

중소규모 화학공장 디지털 전환을 위한 공정안전관리 시스템 개발

양 동 현¹ · 마 병 철^{2*}¹전남대학교 화학공학과 석사과정²전남대학교 화학공학부 교수

Development of Process Safety Management System for Digital Transformation of Small- and Medium-Sized Chemical Factories

Dong-Hyon Yang¹ · Byung-Chol Ma^{2*}¹Master's Course, Department of Chemical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea²Professor, Department of Chemical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

[요 약]

한국에서는 유해·위험시설에서 발생하는 유해물질 누출이나 화재·폭발 등의 사고를 예방하기 위해 공정안전관리(process safety management, PSM)제도가 시행되고 있으며, PSM 12개 구성요소 중 1개 요소가 변경되면 다른 요소들도 모두 변경해야 하므로 시간적, 경제적 부담이 커서 사업장 등에서는 PSM의 디지털화를 지속적으로 요구하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 PSM 핵심 요소를 기반으로 관계형 데이터베이스 시스템(relation database management system, RDBMS) 방식으로 프로그래밍하고, 네트워크 방식으로 접근이 가능한 D-PSM(digital-process safety management) 프로그램을 개발하였다. D-PSM 시스템에 입력된 사업장 모든 정보는 데이터베이스화하고, 실시간 데이터 공유를 통해 자동으로 갱신된다. 또한, 화학공장의 3D 모델링의 시각화를 통해 근로자의 편의성 및 안전성을 높였고, 중·소규모 사업장의 디지털트윈 기반의 안전관리 체계를 구축하는데 기여할 것으로 기대된다.

[Abstract]

In Korea, the process safety management (PSM) system is currently implemented to prevent accidents such as release of hazardous substances or fires and explosions in hazardous facilities. Since all 12 components of the PSM must be changed if one component is modified, there is a significant time and economic burden; thus, factories are continuously demanding the digitization of PSM. Therefore, in this study, we developed digital-process safety management (D-PSM) that can program a relational database management system (RDBMS) based on the core elements of PSM and access it in a network method. All information input into the D-PSM system for the factory is digitized and automatically updated in real-time through data sharing. In addition, the visualization of 3D modeling for chemical factories improves the convenience and safety of workers and is expected to contribute to the establishment of a digital twin-based safety management system for small- and medium-sized factories.

색인어 : 디지털 공정안전관리, 관계형 데이터베이스 관리시스템, 화학공정 3D 모델링, 화학공정 안전, 화학사고예방

Keyword : Digital process safety management, Relation database management system, Chemical process 3D modeling, Chemical process safety, Prevention of chemical accidents

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.4.797>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 08 January 2023; **Revised** 06 March 2023

Accepted 05 April 2023

***Corresponding Author; Byung-Chol Ma**

Tel: +82-62-530-1815

E-mail: anjeon@jnu.ac.kr

1. 서론

공정안전관리(process safety management, PSM)제도는 산업안전보건법 제44조에 따라 정유, 석유화학산업 등 중·소규모 산업의 위험설비를 보유한 사업장 안전관리시스템을 구축하고 이행함으로써, 중대산업사고를 예방하고자 하는 목적으로 시행되고 있다. 그러나 안전관리체계가 사업장별로 다르고 디지털화가 미흡하여 위험물질에 의한 위험성을 인지하는데 많은 시간이 소요되고 있다[1]. 화학물질안전원 화학물질종합정보시스템[2]을 분석한 결과, 2014년부터 2022년까지 작업자 부주의와 설비 유지·보수로부터 많은 사고가 발생하였고, 고용노동부 산업재해 현황에서도 300인 미만 중·소규모 사업장에서의 전체 사고재해자가 꾸준히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 사고를 예방하기 위하여 고용노동부 및 한국산업안전보건공단(이하, 공단)에서 2008년부터 중대산업사고 예방센터를 운영하여, 화학물질에 의한 누출, 화재·폭발사고로 인한 재해자 또는 사망자의 감소에 크게 기여하고 있다. 중대산업사고 예방센터는 고용노동부고시[3]에 따라 사업장에서 제출한 공정안전보고서를 심사하여 이행상태를 평가한다. P(우수), S(양호), M+(보통), M-(불량) 등급으로 구분하고 있으며, 2011년부터 2020년까지 심사한 사업장 평가등급을 분석하면 중·소규모 사업장은 전체 대상의 85%를 차지하고, 대부분 M+(보통) 등급으로 안전관리 수준 향상이 필요함을 알 수 있다[4]. 이에 따라, 인적·재정적 능력이 부족한 중·소규모 사업장을 위하여 누구나 손쉽게 접근할 수 있는 디지털화된 PSM 시스템이 필요할 것으로 판단된다.

그동안, 국내 화학산업 PSM 제도 규정에 대한 실효성 연구[5]와 사업장 특성에 맞는 PSM 제도의 개선방안에 대한 연구[6]를 통해 국내 화학산업에서 적합한 PSM 정보관리 시스템 SIMS(safety information management system)을 개발하였다. 이후, PSM 항목에 대한 코드 분석을 통해 변경관리전산시스템 (KOSHA-management of change, K-MOC)을 개발하여 효율성 및 편의성을 향상시켰다[7]. 또한 PSM 관리개선을 위한 전산화된 시스템 구성과 관련된 연구와 화학공장 내에 장비 또는 설비의 수명을 통합 관리하는 시스템 구성을 위한 연구도 진행되었다[8]. 최근에는 중·소규모 사업장을 위한 PSM 요소 기반의 웹 전산시스템이 개발되었으며, QR(quick response) code를 각 설비에 부착시켜 웹에서 이력을 관리함으로써 디지털화하는 연구도 수행되었다. 하지만, 여전히 초기 데이터 구축을 위해 사업장 정보를 수기로 입력해야 하는 한계는 있다[9]. 국외의 경우에는 P&ID(piping and instrumentation diagram) 기반으로 하는 공정관리 및 안전관리 시스템을 개발하여 안전 분석 및 관리 등에 활용하고 있다[10]. 또한, 호주 RMT(risk management technologies)에서는 ChemAlert를 개발하여 화학물질관리, 화학물질 모니터링, 규제사항 자동 업데이트, 설비수명 분석을 가능하게 하였고[11]. 미국 Sphera에서 개발한 IRM(integrated risk management)은 공정안전정보

실시간 업데이트, 위험성평가 소프트웨어와 연동, 점검 및 유지보수 등 시기에 대한 분석이 가능하다[12]. 이처럼, 국외 스마트 운영시스템은 PSM 등의 디지털화를 통해 사업장에서 쉽게 사용하도록 개발되고 있지만, 국내 중·소규모 사업장에서 도입하기에는 비용 부담이 크므로 국내에서 무료로 활용 가능한 프로그램 개발이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 PSM 12개 요소를 디지털 전환한 자율관리모델, 즉 D-PSM을 개발하여 중·소규모의 시범사업장에 적용하고자 한다. 이를 위해 기존 사업장에서 사용하고 있는 PSM 요소의 연관성을 고려하여 사용자의 활용도를 높이고, 시범사업장에서 운영 및 현장 적용이 가능하도록 개발한다. 관계형 데이터베이스 관리시스템(relation database management system, RDBMS) 기반 소프트웨어를 개발함으로써 데이터의 일관성, 무결성, 보안성을 유지하며 사업장 네트워크 내에서 자유롭게 공유할 수 있도록 한다. 나아가 3D(three Dimensions) 모델링 뷰어 기반 화면 및 UI를 제공하여 사용자 편의성 향상을 목표로 한다.

II. 사업장 공정안전관리(PSM) 현황

2-1 공정안전관리(PSM) 12대 요소

표 1에 중대산업사고 예방센터 운영규정[13]에 따른 PSM 12대 구성요소를 정의하였다.

표 1. 공정안전관리(PSM) 요소

Table 1. Elements of Process Safety Management (PSM)

Configuration	Definition
Process safety information	Information on materials, facilities, processes, etc
Process hazard assessment	Identify risks to processes, operations, etc
Operating procedures	Procedures for safe operation of facilities, processes, etc
Mechanical integrity	Confirmation procedure before carrying out fire, sealing, etc
Facility inspection and maintenance	Plan and implement regular maintenance of equipment and facilities, etc
Contractors	Compliance for accident prevention of partner companies
Education and training	Education on safety, duties, emergency situations, etc. for workers
Pre-start up safety review	Safety inspection before operation of dangerous facilities
Management of change	Procedures for changing facilities, processes, etc
Compliance audits	Self-audit of PSM 12 major components
accident investigation	Establishing the cause of the accident and measures to prevent recurrence
Emergency action plan	Create emergency response scenarios and emergency response procedures

2-2 시범 사업장 현황

시범사업장은 여수산단에 소재한 사업장으로써, 국내 최대 규모로 수소 및 일산화탄소를 생산하여 여수산업단지 내 파이프라인을 통해 주요 석유화학 및 정유회사에 공급하고 있다. 또한, 산업안전보건기준에 따라 PSM 적용 사업장으로 현재 내부 전사적자원관리(enterprise resource planning, ERP) 시스템을 통해 전반적인 업무 프로세스 및 각종 정보 등을 유기적으로 공유 및 데이터화를 진행하고 있다. 그렇지만, 화학공장 특성상 정기적인 유지보수가 필요하고, PSM 12개 요소인 안전작업허가서 등 많은 서류가 수기로 작성되어 디지털화가 이루어지지 않은 부분이 있다. 예를 들어, 설비 변경이 이루어지면 안전운전계획, 공정위험성평가, 공정안전자료 등의 PSM 구성요소를 수기로 변경하여 다시 제출 및 심사를 받아야 한다. 또한, 기존에 작성된 PSM 관련 자료는 각 담당자 또는 각 부서별 전용 PC를 통해 관리하고 있어 데이터 수집을 통한 빅데이터화에 어려움이 있고, 사업장 3D 모

델링 데이터가 있음에도 이를 활용할 수 있는 시스템이 미흡한 상태이다.

III. D-PSM 시스템 개요

3-1 공정안전관리(PSM) 구성 요소

현재 산업안전보건공단에서 제공하는 e-PSM은 공정안전 보고서 작성을 위한 모듈을 제공하고 있고, 4개의 요소와 세부사항으로 구분되어 있다. 공정안전정보(process safety information, PSI), 공정위험성평가(process hazard assessment, PHA), 안전운전계획(safe driving plan), 비상행동계획(emergency action plan, EAP)으로 구분할 수 있고, 안전운전계획은 9개의 세부사항으로 구성되어 있다. 그림 1은 PSM 12개 요소에 대한 연관성을 설명하였고, 표 2를 통해 PSM 12개 요소를 어플리케이션으로 정의하였다.

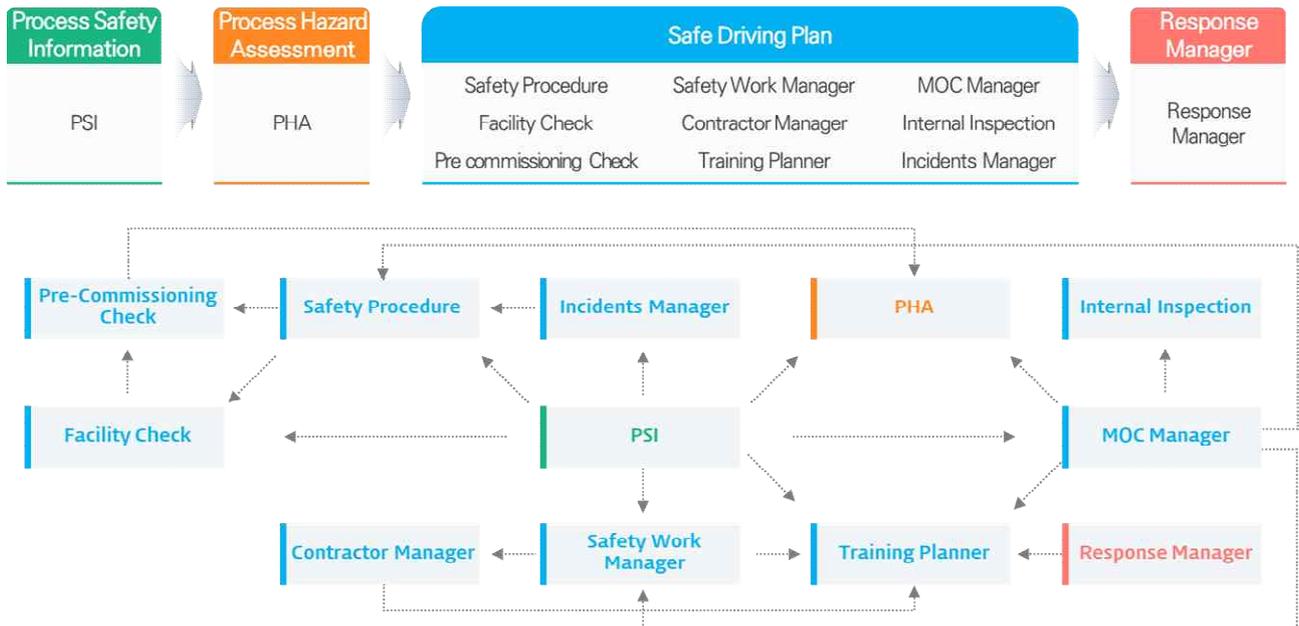


그림 1. 공정안전관리(PSM) 12개 요소 간 연관성

Fig. 1. Relationships between the 12 elements of Process Safety Management(PSM)

표 2. 공정안전관리(PSM) 12개 요소의 어플리케이션 정의

Table 2. Definition of applications for 12 elements of process safety management(PSM)

Configuration	Application	Configuration	Application
PSI(Process Safety Information)	PSI	Education and training	Training Planner
PHA(Process Hazard Assessment)	PHA	Pre-start up safety review	Pre-Commissioning Check
Operating procedures	Safety Procedure	MOC(Management of Change)	MOC Manager
Mechanical integrity	Safety Work Manager	Compliance audits	Internal Inspection
Facility inspection and maintenance	Facility Check	accident investigation	Incidents Manager
Contractors	Contractor Manager	Emergency action plan	Response Manager

3-2 D-PSM(Digital PSM) 시스템 구성

D-PSM 시스템은 그림 2와 같이 구성하였다. 최적화된 공정안전관리(PSM)를 타 사업장에 적용 및 고도화가 진행될 것을 고려하여 이식성 및 호환성 등이 뛰어난 Java 프로그래밍 언어를 선택하였고, 데이터 서버구성은 시범사업장 요구에 따라 범용성 및 관리가 편리한 전자정부 표준인 Spring 프레임워크(framework) 기반[14]으로 설계하였다. 이 시스템은 설치(Install)형으로 운영 OS는 Window10이고, 데이터 입력만 가능한 웹은 Java EE를 활용하여 개발하였다. 데이터베이스 구축을 위해 Maria DB, MSSQL를 이용하였고, 통합운영 개발환경은 Spring Tool Suite 4를 활용하고 있다[15].

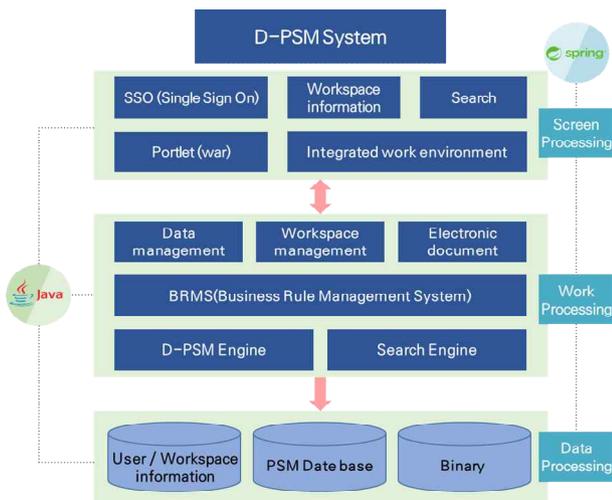


그림 2. 개발한 D-PSM 시스템 구성
Fig. 2. Developed D-PSM system configuration

D-PSM 시스템은 화면 처리(screen processing), 작업 처리(work processing), 데이터 처리(data processing)로 구성하였다. 먼저, 화면 처리에서 사업장의 공정안전자료 등을 입력하는데 사용자의 편의성을 위해 엑셀 파일 서식을 제공하고 일괄 업로드가 가능하도록 구성하였다. 업로드 형식 지원 방법은 그림 3에 나타났다. 다음으로, 화면 처리를 통해 입력된 자료를 시스템에서 구분할 수 있도록 물리적 정보로 목록화하여 처리하도록 하였고, 이에 대한 예시는 그림 4와 같다. 마지막으로 데이터 처리는 물리적 정보를 데이터화하여 지정된 저장소에 저장한다.

저장된 정보는 저장소에 고유 식별자(table)로 저장하여 데이터베이스를 구축하고, RDBMS 방식의 관리시스템을 적용하였다. 이 방식은 데이터 중복 최소화, 공유 등이 가능하고, 별도의 응용프로그램을 통해 데이터 검색 및 데이터 조합추출이 가능한 장점을 가지고 있어 다양한 분야에서 활용하고 있다[14]. 그림 5는 D-PSM 시스템에 저장된 정보를 이용하여 데이터를 조합한 보고서를 생성하는 과정을 나타냈다.



그림 3. 개발한 D-PSM 프로그램 파일 업로드 프로세스
Fig. 3. Developed D-PSM file upload process

Table index				
No.	Table ID	Table logical name	Table physical name	Notice
1	TA_001	사용자	User	
2	TA_002	접근권한	Role_group	
3	TA_003	사업장	Company	
4	TA_004	공장	Factory	
5	TA_005	취급물질	Material	
6	TA_006	취급설비	Facility	
7	TA_007	공정도면	Drawing	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

그림 4. D-PSM 시스템 식별자 구성 목록
Fig. 4. List of D-PSM system table components

그림 5. 보고서 생성 과정에 대한 예시
Fig. 5. Example for the report generation process

새롭게 생성할 PSM 보고서는 기존에 저장된 PSM 보고서의 고유 식별자를 검색하고, 불러오기를 통해 양식 및 내용을 구성한다. 보고서 생성을 위한 정보 또는 값은 사업장에서 입력한 내용으로, 화학설비에 부여된 식별자를 통해 설비 추가 또는 수리 내역 등을 확인할 수 있고, D-PSM은 이를 자동으로 갱신하여 PSM 심사를 위한 보고서 생성이 가능하다.

개발한 D-PSM 시스템에서 식별자는 사업장의 설비 또는 장치, 점검이력 등 사업장 내부의 모든 자료, D-PSM 시스템 구성을 위한 시스템 정보, 보고서 제출이 완료된 자료 등이 있으며, 모두 고유 번호를 부여하여 저장하여 PSM 12대 요소에 대한 모든 자료가 동시에 업데이트 되도록 하였다.

IV. D-PSM 프로그램 개발

4-1 D-PSM 접속 및 네트워크 구조

개발한 D-PSM 프로그램은 그림 6과 같이 D-PSM 프로그램을 통해 네트워크에 접속하는 구조에 대해 설명하였다. 사업장의 메인 서버를 거쳐 공유기로 할당되고, 할당된 IP(internet protocol)로 접속하여 사업장 내·외부 모두 접속이 가능하다. 사업장 내부에서 사용할 때는 시스템 보안을 위해 메인 PC에 D-PSM을 설치하여 데이터 저장 및 배포가 가능하고, 다른 PC에서는 웹 도메인을 통해 접속하여 데이터 입력만 가능하다. 사업장 외부에서 접속하기 위해서는 고정 IP를 할당받아 방화벽 등을 설정한 후 접속이 가능하다.

4-2 D-PSM 프로그램

개발한 D-PSM 시스템 메인화면은 그림 7과 같이 PSM 12개 요소와 공지사항 등으로 구성되고, 각 요소별 자료를 실시간으로 표시하여 변경된 이력을 확인할 수 있다. 사용자 권한에 따라 PSM 관련 검토·승인 요청을 메인화면에서 확인할

수 있고, D-PSM 시스템을 이용하고 있을 때 즉시 승인이 가능하여 업무 효율성이 높다. 그림 8은 D-PSM 구성요소 중 공정안전자료 중에 유해·위험물질 목록을 작성하는 예시 화면으로, 시범사업장에서 취급하는 물질을 데이터로 등록하여 목록화하였다. 취급공장별, 물질유형별, 모든 조건을 포함한 검색을 통해 식별이 가능하여 편리성을 높였다. 목록화된 모든 데이터는 실제 시범사업장에서 사용하는 물질이고, 물질뿐만 아니라 공장설비, 안전운전지침, 설비점검유지보수 기록, 교육 일정 등 모든 정보 이력은 화면에 업로드가 가능하다. 사업장에서 사용하는 기존 양식을 업로드하여 데이터화가 가능함으로써, 빅데이터를 구축할 수 있으며, 데이터화된 목록 다운로드 또한 가능하다.

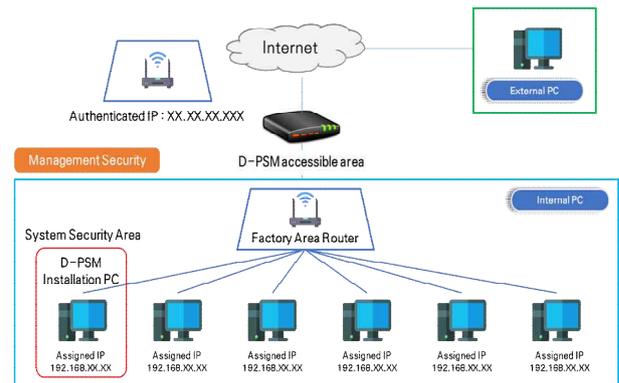


그림 6. 네트워크 시스템 접근 프로세스
Fig. 6. Network system access process

Operation status of 12 elements

(주)TEST사업자
DASHBOARD

공정안전관리 12대 요소 운영 현황

공정안전자료 ·유해·위험물질: 470건 ·유해·위험설비: 1건	공정위험성평가 ·공정위험평가: 0건 ·작업위험평가: 0건	안전운전지침 ·지침사: 0건
설비점검유지보수 ·정비이력: 0건 ·예비품: 0건	안전작업허가 ·승안: 0건 ·미승안: 0건	도급업체안전관리 ·승안: 0건 ·미승안: 0건
근로자동교육 ·교육계획: 0건 ·교육: 0건	가동전점검 ·가동전점검: 0건 ·개선행동: 0건	변경요소관리 ·승안: 0건 ·미승안: 0건
자체감사 ·감사: 0건	공정사고조사 ·조사사: 0건	비상조치 ·비상조치대응: 0건

공지사항 (최근10건)

중대산업사고예방센터 공지보기

Notice

사업장관리자님의 검토·승인 요청건

Approval Request

변경이력 (최근10건)

Change History List

그림 7. 개발한 D-PSM 프로그램 메인화면
Fig. 7. Developed D-PSM main screen

그림 9는 시범사업장의 3D 도면을 이용하여 3D 모델링 데이터를 뷰어 형식으로 실행이 가능한 D-PSM 시스템을 구현한 화면이다. 각 객체의 모델링된 설비 또는 장치에 고유 식별자를 부여하고, 정보를 가진 식별자와 연결하여 연동되도록 구현하였다. 화면에서 등록된 설비를 클릭하면 정보를 확인할 수 있다. 또한, 안전작업, 설비점검 등을 실시한 이후 변경 사항에 대한 업데이트가 반영되어 편리성을 높였다. 이는 3D 모델링 뷰어를 이용한 시각적인 효과를 통해 작업자 및 도급업체 작업 전에 안전교육 및 사고 발생 시 대피 동선 확인 등에 활용이 가능하다.

V. 결 론

본 연구에서는 산업재해 예방 및 사업장의 자율관리체계를 위하여 PSM 12개 요소를 기반으로 디지털 공정안전관리 프로그램, D-PSM을 개발하였고, 개발 내용은 다음과 같다.

1. 시스템 화면 처리에서 입력된 사업장 정보가 데이터베이스에 저장되고 1개 요소가 변경될 시 다른 연관성이 있는 모든 요소에서 자동으로 수정이 가능하다. 사업장의 모든 정보를 데이터베이스에 저장함으로써, 데이터 손실에 대한 위험성을 줄였고, 데이터 입력이 가능한 웹 기반으로 구축하여 실시간 데이터 공유가 가능하게 되어 업무 효율성을 향상시켰다.
2. 개발한 D-PSM 시스템은 RDBMS 방식으로 D-PSM 시스템에 고유 식별자를 부여하고, 지정된 저장소에 저장되어 데이터 조합을 통해 원하는 정보 수집 등이 가능하도록 하였다. D-PSM 시스템 개발에는, 프로그래밍은 Java EE, DB 구축은 Maria DB, MSSQL, 통합운영 개발환경은 Spring Tool Suite 4를 활용하였다. 개발한 D-PSM 프로그램은 데이터 관리를 위한 설치형 프로그램을 이용하여 보안성을 높였고, 데이터 입력은 웹 기반으로 접근성을 향상시켰다.
3. 사업장 3D 모델링을 이용하여 건물 설비 배치도에 적용하였고, 작업자 교육 및 설비점검유지보수 투입 전 안전교육에 활용할 수 있다. 3D 모델링 화면에서 설비점검 및 수리 전에 위치정보와 이력을 확인할 수 있어 작업자 또는 근로자가 시설 또는 설비에 대한 이해도를 높이고, 실제 사고 발생을 대비하여 비상대피 가능한 경로를 확인할 수 있어 안전성이 한층 높아질 것으로 기대한다.

현재 구축된 D-PSM 시스템 개발에 사용한 모든 소프트웨어는 무료로 접근이 가능한 오픈 액세스 자료가 많아 접근성이 용이하고, 시스템 고도화에 필요한 다양한 정보를 쉽게 활용할 수 있는 장점이 있다. 또한, 사업장의 3D 모델링을 활용함으로써 실제 화학공장의 가상 환경을 구현하였다. 현재 구

축된 D-PSM 시스템을 시범사업장에 적용하여 성과확인 절차를 거친 후, 고도화를 통해 빅데이터를 이용한 분석 및 공정안전관리의 효율성 향상과 설비 또는 장치의 수명예측 등이 가능할 것으로 예상하고 있으며, 향후 중소기업 등의 디지털 전환 및 스마트 공정안전시스템 구축에 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 환경부 주최 화학물질안전관리 특성화대학원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] C. O. Song and B. S. Yang, "A Study on the Building of Disaster Prevention Platform for Effective Response System to Hazardous Chemical Accidents: Centering on Yeosu Industrial Complex," *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 2, pp. 93-99, April 2017. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2017.17.2.93>
- [2] National Institute of Chemical Safety. Chemical Accident Status and Cases [Internet]. Available: <https://icis.me.go.kr/search/searchType2.do>.
- [3] Ministry of employment and labor. Regulations on the submission, review, confirmation, and implementation status evaluation of process safety reports [Internet]. Available: <https://www.law.go.kr/admRulInfoP.do?admRulSeq=2100000186136>.
- [4] H.-S. Lee and W. T. Kim, "A Study on Settlement Planning of PSM system in the Small and Medium Sites," *Korean Journal of Hazard Materials*, Vol. 5, No. 1, pp. 88-95, June 2017.
- [5] H. M. Kwon, "The effectiveness of process safety management (PSM) regulation for chemical industry in Korea," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 19, No. 1, pp. 13-16, January 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.03.009>
- [6] J. Y. Lee, K. W. Lee, B. J. Ahn, and T. O. Kim, "Improvement Plan of Implementing Condition Assessment in Process Safety Management (PSM) System," *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 31, No. 4, pp. 27-34, October 2016. <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.4.27>
- [7] H. M. Kwon and J. B. Baek, "Development of Changing Management Software(K-MOC) for Chemical Plant,"

Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 21, No. 1, pp. 72-78, February 2006.

- [8] N. J. Jang, S. K. Dan, D. S. Shin, K. B. Lee, and E. S. Yoon, "The Role of Process Systems Engineering for Sustainability in the Chemical Industries," *Korean Chemical Engineering Research*, Vol. 51, No. 2, pp. 221-225, April 2013.
<https://doi.org/10.9713/kcer.2013.51.2.221>
- [9] Y. S. Kim and D. J. Park, "A Development of Facility Web Program for Small and Medium-Sized PSM Workplaces," *Korean Chemical Engineering Research*, Vol. 60, No. 3, pp. 334-346, February 2022.
<https://doi.org/10.9713/kcer.2022.60.3.334>
- [10] K. Kawamura, Y. Naka, T. Fuchino, A. Aoyama, and N. Takagi, "Hazop Support System and Its Use for Operation," *Computer Aided Process Engineering*, Vol. 25, pp. 1003-1008, 2008.
[https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(08\)80173-3](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(08)80173-3)
- [11] ChemAlert-RMT. Risk management technologies [Internet]. Available:
<https://rmtglobal.com/solution/chemalert>.
- [12] Sphera-SPARK. Sparking an IRM 4.0 [Internet].
<https://sphera.com/spark/episode-24-sparking-an-irm-4-0-discussion>.
- [13] Ministry of Employment and Labor. Serious Industrial Accident Prevention Center Operating Regulations [Internet]. Available:
<https://law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=200000021565>
- [14] H. J. Lee, S. Y. Rhew, and J. B. Kim, "A Method of the Widening Expression and Conversion of the Spring Framework AOP into UML/XML," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 11, No. 1, pp. 25-38, March 2010.
- [15] J. Y. Kim, D. W. Jeong, and D. K. Baik, "RDB-based XML Access Control Model with XML Tree Levels", *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 10, No. 1, pp. 129-145, March 2009.

양동현 (Dong-Hyon Yang)



2001년 : 초당대학교 정보통신학
(공학사)

2008년~현 재: 에어리퀴드코리아(주) HSE 부장

2022년~현 재: 전남대학교 화학공학 (석사과정)

※ 관심분야 : 네트워크 보안(Network Security), 안전관리 시스템(Safety Management System)

마병철 (Byung-Chol Ma)



1999년 : 전남대학교 화학공학
(공학사)

2004년 : 서울대학교 화학공학
(공학석사)

2013년 : 전남대학교 화공안전
(공학박사)

2017년~현 재: 전남대학교 화학공학부 교수

※ 관심분야 : 화학사고 대응(Cheical accident response), 가상현실 훈련(Virtual Reality training)