



대기 중 수소가스의 확산거동에 관한 연구

조영도 · †안범종*

한국가스안전공사, 가스안전연구개발원

*한국산업기술대학교, 에너지대학원

(2004년 9월 16일 접수, 2004년 12월 14일 채택)

A Study on the Dispersion of Hydrogen Gas in Atmosphere

Young-Do Jo · †Bum Jong Ahn*

Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation, 332-1, Daeya-dong, Shihung-shi, Kyunggi-do 429-712, South Korea

**Graduate School of Energy, Korea Polytechnic University, Jungwang-dong, Shihung-shi, Kyunggi-do 429-793, South Korea*

(Received 16 September 2004, Accepted 14 December 2004)

요 약

수소는 온실효과 가스배출을 저감하기 위한 다양한 연소장치에 이용되는 에너지 전달체로 가장 중요한 물질로 인식되고 있다. 그러나 에너지 전달체로 이용되기 위해서는 수소를 이용하는 장치와 관련된 안전의 문제점이 충분히 조사하고 이해되어야 한다. 따라서 누출된 수소가스와 공기의 혼합 가스운의 확산 거동과 점화 가능성에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 대기 조건에 따라 대기 중에서 수소가스의 확산거동을 부력을 고려하여 살펴보았다. 풍하방향으로 위험범위는 대기안정도 및 풍속이 증가할수록 증가하게 되고, 지면에서 가스농도는 수소가스의 부력 때문에 거의 제로이다. 그러므로 누출된 수소가스 운의 점화 가능성은 낮고, 화재·폭발 위험성은 타 연료가스 즉 부탄 및 프로판에 비하여 낮은 것으로 사료된다.

Abstract – Hydrogen is considered to be the most important future energy carrier in many applications reducing significantly greenhouse gas emissions, but the safety issues associated with hydrogen applications need to be investigated and fully understood to be applicable as the carrier. Therefore, there is a considerable demand for further research concerning the dispersion of hydrogen/air mixture clouds and the possible consequences of their ignition. In this study, the dispersion of hydrogen gas in atmosphere has been analysed with atmospheric condition by concerning the buoyancy of hydrogen. The hazard ranges to wind direction increase with wind speed and the stability of atmosphere. The concentration of hydrogen at just above ground is nearly zero due to buoyancy of hydrogen gas. Therefore, the ignition probability of hydrogen gas cloud is low and the hazard of explosion or fire associated with hydrogen gas is relatively low comparing with the other fuel gas such as propane or butane.

Key words : Dispersion of hydrogen, Buoyancy of hydrogen, Hazard of hydrogen, Stability of atmosphere, Ignition probability

I. 서 론

수소가스는 지구환경문제와 화석에너지의 고갈에 대비한 미래의 에너지 전달체로서 세계 각국에서 관심을 가지고 수소관련 개발에 대하여 많은 연구를 추진하고 있다[1]. 수소가스의 이용 시대가 오기 위해서는 무엇보다도 먼저 안전에 대한 충분한 이해와 기존의 연료

시스템과 적어도 동등한 안전성을 확보하여야 한다. 지금까지 선진국에서는 수소생산, 저장 및 이용시스템에 대한 연구는 꾸준히 하여 기술이 어느 정도 축적되고 또한 일부 기술은 상업화를 위하여 연구에 박차를 가하고 있다. 그러나 수소의 안전에 대하여 유럽연합을 중심으로 일부 연구가 진행되었지만, 아직 많은 부분에서 밝혀 지지 않은 상태로 수소가스 이용시스템의 막연한 위험을 누구나 인지하고 있다. 이러한 막연한 위험은 소비자로부터 수소이용시스템의 사용을 꺼려하

†주저자:bjahn@kpu.ac.kr

게 하고, 상업화의 저해요소로 작용하고 있다. 수소가스의 위험을 해석하기 위하여 먼저 가스 누출원을 해석하고 다음으로 수소가스의 확산, 화재 및 폭발을 해석하여야 한다. 누출원 해석에 대해서는 기존의 석유화학 플랜트 위험평가 기술을 응용하여 해석할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 수소가스의 확산에 대해서는 기존에 사용되고 있는 석유화학 플랜트의 위험성평가 소프트웨어를 이용하기 어려울 것으로 사료된다[2]. 즉 지금까지 확산에 대해서는 크게 가벼운 가스와 무거운 가스로 나누고, 가벼운 가스에 대해서는 단순히 가스농도를 가우스분포로 가정하고 부력에 대한 보정이 이루어 지지 않고 있다. 수소가스는 공기에 비하여 매우 가벼운 물질로서 부력에 의한 수소가스의 상승현상을 고려하지 않고 기존의 가우스 분포모델을 이용하여 화재나 폭발위험을 해석하게 되면 실제 나타나는 위험보다 과대평가될 것이다. 지금까지 확산에 대한 연구는 무거운 가스의 거동에 대하여 이루어지고 매우 가벼운 수소와 같은 가스의 확산거동에 대하여 거의 연구가 이루어져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 대기조건을 고려하여 수소가스의 확산거동을 해석하고자 한다.

II. 가벼운 가스의 대기분산 모델

2.1. 연속누출

순간누출과 연속누출은 누출시간과 특정위치까지 가스운이 도달하는 시간을 비교하여 구분한다. 따라서 누출점 가까이에서는 연속누출로 분류된 것이 먼거리에서는 순간누출로 분류될 수 있다. 연속누출은 누출시간이 관찰점에 가스운 도달하는 시간보다 길 때이고, 순간누출은 누출시간이 관찰점에 가스운 도달하는 시간보다 짧을 때이다.

연속방출에 있어서 높이방향으로 농도의 표준편차가 혼합층 높이의 1.6배 보다 작을 때($\sigma_z < 1.6H_m$) 아래식을 이용하여 각 지점에서 농도를 근사적으로 계산할 수 있다[3].

$$C(x, y, z; H_E) = \frac{\dot{Q}}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-0.5\left(\frac{H_E - z}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_E + z}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} + \sum_{i=1}^{N_{mix}} \left\{ \exp\left[-0.5\left(\frac{2iH_m + H_E - z}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} &+ \exp\left[-0.5\left(\frac{2iH_m - H_E - z}{\sigma_z}\right)^2\right] \\ &+ \exp\left[-0.5\left(\frac{2iH_m - H_E + z}{\sigma_z}\right)^2\right] \\ &+ \exp\left[-0.5\left(\frac{2iH_m + H_E + z}{\sigma_z}\right)^2\right] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

위 식에서 두 번째 항은 가스운이 지표면으로부터 반사되는 것을 고려한 것이고, 합으로 표현된 세 번째 항은 혼합층의 경계면으로부터 반사되는 것을 고려한 것이다. N_{mix} 는 3에서 4 정도이고 적용시 주의할 점은 풍속이 누출 높이에서의 값이다. 따라서 만약 지상 10m 높이의 풍속 데이터가 있으면 높이에 따른 풍속 예측식으로 누출 높이의 풍속을 다시 계산하여야 한다.

혼합층의 높이는 직접 측정할 수 없고 고도에 따른 온도변화로 측정하고 있다. 이는 흐림 정도, 시각, 풍속 등에 의존하며 오전의 경우 400-700미터 정도이고 오후가 되면 800-2000미터 정도 된다. 일반적으로 수소가스가 누출되어 위험을 해석하기 위해서는 지표면 근처에서의 폭발농도범위까지의 확산거동이 중요하게 되므로 오염물질 방출에 의한 확산해석에서 다루는 것처럼 누출원에서 아주 저 농도의 원거리 해석은 의미가 없다. 따라서 수소가스의 폭발범위는 4%에서 75%이므로 지표면 근방에서 누출원으로부터 근거리에 관심을 가지게 되면, 혼합층의 높이를 아주 높은 것으로 가정을 할 수 있으므로 혼합층의 효과를 무시하게 되면 위식은 다음과 같이 단순화 할 수 있다.

$$C(x, y, z; H_E) = \frac{\dot{Q}}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-0.5\left(\frac{H_E - z}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_E + z}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (2)$$

지표면에서 최대농도인 중심선에서의 풍하 방향으로 거리에 따른 농도는 다음 식과 같다.

$$C(x, 0, 0; H_E) = \frac{\dot{Q}}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-0.5\left(\frac{H_E}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (3)$$

위 식에서 분산계수(표준편차)는 누출점으로 부터 거리의 함수이므로 농도는 거리의 함수이다. 식 (3)의 경우 수소가스의 가벼운 부력에 의하여 농도 중심선이 위쪽으로 상승하는 현상을 고려하고 있지 않다. 수소가스

의 경우 실험에 의하여 상온 상압의 조건에서 초당 1.2-9미터 상승하는 것을 NASA에서 실험에 의하여 밝혔다[4]. 수소가스의 상승속도는 공기와 부력 차에 비례하게 되므로 NASA의 실험결과를 부력에 선형적으로 변하는 것을 고려하여 높이상승속도를 다음 식으로 보정할 수 있다.

$$h_{corr} = \int_0^t 9C_{max} dt \quad (4)$$

위 식에서 수소가스의 농도는 시간과 기상조건에 따라 변하게 되므로 식 (2)와 동시에 해석하여야 한다. 그리고 수소가스의 최대농도가 되는 지점은 풍하거리를 나타내는 x축 길이에 따라 부력에 의한 상승효과 때문에 고도가 변하게 된다. 따라서 매순간 부력에 의하여 높이 상승효과를 가상의 누출원으로 보정하여 식 (2)와 (3)을 사용할 수 있다.

$$H_E = H_{E,0} + h_{corr} \quad (5)$$

식 (5)에 의한 누출원 높이 보정 후 풍하방향으로 최대 가스농도는 식 (3)으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_{max}(x, 0, H_E; H_E) = \frac{\dot{Q}}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \left(1 + \exp \left[-2 \left(\frac{H_E}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right) \quad (6)$$

지금까지 앞에서 살펴본 식들은 누출지점을 한 개의 점으로 가정한 식들이므로 누출량이 증가하여 누출지점을 더 이상 한 개의 점으로 고려하기 어려울 때는 가상의 누출점을 고려하여야 한다. 실제 누출지점에서의 가스온 크기에 해당하는 분산계수를 예측한 다음, 분산계수에 해당하는 누출점의 거리(x_{iy})를 풍상 방향으로 보정하여 주어야 한다.

$$\sigma_{y0} = \frac{W_y}{4.3} \quad (7)$$

위 식에서 W_y 는 누출지점에서 가스온의 y 방향 폭을 나타낸다. 표준편차에 해당하는 거리(x_{iy})를 구한 다음 가상의 누출점을 누출원으로 가정하여 가우스모델을 적용하여야 한다.

2.1.1. 연속누출에서 가우스모델의 분산계수

가우스모델의 분산계수(혼합계수)는 실험에 의하여 측정된 결과를 이용하고 있다. 이 계수는 누출점으로

Table 1. Name of dispersion coefficient.

Dispersion coefficient name	Surface roughness	Average time
PG	0.01 m	3 min
BR	0.01-0.1 m	10 min
MP	1 m	10 min

Table 2. Coefficients of correlation for the Pasquill-Gifford σ_y dispersion coefficient (Gaussian plume).

Stability category	c	d
A	24.1670	2.5334
B	18.3330	1.8096
C	12.5000	1.0857
D	8.3330	0.72382
E	6.2500	0.54287
F	4.1667	0.36191

부터 거리, 대기안정도, 평균시간의 함수이다. 표된 거침도에 따라서 일반적으로 세가지 종류의 혼합계수 즉 Pasquill-Gifford(PG), Briggs Rural(BR), McElroy-Pooler(MP)를 이용하고 있다. 이들 혼합계수의 특성은 Table 1과 같다.

PG에서 혼합계수는 다음 실험식으로부터 구할 수 있다.

$$\sigma_y(m) = 465.11628x \times \tan \theta \quad (8)$$

여기서 $\theta = 0.017453293(c - d \log x)$ 이고, 각 변수의 값은 대기안정도에 따라 Table 2로부터 구할 수 있다.

z축의 분산계수는 거리의 지수형태로 나타나게 되고, 대기 안전도가 불안정 할수록 혼합도가 증가하기 때문에 지수는 증가하게 된다.

$$\sigma_z(m) = ax^b \quad (9)$$

여기서 변수는 Table 3에서 구할 수 있다.

Table 2와 3에서 x는 킬로미터 단위이고, 분산계수는 미터단위이다. 그리고 Z방향의 분산계수가 5000 m보다 큰 값이 계산 되면 5000 m로 한다.

BR에서 x축과 y축의 혼합계수는 Table 4로부터 구할 수 있다.

그리고 MP에서 x축과 y축의 혼합계수는 Table 5로부터 구할 수 있다.

위 혼합계수와 가우스모델을 이용하여 구한 농도값

Table 3. Coefficients of correlation for the Pasquil-Gifford σ_z dispersion coefficient (Gaussian plume).

Stability category	Distance from source (km)	a	b
A	<0.10	122.80	0.94470
	0.10-0.15	158.080	1.05420
	0.16-0.20	170.220	1.09320
	0.21-0.25	179.520	1.12620
	0.26-0.30	217.410	1.26440
	0.31-0.40	258.589	1.40940
	0.41-0.50	346.750	1.72830
	0.51-3.11	453.850	2.11660
	>3.11	***	***
B	<0.20	90.673	0.93198
	0.21-0.40	98.483	0.98332
	>0.40	109.300	1.09710
C	all	61.141	0.91467
D	<0.30	34.459	0.86974
	0.31-1.00	32.093	0.81066
	1.01-3.00	32.093	0.64403
	3.01-10.00	33.504	0.60486
	10.01-30.00	36.650	0.56589
	>30.00	44.053	0.51179

Table 4. Correlations for the Briggs Rural σ_y and σ_z dispersion coefficient (Gaussian plume).

Stability class	σ_y (m)	σ_z (m)
A	$0.22x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.20x$
B	$0.16x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.12x$
C	$0.11x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.08x(1+0.0002x)^{-1/2}$
D	$0.08x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.06x(1+0.0015x)^{-1/2}$
E	$0.06x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.03x(1+0.0003x)^{-1/2}$
F	$0.04x(1+0.0001x)^{-1/2}$	$0.016x(1+0.0003x)^{-1/2}$

은 PG의 경우 3분, BR과 MP의 경우 10분 동안의 평균값이다.

2.2. 순간누출

연속누출과 마찬가지로 지표면 근방에서 연소범위에 있는 가스의 확산거동에 관심이 있으므로 혼합층의 경

Table 5. Correlations for the Mcelroy-Pooler σ_y and σ_z dispersion coefficient (Gaussian plume).

Stability class	σ_y (m)	σ_z (m)
A	$0.32x(1+0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1+0.0002x)^{-1/2}$
B	$0.32x(1+0.0004x)^{-1/2}$	$0.24x(1+0.0002x)^{-1/2}$
C	$0.22x(1+0.0004x)^{-1/2}$	$0.20x$
D	$0.16x(1+0.0004x)^{-1/2}$	$0.14x(1+0.0003x)^{-1/2}$
E	$0.11x(1+0.0004x)^{-1/2}$	$0.09x(1+0.0015x)^{-1/2}$
F	$0.11x(1+0.0004x)^{-1/2}$	$0.008x(1+0.0015x)^{-1/2}$

계면으로 부터 누출물질의 반사를 무시하므로 순간농도의 예측식은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C(x, y, z, t; H_E) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-0.5\left(\frac{x-ut}{\sigma_x}\right)^2\right] \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-0.5\left(\frac{H_E-z}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_E+z}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (10)$$

그리고 지표면에서의 최대 수소 농도는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$C(x, 0, 0, t; H_E) = \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-0.5\left(\frac{x-ut}{\sigma_x}\right)^2\right] \times \exp\left[-0.5\left(\frac{H_E}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (11)$$

여기서도 순간누출에서 언급한 바와 같이 부력에 의한 누출원의 높이 보정식인 식 (5)를 적용하고, 풍상방향으로 누출지점 보정식인 식 (7)을 적용하여 순간누출에 대한 농도분포를 근사적으로 해석할 수 있다.

2.2.1. 순간누출에서 가우스모델에서 분산계수

순간누출에 대한 분산계수는 누출점으로부터 거리, 대기안정도, 평균시간의 함수이다. 바람의 방향에 대한 혼합계수는 풍향의 수직방향에 대한 혼합계수와 동일한 크기(order)를 가지므로 일반적으로 같다고 가정하여 σ_y 와 σ_z 를 동일한 값으로 간주하여 Table 6으로부터 구할 수 있다.

Table 6. Dispersion coefficients for Gaussian puff model.

Stability class	σ_x (m) and σ_y (m)	σ_z (m)
A	$0.18x^{0.92}$	$0.72x^{0.76}$
B	$0.14x^{0.92}$	$0.53x^{0.73}$
C	$0.10x^{0.92}$	$0.34x^{0.72}$
D	$0.06x^{0.92}$	$0.15x^{0.70}$
E	$0.045x^{0.91}$	$0.12x^{0.67}$
F	$0.03x^{0.90}$	$0.08x^{0.64}$

III. 확산거동 해석결과

시골에서 맑은 날 초당 10 m³의 수소가스가 지면에서 연속 누출되는 것을 가정하여 위 식들을 이용하여 최대농도의 변화와 높이를 대기 안전도와 풍속에 대하여 살펴보았다. 수소가스는 공기보다 가볍기 때문에 누출 후 부력에 의하여 최대농도가 되는 중심선은 누출 원으로부터 멀어질수록 고도가 증가하다가 일정한 값에 수렴하게 되는 것을 Fig. 1과 2에서 볼 수 있다. 대기안정도 분류에서 A는 매우 불안정하고, D는 중립이고, G는 매우 안정한 상태이다[1]. 중심선의 고도는 대기안정도와 풍속에 크게 영향을 받으며, 대기가 안정할수록 중심선의 고도는 누출원으로부터 멀어질수록 높아짐을 알 수 있었다. 즉 대기안정도가 증가하게 되면 상하 혼합효과가 줄어들게 되고, 이에 따라 누출된 수소가스는 대기중으로 확산되는 속도가 줄어들고 높은 농도를 유지하게 됨으로 고도가 증가하는 것으로 사료된다. 또한 풍속에 의하여 중심선의 고도는 급격히 감소함을 알 수 있었다. 이는 부력의 에너지와 바람에 의

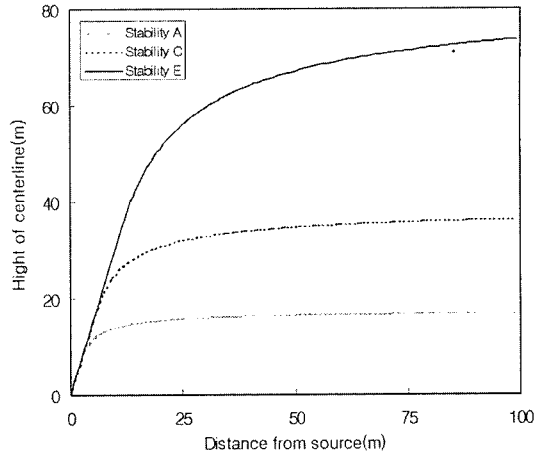


Fig. 2. Hight of centerline with distance from source (PG, U=3 m/s).

한 운동 에너지의 상관관계에 의하여 형성되는 것이다. 무거운 가스의 확산거동에서 바람에 의한 운동에너지가 부력에 의한 에너지보다 매우 크게 되면 일반적인 가우스분포모델을 적용하는 것과 마찬가지로 수소가스 확산 거동에서도 운동에너지가 부력에너지보다 매우 크게 되는 부력을 무시하고 일반적인 가우스분포모델을 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 대기가 매우 불안정하고 풍속이 초속 10미터인 경우 중심선의 최대 높이는 약 3이고, 대기가 안정하고 풍속이 초속 3미터인 경우에는 중심선의 최대높이는 약 70미터인 것을 알 수 있다. 지면 근방에 점화원이 있는 것을 고려하게 되면, 대기가 불안정하고 풍속이 높은 대기조건에서 수소 누출 후 폭발에 대한 위험이 높은 것을 알 수 있었다.

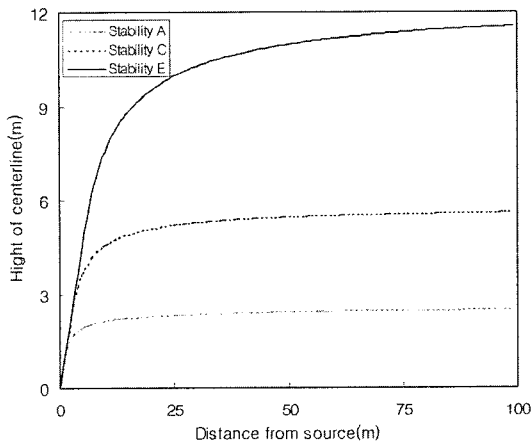


Fig. 1. Hight of centerline with distance from source (PG, U=10 m/s).

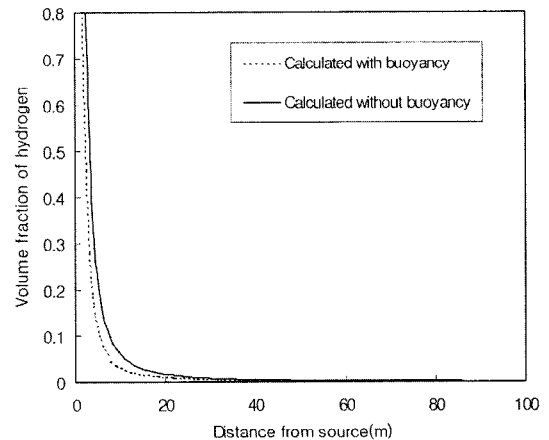


Fig. 3. Change of maximum concentration with distance from source (PG, U=10 m/s, Stability : A).

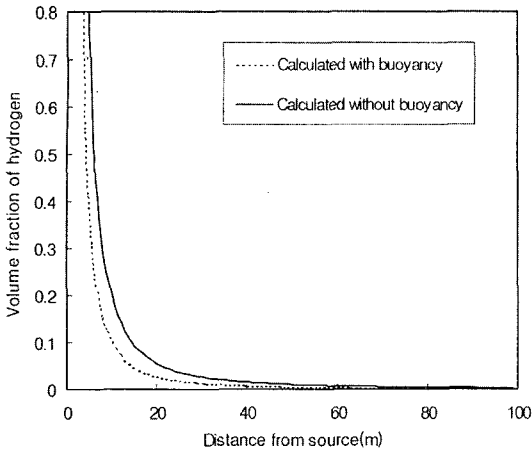


Fig. 4. Change of maximum concentration with distance from source (PG, U=3 m/s, Stability : A).

앞의 계산에서 풍속이 초당 6미터 이상이 되는 경우에는 대기안정도가 C 이상이 되게 되므로 대기안정도를 A로 하여 Fig. 1에서 계산한 것은 극한 사항을 가정한 것이다. 따라서 수소가스의 누출지점으로부터 수 미터 떨어지게 되면 최대 농도가 되는 위치는 지상으로부터 5미터 이상임을 알 수 있다. 그리고 지면에는 거의 수소농도가 제로이다.

Fig. 3과 4는 수소가스의 부력을 고려한 것과 하지 않은 상태에서 농도계산 결과를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 수소의 부력에 의하여 폭발범위까지의 거리는 부력의 영향에 의하여 감소함을 알 수 있다. 이는 타 연료가스인 프로판에 비하여 동일한 부피의 가스가 누출될 경우 수소가스의 부력에 의하여 위험이 감소함을 알 수 있다. 또한 Fig. 1과 2에서 볼 수 있듯이 부력에 의하여 최대농도가 되는 고도는 지면으로부터 상당히 높은 지점이 되고, 지면에서의 가스농도는 누출원으로부터 약간 떨어지게 되면 연소하한농도를 벗어나게 된다. 그러므로 비록 수소의 점화에너지가 프로판에 비하여 상당히 낮지만 연소범위의 농도영역을 고려하게 되면, 평지에서 누출된 수소가스의 점화확률이 프로판보다 낮다고 볼 수 있다. 따라서 단순히 수소가스의 대기확산거동의 관점에서 수소가스의 위험성은 타 연료에 비하여 낮다고 볼 수 있다. 즉 부탄가스를 연료로 하는 자동차와 수소가스를 연료로 하는 자동차의 사고에 의하여 가스 누출시 피해정도를 비교하면, 수소를 연료로 하는 자동차가 더욱 안전하다고 볼 수 있다. 그러나 자동차의 전체적인 안전성은 안전장치와 각부품의 내구성 정도를 고려하여 종합적인 검토가 필요하다.

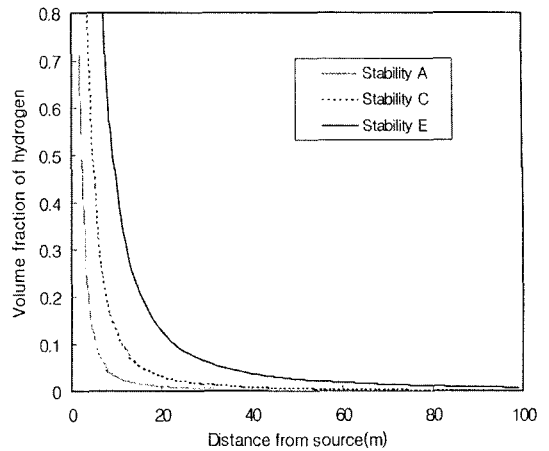


Fig. 5. Change of maximum concentration of hydrogen with distance from source (PG, U=10 m/s).

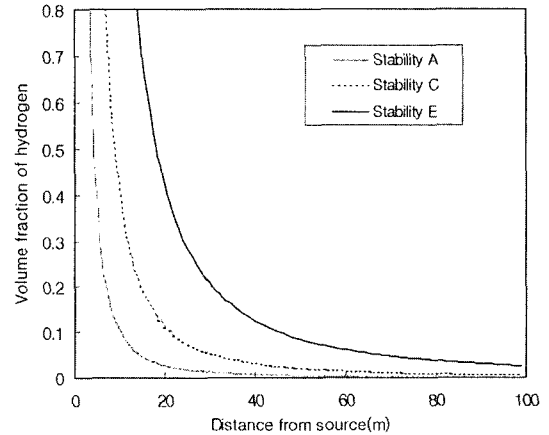


Fig. 6. Change of maximum concentration of hydrogen with distance from source (PG, U=3 m/s).

Fig. 5와 6은 누출원으로부터 거리에 따라 최대농도의 변화를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 풍속과 대기안정도에 크게 영향을 받으며, 최악의 사고시나리오는 대기가 안정하고 풍속이 느린 경우로 이때 누출원으로부터 거의 80미터까지 연소하한범위가 형성됨을 알 수 있다. 이때 형성되는 연소범위의 영역은 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 지상 70미터 근방에서 형성된다. 따라서 풍하 방향으로 고층건물이 존재한다면 지하여 높은 고도에 점화원이 존재하게 되면 가스 폭발위험성이 있는 것으로 사료된다. 그러나 일반적인 환경에서 누출된 수소가스의 화재·폭발 위험성은 타 연료에 비하여 부력 때문에 낮은 것으로 사료된다. 누출된 수소가스의 위험성을 고려할 때 기상조건에 따른 연소범위

의 가스농도 형성범위와 점화원의 존재 가능성을 동시에 고려하여야 할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

대기안정도와 풍속의 변화에 따라 수소가스의 대기 확산 확산거동을 살펴보면 대기가 안정하고 풍속이 느릴수록 누출된 수소가스는 하늘 방향으로 멀리까지 확산되어 감을 볼 수 있었다. 또한 수소가스의 부력에 의하여 누출지점으로부터 수 미터만 떨어지게 되면 지면에서의 가스농도는 연소하한범위 이하가 된다. 그러므로 수소가스의 누출 후 폭발·화재의 위험성은 일반적인 조건에서 타 연료에 비하여 상대적으로 누출 후 화재·폭발 위험성이 적다고 볼 수 있다. 비록 수소가스의 점화에너지가 타 연료에 비하여 매우 낮지만 누출원 가까이 점화원이 없고, 주변에 고층건물이 없으면 수소가스 누출에 의한 화재·폭발 위험성은 거의 없는 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Venetsanos, A.G., T. Huld, P. Adams and J.G. Bartzis, "Source, Dispersion and Combustion Modelling of an Accidental Release of Hydrogen in an Urban Environment", *Journal of Hazardous Materials*, **A105**, 1-25, (2003)
- [2] Schmidt, D., U. Krause and U. Schmidtchen, "Numerical Simulation of Hydrogen Gas Releases between Buildings", *International Journal of Hydrogen Energy*, **13**, 479-488, (1999)
- [3] Crowl, D. A. and J. L. Louvar, *Chemical Process Safety Fundamentals with Applications*, 2nd ed., New Jersey: Prentice-Hall, 235-265, (2002)
- [4] National Aeronautics and Space Administration. Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems: Guideline for Hydrogen System Design, Materials Selection, Operations, Storage, and Transportation, Office of Safety and Mission Assurance, Washington, 2-21, (1997)