KIGAS Vol.2, No.2, June, 1998
(Journal of the Korean Institute of Gas)

지리정보시스템을 이용한 도시가스시설의 정량적 위험성 평가

이정우 · 김기수 · 고재욱

광운대학교 화학공학과

(1998년 3월 19일 접수, 1998년 4월 29일 채택)

Quantitative Risk Assessment of City Gas Facilities Using Geographic Information System

Jeung-Woo Lee · Ky-Soo Kim and Jae-Wook Ko

Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

(Received 19 March 1998; accepted 29 April 1998)

요 약

급속한 도시가스 보급률의 증가로 인해 국내 도시가스시설에서는 많은 사고가 일어났었다. 이러한 도시가스 사고에 대한 예방 대책으로 여러 관련기관에서는 도시가스의 물성치 등 안전 관련 자료들과 도시가스시설에 대한 정보들을 부분적으로 구축 · 관리하고 있다. 하지만 각 기관들이 구축한 정보들을 공유하고 있지 않기 때문에 정보들을 중복되게 구축 · 관리하고 있어 이에 대한 효율성이 결여되어 있다. 따라서 정보 관리와 공유를 효과적으로 할 수 있으며, 정보들을 이용하여 정량적 위험성 평가 및 방재 계획을 지원할 수 있는 지리정보시스템에 관한 연구를 하였다.

Abstract - The number of fuel gas accidents is increasing in domestic fuel gas facilities as increasing the supply area. To prevent gas accident, the government institutions related to fuel gas industry partly collected and managed the information of physical properties and safety data. Due to the overlap of data between institutions, collecting and managing the safety information was inefficient. The purpose of this research is developing geographic information system which providing the information of quantitative risk assessment, accident prevention plan, and efficient sharing and managing of the system.

Key words : Chemical Process Safety, Quantitative Risk Assessment, City Gas Facilitkes, Geographic Information System(GIS)

1. 서 론

국민 생활 수준의 향상에 따른 에너지 안정 수급 측면의 강화를 위해 청정연료인 도시가스의 보급이 확대되었다. 그런데, 고압배관이 인구가 밀집되어 있는 도심지역을 통과하고 지역 정압기 시설 대부분이 아파트나 학교 같은 인구밀도가 높은 지하에 설치되어 있는 실정이고 이런 시설에 대한 미흡한 관리로 인해 발생된 사고는 피해 범위가 크고 막대한 손상을 초래하고 있다. [7,8]

재해에 대한 시설물관리는 두 가지 관점에서 고려될 수 있는데, 첫째는 재해가 일어날 가능성을 최소화하여 재해를 미리 예방하는 것이며 둘째는 재해가 발생하였을 때 효과적인 대응방법을 통하여 피해를 최소화하는 것

이다. 이러한 두 가지 관점에서의 관리를 위해 가장 시급하게 이루어져야 할 것은 지금까지 방대하고, 다양하고, 부정확하고, 분산되어서 비효율적으로 관리되어 온 각종 도시가스 관련 시설물에 대한 정보가 하나의 일관성 있는 시스템으로 구축되는 것이다. [2,8]

본 논문에서 효율적인 정량적 위험성 평가를 위해 이용한 지리정보시스템은 방대한 지리적인 정보를 효율적으로 저장하고 분석할 수 있도록 하는 기능을 제공하여 시설물들에 대한 효율적이고 종합적인 관리를 가능[6]하게 해주는 대표적인 시스템이다.

본 논문에서는 도시가스시설 주변지역에 대한 지리정보시스템을 구축하고, 속성 데이터베이스에서 정량적 위험성 평가에 필요한 속성정보를 관리하도록 하고자 한다. 또한 지리정보시스템에서 정량적 위험성 평가를 수행하고, 그 결과들을 도면에 직접 도시함으로써 유용성을 검증하고자 한다.

2. 도시가스시설의 지리정보시스템 구축

(1) 공간 데이터베이스 구축

공간 데이터베이스의 구조는 Figure 1과 같으며, 점으로 나타낼 수 있는 시설물 또는 설비의 위치를 저장하고 있는 PointTable과 선으로 나타낼 수 있는 시설물의 외곽선과 도로 또는 배관망을 벡터 형태로 저장하고 있는 LineTable, 면을 이루고 있는 polygon들의 LineID list들을 저장하고 있는 PolyTable로 이루어져 있다. 그리고 각 Table 마다 RelationID란 항목을 가지고 있어서 나중에 공간 데이터베이스와 속성 데이터베이스간의 연관관계를 형성시킬 수 있었다.

(a)

PointTable

PointID	X	Y	RelationID

(b)

LineTable

LineID	FromP	ToP	RelationID

(c)

PolyTable

PolyID	LineList	RelationID

Fig. 1. Structure of spatial database.

본 연구에서는 수치지도의 파일 형태를 DXF로 채택하였고 이 DXF 파일은 지도를 스캐닝하여 만들어진 래스터 자료 형태인 BMP 파일을 파일 형식 변환 소프트웨어인 BMP2DXF를 이용하여 변환하였다. 그리고 DXF 파일로 만들어진 수치지도를 속성데이터베이스와 연계해서 쓰기 위해서 MicroSoft사의 MS-Access를 이용하여 공간· 데이터베이스로 구축하였고, 이상의 공간 데이터베이스의 구축 과정을 Figure 2에 보였다.

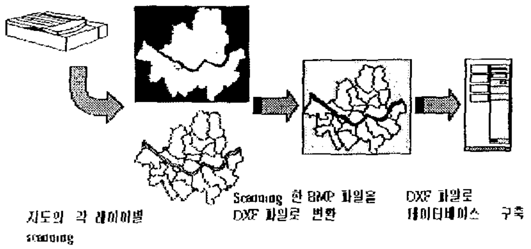

Fig. 2. Establishment procedure of spatial database.

(2) 속성 데이터베이스 구축

MSDS

도시가스시설에서 제조 · 저장하는 물질에 대한 물성치들과 사용량에 대해서 간략하게 살펴볼 수 있도록 하였으며 뿐만 아니라 MSDS (Material Safety Data Sheet)를 안전성 향상 계획서의 작성 형식에 맞추어 각 물질별로 데이터베이스화함으로써 공정 운전상 필요한 정보나 위험성 평가를 하는데 필요한 정보를 신속히 얻을 수 있도록 하였다.

정압기

정압기에 대한 속성 데이터베이스는 정압기에 대한 테이블과 안전 밸브에 대한 테이블로 이루어져 있다.

정압기에 대한 테이블은 정압기의 종류와 위치, 운전 압력, 설치시기 등의 정보들로 이루어져 있으며, 정압기 종류는 Table 1의 지역정압기의 분류표에서 각 특성에 대한 약어의 조합으로 이루어진다.

그리고 정압기상에 설치된 운전 환경에 대한 정보들을 바탕으로 안전 밸브에 대한 테이블을 설계하였다.

Table 1. Classification of regulator

정압기 기종	A.F.V	A
	Fisher	F
설 치 위 치	지 상	H
	지 하	G
환상망 구분	환 상 망	1
	개 별	2
Filter 설치 구분	Worker, Monitor Line 개별 설치	E
	Worker, Monitor Line 전단 병렬 설치	P
	Worker, Monitor Line 전단 단독 설치	L

배관

도시가스 공급시스템의 주요요소인 배관은 시간이 경과함에 따라 누설이나 고장과 같은 사고가 발생할 가능성이 커지며 더욱이 사고시에는 커다란 재산상의 손실과 인명 피해도 유발시킬 수 있다. 노후화된 공급시스템의 안전도는 상당 부분이 엔지니어의 기술수준과 보유 데이터의 수준에 의해 좌우되며 그 같은 보유 데이터에 의거하여 엔지니어들은 시스템을 계속 운전할 경우, 발생될 수 있는 위험에 대한 전문적인 판단을 하게 되고 아울러 작업자와 시민들에게 미치게 될 지도 모르는 위험에 대해서도 판단해야 한다.[7]

또한 가스공급시스템은 일반적으로 시민과 차량의 통행이 이루어지는 지표면 아래에 묻히게 되는데 시공된지 오래된 주철관 같은 경우에는 화물차량에 의한 도로하중에 매우 취약하며, 기타 공익시설 매설작업시의 불량한 복원작업에 의해서도 손상되기 쉽다.

그러므로 이러한 사항들을 고려하여 배관을 위한 데이터베이스의 구조를 설계하였다.

3. 정량적 위험성 평가를 위한 속성데이터베이스 구축

도시가스시설의 위험성을 평가하기 위한 첫번째 단계는 도시가스시설이 가지고 있는 잠재위험물(hazards)을 파악하는 단계로부터 시작한다. 본 연구에서는 HAZOP Study를 이용하여 도시가스시설의 잠재위험을 확인·평가하고, 확인된 잠재위험을 야기할 수 있는 시스템상의 손실(failure)이나 조업자의 오류(error)에 대한 평가는 FTA(Fault Tree Analysis)와 ETA(Event Tree Analysis)를 이용하였고, 이를 바탕으로 사고 발생 빈도를 산정하였다. 그리고 파이프 라인의 파열(rupture) 직경에 따른 LPG 누출량을 계산하고 영향(effect)모델과 TNT 당량을 이용한 피해 거리 산출 방법을 이용하여 도시가스시설의 사고결과(consequence)를 산정하였다.

사고결과 산정 방법에 대한 설명[2,4]은 다음과 같다.

LPG 누출사고에 의한 피해 범위(effect zone) 및 인명 피해 규모를 산정하기 위해서는 다음과 같은 모델이 사용된다.

- 누출 모델(Source model)
- 영향 모델(Effect model)

누출 모델(Souce model) 단계는 LPG 누출이 발생할 경우 LPG의 시간당 누출량, 총 누출량 등을 계산하는 단계이며, 영향 모델 단계는 앞단계에서 구한 누출량을 이용하여 LPG 누출에 의한 피해거리(effect distance)와 대피 시간(evacuation time)에 따른 피해 정도(effect model)를 산정하는 단계이다.

영향 모델(Effect model)은 화재, 폭발, 독성물질에 따라 여러 형태가 있으며 또한 폭발과 관련된 영향 모델도 다양하다. 본 연구에서는 가스 폭발에 관련된 영향 모델 중 가장 간단하고 잘 알려진 TNT 당량을 이용한 모델을 사용하였다.

증기구름이 LFL(Lower Flammable Limit)과 UFL(Upper Flammable Limit)값 사이로 희석되어 점화된다면, UVCE(Unconfined Vapor Cloud Explosion) 또는 flash fire가 발생한다. 이러한 형태의 폭발에서 그 폭발을 정량화할 수 있는 식으로서는 UVCE 모델 중 가장 일반적인 것이 다음의 TNT 당량(W) 환산식이다.

$$W = \frac{\eta M E_C}{E_{c,TNT}}$$

폭발 피해거리 계산은 Prohibit function에 의한 과압력과 환산거리(scale distance)와의 관계를 나타낸 표를 이용하여 실제영향거리를 계산하게 된다. 다음식은 실제 영향 거리를 나타낸 관계식이다.

$$R_G = Z_G W^{1/3}$$

이러한 정량적 위험성 평가를 하기 위한 인자들을 Table 2에 정리하였으며, 필요한 인자들 중 지리정보시스템의 속성·공간 데이터베이스에서 참조할 수 있는 인자들을 Table 2에 나타내었다. 실제 정량적 위험성 평가를 위해 속성데이터베이스에 구축되어진 속성 자료의 일부를 Table 3에 나타내었다.

Table 2. Input variable

	입력 방법
사용물질명	GIS의 설비에 대한 속성 테이블
누출설비	user
누출시간	user
대기온도	user
대기압	user
운전압력	GIS의 설비에 대한 속성 테이블
운전온도	GIS의 설비에 대한 속성 테이블
분자량	GIS의 물질에 대한 속성 테이블
운전온도에서의 포화압력	GIS의 물질에 대한 속성 테이블
비열비	GIS의 물질에 대한 속성 테이블
누출공의 직경	user
기체밀도	GIS의 물질에 대한 속성 테이블
액체밀도	GIS의 물질에 대한 속성 테이블
정비점	GIS의 물질에 대한 속성 테이블
증발잠열(운전조건)	GIS의 물질에 대한 속성 테이블
증발잠열(정비점)	GIS의 물질에 대한 속성 테이블
폭발효율인자	GIS의 물질에 대한 속성 테이블
누출물질의 순연소열	GIS의 물질에 대한 속성 테이블

4. 정량적 위험성 평가에 있어서 지리정보시스템의 적용

지리정보시스템은 지형 공간으로부터 공간 정보를 수집 · 저장하여 지도를 전산 처리할 수 있도록 공간 데이터베이스로 구축, 관리하고 있으며 각 시설물에 대한 속성 정보들을 데이터베이스로 구축, 관리하고 있어서 지도상의 각 시설물에 대한 공간 정보와 속성 정보를 연계시켜서 검색하고 관리할 수 있다.

Figure 3과 같이 이러한 지리정보시스템은 각 시설물에 대한 정보를 저장, 관리하고 있기 때문에 정량적 위험성 평가시 필요한 자료를 신속히 제공할 수 있으며, 또한 평가 결과를 도면에 직접 나타낼 수 있어서 사용자의 이해를 도울 수 있다.

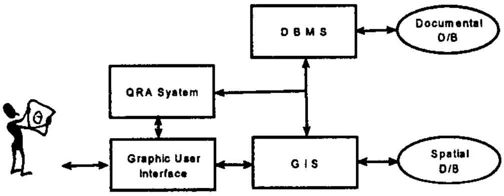

Fig. 3. Application GIS to quantitative risk assessment.

Table 3. Attribute data table for materials

기 호	내 용	단 위	Methane
Name	물질명		Methane
CASNo	CAS Number		000074-82-8
Form	시성식		C1H4
MW	Molecular Weight	amu	16.043
CT	Critical Temperature	K	190.56
CP	Critical Pressure	Pa	4595000
CV	Critical Volume	m^3/Kg	0.006173
AF	Acentric Factor	-	0.0104
PR	Parachor	$(d/m)^{0.25}m^3/mol$	71.999
DM	Dipole Moment	debye	0.00
HV	Enthalpy of Formation (Gas)	J/g	-4637.54
HL	Enthalpy of Formation (Liquid)	J/g	-
AEG	Absolute Entropy (Gas)	J/g.K	11.60630
BP	Boiling Point	K	111.63
GV	Gibbs Free Energy of Formation (Gas)	J/g	-3144.670
GL	Gibbs Free Energy of Formation (Liquid)	J/g	-
CD	Critical Density	Kg/m^3	162.0
HAF	Homomorphic Acetric Factor	-	0.00
MP	Melting Point	K	90.67
AIT	Auto Ignition Temperature	K	868.0
LFL	Lower Flammability Limit	-	5
UFL	Upper Flammability Limit	-	15

5. 사례 연구

배관에 대한 HAZOP STUDY 결과, 타공사에 의한 배관의 손실로 인해 도시가스의 누출이 일어난 경우가 가장 심각한 영향을 보일 것으로 나타났다. 이것을 하나의 시나리오로 정해서 CASE STUDY를 하였다. 사고 시나리오는 다음과 같다.

지하철 공사장에서 천공 작업 중 배관 위치에 대한 정보가 정확하지 않아서 배관이 파손되었다. 이로 인해 직경 3cm의 누출공이 생겼고 배관에 압력저하가 생겨서 도시가스사의 조치가 취해지는데 5분의 시간이 소요되었다. 그런데 이 때 누출된 도시가스가 지하철 공사장 안으로 유입되었을 경우 점화원이 있었다면 폭발이 일어났을 것이다.

위의 사고 시나리오를 바탕으로 지리정보시스템에 적용하면 다음과 같다.

배관의 압력 강하 등 이상여부가 지리정보시스템으로 입력이 되면 모니터상의 도면에 이상 배관의 위치가 표시되고, 이 배관과 배관을 흐르는 물질에 대한 상세한 정보를 Figure 4와 Figure 5와 같이 열람할 수 있고, 사고 배관 주변에 지하철 공사장이 있으므로 사고 배관에 대해서 조사반이 투입됨 과 동시에 공사장에 이러한 사고 사실을 통보함으로써 이차적으로 일어날 사고를 미연에 방지할 수 있다. 또한 Figure 6에서 보는 바와 같이 사고 배관에서 재해 발생시 예상 피해 범위를 산출하여 도면에 표시하여, 예상 피해 범위 내에 있는 주민들의 대피까지 조치할 수 있다.

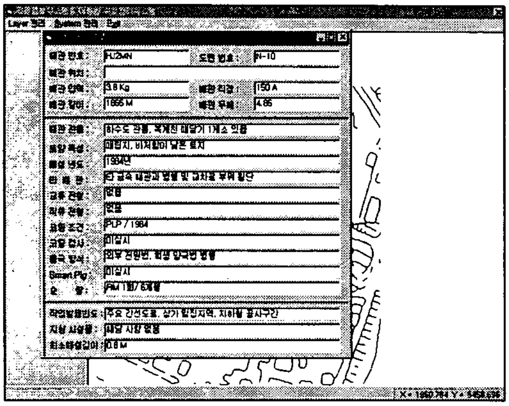

Fig. 4. Information of accident pipeline.

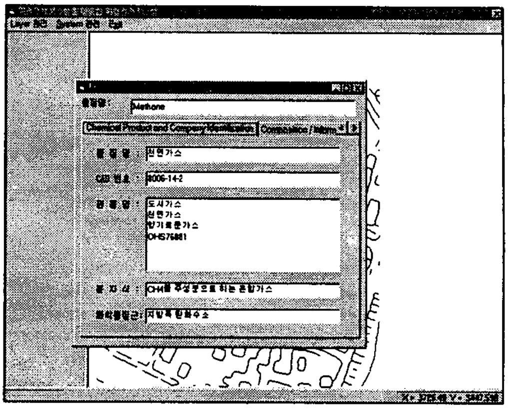

Fig. 5. MSDS about city gas.

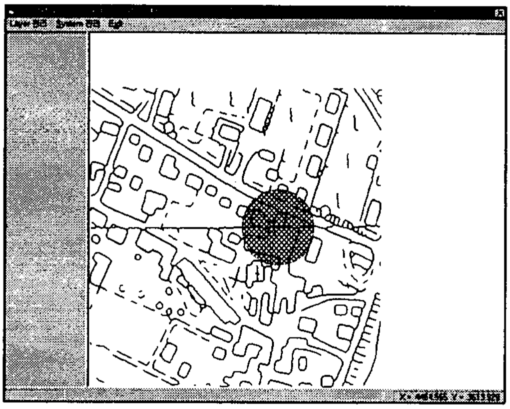

Fig. 6. Outlook the range of a risk.

6. 결 론

본 논문에서는 지리정보가 가지고 있는 특수성을 이용하여 입각하여 도시가스시설의 정량적 위험성 평가를 위한 프로그램을 개발하였다. 그리고 이 프로그램을 실제 도시가스시설에 적용함으로써 유용성을 검토해 보았고 그 결과는 다음과 같다.

1. 지리정보시스템의 사용자는 도시가스시설에 국한된 정보만 얻을 수 있는 것이 아니라 주변에 있는 타시설물의 정보와 그 시설물들에서 취급하는 물질에 대한 정보, 그리고 인근 공사장에 대한 정보까지도 검색할 수 있었다.

2. 사용자마다 시스템에 접근할 수 있는 권한을 따로 부여하고, 시스템 관리자의 권한을 가지고 있는 사용자만이 정보를 수정, 추가, 삭제할 수 있게 하여 정보의 무결성을 유지시켰다.
3. 사고 발생시에는 사고 설비에 대한 자세한 정보를 검색할 수 있어서 그 설비에 적합한 대책을 마련하기에 편리하였다. 또한 사고의 예상 피해 범위를 도면에 직접 표시함으로써 사용자의 이해를 도울 수 있었다.
4. 새로운 설비를 증설하려 할 때, 그 설비에서 사고 발생시 최소의 피해를 줄 수 있는 경제성, 안전성을 고려한 최적의 후보지를 선택하는데 도움을 주었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(과제번호 : 96-0602-01-01-3)지원과 포항공과대학교 공정산업의 지능자동화연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

1. ESRI, "ARC/INFO Data Management", Environment System Research Institute.
2. Center for Chemial Process Safety, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", AIChE., New York (1989).
3. ESRI, “Introduction to ARC/INFO”, Environment System Research Institute (1994).
4. J. R. Taylor, "Risk Analysis for Process Plant, Pipelines and Transport" (1994).
5. O. Halustchak, "Proposed Spatial Data Handling Extensions to SQL", Towards SQL Database Language Extensions for Geographic Information Systems, Silicon Press, pp 69 (1994).
6. ESRI, "Understanding GIS ; The ARC/INFO Method", Environment System Research Institute (1995).
7. 서울대학교 자동화시스템공동연구소, “가스안전실태분석 및 발전방안연구; 도시가스시설 분야”, 한국가스안전공사 (1996).
8. 고재욱, 노삼규, 김진곤, “석유화학단지의 위험성 평가 및 주변지역의 토지 이용 안전계획”, 한국과학재단 (1993).
9. “서울시 지리정보시스템 구축에 관한 연구”, 서울시정개발연구원 (1993).
10. “지리정보시스템 활용기법”, 과학기술원 (1993).