

(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

|  |                                     |  |
|--|-------------------------------------|--|
| (51) Int. Cl. <sup>7</sup><br>G06F 19/00 | (45) 공고일자<br>(11) 등록번호<br>(24) 등록일자 | 2005년10월27일<br>10-0524142<br>2005년10월19일 |
|--|-------------------------------------|--|

|                        |                                |                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| (21) 출원번호<br>(22) 출원일자 | 10-2003-0034484<br>2003년05월29일 | (65) 공개번호<br>(43) 공개일자 | 10-2004-0103537<br>2004년12월09일 |
|------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|

(73) 특허권자                    한국가스안전공사  
                                      경기 시흥시 대야동 332-1

                                      한국산업기술대학교  
                                      경기 시흥시 정왕동 시화공단3가 101호

(72) 발명자                        조영도  
                                      경기도시흥시은행동538-2성원아파트102동404호

안범중  
서울특별시강남구압구정동현대아파트83-201

(74) 대리인                        남상선

심사관 : 문영재

(54) 도시 가스 배관의 안전 관리 방법

요약

본 발명은 도심지에 그물망으로 구성되어 있는 가스배관이나, 천연가스를 장거리 수송하기 위한 배관의 정량적인 위험성을 지리정보시스템(GIS)에서 간략한 해석방법을 추출하고, 이를 기반으로 한 안전관리방법에 관한 것이다. 가스 배관의 단위 길이에서 사고가 발생할 가능성을 기존의 가스 사고 자료에 근거하여 예측하고, 그 사고로 인하여 인적·물적 손실정도를 GIS 상에서 도식적으로 평가를 할 수 있는 방법을 구현함으로써 복잡한 반복적인 수많은 계산 횟수를 획기적으로 줄이고 GIS와 보다 용이하게 연동시킬 수 있게 하였을 뿐만 아니라, 안전 관리의 투자에 대한 위험 감소 정도를 분석할 수 있게 하고, 정량적으로 위험수준을 평가할 수 있게 하여 안전관리를 위험에 기반을 두고 수행할 수 있게 구현한 것이 본 발명의 특징이다.

대표도

도 4

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 배관의 파손원인과 결함크기에 따른 파손빈도의 일 예를 나타낸 표이다;

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 개인적 위험 평가 방법을 설명하기 위한 기능 블록도이다;

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 위험 배관의 선별 관리 방법을 설명하기 위한 기능 블록도이다; 및

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 사회적/가치적 위험 평가 방법을 설명하기 위한 기능 블록도이다.

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 도시 가스 배관의 안전을 관리하는 방법에 관한 것으로 특히, 도시 가스 배관을 따라 개인적인 위험 또는 사회적/재산적인 위험을 정량적으로 평가 및 분석하고, 그 결과를 기초로 가스 배관의 가스 배관의 안전을 관리하는 방법에 관한 것이다.

도시가스배관의 손상에 따른 가스 누출로 인한 사고는 매우 큰 인명피해를 동반할 수 있다. 이러한 인명 피해를 예방하기 위해서는 사전에 배관의 위험성을 정량적으로 분석하고, 허용 가능한 수준인지 검토하여, 만약 허용범위 보다 높은 위험이 있는 배관은 위험 저감을 위한 안전 관리가 필요하다. 종래 이러한 안전 관리 방법은 구미에서 개발된 것으로 배관의 길이에 따라 사고발생 위치를 변경시키며 화재 및 폭발의 피해 해석에 대한 수많은 반복적인 계산을 통하여 위험성을 정량적으로 분석하여 관리하는 방법이 있다. 그러나 도시 가스 배관의 전 구간을 위와 같은 수많은 계산을 통하여 정량적으로 위험을 평가하는 것은 매우 어렵기 때문에 일부 한정된 구간에 대하여 위험을 평가하고 관리하는 형식을 취하고 있다. 정량적 위험 평가 방법에는 크게 두 가지 요소로 구성되어 있다. 즉 도시 가스 배관에서 사고가 일어날 수 있는 가능성을 나타내는 확률과 만약 사고가 발생하였을 때 인근에 있는 사람이나 건물에 얼마의 피해가 발생하는가를 나타내는 피해 정도이다. 통상 배관에서 일어날 수 있는 사고의 가능성은 기존의 사고 경험으로부터 연간 사고 발생 확률을 도출하고, 사고 시나리오에 따라 인근에 사람이 거주하는 밀도를 고려한 피해 정도를 계산하여 위험 정도를 산출하게 된다. 도시 가스 배관의 경우 배관을 따라 어떤 장소에서도 사고가 발생할 수 있으므로 많은 반복적인 계산을 수행하여야 한다. 즉 배관의 길이를 따라 계산된 결과로 나타나는 위험에 영향을 주지 않을 정도로 아주 작은 배관으로 나누어 사고가 일어날 발생 확률과 사고 발생에 따른 가스 누출, 화재, 폭발 등의 여러 가지 사고 시나리오를 가정하여 피해 정도 계산을 수행하여야 한다. 또한 배관의 길이에 따라 피해 정도 해석을 위하여 주변의 인구 밀도, 건물, 배관과 이격 거리 등의 주변 상황에 대한 자료가 필요하게 되는데, 이 때 모든 자료를 입력하여 독립적인 데이터베이스를 구축하는 것보다 현재 정보통신부에서 주관하고 있는 지리 정보 시스템과 연계하여 이용하는 것이 보다 효율적이다. 지리정보시스템(GIS)은 지리적으로 참조 가능한 모든 형태의 정보를 효과적으로 수집, 저장, 분석, 표현할 수 있도록 설계된 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 지리적 자료 그리고 인적자원의 통합정보체계를 나타낸 시스템이다. 현재 국내의 일부 도시 가스 회사에서 GIS와 연계하여 배관의 관경, 압력, 매설 연도, 지나가는 경로등의 수많은 자료를 관리하고 있으므로 이와 연계하여 합리적인 위험 평가를 수행하고, 위험에 근거로 한 도시가스배관을 관리함으로써 안전 관리의 투자 효과를 극대화 할 필요가 있다.

그러나, 종래에는 도시 가스 배관을 미소 부분으로 나누어 각 부분이 임의의 위치에 미치는 영향을 합하는 형식으로 매우 계산량이 많을 뿐만 아니라 지리정보시스템과 연동하여 계산한 결과 특정한 위험수준 이상이 되는 경우 위험을 저감시키기 위한 방안을 얻기 위하여 배관 관리 조건의 변화에 따라 반복적으로 매우 많은 횟수를 계산하여야 함으로 비효율적이다.

통상 산업 시설에서 위험을 기반으로 한 시설의 안전 관리를 수행하기 위하여 산업 시설의 위험평가 방법은 지금까지 원자력 산업과 석유 화학 산업에서 주로 적용되는 것으로 위험을 제공하는 근원을 몇 개의 특정 지점들로 한정할 수 있는 사고 시나리오에 대한 개인적 위험과 사회적/경제적 위험을 분석하는 방법이다. 그러나 배관 망의 경우 상기에서 언급하였듯이 선상으로 형성된 위험원을 특정 지점으로 전환하기 위하여 수많은 짧은 배관으로 나누어 고려함으로써 상기와 동일한 방법으로 분석이 가능하게 되며 이러한 방법을 현재 구미에서 활용하고 있다.

다시 말하면, 상술한 기존의 위험성 계산 방법은 배관 망으로부터 떨어진 특정 지점에 있는 사람이 배관의 사고로 인하여 사망할 수 있는 확률을 나타내는 개인적 위험성 계산에 있어서, 임의의 배관 길이 내에서의 사고가 특정 지점에 있는 사람의 사망에 영향을 미치는 상호 작용 배관 길이를 산출하고, 상호 작용 배관 길이를 짧게 나누어 각각의 짧은 구간에서 사고가 발생하였을 때 특정 지점에 있는 사람의 사망 확률을 모두 계산하여 더하는 방식이다.

그러나 이러한 수행 방법은 사회적/경제적 위험을 분석하기 위하여 배관 주변의 건물, 인구 등의 정보가 필요하게 되므로 현재 정부차원에서 구축되어 있는 지리정보시스템(GIS)을 활용하고 여기에 배관의 운전 압력, 배관경 등의 자료와 연계하여 배관 망을 구성하고 있는 전체에 대하여 위험 평가를 수행할 경우, 매우 계산 횟수가 매우 많을 뿐만 아니라 이로 인하여 계산 시간이 많이 소요되는 등의 단점을 내포하고 있는 매우 비효율적 방법이다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명의 한 목적은 가스 배관의 단위 길이에서 사고가 발생할 가능성을 기존의 가스 사고 자료에 근거하여 예측하고, 그 사고로 인하여 인적 또는/및 물적 손실 정도를 평가할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적은 가스 배관의 위험에 대한 인적 및/또는 물적 손실의 평가 정도에 따라 도시 가스 배관의 안전을 관리할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 제1 관점에 따른 개인적 위험성 평가 방법은 일 연간 배관의 사고로부터 특정 지점에서 사람이 사망할 수 있는 확률을 나타내는 지표이다. 상기 사망 확률은 치명적 손상을 입힐 수 있는 배관의 길이와 가스 배관의 단위 길이에서 사고 발생 확률 곱으로 구할 수 있다. 상기 치명적 손상을 입힐 수 있는 배관의 길이는 가스 사고가 발생하게 되면 배관으로부터 떨어진 특정 위치에 있는 사람이 치명적인 손상을 입힐 수 있는 총 배관의 가상적인 길이를 의미하며, 이는 특정 지점에서 임의의 구간으로 나눈 인명 손상 확률을 가지는 영역으로 나누고 각각의 영역에 속하는 배관의 길이와 각각의 영역에서의 인명 손상 확률 대표값을 곱한 값을 더하여 구할 수 있다. 이와 같이 수행함으로써 배관을 따라 수많은 짧은 배관으로 나누어 개인적 위험을 분석하는 방법에 비하여 수행하여야 할 계산 횟수를 획기적으로 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 GIS 상에서 직접 산출할 수 있는 장점이 있다.

본 발명의 제2 관점에 따른 사회적/가치적 위험 평가 방법은 한번의 사고로 인한 인명/재산 피해가 임의의 인원수/피해액 이상이 되는 사고가 발생할 수 있는 누적확률을 나타낸다. 도시가스배관 상의 임의의 위치에서 사고 발생에 따른 인명 및 재산 피해는 상기 개인적 위험을 분석하는 방법과 비슷하게 임의의 인명손상 또는 재산피해확률 값으로 구간을 나누고, 각각의 영역에 속하는 인원수 또는 건물 등의 가치와 각각의 영역에서의 피해확률 대표값을 곱한 값을 더하여 구할 수 있다. 이와 같은 방법으로 배관을 따라 인명피해를 예측한 값이 특정 값, 일 예를 들면 5명 이상 또는 일 천 만원이 되는 구간에 대하여 상세히 배관의 과손확률을 도출하고 사회적 위험을 정밀히 분석함으로써 계산 횟수를 감소시킬 수 있다.

본 발명의 제3 관점에 따른 가스 배관 안전 관리 방법은 상술한 바와 같이 구한 개인적 위험이나 사회적/가치적 위험이 특정 수치 이상인 경우 배관 관리 조건을 변경하거나 주변환경을 변화시킴으로써 적정수준으로 배관 안전 관리를 할 수 있다. 즉 배관의 위험 평가에 있어서 임의의 피해이상이 되는 위험 구간을 선별하고, 피해 확률에 따른 영역을 분할하여 개인적 위험이나 사회적/가치적 위험을 평가함으로써 기존의 방법보다 계산 횟수를 줄일 수 있도록 구성하고 GIS와 효과적으로 연동하여 안전 관리를 할 수 있는 시스템이 본 발명의 특징이다.

### 발명의 구성 및 작용

정량적 위험 평가에 기반을 둔 안전 관리 방법은 여러 가지 형태의 사고로부터 개인적 위험과 사회적/가치적 위험이라는 지수를 가능한 경제적으로 낮추는 것이다. 이러한 위험은 사고 발생 빈도와 사고 영향의 함수로 나타 낼 수 있다.

도시 가스 배관에서 일어날 수 있는 가상의 사고를 가정하여 영향 평가 해석 모듈(1)에서 사고 발생에 따른 피해 정도를 산출하고, 배관 손상 빈도 예측 모듈(2)에서 배관 시공, 배관 관리, 주변 환경 등을 고려하여 배관에서 사고가 일어날 수 있는 확률을 예측하여, 개인적 위험 계산 모듈(9)에서 배관 주변 임의의 위치에서 사람이 1년 동안 거주하고 있을 경우에 사망할 수 있는 확률을 계산하거나, 사회적/가치적 위험 계산 모듈(18)에서 가스 배관의 사고로 임의의 인원수 이상 사망할 수 있는 누적 확률 또는 임의의 가치 이상 손실을 초래할 수 있는 누적 확률을 구한다.

여기서, 본 발명의 배관 손상 빈도 예측 모듈(2)은 주변 환경과 운전 조건 등을 고려하여 배관의 손상이 발생할 수 있는 빈도를 예측한다. 유럽의 가스 배관에서 사고가 발생한 자료를 근거로 도출한 배관의 결함 크기에 따른 사고 발생 빈도를 도1에 나타낸 바와 같다(European Gas Pipeline Incident Data Group, Gas Pipeline Incidents 4th Report 1970-1998, 1999). 이와 같은 배관손상빈도에 있어서 타공사에 의한 손상 빈도는 순찰 정도, 배관의 매설깊이, 배관의 두께, 배관의 보호 조치, One-call 시스템의 적절한 가동등에 영향을 받고, 건설에 의한 손상빈도는 배관의 품질 관리, 용접 기술자의 능력, 비파괴 검사등에 영향을 받고, 부식에 의한 손상 빈도는 배관의 피복 손상 정도, 배관 피복체의 종류, 방식 방법, 방식

상태, 타 시설물의 간섭, 토양의 상태등에 영향을 받고, 지반 움직임에 의한 손상 빈도는 도로 횡단, 토양의 다짐도, 토질, 지진 발생 가능성등에 의해 영향을 받으므로, 이와 같은 변수들을 고려하여 빈도를 구하거나 일부 주요 변수를 활용하여 빈도를 구한다.

일 예를 들면, 상기 배관 손상 원인 중에서 위험에 가장 크게 기여하는 요소가 타공사에 의한 손상이므로 이에 대하여 자세히 분석하여 사고빈도를 계산하고 나머지 원인에 대해서는 도 1에 도시된 자료를 활용하여 사고빈도를 예측할 수 있다. 다시 말하면, 타공사에 의한 사고 빈도는 배관직경, 매설깊이, 배관두께, 주변 인구밀도, 그리고 사고 방지 조치등에 크게 영향을 받으며, 이들의 영향을 고려한 사고빈도 계산은 다음 식으로부터 예측 할 수 있다.

|              |   |               |   |               |   |               |   |               |   |               |
|--------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|
| 타공사에 의한 사고빈도 | = | 배관직경에 따른 사고빈도 | · | 매설깊이에 의한 보정계수 | · | 배관두께에 의한 보정계수 | · | 인구밀도에 의한 보정계수 | · | 방지조치에 의한 보정계수 |
|--------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|---|---------------|

상기 식의 배관 직경에 따른 사고 빈도를 영국 가스 공사의 사고 자료를 기반으로 한 다음의 식으로부터 구할 수 있다(M. John, B Chris, P. Andrew, T. Charlotte, An Assessment of Measures in Use for Gas Pipeline to Mitigate against Damage Caused by Third Party Activity, Printed and Published by the Health and Safety Executive, C1 10/01, 2001).

배관직경에 따른 중결함 빈도 = EXP(-4.18(배관직경) - 2.18562)/1000

배관직경에 따른 중결함 빈도 = EXP(-4.12(배관직경) - 2.02841)/1000

배관직경에 따른 대결함 빈도 = EXP(-4.05(배관직경) - 2.13441)/1000

상기 결함 빈도에 대한 단위는 회/yr.km로 1킬로미터에서 연간 가스사고가 일어날 수 있는 횟수를 나타낸다. 상기 매설 깊이에 의한 보정 계수는 0.91미터 이하의 매설 깊이에 대해서는 2.54, 0.91미터에서 1.22미터 이하의 매설깊이에 대해서는 0.78, 1.22미터 이상의 매설 깊이에 대해서는 0.54를 사용 할 수 있다. 상기 배관의 두께에 대한 보정계수는 법에 규정하고 있는 최소두께이거나 배관직경이 0.9미터 이상인 경우에는 1, 배관두께가 6.4mm에서 7.9mm 사이에 있고 배관직경에 0.15미터와 0.45미터 사이에 있을 경우에는 0.4, 그리고 배관의 두께가 법에서 규정하고 있는 최소의 두께보다 큰 경우에는 0.2를 사용 할 수 있다. 상기 인구 밀도에 의한 보정 계수는 매우 밀집한 도시지역의 경우에는 18.77, 일반 도시 지역의 경우에는 3.16, 그리고 시골 지역의 경우에는 0.81을 사용할 수 있다. 상기 방지 조치에 의한 보정 계수는 라인 마크만 사용하는 경우에는 1.03 그리고 다른 방지조치를 같이 사용하고 있는 경우에는 0.91을 사용할 수 있다. 일 실시 예를 들면, 도심 인구 밀집 지역의 1000mm 직경의 배관이 1.2미터 깊이에 매설되어 있고 라인 마크만 설치되어 있을 경우 대결함의 발생 빈도는 아래와 같이 구할 수 있다.

|              |   |         |   |      |   |   |   |       |   |      |   |          |
|--------------|---|---------|---|------|---|---|---|-------|---|------|---|----------|
| 타공사에 의한 사고빈도 | = | 2.06E-6 | · | 0.78 | · | 1 | · | 18.77 | · | 1.03 | = | 3.106E-5 |
|--------------|---|---------|---|------|---|---|---|-------|---|------|---|----------|

따라서 배관 손상 발생 빈도는 건설에 의한 손상 빈도(1.1E-4 x 0.06), 부식에 의한 손상빈도(8.1E-5 x 0.01), 지반 움직임에 의한 손상빈도(3.6E-5 x 0.4), 그리고 기타(5.4E-5 x 0.01)를 총 합한 값으로 5.3x10<sup>-5</sup>가 된다. 다시 말하면, 1000킬로 미터당 연간 가스 사고가 발생 할 수 있는 횟수가 0.053건이 된다는 것을 의미한다.

상기와 동일한 방법으로 중결함의 발생빈도를 예측하면 8.7x10<sup>-5</sup>이 된다. 상기 계산방법은 배관 손상 빈도 예측 모듈의 일 실시 예를 나타낸 것이다.

본 발명의 영향 평가 해석 모듈(1)은 사고 발생에 따른 임의의 위치에서 사망할 가능성, 사망자 수나 가치적 손실을 산출한다. 일 예를 들어 도 2에서 볼 수 있듯이 개인적 위험성평가에 있어서는 가스누출속도 계산모듈(3)이 도시 가스 배관의 위치에 따라 사고 발생에 대하여 가스 누출 속도를 계산하고, 인명 피해 확률에 따른 거리 계산 모듈(4)은 상기 가스 누출 속도 계산 모듈(3)에서 계산한 가스 누출 속도를 이용하여 인명 피해 확률 예를 들면, 100% 치사율, 50% 치사율, 1% 치사

울에 따른 거리를 계산하고, 피해 확률에 따른 영역 분할 모듈(5)에서 배관의 주변 관심 있는 특정 지점에서 상기 인명 피해 확률에 따른 거리 계산 모듈(4)에서 산출한 각각의 치사율에 따른 거리를 반경으로 하는 동심원으로 영역을 분할하고, 영역에 있는 배관길이 계산 모듈(6)에서 상기 분할된 영역에 속하여 있는 배관의 길이를 구하고, 인명 사망 확률 대표값 저장 모듈(7)에서 상기 분할된 각각의 영역에서 사고 발생에 따른 사망할 가능성의 대표값을 저장하고, 치명적 손상을 입히는 배관 길이 계산 모듈(8)에서 상기 영역에 있는 배관 길이 계산 모듈(6)과 인명 사망 확률 대표값 저장 모듈(7)에서 구한 각각의 영역 배관 길이와 대표값을 곱한 값을 모두 더하여 배관의 주변 관심 있는 특정 지점에 치명적 손상을 입힐 수 있는 배관의 총 길이를 구하는 형식으로 구성되어 있다. 상기와 같이 구한 배관 길이 내에서 사고가 발생하는 경우 관심 위치에 있는 사람의 사망 확률은 100%이다. 또한 일 예를 들어 도 4에서 볼 수 있듯이 사회적/가치적 위험 평가에서는 가스 누출 속도 계산 모듈(3)이 도시 가스 배관의 위치에 따라 가스 누출 속도를 계산하고, 피해 확률에 따른 거리 계산 모듈(13)은 상기 가스 누출 속도 계산 모듈(3)에서 계산한 가스 누출 속도를 이용하여 인명 피해 확률, 예를 들면 100% 치사율, 50% 치사율, 1% 치사율에 따른 거리를 계산하고 또는 건물의 파손 확률에 따른 거리를 계산하고, 피해확률에 따른 영역 분할모듈(5)에서 가장한 배관의 파손지점에서 상기 피해확률에 따른 거리계산모듈(13)에서 각각의 치사율에 따른 거리를 반경으로 하는 동심원으로 영역을 분할하거나 각각의 건물파손율에 따른 거리를 반경으로 하는 동심원으로 영역을 분할하고, 영역에 있는 피해대상의 양 계산모듈(14)에서 상기 분할된 영역에 속하여 있는 인원의 수 또는 건물의 가치를 구하고, 피해 확률 대표값 저장모듈(15)에서 상기 분할된 각각의 영역에서 사고발생에 따른 사망할 가능성의 대표값을 저장하거나 건물의 파손정도를 대표할 수 있는 값을 저장하고, 총 피해정도 계산모듈(16)에서 상기 영역에 있는 피해대상의 양 계산모듈(14)과 피해확률 대표값 저장모듈(15)에서 구한 각각의 사람 수 또는 건물의 가치와 사망확률 또는 건물피해확률을 곱한 값을 모두 더하여 배관의 임의의 관심 있는 지점에서 사고가 발생하였을 때 총 사망자수와 물적 피해정도를 출할 수 있는 형식으로 구성되어 있다. 일 실시 예를 들면, 상기 배관손상 빈도예측에 대한 실시 예와 동일한 조건이고, 가스공급 위치는 도심지로부터 5 킬로미터 떨어져 있고, 공급압력이 50 기압이고, 배관으로부터 50미터 떨어진 위치에서 개인적 위험을 구하면 다음과 같이 구할 수 있다. 가스 누출 속도 계산 모듈(3)에서 최근 개발된 아래 수식을 이용하여 가스 누출 속도를 계산할 수 있다(Y.-D. Jo, B. J. Ahn, A Simple Model for the Release Rate of Hazardous Gas from a Hole on High-Pressure Pipelines, Journal of Hazardous Materials, 97, 2003, p31).

$$Q = \frac{\pi d^2 \alpha}{4} \sqrt{\gamma \rho P \left[ \frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4\alpha^2 f L}{d} \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{2}{\gamma - 1}}}}$$

여기서  $d$ 는 가스배관의 직경,  $\alpha$ 는 배관에 발생한 구멍의 면적과 배관의 단면적과의 비,  $\gamma$ 는 가스의 비열비,  $\rho$ 는 가스의 밀도,  $P$ 는 배관의 운전압력,  $f$ 는 Fanning의 마찰계수,  $L$ 은 배관의 길이를 나타낸다.

상기의 식을 이용하여 대결함(배관이 완전히 파손되는 경우) 및 중결함(배관의 50%가 파손되는 경우)에 대한 누출속도를 구하면 각각 1.5 ton/s와 1.1 ton/s이 되고, 소결함(배관에 2cm 구멍이 발생하는 경우)의 경우 2 kg/s로 중결함과 대결함에 비하여 매우 작은 값이므로 위험평가에서 무시할 수 있다.

도시가스배관의 사고피해는 가스누출에 의한 화재사고이므로 화재사고피해 분석으로 인명피해 확률에 따른 거리계산모듈(4)에서 예를 들어 배관의 사고에 따라 1%, 50%, 99%치사율을 나타내는 거리를 다음 수식으로 구할 수 있다(Y.-D. Jo, B.J. Ahn, Analysis of Hazard Area Associated with High-Pressure Natural-Gas Pipeline, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 15 (2002), p179).

$$r(1\%치사율) = \sqrt{60.3Q}$$

$$r(50\%치사율) = \sqrt{30.4Q}$$

$$r(99\%치사율) = \sqrt{15.3Q}$$

상기의 식을 이용하여 대결함의 경우 각각의 치사율을 나타내는 반경이 300미터, 213미터, 151미터이고, 중결함의 경우 257미터, 183미터, 130미터이다. 피해확률에 따른 영역 분할모듈(5)에서 지리정보 시스템 상에서 치사율 100%-99%, 99%-50%, 50%-1%의 영역으로 분할하고 영역에 있는 배관길이 계산모듈(6)에서 각 영역에 있는 배관의 길이를 구할 수 있다. 만약 배관이 곡관이 아니고 거의 직관이면 아래 수식으로부터 간략히 구할 수 있다.

$$L(치사율100\% \sim 99\%) = 2\sqrt{QRe[\sqrt{15.3-h^2/Q}]}$$

$$L(\text{치사율}99\% \sim 50\%) = 2\sqrt{QRe[\sqrt{30.4-h^2/Q} - \sqrt{15.3-h^2/Q}]}$$

$$L(\text{치사율}50\% \sim 1\%) = 2\sqrt{QRe[\sqrt{60.3-h^2/Q} - \sqrt{30.4-h^2/Q}]}$$

여기서  $h$ 는 배관과 특정지점까지의 이격거리를 나타내고  $Re$ 는 중괄호 내부의 복소수에서 실수부를 나타내는 함수이다.

상기 수식을 이용하여 각각의 영역에 속하는 배관의 길이는 대결함의 경우 285미터, 129미터, 178미터이고, 중결함의 경우 240미터, 122미터, 142미터이다. 인명사망률 대표값 계산모듈(7)에서 각각의 영역에 대한 대표값을 1, 0.816, 0.156으로 두고, 치명적 손상을 입히는 배관길이 계산모듈(8)에서 배관길이를 아래 수식으로 구할 수 있다.

$$FL = L(\text{치사율}100\% \sim 99\%) + 0.86L(\text{치사율}99\% \sim 50\%) + 0.156L(\text{치사율}50\% \sim 1\%)$$

상기의 수식을 이용하여 치명적 손상을 입히는 배관길이를 구하면, 대결함의 경우 418미터, 중결함의 경우 362미터이다. 따라서 개인적 위험 계산모듈(9)에서 배관의 손상 빈도를 곱하여 대결함과 중결함에 의한 사망확률을 더하면  $4.5 \times 10^{-2}$ 이다. 이는 석유화학공장의 사고, 자동차사고 등에 비하여 상당히 높은 위험을 보이고 있으므로 상기 일 실시 예로 들은 배관은 위험성 있는 배관으로 특별한 관리가 필요하다.

본 발명의 위험성이 있는 배관 관리모듈(12)은 일 예를 들어 도 3에서 볼 수 있듯이 배관분할모듈(10)에서 일정한 간격으로 배관을 분할하고, 영향평가 해석 모듈(1)에서는 배관 분할 모듈(10)에 의하여 분할된 배관에서 사고 발생할 경우 총 피해정도를 산출하거나 상기 실시 예와 같이 개인적 위험에 대한 치명적 손상을 입히는 배관의 길이를 계산하고, 위험성 판단 모듈(11)에서는 영향 평가 해석 모듈(1)에서 평가한 총 피해정도나 치명적 손상을 입히는 배관의 길이가 일정한 값 이상이 되는지 판단하고, 위험성이 있는 배관 관리 모듈(12)은 위험성 판단 모듈(11)에서 일정한 피해이상이 되거나 치명적 손상을 입히는 배관의 길이가 일정 길이 이상 되는 배관을 기억하고, 이 배관에 대하여 도 2 및 도 4에 나타낸 바와 같이, 개인적 위험 평가 및 사회적/가치적 위험을 평가하고 경제적인 위험 저감 방안을 안전 관리 변수들의 민감도 분석 모듈(19)를 통하여 영향력이 큰 변수들을 추출하고 경제성 분석 모듈(20)에서 이들 변수에 대한 경제성을 분석하여 최적의 위험 관리 방법을 제시하는 관리 방안 제시 모듈(21)로 구성된 것을 특징으로 한다. 상기 민감도는 배관의 두께, 매설 깊이, 운전 압력, 배관 직경등이 변경될 경우 위험이 어떻게 변경되는지를 분석하는 것을 말한다. 도 4의 사회적/가치적 위험계산 절차는 상기 개인적 위험평가와 동일한 방법으로 수행 할 수 있다.

상기 설명한 절차와 같이 도시 가스 배관의 위험을 정량적으로 분석하는 방법은 기존 방법 보다 계산 횟수를 줄여 간략히 계산할 수 있게 함으로서 현재 지리 정보 시스템과 연동하여 위험을 빠르게 분석할 수 있고 특정위험 수준 이상이 될 경우 여러 가지 변수의 영향을 고려하여 다시 위험을 분석할 수 있게 함으로서 위험한 도시가스배관을 보다 과학적으로 관리하는 시스템을 구축할 수 있다.

### 발명의 효과

본 발명에서는 계산 횟수를 줄여 빠른 시간 내에 정량적 위험평가를 수행 할 수 있도록 피해확률에 따른 영역을 분할하고, 영역에서의 대표값을 이용하여 사고발생에 의한 영향평가를 구하고, 기존의 사고발생 자료를 근거로 하여 배관의 손상 빈도를 예측할 수 있게 구성함으로써 보다 계산을 쉽게 하였을 뿐만 아니라, 컴퓨터 없이 일반 계산기를 이용하여서도 정량적 위험을 예측할 수 있다. 이러한 기술을 통하여 현재 지리정보시스템과 연계하여 보다 효과적이고 과학적으로 도시가스배관으로부터 위험을 저감시킬 수 있다. 또한 도시가스 회사에서 도시가스배관의 안전을 위하여 투자비용이 상존하는 배관의 위험을 저감시키는데 얼마나 효과가 있는지를 검토할 수 있으며, 안전투자의사 결정에 이용 할 수 있다.

본 발명에 의하면, 가스 배관의 단위 길이에서 사고가 발생할 가능성을 기존의 가스 사고 자료에 근거하여 예측하고, 그 사고로 인하여 인적·물적 손실정도를 GIS 상에서 도식적으로 평가를 할 수 있는 도시 가스 배관의 위험을 정량적으로 분석하여 안전 관리하는 방법을 실현할 수 있게 된다.

본 발명을 상기 실시 예에 의해 구체적으로 설명하였지만, 본 발명은 이에 의해 제한되는 것은 아니고, 당업자의 통상적인 지식의 범위 내에서 그 변형이나 개량이 가능하다.

### (57) 청구의 범위

### 청구항 1.

- a) 적어도 하나 이상의 배관 손상 원인을 기초로 도시 가스 배관이 손상될 가능성에 대한 확률을 연산하는 단계;
- b) 가스의 누출 속도 및 인명 피해 확률을 기초로 영역을 구분하고, 상기 구분된 각 영역들내에서의 배관 길이를 연산하여, 상기 분할된 각각의 영역에서 사고 발생에 따른 사망할 가능성의 대표값을 정의하고, 상기 각 영역에서의 배관 길이 및 상기 대표 값을 기초로 배관 주변의 소정 지점에 치명적 손상을 입힐 수 있는 배관의 총 길이를 연산하는 단계; 및
- c) 단계 a)에서 연산된 가스 배관 손상 가능 확률, 및 단계 b)에 의해 연산된 치명적 손상을 입힐 수 있는 배관의 총 길이를 기초로 위험 정도를 연산하는 단계로 구성되는 도시 가스 배관의 정량적 위험 분석 방법.

### 청구항 2.

- a) 적어도 하나 이상의 배관 손상 원인을 기초로 도시 가스 배관이 손상될 가능성에 대한 확률을 연산하는 단계;
- b) 가스의 누출 속도 및 인명 피해 확률을 기초로 영역을 구분하고, 상기 구분된 각 영역들내에서의 사람 수 또는 건물등의 피해대상 양을 연산하여, 상기 분할된 각각의 영역에서 사고 발생에 따른 피해 가능성의 대표값을 정의하고, 상기 각 영역에서의 피해 대상 량 및 상기 대표 값을 기초로 배관에서 사고로부터 총 피해 정도를 연산하는 단계; 및
- c) 단계 a)에서 연산된 가스 배관 손상 가능 확률, 및 단계 b)에 의해 사고로부터 입힐 수 있는 총 피해 정도를 기초로 위험 정도를 연산하는 단계로 구성되는 도시 가스 배관의 정량적 위험 분석 방법.

### 청구항 3.

삭제

### 청구항 4.

제 2 항에 있어서, 상기 배관 손상 빈도 예측은 주변 환경 및 운전 조건을 고려하여 예측하는 것을 특징으로 하는 도시 가스 배관의 안전 관리 방법.

### 청구항 5.

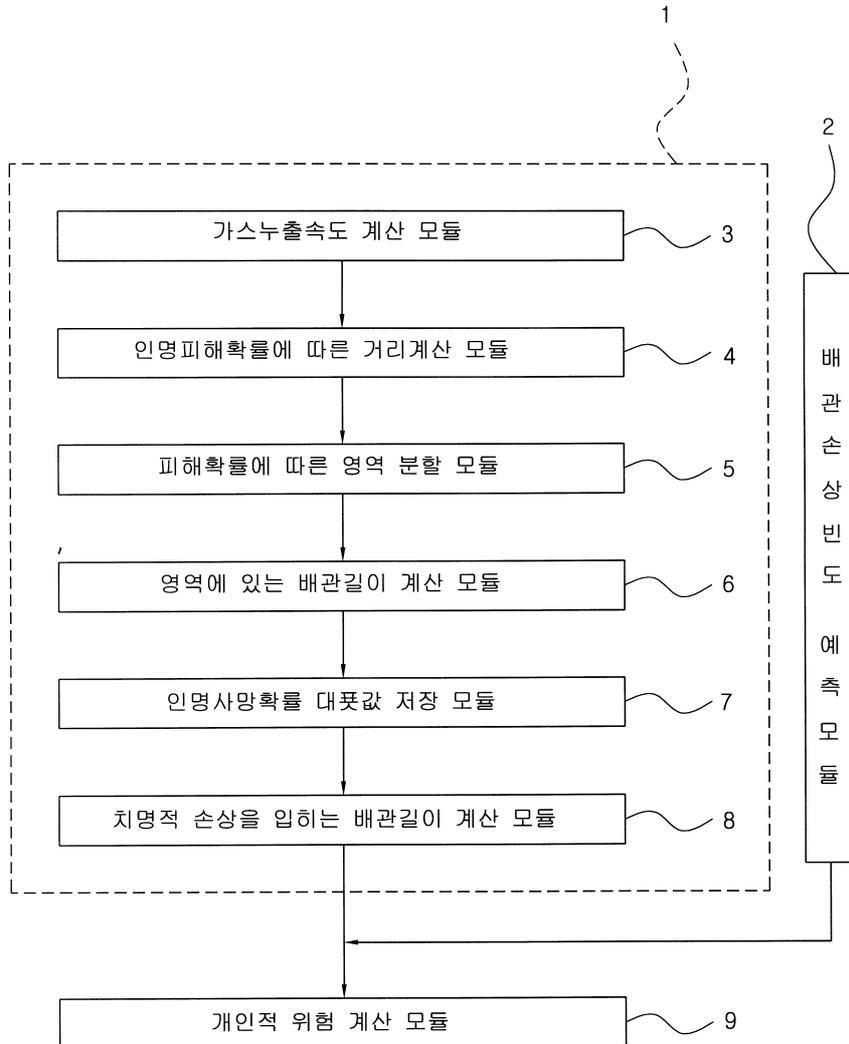
- a) 도시 가스 배관을 일정 구간으로 나누는 단계;
- b) 단계 a)에 의해 분할된 구간들 각각에 대해 개인적/사회적 위험을 정량적으로 평가하는 단계;
- c) 단계 b)에 의한 개인적/사회적 위험 평가에 따라 상기 각 구간의 위험성을 판단하는 단계; 및
- d) 단계 c)에 의해 위험성 있는 배관으로 판단되는 구간에 대한 변수 민감도를 분석하는 단계;
- e) 단계 d)에 의해 분석된 민감도에 따라 각 구간에서의 경제적 손실을 분석하는 단계; 및
- f) 단계 e)에 의해 분석된 경제적 손실에 따른 관리 방안을 제시하는 단계로 구성되는 것을 특징으로 하는 도시 가스 배관의 안전 관리 방법.

도면

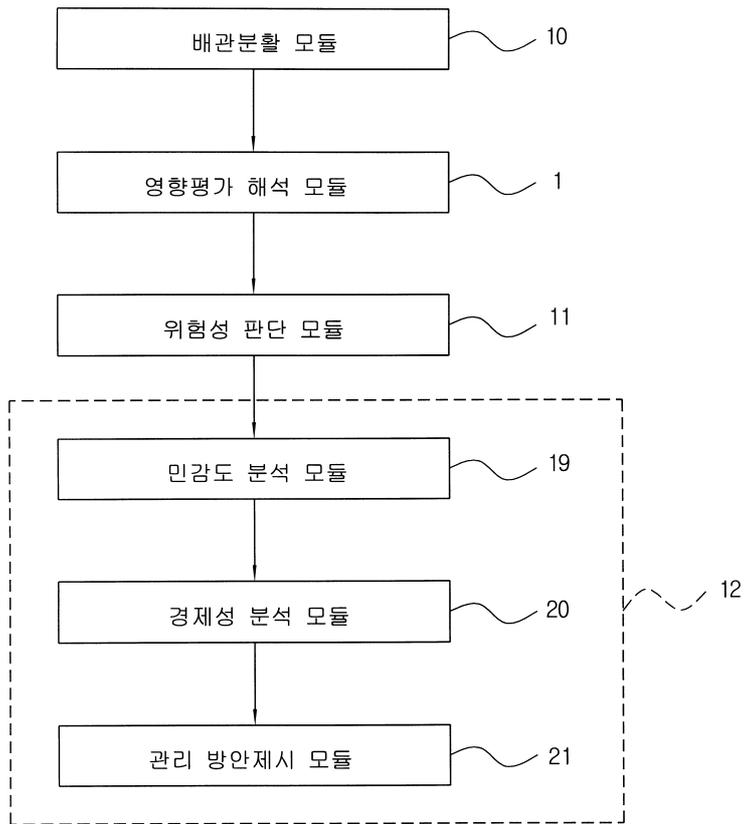
도면1

| 배관손상원인        | 배관손상빈도<br>(회/년.km)    | 결함크기에 따른 비율 |     |     |
|---------------|-----------------------|-------------|-----|-----|
|               |                       | 소결함         | 중결함 | 대결함 |
| 타공사에 의한 손상    | $3.0 \times 10^{-4}$  | 25          | 56  | 19  |
| 건설에 의한 손상     | $1.1 \times 10^{-4}$  | 69          | 25  | 6   |
| 부식에 의한 손상     | $8.1 \times 10^{-9}$  | 97          | 3   | <1  |
| 지반 움직임에 의한 손상 | $3.6 \times 10^{-9}$  | 29          | 31  | 40  |
| 기 타           | $5.4 \times 10^{-9}$  | 74          | 25  | <1  |
| 합 계           | $5.75 \times 10^{-9}$ | 48          | 39  | 13  |

도면2



도면3



도면4

