

## 화재연구를 위한 대형 콘 칼로리미터의 설계 Design of Large Cone Calorimeter for the Fire Study

이 의 주<sup>†</sup>

Eui-Ju Lee<sup>†</sup>

부경대학교 안전공학부  
(2006. 8. 9. 접수/2006. 12. 20. 채택)

### 요 약

최근에 화재연구가 활발해짐에 따라 화재특성을 평가하기 위해 중요한 물리량인 발열량 등을 측정하여 모델의 검증과 화재현상의 이해를 도모하고 있다. 이전의 화재연구에서는 실험공간이나 재정적 여건 때문에 축소모형 실험을 주로 수행하였지만, 다양한 화재의 특성을 축소모형에서 모두 도출할 수 없으므로 실제 규모의 화재에서 특성을 조사하는 것이 필요하다. 그러므로 보통 5 MW 이상의 열량을 측정할 수 있는 대형 콘 칼로리미터를 20년 전부터 외국에서는 개발하였으며, 새로운 관련기술과 화재에 관한 지식을 바탕으로 개선되고 발전되어 왔다. 본 연구에서는 대형 콘 칼로리미터를 설계할 때 고려하여야 할 방법들을 각 요소별로 설명하고, 이를 통해 향후 개선을 위해 요구되는 지식이나 기술들을 제안하였다.

### ABSTRACT

Some major properties such as a heat release rate have been measured experimentally for the validation of fire model and the clarification of fire phenomena as the study is more rigorous recently. Although the reduced-scale experiment also provides the basic data and the physical understanding in fire study, it is not enough to explain real fire problem directly because there is no exact analogy theory between a real fire and the reduced scale model. Therefore, large cone calorimeter have been built and used in a few foreign countries for the measurement of large scale fire. This paper addressed the theoretical background and the description of key features in the design of the facility. It will be a useful guide for implementation of the large scale cone calorimeter in the future.

**Keywords :** Large cone calorimeter, Fire, Heat release rate

### 1. 서 론

최근에 화재연구가 활발해짐에 따라 화재에서 중요한 물리량인 발열량 등을 측정하는 장비가 개발되었고, 실규모 화재에 적용되어 화재의 특성이 연구되고 있다.<sup>1)</sup> 화재에서 가장 중요한 물리량은 방출되는 열량(heat release rate)으로서 화재의 전과(flash over), 온도, 연기생성량 등 거의 모든 화재 생성물과 비록 선형적으로 비례하지는 않지만 밀접한 관계가 있다. 이러한 가연물의 발열량을 연소시간에 따라 측정하기 위하여 콘 칼로리미터가 개발되어 현재 많은 나라에서 기준(standard) 실험으로서 사용되고 있다.<sup>2,3)</sup> 이러한 기준은 10 kW급과 1 MW급의 소규모·중규모 실험에 국

한되어 있다. 하지만 작은 규모의 가연물 시편이나 축소모형 등의 화재실험은 실제화재의 현상을 규명하는데 한계를 가지고 있으므로 실제 규모의 화재에서 특성을 조사하는 것이 필요하였고, 그 결과로서 5 MW 급 이상의 화재를 측정할 수 있는 대형 콘 칼로리미터가 개발되었다.<sup>4,6)</sup> 이러한 대형 콘 칼로리미터는 기본적으로 큰 화재실험에서 발생하는 연소생성물의 측정을 통하여 방출되는 열량과 생성가스농도 및 연기밀도 등을 측정하는 장비이다. 열량 측정은 덕트내 유속과 산소질량 감소분율(consumption of O<sub>2</sub>)로부터 계산한다.<sup>7)</sup> 일산화탄소(CO)와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 주된 연소생성가스로서 질식사의 주요 원인 가스일 뿐 아니라 보다 정확한 발열량 산정을 위해 반드시 측정이 요구된다.<sup>1)</sup> 또한 화재에서 연기발생량(smoke production rate)을 측정하기 위해서 연기밀도(smoke density)를 정

<sup>†</sup>E-mail: ejlee@pknu.ac.kr

의하여 레이저 감쇄법(laser light extinction)을 이용하여 측정하고 있다.<sup>8)</sup> 이러한 측정 이외에도 연구의 목적에 맞는 HCl, 불연탄화수소(unburned hydrocarbon) 등의 유해가스를 측정할 수도 있다. 본 연구에서는 덕트 및 후드 시스템의 설계 인자와 더불어 기본적인 화재 물리량인 발열량, CO, CO<sub>2</sub>, 연기농도 측정을 위한 방법론에 대하여 기술하였다.

## 2. 요소설계

대형 콘 칼로리미터의 기본적인 구조는 Fig. 1과 같이 후드와 덕트 시스템으로 구성되어 있다. 즉, 가연물에서 발생한 고온의 가스를 후드를 통해 외부로 배출되지 않도록 하고 모두 덕트를 통해 외부로 배출시키는 시스템이다.

덕트 내부에는 화재가스의 속도, 온도, 농도 등을 측정할 수 있는 장비가 함께 조립되어 있는 측정부(measurement station)가 위치한다. 후드의 목적은 화재 실험의 연소생성물이 바깥으로 배연되지 않고 모두 덕트 내부로 포집하여 측정부에서 측정된 물리량의 오차를 최소화하는 것이므로, 이론적으로는 단면적이 클수록 유리하다. 후드 단면의 형상은 일반적으로 정사각형 또는 원형을 많이 사용하고 있는데, 큰 스케일의 와류 발생을 최소화하기 위해서는 대칭형인 원형 단면이 보다 보편적이다. 화재실험의 연기를 흡입하기 위해서는 덕트 하류에 흡기 팬을 설치하여야 하는데, 실제 대형 콘 칼로리미터의 규모를 결정하는 팬 용량은 다음 덕트시스템에서 설명하였다. 화재가스를 건물 밖으로 배출시키면 심각한 대기오염을 유발하므로, 이를 방지하기 위해 연기의 후처리 장치를 설치해야 한다. 후처리 장치는 일반적으로 두 가지의 장비로서 구성되는데, 하나는 연소장치(after burner)로서 화재에서 발생한 미연소 가스나 CO 등을 다시 태우는 장치이고, 다

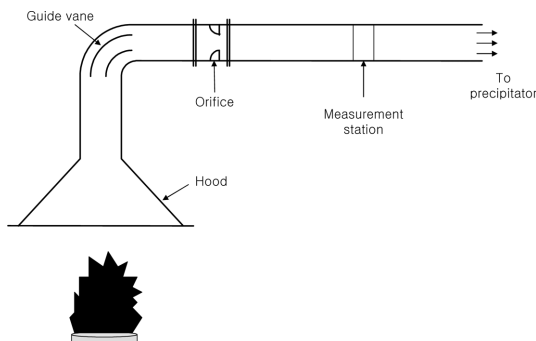


Fig. 1. Overall configuration of large cone calorimeter.

른 하나는 연기의 주성분인 매연(soot)과 타르 등을 포집하는 필터시스템이다. 이러한 장비들은 매우 고가일 뿐 아니라 많은 안전성 검사를 사전에 실시하여야 하는 어려움이 없지만, 현시점에서는 필수불가결한 부수적 장치라 할 수 있다. 마지막으로 대형 콘 칼로리미터가 설치되어야 하는 공간을 설계하는 경우에는 두 가지의 큰 유의사항이 존재하는데, 원활한 급기설비와 측정부 접근의 용이성이다. 급기설비는 가연물을 연소시킬 때 필요한 주위공기를 공급하는 장치로서 일반적으로 강제급기를 많이 사용하고 있다. 하지만 강제급기 시 화재형상에 주는 영향을 최소화 할 수 있도록 유동을 적절히 조절하여야 한다. 측정부 접근의 용이성을 위해서는 대형 콘 칼로리미터가 위치할 건물의 설계단계에서 반영되는 것이 좋다. 즉, 거의 모든 측정 장비가 모아있는 측정부는 화재 규모를 생각하면 10 MW 급인 경우 10 m 정도의 높이에서 위치할 것이므로 측정부를 항상 쉽게 접근할 수 있도록 건물을 설계하여 측정 장비들의 보정이나 보수를 가능하게 하여야 한다.

덕트 내부에 구성되어 있는 측정부(measurement station)의 구성 개념도는 Fig. 2에 나타내었다. 덕트 내부에는 속도, 온도, 가스 측정 probe 그리고 연기밀도 측정시스템 등을 설치하고 그 결과를 외부 조정실에서 전자신호로 받은 후 프로그램을 통해 저장하고 분석하는 장치이다.

각 측정 장비는 상류에서부터 속도, 온도, 연기밀도 등으로 배열되어 있는데, 이 순서는 프루브에 의한 유동의 간섭을 최소화하여 최종 발열량 산정에 정확성을 높이기 위해 선택되었다. 각 요소들에 대한 설명은 다음에 기술하였다.

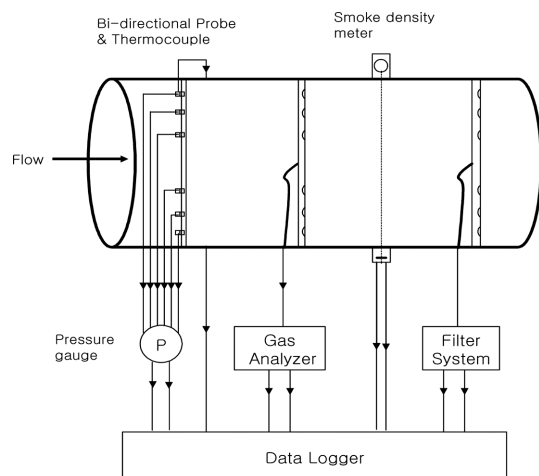


Fig. 2. Schematic diagram of measurement station.

**2.1 덕트 시스템**

덕트 시스템에서 설계 시 가장 중요한 변수는 흡기 유량의 결정이다. 흡기유량을 결정하기 위해서는 가연물의 종류를 결정하여야 하는데, 화재는 다양한 종류의 고체와 액체연소로부터 발생하기 때문에 기준 가연물을 정하는 것이 매우 어렵다. 그러므로 물리적 특성과 연소상태가 많이 연구되어져 있는 풀화재(pool fire)를 기준으로 하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 많은 유류화재를 대표할 수 있는 풀화재를 채택하였고, 화재규모는 10 MW를 기준으로 설계치를 얻었다.

풀화재에서 발생한 질량유속은 가연물이 연소반응에 의해 변화하는 생성물의 유량과 고온의 생성물이 부력에 의해 상승하면서 발생하는 주위공기의 유입(entrainment) 유량의 합으로 생각할 수 있다. 특히 풀화재의 경우 후자의 영향이 보다 절대적이다. 이러한 전체 질량유속을 결정하기 위해 풀화재를 고온의 플룸(plume)으로 상사한 여러 결과가 있지만<sup>9)</sup> 본 연구에서는 Heskestad의 결과를 이용하였다.<sup>10)</sup> 플룸해석 결과로부터 평균 화염길이와 전체질량유속을 식 (1)과 식 (2)로 얻을 수 있다.

$$L = 0.235\dot{Q}^{2/5} - 1.02D \tag{1}$$

식 (1)에서 L,  $\dot{Q}$ , D는 각각 화염 평균길이, 발열량, 풀화재 버너의 직경을 의미한다. 이 때 직경, D는 가연물의 종류를 알면 단위면적당 연소율 데이터로부터 구할 수 있다.

$$\dot{m} = 0.071\dot{Q}_c^{1/3} z^{5/3} [1 + 0.026\dot{Q}_c^{2/3} z^{-5/3}]$$

where  $\dot{Q}_c = 0.7\dot{Q}$  (2)

위의 전체 질량유량,  $\dot{m}$ , 식에서  $\dot{Q}_c$ 는 대류 열방출율로서, 본 연구에서는 풀화재에서 70%의 열이 대류향으로 방출되고 나머지 30%는 복사열로 주위로 전달됨을 가정하였다. 또한 z는 Heskestad 플룸에서 가상원점(virtual origin)부터의 높이이다.

위의 식으로부터 10 MW 발열량을 가진 3가지 액체연료, 메탄올, 헵탄(heptane), 가솔린에 대하여 9 m 높

**Table 1.** Pan diameter, flame hight and plume mass flow rate of various 10 MW pool fires at the 9 m hight

Fuel	D (m)	L (m)	$\dot{m}$ (Kg/s)
Methanol	6.1	3.1	96.5
Heptane	1.7	7.6	51.7
Gasoline	2.3	7.0	56.9

이에 후드가 위치하고 있다고 가정하고, 그 높이에서의 계산값을 Table 1에 제시하였다.

3가지 연료의 결과에서 보듯이 메탄올을 제외하고는 헵탄과 가솔린의 경우에 거의 유사한 값을 보이고 있다. 실제 알코올 연료는 연소 특성이나 물성치가 일반 탄화수소 화합물과는 매우 다르므로 메탄올을 가지고 일반화하기보다는 원유에서 얻은 액체연료 중 가장 구조가 간단하고 대표성이 있는 헵탄을 선정하여 설계에 반영하는 것이 타당하다. 실제로 헵탄은 다른 액체연료인 등유, 합성오일, 그리고 고체연료 등과도 유사한 발열량을 가지고 있다.<sup>11)</sup>

후드의 높이를 결정하기 위해서는 화염길이가 중요 변수라 할 수 있다. 화염 자체는 고온이므로 후드 높이를 화염길이보다 높게 설정해 주는 것이 구조적인 측면에서 안전할 뿐 아니라 화염길이보다 낮은 후드 높이는 가연물의 연소상황을 크게 바꿀 수 있으므로 피하는 것이 좋다. 그러므로 본 연구에서 채택된 9 m 후드 높이는 7.6 m 화염길이보다 높으므로 적절하다고 할 수 있다. 9 m 높이에서 계산된 질량유량은 약 50 kg/s로서 10 MW 화재의 경우에 덕트내 최소 흡입질량을 의미한다. 그러므로 덕트 시스템의 설계에서 10 MW 화재의 발열량을 측정하기 위해서는 덕트에 의한 압력강하를 고려한 후 최소 50 kg/s 용량의 흡기팬을 설치해야하고 안전도(safety factor)를 고려하면 보다 큰 용량의 팬이 요구된다. Table 1에는 나타내지 않았지만 연기의 온도 또한 근사적으로 계산할 수 있는데, 대략 상온에 비해 300 K 이상 증가한다. 덕트에서의 열전달을 고려하더라도 고온이므로 흡기팬의 용량산정을 체적유량(volume flow rate)으로 할 경우에는 온도에 의한 부피팽창을 반드시 고려하여야 한다.

앞의 Fig. 1에서 측정부 상류에 오리피스를 도시하였다. 일반적으로 10 MW급 대형 콘 칼로리미터에 사용되는 덕트는 1 m~2 m의 직경을 가지고 있는데, 측정부에서의 여러 가지 측정을 위해서는 균일한 형태의 속도분포를 만들어 주는 것이 필요하다. 유속 균일화를 위해서 큰 스케일의 와류(vortex)를 없애주는 방법으로 크게 두 가지의 방법이 사용되는데 하나는 오리피스이고<sup>4)</sup> 다른 하나는 다공질 형태의 균일 유동기(flow straightener)이다.<sup>6)</sup> 압력강하와 비용 면에서 적절히 판단하여 부착하는 것이 측정부의 정확한 계측을 위해 필수적이라 판단된다.

**2.2 질량유속 계측**

화재에서 발생된 생성물의 유동에는 매연이나 타르 등의 액체나 입자가 혼합되어 있으므로 일반적인 피토

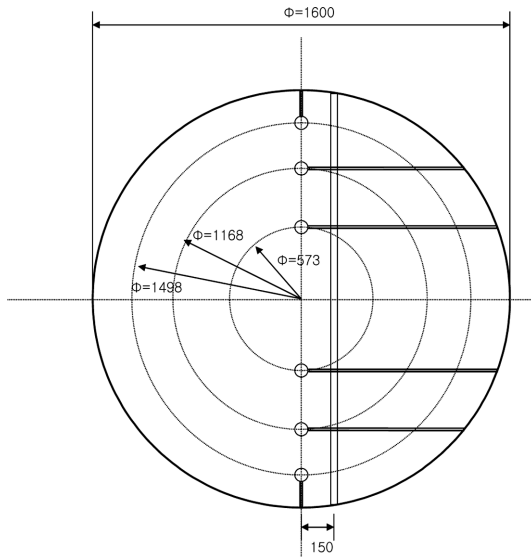


Fig. 3. The example of the bi-directional probe location in duct.

관(Pitot tube)을 사용하지 않고 Bi-directional probe를 사용한다.<sup>12)</sup> Bi-directional probe는 이러한 막힘현상 뿐 아니라 유체흐름의 방향에도 큰 영향을 받지 않는 장점이 있으므로 작은 규모의 Cone Calorimeter에서도 이미 사용되고 있다.<sup>2,3)</sup> 대형 콘 칼로리미터에서도 연소가스의 속도 측정을 위해 사용되는데 넓은 덕트 단면을 고려하면 여러 개의 probe를 이용하여 전체 유량을 결정하는 것이 오차를 줄일 수 있다. Fig. 3에 6개의 Bi-directional probe를 사용하였을 때 probe의 위치를 예시하였다. 유속 측정 probe의 위치는 ASHRAE<sup>13)</sup>의 권장값을 사용하여 결정하였고, Fig. 3에서 단면 중심선 오른쪽의 범은 Bi-directional probe를 지지하는 구조물이다.

설치된 Bi-directional probe를 이용하여 차압을 측정하고 이로부터 최종적으로 질량유량을 얻는다. 이때 사용되는 차압계의 범위는 예상되는 최고 유속과 덕트 직경으로부터 속도범위를 파악하면 차압을 결정할 수 있는데, 실제로 10 MW급 화재에서 1.6 m 직경의 덕트를 가정하면 약 200 Pa 정도다. 차압계 측면에서 보면 200 Pa은 매우 작은 압력범위이므로 가능한 한 분해능(resolution)이 높은 디지털 출력 차압계를 선정해야 한다. 또한 Bi-directional probe 주위에 열전대를 각각 위치시켜 유체의 온도를 측정하여 질량 유속 계산에 이용하는데, 덕트 내부 유동을 고려하면 부식에 강한 shield type을 사용하는 것이 권장된다. 마지막으로 질량유속을 계산하는데 있어 대형 콘 칼로리미터인 경우

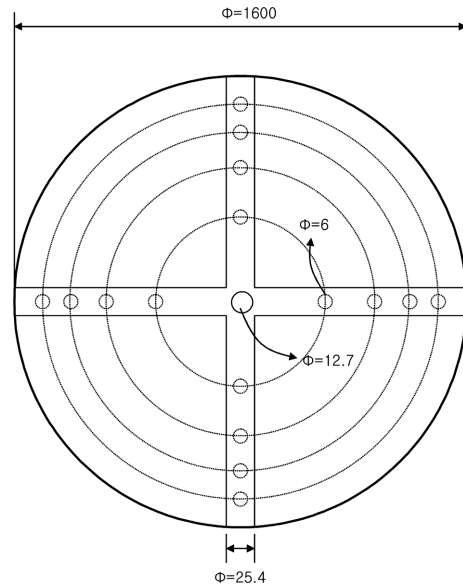


Fig. 4. The example of gas sampling tee and holes in the exhaust duct.

는 일반적으로  $Re > 3800$ 이므로 McCaffrey와 Heskestad<sup>12)</sup>에 의해 실험된 식에서 Re 수가 큰 경우의 극한값이 사용된다.

### 2.3 가스포집 및 농도계측

덕트 내 가스 포집 및 분석은 기본적으로  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  등 3가지의 가스를 대상으로 한다. 덕트 내 가스 포집을 위해서는 Fig. 4와 같이 십자 형태 또는 일자 형태의 포집관을 위치시키고 포집 홀(hole)을 뚫는다. 이 때 관내 가스 조성의 불균질한 정도를 극복하기 위해 여러 개의 홀을 위치시키는데 등 면적 위치에 홀을 위치시키는 것이 일반적이다. 또한 제작된 포집관은 홀이 하류방향으로 향하게 하여 유동의 직접적 간섭을 피하게 하는 것이 좋다.

포집된 가스는 가운데 하나의 관을 통해 분석기로 보낸다. 만일 가스 분석기가 포집관과 멀리 떨어져 있으면 미연소 탄화수소 화합물과 같이 응축(condensation) 등의 현상으로 덕트 내의 농도와 분석시의 농도가 서로 다를 수 있다. 그러므로 덕트에서 전처리 장치까지는 상온에서  $150^{\circ}C$ 까지 샘플링가스의 온도를 유지할 수 있는 온도조절 관(temperature controlled line)으로 설치하는 것이 좋다.

연소가스에는 다량의 매연입자와 타르 그리고 수분이 포함되어 있으므로, 가스분석 전에 이를 제거시킬 수 있는 적절한 전처리 장치를 설치하여 정확한 계측

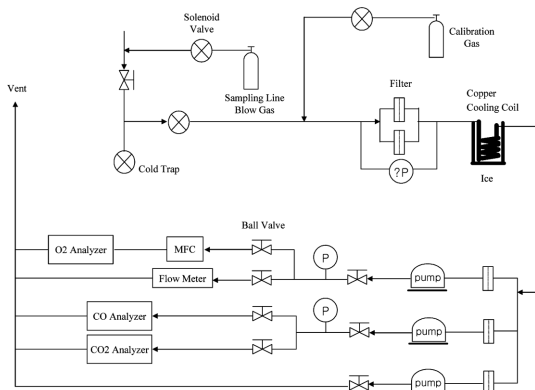


Fig. 5. Diagram of the gas analysis system.

과 더불어 가스분석기의 고장을 방지하여야 한다. Fig. 5에 포집가스의 가스 분석 설비의 개략도를 나타내었다. 개략도의 순서대로 설명을 하면, 먼저 덕트에서 포집된 가스는 가스분석기에 건조된 가스가 유입될 수 있도록 수분제거 장치를 통과하게 된다. 수분이 제거된 연소가스는 매연제거용 필터를 전체 포집라인과 각 가스분석기 전단에 설치하여 분석기로의 매연입자 유입을 방지한다. 이때, 필터 및 필터홀더는 기성품 (commercial product)을 사용하여 교환을 쉽게 하여야 하고, 필터 입출구에 차압계이자를 부착하여 필터의 상황을 모니터링하는 것이 중요하다. 수분과 매연 등이 제거된 가스는 각 분석기로 보내지는데, 분석기 전단에 가스분석기 특성에 맞는 펌프를 설치하여 포집 시 정확한 유량을 흡입할 수 있도록 한다. 특히 발열량 측정에는 산소분석이 중요하므로 산소분석기 전에는 정확한 가스유량을 조절하기 위해 질량유속조절기 (mass flow controller)를 부착한다. 샘플링 라인의 구성에서는 분석기에 들어간 유량 이외에 가스를 배기시키는 목적과 함께, 추후에 연구목적에 맞는 다른 중요 가스농도를 계측을 위하여 여분의 샘플링 라인을 확보하여야 한다.

전체적인 분석시스템 외에 포집관 분진제거 (purge) 장치와 분석기 보정 (calibration) 장치를 함께 구성하여야 한다. 즉, 실험이 끝난 후 수분제거 장치 전 ON/OFF 밸브를 닫은 후 압축공기나 질소를 이용하여 덕트 내 포집관에 고압가스를 분사하여 분진 등을 제거할 수 있는 분진제거 시스템을 부착한다. 또한 가스분석기의 보정을 위하여 2개의 서로 다른 조성을 갖는 표준가스와 순수 질소 또는 헬륨가스를 매연필터 전에 연결하여 가스분석기의 영점과 출력신호의 정확성을 체크하는 것이 필요하다.

마지막으로 가스분석기의 선택은 기초 화재물리량

측정 오차에 큰 영향을 미친다. 최근에는 분석기의 발전에 따라 정확도도 좋으면서도 많은 종류의 가스를 한번에 측정할 수 있는 분석기가 존재한다. 하지만 대형 콘 칼로리미터 실험에 드는 비용을 생각하면 가스 분석기의 가격은 크지 않으므로 실험 중에 발생할 수 있는 여러 응급상황을 고려하면 측정가스에 대해 각각의 분석기로 구성하는 것이 좋다고 판단된다. 가장 중요한 분석은 산소소모율로부터 발열량을 측정하므로 산소 농도라 할 수 있다. 그러므로 산소분석기는 농도 범위는 21%~16%를 포함하며, 매우 높은 분해능의 제품을 선택하여야 한다. 또한 반도체 타입은 주기적으로 센서를 교체하여야 하므로 상자성 (paramagnetic) 산소센서 타입을 사용하는 것이 적절하다. 그 외 일산화탄소나 이산화탄소 분석기는 화재발생시 농도 범위를 예측하여 선택한다.

이러한 농도 계측은 각 분석기 별로 분석에 필요한 시간지연이 있으므로, 이를 고려하여 시간에 대하여 동기화시키는 작업이 별도로 요구된다.

2.4 연기밀도 계측

화재실험에서 발생된 연기의 밀도는 피난에 필요한 가시도 문제와도 관련이 있을 뿐 아니라 직접적으로도 호흡기 장애 등을 유발하는 유해물질이므로 이에 관한 측정 및 해석이 최근 많이 이루어지고 있다. 현재 대형 콘 칼로리미터에는 적용되지 않고 있지만 향후에는 작은 규모의 콘 칼로리미터와 같이 중요한 정보로서 이용될 수 있다. 연기밀도의 계측은 여러 방법이 가능하지만 연소공학적으로 보았을 때 광감쇄법 (light extinction method)을 이용하는 것이 일반적이다. 즉, 빛을 연기에 조사하여 연기입자에 의해 흡수 (absorption), 산란 (scattering)되어 줄어드는 빛의 세기로서 연기의 농도를 측정하는 방법이다. 이 물리량은 입자의 복소수 굴절율 (complex refraction index)을 알고 있으면 곧바로 연기 또는 매연입자의 부피분율 (volume fraction)로 바꿀 수 있다.<sup>14)</sup>

간략한 연기밀도 측정 시스템을 Fig. 6에 도시하였

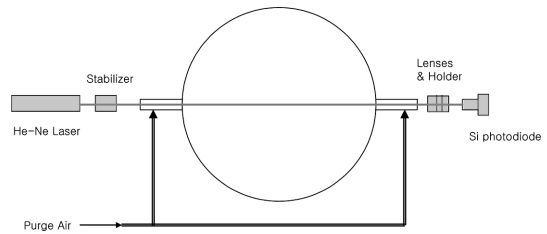


Fig. 6. Schematic measuring system of smoke density.

다. 소규모 콘 칼로리미터에서는 광원이나 광감지기 등을 덕트 표면에 붙여서 제작하지만, 큰 규모의 덕트 내에서는 흡기팬에 의한 진동 등을 고려하면 덕트와 분리하여 광학기기를 별도로 부착할 수 있는 지지대(support system)로 구성하는 것이 좋다. 이 때 덕트에서 평행하게 나와 있는 파이프 끝단에는 렌즈로 밀폐시키는데, 실험 중에 매연입자들이 렌즈에 부착되는 것을 방지하기 위하여 소량의 깨끗한 공기를 공급하는 시설이 필요하다.

광원은 큰 직경의 덕트로 인한 상대적으로 긴 광로(optical pass)를 고려하면 할로겐 램프와 같은 백색광보다는 레이저를 사용하는 것이 유리하다. 가시광선 영역의 레이저는 파장에 따른 연기밀도의 영향이 크지 않을 것으로 판단되고, 큰 파워가 요구되지 않으므로 He-Ne laser가 광원으로 적절하다. 또한 레이저를 beam splitter 등으로 나누어 한쪽 경로의 광원세기를 기준(reference)으로 하는 방식은 시스템을 복잡하게 하므로 Mulholland 등<sup>15)</sup>이 제안한 것처럼 레이저 조사 후 안정기(stabilizer)를 위치시켜 시간에 따른 레이저 광원의 편차(drift)를 최소화하는 것이 좋다. 감쇄된 광원의 세기를 측정하는 광감지기로서 실험실에서 일반적으로 사용되는 PMT(photo multiplier tube)는 민감하기 때문에 상대적으로 보정작업이 쉽고 안정적인 Si-photodiode를 이용한다. 또한 자발광 등에 의한 영향과 측정의 분해능을 높이기 위해 광량을 조절하기 위한 각종 필터를 감지기 앞에 설치하고 가변시킬 수 있도록 홀더(optics holder)를 설치한다.

마지막으로 Fig. 2 측정부 하류방향으로 매연입자를 포집하는 포집관을 설계하였다. 현재의 연구에는 아직 사용되고 있지는 않지만, 직접 포집을 통해 매연입자(soot)의 특성을 조사하는 것이 향후 화재연구에 도움이 될 수 있다. 포집관은 가스의 경우와 유사한 포집관 형태로 설계하지만, 후처리 과정은 많은 차이가 있다. 일반적으로 매연은 포집되어 관을 통해 운반하는 과정 중에 함께 섞여있는 PAH(polycyclic aromatic hydrocarbon)과 반응 또는 응축을 통해 특성이 바뀌므로 온도조절 라인과 더불어 온도조절 노(furnace)를 이용하여 필터의 온도를 상온에서 200°C까지 유지시킬 수 있도록 제작한다.<sup>16)</sup> 이렇게 얻어진 연기 입자는 물리적, 화학적 특성을 조사하는데 사용될 수 있다.

### 3. 결 론

화재연구에 있어 실험적 방법론으로서 가연 재료의 특성이나 소규모 모형실험을 통해 많은 자료와 지식을

얻고 있지만 발열상태(fire curve)와 같은 여러 가지 중요한 물리량들은 복잡한 화재현상을 단일화할 수 있는 무차원 변수들이 존재하지 않으므로 이러한 소규모 실험으로부터 얻는 것이 불가능하다. 그러므로 최근에 국내에서는 식물화재실험을 가능하게 하는 대형 콘 칼로리미터 등의 설비를 만들어, 보다 근본적이면서 실제적인 연구를 수행하려고 계획하고 있다. 비록 작은 크기의 콘 칼로리미터는 이미 국제기준으로 결정되어 있어 사용할 수 있지만 대형 콘 칼로리미터에 대해서는 많은 연구가 존재하고 있지 않다. 본 연구는 본인의 경험이나 문헌조사 그리고 다른 연구자와의 토의를 통해 대형 콘 칼로리미터를 설계하는데 있어 참고가 될 사항들을 각 요소별로 소개하였다. 화재 특성을 평가하는 실험방법론은 관련기술의 발달에 따라 향후 진보할 것으로 예상되는데, 본 연구가 앞으로 여러 가지 규모의 발전된 콘 칼로리미터 설계에 도움이 되었으면 한다.

### 감사의 글

본 연구에 동기부여와 도움을 주신 한국건설기술연구원(KICT) 관계자 분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. V. Babrauskas and S. J. Grayson, "Heat Release in Fire", Elsevier Science Publisher, New York(1992).
2. ISO 5660-1, "Fire Tests: Rate of Heat Release from Building Products", ISO(1993).
3. ISO 9705, "Fire Tests: Full-Scale Room Test for Surface Products", ISO(1993).
4. G. Heskestad, "A Fire Products Collector For Calorimeter into the MW Range", FMRC Technical Report(1981).
5. M. Dahlberg, "The SP Industry Calorimeter for rate of Heat Release Measurements up to 10 MW", SP Report(1992).
6. R. A. Bryant, T. J. Ohlemiller, E. L. Johnsson, A. Hamins, B. S. Grove, W. F. Guthrie, A. Maranghides, and G. W. Mulholland, "The NIST 3 Megawatt Quantitative Heat Release Rate Facility", NIST Special Publication 1007(2003).
7. 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).
8. D. Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics, John Wiley & Sons Ltd.(1998).
9. B. Karlsson and J. G. Quintiee, Enclosure Fire Dynamics, CRC Press Ltd.(2000).

10. G. Heskestad, "Fire Plume, Flame Height and Air Entrainment", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA(2002).
11. V. Babrauskas, "Heat Release Rates", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA (2002).
12. B. J. McCaffrey and G. Heskestad, "Robust Bidirectional Low-Velocity Probe for Flame and Fire Application", Combust. Flame, Vol. 26, No. 1, 125-127(1976).
13. Measurement and Instruments, ASHRAE Handbook, Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, Ga(1993).
14. 이의주, 안찬술, 신현준, 오광철, 이은도, "작은 풀화재에서의 연기특성", 한국화재소방학회 논문지, Vol. 19, No. 3, pp.58-63(2005).
15. G. W. Mulholland, E. L. Johnsson, M. C. Fernandez, and D. A. Shear, "Design and Testing of a New Smoke Concentration Meter", Fire and Materials, Vol. 24, pp.231-243(2000).
16. 이의주, G.W. Mulholland, "WSR 초기매연 조건에서의 입자크기, 농도 및 화학적 특성", 대한기계학회논문집 B, Vol. 28, No. 9, pp.1117-1123(2004).