

## 도시가스 배관의 설비손상확률평가

이진한 · †박교식 · 조영도 · 박진희\*

한국가스안전공사 가스안전시험연구원

\*극동도시가스

(2003년 1월 9일 접수, 2003년 5월 4일 채택)

## Frequence Analysis for City Gas Pipeline

Jin-Han Lee · Kyo-Shik Park · Young-Do Jo and Jin-Hee Park\*

*Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation*

*\*Kukdong City Gas Co., Ltd.*

*(Received 9 January 2003 ; Accepted 4 May 2003)*

### 요 약

도시가스 배관에서 위험을 유발할 수 있는 사건의 발생빈도를 구하기 위하여 주요 사고원인인 굴착공사, 외부부식, 지반침하 및 장치손상 등에 의한 사고발생빈도를 구하는 방법을 제시하였다. 굴착공사로 인한 손상은 FTA에 의해 기본사상(Basic event)을 도출하고, 부식에 의한 손상확률은 시간변화에 따른 부식결함의 잔존강도를 평가하는 평가식을 제시하였다. 지반침하로 인한 손상은 기준손상율을 구하고 여기에 손상모드인자 및 보정인자를 고려한 모델을 이용하여 구하였다. 장치원인에 의한 손상확률은 고유고장율과 특정고장율 자료를 모두 반영할 수 있는 방법을 제시하였으며 그 계산 예도 제시하였다.

**Abstract** - Frequency analysis of city gas pipeline was studied and then the method to give frequencies of failure by the third-party digging, corrosion, ground movement, and equipment failure which were known to be the major cause of risk of city gas pipeline. The failure by the third-party digging was analyzed by fault tree analysis and the failure by corrosion was analyzed by applying equation calculating remaining strength with time. The failure by ground movement was evaluated by applying modified model which was induced through weighing factors with basic failure rate model. The failure rate of equipment was calculated with both generic and specific data

**Key words** : frequency analysis, third-party digging, corrosion, ground movement, failure rate of equipment

### 1. 서 론

도시가스배관에서 위험을 발생시킬 수 있는 사건의 발생빈도(Likelihood or Frequency)를 예측하기 위해서 위험을 발생시킬 수 있는 원

인을 분석하였다. 그 결과, 주요 사고원인은 대략 5가지 정도로 구분되는 데 이는 ①외부부식, ②굴착공사 손상, ③지반침하, ④장치손상, ⑤시공/재료원인이다. 미국 배관안전국(OPS, Office of Pipeline Safety)에서 관리되고 있는 수송배관에 대한 사고통계를 원인별로 분석한 결과, 외부요인에 의한 손상(39%), 부식에 의

한 손상(24%) 및 시공, 재료에 의한 손상(14%)이 중요한 요인이다[1].

## 2. 손상확률 평가

### 2.1. 굴착공사에 의한 손상확률 평가

굴착공사에 의한 배관의 손상확률은 단위 배관 길이당 손상확률로 표현되며 여러 가지 손상방지를 위한 활동에 따라 변한다. 즉, 공사 전 사전협의, 배관손찰 등의 활동에 따라 손상확률은 줄어든다. 따라서 손상확률은 배관주위 굴착공사가 행해질 경우 여러 가지 손상방지 활동이 실패할 확률을 평가함으로써 구할 수 있다.

굴착공사에 의한 손상확률을 예측하기 위해 여기서는 흔히 사고경위 모델링에 사용되는 FTA(Fault Tree Analysis)를 사용하였는데 이는 각각의 발생 가능한 사건들의 상호작용을 분석하는 연역적인 추론방법이다. 그림 1은 국내 배관손상방지 대책을 고려하고 이러한 대책들이 실패할 경우 나타날 수 있는 Fault의 Tree의 예를 도식화 한 것이다. 이렇게 하여 하위 사건들을 각각 평가하여 결국 최상위 사건인 배관이 기계적 손상을 받을 확률을 예측한다. 그림 1에 나타난 12개의 근본 사건(Basic Event)에 대해 차례대로 분석하면 다음과 같다.

B1 : 배관 매설지역에서 굴착공사 등 굴착공사가 진행될 확률

배관주위의 굴착공사 발생확률은 도시가스 배관 주변의 인구밀도 등 도시의 발달정도에 따라 다르고 또한, 도로, 인도, 대지, 하천 등 매설지의 환경에 따라 달라진다. Meadows and Sage는 지역을 녹지, 농촌지역, 도시·주거지역 및 공업·상업지역으로 구분하였으며 이에 따르면 일반적인 도시 주거지역의 공사발생 빈도는 0.2회/km\*yr 정도라고 한다[2].

그러나, 우리나라의 경우 인구밀도가 서울의 경우 인구밀도가 180명/ha로 매우 높고 공사발생률도 높은 것이 특징이다. 극동도시가스회사의 배관주위 굴착공사 발생률을 분석해 보면 평균 4일/km\*yr 정도이다. 따라서, 유효 공사를 구하기 위해 과거 연간 평균 작업빈도에 상대적인 작업빈도를 곱하는 방법을 취하여 표 1에 정리하였다.

Table 1. Frequency of available work by classified area.

지역구분	상업	공업	주거	농촌	녹지
상대적 확률(일/km*yr)	5	3	2.5	0.5	0.05

B2 : 배관 매설지역에서 위험한 굴착행위를 할 확률

배관이 매설되어 있는 위치를 알고 있다고 하더라도 배관손상을 방지하기 위해 인력굴착을 행하여야 한다. 그러나 이를 무시하고 굴착기를 사용하여 굴착작업을 수행할 가능성을 말하며 굴착공사를 배관관리자(배관안전점검원)가 입회할 경우와 입회자가 없을 경우 확률은 각각 0.01과 0.2로 다른 값을 보인다[3]. 실제로 모든 공사에 대해 배관관리자가 입회하고 있으므로 후자에 해당할 것이다.

B3 : 굴착깊이가 매몰깊이를 초과할 확률

굴착공사는 공사에 따라 굴착깊이가 다르다. 굴착깊이가 매몰깊이를 초과할 확률은 매몰깊이가 깊을 수록 낮아진다. Kiefner는 매몰깊이의 영향을 아래와 같은 식으로 표현하였다[4].

$$P = \left[ \frac{d_{ref}}{d} \right]^2 \quad (1)$$

여기서  $d_{ref}$ 는 기준깊이를 나타내며 굴착깊이가 매몰깊이(1m)를 초과할 확률이 50%라고 가정한다면 위 식은 다음과 같이 표현된다.

$$P = \left[ \frac{0.71}{d} \right]^2 \quad (2)$$

B4 : 보호철판이 설치되었을 경우 배관보호를 실패할 확률

보호철판 또는 콘크리트로 배관이 보호되어 있을 경우를 고려한 것이다. Corder에 의하면, 보호철판 또는 콘크리트로 보호되어 있다면 약 80% 배관보호 효과가 있다고 하였다[5]. 국내 도시가스배관의 경우 보호판이 설치된 경우는 매설깊이를 확보하지 못한 경우, 타시설물과 이격거리를 유지하지 못한 경우, 중압이상으로

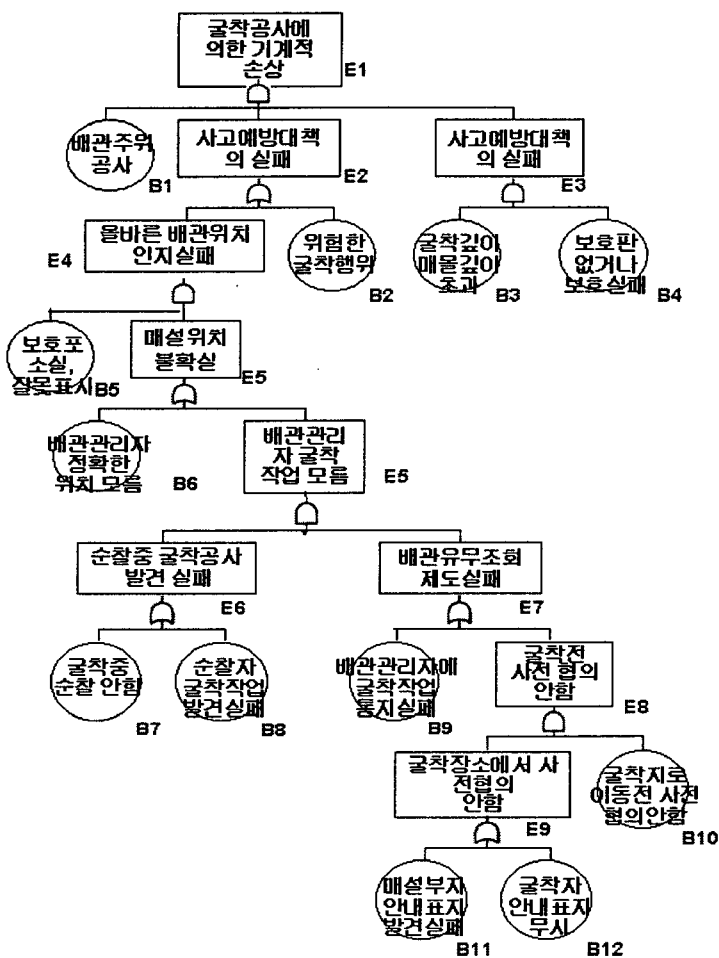


Fig. 1. FTA to evaluate failure rate by the third party work.

공급될 경우로 제한되므로 보호철판의 두께에 대해서는 고려하지 않는다. 따라서 보호판이 배관보호에 실패할 확률은 보호판이 설치되지 않았을 경우를 1, 설치되었을 경우를 0.2로 한다.

B5 : 보호포의 기능 실패

보호포는 굴착공사시 도시가스배관이 매설되어 있음을 알리는 것으로 Corder에 의하면 보호포로 약 2/3의 굴착공사로 방지효과가 있다고 하였다[5]. 따라서 보호포가 설치되지 않았을 경우 1, 설치되었을 경우는 0.33으로 한

다. 그러나 보호포가 소실될 가능성도 배제할 수 없으므로 설치되었을 경우의 소실률을 고려하여야 하며 소실률을 10%로 가정하면 보호포의 기능 실패 확률은  $1 - (0.9 \times 2/3) = 0.4$ 이다.

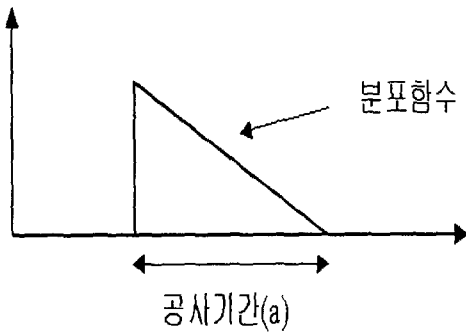
B6 : 배관관리자 정확한 배관위치 모름

배관의 위치가 도면과 달라 배관관리자가 잘못 알고 있을 경우와, 도면 축척률이 높거나 제대로 관리되지 않아 변경사항 등이 정확히 표현되지 않는 경우를 포함한다. 우리나라의 경우 배관 전산화와 실측작업을 통해 배관관리자가 배관위치( $\pm 2m$ )를 잘못 인지할 가능성은

매우 적다고 볼 수 있으므로 이 Event에 대해서는 0.005로 한다. 배관도면 관리를 잘 한 도시가스회사는 무시해도 된다고 판단된다.

**B7 : 굴착중 순찰 실패**

이 Event는 순찰주기에 의존하며 순찰 주기가 높을 수록 굴착공사 발견확률은 높아진다. 발견 확률을 모델화하기 위해 몇 가지 가정이 필요한데 순찰이 일정한 주기로 일어나고 공사는 일정한 기간동안 수행되며, 기계적 손상을 일으키는 시간은 그림 2와 같은 분포함수를 따른다는 점이다.



**Fig. 2 Probability distribution function to monitor digging before pipeline is failed.**

먼저 공사기간(a)보다 순찰주기(t)가 길다면 순찰중 공사를 발견할 확률은 1/t이다. 그러나, 공사를 발견하였다더라도 이미 배관손상을 일으켰을 가능성이 있다. 여기서는 만약 공사주기와 순찰주기가 같다면 배관손상을 일으키기 전에 순찰이 이루어질 확률은 1/3을 가정한다.

그러면 굴착공사중 배관손상이전에 공사를 발견할 확률은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$P_D = \frac{a}{3t} \quad (3)$$

손상이전 발견에 실패할 확률은,

$$P_{ND} = 1 - \frac{a}{3t} \text{ 으로 표현된다.}$$

아래 표는 평균 공사기간이 3일일 경우를 가정하여 순찰주기에 따른 변화를 나타내었다.

**Table 2. Probability not to find out digging with period of patrol.**

주기	하루 2번	매일 1번	매주 1번	매달 1번	매년 1번
확률	0.16	0.30	0.83	0.96	0.9999

**B8 : 순찰중 굴착작업 발견실패**

이 Event는 순찰중이더라도 순찰자의 부주의로 굴착작업이 진행됨을 인지하지 못할 확률을 나타내며 흔히 Human Error로 표현된다. 도보로 순찰을 할 경우 발견에 실패할 확률은 0.01이나, 여기서는 여러 가지 장애물로 인해 정확한 순찰이 어렵기 때문에 실패확률을 0.05로 가정한다.

**B9 : 배관관리자에게 굴착작업 통지 실패**

이 Event는 시스템의 오류에 해당하는 것으로 실제 일어날 가능성은 매우 적어 무시할 수 있는 수준이나 다른 데이터가 없다면 0.001로 가정한다.

**B10 : 굴착지로 이동전 사전협의 실패**

이는 굴착자가 굴착전 사전협의(배관유무조회) 제도를 모르는 경우이다. 미국의 DOT통계에 따르면 약 54%가 굴착전 사전협의의 하였다고 보고되었으나 우리나라의 경우는 미국과는 달리 모든 굴착공사전 사전협의가 의무화되어 있다[3] 그러나 무허가 없다고 단정한 경우는 사전협의에 실패할 것이며 이는 0.1~0.3의 확률을 가지고 있다. 실제 최근 몇 년간 협의를 하지 않고 공사를 시행한 비율은 20%정도에 이르므로 이 Event에 대해서는 0.2를 가정한다.

**B11 : 매설안내표지 또는 라인마크 발견실패**

사전협의 제도를 모르고 굴착지에 왔더라도 배관매설 안내표지를 발견하거나 라인마크를 발견한다면 도시가스회사에 연락을 할 것이다. 그러면 안내표지, 라인마크를 발견하지 못한 경우와 발견했더라도 무시할 경우를 고려해야 한다. 우리나라의 경우 도로, 인도에 설치되는 라인마크의 경우 50m간격이고, 그 외의 지역에 설치되는 안내표지는 500m간격으로 설치된다. 라인마크의 경우반경 10m내의 라인마크를 인지할 수 있고 공사거리가 평균 5m라고 가정하면, 라인마크 발견확률은 60%이므로 50m간

격으로 일정하게 표시된 라인마크의 인지실패 확률은 0.4로 가정한다.

매설 안내표지는 라인마크 보다 간격이 넓으나, 지상 일정높이 위에 설치되어 있어 인식 거리가 길다. 인식거리를 30m 공사거리를 10m 로 가정하면 공사전 발견확률은 16%이나, 안내표지는 대부분 도로를 따라 매설되어 있어 공사지로 이동 중 발견될 확률도 있다. 이 확률을 20%정도로 본다면, 공사전 라인마크 인지확률은 36%이고 인지실패 확률은 0.64이다.

B12 : 매설안내표지 또는 라인마크 발견 무시 라인마크가 발견되었다도 굴착자에 의해 무시될 확률은 0.3으로 가정하며 굴착 또는 천공기가 배관 상단을 때릴 경우 누출이 유발될 확률을 0.4로 가정하였다. EGIG(European Gas Pipeline Incident Data Group)에서는 1970~1998년까지의 사고 데이터를 토대로 굴착공사 등 외부간섭으로 인한 손상모드별 상대적 손상 확률은 소누출 20~25%, 대누출 50~55%, 파단 20~25%범위에 있다고 했다. 여기서는 소누출 25%, 대누출 50%, 파단 25%로 가정했다 [6].

### 2.2. 부식에 의한 손상 확률 평가

부식에 의한 도시가스배관의 손상확률은 이전 연구에서 자세히 살펴보았다[7]. 즉 배관은 일반적으로 부식 등의 원인으로 시간경과에 따라 강도 즉, 저항력이 떨어진다. 그러나, 이를 고려하지 않고 계속 초기 운전압력을 유지하게 되면 손상이 발생한다.

손상확률 예측에는 일반적으로 하중/저항 (Load/Resistance) 모델이 사용된다. 이러한 접근방법은 배관내부 진단장비(In-Line Inspection Tool ; 일반적으로 Pig라 불림)를 사용하여 발견된 결함을 수리하지 않고 계속 사용하는 경우에 적용되는 손상확률 접근방법이다. 또한, DCVG를 이용해 결함부위를 찾아 굴착을 행하였을 경우에도 접근 가능한 방법이다.

일정한 결함을 가지고 있는 배관의 손상확률을 계산하기 위해서는 일반적으로 로그정규 분포가 가정된다[8, 9]. 하중(운전압력)과 저항(배관강도)을 결합하여 손상확률을 표현하며, 다음과 같이 표현된다.

$$P_{failure} = 1 - \Phi(\beta) \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\ln \left[ \frac{P_{Burst50}}{P_{Operating50}} \right]}{\sqrt{\sigma_{\ln B}^2 + \sigma_{\ln O}^2}} \quad (5)$$

여기서,  $\Phi$ 는 표준 정규분포 곡선 아래의 면적(Standard Cumulative Normal Distribution)을 말하며  $\beta$ 는 Safety Index로 표현된다.  $\sigma_{\ln B}$ 는 파손압력의 로그분포 표준분산 값으로, 전형적으로 (0.20 + 두께감소율)을 사용한다.  $\sigma_{\ln O}$ 는 운전압력의 로그분포 표준분산 값으로 일반적인 경우 0.2를 적용한다.  $\sigma_{\ln B}$ 과  $\sigma_{\ln O}$ 은 연구자들 간 차이가 난다. 또한,  $P_{Burst50}$ 은 평균 파손압력 이고,  $P_{Operating50}$ 은 평균 운전압력을 말한다.

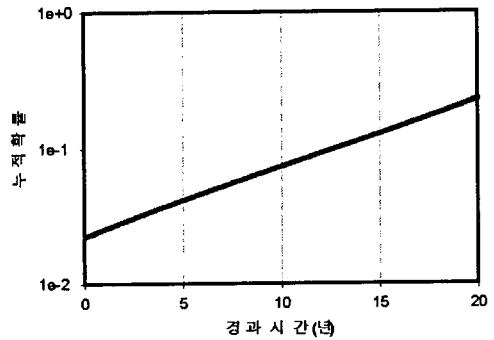


Fig. 3 Probability of failure before a given Time.

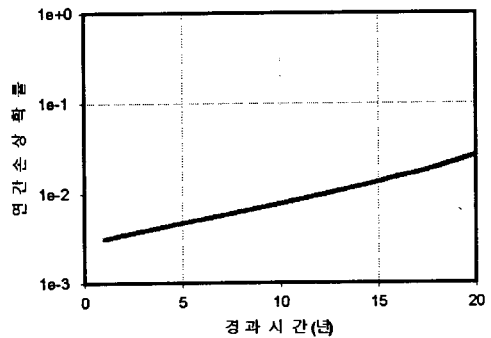


Fig. 4 Probability of failure as function of time (for large scale leak).

그림 3에 10Kg/cm<sup>2</sup>으로 운전되는 400mm배관(7.9mm)에 5mm깊이 10cm넓이의 부식결함

이 0.1mm/yr의 부식성장속도를 가진다고 가정하여 예측한 누적 손상확률을 나타내었다. 그림 4에는 연간손상확률을 예측한 결과를 나타내었다.

### 2.3. 지반침하로 인한 손상확률 평가

일반적으로 지반침하 손상을 예측하기 위해 지반 움직임 조사를 위해서는 Pipe-Soil Interaction Analysis와 입체공간(Spatial Geometry)을 탐측하는 배관내 검사(In-Line Inspection) 장비가 사용되기도 한다. 그러나 도시가스회사의 공급배관에는 적용하기 어려우므로 본 연구에서는 통계적 방법에 의해 빈도를 추정하는 방식을 제시하고자 한다.

지반침하 등 토양의 움직임으로 인한 위험성은 침하, 결빙으로 인한 지반 상승, 해빙, 경사면의 미끄러짐으로 나타날 수 있다. 이러한, 위험성이 많은 지역은 모든 지역에서 나타나는 것이 아니라 특정 환경에 처한 배관에 나타난다. 부식원인에서와 마찬가지로 손상빈도는 식 6과 같이 표현된다.

$$R_{f_i} = R_{\beta_i} M_{F_i} A_{F_i} \quad (6)$$

여기서  $i$ 는 손상 모드 (소누출, 대누출, 파단),  $j$ 는 손상 원인 (외부부식, 외부요인 손상, 지반침하 등),  $R_{F_i}$ 은 손상률,  $R_{\beta_i}$ 은 기준 손상률,  $M_{F_i}$ 는 손상모드인자 및  $A_{F_i}$ 는 보정인자를 각각 나타낸다.

기준 손상율을 구하기 위해 국내 도시가스 배관사고 통계 중 지반침하로 인한 사고사례를 살펴보면, 지반침하에 가장 취약한 부분의 순으로 예측될 수 있으며, 플랜지 연결부 이완, 용접부 균열, 배관균열, 입상관 연결부, 융착부 이완의 원인으로 구분된다. 통계자료로부터 배관, 용접부, 융착부의 지반이동으로 인한 사고는 연간 약 4건이며 이를 단위 길이당 손상율로 환산하면,  $3.6 \times 10^{-5}/km \cdot year$ 이다. 참고로, Hovey and Framer는 미국 석유배관의 용접부 손상확률은  $5.5 \times 10^{-4}/km \cdot year$ 이라 하였다 [10].

손상모드는 부식원인 분석에 언급했듯이 소누출, 대누출, 파단(Rupture)으로 진행될 수 있는 상대적 발생확률이다. 지반침하의 경우는 국부부식으로 인해 발생될 수 있는 핀홀(Pin Hole) 누출과는 달리, 균열을 유발하므로 소누

출보다는 대누출 또는 파단의 가능성이 높은 편이다. EGIG(European Gas Pipeline Incident Data Group)에서는 1970~1998년까지의 사고 데이터를 토대로 지반영향에 의한 손상모드별 상대적 손상확률은 10~20% 소누출, 35~45% 대누출, 35~45% 파단이라 하였다. 여기서는 20% 소누출, 45% 대누출, 35% 파단을 가정하였다[6].

### 2.4. 장치 원인에 의한 손상확률

도시가스배관의 밸브, 기계적 이음(플랜지 이음 등), 분기이음은 일정간격으로 분포되어 있는 것이 아니므로 단위구간내 포함되어 있는 장치별 개별손상확률의 합으로 전체 손상확률을 표현할 수 있다. 즉, 밸브, 기계적 이음, 분기이음의 수가 많으면 많을 수록 손상확률은 이에 비례하여 커진다.

$$R_f = \sum_{all} (R_{f_g} M_{F_i} A_{F_i}) \quad (7)$$

고장율은 유사한 운전조건에서 얻은 Failure Data로부터 얻어진다. 그러나 많은 경우 이러한 Failure Data들이 체계적으로 관리되지 못하고 있으므로 여기서는 획득가능한 Database를 조사하였다.

OREDA에는 Gate Valve, Ball Valve, Plug 등의 밸브 종류별 구분, 석유, 가스, 물 등 수송 유체별로 그리고 구경별로도 구분되어 있으므로 보다 각각을 구분하여 분석한다면 보다 정밀한 결과를 얻을 수 있다. OREDA에 나타난 불밸브의 외부누출을 유발하는 고장율은  $2.8 \times 10^{-2}/year$ 이며, 플러그는  $2.6 \times 10^{-1}/year$ 이다. OREDA Data는 Offshore에서 운전되기 때문에 진동 등으로 인해 매몰형 밸브보다 고장발생빈도가 높다. 따라서, 여기서는 OREDA Data의 50%를 가정하였다. 그러면, Shut-off Gate밸브의 경우 고장발생빈도는  $1.06 \times 10^{-2}/year$ 이다.

현장의 고장율 Data가 없을 경우에는 고유 고장율 자료(Generic Failure Data)를 사용하겠지만, 현장특성에 맞는 데이터(Specific Data)가 존재한다면 현장데이터와 고유고장율 데이터를 결합하여 평균적인 값을 사용하는 것이 바람직하다. 일반적으로 Specific Data는 Generic Data보다 Sample의 양이 적으므로 여기서는 Vinnem가 소개한 방법 즉, Bayesian

추론을 적용한 결합방법을 사용한다[11].

Generic Data와 Specific Data가 주어진다고 가정하면 이를 이용하여 다음과 같이 고장율을 나타낼 수 있다.

$$F_{specific} = \frac{O_g + O_s}{E_g + E_s} \quad (8)$$

여기서  $O_g$ 와  $E_g$ ,  $O_s$ 와  $E_s$ 는 각각 Generic Data와 Specific Data에서의 Number of occurrences와 Number of exposure hour를 나타내며 계산 예를 정리하면 다음 표와 같다.

**Table 3. Examples of failure rate calculation.**

누출속도 구분	고장율		
	Generic Data	현장 Data	추정값 (Bayesian 추론)
0.1-1Kg/s	$6.7 \times 10^{-3}$	$4.4 \times 10^{-3}$	$6.5 \times 10^{-3}$
1-10Kg/s	$8.1 \times 10^{-4}$	0	$7.2 \times 10^{-4}$
>10Kg/s	$2.7 \times 10^{-4}$	0	$2.4 \times 10^{-4}$

EGIG(European Gas Pipeline Incident Data Group)에서는 1970~1998년까지의 사고 데이터를 토대로 지반영향에 의한 고장모드별 상대적 손상확률을 정리하였는데 밸브, 플랜지 이음부, 분기부의 누출을 고려한 시공/재료 결합원인의 손상모드별 상대적 손상확률을 살펴보면, 55~70% 소누출, 25~35% 대누출, 5~10% 파단으로 나타나 있다[6]. 정확한 분석을 위해서는 밸브, 플랜지 이음, 입상관 연결부, 분기접합 각각에 대해 고장모드별 효과(Effect)가 정의되어야 하나, Data의 부재로 평균적인 상대적 손상확률을 사용하였다. 즉, 소누출 65%, 대누출 30%, 파단 5%로 가정하였다.

매몰배관의 경우 그 부속장치인 밸브, 플랜지 이음, 입상관 연결부, 분기접합의 누출은 주로 지반의 움직임, 진동에 가장 큰 영향을 받는다. 플랜지이음, 입상관, 분기점은 그 형상 등으로 인해 국부하중에 취약하다. 차량통행에 의한 지반의 주기적인 진동과 경사지 토압의 영향은 이음부에 특히 부정적인 영향을 준다. 이러한 지반의 특성을 보정인자에서 고려하여 도로 및 인도의 경우 1.5이며 비포장 경사지는 2.0으로 나타냈다[3].

## 2.5. 기타 원인에 의한 손상확률

### 2.5.1 Sand Blaster

Sand Blaster란 상수도배관 등을 통한 물의 누출로 주변 토사와 섞여 도시가스배관을 집중적으로 타격함으로써 배관을 손상시킨다. 만약 저압으로 운전되는 배관이라면 물의 유입으로 공급중단이 발생된다. 대부분의 지하매설물이 도로를 따라 매설되어 있는 실정을 감안할 때 상수도배관에 인접한 배관의 경우 Sand Blaster로 인한 손상확률이 존재하게 된다. 그러나 실제 이러한 환경적 영향을 고려하기는 쉽지 않다. 즉, 인근 상수도 배관에 대한 위험평가가 병행되어야 하기 때문에 본 연구범위에서 제외하였다.

### 2.5.2 시공 또는 보수작업원인

가스배관의 시공 또는 보수중 시공자의 실수로 인해 사고가 발생하는 경우가 종종 발생한다. 이는 이러한 원인에 의한 손상을 일반적으로 인적오류라 부른다. 이 부분도 실제로 손상을 유발할 확률을 가지고 있다. 그러나, 이러한 인적오류분석 방법은 아직 체계화되어 있지는 않다. 따라서 본 연구범위에서 제외하였다. 이 주제에 대해서는 별도의 연구가 필요하다고 본다.

## 3. 결 론

도시가스 배관에서 위험을 유발할 수 있는 사건의 발생빈도를 구하기 위하여 주요 사고원인인 굴착공사, 외부부식, 지반침하 및 장치손상 등에 의한 사고발생빈도를 구하는 방법을 제시하였다. 굴착공사로 인한 손상은 FTA에 의해 기본사상(Basic event)을 도출하고 각 기본사상에 대한 구하였으며 필요시 우리나라의 사정을 반영하여 적절한 가정을 도입하였다. 부식에 의한 손상확률은 이전의 연구에서 자세히 다루었으며 Battelle에 의해 개발된 코드화되어있는 ASME B31G의 모델을 이용하여 시간변화에 따른 부식결합의 잔존강도를 평가하는 평가식을 제시하였다. 이 결과와 저항력과 운전압력과의 관계를 이용하여 파단, 대누출, 소누출의 손상모드 예측하는 절차를 제시하였으며 또한 이 손상모드에 따라 배관의 하중분포와 저항력분포를 계산하여 손상확률을 예측할 수 있는 방법을 제시하였다. 지반침하로 인한 손상은 기준손상율을 구하고 여기에 손상모

드인자 및 보정인자를 고려한 모델을 이용하여 구하였으며 우리나라의 경우 단위 길이당 손상율로 환산하면,  $3.6 \times 10^{-5}/km \cdot year$ 이었다. 장치원인에 의한 손상확률은 고유고장율과 특정 고장율 자료를 모두 반영할 수 있는 방법을 제시하였으며 그 계산 예도 제시하였다.

그 외 상수도 파열로 인한 Sand blaster와 시공 혹은 보수작업으로 인한 사고의 경우 그 사고가 극히 적고 환경적인 요인도 함께 고려하여야 하기 때문에 본 연구범위에서 제외하였다.

#### 4. 감사의 글

이 연구결과는 과학기술부와 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 국가지정연구실(NRL) 프로그램의 지원결과로 수행되었으며 연구비 지원에 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. <http://www.ops.gov/stat.htm>
2. 한국가스안전공사, 1998. '도시가스배관 안전성평가(SPC) 기법 개정판'
3. Kiefner, J. F., Vieth, P. H., Orban, J. E. and Feder, P. I. (1990) 'Methods for Prioritizing Pipeline Maintenance and Rehabilitation', American Gas Association.

4. Corder, I. (1995), 'The Application of Risk Techniques to the Design and Operation of Pipelines', Institution of Mechanical Engineers Conference Transactions, Volume 4, pp 113-126.
5. EGIG (1993), 'Gas Pipeline Incidents', Report 1970-1992, European Gas Pipeline Incident Data Group.
6. Lee, J. H., Park, K. S., Jo, Y. D., and Park, J. H., 'Corrosion Analysis for City Gas Pipeline', Submitted to J. of Korea Institute of Gas.
7. Bea, R. G. (1998) 'Risk Assessment & Management of Marine Pipelines', Proceedings Risk Assessment & Management of Marine Pipeline Systems Workshop, Houston, Texas.
8. Bay, Y. and Yillcocks, J. (2000) 'Risk Based Inspection and Integrity Management of Pipeline System', ABS Consulting in Houston, TX, USA Offshore Technical Paper.
9. Hovey D. J. and Frammer E. J. (1993) 'Pipeline accident, failure probability determined from historical data', Oil and Gas Journal, July 12 1993, 104-107.
10. Vinnem, J. E (1999) 'Offshore Risk Assessment : Principles, Modelling and Application of QRA Studies' Kluwer Academic Publishers.