

## 화재발열량계의 효율적 설계를 위한 수치해석 모델의 적용 Application of Numerical Model for the Effective Design of Large Scale Fire Calorimeter

김성찬

Sung-Chan Kim

경일대학교 소방방재학부  
(2010. 7. 19. 접수/2010. 12. 10. 채택)

### 요 약

본 연구는 전산유체역학기법을 통해 화재유동을 수치적으로 모델링하고 화재발열량계 내부의 유동특성과 발열량 측정의 불확실성에 영향을 미치는 주요 측정인자들의 특성을 파악하고자 한다. 수치해석에 이용된 프로그램은 ANSYS사의 CFX 12.1이고 에디소산모델과 P-1 근사법을 적용하여 연소반응과 복사열 전달을 해석한다. 수치해석결과 90° 곡관이 적용된 배기덕트의 경우 측정면에서 상대적으로 비대칭성이 높은 유동분포를 보였으며 속도장의 편차가 온도나 농도장의 편차에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 연구를 통해 신뢰성 높은 화재발열량계의 구축을 위한 설계과정을 최적화하고 효율적인 시스템 운영을 위한 기초자료를 제공한다.

### ABSTRACT

The present study develops a numerical model based on the computational fluid dynamics technique to analyse the thermal flow characteristics of large scale fire calorimeter and examine the characteristics of primary parameters affecting on the uncertainty of heat release rate measurement. ANSYS CFX version 12.1 which is a commercial CFD package is used to solve the governing equations of the thermal flow field and the eddy dissipation combustion model and P-1 radiation model are applied to simulate the fire driven flow. The numerical results shows that the horizontal duct system with 90° bend duct was shown relatively high deviated asymmetric flow profiles at the sampling location and the deviation of the velocity field was higher than that of the temperature and species quantities. The present study shows that the computational model can be applicable to optimize the design process and operating condition of the large scale fire calorimeter based on the understanding of the detail flow field.

**Key words** : Fire calorimeter, Oxygen consumption method, Heat release rate, CFD

### 1. 서 론

발열량(heat release rate)은 화재강도를 나타내는 척도로써 화재위험의 정도를 평가하고 방화설계를 위한 가장 기본적이고 중요한 화재 특성으로 인식되고 있다.

화재로부터 방출되는 열에너지는 가연물 종류나 양, 연소조건에 따라 다르며 보통  $10^0 \sim 10^8$  W의 매우 폭 넓은 크기정도를 가지기 때문에 발열량을 정량화하는 과정이 쉽지 않다.

일반적으로 화재의 발열량을 추정하는 가장 쉬운 방법으로는 가연물의 질량감소율(mass loss rate)을 측정 한 후 연소열(heat of combustion)을 고려하는 간접적인 방법이 있으나 증발된 연료가 모두 연소되지 않는 경우나 가연물이 여러 가지 물질로 이루어진 다층 복합체(multi-layer composite material)인 경우 연소열을 정량화하는데 어려움이 있다.

발열량을 추정하는 보다 개선된 방법으로 화재에서 방출된 기계적 열에너지를 직접 계측하는 방법과 연소 과정중의 반응물이나 생성물의 특성 변화를 계측하는 방법(chemical heat release rate)이 널리 적용되고 있다.

엔탈피 상승법(sensible enthalpy rise method)은 화재로부터의 열에너지를 직접 측정하는 방법으로 대표적인 예로 OSU열량계(Ohio State Univ. Calorimeter)가 있다. 그러나 엔탈피 상승법은 화재에서 발생한 열이 폐쇄시스템을 통과하는 동안 공급된 공기의 엔탈피 상승을 측정하는 방식이기 때문에 시스템의 열손실에 의한 측정오차가 발생할 수 있으며 화원의 크기가 상대적으로 작고 복사열의 영향이 크지 않은 경우에 대해 주로 이용되어 왔다.

한편, 연소과정중 화학적 조성변화를 통해 발열량을 산정하는 방법은 열에너지를 직접 측정하지 않기 때문에 열손실의 영향을 고려할 필요가 없고 개방형 시스템에 적용이 가능하기 때문에 실규모 화재실험(real scale fire test)에서 널리 이용되고 있다. 이중 연료와 반응한 산소량에 기초한 방법은 대부분의 탄화수소계 연료와 반응하는 산소의 단위질량당 발생하는 열에너지가 매우 일정하다는 사실에 근거하여 소모된 산소량과 산소의 단위질량당 발생하는 열에너지를 고려함으로써 발열량을 평가하게 되는데 이는 Hugget의 산소소모법에 기초하고 있다<sup>1)</sup>. 즉, 발열량은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\dot{Q} = (\Delta H_c)_{O_2}(\dot{m}_{O_2}^o - \dot{m}_{O_2}) \quad (1)$$

그러나 개방형 시스템에서는 외부로부터 유입되는 공기 중 산소의 질량유량( $\dot{m}_{O_2}^o$ )을 정확히 파악하는 것이 어려운 일이기 때문에 산소소모계수(oxygen depletion factor)와 가연물의 화학적 팽창계수(chemical expansion factor)등을 도입하여 배기덕트에서 산소의 질량유량만으로도 발열량 산정이 가능한 다음식이 널리 이용된다.

$$\dot{Q} = (\Delta H_c)_{O_2} \frac{\dot{m}_e}{1 + \phi(\alpha - 1)} \phi(1 - X_{H_2O}) X_{O_2}^o \frac{MW_{O_2}}{MW_{air}} \quad (2)$$

따라서 산소소모법에 의한 발열량 평가 방식은 배기덕트를 통한 배기가스의 질량유량( $\dot{m}_{O_2}$ )과 산소 및 연소가스의 농도에 의해 산정되는 산소소모계수( $\phi$ )에 의해 결정되기 때문에 배기덕트에서의 유동특성을 이해하고 측정을 최적화하는 과정이 매우 중요하다. 즉 산소소모법에 의한 발열량측정 정확도는 배기덕트의 평균속도와 온도 그리고 산소소모계수 산정을 위한 산소 및 연소가스 농도의 측정정확도에 크게 의존한다.

발열량계의 설계 및 운용에 관한 일부 연구가 보고되어 왔으나<sup>2-5)</sup> 대부분의 화재용 발열량계의 경우 엔지니어의 직관이나 경험에 의존하여 설계되어 왔으며 발열량계의 불확실성에 관한 정량적인 평가나 설계인자의 최적화 등에 관한 연구는 여전히 부족한 실정이다.

본 연구에서는 수치해석을 통해 배기덕트의 형태에 따른 위치별 유동특성과 발열량 산정 변수들의 편차를 수치적으로 해석하여 유동형태에 따른 주요 물성의 상대적 불확실성을 비교분석하므로써 효율적인 발열량 측정을 위한 설계인자들의 개선방향을 제시하고자 한다. 이러한 해석결과를 통하여 화재 발열량계의 설계 및 운용과정에 효율성을 도모하고 신뢰성 높은 발열량 측정을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 수치해석 모델

### 2.1 해석대상 발열량계

본 연구의 해석대상은 미국립표준기술연구원(NIST)의 대형화재실험동내에 설치된 3m × 3m 후드를 가진 발열량계로서 최대측정 발열량이 약 1MW, 지속측정가능 발열량은 약 500kW 정도로 설계되었으며 주로 가구나 단일가연물의 화재강도를 측정하는데 이용된다. Figure 1에서 보는바와 같이 바닥에서 덕트 시작부까지의 높이는 4.12m, 후드의 측면부까지의 높이는 1.8m, 배기덕트의 직경은 0.49m이다. 화염으로부터 후드부를 보호하고 구조물의 변형을 막기 위해 후드의 내부는 내화단열재로 도포되어 있으며 화재에서 발생한 연소가스와 유입된 공기는 덕트부를 통과하는 동안 측정부에서 측정이 이루어지고 이후 직경 2m의 주배기덕트를 통해 화재 실험동 외부의 후연소버너 및 집진설비를 통과한 후 대기 중으로 배출된다. 화원은 한 번의 길이가 31cm인 정사각형 교정버너(calibration burner)

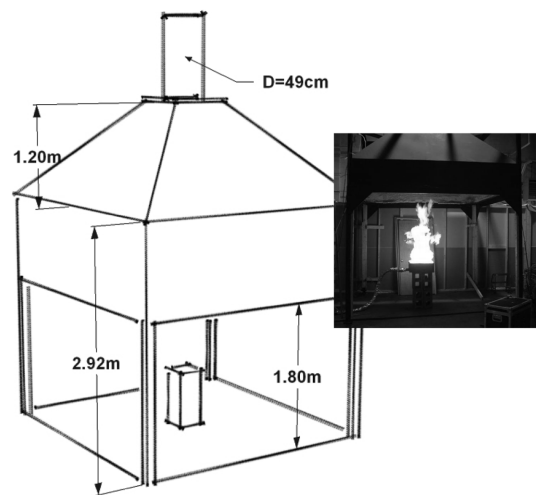


Figure 1. Schematic of hood and burner setup of the calorimeter.

에 천연가스(natural gas)를 공급하여 화재를 발생시켜 공급된 연료의 질량유량을 MFC (mass flow controller)로 제어하여 화재발열량을 정량화 한다.<sup>6)</sup>

## 2.2 수치해석

본 연구에서는 화재발생으로 인한 후드 및 덕트 내부의 열 및 연기유동을 해석하기 위해 Ansys사의 CFX 12.1을 이용하였다. 덕트부의 형상에 따른 유동특성을 이해하고 발열량산정의 불확실성을 수치적으로 평가하기 위하여 수직덕트구조와 90° 곡관이 적용된 수평덕트구조 등 두 가지 경우에 대한 수치해석을 수행하였다. 수평덕트구조의 경우 후드 상단의 직관부 길이는 2m이며 곡관의 곡률반경은 1.5m이다. 수치해석에 적용된 격자는 상용 CAD 및 격자생성프로그램인 ICFM-CFD 4.0을 이용하였으며 약 54,000개의 격자를 적용하였다. Figure 2는 전체해석 영역중 후드 아래쪽의 격자형상을 나타내고 있으며 계산에 적용된 두 가지 덕트의 구조를 도식적으로 나타낸다. 전체 배기덕트의 길이는 두 경우 모두 직경의 20배로 동일하게 적용하였다.

화재 및 덕트내부 유동은 난류유동으로서 부력에 의한 난류 생성 및 소멸을 고려한 수정 k-ε모델이 적용되었으며 밀도변화는 온도만의 함수로 가정하였다. 화재를 모사하기 위해 적용된 연소모델은 반응물이 난류 혼합과정에 의존하고 화학반응과정이 매우 빠르다고 가정하는 에디소산모델(eddy dissipation model)을 적용하였다. 해석에 적용된 연료는 천연가스이며 천연가스

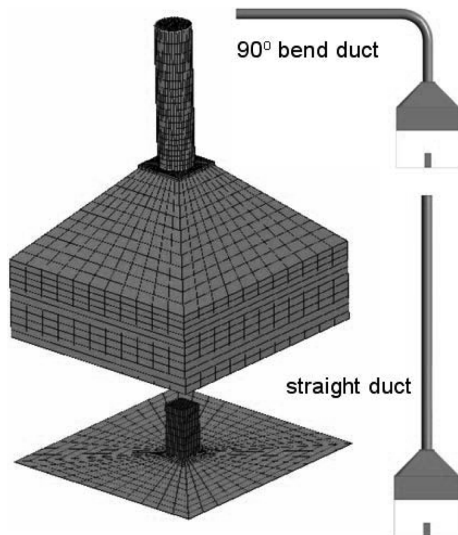
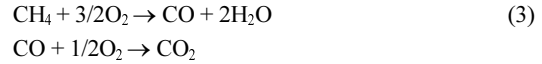


Figure 2. Configuration of duct system and computational grids.

주성분의 약 95% 이상이 메탄(CH<sub>4</sub>)이기 때문에 연소 반응기구는 Westbrook과 Dryer 등이 제시한 메탄(CH<sub>4</sub>)의 2 단계 연소반응을 적용하였으며 연소반응식은 다음과 같다.<sup>7)</sup>



혼합가스의 복사열전달은 회색가스 및 등방성산란을 가정하여 P-1 근사법을 이용하여 해석되었다<sup>8)</sup>. 후드와 덕트벽면에서의 방사율은 0.9를 가정하였으며 외부로의 대류열전달의 영향을 고려하기 위하여 외기와 후드 및 덕트표면 사이의 대류열전달 계수는 10W/m<sup>2</sup>K, 외기온도는 298K으로 가정한다. 후드의 아래쪽은 외기에 개방된 것으로 가정하여 경계면에서의 압력차는 0Pa이며 외기온도는 298K, 유입되는 공기 중 산소의 질량분율 Y<sub>O<sub>2</sub></sub>는 0.233이다. 화원은 바닥의 중앙부에 위치하며 기준발열량은 200kW로 가정하여 공급되는 연료의 질량유량은 다음 식에 의해 계산된다.

$$\dot{m}_f = \dot{Q} / \Delta H_{c,f} \quad (4)$$

화원에서 생성된 연소가스와 유입된 공기는 덕트시스템의 끝단에 적용된 압력경계조건에 의해 외부로 배출된다. 덕트시스템의 형태에 따라 배관의 마찰손실이나 유동형태가 다르기 때문에 질량유량이 달라 질수 있다. 본 연구에서는 두 가지 형태에 대해 동일한 유동조건을 적용하기 위하여 기준이 되는 수직덕트구조에 대해 주어진 압력조건(Δp = 50Pa)에 대한 측정면에서의 질량유량을 먼저 산정한다. Figure 3에서 보는바와 같이 90° 곡관이 적용된 수평덕트구조에 대해 출구

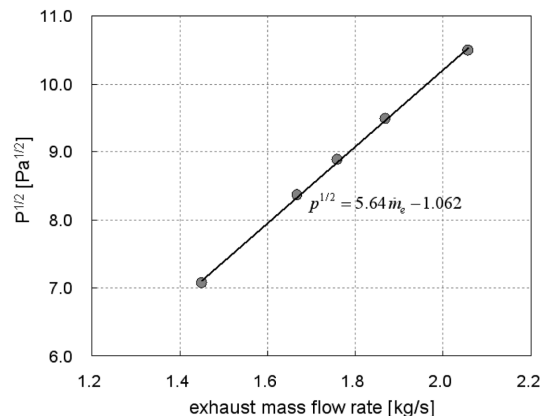


Figure 3. Relationship between the exhaust mass flow rate and outlet pressure for the curved type duct system.

에서의 입력변화에 대한 배기질량유량관계를 도출하고 이를 기초로 수직덕트구조와 동일한 배기질량유량조건을 제공하는 경계에서의 압력조건을 산정한다. 수평덕트구조에 대한 배기질량유량과 압력사이의 관계는 다음과 같다.

$$\sqrt{p} = 5.64\dot{m}_e - 1.062 \quad (5)$$

여기서  $p$ 는 배기덕트 끝단에서의 압력,  $\dot{m}_e$ 는 측정 위치에서의 배기질량유량을 나타낸다.

### 3. 해석 결과

Figure 4는 수직덕트구조를 가진 발열량계에 200kW 화재를 적용한 경우의 반응율, 온도, 속도, 산소소모계수등을 보여준다. 산소소모계수는 각 격자에서 계산된  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  몰농도(molar fraction)와 기준 농도에 의해 계산된다.

$$\phi = \frac{X_{O_2}^0(1 - X_{CO_2} - X_{CO}) - X_{O_2}(1 - X_{CO_2}^0)}{(1 - X_{O_2} - X_{CO_2} - X_{CO})X_{O_2}^0} \quad (6)$$

화원에서 발생한 연소생성물과 외기로부터 유입된 공기는 후드부 아래에서 수집되고 혼합이 이루어지며 단면적 감소로 인해 유동은 배기덕트 입구에서 급격히 가속된다. 배기덕트를 통과하면서 점차 발달된 유동 형태를 띄게 되고 덕트의 중심축을 기준으로 유동은 대칭적인 형태를 나타낸다. 산소소모계수의 경우 화염의 중심부에서 산소의 농도( $X_{O_2}$ )가 0에 가깝기 때문에 거의 1이 되고 공간 내에서 산소농도가 증가함에 따라 산소소모계수는 감소하여 외기조건에서 0이 된다.

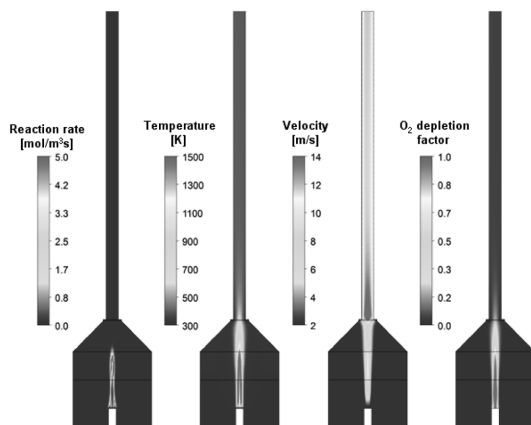


Figure 4. Flow characteristics in the fire calorimeter with straight type duct.

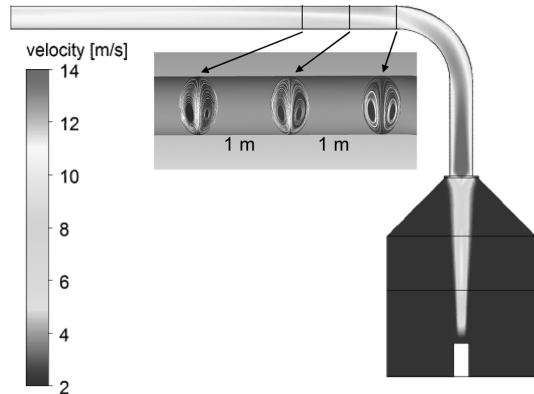


Figure 5. Velocity field in the fire calorimeter with 90° bend duct.

Figure 5는 수평덕트구조를 가진 발열량계내의 유속의 크기정도를 나타낸다. 후드아래쪽과 덕트의 입구 근처에서의 유동형태는 수직덕트구조와 매우 유사한 형태를 보이지만 유동이 곡관을 지나게 되면 원심력에 의해 곡관의 바깥쪽은 가속되고 안쪽은 감속되어 곡관부의 끝단에서 박리현상(separation)이 나타나는데 이러한 박리특성은 화재조건과 배기유량에 의존하게 된다. 따라서 수평덕트를 통과하는 동안 덕트의 상부 쪽의 유동이 하부 쪽에 비해 상대적으로 빠른 비대칭적인 형태를 나타내는데 수평덕트의 길이방향으로 유동이 발달해감에 따라 비대칭성은 감소하지만 출구에 도달할 때까지 완전한 대칭성을 보여주지는 않는다. 뿐만 아니라 수직덕트구조의 경우 대부분의 속도성분이 덕트의 길이방향과 일치하여 축방향 속도성분에 대한 평면방향으로의 속도성분의 비가 매우 작지만 수평덕트의 경우 곡관부를 통과한 후 평면방향 속도성분이 증가하기 때문에 축방향 속도성분에 대한 평면방향의 속도성분의 비가 상대적으로 크게 된다.

Figure 6은 덕트의 길이방향 위치별 단면에서 축방향 속도성분에 대한 평면방향 속도성분의 평균크기정도를 나타내고 오차막대는 표준편차를 나타낸다. 여기서  $z$ 는 덕트부의 경로 길이를 의미하고  $z=0$ 는 후드와 덕트의 연결부이다. 그림에서 보는 것처럼 수직덕트구조의 경우 평면방향의 속도성분이 1% 이하로 나타났지만 수평덕트구조의 경우 곡관부를 통과한 직후 11% 이상의 평면방향 속도성분을 보이고 있으며 배기관의 출구에서도 2% 이상을 나타내고 있다. 일반적으로 대규모 화재발열량계의 유속측정은 이방향유속계(bidirectional probe)에 의해 이루어지는데 유동의 방향과 프로브의 설치방향이 이루는 각인 받음각(attack angle)

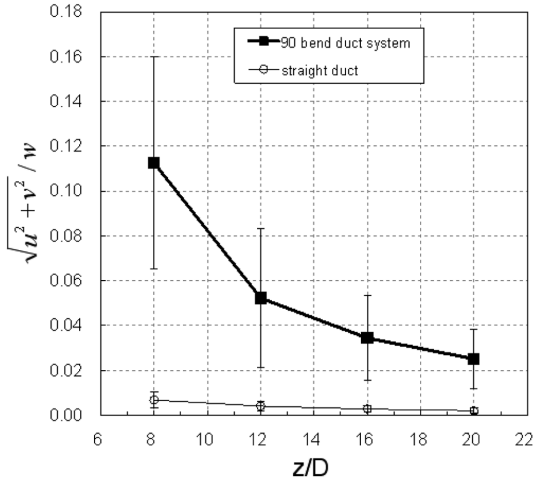


Figure 6. Comparison of the velocity ratio between streamwise and lateral velocity component.

은 이방향유속계에 의한 속도 측정 정확도에 영향을 미치는 주요 인자중의 하나이다.<sup>9)</sup> 즉, 평면방향의 속도 성분증가는 받음각을 증대시켜 유동측정의 불확실성을 증가시키는 요인이 될 수 있으며 정확한 유속측정을 위해서는 받음각을 최소화할 필요가 있다. 이러한 평면방향속도성분은 수평덕트의 길이가 증가함에 따라 급격히 감소하기 때문에 충분한 수평덕트 길이를 확보하여 유동의 발달을 유도할 경우 상당부분 감소시킬 수 있을 것으로 보이며 수평덕트구조에서 측정위치를 결정하는 인자중의 하나로 고려되어야 한다.

식 (2)를 이용하여 발열량을 산정할 때 배기덕트에서 측정되어야 하는 주요 변수는 배기질량유량과 산소소모계수이다. 배기질량유량과 산소소모계수는 측정위치에서의 온도와 속도 및 측정된 배기가스 농도들의 대푯값을 통해 산정된다. 이러한 대푯값은 단면평균값

(area weighted average)을 적용하는 것이 이상적이나 실제 측정에는 측정 장치가 유동장에 미치는 영향 및 측정기법의 한계 등으로 인해 제한된 수의 점측정을 통해 물리량을 측정하고 이를 평균하여 대푯값으로 적용하게 된다. 따라서 점측정을 통해 얻어진 대푯값이 실제 단면평균값을 얼마나 잘 반영하는지가 대푯값의 신뢰성에 중요한 영향을 미치게 된다. 그러나 단면에서 물리량의 변화가 큰 경우 많은 수의 측정점을 요구하고 점측정의 대푯값과 단면평균값의 차이가 커지기 때문에 제한된 점측정에 의해 효율적인 발열량 산정을 위해서는 측정위치에서의 주요 물리량의 편차가 크지 않아야 한다. Figure 7은 수평덕트구조에 대해 배기덕트의 유동방향으로 각 위치에서의 온도, 산소소모계수, 속도의 평균값에 대한 수직방향으로의 편차백분율을 나타낸다. 편차백분율은 다음과 같이 계산된다.

$$\delta = \left( \frac{\bar{\xi} - \xi}{\xi} \right) \times 100[\%] \tag{7}$$

여기서  $\bar{\xi}$ 는 점측정값의 평균,  $\xi$ 는 임의 높이에서의 점측정값을 나타낸다.

그림에서 보는 것처럼 각 측정단면에서 속도요소의 편차가 상대적으로 크고 온도의 편차가 가장 작게 나타났다. 또한 배기덕트의 하류로 유동이 발달해감에 따라 편차는 지속적으로 감소하는데 온도와 산소소모계수의 경우 배기덕트의 하류로 갈수록 편차가 크게 감소하는 경향을 보이지만 속도의 경우 상대적으로 편차의 감소폭이 작다. 개별적 측정인자가 발열량 측정신뢰도에 미치는 영향을 분석해보면 온도의 경우 일반적으로 열전대에 의해 측정되기 때문에 측정점의 증가가 상대적으로 용이하고 단면에서의 편차가 크지 않기에 전체 발열량 측정에 미치는 불확실성이 크지 않다고 할 수 있다. 배기가스의 농도의 경우 온도분포에 비해 단면에서의 편차는 다소 큰 편이지만 배기가스

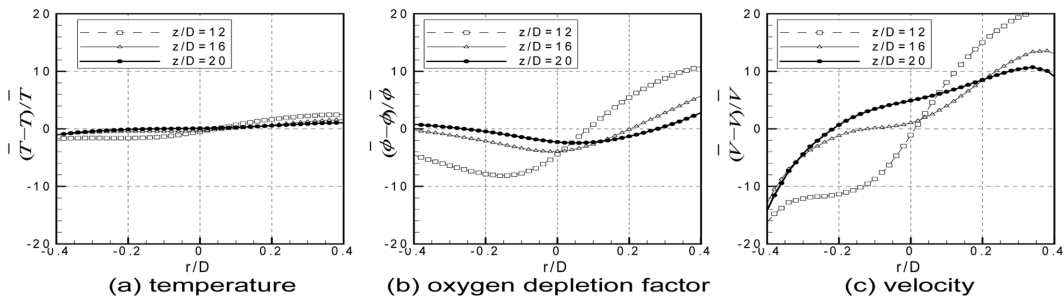


Figure 7. Comparisons of the quantity deviation in the horizontal duct system.

측정이 하나의 흡입프로브를 이용하여 다점에서 동시 흡입을 통해 평균적인 측정이 가능하고 배기덕트의 하류로 갈수록 편차가 급격히 감소하기 때문에 프로브 설계와 측정위치의 최적화를 통해 어렵지 않게 대푯값의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 보인다. 그러나 속도분포의 경우 단면에서의 편차가 크고 측정기법상 측정점의 수가 제한적이기 때문에 산술평균에 의해 얻어진 대푯값이 실제 단면평균값과 상당한 차이를 보일 수 있다. 따라서 제한된 측정점에서 계측된 속도를 통해 유속분포를 예측할 수 있는 알고리즘의 개발이나 배기유량 혹은 화재조건에 따른 유동형태지수(flow shape factor)의 정량화하는 과정이 필요하다. 그러나 이러한 과정역시 불확실성을 내재하고 있으며 근본적으로는 유동측정기법의 개선을 통해 대표 속도값의 신뢰성을 향상시키기 위한 노력이 필요하다.

#### 4. 결 론

본 연구는 수치해석을 통해 화재발열량계 내부의 열 유동 및 물질전달 특성을 파악하여 발열량산정의 불확실성에 영향을 미치는 주요 인자들의 특성을 파악하고 측정위치를 최적화하기 위한 측정인자들의 상대적인 기여분을 분석하였다. 본 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 범용 수치해석 모델을 이용하여 화원 주위의 화재유동 및 후드 및 덕트시스템에서의 유동을 모델링 하였으며 발열량계 설계의 최적화 과정에 수치해석 모델이 유용한 도구로 활용될 수 있음을 보여준다.
2. 화재유동장의 유속측정에 널리 활용되고 있는 이 방향유속계의 경우 사용상의 편의성으로 인해 화재발열량계에 사용되고 있으나 평면방향의 속도성분으로 인한 오차나 유동장에 미치는 영향으로 측정점이 제한되기 때문에 배기덕트의 평균유속을 정확히 측정해야 하는 화재발열량계에 대해서는 효과적이지 못한 측정기법으로 나타났다. 따라서 지속적인 노력을 통해 화재유동측정의 신뢰성을 향상시키고 화재발열량계에 적용에 적합한 유동측정기법에 대한 연구가 필요하다.
3. 발열량 산정에 필요한 측정변수중 각 측정단면에서 편차가 가장 큰 변수는 유동속도이며 온도의 변화가 가장 적은 것으로 나타났다. 또한 온도와 산소소모 계수의 경우 배기덕트 하류로 갈수록 편차가 크게 감소하는 경향을 보이지만 유동속도의 경우 상대적으로 편차의 감소폭이 작은 것으로 나타났다. 따라서 다른 측정변수에 비해 유동속도의 대푯값이 가지는 상대적

인 불확실성이 크고 이를 최소화하기 위한 세심한 고려가 요구된다.

이러한 연구를 통해 신뢰성 높은 화재발열량계의 구축을 위한 설계과정을 최적화하고 효율적인 시스템 운영을 위한 기초자료로 활용될 수 있으며 발열량 측정의 신뢰성 향상을 위한 화재측정기법의 개선방향을 제시하고자 한다.

#### 후 기

이 논문은 2008년도 경일대학교 신입교원정착연구비 지원에 의해 수행된 것임.

#### 참고문헌

1. C. Huggett, "Estimation of Rate of Heat Release by Means of Oxygen-consumption Measurements", *Fire and Materials*, Vol.4, No.2, pp.61-65(1980).
2. L. Cooper, "Some Factors Affecting the Design of A calorimeter Hood and Exhaust", *Journal of Fire Protection Engineering*, Vol.6, No.3, pp.99-112(1994).
3. S.C. Kim and M. Bundy, "Numerical Model of a Large Scale Oxygen Consumption Fire Calorimeter", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol.93, No.3, pp.1013-1019(2008).
4. R.A. Bryant, T.J. Ohlemiller, E.R. Johnsson, A. Hamins, B.S. Grove, G.W. Guthrie, A. Maranghides, and G.W. Mulholland, "The NIST 3MW Quantitative Heat Release Rate Facility-Description and Procedures", NISTIR 7052 (2004).
5. 이의주, "화재연구를 위한 대형 콘 칼로리미터의 설계", *한국화재소방학회 논문지*, Vol.20, No.4, pp.65-71(2006).
6. M. Bundy, A. Maranghides, R. Johnsson, S.C. Kim, and L. DeLauter, "Heat Release Uncertainty in the NIST Large Fire Laboratory", *NIST Annual Fire Conference*(2007).
7. C.K. Westbrook and L. Dryer, "Simplified Reaction Mechanisms for the Oxidation of Hydrocarbon Fuels in Flames", *Combustion Science and Technology*, Vol.27, pp.31-43(1981).
8. ANSYS Inc., *ANSYS CFX-Solver Theory Guide*, Release 12.1(2009).
9. B.J. McCaffrey and G. Heskestad, "Robust Bi-directional Low-Velocity Probe for Flame and Fire Application", *Combustion and Flame*, Vol.26, No.1, pp.125-127(1976).