KIGAS Vol.7, No.1, March, 2003
(Journal of the Korean Institute of Gas)

에너지시설(도시가스배관)의 사고시 영향 평가

이 진 한 · †박 교 식 · 조 영 도 · 박 진 희*
한국가스안전공사 가스안전시험연구원
*극동도시가스
(2003년 1월 4일 접수, 2003년 2월 11일 채택)

Consequence Analysis of Energy Facility(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 4 January 2003 ; Accepted 11 February 2003)

요 약

도시가스시설에서 사고가 발생할 때 그 영향을 평가하는 방법론에 대하여 현실을 고려한 모델을 개발하였다. 즉 사건수목분석(ETA)을 통하여 발생할 수 있는 사고의 형태를 도출하였고 가스의 누출 속도를 음속인 경우와 아음속인 경우에 대하여 계산하였다. 가스의 누출시 화재가 주로 피해를 유발하므로 화재가 발생하여 사망, 화상 및 건물에 피해를 줄 수 있는 경우 그 피해범위를 산정하는 방법을 제시하였다. 마지막으로 적절한 가정을 도입하여 사고로 인한 총 손실비용을 계산하는 방법을 제시하였다.

Abstract - Consequence model has been suggested to evaluate consequence of city gas accident considering actual situation. Through event tree analysis(ETA), probable accidents were summarized and listed. Then release rate was calculated both sonic and subsonic conditions. Among city gas accidents, fire damage is the dominant one and mainly discussed; fatality, burning injury, and damage to building were estimated using the consequence model suggested. With an appropriate conditions, calculating total cost by accident was suggested.

Key words : consequence analysis, city gas, event tree analysis, release rate, , total cost of accident

I. 서 론

최근까지 국내에 소개된 도시가스배관에 대한 위험평가 기술은 위험정도에 따른 가중치를 부여하는 방법으로의 접근이 이루어 졌으며, 경험적인 요소가 강하여 평가자에 따라 다른 결과를 나타내었고, 평가결과도 위험의 정도(순위)만 제시하였다. 그러나 기업의 입장에서는 투자비용의 효용성을 높이는 기술적 접근방법이 필요하다. 즉, 위험의 정도뿐만 아니라 위험의 양(손실비용)을 평가할 수 있는 접근방법이 필요하다.

이러한 접근을 위해 가스배관의 손상확률과 사고시 영향분석을 예측하는 방법이 필요하며

†주저자 : kspark@kgs.or.kr

본 연구에서는 우선 사고시 영향평가방법을 제시하였고 계속되는 연구를 통하여 순차적으로 손상 확률과 위험을 구하는 방법을 제시하고자 한다. 영향평가 방법을 확률과 결합하여 위험비용을 예측하는 방법과 그 결과를 예시한다면 이러한 위험평가 및 예측결과와 안전투자비용을 결합해 어떻게 비용/효용 측면에서 유리한 위험감소전략을 수립하는 지를 제시할 수 있으므로 이 방법은 기업의 손실을 최소화한다는 개념에서 접근한 현실적인 손실방지 기술이라 볼 수 있다.

II. 사고영향평가

2.1. 영향평가 개요

국내 도시가스 공급배관의 경우 대부분 도심에 매설되어 있고 인구밀도와 건물밀도도 매우 높은 편이어서 그만큼 사고영향도 크다고 볼 수 있다. 높은 사고영향 지역에서의 평가는 이런 주변환경 요소를 고려하여야 한다.

도시가스배관의 사고는 누출이 가장 많고 대규모 누출일 경우 주변 점화원에 의해 화재로 발전할 가능성이 있다. 사고 경위 모델링에는 일반적으로 사건 트리분석(Event Tree Analysis)을 사용하는 것이 일반적이다. 도시가스배관에 대한 ETA는 아래 그림과 같이 표현된다[1].

도시가스시설에서 누출된 천연가스는 부력에 의하여 지표면에 연소범위농도에 있는 가스운을 형성하기 어려우므로 플래시 화재의 피해는 무시할 수 있다. 따라서 고압천연가스배관 파손으로 인하여 발생되는 피해는 주변 건물에 의하여 발생하는 폭발에 의한 피해와, 화재에 의한 복사열 피해이다. 일반적으로 폭발에 의한 피해범위는 화재에 의한 피해범위보다 작으므로 여기에서는 천연가스배관의 파손에 의하여 화재피해 위험성을 예측할 수 있는 함수를 제시하였다. 아래에 각 사건(Event)별로 발생확률을 표시하였으며 수치는 EGIG(1993)의 자료를 참고하였다[2]. 여기서 핀홀 등에 따른 미세한 누출로 화재로 발전하지 않는 단순누출이 75%(0.85×0.89)를 차지함을 알 수 있다.

2.2. 누출속도 분석

2.2.1 가스누출속도

사고시 가스의 누출 및 화재로 인한 영향에 대한 평가는 많은 연구가 이루어져 왔으며, 대표적인 상용 S/W로는 PHAST, SAFETI, TRACE 등이 있으나 여기서는 Jo가 제안한 방법을 참조하였다[3].

가스누출속도는 배관내의 압력과 가스흐름에 대한 저항에 의존하게 된다. 배관의 전체압력은 배관에서 압력강하와 파손부위에서 대기중으로 음속누출에 의한 압력강하의 합과 같다. 배관에서 압력강하에 따른 유속은 Fanning식을 이용하고, 등 엔트로피(Iso-entropy) 과정으로 가정하면 다음과 같다

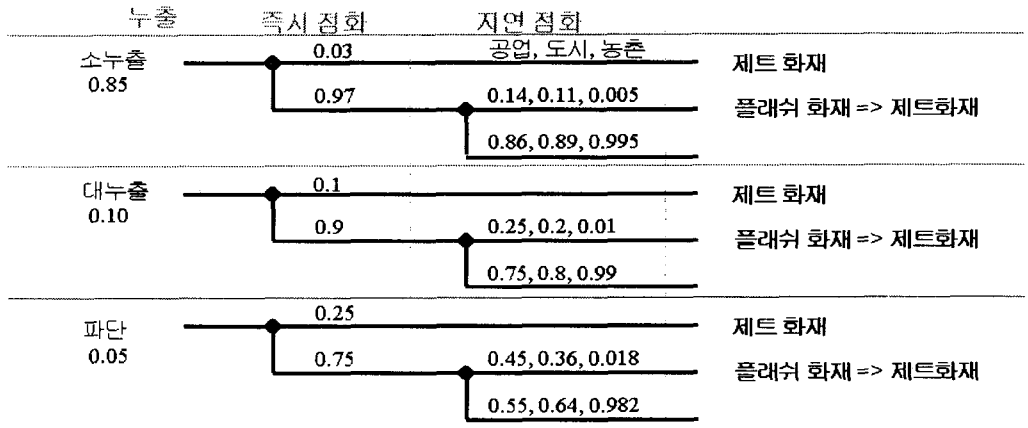

Fig. 1 Event tree analysis of an incident for rupture of city gas pipe.

$$Q_p = \frac{\pi}{4}\sqrt{-\frac{\rho_0 P_0 d^5}{2 f_F L}\frac{\gamma}{\gamma+1}\left(\left(\frac{P_e}{P_0}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}-1\right)} \quad (1)$$

$$f_F = \frac{1}{4[1.14-2.0\log(\varepsilon/d)]^2} \quad (2)$$

여기서 P_0는 배관의 운전압력, P_e는 배관 파손부위의 압력, γ는 비열비 ≃1.036(메탄), ρ_0는 가스밀도, d는 가스배관의 직경, f_F는 Fanning의 마찰계수, 그리고 ε는 배관표면 거침도 이다.

배관 파손부위에서 음속누출속도는 다음 식과 같다.

$$Q_h = C_D A\sqrt{\gamma\rho_e P_e\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad (3)$$

여기서, C_D는 방출계수이다. 대부분의 경우 가스의 누출은 음속누출이다. 그러나, 도시가스 공급배관의 경우 저압(1Kg/㎠이하)으로 운전되는 경우가 많아 이럴 경우 음속누출이 아니라 아음속 누출이 발생한다.

아음속 누출일 경우 누출속도는,

$$Q_h = C_D A\Psi\sqrt{\gamma\rho_e P_e\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad (4)$$

$$\Psi = \sqrt{\left(\frac{2}{\gamma-1}\right)\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}\left(\frac{P_a}{P_e}\right)^{\frac{2}{\gamma}}\left(1-\left(\frac{P_a}{P_e}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right)} \quad (5)$$

여기서 P_a는 대기압, C_D는 방출계수 그리고 A는 파손부위의 단면적이다. 배관완전파손의 경우, 파손부위의 단면적은 배관의 단면적과 같고, 방출계수는 1이다. 배관표면의 홀(Hole)로부터 누출이 발생할 경우, 방출계수는 음속 0.62[1], 아음속 0.85[3]를 사용하였다. 또한 압력이 낮아질수록 방출계수는 1에 가까워진다. 물질보존법칙에 의하여 식 1에서 구한 값과 식 3에서 구한 값이 같아야 하므로, 위 식으로부터 가스누출속도를 구할 수 있다.

2.3. 화재분석

배관에서 누출된 가스로 인해 발생된 화재는 주로 제트화재 형태이며 피해는 화염보다는 복사열에 의해 일어난다. 그리고 화염의 방향은 지면과 수직이고, 열방사체(화염)와의 거리는 누출배관 직상부 지면으로부터 임의의 지점에 있는 건물(또는 사람)과의 거리를 기준으로 하였다. 참고로, 지하매설 배관과 직상부와 건축물과는 1.5M이상을 유지하도록 규제하고 있다. 화재의 중심으로부터 떨어져 있는 임의의 위치에서 복사열 강도(Heat Intensity)는 Technica(1988)에 의해 제시된 다음의 식을 사용하였다[4].

$$I = \frac{\eta X_g Q_{eff} H_c}{4\pi r^2} \quad (6)$$

여기서 η = 연소효율 ≃ 0.35
X_g = 방사율 ≃ 0.2
H_c = 연소열 ≃ 50,000kJ/Kg(메탄)
r = 열원으로부터 직선거리

열의 강도(Heat Intensity)에 의한 피해영향은 여러 연구자들에 의해 제시된 판단기준들에 의해 평가되며 몇 가지 대표적인 예를 들면 다음과 같다[5,6].

- 목재에 착화 : 15.7 kW/m^2 (Jones and Fearnehough, 1986)
- 5~15분 내에 목재에 착화 : 27 kW/m^2 (Jones and Fearnehough, 1986)
- 보통속도로 이동하는 사람의 99% 사망 : 27 kW/m^2 (Lees, 1980)
- 최소 화상피해 가능범위 : 6.3 kW/m^2 (Jones and Fearnehough, 1986)

여기서는 사망피해, 화상피해, 건물피해를 각각 구분하여 피해정도를 평가하는 방법을 제시하였다.

2.3.1 사망피해

사망피해를 예측하기 위해서는 사망확률을 판단하기 위해서는 먼저 사망에 이를 수 있는 열부하(Thermal Load)가 정의되어야 한다. 즉, 복사열로 인한 인명피해는 일정한 열강도(I)가

일정시간(t) 지속되어야 발생하며 Lee는 다음과 같은 형태의 식으로 열부하를 나타내었다[6].

$$L_p = tI^n \quad (7)$$

여기서 t = 노출시간, n = 지수 ≃ 1.33

한편, Hymes는 열부하로 인한 인명피해 판단기준을 다음 표와 같이 나타내었다[7]. 여기서, 복사열에 노출된 사람이 열영향 범위를 완전히 벗어나는 데 30초가 소요된다고 가정하였다. Stephens[1]은 5초간 원래자리에서 머뭇거리다가 2.5m/s 속도로 60m를 이동하는데 소요되는 시간을 가정하여 30초를 제안하였다. 그러면 이때 Hymes[7]가 제안한 열부하 판단기준을 만족하는 열강도는 다음과 같다.

Table 1. Fatality with heat intensity and heat flux.

구 분	화상	1% 사망	50% 사망	100% 사망
열부하, (kW/㎡)·sec	210~700	1,060	2,300	3,500
열강도, kW/㎡	4.3~10.7	14.6	26.1	35.8

영국 보건안전위원회(Health and Safety Executive, HSE)에서는 열강도에 대한 사람의 인내한계(Tolerance Threshold) 기준을 건물밖에 사람이 있을 경우 6.30~27.0kW/㎡로 설정하고 있다는 점을 고려할 때 위 가정은 합리성을 가진다고 할 수 있다.

Table 2. Range of heat intensity with damage by burning.

구분	화 상 정 도	열강도 범 위
경증 화상	신체면적 50%미만 1도 화상 신체면적 15%미만 2도 화상	4.3~10.7 kW/㎡
중간 화상	신체면적 50~75% 1도 화상 신체면적 15~30% 2도 화상	10.7~14.6 kW/㎡
중증 화상	신체면적 10%초과 3도 화상 신체면적 30%초과 2도 화상	14.6~35.8 kW/㎡

2.3.2 화상피해

복사열로 인한 화상피해는 4.3~10.7kW/㎡에서 발생한다. 4.3kW/㎡부터 Upper Bound인 10.7kW까지는 경증화상, 10.7kW부터 사망에 이를 수 있는 14.6kW까지 중간화상, 그 이상은 중증화상이 발생한다고 가정하였다.

2.3.3 건물피해

건물에 대한 열부하(Thermal Load)는 Lees가 제안한 다음과 같은 형태의 식으로 주어진다[6].

$$L_b = (I - I_x)t^n \quad (8)$$

여기서, I_x는 발화될 수 있는 최소값 즉, 시간이 무한대일 경우 발화될 수 있는 열강도이다.

위 식은 영국 HSE에서 현장시험을 거쳐 다음 표와 같이 다시 표현되었다[8].

Table 3. Heat intensity which damage to building.

구 분	파일럿 점화	즉각적인 점화
열부하 식	$(I-14.7)*t^{0.667}-118.6$	$(I-25.6)*t^{0.8}=167.6$
20분 후 발화될 열강도	15.7 kW/㎡	26.2 kW/㎡

또, 20분 후 발화될 수 있는 열강도를 표현하였는데, 파손된 배관구간내 블럭밸브를 잠그거나, 소화작업을 통해 화재를 멈출 수 있는 최소 소요시간을 20분으로 가정한 것이다.

도시가스배관은 대부분 도로(인도 포함)를 따라 매설되어있으며 또한, 건물과의 최소한 일정거리(1.5m)이상을 유지하고 있다. 이것은 최소한 피해반경이 일정거리 이상에서 피해가 발생할 수 있음을 의미한다. 건물피해는 피해반경을 설정하여 그 범위내 건물면적이 모두 손상을 받는다고 가정하면 피해예측을 위해 이상화된 도로, 배관, 건물위치는 다음 그림 2와 같다.

피해면적(A_{conseq})은 피해면적(원)과 대지면적이 겹치는 부분으로 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$A_{conseq} = r^2 \cos^{-1}\left(\frac{x}{r}\right) - x\sqrt{(r^2 - x^2)} \quad (9)$$

여기서 r = 피해반경으로 15.7~26.2kW/㎡의 열강도를 나타내는 반경이고 x는 대지경계선까지의 거리이다. 이 값은 배관 GIS 시스템으로부터 구할 수 있다. 여기서는 화재의 확산으로 인한 피해를 무시하는 대신 화재를 유발할 수 있는 최소경계인 15.7kW/㎡의 열강도를 가지는 반경을 피해범위로 가정하였다.

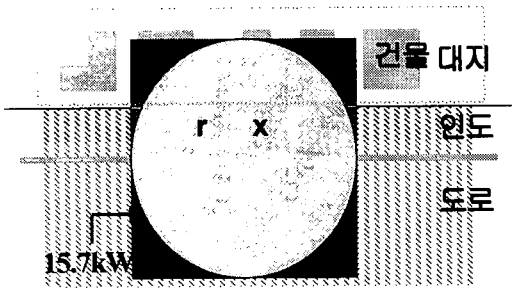

Fig. 2 Consequence modeling to calculate building damage area.

대지내 건물밀도는 건폐율과 용적률로 나타낼 수 있다. 이 때, 피해발생 확률은 건폐율의 함수이고, 피해량은 용적률에 관계되며 우리나라의 경우 건물은 건폐율과 용적률의 제한을 받는다. 건물피해면적(A_{damage}, 바닥면적을 기준)을 건폐율로 표현하면,

$$A_{damage} = A_{conseq} \times \text{건폐율} \quad (10)$$

건축연면적($A_{construction}$)을 기준으로 피해면적을 나타내면,

$$A_{construction} = A_{conseq} \times \text{용적률} \quad (11)$$

건물피해피용은 피해 건축연면적과 내부시설의 손실액의 합으로 나타낼 수 있으며, 내부시설의 가액은 건물건축비에 비례한다고 가정하여 계산한다. 내부시설의 가액은 재건축비용의 0~150%의 범위로 가정하고 공업, 상업지역은 높고 주거지역은 낮다.

2.3.4 건물피해 예측을 위한 지역구분

사고영향 분석을 위한 지역구분은 데이터 획득의 용이성에 따라 달라야 한다. 일반적으로 배관설계에 사용되는 지역구분은 도시가스통합고시 제2-11-3조(본관 및 공급관의 두께산정)에 있다[9]. 그러나, 영향평가를 위해서는 국내 도심여건을 고려한 더 세분화된 구분이 필요하다. 즉, 인명피해 예측을 위해서는 지역구분에 따른 인구밀도 구분이 필요하고, 건물피해를 예측하기 위해서는 평균 용적률에 따른 지역구분이 필요하다.

2.4. 비용분석

사고로 인한 총 손실비용은 배관복구(C_{repair}), 공급중단 손실($C_{interuption}$), 가스손실($C_{product}$), 인명피해 보상(C_{human}), 건물파손 손실에 따른 소요비용($C_{reconstruction}$)으로 구성된다.

$$C_{total} = C_{repair} + C_{interuption} + C_{product} + C_{human} + C_{reconstruction} \quad (12)$$

2.4.1 복구비용

배관의 복구비용은 배관의 구경 및 도로의 종류에 따라 다르다. 복구비는 배관의 재설치에 필요한 모든 제반비용을 말한다. A도시가스의 경우 소누출에 의한 시설 재설치 비용은 평균 약300만원/건이다. 이를 근거로 다음 표 5에 누출형태별, 관경별 복구비용을 예시하였다.

Table 5. Sample estimation facility recovering.

(단위 : 천원)

구 분	소누출	대누출	파단
100A이하	3,000	4,000	6,000
300A미만	3,500	4,500	8,000
300A이상	4,000	5,000	10,000

배관 구경별, 도로 종류별, 지역별(서울, 지방 등)로 차이가 있다. 따라서 복구비는 도시가스회사 실정에 맞게 수정하는 것이 필요하다.

2.4.2 공급중단 손실비용

이 비용은 실제로 손실비용보다 더 큰 비중을 차지한다. 특히 주배관에 손상이 발생할 경우 공급권역 전체의 공급이 중단된다. Block Valve의 간격은 피해시간(원료손실)에도 영향을 주지만 특히, 공급중단 범위에 더 큰 영향을 준다.

손실비용 = 공급중단세대수×가구당평균사용량/시간

×중단시간×원료가격/m^3×이윤율(12%)

공급중단시간은 누출시간과 보수시간의 합이다. 보수시간은 특별한 정보가 없는 경우 소누출 2시간, 대누출 2시간 30분, 파단 3시간으로 하였다.

2.4.3 원료손실 비용

원료손실비용은 누출량에 비례한다. 평균 누출속도는 최대 누출속도 식 (3)에 0.33을 곱한 값이다.

원료손실비용 = 누출속도×원료가격×누출시간 (13)

누출시간은 사고인지, 사고확인, Block Valve잠금에 소요되는 시간의 합이다. 누출시간 Matrix를 도표로 나타내면 다음과 같다.

Table 6. Release time of gas.

구 분	사고인지	이동	조치
소누출	2시간	30분	5분
대누출	10분	30분	5분
파단	10분	30분	5분

만약 원격조정밸브(Remote Controlled Block Valve)가 설치되어 있다면 이동시간은 0이라 가정한다.

2.4.4 인명피해 보상비

인명피해에 대한 보상비는 교통사고 피해자 등에 대한 손해배상액 계산 등에 쓰이고 있는 방식인 호프만식 방법을 사용하였다. 즉 호프만 방식은 피해자가 장래 거두게 될 총수입에서 중간이자를 공제한 것을 배상액으로 하는 것으로서 보상비는 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다.

보상비 = 일할 수 있었을 연수 ×(연평균 근로소득-생활비·세금 등) (14)

위의 방법을 사용하여 연령대별 보상비 계산한 결과를 표 7에 나타내었다.

Table 7. Estimated value of fatality compensation with age.

연령별 (평균연령)	0~9세 (5세)	10~19세 (5세)	20~29세 (5세)	30~39세 (5세)	40~49세 (5세)	50~59세 (5세)	65세 이상
보상비 (백만원)	135	155	294	344	265	80	53

실제로 인명피해 보상비를 적용하려면 연령대별 인구분포도를 사용하여 평균값을 구해서 사용하여야 한다.

평균보상비 = Σ(연령대별 평균보상비 × 연령대의 평균 구성비) (15)

우리나라의 2001년 6월 기준 연령대별 인구분포는 그림 3과 같으며 이로부터 계산된 평균보상비는 208백만원이다. 한편, 화상피해 보상비용은 사망보상비에 장애율을 곱한 값으로 가정하였다. 장애율은 중증 50%, 중간증 10%, 경증 1%로 가정하였다.

2.4.5 건물피해 보상비

건물피해는 피해면적내 건축면적과 내부시설의 손실액의 합으로 나타낼 수 있으며, 내부시설의 가액은 공업, 상업지역은 높고 주거지역은 낮으며, 재건축비용의 0~150%의 범위이다. 여기서는 50%로 가정하였다. 평균적인 평당 건축단가는 400만원정도이다. 부록 D에 평당 건축단가 원가내역을 표시하였다. 따라서, 건물피해 보상비는,

건물피해 보상비 = 건물피해 연면적 × 면적당재건축 비용 (16)

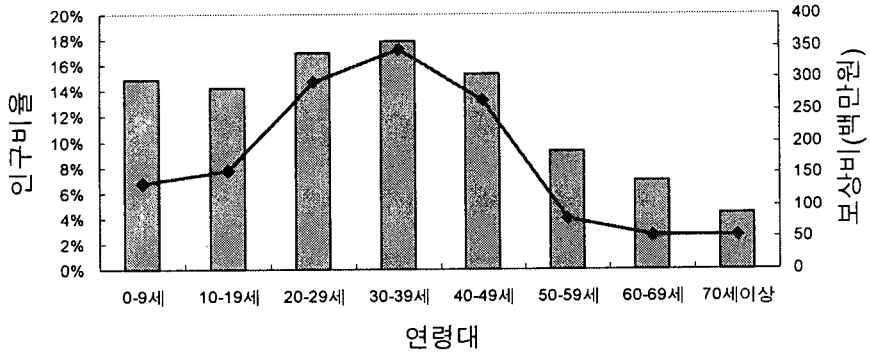

Fig. 3 Census distribution(Based on June, 2001).

한편, 건물내부 시설물에 대한 피해비용은 건물 피해액의 50%로 가정하였으므로 다음 식과 같다.

건물내부시설물 피해 = 건물피해 보상비 × 0.5 (17)

2.5. 비용 계산 사례

2.5.1 사고영향(Frequency) 평가

도시가스배관 누출의 경우 소누출/대누출/파단의 경우를 가정하였으며 이 경우 손실을 유발할 수 있는 상대적 확률을 그림 1에 나타내었다. 사고로 인한 피해영향은 단순누출일 경우에는 원료누출, 보수, 공급중단으로 인한 손실이 나타난다. 그러나, 화재가 발생했을 경우에는 인명피해, 건물피해가 부가된다. 4Kg/cm^{2}로 운전되는 400A배관을 가정했으므로 소누출/대누출/파단의 경우 홀 크기를 각각 10mm/50mm/400mm로 가정하였으며 누출속도는 각각 0.01Kg/s, 0.26Kg/s, 4.22Kg/s이다.

누출된 가스로 인해 화재가 발생했을 경우, 예측된 피해반경은 다음과 같다.

Table 8. Estimated consequence radius.

손상모드	소누출	대누출	파 단
100% 사망	0.3	1.4	5.7
50% 사망	0.3	1.7	6.7
사망시작	0.4	2.2	8.9
중간화상	0.5	2.6	10.5
경증화상	0.8	4.1	16.5
건물피해	0.4	2.1	8.7

2.5.2 손실비용 계산

원료손실비용은 누출속도×원료가격×누출시간으로 계산된다. 원료의 가격은 평균도매물가인 413원/m^3(2001. 12. 1)을 기준으로 하면, 소누출/대누출/파단의 경우 각각 5만 4천원/41만원/657만원이 된다.

Table 9. Estimated cost of material by gas release.

손상모드	소누출	대누출	파 단
원료손실액(천원)	54	410	6573

공급중단 손실비용은 공급중단 세대수, 가구당 평균사용량, 공급중단시간, 원료가격, 이윤율의 곱으로 구한다. 공급중단시간 : 2시간~3시간, 공급중단 세대수 : 20,000세대, 가구당 사용량 : 200m3/월=0.278m3/시간, 이윤율 = (462원/413원) ≒ 12%로 가정하면 손실비용은 소누출/대누출/파단의 경우 각각 1,344원/1,688원/2,002원이 된다.

Table 10. Estimated cost of gas supply interruption by gas release

손상모드	소누출	대누출	파 단
공급중단손실(원)	1,334	1,668	2,002

복구비용은 소누출, 대누출, 파단의 경우 각각 4백만원, 5백만원 및 1천만원의 정액비용을 가정한다.

Table 11. Estimated cost of gas facility repair by gas release.

손상모드	소누출	대누출	파 단
공급중단손실(천원)	4,000	5,000	10,000

2001년 6월말 기준, 서울의 경우 녹지를 제외한 면적은 352.61km^{2}이며, 인구는 10,371,744명이므로, 인구밀도는 29,414명/km^{2}이다. 배관이 상업지역에 위치한다고 가정하면, 건물밖(Outdoor) 존재확률은 0.342이다. 이를 토대로 피해 면적내 인명피해 예상인원을 구하면, 여기에, 인구 1인당 사망 또는 부상에 대한 보상비용을 곱하면 피해비용을 계산할 수 있다.

Table 12. Estimated cost of damage to human by gas release.

손상모드		소누출	대누출	파 단
사망(명/백만원)		0.006/1.1	0.10/21.6	1.57/326.7
부 상 (명/백만원)	중증	0.003/0.2	0.09/9.8	1.34/139.1
	중간증	0.01/0.1	0.11/2.2	0.87/18.0
	경증	0.02/0.4	0.54/1.1	8.64/17.9
계(백만원)		1.7	24.8	501.8

Table 13. Total estimated cost of city gas release according to the failure mode and release rate.

손상모드	소누출 (천원)	대누출 (천원)	파단 (천원)
원료손실	54,335	410,139	6,572,742
공급중단	1,334	1,668	2,002
복구비용	4,000,000	5,000,000	10,000,000
인명피해 (Outdoor)	1,650,169	34,813,341	501,851,275
건물피해 (Indoor)	0	0	1,334
건물피해	0	0	185,407,223
계 (단순누출)	4,055,669	5,411,807	16,574,743
계 (제트화재)	5,705,838	40,225,148	705,167,427

계산의 편의를 위해 대지와의 거리를 평균 4m로 균일하다고 가정하면 피해영향 면적은 파단의 경우만 고려하면 되며 51.0m^{2}가 된다. 대지내 건축물의 용적률을 300%라고 가정한다면 피해영향 건축연면적은 152.9m^{2}가 되고 재건축비용과 인명피해 비용은 각각 1억 854만원과 133만원이 된다.

건물화재로 인한 2차적 인명피해는 인구밀도, 건물내 존재할 확률, 화재시 단위 인구당 사망확률(0.5%가정), 부상확률(1.5%가정)로서 구하였다. 전체 손실비용을 계산할 때 인명피해와 건물피해는 화재가 발생했을 경우에만 적용되며, 단순누출일 경우에는 제외된다.

3. 결 론

도시가스배관에서 사고가 발생할 때 그 영향을 평가하는 방법론에 대하여 현실을 고려한 모델을 개발하였다. 즉 사건수목분석(ETA)을 통하여 발생할 수 있는 사고의 형태를 도출하였다. 이 경우 누출의 다소에 상관없이 폭발의 위험성은 그다지 크지 않으므로 화재에 의한 피해가 주된 것이며 이 때 주로 제트화재에 의한 피해가 발생한다. 가스의 누출 속도는 음속인 경우와 아음속인 경우에 대하여 계산하였다. 가스의 누출시 화재가 발생하여 사망을 유발하는 열강도를 계산하였고 화상피해를 입을 경우 화상정도에 따른 열강도의 범위를 계산하였으며, 도시가스시설 인근의 건물에 피해를 줄 수 있는 경우 그 피해범위를 산정하는 방법을 제시하였다.

또한 사고로 인한 비용을 복구비용, 공급중단으로 인한 손실 비용, 누출에 의한 원료가스 손실 비용, 인명피해 보상비용 및 건물피해 보상비용으로 세분하였으며 인명피해와 건물피해 보상비용 산정시 적절한 가정을 도입하여 사고로 인한 총 손실비용을 계산하는 방법을 제시하고 국내외의 적절한 자료를 활용하여 각각의 비용을 계산하였다. 이 자료를 다음의 연구에서 보다 체계적으로 연구할 사고의 발생빈도 자료와 함께 활용하면 도시가스사의 위험 혹은 손실을 예측하고 저감할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구결과는 과학기술부와 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 국가지정연구실(NRL) 프

로그램의 지원결과로 수행되었으며 연구비 지원에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. Stephens, M. J. (2000), 'A Model for Sizing High Consequence Areas Associated with Natural Gas Pipelines', GRI Report No. GRI-00/0189
2. EGIG (1993), 'Gas Pipeline Incidents', Report 1970-1992, European Gas Pipeline Incident Data Group.
3. Jo, Y.D. (2001), 'Explosion Hazard Analysis in Partially Confined Area', Korean J. Chem Eng. 18(3).
4. Technica (1988) 'Techniques for Assessing Industrial Hazards' A Manual. World Bank Technical Paper Number 55, The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, Washington, DC, USA
5. Jones, D. A. and Fearnehough, G. D. (1986), 'Natural Gas Transmission by Pipelines', Fifth International Symposium on Loss Prevention and Safety
6. Lees, P.L. H. (1980), 'Loss Prevention in the Process Industries', Butterworth Group, London, U.K.
7. Hymes, I. (1983), 'The Physiological and Pathological Effects of Thermal Radiation', Systems Reliability Directorate, Report SRD, R275, Culcheth, Warrington, UK.
8. Bilo, M. and Kinsman, P. R. (1997), 'Thermal Raidiation Criteria Used in Pipeline Risk Assessment', Pipes & Pipelines International, November-December.
9. 한국가스안전공사, 1998. '도시가스배관 안전성평가(SPC) 기법 개정판'