

# 난류 미분탄화염 내 입자거동에 관한 연구 A Study on the Particle Behavior in Turbulent Pulverized Coal Flame

황 승 민  
Seung-Min Hwang

호서대학교 벤처전문대학원 보건환경학과  
Department of Health Environment, Graduate School of Venture, Hoseo University

(2010년 3월 18일 접수, 2010년 12월 16일 채택)

**Abstract :** Combustion measurements based on optical techniques have recently become of major interest as tools not only for clarifying the combustion mechanism but also for validating the computational results for the combustion fields. In this study, the particle behavior in turbulent pulverized coal flame are investigated using advanced optical diagnostics. A laboratory-scale pulverized coal combustion burner is specially fabricated as open type in order to apply various optical measurement techniques. The detailed particle behavior is performed by LDV (laser Doppler velocimetry) and SDPA (shadow Doppler particle analyzer). It is observed that the particle mean diameter increase as the distance from burner increases, and this is found to be caused by the decrease of small particles' diameter and increase of large particles' diameter. This is because of result in the char reaction and the particle swelling due to devolatilization, respectively. The size-classified streamwise velocities of pulverized coal particles in the central region of the jet show the same magnitude, whereas those in the outer region are different depending on the particle size. The results show that the velocity and size-classified diameter of the pulverized coal particles in the flame can be measured well by SDPA.

**Key Words :** Pulverized Coal Combustion, Optical Measurement, Laser Doppler Velocimetry, Shadow Doppler Particle Analyzer

**요약 :** 비접촉법으로 유동장이나 온도, 화학종 농도의 측정이 가능한 레이저 응용 측정기술은 연소 메카니즘의 해명뿐만 아니라 수치해석 결과의 정당성을 입증하는 수단으로 최근 주목받고 있다. 본 연구에서는 레이저 도플러 유속계와 섀도우 도플러 입자 분석계를 이용하여 난류 미분탄 화염 내 입자거동에 대하여 관찰하였다. 버너는 여러 광학계측을 용이하게 하기 위하여 대기개방형으로 하였으며, 실험실 규모의 안정된 난류 미분탄화염이 형성 가능한 소형 모델버너를 제작 하였다. 그 결과 미분탄 입자의 평균입경은 연소과정이 진행함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 원인은 다수의 소입경의 미분탄 입자가 휘발분을 방출하여 연소반응에 의해 소실되기 때문이다. 또한 화염 중심부에서 미분탄 입자의 속도장은 입경의 크기에 크게 의존하지 않지만, 화염 외주부에서의 미분탄 입자의 속도장은 입경에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다.

**주제어 :** 미분탄 연소, 광학계측, 레이저 도플러 유속계, 섀도우 도플러 입자 분석계

## 1. 서론

에너지 문제가 심각해지는 요즘 에너지 획득을 위한 새로운 기술개발이 각 방면으로 급속하게 진행되고 있다. 그러나 신기술의 확립 및 실용화 측면에 있어서 아직 많은 시간이 필요하며 앞으로도 석유나 석탄을 비롯한 화석연료의 이용에 크게 의존해 갈 것으로 예상된다.<sup>1,2)</sup> 이러한 상황에서 최근에 지구환경 오염이나 공해문제 대응책의 하나로써 연소 배출물에 대한 규제강화가 행하여지고 있으며 그 규제치는 점점 더 강화되어지고 있다. 또한 저공해화에 대한 연소기술의 요구도 한층 엄격함을 더하고 있다. 이러한 요구에 부응하여 친환경적이며 고효율적인 연소를 실현하기 위해서는 유해한 연소 배출물을 제거하기 위한 후처리 기술개발뿐만이 아니라 연소현상 그 자체에 대한 제어가 필수 불가결하다.<sup>3)</sup>

화석연료 중 석탄은 다른 화석연료에 비해 매장량이 풍부하고 산지가 편재되어 있지 않기 때문에 공급안정성이 높고 경제성·실용성에도 뛰어나 향후 각종 에너지원과의 적

절한 조합에 의한 안정적인 공급을 도모하는데 있어서 매우 중요한 에너지원으로 다시 주목 받고 있다.<sup>4)</sup> 현재 가장 일반적으로 이용되어지고 있는 석탄이용 기술은 석탄을 평균입경 40 μm 정도로 분쇄하여 버너에서 연소시키는 미분탄 연소방식이다. 이 미분탄 연소는 미분탄 입자의 기상으로의 분산, 휘발분의 방출, 공기와 휘발분의 혼합 및 연소(휘발분 연소), 그리고 고체탄소의 표면연소(char 연소) 등 복잡한 과정이 상호작용을 일으키면서 동시에 일어나기 때문에 매우 복잡한 현상이다. 더욱이 연료입자는 서브 마이크론에서부터 백 마이크론 정도까지 넓은 입경분포를 갖고 있기 때문에 여러 연소형태가 혼재하고 있을 것으로 예상되어지지만, 그 기초적 메카니즘은 불명한 점이 많다. 따라서 미분탄 연소에 관한 새로운 기술개발 및 환경오염에 대한 대책은 주로 경험적 지식에 의존하고 있는 것이 현실이다.

이와 같이 미분탄 연소에 관한 메카니즘 해명이 진척되지 않고 기술개발 및 환경오염에 대한 대책이 주로 경험적 지식에 의지할 수밖에 없는 원인 중 하나로는 연소장에 있어서의 측정이 매우 어렵다는 점을 들 수 있다. 미분탄 연소

† Corresponding author E-mail: hwangsm@hoseo.edu Tel: 02-523-3015 Fax: 02-2055-1405

에 관한 계측은 대부분 발전용 보일러와 상이한 스케일의 모델버너를 이용하여 열전대나 가스 샘플링 프로브 등의 접촉법<sup>5-9)</sup>에 의한 계측기기를 사용하여 계측되기 때문에 미분탄 입자의 상세한 거동이나 정확한 화염구조를 관찰하는 것이 곤란하였다. 그러나 최근에 비접촉법으로 유동장이나 화학종 농도의 계측이 가능한 레이저 응용 계측기술이 주목받고 있으며, 이들 기술을 이용하여 연소장을 어지럽히지 않고 높은 공간·시간 분해능 하에서 여러 물리량의 계측이 가능하여졌다.<sup>3,4)</sup>

따라서 본 연구에서는 미분탄 연소의 상세한 메카니즘을 해명하기 위하여 화염 내 미분탄 입자의 거동을 상세히 관찰함과 동시에 미분탄 화염에 광학계측법의 적용성에 대해 검토하였다. 장치는 광학계의 조정이 용이하고 연소장치의 조작을 간편하게 할 수 있는 점 등을 고려하여 실험실 규모의 안정된 난류 미분탄화염이 형성 가능한 소형 모델버너를 제작하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 미분탄 연소버너

본 연구에서 이용한 난류미분탄 연소장치의 공급계를 포함한 전체의 구성을 Fig. 1에 나타내었다. 버너는 여러 광학계측을 용이하게 하기 위하여 대기개방형으로 하였으며, 내경 0.6 mm의 주류 원형관과 그 주위에 환상 슬릿트 유로(폭 0.5 mm)를 갖는 이중관 구조로 되어있다. 연소용 주류 공기는 컴프레서로부터 공급되어 유량 제어장치에서 유량을 제어한 후 미분탄용 인젝터에 유입된다. 인젝터에서는 스크류 피더에 의해 정량 공급된 미분탄이 공기에 흡인·혼합되어 버너부에 이송되어진 후 주류 원형관으로부터 미분탄 입자-공기의 고·기 이상류로 분출된다. 사용한 석탄은 뉴란즈탄(newlands coal)이며 50%경(질량기준)을 40 μm 정도로 분쇄한 것을 이용하였다. 뉴란즈탄의 성상을 Table 1에 나타내었다.

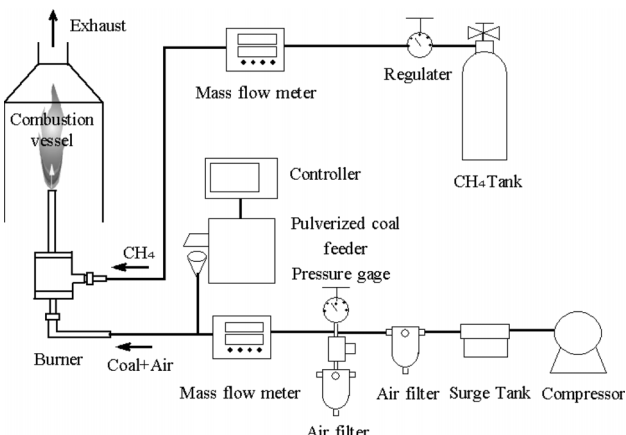


Fig. 1. Configuration of pulverized coal burner and supply system.

Table 1. Properties of pulverized coal

High heating value <sup>a)</sup>	29.1 MJ/kg
Low heating value <sup>b)</sup>	28.1 MJ/kg
Proximate analysis [wt %]	
Moisture <sup>b)</sup>	2.60
Ash <sup>a)</sup>	15.20
Volatile matter <sup>a)</sup>	26.90
Fixed carbon <sup>a)</sup>	57.90
Ultimate analysis [wt %]	
Carbon <sup>a)</sup>	71.90
Hydrogen <sup>a)</sup>	4.40
Nitrogen <sup>a)</sup>	1.5
Oxygen <sup>a)</sup>	6.53
Total sulfur <sup>a)</sup>	0.44
Combustible sulfur <sup>a)</sup>	0.39

<sup>a)</sup> Dry basis, <sup>b)</sup> As received

### 2.2. 광학계측 장치

유동 중의 입자속도를 측정하는 방법으로서 LDV (laser Doppler velocimetry)<sup>10,11)</sup>가 일반적으로 이용되어지고 있다. 그러나 LDV는 입경분포를 갖는 연료입자의 총체적인 속도만을 측정하기 때문에 연소에 따르는 입경변화나 입경별 입자속도 등 상세한 검토가 불가능하다. 그 때문에 현재 입자속도와 입경을 동시에 측정하는 방법으로 PDPA (phase Doppler particle analyzer)<sup>11)</sup>가 주로 이용되고 있다. 그러나 PDPA는 입자 산란광을 복수의 디텍터에 의해 검지하여 그 도플러 신호의 위상차와 입자의 곡률과의 관계로부터 입경을 구하는 방식이기 때문에 그 적용은 분무액적 등의 구형 입자에 한정되어 있으며 미분탄 입자와 같은 부정형 입자에 대해서는 측정이 불가능하다. 이러한 상황에서 미분탄 입자와 같은 부정형 입자에 대한 속도, 입자형상 및 입경의 동시 측정이 가능한 방법으로서 LDV 시스템을 확장한 SDPA (shadow Doppler particle analyzer)가 개발되어 주목받고 있다.<sup>12,13)</sup> SDPA는 비접촉 유속측정법으로서 현재 일반적으로 이용되어지고 있는 LDV에 화학처리 기술을 더한 것으로서 단일입자 속도와 입경의 동시계측이 가능한 계측기이다.

Fig. 2에 SDPA 광학계의 구성을 나타내었다. SDPA는 입자속도를 측정하는 전방 산란형 LDV 송광계와 측정체적을 통과하는 입자에 의해 생성되는 레이저 광의 그림자로부터 입자형상을 얻기 위한 광학계로 구성된다. Fig. 2에서 입자형상을 구할 때 필요한 수광렌즈, 대물렌즈 및 포토다이오드 어레이(photodiode array)를 제외한 것이 LDV 송광계에

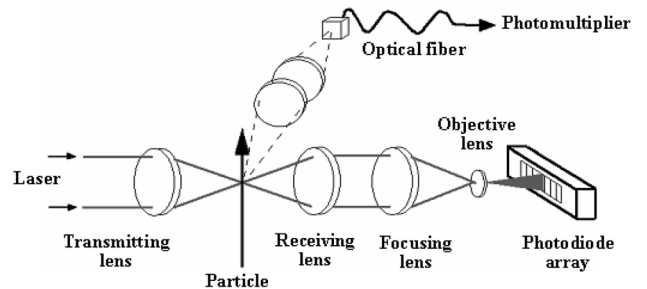


Fig. 2. Schematic diagram of SDPA system.

해당한다. 레이저는 빔 분리기에 의해 2개로 분리되어 집과 동시에 렌즈(집점거리 500 mm)에 의해 집광되어 그 교차점이 광 강도의 명암(간섭무늬)을 갖는 측정점이 된다. 측정점에 도달한 입자는 간섭무늬에 대응한 빛을 산란하며 그 산란광을 수광 광학계(집점거리 500 mm)를 통하여 전기신호로 교환된다.

입자의 2차원 형상은 측정점을 통과하는 입자에 의해 형성된 레이저 광의 그림자를 수광렌즈 및 대물렌즈에 의해 64개 픽셀을 갖는 1차원 포토다이오드 어레이 표면에 투영하여 그 투영상의 시계열 데이터와 LDV에 의해 측정된 입자속도의 값으로부터 입자의 2차원 형상이 얻어진다. 입자가 측정점에 존재하고 있는 동안 포토다이오드 어레이 상의 신호강도는 lower level이 된다. 즉 입자가 측정점을 통과할 때의 lower level의 지속시간에 대한 계측결과와 그 입자에 대한 LDV로부터 측정된 속도의 값으로부터 입자의 2차원 형상이 얻어진다. 입자가 측정점의 중앙에서 약간 떨어진 위치를 통과하는 경우는 입자가 존재하는 위치에 대하여 신호강도가 upper level과 lower level의 두 가지 신호강도를 갖는다. 이 경우 upper level과 lower level의 지속시간으로부터 입자형상이 계측된다. 이렇게 얻어진 입자형상을 이용하여 입자가 차지하는 영역의 픽셀수를 카운트하여 입자 투영면적이나 입경(등가원 직경) 등을 구하는 것이 가능하다. Fig. 3은 입자가 측정점을 통과할 때 포토다이오드 어레이 상의 신호와 입자형상의 계측결과의 한 예를 나타낸 것이다.

### 2.3. 실험방법 및 조건

실험 시 주류 원형관에는 공기를 공급하고 주위의 환상 슬릿에는 메탄을 공급하여 메탄 파일롯트 화염을 형성시켜 화염이 안정된 후 미분탄을 공급하여 미분탄의 공급량이 소정의 양(8.92 g/min)이 된 후에 계측을 실시하였다. 미분탄, 공기 및 메탄의 공급량은 Table 2에 나타내었다. 미분

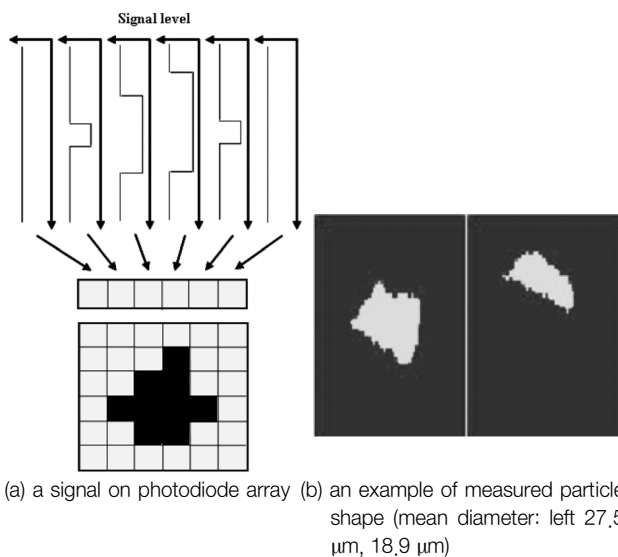


Fig. 3. Computation of particle shape.

Table 2. Experimental conditions

Pulverized coal feed rate	$1.49 \times 10^{-4}$ kg/s
Thermal input of coal*	4.19 kW
Thermal input of CH <sub>4</sub> *	0.83 kW
Air flow rate	$1.80 \times 10^{-4}$ m <sup>3</sup> /s
CH <sub>4</sub> flow rate	$2.33 \times 10^{-5}$ m <sup>3</sup> /s
Bulk equivalence ratio	$\Phi = 6.09$

\* Based on lower heating value

탄 운송용 공기량은 미분탄 입자가 운송용 공기배관 내에 침적되지 않을 정도의 유속을 갖으며, 미분탄과 공기의 공급량 비가 실제 미분탄 버너의 1차 공기연소 영역과 동일하도록 설정하였다. 또한 환상 슬릿트로부터 보염용으로 공급하고 있는 메탄의 공급량은 안정한 미분탄 화염이 형성 가능하도록 최저량으로 설정하였다. 계측 시에는 버너출구 단면의 중심을 원점으로 하여 화염 하류방향을 z축, 반경 방향을 r축으로 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 미분탄 화염 내 입자의 속도변화

Fig. 4에 버너 중심축 상에 있어서 미분탄 입자의 축방향 평균속도(U)와 속도변동 rms(u')의 분포를 나타내었다. 비연소시 미분탄 입자의 평균속도는 하류로 향하여 급속히 감소하고 있지만 연소시에는 비연소시와 비교하여 서서히 감소하고 있다. 이것은 연소반응에 따른 온도상승에 의해

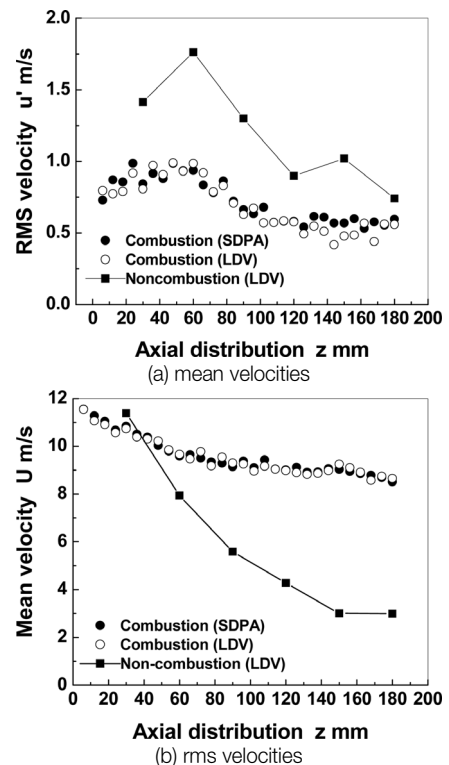


Fig. 4. Axial distributions of mean and rms velocities of pulverized coal.

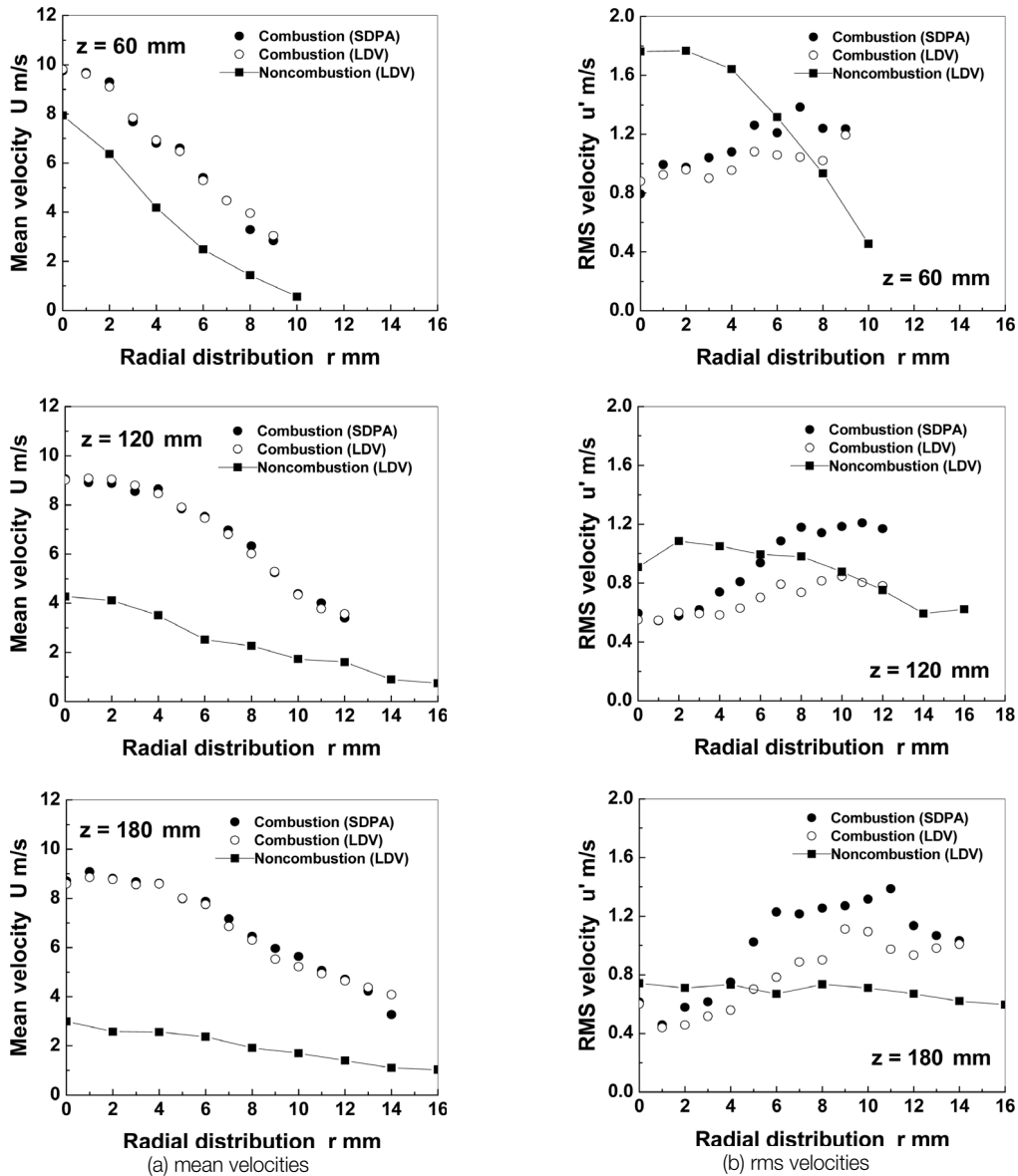


Fig. 5. Radial distributions of mean and rms velocities of pulverized coal.

기상의 열팽창이 발생하기 때문이다. 한편, 연소시 속도변동 rms는 비연소시와 비교하여 낮은 분포를 나타내고 있다. 연소시에는 온도가 상승하여 기체의 밀도가 저하하기 때문에 동점성 계수가 상승하여 기류의 난류 흐름이 억제되기 때문으로 생각된다.

Fig. 5는  $z = 60, 120, 180$  mm의 각 화염 높이에 있어서 축방향 평균속도( $U$ )와 속도변동 rms( $u'$ )의 반경방향 분포를 나타낸 것이다. 입자의 축방향 평균속도는 화염의 어느 높이에 있어서도 중심축 상에서 가장 크며,  $r$ 의 증가에 따라 주위 공기의 흡인에 의한 기상 난류 흐름으로 인하여 평균속도가 감소하는 가우시안 분포를 보이고 있다. 또한 반경방향의 속도감소 구배는 하류로 가면서 기류의 평균유속이 감소하기 때문에 완만한 분포를 나타내고 있다. 그러나 비연소시 입자의 평균속도는 화염의 어느 높이에서도 연소시의 평균속도 보다 낮은 분포를 보이고 있다. 이것은 전술한

것처럼 연소시에는 기상의 열팽창이 미분탄입자에 가속력으로서 작용하기 때문에 그로인해  $r$ 의 증가에 의한 입자 평균속도 저하가 비연소시에 비해 현저하다. 한편, 속도변동 rms는 화염의 어느 높이에서도 중심축에 가까운 영역에서는 연소시의 동점성 계수의 증가에 의해 난류흐름이 억제되기 때문에 비연소시와 비교하여 낮은 값을 갖는다. 그러나 외주부에서는 미분탄 화염 주위의 공기가 흡인되면서 연소시 미분탄 입자의 속도변동 rms가 비연소시 보다 큰 분포를 보이고 있다.

한편, SDPA 측정값과 LDV 결과를 비교해보면 정성적으로 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 그러나 Fig. 5(b)에 나타난 속도변동 rms의 반경방향 분포는 SDPA와 LDV의 측정값에 차이를 보이고 있다. 이러한 결과는 화염 외주부에서는 미분탄 입자의 수밀도가 극단적으로 줄어들기 때문에 SDPA에 의한 데이터 수가 적은 것이 원인이라고 생각된다.

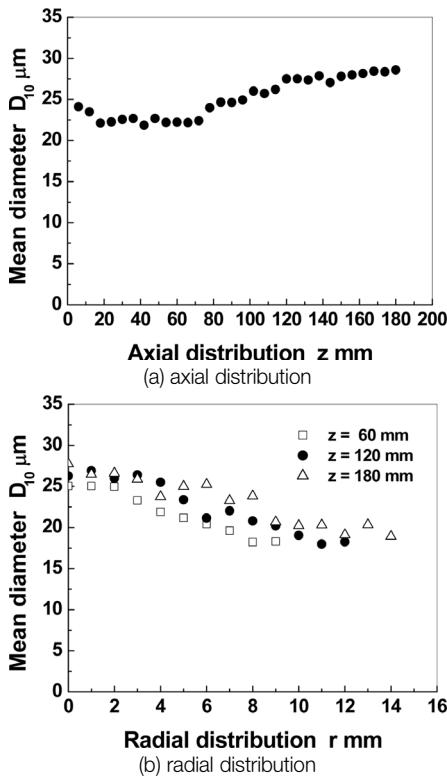


Fig. 6. Mean diameter of pulverized coal.

### 3.2. 미분탄 화염 내 입자의 입경변화

난류 미분탄 화염 내 입자의 거동을 더욱 상세히 관찰하기 위하여 SDPA에 의해 측정된 입자속도와 형상의 동시 측정결과를 이용하여 평균입경(등가원 직경), 입자경 분포, 입

자의 원형도에 대하여 고찰하였다. Fig. 6에 SDPA에 의해 측정된 버너 중심축 및 반경방향에 대한 미분탄 입자의 평균입경 분포를 나타내었다. 축방향 평균입경 변화를 보면 z의 증가에 따라 약간 감소한 후에 서서히 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 반경방향의 입경분포 변화는 r이 커짐에 따라 감소하고 있음을 알 수 있다.

이들 평균입경의 증감 경향을 보다 상세히 알아보기 위해 Fig. 7에 버너 중심축 상의 6지점(z = 30, 60, 90, 120, 150, 180 mm)에 대한 미분탄 입자의 입경분포를 나타내었다. 버너 포트로부터 미분탄 입자가 분출 직후인 z = 60 mm 지점까지는 20  $\mu\text{m}$  이하의 소입경의 입자가 많이 분포하고 있지만, z가 증가하여 연소과정이 진행함에 따라 그 피크 위치는 대입경측으로 이동하고 있는 것을 볼 수 있다. 즉 Fig. 6(a)에 나타난 평균입경의 증가는 다수의 소입경의 미분탄 입자가 연소반응에 의해 소실되어지고 대입경의 입자는 휘발분 방출에 의해 입경이 증가하기 때문이라고 추정된다.

Fig. 8에는 z = 60, 120, 180 mm 화염 높이에 있어서 반경방향(중심과 가장자리) 입경분포의 변화를 나타내었다. 화염의 어느 높이에서도 r의 증가에 따라 입경분포의 피크는 소입경측으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 이것은 관성력이 작아 기류에 추종하기 쉬운 소입경의 입자가 기상의 열팽창이나 화염 외부의 주위공기 유인에 의해 난류 흐름의 영향을 받아 화염 외측으로 이동하기 때문이다. 특히 화염의 어느 높이에 있어서도 반경방향으로 갈수록 20  $\mu\text{m}$  이하의 입자의 빈도가 커지고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 결과로부터 20  $\mu\text{m}$  이하의 미분탄 입자는 기상에의

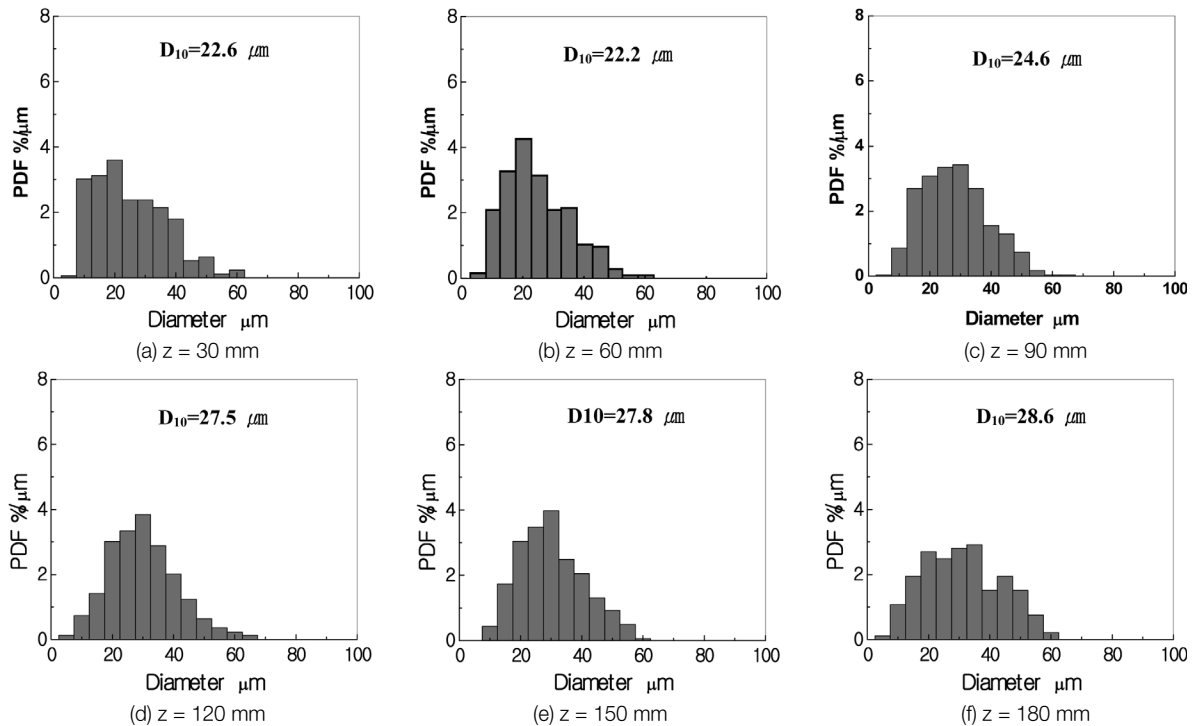


Fig. 7. Particle size distributions on the central axis of the burner.

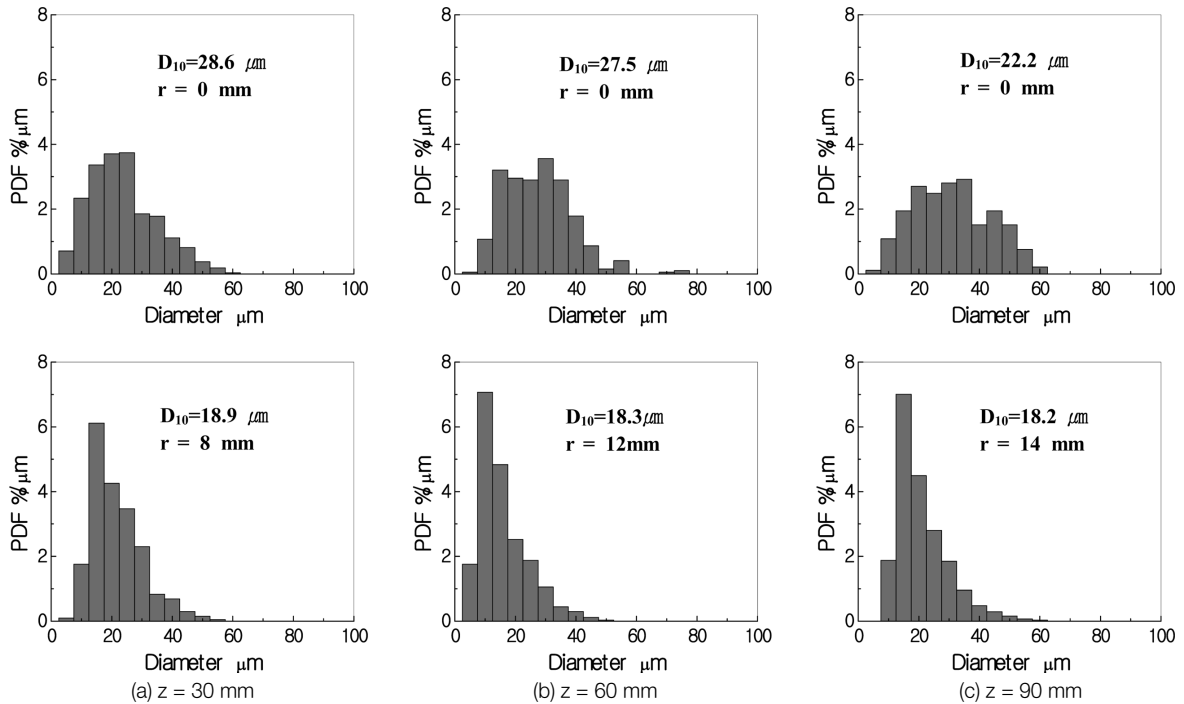


Fig. 8. Particle size distributions on the radial direction.

추종성이 양호하다고 생각할 수 있다.

분체에 관계되는 여러 현상이나 분체자체의 특성은 입자의 크기뿐만 아니라 입자의 형상에도 크게 의존한다. 따라서 입자형상에 대하여 가장 중요한 지표 중 하나인 원형도<sup>(14)</sup>를 산출하여 고찰하였다. 원형도 C는 입자형상이 진원일 경우 1이 되며, 침상일 경우는 0이 되는 지표이며 다음 식으로 구할 수 있다.

$$C = \sqrt{4\pi A/c} \quad (1)$$

여기서, A는 입자의 투영면적, c는 원주 길이이다.

원형도는 연소시 버너 중심축 상의 z = 60, 120, 180 mm의 3지점에 대하여 산출하였다. 비연소시의 경우는 연소시와 동일한 미분탄을 공급했을 때 입자 수밀도가 매우 높기 때문에 측정체적 내 동시에 복수의 입자가 존재하여 측정이 불가능하였다. 따라서 미분탄의 공급량을 연소시보다 낮게 설정하여 z = 60 mm의 1지점에서만 측정을 실시하여 연소시의 원형도와 비교하였다.

Fig. 9는 미분탄 입자를 5 μm 크기로 구분하여 각각의 입경에 대한 원형도를 나타낸 것이다. 비연소시 입자의 원형도는 변화도 작지만 입자수가 작기 때문에 40 μm 이상의 원형도를 평가하는 것은 불가능하였다. 그러나 연소시 및 비연소시 모두 입경이 클수록 원형도가 작아지며 이러한 경향은 연소시의 경우가 현저하다. 이것은 연소시 큰 입경 입자가 팽윤에 의해 입자표면에 균열이 발생하여 원형도가 감소하며 작은 입경의 입자는 용융이나 char 연소에 의해 원형도가 증가하기 때문이라고 추정할 수 있다.

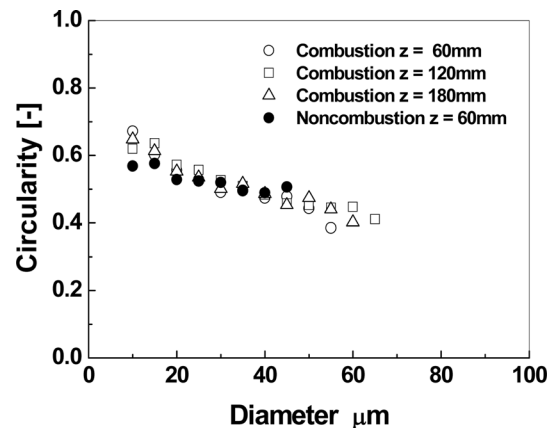


Fig. 9. Circularity distributions of for diameter.

### 3.3. 미분탄 화염 내 입자의 입경별 속도변화

미분탄 입자의 거동을 보다 상세히 알아보기 위하여 미분탄 입자를 5 μm 크기로 구분하여 각 입경 크기별 입자의 속도변화를 고찰하였다. Fig. 10(a)에 버너 중심축 상 z = 60, 120, 180 mm 위치에 있어서 입자 크기별 축방향 평균속도 및 속도변동 rms를 나타내었다. 실선은 각 위치에서의 평균속도를 나타내며 점선은 속도변동 rms를 나타낸다. 그 결과 화염의 어느 높이에서도 입자의 평균속도와 속도변동 rms는 입경에 관계없이 거의 일정하며, 이 결과로부터 화염 중심부에서 미분탄 입자의 속도장은 입경에 크게 의존하지 않다는 것을 알 수 있다. Fig. 10(b)에는 z = 60, 120, 180 mm 위치에서 화염 외주부에 있어서 입자 크기별 축방향 평균속도 및 속도변동 rms를 나타내었다. 그 결과 화염의 어느 높이에서도 큰 입경의 입자일수록 평균

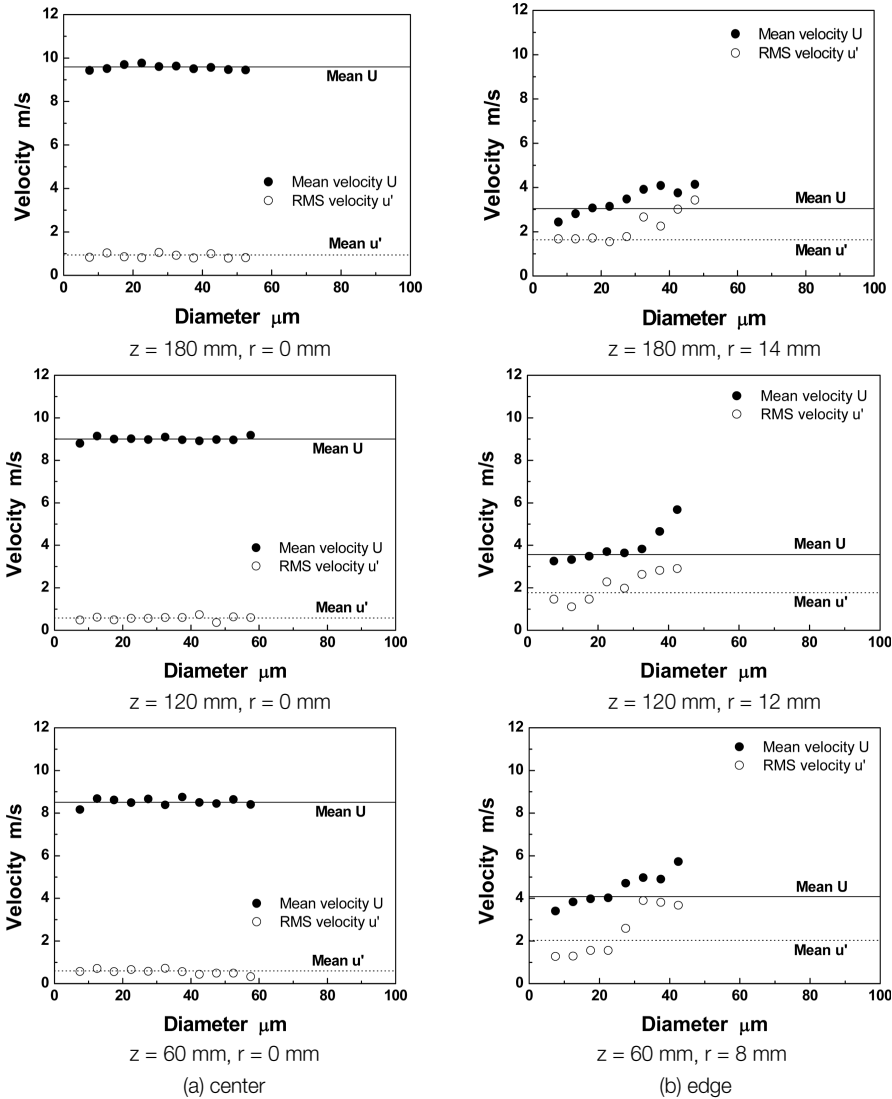


Fig. 10. Mean and rms particle velocity for diameter.

속도와 속도변동 rms는 커지고 있으며, 이 결과 화염 외주부에서의 미분탄 입자의 속도장은 입경에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다. 이것은 Fig. 4(b)에 나타난 것처럼 화염 외주부에서는 주위 공기의 흡인에 의해 기상의 난류 흐름이 강해지며 입경의 크기에 의해 입자의 거동이 다르다는 것을 나타내고 있다.

#### 4. 결론

미분탄 연소의 상세한 메카니즘을 해명하기 위하여 미분탄 화염 내 미분탄 입자의 거동을 상세히 고찰함과 동시에 미분탄 화염에 광학계측법의 적용성에 대해 검토하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

1) 미분탄 입자의 평균입경은 연소과정이 진행함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 원인은 다수의 소입

경의 미분탄 입자가 연소반응에 의해 소실되어지고 대입경의 입자는 휘발분 방출에 의해 입경이 증가하기 때문이라고 예상된다.

2) 입자형상에 대하여 가장 중요한 지표 중 하나인 원형도는 연소 시 및 비연소시 모두 입경이 클수록 원형도가 작아지지만 이러한 경향은 연소 시에 현저하다. 이것은 연소 시에는 큰 입경의 입자가 팽윤에 의해 입자표면에 균열이 발생하므로 원형도가 감소하며 작은 입경의 입자는 용해나 char 연소에 의해 원형도가 증가하기 때문이라고 추정된다.

3) 버너 중심축 상의 평균속도 및 속도변동 rms는 화염의 어느 높이에 있어서도 입경에 관계없이 거의 일정하며 화염 중심부에서의 미분탄 입자의 속도장은 입경에 거의 의존하지 않는다. 그러나 화염의 외주부에서는 화염의 어느 높이에서도 큰 입경의 입자일수록 평균속도와 속도변동 rms가 커지며 화염 외주부에서의 미분탄 입자 속도장은 입경에 크게 의존하고 있다.

4) 미분탄 화염에 광학계측법의 적용성을 검토한 결과 효

올직한 에너지 사용과 환경오염 방지를 위한 미분탄 연소 메카니즘의 해명에 도움이 될 뿐만 아니라 수치해석 기술의 고도화에 중요한 정보를 얻기 위한 유효한 수단이라고 판단된다.

앞서 서술하였듯이 석탄은 다른 화석연료에 비해 매장량이 풍부하고 공급안정성이 높기 때문에 매우 중요한 에너지원으로 다시 주목 받고 있다. 그러나, 연료 그 자체에 질소와 유황이 포함되어 있기 때문에 대기오염물질의 배출이 많고, 다른 탄화수소 연료와 비교하여 탄소의 비율이 많기 때문에 이산화탄소의 배출량도 많다는 결점이 있다. 따라서 그 이용에 있어서 환경오염물질 배출량의 억제 및 자원의 유효활용을 위한 저 NO<sub>x</sub> 연소 혹은 고효율 연소 등의 연소기술의 고도화가 매우 중요하다. 또한, 미분탄 화력에서는 발열량과 연소성이 좋은 역청탄이 많이 이용되고 있으나, 향후 세계적인 석탄수요의 증대 및 연료경비 저감 등을 고려했을 경우, 가까운 장래에는 현재 사용하고 있는 역청탄의 공급이 어려워질 것으로 생각된다. 따라서, 미분탄 연소에 수반되는 복잡한 환경오염물질의 생성거동을 연소기구와 연관지어 상세히 해명하는 것이 연소효율을 저하시키지 않고 환경오염물질의 생성량을 최소화 할 수 있는 가장 중요한 과제라고 생각된다. 이를 위하여 연소장을 어지럽히지 않고 높은 공간 및 시간 분해능 하에서 여러 물리량의 측정이 가능한 광학측정법을 이용하여 연소반응에 기여하는 가스상 화학종 및 미분탄 입자의 단면화상을 2차원으로 동시 측정하여 연소반응 영역과 미분탄 입자 존재영역과의 위치관계를 해명함으로써 미분탄 화염의 상세한 구조에 관하여 고찰을 수행하고자 한다.

KSEE

## 참고문헌

1. 국가에너지 위원회, “제1차 국가에너지 기본계획(2008~2030),” (2008).
2. 이인영, “중장기 대체에너지기술개발 및 보급기본계획 수립방안 연구,” 산업자원부(2003).
3. 황승민, “동시 시계열 측정에 의한 예혼합 분무화염 내 유적균 연소기구의 평가”, 대한환경공학회지, **31**(6), 442~448 (2009).
4. Hwang, S. M., “A Study on Flame Structure of Multi-Phase Combustion by Optical Diagnostic Measurement,” Ph. D Thesis, Osaka University (in Japanese)(2005).
5. Wang, F., Wang, X. J., Ma, Z. Y., Yan, J. H., Chi, Y., Wei, C. Y., Ni, M. J. and Chen, K. F., “The research on the estimation for the NO<sub>x</sub> emissive concentration of the pulverized coal boiler by the flame image processing technique,” *Fuel*, **81**, 2113~2120(2002).
6. Yin, C., Caillat, S., Harion, J., Baudoin, B. and Perez, E., “Investigation of the flow, combustion, heat-transfer and emission from a 609 MW utility tangentially fired pulverized-coal boiler,” *Fuel*, **81**, 997~1006(2002).
7. Seames, W. S., “An initial study of the fine fragmentation fly ash particle mode generated during pulverized coal combustion,” *Fuel Proc. Technol.*, **81**, 109~125(2003).
8. He, R., Suda, T., Takafuji, M., Hirata, T. and Sato, J., “Analysis of low NO emission in high temperature air combustion for pulverized coal,” *Fuel*, **83**, 1133~1141(2004).
9. Wei, X., Xu, T. and Hui, S., “Burning low volatile fuel in tangentially fired furnaces with fuel rich/lean burners,” *Energy Conservation and Management*, **45**, 725~735(2004).
10. Durst, F., Melling, A. and Whitelaw, J. H., “Principle and practice of laser-Doppler anemometry,” *Academic Press*, (1976).
11. Laser measurement handbook (in Japanese), Maruzen Co., Ltd., 159~181(1993).
12. Hardalupas, Y., Hishida, K., Maeda, M., Morikita, H., Taylor, A. and Whitelaw, J.H., “Shadow Doppler technique for sizing particles of arbitrary shape,” *Appl. Opt.*, **33**(36), 8417~8426(1994).
13. Maeda, M., Horikita, H., Prassas, I., Taylor, A. and Whitelaw, J. H., “Size and velocity measurement by shadow Doppler velocimetry within a pulverized coal-fired furnace,” *Particle Particle Syst. Characterization*, **14**, 79~87(1997).
14. The powder engineering handbook (The second edition) (in Japanese), Nikkann Kogyo Shimbun Co. Ltd., 36~38(1998).