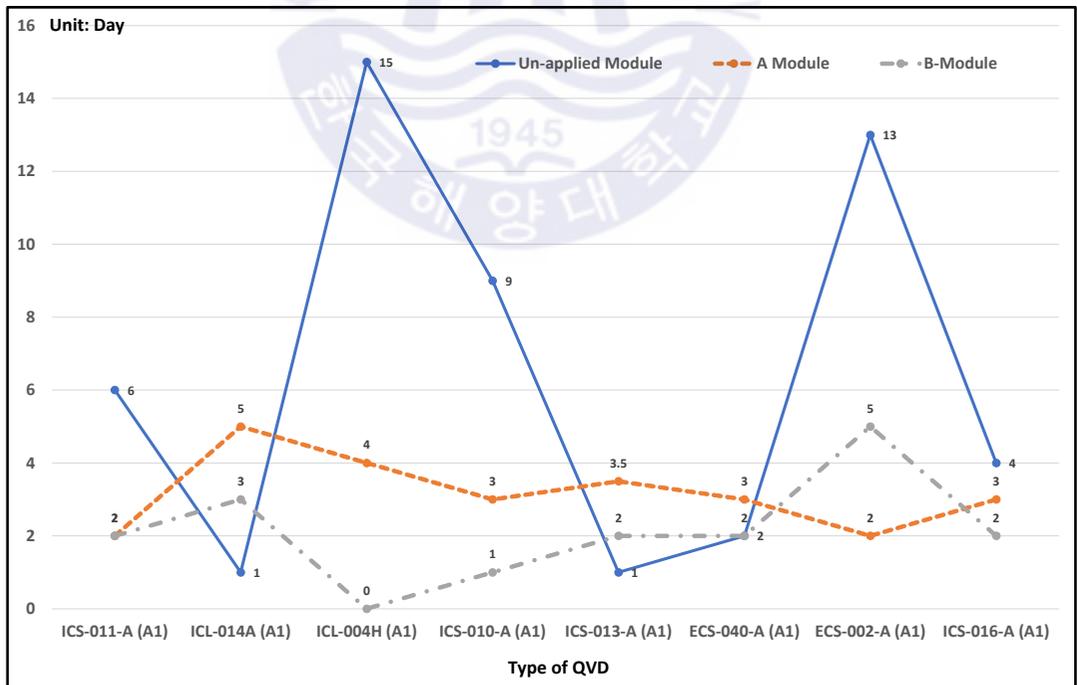


Fig. 5.9 Comparison the delay day of QVDs by modules

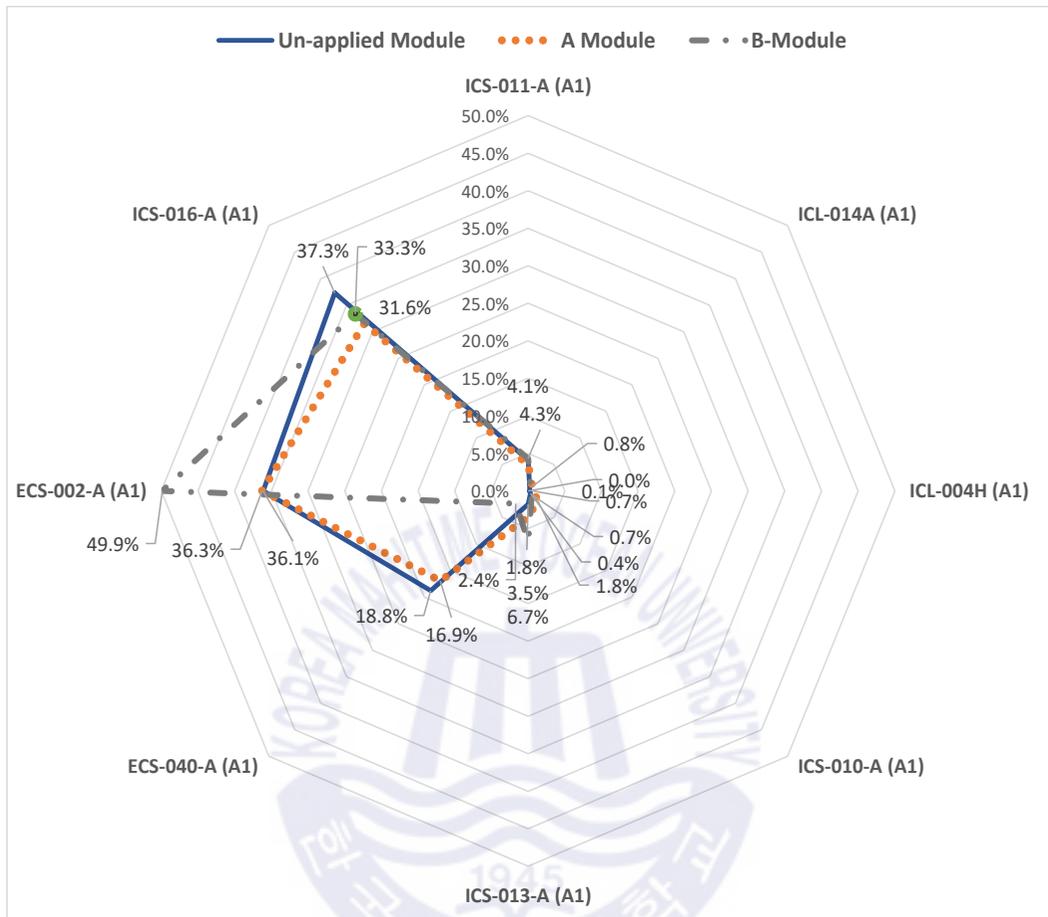


Fig. 5.10 Comparison the frequency of QVDs by modules

Fig. 5.9는 본 연구의 주 과제였던 방폭 검사 지연시간에 대하여 QVD 별 변화를 그래프로 시각화하여 표현하였다. 비교 대상이 되는 총 8개의 QVD 중, ICL-014A, ICS-013-A 그리고 ECS-040-A를 제외한 5개의 QVD에서 상당한 수준의 지연시간 개선을 확인하였다. Fig. 5.10은 선행 QVD에 대한 빈도수를 모듈 별로 방사형 형태로 나타냈다. 모듈에서의 전체 빈도수의 약 70%를 차지하는 ECS-002-A와 ICS-016-A에서의 개선은 전체 공정 개선에 큰 영향을 준 것으로 확인되었다.

제 6 장 결과 및 고찰

6.1 연구 결과

우리나라의 해양플랜트 산업은 2000년 후반 글로벌 고유가로 인해 급성장하였다. 특히, 2001년부터 2014년에는 연평균 60조 규모의 글로벌 해양플랜트 시장의 절반이 넘는 연평균 34조 원에 달하는 수주량을 달성하였다. 그러나, 최근에는 미국에서 시작된 셰일가스 혁명 및 산유국들의 증산으로 국제 유가는 20 달러대로 급락하였고, 해양플랜트 시장은 급격한 냉각기에 접어들었다.

이에 따라, 우리나라 조선소와 연구소에서는 글로벌 경쟁력 확보를 위해 생산성 향상과 기자재 국산화 연구에 매진해 왔으며, 복잡한 해양플랜트 건조 공정에 대한 시간적, 공간적 효율성을 극대화하기 위해 다양한 연구도 시행하고 있다. 그러나, 현실적으로 우리나라 대형 조선소의 생산 프로세스에 유연하게 적용하기에는 많은 어려움이 있는 것이 사실이다. 그리고, 생산성 향상을 위한 대부분의 연구는 정량적인 값으로 표현하기 쉽고, 구조물 형태로도 가시적으로 보일 수 있는 생산 공정 프로세스에 집중되고 있다. 특히, 최근 저유가로 인한 해양플랜트 공기 단축에 대한 요구로 인해 더욱더 생산 공정 중심의 관리로 변해가고 있다. 이에, 본 연구에서는 생산성 향상을 위한 일반적인 연구 주제인 공정 프로세스 분야가 아닌 방폭 품질 검사 프로세스를 분석하고 프로젝트 공정에 이바지하고자 하는 목표를 가진다. 특히, 많은 품질 프로세스 중 방폭 검사 프로세스를 선택한 이유는 2000년대 많은 육상 및 해상 정유 시설의 폭발 사고로 인해 2010년 이후부터 방폭에 대한 중요성이 주목받고 있고, 우리나라 조선소에서 아직 많은 경험 부족 및 실적의 부재로 효율적인 검사가 진행되지 않아 방폭 검사를 연구 대상으로 선택하였다. 또한, 분석 기법으로 국내 조선소 및 작업 현장에서 프로세스 및 활동에 대한 분석을 주로 엑셀을 이용한 방법이 매우 일반화되어 있으나, 원하는 분석 결과를 얻기 위해서는 복잡한 스프레드 시트 프로그램이 필요하고 시간도 많이 소요되어 분석 결과는 얻었지만, 조업 중인 프로젝트에 적용하기에는 어려움이 많다. 그러나, 시스템에 축적된 이벤트 로그를 기반으로 프로세스를 분석하는 프로세스 마이닝 기법은 복잡한 프로세

스를 빠른 시간에 도식화해서 표현하여 분석의 편이성을 제공함으로 본 연구에서는 프로세스 마이닝 기법을 사용하였다.

본 연구에서는 품질 관리 시스템에 축적된 데이터를 바탕으로 방폭검사 프로세스를 프로세스 마이닝을 기법을 이용하여 분석하였다. 분석 결과에 대한 고찰로 세 가지의 개선안을 마련하였다.

첫 번째 개선안은, 선행 검사와 방폭 검사를 함께 하는 합동검사이다. 한 장비에 두 개의 검사를 동시에 진행함으로써, 검사 진행을 위해 소요되는 인적 자원의 개선과 결점에 관한 확인 및 조치를 함께 진행하여 문제점을 시스템에 등록, 문제점 조치 그리고, 재확인 절차 줄여 줌으로 전체 공정 향상에 도움이 될 것으로 예상하였다. 그러나, 4일간의 합동검사 실시결과는 두 검사 모두에서 기존의 개별검사보다 50% 미만의 효율성을 보였다.

두 번째 개선안은 방폭 검사의 약 30%를 차지하고 선행 검사의 완료 여부와 관계없이 진행 가능한 케이블 글랜드 선행 검사이다. 방폭 검사 진행 전에 케이블 글랜드 설치가 완료되면 일일 검사 배정이 없는 검사원이 검사를 진행하는 방식으로 실시하였고, 비록 그 결과가 정량적인 수치로 개선 결과를 표현할 수는 없었지만, 설치 업체와 검사원들 모두로부터 긍정적인 결과를 확인할 수 있었다.

마지막 개선 방안인, 검사 신청 프로세스 개선이다. 기존에, 방폭 검사 가능 태그 확인을 위해 수기 방식을 시스템적으로 태그 확인이 가능하도록 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 약 11개월 동안 두 모듈에 적용되었다. 기존의 방식 대비 A 모듈은 평균 4.38일 단축으로 63%의 개선을 그리고 B 모듈은 3.38일이 단축되어 48%의 공기 개선이 있었음을 확인했다. 그러나, 몇몇 QVD에서는 다소 아쉬운 결과를 얻었다.

본 연구를 통해, 프로세스 마이닝 기법을 이용하여 해양플랜트 방폭 검사 프로세스에 대하여 고찰할 수 있었으며, 개선 방안을 제시하고 개선안을 적용하고 결과에 대해서도 프로세스 마이닝으로 확인하였다. 제안된 알고리즘을 적용으로 방폭 검사 진행에 불필요한 지연시간을 단축하고, 수기 방식으로 발생한

인적 및 물적 비용 절감 효과를 확인하였다. 또한, 건조 및 품질 관리 시스템의 빅데이터에 대한 가치를 인지할 수 있었을 뿐만 아니라, 통계적 기법 및 데이터 마이닝 등의 다양한 분석 기법에 대하여도 이해할 수 있었다.

6.2 향후 연구

본 연구를 통해, 선박의 블록 이동 및 배관 시스템 제조 공정 분석 등에 사용되었던 프로세스 마이닝을 해양플랜트 품질 공정에 적용 가능하다는 것을 확인했다. 향후 연구 대상으로는, 방폭을 포함한 해양플랜트 전기 및 계장 전체품질 검사의 프로세스 분석으로 확장해 보려고 한다. 또한, 기존의 종이 형태의 검사 시트를 ICT(Information and Communications Technologies)를 사용한 전자 검사 시스템 도입을 개발하여 검사 즉시, 실시간으로 제조 공정 및 품질 관리 시스템에서 검사 결과를 확인할 수 있는 시스템을 구축하는 연구를 진행할 예정이다.



참 고 문 헌

- [1] 오병근, 2010. 해양플랜트 Topsides 화재 위험도 평가에 관한 연구.
석사학위논문. 부산대학교.
- [2] 박중구, 우중훈, 2018. 해양플랜트 배관재 공정관리 방법에 관한
연구. 대한조선학회, Vol. 55, No.2, pp. 124~135.
- [3] 위키피디아, 2010. Deepwater Horizon, Available from :
https://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon [7 August 2019]
- [4] 이동하, 2014. 프로세스 마이닝을 이용한 조선 산업의 생산 공정 분석.
박사학위논문. 부산대학교.
- [5] 민찬식, 2018. 방폭 전기설비 적용의 법적 대상 구분. 한국조명전기
설비학회. 조명전기설비, 32(3), pp. 36~45.
- [6] EXTEND, 2015. 위험 구역용 전기 장비 - AS/NZS 4761.1에 따른
설치과정 참고사항
- [7] 여정규, 2019. LED 방폭 조명 설계 및 조명 특성에 관한 연구.
박사학위논문. 부경대학교.
- [8] AS/NZS 60079.10.1, 2009. Part 10.1 Classification of areas-Explosive
gas atmospheres.
- [9] Trainor, 2014. Ex basic - Electrical installation in hazardous areas.
Version 1.
- [10] 박중구, 김민규, 우중훈, 2019. 프로세스 마이닝 기법을 이용한
해양플랜트 배관재 제작 공정 관리 방법에 관한 연구. 대한조선학회

- 논문집 56(2), pp. 143~151.
- [11] 이동하, 박재훈, 배혜림, 2013. 조선 산업에서 프로세스 마이닝을 이용한 블록 조립 프로세스의 계획 및 실적 비교 분석. 한국전자거래학회지 18(4), pp. 145~167.
- [12] 정민주, 2015. 방폭용 LED Signal Lamp 구동 시스템의 성능개선. 석사학위논문. 부경대학교.
- [13] 조춘수, 2011. 저압전기설비의 내압방폭인증절차에대한 고찰. 한국조명전기설비학회 학술대회논문집. pp. 171~175.
- [14] 조춘수, 정영호, 2012. 내압방폭구조전기기기의 인증 과정에서의 문제점 분석. 대한전기학회 학술대회 논문집. pp. 167~169.
- [15] Linda Ehnholm, 2007. A STUDY OF THE ATEX CERTIFICATION PROCESSES AT A MEDIUM-SIZED COMPANY. Master Thesis. Finland : Helsinki University of Technology.
- [16] 배혜림, 2018. 운영빅데이터를 활용한 제조 및 물류생산성 향상. 한국통신학회지 35(4), pp. 28~34.
- [17] 이은하수, 이순섭, 강동훈, 이재철, 2017. 프로세스 마이닝 기법을 활용한 선박 블록 조립 공정 개선에 관한 연구. 한국마린엔지니어링학회지 41(9), pp. 952~959.
- [18] IEC 60079-17, 2013. Part 17 Electrical installations inspection and maintenance. Edition 5.0.
- [19] 변정환, 이성주, 정기혁, 2020. 방폭설비 성능유지를 위한 기술적, 제도적 관리방안 연구. 안전보건공단.

- [20] 김슬기, 정재윤, 2017. 프로세스 마이닝을 이용한 제조 공정 프로세스 비교 분석. 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, pp. 257~276
- [21] 최부용, 2019. 프로세스 마이닝을 이용한 업무개선 및 개인정보보호 연구: 종합병원 사례를 중심으로. 석사학위논문. 서울과학기술대학교.
- [22] 권혁진, 2018. 프로세스 마이닝 기법을 활용한 모바일 게임 이용자 여정 분석 방안 연구. 박사학위논문. 숭실대학교.
- [23] Van der Aalst, 2016. Process mining: data science in action. Springer.
- [24] 정재윤. 2008. PROCL: 프로세스 로그 클러스터링 시스템. 한국전자거래학회지, 제13권, 제2호, pp. 181~194.
- [25] 장윤희. 유니의 프로세스 마이닝 공부.
<https://process-mining.tistory.com/>, [15 October 2019]
- [26] Panzavolta, P. 2004. EXPLOSION Overview on the EU and NFPA norms concerning explosion protection. TECHNICA MOLITORIA Vol.55 pp. 1196~1199.
- [27] THOMSON PUBLICATIONS AUSTRALIA, 2002. Explosion-proof motor hits deck THE OIL and gas industry is in particular focus for ABB's new range of explosion-proof motors. PROCESS AND CONTROL ENGINEERING, NEW SOUTH WALES, Vol.55 No.3, pp. 6~8.
- [28] Arild Grov, 2010. An Experimental Study of the Influence of Major Damage of Flame Gap Surfaces in Flameproof Apparatus on the Ability of the Gaps to Prevent Gas Explosion Transmission. Master

- thesis. University of Bergen.
- [29] Energynorthern, GlobalData says Brazil will contribute 22% of global offshore crude oil production in 2025, <https://energynorthern.com>, [04 September 2019]]
- [30] KoreaHerald, Shipbuilders tilt toward offshore plants, <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20121213001037&mod=skb> [15 September 2019]
- [31] 송민석, 정일교, 조용주, 조현재, 2012. 프로세스 마이닝을 활용한 생산공정 데이터 분석. 대한산업공학회. No.5, pp. 326~345.
- [32] 권오주, 2016. 데이터 기반 프로세스 마이닝을 통한 혁신 및 사례. 굿모닝아이텍 빅데이터 팀.
- [33] 이용혁, 송민석, 하승진, 백태현, 손숙영, 2016. 제조 공정 분석을 위한 빅데이터 클라우드 서비스. 한국빅데이터학회지. 제1권 1호, pp. 41~51
- [34] Bill Rankin, 2017. Electrical Equipment in Hazardous Area: Field Inspections. IDC Technologies.
- [35] Alan Wallace, 2007. Ex Inspections-Potential Pitfalls. IDC Technologies.
- [36] Intertek, Guide to Explosive Atmospheres & Hazardous Location, www.intertek-hazloc.com
- [37] ENERGY INSTITUTE, 2008. GUIDELINES FOR MANAGING INSPECTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT IGNITION RISK IN SUPPORT OF IEC 60079-17.

- [38] Mark Spooner, 2012. Maintenance, Inspection and Testing of Equipment Installed at petroleum Installations on MOD Property. Ministry of Defence, United Kingdom.
- [39] NFPA 70B, 2010. Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance, NFPA(National Fire Protection Association).
- [40] IEC 60079-14, 2013. Part 14 Electrical installations design, selection and erection. Edition 5.0.
- [41] R.J. Buschart, 1995. Electrical area classification drawings - comparison, IEEE PCIC Conference Record, pp. 21~25.
- [42] IEC 60079-10-1, 2015. Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres. Edition 2.0.
- [43] M.Cole, T.Driscoll, R. Roberto, G. Morlidge and K. Martin, 2010. The best concepts from the NEC, CEC and IEC. IEEE Industry Application, vol 16, no.1, pp. 26~33.
- [44] P. Murdoch, 2003. Inspection of installations in hazardous areas adds value to safety and maintenance strategies. HazardEx Conference Record 2003, United Kingdom.
- [45] IEC 60079-25, 2010. Part 25: Intrinsically safe electrical systems. Edition 2.0.
- [46] 심현우, 2009. 선박용 방폭 히팅 장비의 국산화 개발 및 효과. 석사학위논문, 부산대학교.
- [47] 유영준, 2013. 충돌비율을 이용한 선박충돌회피 알고리즘의 개발.

- 박사학위논문, 서울대학교.
- [48] 최진이, 강윤희, 2015. 한국가스공사와 조선해양플랜트 산업 간 동반성장. 한국지방정부학회. p.p 217-237
- [49] 남기일, 2011. 해양공정 개념설계 단계에서 위험성 비용을 고려한 경제성 평가 방법론 연구. 박사학위논문, 포항공과대학교

