

## 가스의 성분변화가 확산에 미치는 영향

민동철\* · 계혜리\* · 김성태\* · 김종민\*<sup>†</sup> · 권정락\*\* · 김병덕\*\*

\*유아이티 기업부설연구소

\*\*한국가스안전공사 가스안전연구원

(2014년 9월 16일 접수, 2015년 7월 6일 수정, 2015년 7월 8일 채택)

## Effects on the Gas Dispersion by Changed Gas Composition

Dongchul Min\*, Hyeri Gye\*, Sungtae Kim\*, JongMin Kim\*<sup>†</sup>, Jeong-Rock Kwon\*\*, Byung-Duk Kim\*\*

\*R&D Center, UIT, \*\*Korea Gas Safety Corporation

(Received 16 September 2014, Revised 6 July 2015, Accepted 8 July 2015)

### 요 약

최근 산업체에서는 성분을 알 수 없거나, 데이터베이스를 보유하지 않는 가스들의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 가스들의 사용량이 증가함에 따라 확산범위와 속도를 예측 할 수 있는 소프트웨어들이 사용의 중요성이 증가하고 있는데, 이들 소프트웨어들은 기존에 보유하고 있는 가스들의 자료에 의존하여 확산거리 및 속도를 예측하기 때문에 새로운 가스들이 확산거리(속도)를 예측하기는 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 가스의 확산 및 폭발을 예측할 수 있는 FLACS S/W 및 등가가스를 이용하여 불특정한 가스들의 확산을 예측할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

**주요어** : 가스확산, 등가가스, 비중, 웨버지수

**Abstract** - Recently, Many industry have used unknown composition gases and no information gases. These gases were used increasing. As use increases, The more important software that can predict dispersion region and speed. It is very difficult to predict the dispersion of new gases. Because, it is predict from existing database. In this study, we propose to estimate dispersion region and speed of some gases, using a FLACS software and equivalent gas.

**Key words** : Gas dispersion, Equivalent gas, Specific gravity, Wobbe Index

### 1. 서 론

국내 고압가스안전관리법[1]에서는 암모니아를 포함하여 약 40여종의 가스를 지정하여 관리하고 있다. 그러나 지속적인 산업의 발달로 에서는 가스의 사용량 및 종류가 계속해서 증가하고 있으며, 이로 인해 가스사고 또한 계속해서 증가하고 있는 추세이다. 특히, 2012년 경북 구미지역의 불화수소산(불산) 누출사

고 이후 2013년에만 3건이 발생하는 등 가스누출에 대한 사고가 계속해서 발생하고 있기에 사고에 대한 예측, 예방 및 응급조치 등과 같은 비상대응에 대한 수립 등이 매우 중요한 상황이다.

최근에는 가스의 누출시 안전거리 확보 및 비상대응을 수립하기 위하여 많은 소프트웨어들이 사용되고 있다. 하지만 이러한 소프트웨어들은 기본적으로 기존에 보유하고 있는 가스 데이터베이스에 의존하고 있기 때문에 성분을 알기 어려운 가스들에 대한 확산거리와 속도 등을 예측하기에는 많은 어려움이 있다. 특히, 산업에서 사용하는 가스는 기초물성 이외에는 자료가 매우 부족하여 누출 시 발생하는 피해가 매우 크다

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.  
UIT Inc., Suite 501 Taeyang21 Bldg., 832-21 Yeoksam-dong,  
Gangnam-g, Seoul 135-0800, Korea  
Tel : 02-2501-2322 E-mail : mark.kim@uitsolutions.com

고 할 수 있다.

산업에서 사용하는 가스들의 데이터베이스 중 쉽게 확보할 수 있는 물성치는 비중과 열량이라고 할 수 있다. 이들 두 가지 물성치를 확인할 수 있다며, 등가가스의 성분을 결정할 수 있다. 등가가스[2]는 다양한 성분의 가스를 메탄, 프로판, 질소(또는 이산화탄소)와 수소로 표현할 수 있는 가스를 말한다. 결과적으로 비중과 열량을 알 수 있다면, 가스의 성분을 확인할 수 있으며 이들을 이용하여 다양한 가스의 확산거리 및 속도를 시뮬레이션을 통해 예측할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 등가가스를 이용하여 다양한 가스의 확산을 확인하고자, 비중(상대밀도)과 웨버지수에 변화에 따른 확산 거리(속도)에 대한 영향을 분석하고자 하며, 이 결과를 이용하여 비중을 이용하여 기초데이터가 부족한 가스들의 확산을 모사할 수 있도록 방법을 제안하고자 한다.

## 2. 시뮬레이션 조건 및 방법

### 2.1 등가가스[2]

본 연구에서 검토하고자 하는 등가가스[2,3]는 다양한 성분을 갖는 임의의 가스를 원 가스의 물성은 그대로 유지하도록 하면서 메탄, 프로판, 수소 및 질소(또는 이산화탄소)를 이용하여 4가지 성분의 단순한 가스로 구성한 가스를 말한다. 임의의 등가가스를 만들 때,

메탄, 프로판 성분을 제외한 모든 탄화수소 성분은 메탄과 프로판의 조성을 이용하여 C-C 결합, C-H결합의 수를 등가량으로 치환한다. 예를 들어 Fig. 1과 같이 2몰의 에탄의 경우 1몰의 메탄과 1몰의 프로판으로 표현할 수 있다. 수소 성분은 천연가스의 포함되는 수소의 함유량을 그대로 사용하며, 모든 불활성 가스는 N<sub>2</sub> 또는 CO<sub>2</sub>로 구성되어 있다고 가정하고, N<sub>2</sub> 또는 CO<sub>2</sub>를 이용하여 등가가스의 웨버지수를 본래의 가스와 동일하게 한다.

이와 같은 방법으로 치환한 등가가스는 원 가스와 발열량의 차이는 0.5% 이내이고, 압축계수에도 차이가 거의 없어서 이로부터 계산되는 상대밀도도 차이가 거의 없는 것으로 알려져 있다[2,3].

### 2.2 시뮬레이션 조건 및 방법

Table 1은 시뮬레이션에 사용한 비중과 웨버지수를 나타낸 것이다. 웨버지수(Wobbe Index)는 49 MJ/Nm<sup>3</sup> ~ 55 MJ/Nm<sup>3</sup>, 비중은 0.60~0.75로 진행하였으며 누출량은 22kg/s로 동일하게 하였다. 이를 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 기반으로 하여 가스의 확산 및 폭발을 예측할 수 있는 FLACS(FLame ACceleration Simulator)소프트웨어에서 적용할 수 있는 등가가스(메탄, 프로판, 이산화탄소)로 치환하여 시뮬레이션을 진행하였다.

시뮬레이션은 크게 두가지 측면에서 이루어졌다. 첫째,

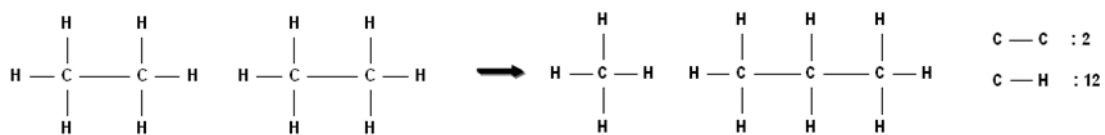


Fig. 1. Substitute equivalent gas(methane+propane) for hydrocarbon(ethan)

Table 1. Gas properties for simulation.

	SG=0.600	SG=0.625	SG=0.650	SG=0.675	SG=0.700
WI=49 MJ/Nm <sup>3</sup>	O	O	O	O	O
WI=50 MJ/Nm <sup>3</sup>	O	-	-	-	-
WI=51 MJ/Nm <sup>3</sup>	O	-	-	-	-
WI=52 MJ/Nm <sup>3</sup>	O	-	-	-	-
WI=53 MJ/Nm <sup>3</sup>	O	-	-	-	-
WI=54 MJ/Nm <sup>3</sup>	O	-	-	-	-
WI=55 MJ/Nm <sup>3</sup>	O	O	O	O	O

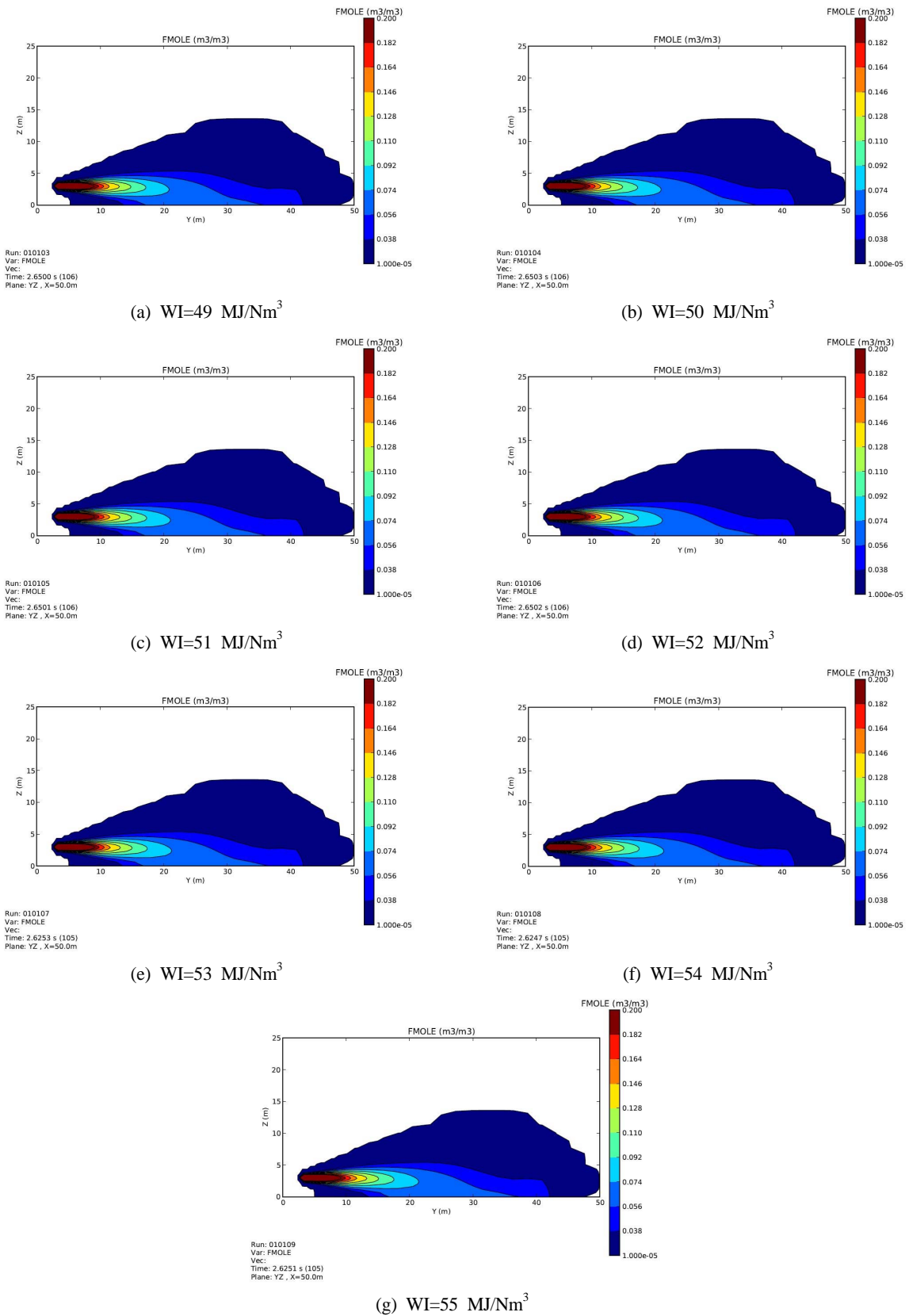


Fig. 2. Gas concentrations at SG=0.600 with various wobble index

동일한 비중일 경우 특정거리에 도달하는 확산속도에 차이가 발생하는지를 확인하여, 확산에 대한 영향을 확인하였다. 둘째, 웨버지수는 동일하나 비중이 차이가 발생할 경우 확산거리 및 속도에는 어떠한 차이가 발생하는지를 확인하였다. 이 두 가지 결과를 이용하여, 성분을 알 수 없는 가스를 비중과 열량을 통해 확산 시뮬레이션을 할 수 있는 방법에 대하여 확인하였다.

### 4. 수치해석결과 및 고찰

#### 4. 1 비중이 동일한 가스의 확산 속도

Fig. 2는 성분이 다르지만 비중이 0.600으로 동일한 가스가 누출지점으로부터 50m 떨어진 곳에 도달했을 때의 시간을 나타낸 그림이다. 50m에 도달하였을 때 가스의 확산 분포는 동일한 것을 알 수 있으며, 도달한

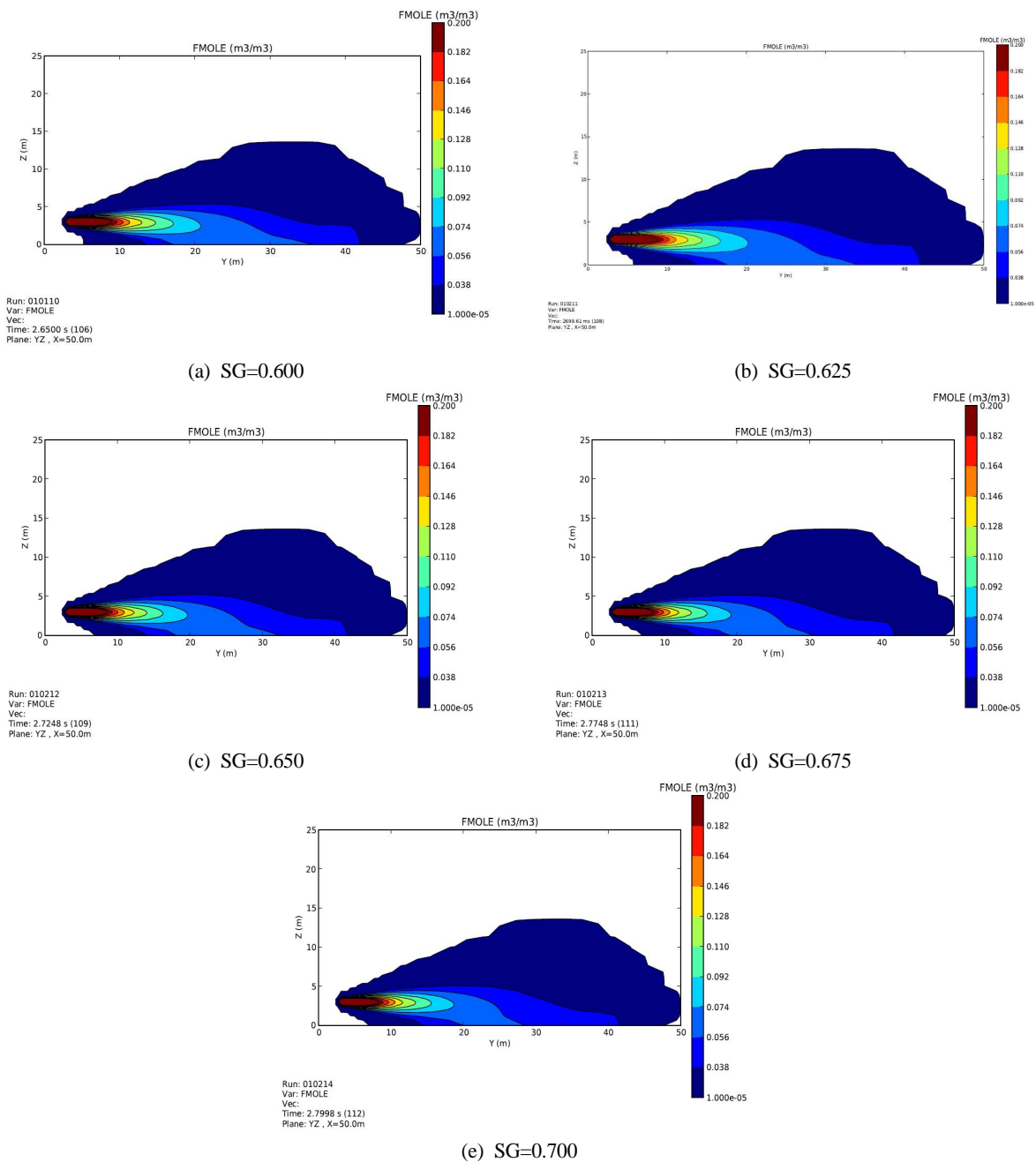


Fig. 3. Gas concentrations at WI=49 MJ/Nm<sup>3</sup> with various specific gravity

시간은 아주 조금 차이가 있는 것을 알 수 있다. 웨버지수  $49 \text{ MJ/Nm}^3$ - $52 \text{ MJ/Nm}^3$ 까지는 50m에 도달하는 시간이 2.650초였으며, 웨버지수  $53 \text{ MJ/Nm}^3$ - $55 \text{ MJ/Nm}^3$ 은 2.625초에 도달한 것을 알 수 있다. 웨버지수가 높은 지역( $53$ - $55 \text{ MJ/Nm}^3$ )과 낮은 지역( $49$ - $52 \text{ MJ/Nm}^3$ )에서 각각의 도달시간은 동일하나, 웨버지수가 높은 지역의 가스가 50m 지점에 조금 빠르게 도달하는 것을 알 수 있다. 이는 웨버지수가 높을수록 분자량이 낮아 확산 속도가 빠른 것을 알 수 있으며, 보다 정확한 확산 시

물레이션을 위해서는 질량 또는 열량을 고려해야함을 알 수 있다.

#### 4. 2 웨버지수(열량)가 동일한 가스의 확산 속도

Fig. 3과 Fig. 4는 성분이 다르지만, 웨버지수가 각각  $49 \text{ MJ/nm}^3$ 과  $55 \text{ MJ/Nm}^3$ 으로 동일한 가스가 누출 지점으로부터 50m 떨어진 위치에 도달했을 때의 시간을 나타낸 그림이다. 먼저, 웨버지수가  $49 \text{ MJ/Nm}^3$ 일 때의 가스를 살펴보면, 비중이 0.600일 때 2.650초, 0.625

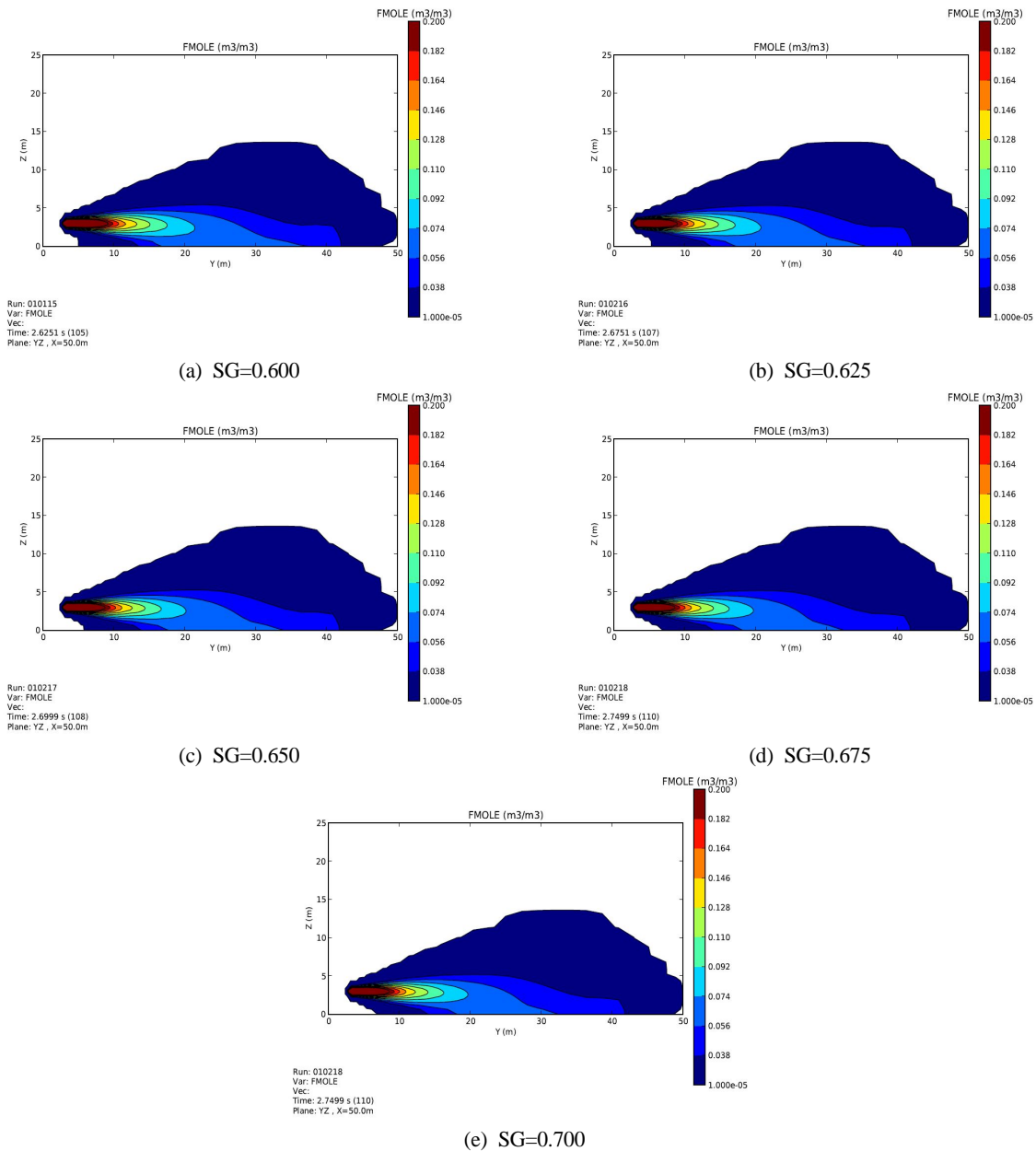


Fig. 4. Gas concentrations at  $WI=55 \text{ MJ/Nm}^3$  with various specific gravity

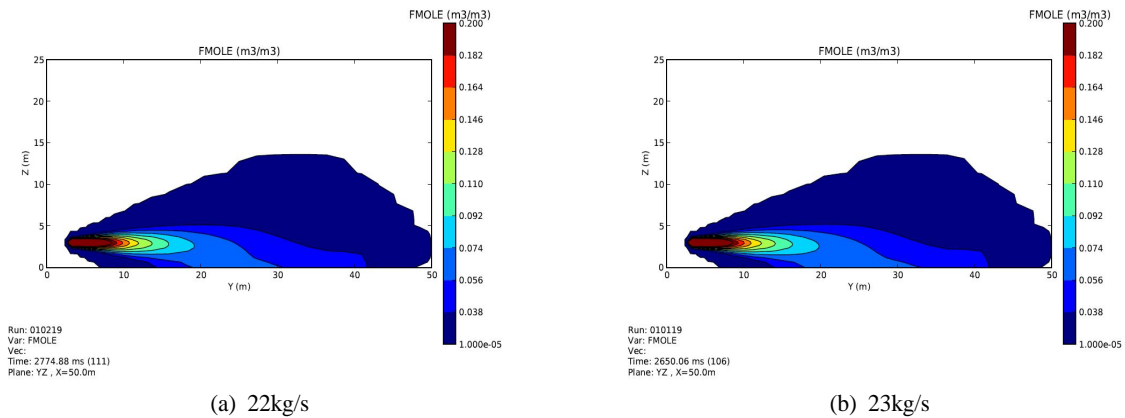


Fig. 5. Gas concentrations at same gas with leakage 22kg/s and 23kg/s

일 때 2.699초 0.650 일 때 2.725초, 0.675일 때 2.7748 초 및 0.700일 때 2.7998임을 확인 할 수 있으며, 웨버 지수가 55 MJ/Nm<sup>3</sup>일 때의 가스를 살펴보면, 비중에 따라 2.625초, 2.675초, 2.699초, 2.7247 및 2.775초 임을 알 수 있다. 웨버지수가 동일한 경우를 확인해보면, 비중이 증가할수록 50m지점에 도달하는 시간이 느려지는 것을 알 수 있다. 이는 비중이 증가할수록 밀도와 질량이 증가하여 확산속도가 느려지기 때문이다. 또한, 동일한 비중에서 웨버지수가 높을 때의 도달시간을 비교하면, 웨버지수가 높을수록 도달하는 시간이 빨라지는 것을 확인할 수 있는데 이는 앞에서 언급한 바와 같이 웨버지수가 높을수록 분자량이 작아 확산속도가 증가하기 때문임을 알 수 있다. 따라서, 확산 시뮬레이션을 진행할 때 밀도만을 고려해서는 정확한 결과를 확인하기 어려우며, 열량까지 고려하여야 함을 알 수 있다.

#### 4. 3 누출 양에 따른 확산속도

Fig. 5는 누출 양에 따른 확산속도를 나타낸 결과이다. 앞선 결과와 동일하게 누출지점으로부터 50m지점까지 도달하는 속도를 확인하였으며, 비중 0.700에 웨버지수 55 MJ/Nm<sup>3</sup>의 가스의 누출 양을 각각 22kg/s와 23kg/s로 하여 비교하였다. 누출량이 22kg/s일 때의 가스는 2.775초, 23kg/s 2.650초에 도달하였다. 앞에서 언급한 웨버지수 및 비중의 차이보다 누출 양의 차이로 인한 확산시간의 차이가 훨씬 큼을 확인할 수 있었다. 이는 동일한 홀 사이즈에서 누출 양이 초기 누출속도를 결정하기 때문으로, 비중과 웨버지수 뿐만 아니라 예측 가스의 누출 양이 매우 중요함을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

다양한 성분의 가스를 모사할 수 있는 등가가스를 이용하여 비중과 웨버지수가 확산속도에 미치는 영향을 파악하고 이를 실제 시뮬레이션에 적용하고자 본 연구를 진행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 동일한 비중(밀도가 동일)을 가진 가스가 특정거리(50m)까지 도달한 시간을 확인한 결과 비중이 동일하여도, 확산속도의 차이가 발생한 것을 확인할 수 있다. 단, 분자량의 차이가 적을 경우 확산속도가 동일함을 확인할 수 있었다.
- 2) 동일한 웨버지수에서 비중이 다양한 가스의 확산속도를 비교한 결과 비중이 증가할수록 확산속도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 동일한 가스를 이용하여 가스의 누출량을 변화시켜 확산속도를 확인한 결과 누출량과 확산속도가 비례함을 확인할 수 있었다.
- 4) 결과적으로, 특정 가스의 비중과 열량을 알 수 있다면 등가가스를 이용하여 확산거리를 모사할 수 있으며, 여기에 분자량까지 고려하여 계산을 할 수 있다면 보다 정확한 해석결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(20132020500070)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

## References

1. 고압가스 안전 관리법
2. 김종민; 이승로; 이창언. 천연가스를 모사하는 등가 가스의 유효성 검토. 한국에너지공학회지, 2013, 22, 128-135
3. Dutton, B. C. A new dimension to gas interchangeability, The institution of gas engineers, 1984, Communication 1246.