



가연성가스 수송배관에 대한 목표 신뢰도 수준 설정에 관한 연구

†이진한 · 조영도 · 문종삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2018년 10월 23일 접수, 2018년 12월 5일 수정, 2018년 12월 6일 채택)

A Study on Establishing Target Reliability Levels for Flammable Gas Transmission Pipelines

†Jin-Han Lee · Young-Do Jo · Jong-Sam Moon

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

(Received October 23, 2018; Revised December 5, 2018; Accepted December 6, 2018)

요약

신뢰도 기반 접근법(RBDA)에서, 신뢰도 목표는 설계 및 유지관리 단계에서 관계되는 한계상태를 충족할 수 있는 정도의 안전 수준을 가지는 지 확인하기 위해서 사용된다. 우리나라의 경우 가연성 가스 배관에 대한 신뢰도 목표는 아직 개발되거나 활용되지 못하고 있다. 다만 신뢰도 목표 대신에 사회적 위험과 개인적 위험과 같은 위험 측정지표에 대한 허용가능(tolerable) 판단기준이 배관의 위험관리에 적용되어 왔다. 본 논문에서는 고압 천연가스 배관에 대한 정량적 위험평가 시 판단기준으로 삼는 사회적, 개인적 위험 판단기준을 사용하여 신뢰도 기반 접근법의 핵심요소인 목표 신뢰도를 개발하는 절차를 소개하고자 한다. 또한 소개된 절차를 통해 천연가스와 수소가스 수송배관에 대한 신뢰도 목표를 제안한다.

Abstract - In reliability based design and assessment (RBDA) methodology, reliability targets are used to ensure that safety levels are met relevant limit states in the stage of design and maintenance. The target reliability for flammable gas pipelines have not been developed yet in Korea. Instead of the reliability targets, the tolerable criteria for risk measures such as societal and individual risk have been applied in pipeline risk management. This paper introduces the procedures to develop the target reliability using tolerable risk criteria for societal and individual risk which can be enforced for high pressure natural gas pipelines in quantitative risk assessment. In addition, we propose the target reliability for natural gas and hydrogen gas transmission pipelines by the procedures.

Key words : target reliability, hydrogen, natural gas, pipeline, acceptable risk level

1. 서론

위험 관리(risk management)란 미래에 일어날 사건의 확률과 그 위험이 미치는 피해영향을 예측하는 위험평가를 포함하는 데 위험에 관계된 인자들을 모니터링하고, 확인하고, 관리하기 위하여 관리 전략, 프로세스, 자원 및 도구 등을 제공하는 일련의 과정 전체를 말한다. 마찬가지로 가스배관에 대한 위험

을 관리하기 위해서는 그 위험을 평가할 수 있어야 한다. 위험을 평가하는 방법 중 위험관리에 가장 유용한 방법은 정량적 위험평가 방법이다. 이 방법은 노력과 비용이 많이 소요되는 단점이 있는 반면 위험관리 전략 수립에 명확한 근거를 제공해 준다는 점에서 최근 널리 활용된다. 정량적 위험평가를 통한 위험관리는 다양한 위험관리 전략을 설정하여 위험을 평가한 후 목표수준(또는 허용수준)에 충족하는 지를 비교함으로써 최적의 위험관리 전략을 도출하는 절차를 따른다. Fig. 1에 위험(risk) 또는 신뢰도(reliability)를 관리하는 절차를 나타내었다.

†Corresponding author:imhappy@kgs.or.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

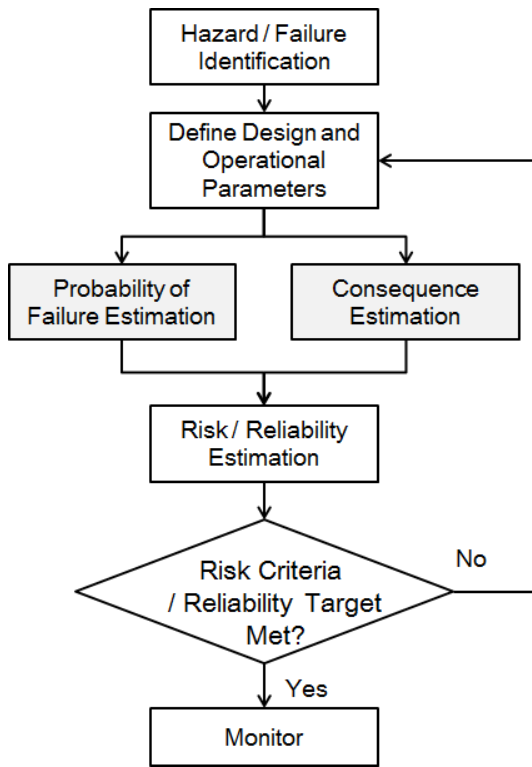


Fig. 1. Risk / Reliability estimation and management process.

Fig 1의 절차에서도 알 수 있듯이 위험기반 관리와 신뢰도기반 관리 절차가 유사하다. 다만 관리의 대상이 위험이냐 아니면 신뢰도냐에 차이가 있다. 먼저 위험에 대해 살펴보면, 위험은 식 (1)과 같이 사고를 유발하는 고장의 확률(PoF, probability of failure)와 그 고장에 따른 피해영향(CoF, consequences of failure)의 곱으로 표현될 수 있다. 반면 신뢰도는 안전하게 유지되는 확률로서 식 (2)와 같이 1에서 고장의 확률 (PoF)을 뺀 값으로 표현된다.

$$Risk = P_f \times C_f \quad (1)$$

$$Reliability = 1 - P_f \quad (2)$$

식 (2)에 보이는 것처럼 신뢰도에는 표면적으로는 피해영향이 포함되어 있지 않다. 그렇지만 신뢰도 목표설정 시에 피해영향을 고려하기 때문에 위험기반 관리와 신뢰도기반 관리 방법 중 어떤 방법을 적용할 지는 관리대상의 특성에 의존한다.

장거리 배관에 대한 위험 기반 관리와 신뢰도 기반 관리의 차이점을 살펴보면, 위험기반 관리는 배관 주변에 있는 사람, 건물 등 수용체 (receptor)의 관점에서 배관이 얼마만큼 위험할 것인가를 바라보는 것이나 신뢰도 기반 관리는 배관의 관점에서 고장의 빈도가 얼마일 것인가에 대해서 바라본다. 이런 이유로 목표관리 측면에서 보면 위험관리의 목표 (risk target)는 위험시설이 위치한 특정 구역과 그 주변에 미치는 위험수준을 관리할 때 사용되며, 신뢰도 목표 (reliability target)는 어떤 시설이 설치된 지역특성(class location) 또는 결함(defect)에 대한 관리에 특화되어 있다. 따라서 장거리 배관과 같이 배관 경로를 따라 매설지의 특성이 달라지는 경우 그 배관의 관리를 위해서는 신뢰도 기반 관리가 위험기반 관리 보다 더 유용하다.

위험기반 관리를 위해 위험의 양을 평가하는 대표적인 지표는 사회적 위험(societal risk)과 개인적 위험(individual risk)이다. 참고로 신뢰도기반 관리를 위한 신뢰도 측정지표는 식(2)에서 알 수 있듯이 배관의 고장확률(PoF)이다.

정량적 위험 측정지표인 개인적 위험은 배관으로부터 일정 거리에 있는 1년 동안 특정위치에 있는 수용체(일반적으로 사람)이 배관 사고로 인해 사망할 확률로 표현된다. 이 때 수용체의 관점에서는 배관 경로를 따라 위험거리가 달라지므로 개인적 위험은 수용체 주변 배관경로에 따라 발생하는 위험을 적분이란 복잡한 과정을 거쳐 예측한다. 사회적 위험은 배관의 특정 위치에서 누출 등 사고가 발생했을 때 주변 지역사회의 관점에서 측정되는 전체 위험이다. 사회적 위험은 흔히 사고발생 누적 빈도와 사고로 인해 발생하는 예상 사망자수로 표현되는 데 사고빈도와 그 사고에 따른 사망자 수를 도식화한 F-N(Frequency-Number of fatality)커브로 흔히 표현된다. 따라서 사회적 위험 충족여부는 F-N커브 도식화란 부가적 작업을 통해 확인하는데 배관의 경우 구역을 정하고 그 구역마다 F-N커브 도식화해야 하는 번거로움이 있다.

제도적으로 위험 목표(risk target)를 정해 놓고 위험기반 관리를 하는 대표적 국가는 영국이다. 배관도 위험기반 관리의 대상으로 포함하여 규제하고 있다. 영국의 경우 개인적 위험 판단기준으로 1×10^{-6} fatalities /yr이하는 허용되며, 1×10^{-4} fatalities /yr이상의 위험은 불허된다. 중간 영역은 위험을 최대한 낮추기 위해 적용 가능한 방법을 고려해야 하는 영역(ARARP, as low as reasonably practicable)이다. 사회적 위험 판단기준은 영국 천연가스 배관 관련 상세 설계규격인 IGE/TD/1 [1]에 F-N 커브

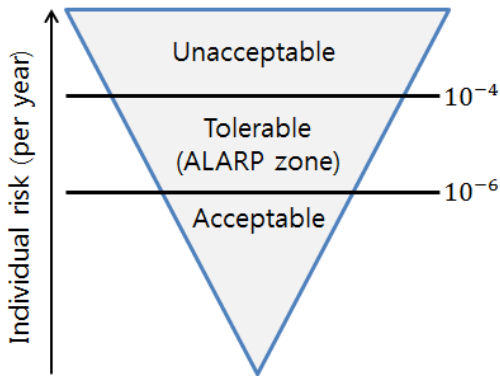


Fig. 2. Individual risk criteria for high pressure gas pipelines.

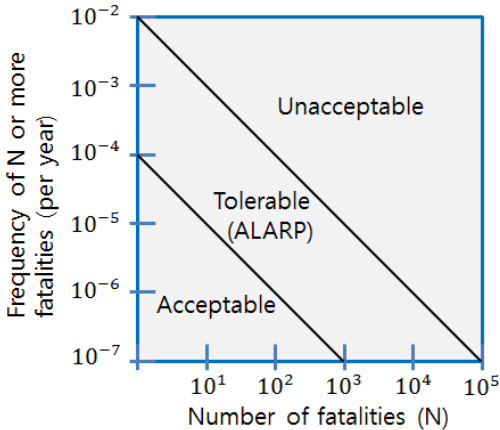


Fig. 3. Societal risk criteria for high pressure gas pipelines.

그래프로 표현되어 있다. 우리나라의 경우 제도적으로 위험기반 관리를 의무화한 국가는 아니다. 다만, 고압 천연가스 배관에 대한 정량적 위험평가 시 사회적 위험과 개인적 위험에 대한 판단기준을 설정하여 활용하고 있다. 이에 대해서는 Lee 등[2]이 발표한 논문에서 잘 설명되어 있다. 개인적 위험 판단 기준은 영국의 경우와 동일함데 Fig. 2와 같다. 사회적 위험 판단기준은 Fig. 3과 같이 설정되어 있다.

한편, 석유와 천연가스 수송하는 배관시스템에 대한 신뢰도 기반 설계 및 평가법 (Reliability Based Design and Assessment)에 대한 국제표준인 ISO 16708[3]에는 신뢰도 목표를 설정하는 절차를 설명하고 있다. 더 나아가 캐나다 배관설계 기준인 CSA

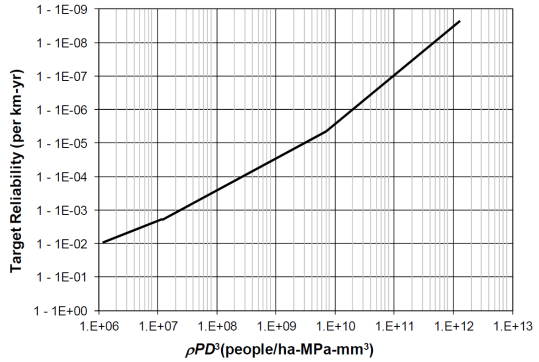


Fig. 4. Reliability targets for natural gas pipelines from Annex O of CSA Z662.

Z662-15[4]의 Annex O에는 천연가스 배관에 한해서 Fig. 4와 같이 신뢰도 목표를 명확히 설정하고 있다. 한편, 국내의 경우도 신뢰도 기반 설계 및 평가법과 같은 확률론적 방법에 따라 부식 배관의 위험을 평가하는 방법이 소개[5, 6]된 바 있으나 이 연구에서는 기존 캐나다의 신뢰도 목표를 준용하여 사례연구를 수행하였다. 즉 국내 실정에 맞게 신뢰도 목표(reliability target)를 별도로 제안하지는 않았다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 정량적 위험평가 시 이미 적용되고 있는 사회적 위험과 개인적 위험에 대한 판단기준을 토대로 국내에서 적용될 수 있는 신뢰도 목표 설정하는 절차를 소개하고 그 절차에 따라 대표적 가연성 가스 수송배관인 천연가스 배관과 수소가스 배관에 대한 신뢰도 목표를 제안하고자 한다.

II. 접근방법

2.1. 신뢰도 목표 수준

배관의 신뢰도 목표 수준(target reliability level)의 설정은 신뢰도 기반 관리를 위한 매우 중요한 단계이다. 배관 설계의 절대 목표는 고장이 전혀 없도록 설계하는 것이지만 이는 비실용적이다. 따라서 안전에 대한 가장 합리적인 접근법은 관련된 이해관계자가 수용할 수 있는 허용 가능한 수준까지 고장확률 (PoF)을 제한하는 것으로 목표수준을 정해야 한다. 배관의 경우 배관 길이 방향으로 연속적으로 주변 인구밀도가 변하므로 위험도 변한다. 서론에서 언급하였듯이 허용위험을 목표로 관리하는 경우 이 목표를 충족하는 지에 대해 장거리 배관 지점마다 개인적 위험과 사회적 위험 충족여부를 직관

적으로 판단하기가 쉽지 않다. 신뢰도 목표는 위험 목표와는 달리 측정지표가 하나이다. 따라서 신뢰도 기반 관리방법은 배관과 같이 매설위치에 특화된 관리에 적합하다. 이러한 이유로 본 연구에서는 신뢰도 목표 설정하고자 하는 것이다. 서론에서 설명한 바와 같이 신뢰도 기반 관리방법은 위험 기반 관리 방법과 다른 별도의 접근 방법이 아니라 신뢰도 목표에 피해영향이 포함되어 있다. 다시 말해 신뢰도 목표를 충족하는 경우 위험 목표(target) 또는 판단 기준(criteria)도 충족한다는 의미를 내포하고 있다.

신뢰도 기반 접근법은 대상 배관의 최대 허용 고장 확률을 정의할 때 사용한다. 식 (1), 식 (2)로부터 연간 배관 고장이 나지 않을 확률로 정의되는 신뢰도 목표(R_T)는 식 (3)으로 정의된다.

$$R_T = 1 - P_{Af} = 1 - R_A / C_f \quad (3)$$

여기서, R_T 는 목표 신뢰도, P_{Af} 는 허용 가능한 배관 단위길이와 단위기간 (km-year) 당 사고확률, R_A 는 허용 가능한 최대 위험수준, C_f 는 해당 사고 시 피해영향으로 여기서는 사망자 수(N)를 사용한다. 식 (3)에서 알 수 있듯이 허용 가능한 최대 고장 확률(결론적으로 목표 신뢰도)을 개발하기 위해서는 기존에 적용 중인 허용 가능한 최대 위험 수준에 부합해야 하며, 적절한 피해영향(C_f)에 대한 검토가 필요하다.

2.2. 사고피해 영향

누출된 가스는 점화원에 의해 착화되는 경우 복사열로 인해 주변의 사람에게 피해를 준다. 이때 예상되는 사망자 수는 다음 식으로 표현된다[8].

$$N = P_{ig} A_{haz} \rho \tau \quad (4)$$

여기서, P_{ig} 는 착화확률, A_{haz} 는 위험지역의 넓이, ρ 는 인구밀도, τ 는 사고 발생 시 거주(존재) 확률로서 여기서는 참고문헌[8]에서 제안한 0.4 (40%)를 적용하였다. 천연가스(메탄이 주성분) 배관에서 사고가 발생한 경우 착화 확률은 Nessim 등[8]이 제안하여 잘 알려져 있으며 식 (8)과 같이 배관의 직경에 비례한다.

$$P_{ig} = 4.92 \times 10^{-4} D \quad (5)$$

여기서 D (mm)는 배관의 직경이다. 한편, 천연가스배관 이외의 가스배관에 대한 누출 시 착화확

률에 대해서는 천연가스 배관망처럼 대규모로 매설되어 있지 않아 기존 연구결과를 찾기 어렵다. 따라서 천연가스배관의 착화확률로부터 알고자 하는 가스의 특성에 따른 관계로부터 착화확률을 유추하는 방법을 사용하였다. 착화확률은 착화범위에 있는 증기운의 바닥넓이에 비례한다고 가정할 수 있다. 증기운의 바닥넓이는 식 (5)과 같이 누출 직경에 비례하고 또한 착화범위에 있는 증기운 부피의 제곱근에 비례한다고 가정할 수 있으므로 식 (6)로 표현된다.

$$P_{ig} \propto D \propto \sqrt{Q_c} \quad (6)$$

여기서, Q_c 는 착화범위에 있는 증기운의 부피로서 누출속도에 의존한다. 한편, 수소의 경우 착화범위(4~75 % 부피 분율)는 메탄의 착화범위(5~15 % 부피 분율)가 매우 넓어 착화범위에 드는 증기운의 부피가 메탄의 7.3배에 달한다. 수소는 메탄보다 착화확률이 약 2.7배($\sqrt{7.3}$) 높다고 가정하였다. 그러면 식 (5)와 유사한 형태로서 수소의 착화확률은 다음과 같다.

$$P_{ig} = 1.33 \times 10^{-3} D \quad (7)$$

식 (4)의 위험지역의 넓이 (A_{haz} , hazard area)는 Stephens[7]이 제안한 바와 같이 원형으로 가정된다. 이러한 가정에 따라 위험반경 (radius of hazard area)은 다음 식으로 표현된다.

$$r_h = \sqrt{\frac{c_1 P D^2}{I_{cr}}} \quad (8)$$

여기서, c_1 은 계수로서, 천연가스에 대해서는 0.1547 $kW/m^2 Pa$ [7], 천연가스 외의 가연성 가스에 대해서는 참고 논문[8]에 식 (8)의 형태의 위험반경을 구하는 식을 찾을 수 있다. 본 논문에서 고려하고 있는 수소가스에 대한 c_1 값은 참고 논문[8]으로부터 0.0851 $kW/m^2 Pa$ 으로 계산되었다. 또한, P (Pa)는 배관 압력이며, I_{cr} (kW/m^2)는 허용 열강도 기준이다.

위험반경 안의 사망자의 수를 구하기 위해서는 Fig. 5와 같이 두 개의 위험구역을 고려할 수 있다 [7]. 이는 열강도(I_h)의 상한과 하한으로 정의될 수 있는데 여기서는 건물 밖에서 복사열에 노출될 경우에는 하한 값은 12.6 kW/m^2 , 상한 값은 31.6 kW/m^2 , 건물 안에서 복사열에 노출되는 경우 하한 값은 15.8 kW/m^2 , 상한 값은 31.6 kW/m^2 을 사용하였다.

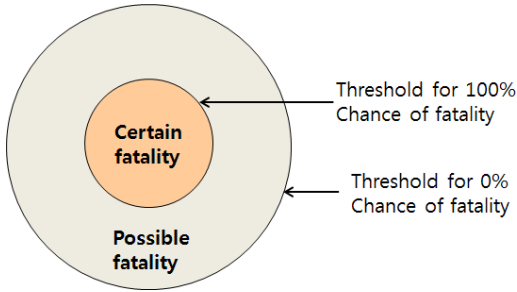


Fig. 5. Illustration of the approach for estimating the expected number of fatalities.

Fig. 5와 같이 두 개의 위험구역 안에서 발생할 수 있는 사망자의 수는 식 (9)와 같다.

$$N = P_{ig} \rho \tau \pi \left[\frac{P_{in} (0.25(r_{i-0}^2 - r_{i-100}^2) + r_{i-100}^2)}{+ P_{out} (0.5(r_{o-0}^2 - r_{o-100}^2) + r_{o-100}^2)} \right] \quad (9)$$

여기서, r_{i-0} 와 r_{i-100} 은 건물 내에 있는 수용체(사람)에 대한 하한(0 % 사망)과 상한(100%사망)의 열강도(heat intensity)에 해당하는 위험지역 반경이고, r_{o-0} 와 r_{o-100} 는 건물 밖에 위치한 수용체에 대한 하한과 상한의 열강도에 해당하는 위험지역 반경이다. P_{in} 와 P_{out} 는 각각 건물 내부와 외부에서 보내는 시간 확률 값으로서 90 %, 10 %를 각각 적용하였다.

2.3. 신뢰도 목표 설정

전술한 바와 같이 우리나라의 경우 위험관리 목표는 고압 천연가스 배관에 적용되는 목표로서 사회적 위험목표와 개인적 위험목표가 있다. 신뢰도 목표는 위험목표와 일관성을 유지해야 한다. 따라서 기존에 위험 목표를 따르고 있었다면 그 목표에 부합하도록 신뢰도 목표를 설정하게 된다.

배관에 대한 전형적인 사회적 위험 지표는 사망을 일으키는 고장확률(F_N)과 그 고장으로 인한 사망자의 수(N)의 관계는 Fig. 3의 도식화한 F-N커브로 표현된다. Fig. 3의 허용가능(acceptable) 영역과 ALARP 영역을 구분하는 선은 다음의 식 (10)과 같은 관계식으로 표현할 수 있다.

$$F_N = \frac{10^{-4}}{N} \quad (10)$$

식 (9)로부터 계산된 피해영향인 사망자 수 (N)을 사회적 위험 목표를 나타내는 식 (10)에 대입하

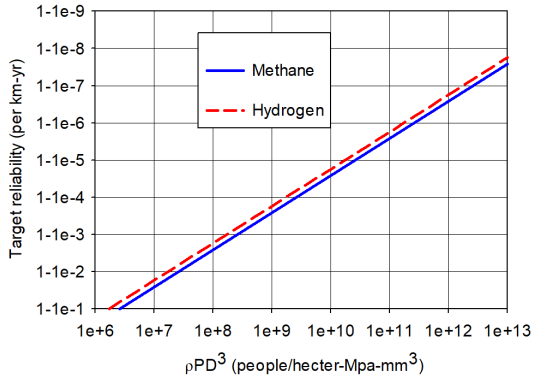


Fig. 6. Reliability targets as a function of population density based on societal risk.

면 허용 가능한 목표 고장확률(F_N)을 구할 수 있는데 천연가스 배관과 수소 배관에 대한 신뢰도 목표 ($1-F_N$) 계산 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6의 신뢰도 목표를 보면 배관의 압력과 직경이 같다면 수소의 경우 위험거리는 메탄보다 적지만(0.68배) 착화확률은 메탄보다 높아(2.7배) 결과적으로 목표 신뢰도가 더 높은 것으로 계산되었다. 즉 동일한 압력, 동일한 환경으로 운전되는 천연가스배관과 수소가스 배관이 있다면 수소가스 배관이 더 높은 신뢰도가 요구된다.

개인적 위험도($Risk_{id}$)는 배관의 위험지역에 위치한 한명의 사람에 대한 사고에 의한 연간 사망확률로 정의되며, 다음과 같이 계산 가능하다.

$$Risk_{id} = P_f P_{ig} L_{ir} \tau \quad (11)$$

여기서, P_f 는 고장확률 여기서서는 사망을 유발한 고장 확률, P_{ig} 는 점화확률, L_{ir} 은 사고발생시 영향을 미치는 고려대상 지역에 있는 배관의 길이로서 상호작용 길이(interaction length), τ 는 사고 시점에 배관 매설지에 거주하는 확률이다. 상호작용 길이는 위험지역(hazard area)과 비슷하게 상호작용 길이, 배관의 환경, 압력, 복사열강도의 함수이다. 여기에서는 사고 시 그 시간에 100% 배관에 위치하고 있다고 가정 ($\tau = 100$)하였다. 개인적 위험도 판단기준을 살펴보면 Fig. 2에서 알 수 있듯이 연간 허용가능 개인적 위험 수준은 $10^{-4}/yr$ 와 $10^{-6}/yr$ 의 사이를 ALARP영역으로 구분하고 있다. 여기서는 사회적 위험의 목표와 마찬가지로 허용가능(acceptable) 영역과 ALARP (As low as reasonably practicable) 영역을 구분하는 $10^{-6}/yr$ 를 신뢰도 목

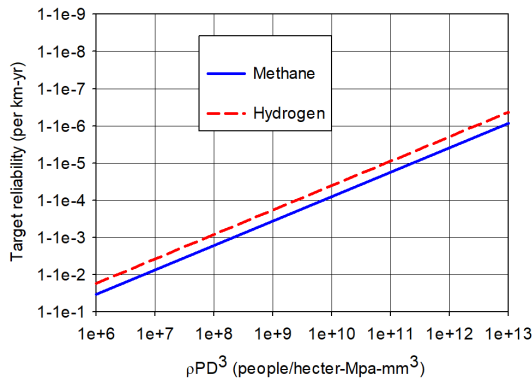


Fig. 7. Reliability targets as a function of population density based on individual risk.

표를 계산하는 데 사용하였다. 한편, 100 % 그 위치에 거주한다는 가정($\tau=100$ %)한 것과 동일한 관점에서 개인적 위험에 사용하는 열강도(I_{ir})는 비상대피가 어렵다는 가정 하에 6.3 kW/m^2 를 사용하였다. 참고로 이 값은 1분 동안 비상대피 없이 견딜 수 있는 열강도(heat intensity or radiation flux)이다. 그러면 식(12)으로부터 상호작용 거리를 구할 수 있다.

$$L_{ir} = \sqrt{\frac{c_1 PD^2}{I_{ir}}} \quad (12)$$

그러면 식 (11)에 식 (12)의 계산결과를 대입하면 Fig. 7과 같은 결과를 얻을 수 있다. 사회적 위험의 경우와 마찬가지로 개인적 위험 측면에서도 동일한 압력, 동일한 관경으로 운전되는 천연가스배관과 수소가스 배관이 있다면 수소가스 배관이 더 높은 신뢰도가 요구된다.

III. 결과 및 토의

3.1. 신뢰도 목표 제안

사회적 위험 판단기준과 개인적 위험 판단기준을 모두 고려하여 신뢰도 목표를 선정한 결과를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 8은 천연가스 배관에 대해 신뢰도 목표를 제안한 것이며, Fig. 9는 수소가스 배관에 대해 신뢰도 목표를 제안한 것이다. Fig. 8과 Fig. 9에서 보는 것처럼 각 ρPD^3 값이 적은 구간에서는 개인적 위험 판단기준에 따른 이 용한 목표선을 사용하였으며, ρPD^3 값이 큰 영역에서는 사회적 위험 판단기준을 이용한 목표선을 전체 신뢰도 목표 설정에 사용됨으로써 신뢰도 목표를 충족하는 경우 사회적 위험과 개인적 위험 모

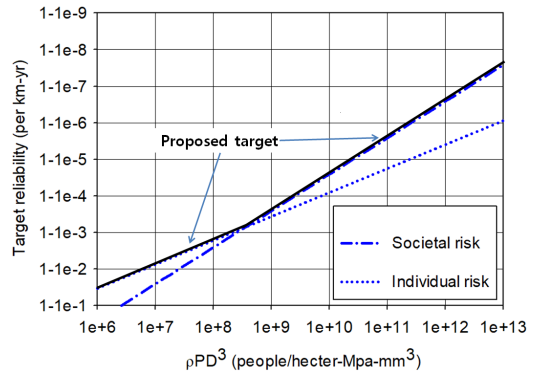


Fig. 8. Reliability targets from all two criteria considered for natural gas pipelines.

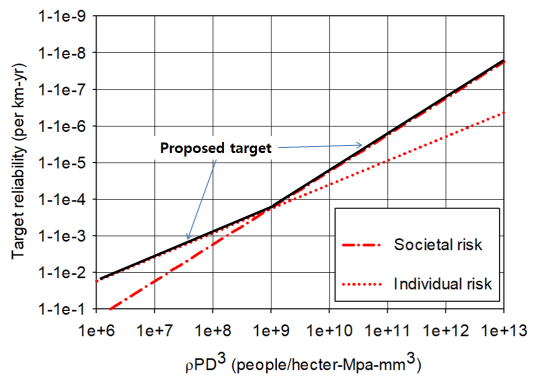


Fig. 9. Reliability targets from all two criteria considered for hydrogen gas pipelines.

두를 충족할 수 있도록 하였다.

3.2. 한계

제안된 신뢰도 목표는 Fig. 4에 제시된 캐나다에서 배관설계 기준인 CSA Z662-15[4]의 Annex O보다 더 보수적이지는 않다. 이는 우리나라 천연가스 배관에 적용된 사회적 위험 기준(criteria)[2]이 영국 등 유럽보다 덜 보수적이기 때문으로 판단된다.

개인적 위험의 설정기준은 인구밀도가 매우 낮은 지역에 설치된 관경이 작은 배관에 대해서는 보수적인 목표로 보일 수 있다. 이는 2.3에 개인이 사고 발생 시 배관 주변에 100% 거주한다는 것을 가정한 것에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 보수성을 줄이기 위해서는 추가적인 분석이 필요하다.

수소가스 수송배관에 신뢰도 목표를 설정할 때 수소배관의 누출에 대한 착화확률 추정식이 없어

천연가스 배관의 착화확률을 기준으로 가연범위에 있는 수소가스 증기운의 부피 비율로부터 구하였다. 또한, 실제 수소는 점화에너지가 매우 낮은데 이에 대한 고려가 없었다. 향후 수소배관의 착화확률에 추정모델이 개발되면 그 모델을 적용하여 신뢰도 목표를 재설정할 필요가 있다.

IV. 결 론

신뢰도 기반 접근법은 위치기반 관리방법으로 위험기반 방법보다 장거리 배관의 관리에 더 유용하다. 장거리 배관의 경우 배관사고 시 피해영향은 압력, 관경, 주변 인구밀도에 의존한다. 따라서 이런 피해영향을 미리 고려한 신뢰도 목표를 설정하여 관리하게 되면 더 유리하다. 본 연구를 통해 위험기반 접근법에 따른 위험 측정지표인 사회적 위험과 개인적 위험의 판단기준으로부터 신뢰도 목표를 설정하는 방법을 소개하였다. 또한 이 방법에 따라 대표적 가연성 가스인 천연가스와 수소가스 배관의 관리를 위한 신뢰도 목표를 도출하여 제안하였다.

배관운영자는 기존의 위험기반 관리보다 목표관리가 쉬운 신뢰도 기반 관리방법론[3,4, 5, 6]을 채택하여 관리한다면 배관의 수명 전주기 동안 신뢰도 변화를 예측하고 신뢰도 목표를 충족하도록 효과적인 검사와 보수방법을 선택하여 시행할 수 있다. 그러나 그동안 국내에는 신뢰도 목표가 설정되어 있지 않아 신뢰도 기반 방법론의 실질적 적용에 한계가 있었다. 본 논문에 제안된 신뢰도 목표는 국내에 적용되고 있는 위험기반 목표인 사회적, 개인적 허용위험 기준을 충족하도록 설정되었으므로 현행 위험기반 접근법의 허용위험 기준을 대체하여 적용할 수 있다. 따라서 향후 사회적 합의와 검증을 거쳐 제안된 배관 신뢰도 목표가 현행 허용위험 기준을 대체하여 사용하는 것이 허용된다면 신뢰도 기반 관리방법의 접목하여 배관을 관리하는 사례가 늘어날 것으로 기대한다.

REFERENCES

- [1] IGM, "Steel pipelines and associated installations for high pressure gas transmission, *Institution of Gas Engineers & Managers*, IGM/1/Ed. 5, (2016)
- [2] Lee, K.-S., Jo, Y.-D., Ryou, Y.-D., Ko, J.-W., "A Study on the Procedure of Quantitative Risk Assessment for High Pressure Natural Gas Pipeline, *KIGAS*, 12(2), 25-31, (2008)
- [3] ISO 16708, "Petroleum and natural gas industries - Pipeline transportation systems - Reliability-based limit state methods", *International Organization for Standardization*, (2006)
- [4] CSA, "Oil and gas pipeline systems", *Canadian Standards Association*, CSA Z662-15, (2007)
- [5] Lee, J. H., Kim, Y.S., Kim, L. H., "Simplified Method for Predicting Failure Probability of Pipelines with Corrosion Defects", *KIGAS*, 14(4), 31-36, (2010)
- [6] Lee, J. H., Jo, Y. D., Kim, L. H., "Reliability Assessment for Corroded Pipelines by Separable Monte Carlo Method", *KIGAS*, 19(5), 81-86, (2015)
- [7] Stephens, M. J., "A Model for Sizing High Consequence Areas Associated with Natural Gas Pipelines", *Gas Research Institute*, GRI-00/0189, (2000)
- [8] Nessim M, Zhou W, Zhou J, Rothwell B. "Target Reliability Levels for Design and Assessment of Onshore Natural Gas Pipelines", *J. Pressure Vessel Technology*, 131(6), (2009)
- [9] OPS, "Potential Impact Radius Formulae for Flammable Gases Other Than Natural Gas Subject to 49 CFR 192", *Department of Transportation*, TTO Number 13, (2005)