KIGAS Vol. 11, No. 2, June, 2007
(Journal of the Korean Institute of Gas)

위험성 평가 기반의 U-도면정보 시스템에 관한 연구

유진환 · 이헌석 · †고재욱
광운대학교 화학공학과
(2007년 5월 25일 접수, 2007년 6월 22일 채택)

A Study on U-Drawing Information System Based on Risk Assessment

Jin Hwan Yoo · Heon Seok Lee · †Jae Wook Ko
Dept. of Chemical Engineering Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
(Received 25 May 2007, Accepted 22 June 2007)

요 약

이 연구에서는 위험성 평가를 기반으로 한 U-도면정보 시스템을 제안하였다. 제안된 U-도면정보 시스템의 기술적 특징은 P&ID 등 공정정보를 기본 자료로서 활용하는 정량적 위험성 평가를 도면상에서 직접 수행할 수 있는 구조로 구성되었다는 것이다. 따라서 기존의 방식으로 위험성 평가를 수행할 때 보다 효율적이고, 간편한 정보 검색을 할 수 있게 되었다. U-도면정보 시스템은 CAD file로 존재하는 모든 도면을 CAD S/W 없이 Web 기반 환경에서 쉽게 볼 수 있도록 설계하였다. 이는 플랫폼(U-단말기)을 이용하여 공정내 어디에서나 브로드밴드, IPv6로 접속이 가능하며, 센서 기능과 개인 인증기능 등을 통하여 항상 도면정보 시스템에 접속할 수 있도록 기존의 도면정보 시스템과 달리 Web 기반으로 시스템을 구성하였다. 이러한 결과는 기존의 단순한 해당 업무에 대한 검토가 아닌 위험도를 고려한 장치산업의 체계적 안전장치를 제공한다. 또한, 의사결정단계에서 공학 기술적 이론에 충실한 판단 근거들을 제시하였다.

Abstract – This research proposes the U-drawing information system (U-DIS) based on risk assessment. One of the most outstanding features of U-DIS is to perform the Quantitative Risk Assessment directly on the screen utilizing the Process Information. U-DIS revolutionizes the existing way to do a risk assessment and helps finding information more efficiently and simply. It is designed to open all CAD drawing files on the web-based environment without having the CAD S/W installed on the PC. The U terminal platform in U-DIS supports IPv6 and wireless broadband network and U-DIS can be accessible through a sensor or personal authorization. This results in providing a systematic safety enhancement tool considering not only the operation of the process but also its risk level in the equipment industry. Additionally, to aid the decision making process it offers comprehensive and thorough information based on engineering technical theory.

Key words : Ubiquitous, Drawing information system, Risk assessment, Consequence analysis, Process safety management

I. 서 론

화학공장은 다양한 분야에 속한 업무 주체간의 협력 작업이 이루어지므로, 각 분야별 · 단계별 발생되는 정보의 양은 매우 다양하며 방대하다. 이로 인해, 초기 기획단계에서부터 설계, 시공, 조업, 유지 · 보수 관리에 이르는 복잡하고 다양한 업무 프로세스가 수반되는 설계 실무에서 발생하는 설계도면정보와 외부 연계된 각종 자료들과의 상호 연계성이 부족하여 결과적으로 시간적, 비용적 손실이 따른 문제가 발생하고 있다. 따라서, 설계도면정보와 연계된 법규 체크가 실무에서 활용될 경우, 복잡하고 다양한 법규 사항을 검토하는데 소용되는 인력, 시간 및 비용적 손실을 줄일 수 있으며, 도면 작성의 정확성을 증대시켜 설계업무를 효율적으

†주저자:jwko@kw.ac.kr

로 수행할 수 있다.

화학공정의 도면정보의 처리 · 관리 기술은 현재 수작업으로 작성된 도면을 청사진으로 보관하거나 데이터를 스캔한 후 이를 그림 형태로 저장하는 광파일링 방법이 사용되고 있다. 청사진으로 도면을 보관하는 방식은 물론 광파일링 방법의 경우에도 상당한 저장공간을 요구하고 있다. 또한 도면을 그림 형태로 저장하더라도 도면을 입출력하는데 소요되는 시간은 상대적으로 길어지게 되며 도면 사용 용도에 따라 달리 요구되는 영상의 해상도 등을 유연하게 적용할 수 없는 한계를 가진다.

도면 작성에서 CAD 프로그램의 사용이 증가하면서 이러한 도면정보 처리의 문제점을 보완하기 위해 도면을 인식하여 디지털화하는 방법이 지속적으로 연구되어왔다. 도면 자체를 인식하여 벡터 데이터 형식으로 저장함으로서 스케일링이 자유롭고 데이터 크기가 급격히 작아질 수 있어 저장 공간의 감소와 검색 속도의 향상을 가져오게 된다. 특히 기존 공정의 개 · 보수 작업에서는 도면 수정 작업이 용이하여 연구의 필요성이 대두되어 왔다.

II. 공정안전관리

2.1. 공정안전정보

공정 설계 등 상세정보 및 화학물질을 기술한 자료를 공정안전정보라 하며, 공정 설비의 설계 및 운전에 대한 기초이다. 공정의 설계 및 화학물질에 대한 충분한 정보가 없고 그것이 어떻게 작용하는지 모른다면, 많은 다른 공정안전관리 요소를 수행하는데 어렵다. 특히 공정안전 정보는 아래와 같은 사항들을 그 핵심으로 한다[1,2].

- 중요한 프로젝트 안전 조사 수행
- 공정 변경 관리
- 공정 설비 보전 프로그램 수행
- 위험성 분석 및 위험 평가 수행

공정안전 관리의 몇 가지 요소는 공정 정보의 기초가 된다. 예를 들면 사고조사, 위험성 분석 그리고 위험 평가 보고서는 공정 정보의 일부분이 된다. 이러한 자료들은 공정 위험성 평가의 기본 공정안전 정보로서 사용된다. 추후 위험성 평가 결과는 공정안전 정보의 일부분이 되는 순환 구조를 나타낸다.

공정안전정보관리 시스템은 공정변경, 설비관리 및 다른 일반적 활동을 통하여 정보가 현재 관리된다는 것을 보장하여야 한다. 정보 관리는 공정안전정보관리 시스템과 4가지 다른 요소 즉, 중요한 프로젝트 조사, 변경관리, 공정설비 보전, 그리고 공정위험관리를 위한 PSM(Process Safety Management) 시스템 사이의 적절한 연계성이 요구된다[3].

공정 안전에 중요한 많은 종류의 공정 정보들은 아래와 같다. 이는 공정 안전관리의 중요한 정보가 되며, 사업장 안전성 보장을 위해 필수적으로 관리되어야 한다. 공정 안전정보의 대표적 요소들은 아래와 같다[1,3]

- 화학 물질 자료
- 설계 자료 및 기준
- 공정 흐름도
- 배관 및 계장도
- 배치도
- 전기방폭구분도
- 지하시설에 대한 배치도
- 장치사양서
- 배관 사양서
- 안전에 중요한 계기 목록
- 전기 계통도
- 프로그램 제어장치 및 컴퓨터
- 공급자 자료

이 연구에서는 U-도면정보 시스템의 핵심사항인 설계 정보 및 도면(공정흐름도, 배관 및 계장도)에 관한 사항을 위주로 살펴보겠다.

2.2. 사고영향평가

사고 영향 분석(Consequence Analysis)은 위험물질의 누출로부터 최종 위험을 산출하는 과정으로써 잠재적인 위험의 형태 및 크기에 대한 분석과 정량화가 포함되어 있다.

Consequence Analysis에서 화재 · 폭발과 독극물 방출로 인해 사람들이 입을 수 있는 피해와 시설물에 대한 피해를 정량적으로 산정하며, 산정 과정에서 위험의 정도는 복사열이나 가연성 가스 또는 액체가 폭발할 때의 높은 압력, 공기 중의 독성가스의 농도로 나타낸다[4-7].

따라서 Consequence Analysis에서는 화재로 인한 복사열, 증기운 폭발 등 폭발로 인한 폭발과압(over-pressure), 독성물질의 직접 또는 간접 누출로 인한 독성 수준(toxicity level)의 정량화와 관련된 방법을 다룬다.

위험 물질의 누출에 의한 피해 범위(effect zone) 및 인명 피해 규모를 산정하기 위해서 다음과 같은 연구들이 수행되었다.

i) 잠재위험 확인(hazard identification)
ii) 누출 모델링(source modeling)
iii) 확산 모델링(dispersion modeling)
iv) 영향 모델링(effect modeling)

잠재위험 확인 단계는 위험 평가를 수행하기 전에 선행해야 할 단계로서 위험 평가에 필요한 자료수집과 아울러 공정/시스템 내에 존재하는 위험원을 확인하는 단계이며, 누출 모델링 단계는 독성 물질의 누출이 발생할 경우 독성 물질의 누출 속도, 총 누출량, 누출 시간 등을 계산하는 단계이며, 확산 모델(dispersion model)에서는 우리에게 잘 알려진 Pasquill-Gifford 모델을 이용하여 주어진 풍속, 풍향에서 누출된 중성 부유 가스, plume, puff의 움직임에 대해 검토하였다[4,8]. 화재·폭발에 의한 modeling과 독성물질에 의한 독성 영향 modeling으로 대별할 수 있으나, 이 연구에서는 화재·폭발에 대한 effect model만 고려하여 연구를 진행하였다.

III. 도면정보 시스템

공정도면 즉 P&ID는 장치산업 공정정보의 기본사항을 포함하고 있는 핵심적 요소이며, 아래와 같은 정보들을 포함하고 있다[1,3].

- 공정의 흐름
- 공정의 운전조건 및 설계 조건
- 공정 내 모든 장치 및 배관
- 공정 내 모든 안전장치 및 계측기기
- 장치 및 배관의 재질
- Line Size 및 흐름 방향
- 장치 Size 및 Type
- 전/후단의 연결 도면 표시
- 도면 재/개정 이력 사항

위와 같은 사항들은 가장 기본적이며, 핵심적인 사항들로 필요에 따라 추가 또는 제거될 수 있다.

화학공정에서 도면관리는 하드카피(Hard Copy) 형태의 Master P&ID 형태의 관리가 그 대표적인 방법이다. 이러한 관리 체계의 가장 문제되는 부분은 바로 Update 및 열람에 대한 문제이다.

이 연구에서 제안하는 U-도면정보 시스템은 CAD file로 존재하는 모든 도면을 Web 기반 환경에서 쉽게 볼 수 있도록 자체 개발한 Engin을 이용하여 CAD S/W 없이 설계하였다. 이 시스템의 Engine이 CAD File로 존재하는 P&ID 및 PFD 등 주요공정정보를 담고 있는 핵심 자료들을 그림 형태의 Image로 변환시켜 주어 U-도면정보 시스템를 통해 열람이 가능하며, Update된

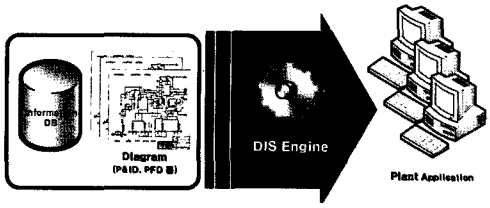

Fig. 1. Concept of U-drawing information system.

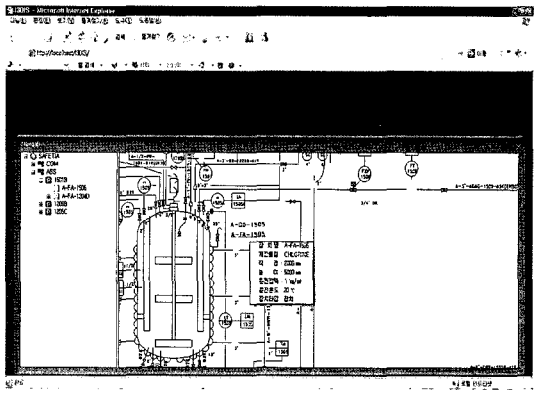

Fig. 2. Process information search and risk assessment on the DIS.

CAD File을 U-도면정보 시스템에 Upload하는 방식으로 Update를 수행하는 손쉬운 과정을 통해 가능하도록 하였다.

CAD File은 Fig. 1과 같은 과정으로 Engine에 의해 도면정보 시스템을 통해서 복수의 사용자가 동시에 접속하여 필요한 도면을 찾아볼 수 있도록 Web Image로 변환되는 구조를 가지고 있다.

또한 P&ID는 공정상세정보를 담고 있는 자료이므로, 열람은 공정근무자들의 필요에 따라 자유롭게 하여도 무방하지만, Up-date 등 재·개정에 관한 사항은 권한을 가진 소수의 담당자만이 할 수 있도록 하였다.

물질정보, 장치정보, 운전정보 등 공정정보를 U-도면정보 시스템과 각 모듈과의 연계 구조를 기반으로한 U-도면정보 시스템 구성 화면은 Fig. 2과 같고, 공정정보 검색의 효율성을 극대화시키기 위하여 개발되었다. 더불어 정량적 위험성 평가, 정성적 위험성 평가 및 RBI(Risk Based Inspection) 등 공정 안전성 향상을 위한 기술적 요소들을 U-도면관리 시스템과 연계하여 새로운 공학 기술적 접목을 시도하였다.

제안된 U-도면정보 시스템의 기술적 특징은 P&ID 등 공정정보를 기본 자료로서 활용하는 정량적, 정성적 위험성 평가 등을 도면상에서 직접 수행할 수 있는 구

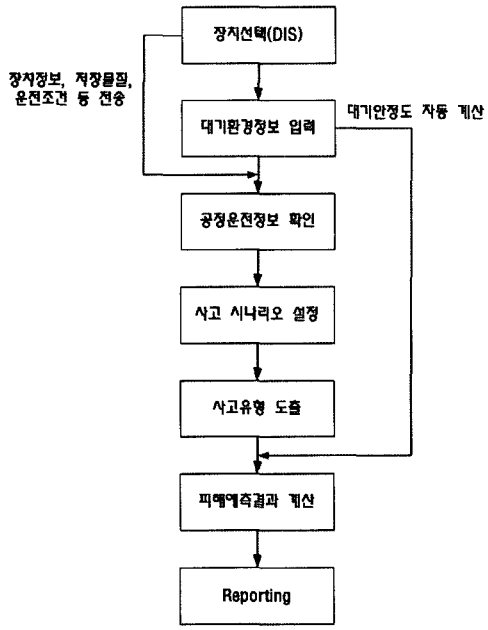

Fig. 3. Logic of consequence analysis tool.

조로 구성되었다는 것이다. 따라서 기존의 방식으로 위험성 평가를 수행할 때 보다 효율적이고, 간편한 정보검색을 할 수 있게 되었다.

피해 예측 분석 모듈은 화학공장 내의 폭발성 및 독성 물질을 저장하고 있는 위험시설에 대한 사고 영향평가를 수행하기 위하여 개발되었으며, 피해결과분석에 필요한 다양한 모델을 내장하여 계산할 뿐만 아니라 분석결과를 텍스트 및 그래픽 형태로 나타내 줌으로서 분석효과를 극대화시킬 수 있다.

이 연구에서 제안된 피해예측 모듈은 기존 피해예측 S/W들이 가지고 있던 기술적 단점들을 개선하고자, 정확한 계산근거를 바탕으로 자동화시키도록 구성하였으며, 세부항목은 아래와 같다.

- 장치정보
- 대기환경정보 및 대기안정도
- 공정운전정보 입력
- 사고 시나리오 설정
- 사고 유형 선정

Fig. 3는 피해 예측 분석 모듈의 계산 Logic이다.

또한, U-도면정보 시스템과 연동된 새로운 형태의 피해예측 수행 방법을 제시하였으며, 피해예측을 수행하기 위한 초기 화면은 Fig. 4과 같다.

Fig. 4은 피해 예측 분석 모듈의 초기화면으로 크게 공정도면인 P&ID 상에서 피해예측을 수행할 수 있도록 U-도면정보 시스템과 연동되어 있다. 피해 예측 분

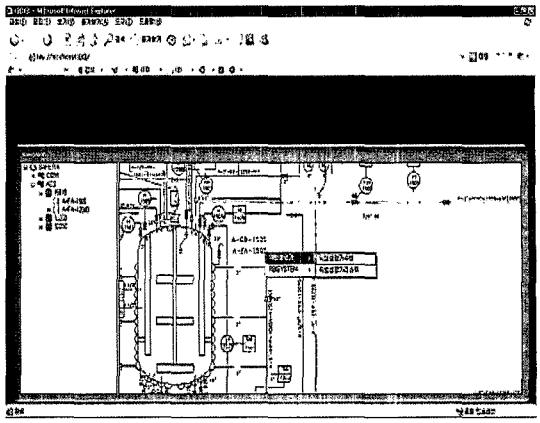

Fig. 4. Initial screen of consequence analysis(CA).

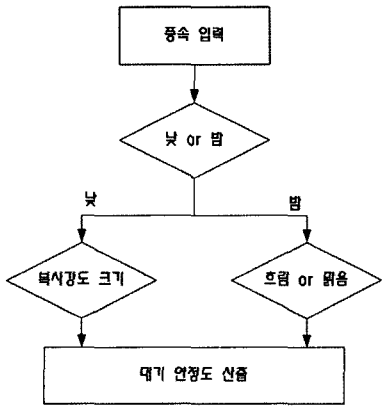

Fig. 5. Estimation mechanism of atmospheric stability.

석 모듈에서 공정정보는 이미 시스템에 입력된 정보가 자동적으로 Input data로서 적용된다. 대기환경정보를 입력함으로서 풍속, 날씨조건 및 태양의 남중고도 등을 고려한 대기안정도를 Fig. 5과 같은 과정으로 자동계산할 수 있는 구조로 설계하였으며, 사용자는 Fig. 6와 같이 기상정보를 입력만 하면 되는 간편한 구조로 구성되어 있다.

피해예측을 수행하기 위해서는 기상정보 입력 후 저장물질, 저장용기의 형태 및 운전조건 등 공정 운전정보를 입력해야 한다. 피해예측 모듈은 U-도면정보 시스템 상에 이미 입력된 정보를 자동으로 받아들이는 구조를 가지고 있어, 별도의 입력 과정없이 능동형으로 공정정보를 Fig. 6과 같이 표현해주는 구조로 구성되어 있다.

피해예측 결과 보고서는 공정안전보고서를 제출하기 위한 별도의 보고서를 작성하지 않도록 한국 산업안전공단 사고피해예측 지침 규격[9]을 채택하였다.

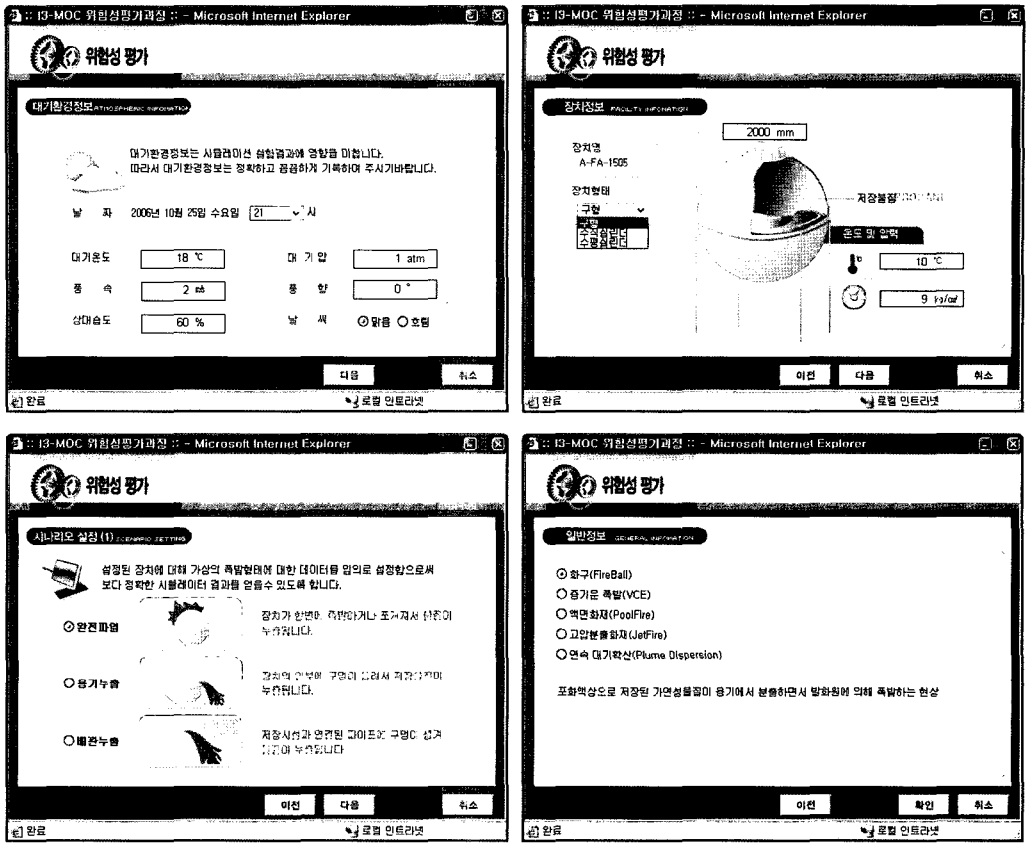

Fig. 6. Automation of risk assessment information selection.

IV. U-도면정보 시스템

화학공장은 조업공정을 안전상 · 조업상 · 시장변화에 따라 장치 · 물질 · 운전조건을 자주 변경 작업을 수행하고 있다. 이러한 변경된 공정정보는 최대한 빠른 시간내에 Up-date를 수행하여야만 오래된 공정정보로 인한 안전사고 및 조업의 실수를 방지할 수 있다. 따라서 변경 작업 시 실시간으로 변경된 정보를 Up-date를 하여야 한다.

사업장에서의 도면은 제한된 인원만이 지정된 단말기로만 볼 수 있으며, 또는 출력된 도면을 이용하여 공정의 정보를 제공받고 있다. 이는 Up-date가 된 도면을 조업자가 가지지 못할 가능성이 있으며 이는 공정의 위험성을 크게 할 수 있다.

이 문제의 해결책으로 유비쿼터스 네트워크 기술을 적용하여 ① 형태지의 공유, ② 커뮤니티 파워의 증대 ③ 센싱과 트래킹 능력의 확대 등 U-도면정보 시스템 능력을 향상시키고자 하였다[10].

이는 플랫폼(u-단말기)의 성능을 이용하여 공정내 어디에서나 브로드밴드, IPv6로 접속이 가능하며, 센서 기능과 개인 인증기능 등을 통하여 항상 도면정보 시스템에 접속할 수 있도록 기존의 도면정보 시스템과 달리 Web 기반으로 시스템을 구성하였다.

V. 사례 연구

사례연구는 사업장에서 비교적 자주 발생하는 장치 증설에 따른 위험성 평가 기반의 U-도면정보 시스템에 의해 기대되는 안전성 향상 요소 및 업무 효율 증가 요인들에 대하여 분석을 수행하였다.

장치 증설 사례는 Propane을 저장 Tank를 증설로 인하여 신규시설이 생기며, 공정위험성 증대 부분에 영향을 주며, 이는 Major Change로 판정된다. 이러한 근거를 바탕으로 Propane 저장 Tank성을 높이기 위한 목적으로 수행된 변경 사항이며, 변경관리는 다음과 같은 흐름으로 수행한다.

□ Step 1. 변경 여부 및 중요도 판단

□ Step 2. 변경 위험도 판단

Table 1. Comparison of the proposed risk assessment on the DIS against the conventional method

구분	기존방식	DIS 기반 방식
위험도 산정 소요 시간 및 명료성	불가능	2 hr 명확한 위험도 파악 가능 및 위험성평가 기법 제안
위험성 평가 소요 시간 및 명료성	자체수행 불가능 또는 어려운 분야로서 외부 컨설팅에 주로 의존함	3 days 공정 변수, 사고시나리오 선정, 효과분석 등 자동화에 의한 혁신적 단축 및 정확성 증대
피해 예측 보고서 분석 및 작성	기존 피해예측 S/W의 경우 지나치게 많은 불필요한 정보까지 포함하여 사용자의 혼란을 가중시키는 단점 존재	U-도면정보 시스템의 장점이 극대화 된 부분으로 가장 가능성 높으며, 법적 기본 제한사항을 모두 충족시키는 장점 존재

□ Step 3. 위험성 평가 수행
□ Step 4. 변경 검토 요청
□ Step 5. 변경 요청 사항 검토 및 항목 설정

신규 저장시설의 경우 정량적 위험성 평가를 수행하도록 화학공장의 안전관리 규정들에 의해 권고받고 있다. U-도면정보 시스템을 기반으로 한 위험성 평가는 Consequence Analysis를 수행하는 위험도가 비교적 높은 중대 변경의 경우 기존 방식에 비하여 Table 1과 같은 여러 가지 성과를 기대할 수 있었다.

첫번째, 피해 예측 산정은 사업장에서 가장 수행하기 어려운 분야 중 하나이며, 피해 예측 모듈의 지능화에 의한 대기안정도 산정, 공정운전조건 및 사고시나리오 선정 등 기본 구성항목의 자동 산정으로 인한 인적 · 물적 자원의 절약과 정확한 위험성 평가의 수행으로 합리적 대안 제시를 가능하게 해준다.

두번째, 피해 예측 결과 보고서의 경우 현재 장치산업 사업장 대부분이 외부 컨설팅에 의존하고 있는 상황이나, U-도면정보 시스템은 보고서 자동 생성으로 법적 기준 제한 사항 및 가능성 높은 결과 예측치를 제공하여 공정안전관리의 효율성을 극대화시켜 줄 수 있다고 판단된다.

VI. 결 론

이 연구에서는 장치산업을 위한 기술적 애로사항을 해결하기 위한 제반사항들을 정립하여 U-도면정보를 기반으로 한 위험성 평가를 제안하였다. 제안된 U-도면정보는 위험성 평가를 수행할 수 있는 토대를 마련하였다는 특징이 있다. 이러한 결과는 기존의 단순한 해당 업무에 대한 검토가 아닌 위험도를 고려한 장치산업 체계적 안전장치를 제공한다. 또한, 의사결정단계에서 공학 기술적 이론에 충실한 판단 근거들을 제시하였다.

더불어 기반 기술연구에 따른 효율적 위험성 평가를 위한 시스템을 개발하였다. 위험성평가 기반의 도면정보 시스템은 위험성 평가 관련 S/W 최초로 U-도면정보 시스템 기반 구조로 설계되었다.

U-도면정보 시스템은 단순히 도면정보 시스템 상에 위험성 평가 및 변경 검토 수행을 위한 모듈들이 링크 형태로 연결된 것이 아니라, 공정정보를 탑재하여 위험성 평가 등 공학적 활동들을 지원하는 최초의 시스템으로서 의미가 있다.

이 연구에서 수행된 U-도면정보 시스템 기반 위험성 평가 시스템의 연구결과는 다음과 같다.

1. U-도면정보 시스템 기반 위험성 평가를 제안하여 변경 검토시 위험도 기반의 다각적 분석을 통한 안전성 확보를 가능하게 하였다.

2. U-도면정보 시스템 기반의 위험성 평가를 제안하여, 업무 효율성의 증대와 화학공정 안전 분야의 궁극적 목표인 안전성 향상의 두 가지 목적을 달성하고자 하였다. 도면정보 시스템 개발 성과는 다음과 같다.

- U-도면정보 시스템 기반의 위험관리 모듈 제안
- 공정정보 위험성 평가 등 안전기술적 요소들의 실질적이고 효율적인 통합 방법 제시
- 정확하고, 신뢰성 있는 기술적 요소들의 자동화에 의한 신뢰성 향상

이 연구의 성과는 위와 같으며, 향후 공정 안전 시스템이 나아가야 할 방향을 파악할 수 있었다는 것이 부가적인 성과였다. 앞으로, U-도면정보 시스템 기반 위험성 평가에 대하여 더욱 연구되고 보완되어야 할 부분은 실시간 공정정보 시스템과 도면관리 시스템의 효율적 Data 연계, 변경관리에 이은 2차적 업무들의 연동에 따른 시스템 확장 및 피해 예측 모듈의 신뢰성 확보를 위한 지속적 연구 등이 있다. 이러한 사항들을 지속적으로 연구 · 개발하여 통합형 공정안전관리 시스템을 구축 한다면, PSM/SMS 등 관련 법규 충족과 실질적 장치산업 사업장의 안전성 향상이라는 두 가지 목적을 이룰 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

이 연구는 교육인적자원부에서 지원받은 2006년 광운대학교 대학특성화사업(차세대 신성장 동력산업을

위한 실감 IT 전문인력 양성사업)의 일환으로 진행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

[1] AIChE, "Plant Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety", New York, (1992)
[2] Hammer, Willie, "Handbook of System and Product Safety", Prentice-Hall, (1972)
[3] Less, F.P., "Loss Prevention in the Process Industries", Second edition, Butterworths, (2001)
[4] AIChE/CCPS, "Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", Second Edition", New York, (2000)
[5] Less, F.P., "Loss Prevention in the Process Industries", Butterworths, (1980)
[6] EPA, "Guidance on the Application of Refined Dispersion Models to Hazardous/toxic Air Pollutant Release", (1993)
[7] EPA, "RMP Offsite Consequence Analysis Guidance", (1996)
[8] Crowl, D.A. and J.F. Louvar, "Chemical Process Safety : Fundamentals with Applications", Second Edition, Prentice-Hall, New Jersey, (2002)
[9] 한국산업안전공단, KOSHA Code (P-02-1998), "위험과 운전분석(HAZOP) 기법", (1998)
[10] 가나, "우리들의 유비쿼터스", 혜지원, (2005)