

실시간 데이터를 이용한 지역기반 위험분석 시스템에 관한 연구

†오정석 · 방효중

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2013년 8월 7일 접수, 2013년 12월 26일 수정, 2013년 12월 26일 채택)

A Study on Zone-based Risk Analysis System using Real-time Data

†Jeong Seok Oh · Hyo Jung Bang

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, Gyeonggi-do, Korea

(Received August 7, 2013; Revised December 26, 2013; Accepted December 26, 2013)

요약

에너지 산업시설물은 다양한 종류의 가스나 유해물질을 다루고 있어 화재, 폭발, 독성물질 누출로 인한 대규모 중대사고로 전이되어 산업시설 종사자뿐만 아니라 외부 민간인에게도 치명적인 피해를 입힐 수 있다. 이러한 사고를 방지하기 위해 정량적 위험성평가를 활용하여 인체나 건물에 미칠 수 있는 영향에 대한 정량화를 시도하고 있지만 예외적인 상황에 즉각적인 처리가 어렵고 시나리오를 위한 전문가적 지식이 많이 필요하였다. 본 논문은 에너지 대규모 산업시설에서 실제 환경의 데이터를 실시간으로 이용함으로써 동적인 시나리오를 생성하여 예외적인 상황과 전문가적 지식을 최소화하고 개인 인지적 환경에 적합하게 위험을 표현하는 것이 목적이다. 이를 위해 본 연구는 실시간 정보를 기반으로 현 시점의 지역 내 위험도를 실시간으로 연산할 수 있는 데이터베이스와 증분적 모델을 적용한 지역기반 위험 분석 시스템을 설계하고 구현하였다.

Abstract - Energy industry facilities can cause fatal damage for internal industry employee as well as external general people because handling various kinds of gas and harmful substance might be spread to large scale severe accident by fire, explosion, and toxic gas leakage. In order to prevent these accidents, quantification by damage effect on structure and human is tried by using quantitative risk assessment, but it is difficult to process instantly exceptional cases and requires knowledge of expert. This paper aims to minimize exceptional cases and knowledge of expert, and present risk with human perceptible. So, we designed and developed zone-base risk analysis system that can compute risk of zone in real time at that point using database and incremental model.

Key words : risk analysis, QRA, real-time analysis

I. 서론

에너지 대규모 산업시설물에서는 다양한 종류의 가스나 유해물질을 다루고 있어 사고발생 시 대규모로 확대될 위험이 매우 커서 막대한 피해를 발생시킬

가능성이 크기 때문에 안전관리 및 사고예방 방법이 중요시 되고 있다[3].

대부분의 설비 및 시설들은 시간이 지남에 따라 노후화되기 때문에 사고 발생가능성은 증대될 수 있으며 이러한 가능성은 화재, 폭발, 독성물질의 누출로 인한 대규모 중대사고로 전이되어 산업시설 종사자뿐만 아니라 외부 민간인에게도 치명적인 피해를 입힐 수 있다[1,5]. 유해한 가스누출에 의한 실시간

†Corresponding author: dbstar@kgs.or.kr

Copyright © 2013 by The Korean Institute of Gas

대기확산에 관한 연구[4]는 존재하나 공정 등 시설과 설비에서 잠재위험을 확인하여 미리 설정된 시나리오에 의거한 사고빈도와 사고결과분석을 통해 중대 사고에 의한 인체나 건물에 미칠 수 있는 영향을 정량화하는 정량적 위험성 평가(Quantitative Risk Analysis)가 필요하다.

정량적 위험성 평가의 일반적 절차는 위험요소 확인과 사고 시나리오 수립, 설정된 사고 시나리오에 대한 빈도 분석과 결과분석, 위험도 분석, 위험감소 방안 수립으로 정리된다[2]. 다시 말해, 기존의 정량적 위험성 평가는 기 설정된 시나리오를 기반으로 규정된 범위 안에서 위험도를 확인하는 시뮬레이션 방법으로 다양한 경우(case)를 생성하여 미연에 대응책을 마련하기 위해서는 적절하나 시나리오 생성을 위한 전문가적 기술적 지식이 필요하며 예상치 못한 경우일 때는 대응 및 처리가 미흡할 수 있다.

본 논문은 에너지 대규모 산업시설에서 실제시설 환경의 데이터를 실시간 이용함으로써 동적인 시나리오를 생성하여 예외적 상황과 전문가적 지식을 최소화하고 개인 인지적 환경에 적합한 지역(zone)기반으로 위험을 표현하는 것이 목적이다. 이를 위하여 본 연구는 실시간 정보를 기반으로 현 시점의 지역 내 위험도를 실시간으로 연산할 수 있는 모델 및 데이터베이스를 구축과 증분적(incremental) 기법을 이용한 시스템을 상세 클래스 다이어그램까지 설계하며, 설계된 클래스 다이어그램을 기반으로 실시간 상황에 부합되는 동적 시나리오에 의거한 지역기반 위험 분석 시스템을 제시한다.

II. 정량적 위험성 평가 방법론

정량적 위험성평가는 위험시설이 주변에 영향을 미치는 위험도를 수치적으로 표현하여 위험도를 객관적으로 판단할 수 있는 평가 방법이며 지역기반 위험성 분석의 근간을 제공한다. 정량적 위험성평가는 개인적 위험도를 계산하여 같은 위험도를 가진 지점을 연결한 컨투어로 표현하는 것이 일반적인 방식이다 [6,7].

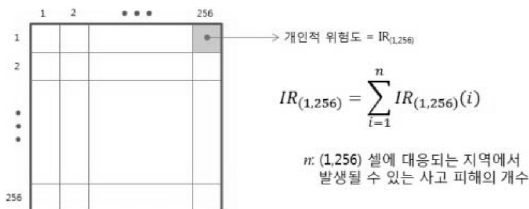


Fig. 1. Calculating Example for Individual Risk

본 연구에서는 위험시설이 존재하는 지역(zone)에 대한 정량적 위험성 평가를 위해 논리적 지역계산과 개인적 위험도 계산을 분할하였다.

개인적 위험도의 단위는 연간 사망률이다. 만약에 임의의 지역에서 위험도가 $3.28 \times 10^{-5}/\text{yr}$ 로 계산되었다면 이 수치의 의미는 지역에 대응되는 1년 동안 사람이 사망할 수 있는 확률을 의미한다.

Fig. 1은 개인적 위험도 계산 예를 보이며 해당 셀과 대응되는 지역에서 사고에 의해 발생될 수 있는 사고 피해를 모두 고려하여 해당 지역의 개인적 위험도를 계산한다. $IR_{(1,256)}(i)$ 는 (1,256)에 위치한 지역에서 i 번째 사고피해에 대한 개인적 위험도를 의미한다.

개인적 위험도는 위험시설에서 사고가 발생할 수 있는 확률과 사고가 미치는 피해 크기의 조합으로 결정된다. 두 번째 요소인 사고가 미치는 피해의 크기는 사람이 사망할 수 있는 치사율(fatality)로 산정한다. 따라서 개인적 위험도의 수식은 (식 1)과 같이 표현된다. $P(i)$ 는 임의의 사고가 발생할 확률을 의미하고, $F(i)$ 는 해당 사고에 의한 치사율을 의미한다.

$$IR(i) = P(i) \times F(i) \quad (\text{식 } 1)$$

사고 발생 확률(사고빈도)은 주로 결함트리분석(FTA)이나 사건수분석(ETA)을 이용한다. 결함트리 분석은 가연성 물질 누출과 같은 어떤 특정한 예상사건에 대하여 그 사건의 원인이 되는 장치 또는 기기의 결함이나 인적 오류를 연역적으로 검토 분석하여 평가 진단하는 방법이다. 사건수분석은 사건이 발생하였을 때 사고 종류에 따라 전이율을 설정 하고 사고결과사례(Incident Outcome case)를 이용하여 주변에 미치는 영향을 (식 2)와 같이 구체적으로 설정한다.

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n IR_{x,y,i} \quad (\text{식 } 2)$$

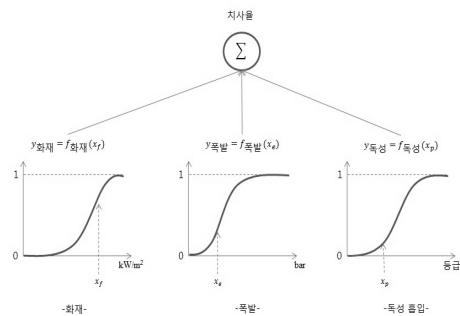


Fig. 2. Example for Estimating Fatality

치사율은 사고가 발생했을 때 해당 사고에 의해서 사람이 피해를 입는 정도를 나타내는 기준이며 물성치, 누출모델, 그리고 영향모델을 이용하는 사고발생 확률분석에 의해 치사율을 계산한다. 특히, 영향모델은 사고가 사람에게 영향을 미치는 정도를 산출해주는 모델로서 화재, 폭발, 독성 흡입 등 사고 별로 서로 다른 기준을 Fig. 2처럼 일원화하여 동일한 기준으로 변환한다.

III. 지역기반 위험분석 시스템 설계

지역기반 위험분석 시스템은 일정 지역내에 존재하는 시설에 대한 위험성 평가를 실시간 정보를 기반으로 수행하여 현 시점에서의 위험도를 실시간 연산하여 지역 내 각 지점에서의 위험도를 실시간으로 파악할 수 있는 시스템이며 Fig. 3에서 개략적 구성도를 보인다.

사고영향분석(Consequence Analysis)은 대상시설에서 균열 등의 이유로 인해 누출이 발생되었을 때 확산, 폭발, 화재 정도를 산정할 수 있는 모델로 설계하였다. 사고발생확률분석(Frequency Analysis)은 사고가 발생할 확률을 계산하는 방법으로 사고/사건을 유발하는 결과물 고장의 중합을 도식화하는 FTA와 전이율을 표현할 수 있는 ETA를 채택/설계하였다. 위험표현(Risk Presentation)은 개인적 위험과 지역기반 위험을 표현하도록 설계되었다.

지역기반 위험분석 시스템 설계는 다양한 데이터 저장소인 데이터베이스 구축과 구축된 데이터베이스를 이용해 지역기반 위험분석을 실현하게 하는 클래스 설계로 분류된다. 설계된 데이터베이스를 구성하고 있는 테이블은 Table 1과 같다.

- 주요 테이블에 대한 구체적 설명은 다음과 같다.
- Plants: 시스템 내에 가장 상위 개체인 플랜트에 관련된 고유정보를 관리한다. 지도이미지, 이미

지 영역(좌표), 인구영역정보를 다루고 있다.

- Nodes : 공통요소가 존재하지 않고 상속의 개념이 없는 데이터베이스에서 공통요소를 관리하기 위한 기법으로 계층의 관계와 명칭, 그리고 요소타입을 구분하는 필드로 생성하며 실제 개체인 장치, 설비는 모두 노드의 아이디를 1:1 관계로 참조한다.
- Equipments : 운영되는 설비를 표현하는 테이블로 Plants와 1:N관계에 있다. 본 시스템은 실시간 정보를 반영하므로 센서, 물질 등 상태파악 및 결과에 대응되는 정보와 관련되어 있어야 한다.
- FTAs : 각 설비에는 다양한 사고 시나리오가 존재 가능하며 이를 관리하기 위해 Equipments 테이블과 1: N 관계로 존재한다. 때에 따라서 사용자가 직접 정의 및 계산할 수도 있기 때문에 선택적 정보를 제공하는 필드이다.

Fig. 4는 지역기반위험분석 시스템을 위하여 설계된 클래스를 도식화한 것이다. 시스템 수행에 필요한 모든 클래스는 기능의 독립성을 보장하기 위해 데이터베이스와는 무관하게 설계되었다. 이러한 설계방식은 다양한 환경에 시스템이 쉽게 적용될 수 있도록 이식성을 향상시키며 시스템의 자원사항에 적합하도록 재사용성을 증대시킬 수 있다. 주요 클래스의 설명은

Table 1. Table Information for Analysis System

테이블명	설 명
SensorData	설비에 부착된 센서 데이터
Men	작업자 정보
Plants	플랜트 정보
Equipments	설비 정보
Pipes	배관 정보
PipeLeakPoints	배관에서 누수된 지점에 대한 정보
Nodes	플랜트, 설비, 배관 등 요소간의 계층구조에 대한 정보
NodeTypes	노드에 대한 유형정보
Materials	물질 정보
FTAs	Fault Tree Analysis에 대한 정보
AlarmLogs	알람에 대한 로그 정보
NodeGroups	노드 그룹에 대한 정보
RiskDistributions	위험분포 정보
RiskDistributionResults	분석결과 정보

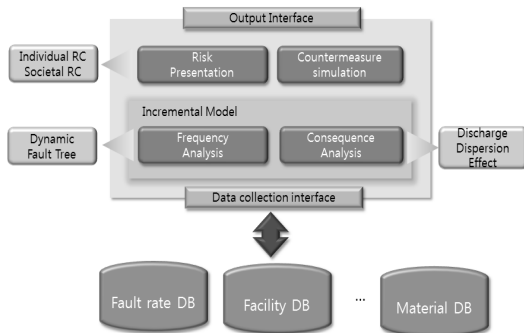


Fig. 3. Abstract Architecture for Whole System

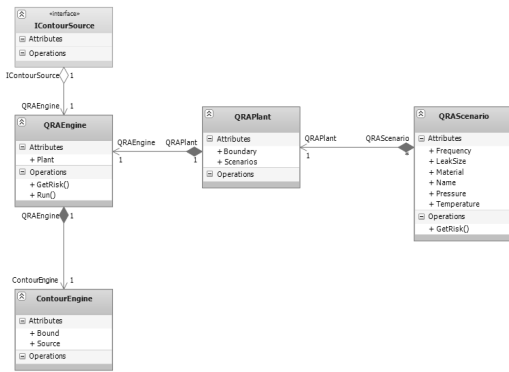


Fig. 4. Class Diagram of Analysis System

다음과 같다.

- **QRAEngine** 클래스: 지역위험분석을 수행하는 최상위 클래스로 어플리케이션이 필요로 하는 모든 위험분석 관련 정보를 취득할 수 있다. 이 클래스는 하나의 생성자와 두 개의 주요 메소드가 존재한다. QRAEngine 생성자는 클래스 내에 위험분석을 수행하는데 필요한 모든 객체를 생성하고 유틸리티 기능을 이용해 데이터베이스로부터 이들을 초기화 한다. Run 메소드는 지정된 플랜트 아이디로부터 위험분석에 필요한 모든 객체를 생성하고 현 시점에서 지역위험도를 반환한다. GetRisk 메소드는 지역 포인트의 위험도 위치를 X,Y 좌표로 반환한다.
- **QRAResult** 클래스: QRAEngine 의 Run 메소드의 리턴 형태로 위험분석 결과를 표현하는데 필요한 배열 및 자료구조인 Matrix 프로퍼티와 Zone 프로퍼티로 구성되어 있다.
- **QRAPlant** 클래스: 위험분석 대상이 되는 지역 및 그 구성요소를 구현한 클래스로 플랜트 논리적인 영역이 Bound 프로퍼티와 지도의 축적 정보인 Sacle 프로퍼티를 가지고 있다.
- **QRAScenario** 클래스: 위험분석에 관련된 모든 요소를 포함하며 Equipment와 FTA 정보를 통합하여 사용한다. 위험분석 위치부터 시나리오에 포함된 양, 온도, 압력, 크기 등이 프로퍼티와 메소드를 통해 반환된다.

IV. 지역기반 위험분석 시스템 구현

지역기반 위험분석 소프트웨어는 위험물질을 운영하고 있는 플랜트 주변의 개인적 위험도 평가가 실시간으로 운영되는 시스템이다. 기존의 위험성 평가 시

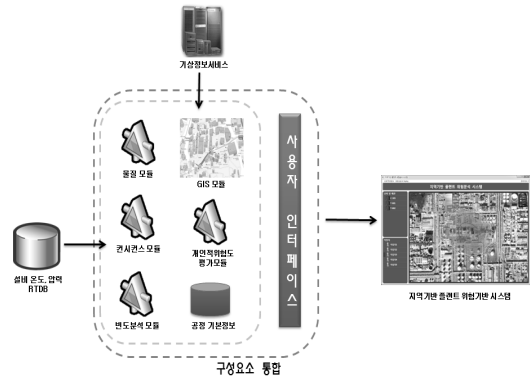


Fig. 5. Total System Architecture

스템은 정적인 설비정보를 기반으로 운영되기 때문에 주거지역 인허가, 보험료 산정 등 주로 정책적인 분야에 활용되었지만 본 시스템은 설비에 대한 정보와 대기정보를 실시간으로 수집하기 때문에 작업자의 현재 위험 노출 정도 등을 모니터링하고 실시간 위험도 판단에 활용할 수 있다.

지역기반 위험분석 시스템은 구성은 실시간 데이터 수집 컴포넌트, 시나리오 설정 및 빈도 분석 컴포넌트, 물질 데이터베이스, 개인분석 컴포넌트, GIS 컴포넌트, 사용자 인터페이스 등이며 Fig. 5에서 도식화하여 보인다.

지역기반 위험분석 시스템은 설비에 대한 온도와 압력을 통해 결과(Consequence) 분석에 필요한 누출 모델을 구동한다. 각각의 설비에는 온도와 압력을 측정하는 센서가 부착되어 있으며 센서에서 측정된 값은 실시간으로 데이터베이스에 저장된다. 시스템은 실시간 데이터베이스 질의를 통해 원하는 설비의 온도, 압력을 주기적으로 획득하도록 설계되었다. 또한 본 시스템의 장점은 가상환경을 구성하여 가상의 데이터를 생성하여 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하였다. Fig. 6은 실시간 데이터를 전달받아 설비의 압력 변화를 나타내고 있는 것을 보여준다.

지역기반 위험분석 시스템은 위험분석 대상이 되는 지역의 지도 설정, 설비 추가 및 설정, 그리고 작업자 지정 등 다양한 기능의 설정이 존재한다. 지도의 경우 GIS 맵에서 자동 추출하는 방식을 사용함으로써 사용자가 축척 등을 설정할 필요가 없으며 배관 등의 설비는 마우스로 지도위에 쉽게 설정할 수 있도록 하였다. 설비에 대한 설정은 Fig 7.에서 보인다.

저장물질은 설비에서 운영되는 물질이며, 압력과 온도 태그는 설비의 압력/온도 센서 인식 태그이다. 압력 상/하한은 비상알람이 울리는 압력 상/하한 값을 의미하고 FTA는 누출 시나리오, Consequence는



Fig. 6. Real-time Monitoring using Sensor

명칭
 물질
 압력태그
 압력상한
 압력하한
 온도태그
 실내여부

FTAs

분석명

- Consequence
- FIREBALL
 - EXPLOSION
 - JETFIRE
 - POOLFIRE
 - DISPERSION

Fig. 7. Configuring Facilities

발생 가능한 사고 종류이다.

누출 시나리오는 Fig. 8처럼 FTA 작성도구를 이용하여 시나리오를 생성하거나 ETA 경우에는 별도로 생성하지 않고 이미 내장된 Best Practice를 이용할 수 있다.

지역기반 위험분석에 대한 설정이 완료되면 시스템은 실시간 설비정보를 입력받아 개인적 위험도에

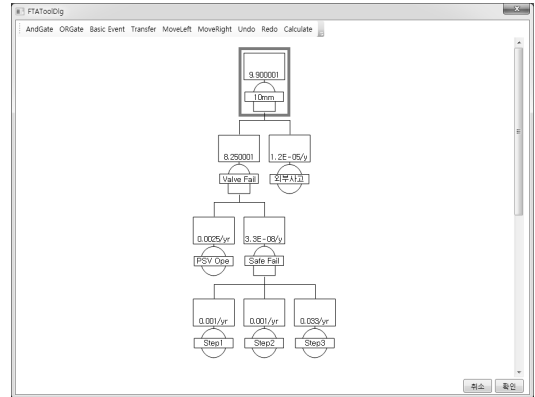


Fig. 8. Configuration of Dispersion Scenario



Fig. 9. Main User Interface of System

기반을 둔 위험도 분석을 수행한다. 시스템 내부에 구현된 위험분석 모듈은 사용자가 설정한 지역정보와 설비정보를 기반으로 주기적으로 해당 지역의 위험도를 연산하여 위험도 지역 농도 등을 지도상에 표시하여 사용자가 현지의 위험도를 쉽게 이해할 수 있도록 한다. Fig. 9는 시스템이 실시간으로 구동되고 있는 중에 위험도를 표시하는 예를 보인다.

좌측 화면은 설비와 작업자를 선택할 수 있는 탐색 메뉴가 존재하며 화면 중앙에는 설비와 작업자의 위치 및 현재의 지역 위험도를 인식할 수 있는 농도 형태의 생산 분포도가 나타나게 되어 있다. 탐색 메뉴 혹은 지동사의 개체를 마우스로 클릭하면 해당 개체의 현재 상태를 별도의 창을 통해서 확인 가능하다.

또한 위험도는 실시간으로 계속 갱신되면서 이력을 관리하도록 되어 사용자는 시간의 흐름에 따라 변화하는 위험도를 비교 분석할 수 있도록 설계 되었다. Fig. 10은 사용자가 설정한 시간 간격으로 저장되어 있

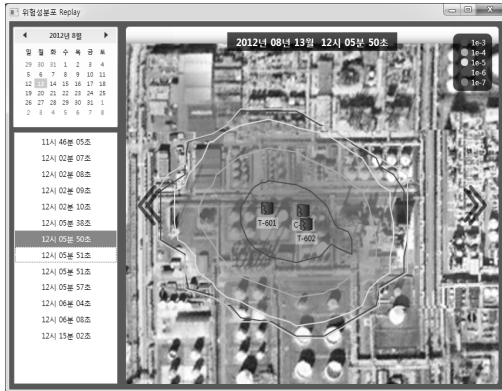


Fig. 10. Transition of Risk by Time Interval

는 위험 분포도를 선택하여 사용자가 원하는 시간대의 위험도를 비교 분석할 수 있는 화면을 보인다. 이는 정적인 가데이터를 기반으로 위험성을 시뮬레이션하는 기존의 위험성 평가에 비해 실 데이터를 기반으로 동적인 상황을 실시간적으로 연계하여 단순 화학공학적 위험도가 아니라 주변 환경 및 상황을 고려한 종합적 안전도 및 이상 상태 사전 예측 등에 대한 토대를 제공한다.

V. 결론

에너지 대규모 산업시설물에서는 다양한 종류의 가스나 유해물질을 다루고 있어 화재, 폭발, 독성물질 노출로 인한 대규모 중대사고로 전이되어 산업시설 종사자뿐만 아니라 외부 민간인에게도 치명적인 피해를 입힐 수 있다. 이러한 사고를 방지(또는 대응)하기 위해 정량적 위험성 평가를 활용하여 인체나 건물에 미칠 수 있는 영향에 대한 정량화를 시도하고 있지만 기 설정된 시나리오를 바탕으로 하기 때문에 전문가적 지식이 필요하고 시뮬레이션용으로 예상치 못한 경우에 즉각 적용하지 못하는 한계점이 발생될 수 있다.

본 연구에서는 에너지 대규모 산업시설 실제 환경에서 데이터를 실시간으로 수집하여 동적인 시나리오를 생성하여 예외적 상황과 전문가적 지식을 최소화하고 사용자 인지적 환경에 적합하도록 위험을 표현하는 지역기반 위험분석 시스템을 설계하고 구현하였다.

지역기반 위험 분석 시스템에서 본 연구는 필요 정보를 저장하는 데이터베이스와 프로그램을 수행하기 위한 구성요소의 도식화된 버전인 클래스를 독립적으로 설계하였다. 이러한 방식은 다양한 환경에 시스템이 쉽게 적용될 수 있도록 이식성을 향상시키며 시스템의 지원사항에 적합하도록 재사용성을 증대시킨다.

데이터베이스는 14개의 테이블로 구성되며 상호 1:1, 1:N, M:N 관계를 가지며 특히 주요하게 Plants 테이블은 가장 상위 개체에 대한 정보로서 다양한 테이블과 상호 관계를 가지며, FTAs 테이블은 다른 테이블과 달리 데이터를 저장하는 것이 아니라 시나리오 자체를 저장한다. 클래스는 5개의 클래스로 구성되어 있으며 시스템의 인스턴스로 활성화 되었을 때 구동된다. 특히 QRAEngine 클래스는 지역위험분석을 수행하는 최상위 클래스로 응용 프로그램이 필요로 하는 모든 위험분석 관련정보와 연계된다.

지역기반 위험분석 시스템의 구현은 실시간 데이터 수집 컴포넌트, 시나리오 설정 및 빈도 분석 컴포넌트, 물질 데이터베이스, 결과분석 컴포넌트, GIS 컴포넌트, 사용자 인터페이스로 구성되며 온도, 압력 등을 주기적으로 수집하여 GIS 맵에 위험을 표현하도록 하였다. 특히, 실시간으로 위험도가 갱신되고 이력을 관리하기 때문에 시간의 흐름과 환경에 따라 위험도를 비교 분석할 수 있다.

향후계획으로는 대규모 복합 산업시설에 지역(zone) 별로 위험을 분석한 결과와 지능형 분석 결과를 병합하여 상호 보정할 수 있는 방법을 제시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음 [과제번호: 10035310, 과제명: 차세대 USN 기반의 산화안전 프레임워크 기술 개발]

참고문헌

- [1] Hern-Chang Lee, Sung-Kyu Choi, Ji-Hoon Jo, Byeong-Ho Ham, Tae-Ok Kim, "Quantitative Risk Assessment of the Chemical Facilities by KS-RBI Program", KIGAS, 11(4), 23-28, (2007)
- [2] Ik-Keun Yoon, Shin-Kyu Oh, Jae-Min Seo, Dong-Yeon Lim, En-Sup Yoon "A Development of System for Efficient Quantitative Risk Assessment on Natural Gas Supply Facilities", KIGAS, 16(1), 39-45, (2012)
- [3] Heon Seok Lee, Seung Gyun Kang, In Hee Jung, Bum Su Kim, Jin Hwan Yoo, Chulhwan Park, Daeheum Kim, Jae Wook Ko, "Development of Emergency Response System by Risk Assessment Methodology in Energy Facility", KIGAS, 12(2), 118-123, (2008)
- [4] Jeong Seok Oh, Ji I Hyun, Hyo Jung Bang, "A

- Study on Smart Real-time Atmospheric Dispersion System", KIGAS, 16(4), 44-51, 2012
- [5] Papadakis, G. A., "Major Hazard Pipelines: A comparative Study of Onshore Transmission Accidents", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 20, 91-107, (1999)
- [6] Crowl, D. A. and Louvar, J. F., "*Chemical Process Safety Fundamentals with Applications*", Prentice Hall, New York(1990)
- [7] Perry, R. H. and Green, D., "*Perry's Chemical Engineering Handbook, 7th ed.*", McGraw-Hill, New York(1997)