

## 수소수송배관의 위험평가

### Risk Analysis of Hydrogen Transmission Pipeline

조영도, 김지윤, 이광원\*

한국가스안전공사 가스안전연구원, \*호서대학교, 환경안전공학부

#### 1. 서론

지구환경문제에 대한 기후협약에 의하여 탄소세 부과 등으로 선진국에서는 탄소 발생을 억제할 수 있는 차세대의 새로운 에너지 순환 시스템으로 수소를 거론하고 있다. 수소는 친환경적 청정기능 특성뿐만 아니라 다양한 에너지원으로부터 제조 가능하므로 에너지 전달 매개체로 가장 적합한 물질로 인식되어 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 수소에너지에 대하여 최근 매우 활발히 연구를 수행하고 있다. 수소는 다른 탄화수소에 비하여 에너지 저장밀도가 낮고 폭발위험성이 높은 단점을 가지고 있는 물질이므로 에너지 매개체로 활용하기 위하여 무엇보다 우선적으로 저장·수송에서 위험의 문제점이 해결되어야 한다. 즉 대량의 수소생산 장소에서 분산된 사용 장소까지 경제적인 공급 시스템의 안전성확보가 수소를 에너지매개체로 사용하는데 있어서 우선적으로 검토되어야 할 문제이다.

따라서 본 연구에서는 수소를 배관으로 수송할 때 발생하는 위험요소를 살펴보고, 위험요소에 따라 피해거리를 분석한 다음 수소배관과 건물간의 최소이격 거리를 제시하고자 한다.

#### 2. 위험평가

수소가스의 상온에서 물성은 표. 1에서 볼 수 있듯이 최소점화에너지가 다른 연료가스에 비하여 매우 작고 또한 연소범위가 매우 넓다. 따라서 타 연료에 비하여 화재나 폭발 위험성이 높게 나타나게 된다. 그리고 단위질량 당 발열량은 천연가스에 비하여 3배 정도 높지만, 밀도가 천연가스에 비하여 1/6정도 되므로 부피당 발열량으로 환산하게 천연가스가 오히려 배관을 통하여 수송할 수 있는 열량은 높은 것을 알 수 있다. 그러므로 수소의 경우 동일한 조건의 배관을 통하여 천연가스보다 에너지 수송량이 적다는 단점이 있다. 이러한 물성을 이용하여 배관에서 누출속도 및 화재·폭발 위험성을 분석하였다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 수소가스의 누출 후 즉시 점화 될 경우 폭발위험이 있고, 어느 정도의 지연점화가 있는 경우에는 폭발과 화재 위험이 있다. 수소가스의 부력의 영향으로 지면에 점화원이 존재할 경우 지연점화 가능성은 거의 없게 되고, 누출 후 즉시 또는 약간지연 점화에 의하여 연소범

위에 있는 가스폭발에 의한 피해 시나리오와 계속 누출되는 가스 점화에 의한 제트 화재의 피해시나리오를 고려할 수 있다.

Table 3-1-1. Physical property data of hydrogen at 15°C.

| Parameter                     | Value                     | Unit               |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------|
| Specific heat of gas          | 28.78                     | J/mol.K            |
| Specific heat ratio           | 1.41                      | -                  |
| Density of gas at 1atm        | 0.09                      | kg/m <sup>3</sup>  |
| Heat of combustion            | 1.419 x 10 <sup>8</sup>   | J/kg               |
| Viscosity of gas              | 0.8272 x 10 <sup>-5</sup> | N.s/m <sup>2</sup> |
| Minimum ignition energy       | 0.02                      | mJ                 |
| Lower flammable concentration | 4                         | %                  |
| Upper flammable concentration | 79                        | %                  |

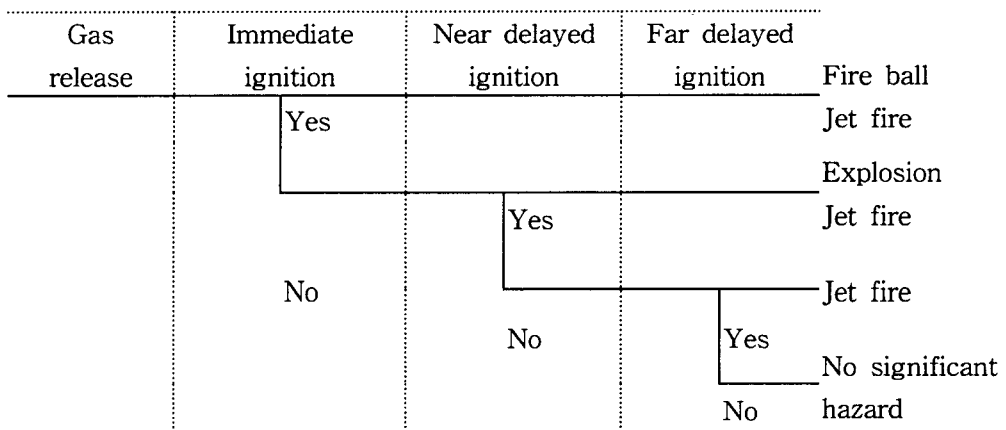


Fig. 1. Event tree for hydrogen transmission pipeline.

수소배관으로부터 건물의 최소이격거리를 수소배관이 완전히 파열되었을 경우 화재 또는 폭발에 의하여 주변의 사람이 사망할 가능성이 1%인 거리로 정의하여 아래와

같이 분석 할 수 있다.

### 폭발에 의한 피해거리

수소가스의 수송배관에 파열에 의하여 가스가 누출될 경우 개방공간에서의 가스 폭발피해해석을 TNT상당량으로 해석하였다. 폭발 가능한 가스의 최대량은 누출 시작시점에서 10초경과 후 최대가 되고 다시 감소하게 된다. 이는 가스누출 초기 난류에 의하여 버섯형태의 가스운이 형성되고, 시간이 경과함에 따라 부력에 의하여 고공으로 확산되며 주변공기와 희석되어 연소 가능한 가스량은 감소하게 된다. 고압 수소배관의 파열에 의하여 형성되는 최대 TNT상당량은 아래 식으로부터 구할 수 있다.

$$m_{TNT} = 0.03 \times 75 \pi d^2 \alpha \sqrt{\gamma \rho_0 p_0 \left[ \frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad (1)$$

위 식으로부터 가스운 폭발피해 범위를 해석 할 수 있다. 가스운 폭발압력이 직접 사람의 폐에 미쳐 사망에 이르게 하는 거리보다 폭발압력에 의하여 건물이 붕괴되어 매몰되어 사람이 사망에 이르는 거리가 짧게 나타나게 된다. 즉 건물이 붕괴되는 압력은 약 21kPa이므로 이를 기준으로 하여 폭발에 대한 안전거리는 다음 식으로 구할 수 있다 [1].

$$r_{exp} = 1.58 d^{\frac{2}{3}} P_0^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

여기서  $d$ 는 배관의 직경이고,  $P_0$ 는 배관의 운전압력이다.

### 화재에 의한 피해거리

화재에 의한 피해거리는 가스누출속도에 영향을 받게 되고, 정상상태에서 가스누출 속도는 가스공급소에서 사고지점까지 배관의 길이에 따라 감소하게 된다. 일반적으로 사람이 화재에 노출되어 복사열을 받는 시간을 30초로 가정하여 위험평가를 하게 된다. 따라서 배관의 파열 초기에 급격히 가스누출속도가 줄어들게 되어 시간이 지나며 정상상태로 가게 된다. 이러한 전이 상태에서 주변에 있는 사람이 복사열을 받게 되므로 최근 유효복사열을 계산하는데 있어서 배관의 운전압력의 30% 압력에서 누출되는 속도를 이용하여 위험을 평가하는 방법이 제시되었다[2]. 이를 이용하여 복사열에 의하여 1%사망 가능성이 있는 거리를 다음 식으로 구할 수 있다.

$$r_{fire} = 0.24 d \sqrt{0.3 P_0} \quad (3)$$

### 3. 최소이격 거리

그림 2에서 볼 수 있듯이 수소수송 배관의 직경이 크고, 압력이 높을 경우에는 폭발에 의한 피해범위보다 화재에 의한 피해범위가 크게 나타나고, 배관의 직경이 작고, 운전압력이 낮은 경우에는 폭발피해가 화재피해 범위보다 큰 것을 알 수 있었다. 따라서 수소가스 수송배관의 경우 배관경이 크고 고압에서 운전되므로 화재위험이 폭발위험보다 크게 된다. 식 2에서 볼 수 있듯이 고압 수소가스 수송배관의 위험범위는 배관의 직경에 비례하고, 운전압력의 제곱근에 비례하고 경우에 따라서 수 백 미터까지 이른다. 수소가스 배관의 완전 파열의 사고를 가정하여 사고에 대한 피해범위는 아래 식으로부터 구할 수 있다.

$$MP = 0.13 d \sqrt{p_0} \quad (4)$$

여기서  $d$ 는 배관의 직경이고,  $p$ 는 배관의 운전압력 이다.

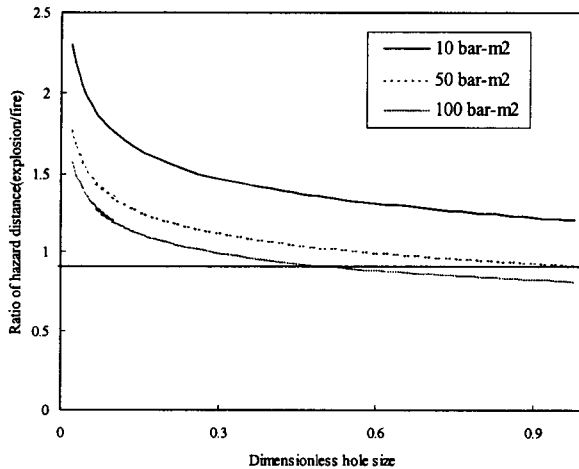


Fig. 2. The ratio of hazard distance from explosion and fire.

### 4. 참고문헌

- [1] Young-Do Jo, Jae-Wook Ko, Kyo-Shik Park, Bum Jong Ahn, and Ji-Yoon Kim, "Analysis of Hazard Area Associated with Hydrogen Gas Transmission Pipelines", 7소 WCCE congress, Glasgow, July 10-14(2005)
- [2] Young-Do Jo, Bum Jong Ahn, "A Method of Quantitative Risk Assessment for Transmission Pipeline Carrying Natural Gas", J. of Hazardous Materials,(2005)