

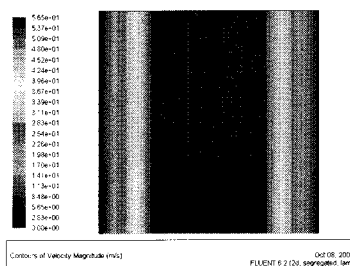
전산해석을 이용한 가스센서 설치위치에 따른 응답시간에 관한 연구

김현일[†], 김영두^{*}, 박규태, 한상인, 권정락
한국가스안전공사 가스안전연구원, 국민대학교 기계공학 대학원^{*}

A study on the Response Timing for an Installation Location of Gas Sensors using Computational Analysis

Hyun-il Kim[†], Youngdoo Kim^{*}, Gyu Tae Park, Sangin Han and Jeongrook Kwon
Institute of Korea Gas Safety R&D, KGS, Graduate school of Mechanical Engineering, Kookmin university^{*}

Abstract - 현재 가정이나 산업용으로 사용하는 가스 화기나 보일러 등에서 가스 누출에 의한 화재사고나 폭발사고가 빈번하게 발생하고 있다. 가스 누출에 의한 사고는 오랜 시간 가스 누출 후 점화원에 의한 폭발이나 화재사고가 대다수를 차지한다. 일반적으로 천연가스를 사용하는 경우 상단부에 가스누출검지기를 설치하고 있다. 하지만 이러한 설치 위치는 대략적인 가스의 특성을 고려한 것이다. 본 연구에서는 가스 누출이 발생할 수 있는 누출위치를 가정의 가스레인지 화구와 밸브 연결부로 선정하고, 전산유체역학(CFD)을 이용하여 가스누출검지기의 시간에 따른 응답특성을 파악하여, 빠른 가스 감지를 위해 가스누출검지기 설치 위치를 최적화하였다. 본 연구의 결과를 기초로 가정이나 건물의 가스누출검지기를 설치할 경우, 가스가 누출되었을 때 신속한 감지를 통하여 위험을 알림으로서 가스폭발이나 사고를 미연에 방지할 수 있을 것이다.



〈그림 1〉 메탄가스 압력분포

1. 서 론

우리나라는 전국의 98% 이상이 가정에서 가스를 사용하고 있으며, 1986년부터 도시가스의 보급 사업으로 인해 전국적으로 액화천연가스(LNG)의 인프라가 잘 구축되어 있다. 이 때문에 LP가스의 수요는 매년 감소하고 있지만, 도시가스의 경우 수요는 매년 꾸준한 증가 추세를 나타내고 있다. 따라서 도시가스 사용의 급증으로 인해 사고 위험성은 커지고 있다. 매설 배관과 노출배관에서의 가스 누출사고 뿐만 아니라 가정이나 산업용으로 사용할 때 과열과 누출에 의해 화재사고나 폭발사고가 발생하고 있다. 2004년에서 2007년까지 발생한 가스 사고는 약 450여건이며, 이중 도시가스에 의한 사고는 약 60여건이다.^[1] 발생한 사고의 원인을 살펴보면 사용자취급부주의에 의한 사고가 대부분을 차지하고 공급자부주의, 시설미비, 제품불량 등이 사고의 원인으로 작용한다. 가스 사고에 의해 해마다 인명과 재산의 피해가 발생되기 때문에 국가적인 차원에서 가스 사고를 미연에 방지하기 위한 적극적인 대책이 필요하다.

현재 국내에서 가정이나 건축물 내 가스 사고를 방지하기 위한 대책으로 가스누출검지기 설치를 의무화하고 있다. 국내에서는 산업안전보건법(노동부 고시 제2001-3호)에 의거하여 건축물 내에 설치되는 가스누출검지기는 감지대상가스의 비중이 공기보다 무거우면 바닥면에 설치되고, 공기보다 가벼우면 건축물의 환기구나 천정 부근에 설치하도록 규정하고 있다. 일반적으로 도시가스를 사용하는 가정에서는 천정에서 30cm 떨어진 위치에 설치되고 있다. 하지만 이는 가스의 특성만을 고려한 일반적인 설치 위치이다.^[2]

본 연구에서는 가스누출검지기의 일반적인 설치위치가 아닌 도시가스의 특성과 유동을 충분히 고려하여 가스 누출 시 빠른 응답 특성을 보일 수 있는 가스누출검지기의 최적화된 설치위치를 찾기 위해 전산해석을 수행하였다. 최적화된 위치에 가스누출검지기가 설치된다면 가스의 누출을 빠르게 감지하고, 홈네트워크 시스템 등과 같은 무선기와 연동하여 위험을 빠르게 알린다면 가스 사고를 미연에 방지할 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 전산해석 모델

본 전산해석의 모델은 일반적인 가정의 주방을 모사하였으며, 연소기기가 3 m × 2 m × 2.5 m의 공간에 설치되어 있으며, 벽면의 한쪽은 열려있는 것으로 모델을 설정하였다. 연소기기는 가스레인지로 가정하여 가스가 누출될 수 있는 지점을 가스레인지 화구 부분과 벽면의 밸브로 가정하여 5 mm × 5 mm의 직사각형 격자에서 가스가 누출되게 된다. 가스레인지의 윗부분은 일반적으로 가정에서 설치되어 있는 환풍기를 모사한 것이며, 본 해석에서 환풍기는 작동하지 않는 것으로 가정하였다. 현재 도시가스(메탄)는 가정으로 200 mmAq의 압력으로 유입되며, 이때 도시가스가 누출되었을 때의 속도를 아래의 식(1)로 계산하였다.

$$P = \frac{1}{2} \rho (U_2^2 - U_1^2) \quad (1)$$

초기 속도가 0일 때 도시가스의 누출 속도는 약 70 m/s였으며, 이 값은 마찰에 의한 영향을 무시한 값이다. 계산된 속도를 확인하기 위해 상용 CFD 코드 FLUENT6.2를 이용하여 5 mm × 5 mm의 직사각형 격자에서 200 mmAq의 압력으로 유입되는 도시가스의 누출 속도를 계산해본 결과 약 40 m/s였다. 위의 <그림 1>은 도시가스 누출 시 압력분포이다. 아래의 <표 1>은 본 전산해석에서 사용되는 가스의 물성치를 나타내고 있다.

〈표 1〉 작동 유체의 물성치

Fluid	Density ρ (kg/m ³)	Dynamic viscosity μ (N s/m ²)
Air(standard)	1.23E+0	1.79E-5
Methane(natural gas)	6.67E-1	1.10E-5

2.2 전산유체역학(CFD)

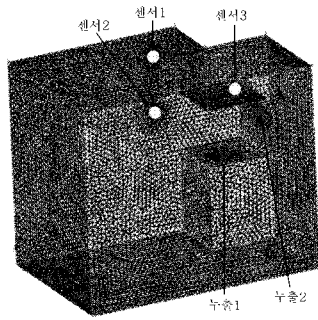
본 전산해석은 도시가스가 누출되는 유동을 비정상상태로 보고 시간에 따른 가스의 확산을 설치된 센서 위치에서 농도를 확인함으로써 센서 응답시간을 파악하였다. 또한 도시가스를 비압축성가스로 가정하여 전산해석을 수행하였다. 누출지점에서 배출되는 가스의 유속은 계산에 의해 결정된 값을 토대로 50 m/s로 선정하였다. 본 모델에서 도시가스의 레이놀즈수(Reynolds number)는 식(2)에 의해 계산되었으며, 약 7,000정도로서 난류영역에 해당한다. 일반적으로 레이놀즈수가 2,000 ~ 4,000일 경우 천이영역으로서 층류와 난류가 같이 발생하며, 4,000이상일 경우 전 영역을 난류영역으로 보고 있다.^[3] 난류영역의 해석을 위해 k-ε standard 모델을 사용하였다. 아래의 식(3)은 난류에 관한 운동에너지 방정식이고, 식 (3)은 속도 변화에 따른 난류 운동에너지의 발생을 표현하는 방정식이다.^[4]

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (4)$$

본 해석에서는 메탄의 유동을 파악하고 설치 위치가 다른 센서의 응답 시간을 파악하기 위해 FLUENT6.2에서 제공하는 Species Transport의 Mixture material 모델을 적용하였다. 또한 본 모델은 검사체적(control volume)에 비해 매우 작은 누출지점과 센서 경계



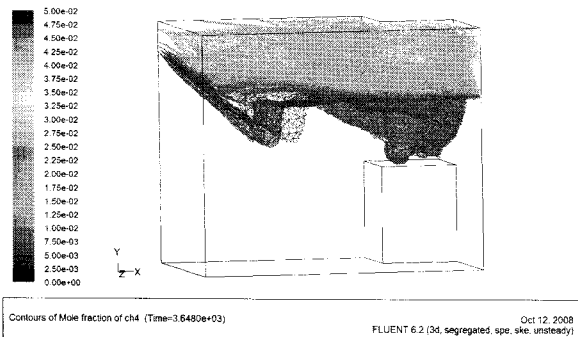
〈그림 2〉 모델의 격자형상

면의 격자 생성을 위해 비정렬 격자망(Tetrahedral mesh)을 사용하였고, 총 격자의 수는 약 750,000개이다. 위의 〈그림 2〉는 본 전산 해석 모델의 격자형상이다.

3. 결 과

3.1. 누출1 지점에서 메탄가스 농도(가스레인지)

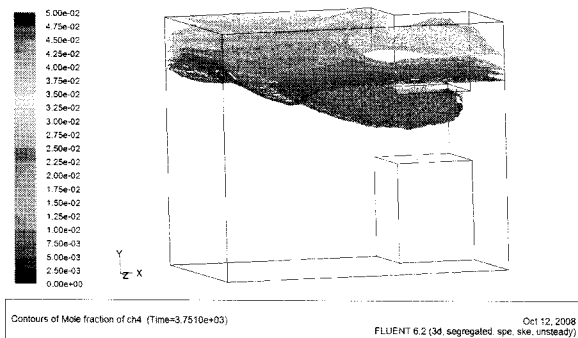
아래 〈그림 3〉은 가스레인지 화기부분(누출1)에서 누출된 후 약 60분이 경과한 후 메탄가스의 농도를 확인한 것이다. 농도는 체적당 물분율로 나타냈으며, 천정부분에서는 전체 체적의 약 2% 정도를 차지한다. 또한, 화기부분과 환풍기 사이의 농도는 약 3 ~ 5%로 나타났다. 가스레인지에서 누출 시 메탄가스의 유동은 빠른 누출 속도에 의해 환풍기에 부딪힌 후 전체적으로 빠르게 확산되었다. 또한, 시간이 경과함에 따라 메탄가스의 특성으로 인해 천정부분에서의 농도는 지속적으로 증가하는 것을 확인하였다.



〈그림 3〉 가스레인지에서 누출시 메탄 농도

3.2 누출2 지점에서 메탄가스 농도(밸브 연결부)

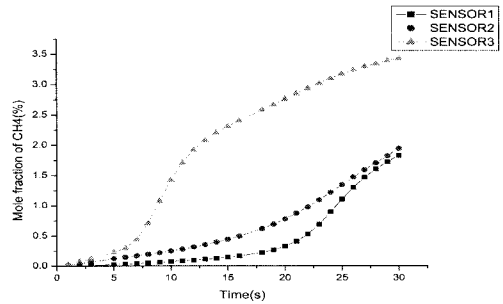
〈그림 4〉는 밸브 연결부(누출2)에서 누출 시 약 60분의 시간 경과 후 메탄가스의 농도를 보여주고 있다. 벽면에 설치된 밸브 연결부에서 누출 시 천정의 농도는 약 2%를 나타내고 있으며, 위의 결과와 같게 가스화기 부분의 농도는 약 3 ~ 5%로 나타났다.



〈그림 4〉 가스밸브에서 누출시 메탄 농도

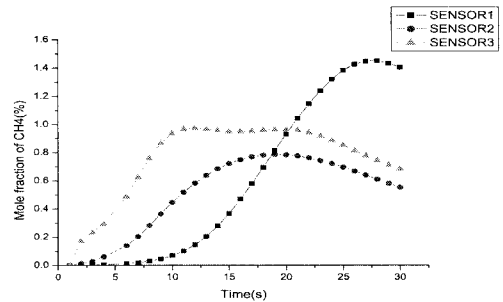
3.3 가스센서의 응답시간

메탄가스의 폭발범위는 약 5 ~ 15%이다. 위의 전산해석 결과에서 확인했듯이 천정부분에 정제되어 있는 메탄가스는 점화원에 의해 폭발이나 화재의 위험성을 가지고 있다.



〈그림 5〉 가스센서 응답시간(누출1)

이러한 이유로 적절한 위치에 가스누출검지기를 설치하여, 신속하게 가스의 누출을 감지하여야한다. 위의 〈그림5〉는 가스레인지에서 누출 시 30초까지의 체적 당 물분율을 보여주고 있다.



〈그림 6〉 가스센서 응답시간(누출2)

위의 〈그림 6〉은 벽면의 밸브 연결부에서 누출을 가정하여 전산해석을 수행한 결과이다. 본 결과에서는 센서2와 센서3에서는 농도가 1%에 미치지 못했다. 이는 누출2 위치에서 메탄가스는 X축 방향으로 빠르게 누출되고, 메탄가스의 특성으로 인해 확산되기 때문이라 사료된다. 아래의 〈표2〉는 센서에서의 농도가 1%일 때의 응답시간을 나타냈다. 이 결과에서 센서3의 응답시간이 가장 빠르게 나왔다. 하지만 이 위치에 설치될 센서는 화기에 근접하므로 열에 대한 내구성을 가지고 있어야할 것이다.

〈표 2〉 센서위치에 따른 메탄가스 농도 1%일 때 응답시간(초)

	센서1	센서2	센서3
누출1	25	23	9
누출2	21	19	11

4. 결 론

본 연구는 실제 설치되는 가스누출검지기를 대신하여 전산해석에서 각기 다른 센서의 위치를 선정하여, 메탄가스의 유동과 농도를 확인하고 각 센서 위치에서 농도에 따라 달라지는 센서의 응답시간을 파악하였다. 가정에서 사용하는 도시가스는 누출 시 빠르게 확산되어 천정부분에 정제하게 된다. 본 논문에서는 가정에서 사용하고 있는 도시가스가 누출되었을 경우를 가정하였으며, 전산유체역학(CFD)을 수행하여 센서의 응답시간을 파악함으로써, 가정에 설치되는 가스누출검지기의 적절한 위치를 선정하는데 기초 자료를 도출하였다. 신속한 가스의 누출을 감지하여 위험을 알린다면 가스사고의 위험성을 크게 줄일 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 에너지기술혁신 프로그램으로 지원되었으며 이 논문은 “차세대에너지안전연구단”의 연구 결과입니다. (세부과제번호 : 2007-M-CC23-P-03-1-000)

[참 고 문 헌]

- [1] 한국가스안전공사, “가스사고연감”, 2007
- [2] 산업안전보건법-가스누출감지경보기 설치에 관한 기술상의 지침, 노동부고시 제2001-3호, 2001
- [3] Frank M.White, “Fluid mechanics Third edition”, McGRAW-HILL, Inc, pp. 294-315, 1994.
- [4] FLUENT 6.2 User manual. Fluent Inc, 2005