

(論 文)

CWM 방울안의 미분탄 존재

김 중 호** · 김 성 준*

(1990년 4월 6일 접수)

Pulverized Coal Particle Presence Inside CWM Droplet

Chong Ho Kim and Sung Joon Kim

Key Words : CWM(미분탄물 혼합체), Atomization(미립화), Twin-Fluid(이류체)

Abstract

The purpose of this study is to get experimental data on the distribution of CWM(Coal-Water Mixture) droplets size and the presence of pulverized coal particles inside CWM droplets. Atomization of CWM is done by Twin-Fluid Atomizer. The operational parameters are atomizing air pressure, coal particle loading, mean size of pulverized coal particles and sampling positions across spray. Th data analysis is initiated by Impression Sampling Method(Magnesium Oxide Technique)and Photo-technique and counting works are followed. Experimental work induces following research results. The variation of particle loadings in slurry makes no appreciable effects on the mean size of CWM droplets. It is evident that atomizing air pressure has very strong effect on the atomization of slurry. The mean size of atomized fuel droplets is dramatically reduced with the increasing air pressure. The population ratio of droplets without coal particles to total number of droplets is decreased as atomizing air pressure or loading rises and the same trend is obtained as the mean size of coal particles becomes smaller but a certain tendency of coal particle presense inside droplets could not be found from the change of sampling positions.

1. 서 론

최근 대체에너지원으로서 크게 관심을 끌고 있는 CWM (Coal-Water Mixture)은 석유의 공급 불확실성과 높은 가격을 해결할 수 있으며 우선 국내에 있는 에너지원인 석탄을 사용하므로 공급의 안정성을 얻을 수 있다. 그 가격 또한 No. 6 기름연료를 사용하면 열량 1MBtu를 생산하는데 U\$ 3~3.5로 충분하여 기존의 기름 연료비의 30% 가량을 절약할 수 있다. CWM 이외에도 COM(Coal-Oil Mixture) 또는 COWM(Coal-Oil Water Mixture)

등이 대체에너지원으로서 고려되었으나 열량 생산비가 CWM에 비해 높아서 CWM이 가장 저렴한 혼합연료로 알려져 있다⁽¹⁾. 특히 최근에는 CWM을 발전소등의 대형연소기관뿐만 아니라 가스터빈과 디젤엔진의 대체 연료로도 사용을 시도하는 등 그 활용범위가 확장되고 있어 많은 관심을 끌고 있다⁽²⁾.

한편 이와같은 CWM 활용도 확장은 혼합연료 연소 과정의 완전한 이해를 통하여서 이루어지므로 연소 과정의 연구가 필수적이고 연소 과정의 첫째 단계인 혼합 연료 미립화과정의 이해없이는 다음 단계인 연소 현상을 이해할 수 없기 때문에 미립화연구는 무엇보다도 먼저 수행되어야할 선결 연구과제라 하겠다. CWM의 연소과정은 유체연료

*정회원, 강원대학교 공과대학 기계공학과

**정회원, 강원대학교 대학원

연소 과정과는 그 연소 특성에 있어서 뚜렷하게 차이가 나타나는데 그 이유는 CWM 방울안에 고체 연료인 미분탄이 존재하기 때문이다. 즉 혼합연료인 CWM이 연소실내에서 연소할 때의 연소 특성이 CWM 방울의 크기 보다는 CWM 방울안에 들어있는 미분탄의 질량에 크게 의존되리라 믿어진다.

그러나 과거의 연구들이 CWM 방울의 크기에 초점을 맞추었고⁽⁶⁻⁹⁾, CWM 방울안에 들어있는 미분탄의 분포에 관한 실험이 현재까지 전혀 이루어진 바 없어 이의 수행이 시급하고 절실하다. 본 실험에서는 CWM을 이류체 미립화기(twin-fluid atomizer)로 미립화시켜 미립화에 크게 영향을 미치는 인자들로 믿어지는 공기분사압력, 부하도(loading), 미분탄의 크기 그리고 CWM 방울 채집위치의 변화가 CWM 방울크기 분포와 CWM 방울안 미분탄 존재유무에 미치는 영향을 연구의 목적으로 하였다.

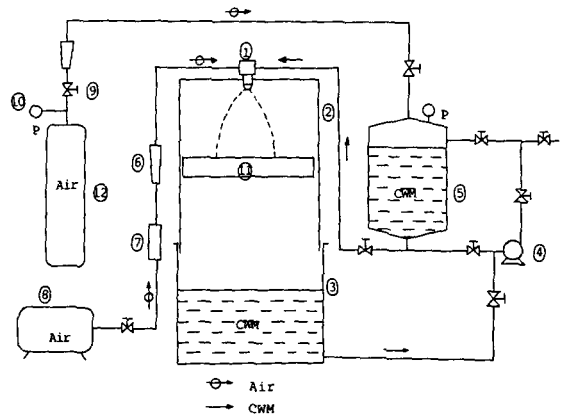
2. 실험 시스템의 설계 및 실험 데이터 분석 방법

2.1 실험 시스템의 설계

실험 장치가 가져야할 기능은 첫째로 CWM을 계속 혼합하여 실험중에 일정한 부하도를 유지해야 하며 둘째로 CWM을 미립화기에 운반하여 이를 분사시키는 것이며 세째로는 CWM 방울을 채집하는 것이다.

첫째 기능의 수행을 위해서는 로타리펌프(rotary pump)와 40gallon용량의 탱크를 연결하여 실험 중 계속적인 혼합을 하며 둘째 기능을 위해서는 탱크와 고압공기 용기를 연결하여 공기의 압력을 일정하게 유지하여 이 압력으로 CWM이 탱크에서 미립화기에까지 운반되게 한다. 세째 기능의 수행은 우선 채집된 CWM 방울의 파괴가 적은 채집기구를 제작하여 미립화기로부터의 분사를 직접 산화마그네슘층 위에 채집한다. 위의기능을 위해 본 실험 장치는 CWM 혼합장치, 미립화기, 분사실(spray chamber), 채집기구, 공기 압축기, CWM 채집탱크(collection tank) 및 고압공기 용기를 갖추어야 한다. 본 실험을 위해 설계 제작된 실험장치는 Fig. 1에 나타내었다.

실험 시스템의 주요 구성 부분을 간단히 설명하면 다음과 같다. 실험용 이류체 미립화기로서 공기



- ① Atomizer
- ② Spray chamber
- ③ Collection tank
- ④ Rotary pump
- ⑤ Mixing tank
- ⑥ Flow Meter
- ⑦ Air pressure regulator
- ⑧ Air compressor
- ⑨ Ball valve
- ⑩ Pressure gage
- ⑪ Impression sampling shutter
- ⑫ Air bottle

Fig. 1 Schematic of CWM atomization facility

분사형인 Spraying System사의 B1/4J-SS+SU22-SS를 선택하였다⁽¹⁰⁾. 이를 선택한 이유는 재질이 SUS303으로 비교적 마멸 및 부식에 강하고 최소 통과량(minimum passage)이 비교적 넓어서 슬러리(slurry)를 분사시키는데 적합하며 공기소요량이 적어서 적은 용량의 공기압축기로도 충분한 양의 공기를 공급할 수 있어 실험용으로 적합하기 때문이다. 개략적인 미립화기의 구조는 Fig. 2에 나타내었으며 이는 와류(swirl)형이 아니고 외부혼합형이나 내부혼합형이 아닌 중간혼합(half mixing)에 근사한 형임을 보여주고 있다.

분사실은 미립화기에서 분사되는 분사기의 원뿔각(cone angle)이 운전조건에 따라서 17°에서 21°까지 바뀌게 되므로 본 실험의 채집위치 60cm에서 벽면이 분사의 형상에 간섭을 일으키지 않도록 그 크기를 45cm×45cm크기로 정하였다. 분사실의 재질은 무색 아크릴로 내부의 분사형태를 볼 수 있도록 하였고 분사실의 벽면에 채집기구를 설치해야 하기때문에 이 기구를 지탱할 수 있는 강도를 갖는 5mm두께의 아크릴판을 사용하였다. 즉 분사실의

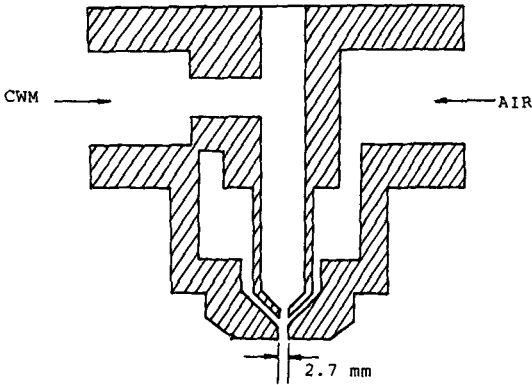


Fig. 2 Structure of twin-fluid atomizer

기능은 채집기구를 사용해 CWM 방울을 채집할 수 있는 공간을 제공하는데 목적이 있다.

채집탱크는 미립화기에서 분사된 슬러리를 실험 시스템으로 재순환시키는 것을 목적으로 사용하며 슬러리가 물과 미분탄의 혼합체로써 탱크를 부식시키므로 재질을 PVC통을 사용하였다. 그 용량은 혼합탱크의 용량과 길이 40 gallon으로 하며 슬러리의 재순환에 지장이 없도록 하였다.

로타리펌프는 혼합탱크와 1 inch 직경의 파이프 로 연결되어 있다. 1 inch 직경의 큰파이프를 사용한 이유는 슬러리 순환에 따른 막힘 및 마찰손실을 최대한 방지하기 위한 것이며 파이프의 직경과 같은 크기의 내경을 갖는 볼밸브(ball valve)를 사용하였다. 로타리펌프를 사용한 이유는 슬러리의 순환 과정에서 슬러리 속에 들어있는 미분탄이 파괴되는 것을 최대한으로 방지하기 위해서이다. 용량은 정격출력 1.5kW의 단상유도전동기에 연결된 분당 40 gallon의 토출능력을 가지고 있다. 이 로타리펌프는 실험중 슬러리의 혼합을 수행하며 채집탱크로부터 다시 채우는 역할도 수행한다.

혼합탱크는 주철제 탱크로서 내압이 200 PSI이며 용량은 40 gallon이다. 즉 로타리펌프를 1분간 운전시켰을때 슬러리를 완전히 1회전 시킬 수 있는 용량으로 정하였다. 이 탱크는 펌프와 파이프로 연결되어 실험중에 미분탄이 슬러리 액체로부터 분리되지않아 탱크 밑에 침전물이 생기지 않도록 즉 균 일한 슬러리가 되도록 혼합하는 기능을 갖고 있다.

2.2 Sampling Method의 검토 및 개발

본 연구는 혼합연료를 미립화기로 분사시킨뒤 CWM 방울안에 들어 있는 미분탄의 존재유무와

그 분포를 연구하는데 목적이 있으나 이 연구는 과거에 전혀 시행된바 없어 연구 기법의 선택에 많은 애로가 있었다. 본 연구를 위해 CWM 방울 채집 과정이 우선수행되어야 하는데 사진기법(phototechnic)이나 레이저(laser)법으로써는 고속의 CWM 방울을 채집할 수 없기에 다른 실험법을 고려해야 하였으며 그 선택을 위해서 과거에 사용된 방법들을 우선 검토하였다.

그 대표적인 것으로 immersion 채집법이 있는데 이는 실리콘오일(silicon oil)을 immersion액으로 사용하는 것으로 채집셔터(sampling shutter)가 원하는 만큼의 CWM 방울의 수를 채집가능케하고 채집셔터를 통과한 CWM 방울은 immersion액인 실리콘 오일안에 존재하게 된다. Karasawa는 CWM 방울이 실리콘오일 안에 채집된 뒤에 원래 CWM 방울의 크기로부터 생기는 변화 현상을 CWM 방울의 합착(coalescence)의 관점에서 연구하고 CWM 방울의 채집 실패가 실험데이터에 미치는 영향을 검토하였다⁽¹⁾.

그는 실리콘오일의 점성, 연료분사량, 미립화기로부터 채집거리, 연료분사 속도와 CWM 방울의 크기를 변수로 취하였다. 그 결과 CWM 방울의 셔터평균직경이 immersion액의 점성이 클수록 증가하였으며 연료분사율이 증가할수록 셔터평균직경이 증가하게 되는데 이는 채집된 CWM 방울의 수가 단위 면적당 많아지게 됨에 따라 채집된뒤 immersion액안에서 CWM 방울이 합착되는 빈도가 커지기 때문이라고 했다. 미립화기로부터의 CWM 방울 채집거리의 경우 채집 거리가 미립화기에 가까울수록 CWM 방울의 크기인 셔터평균직경이 현격하게 커지는 현상을 볼수 있었으며 이 역시 단위 면적당의 CWM 방울수의 증가로 인한 합착의 결과이었다. 연료분사 속도는 CWM 방울의 합착에 별로 영향을 미치지 않았다. 한편 일반적 예상과는 달리 방울의 채집실패율이 극히 적었으며 채집셔터의 크기가 커짐에 따라 채집 실패율이 커지는 했으나 셔터 직경이 30mm 이상이 되면 채집실패율의 증가가 극히 적어졌다. 동시에 채집실패가 방울 크기분포의 산술평균치 및 셔터 평균직경에 미치는 영향이 크지 않았다.

이상에서 Karasawa가 연구한 내용을 종합 검토해 보면 immersion액안에서 CWM 방울이 채집후에 생기는 합착현상이 실험데이터에 미치는 영향때문에 여기서 생기는 실험오차가 대단히 커질것이

예상되므로 본 연구에서는 immersion채집법을 대신할 다른 방법을 검토하지 않으면 안되었다. 즉 다른 기법이라 함은 immersion채집법이 갖는 취약점들을 보완할 수 있는 방법이어야 하는데 즉 CWM 방울의 채집후 CWM 방울의 크기가 전혀 변화가 없어야 하며 즉 합착현상이나 용해 현상이 생기지 않아야 하며 더욱 중요한 것은 Karasawa가 제시하지 않은 실험오차 원인으로서 채집기간 동안에 CWM 방울이 증첩 되는 현상을 새 방법에서는 구분할 수 있어야 한다. 위의 사항들을 고려한 결과 채집세터를 산화마그네슘⁽¹²⁾과 함께 다음과 같은 이유에서 사용키로 하고 이를 impression채집법이라 하였다.

(1) 산화마그네슘은 CWM 방울의 흔적을 시간에 관계없이 영원히 보관할 수 있어 실리콘오일 안에서 생기는 합착 현상을 전혀 볼수 없다.

(2) CWM 방울이 채집될 때 생기는 증첩 현상을 가시화시켜 하나의 큰 CWM 방울에 몇개의 작은 CWM 방울이 증첩되었는지 또는 증첩현상으로 CWM 방울의 흔적이 파괴되었는지를 분명히 볼 수 있어 합착과 증첩에서 발생하는 실험오차를 실험데이터 정리시 제거할 수 있다.

(3) 본 연구가 미분탄의 CWM 방울안에서의 분포 연구에 있는 바 산화마그네슘과 미분탄이 대비색이므로 현미경을 통해서 쉽게 구분할 수 있기 때문이다. 즉 산화마그네슘은 순백색으로 극히 미세한 입자인 반면 미분탄은 완전 흑색으로 색깔에 의해서 쉽게 구분할 수 있다.

채집세터는 미립화기로부터 분사되어 나오는 고속의 CWM 방울을 원하는 위치에서 적당한 양의 CWM 방울을 산화마그네슘이 입혀진 현미경 슬라이드 위에 채집하는 기능을수행하는 것으로 채집세터 설계시 다음의 사항을 고려했다.

(1) 채집된 CWM 방울의 수와 채집시간을 조절할 수 있어야 한다.

(2) 채집시 CWM 방울의 파괴와 극소화되어야 한다.

(3) 채집세터가 분사안에 설치되게 되므로 유선의 변화에 따른 CWM 방울의 캐적변화가 생기게 되는데 이 현상이 채집된 CWM 방울로부터 얻은 평균 직경에 미치는 영향이 극히 적어야한다.

(4) 산화마그네슘이 입혀진 현미경 슬라이드를 채집 순간을 제외하고 항상 분사에 노출시키지 않아야 한다.

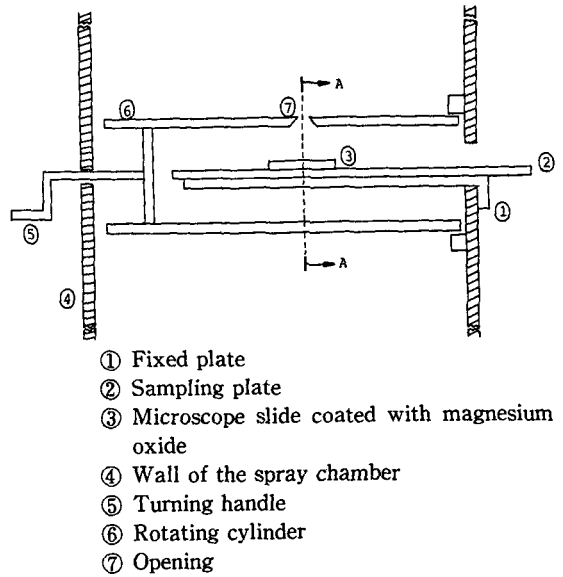
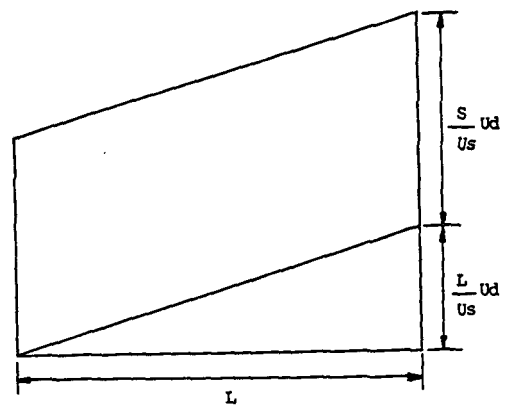


Fig. 3 Impression sampling shutter

(5) 산화마그네슘은 매우 파괴되기 쉬우므로 채집세터 안에서 CWM 방울 채집시 움직이지 않아야 한다.

이상의 사항들을 고려한 후 Fig. 3과 같은 채집세터를 설계 제작했으며 그 구성 부분을 설명하면 채집세터는 크게 고정된 부분과 회전부분으로 구성되어 있다. 고정부분은 채집세터 안에 있는 고정판 ①을 의미하며 이 고정판 위에 산화마그네슘이 입혀진 현미경 슬라이드 ③가 놓여있는 채집판 ②



L : Length of MgO layer on a slide
 Ud : Velocity of droplet
 Us : Shutter speed
 S : Length of aperture opening

Fig. 4 Spatial and temporal diagram of droplet sampling

가 높게 된다. 이 고정판은 분사실의벽 ④에 고정되어 있다. 회전 부분은 실린더 ⑥과 회전손잡이 ⑤를 의미하고 이 실린더에 채집구멍 ⑦을 뚫어 CWM 방울이 채집구멍을 통과하여 현미경 슬라이드 위에 채집되도록 되어 있다. 실린더의 직경은 약 3 inch 크기를 선정했는데 그 이유는 Karasawa의 실험결과⁽¹¹⁾와 채집판을 넣을 수 있는 적당한 공간의 확보 그리고 적당한수의 연료방울을 채집할 수 있는 채집시간을 고려했기 때문이다. 여기서 Karasawa의 실험결과라 함은 실린더의 크기가 채집된 CWM 방울의 산술평균직경 또는 Sauter평균직경에 미치는 영향이 전혀 없거나 극히 미세하다는 것이다. 채집세터에 의한 CWM 방울의 채집공간을 그려보면 Fig. 4와 같다.

2.3 실험데이터 분석방법

채집세터에 의해 현미경을 유리 슬라이드 위에 채집한 CWM 방울을 필름에 실체의 10배 상이 생기는 카메라가 장착된 현미경으로 사진촬영한 뒤 현상하고 이 필름을 확대기를 사용해서 10배 확대, 인화하였다. 결국 최종적으로 실제 CWM 방울의 100배가 되는 CWM 방울 영상을 얻었다. 이렇게 얻어진 영상을 최소 1000개에서 최대 2000개 정도 측정하여 10 micron 간격으로 미분탄이 있는 방울과 없는 방울을 구분하여 크기분포군을 만들어 산술평균직경 값을 계산하였다. 한편 물을 사용한 예비실험에서는 필름현상까지만을 하고 직접 확대기를 통하여 보여지는 물방울 영상을 위에서 언급한 바와같이 10 micron 간격으로 크기 분포군을 만들어 산술평균직경 값을 계산하였다. 여기서 미분탄 CWM 방울이나 물방울의 크기는 실제 미립화기에서 분사된 CWM 방울의 크기와는 차이가 있는데 이것은 산화마그네슘층에 분사되어진 방울의 크기가 커질 수 있기 때문이다⁽¹²⁾. 그러나 본 실험에서 얻고자 하는 것은 정확한 CWM 방울의 크기가 아니라 실험 조건에 따른 크기 분포경향과 CWM 방울안의 미분탄 분포이므로 CWM 방울이 산화마그네슘층에 충돌시 생기는 크기변화는 본 실험목적 수행에 영향을 미치지 않았다.

3. 예비실험

3.1 예비실험의 목적 및 방법

물방울의 크기 분포는 미립화기 출구로부터의 분

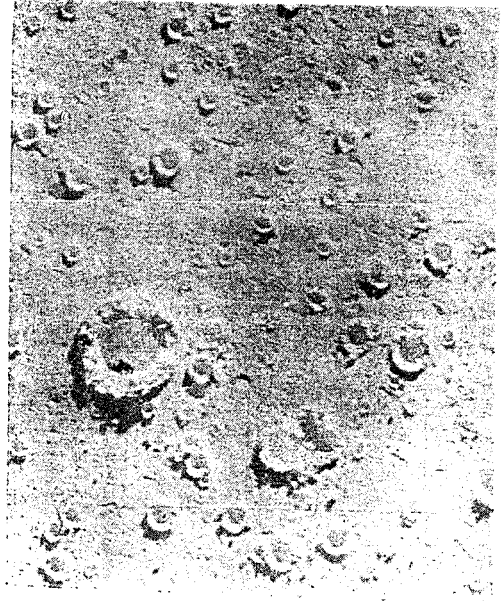


Fig. 5 Impression of water droplets

무 축방향거리와 공기분사압력에 따라서 상당한 차이가 있을 수 있어 적당한 실험 위치와 운전 조건을 결정하고 본 실험에서 사용한 impression 채집법이 실험데이터를 얻기에 적합한가를 알아보기 위하여 예비실험을 수행하였다.

본 예비실험에서는 2장 1절에서 소개한 이류체 미립화기를 사용하여 순수한 물에 대하여 물의 미립화기의 공급 압력은 2kgf/cm^2 로 하고 미립화기 설계 공기분사압력범위 $1\text{kgf/cm}^2 \sim 3.5\text{kgf/cm}^2$ 와 미립화기 출구로부터 20cm에서 90cm까지 분무축 방향거리를 변화시키면서 물방울을 채집하였다.

실험방법으로는 이미 제작한 impression 채집세터를 사용하고 현미경 슬라이드 위에 산화마그네슘층을 만들어 서터안에 넣고 분사압력과 축 방향거리를 변화하면서 물방울을 채집하였으며 산화마그네슘층에 채집된 물방울의 흔적은 Fig. 5에서 볼 수 있다. 물방울의 크기측정은 2장 3절에서 소개한 방법을 사용하였다.

3.2 예비실험 결과

물방울은 축 방향거리가 노즐에서 너무 가깝게 되면 물방울 흔적들의 중복지현상으로 정확한 실험치를 얻을 수 없었으며 축 방향거리가 증가함에 따라 적정수의 물방울을 산화마그네슘층 위에 얻을 수

Table 1 Size distributon of water droplet

Sampling position	Center		2.2cm		4.4cm	
	Air pressure (kgf/cm ²)	1.7	2	1.7	2	1.7
Numner mean diameter (micron)	59	54	56	45	43	34

있었다. 그러나 어느 거리 이상에서는 채집된 연료 방울의 수가 너무 적어서 크기분포 분석이 힘들었다. 또한 공기 분사압력에 따른 연료방울의 크기변화에서는 압력이 낮아질수록 큰 물방울을 얻을 수 있었으며 공기분사압력이 너무 클 경우에는 산화마그네슘층이 파괴되어 실험치를 얻을 수 없었다. 따라서 산화마그네슘층이 파괴되지 않는 범위내에서 물방울의 크기분포를 측정하기 위하여 적당한 분사압력을 구하는데 여러번의 반복실험이 요구되었다. 이러한 반복실험을 통해서 분무 물방울들의 중복현상이 적고 산화마그네슘층의 파괴가 없으며 물방울 혼적의 수가 적절한 채집위치는 60cm로 하였고 공기 분사압력은 1.7kgf/cm²과 2kgf/cm²으로 정하였다. 또한 분사 중심 축으로부터 수평방향으로 외곽으로 이동하며 분무 중심, 2.2cm와 4.4cm되는 지점에서 물방울을 채집하였다. 이들 실험조건들을 사용하여 물방울의 크기를 측정한 예비실험 결과는 Table 1에 나타내었다.

위의 결과로부터 물방울의 크기는 분무중심 축에서 외곽으로 갈수록 작아지고 분사압력이 클수록 물방울의 크기는 작아지는 경향을 볼 수 있었으며 이를 통해 설계, 제작된 미립화 시스템이 정상적인 기능을 갖고 있음을 확인할 수 있었다.

4. CWM 제조

본 실험용의 CWM은 평균직경이 다른 두 가지 분포의 미분탄과 물을 혼합하여 만들었으며 각 미분탄 분포마다 3가지의 미분탄 부하도로 구성되었다. 우선 미분탄을 만들기 위하여 석탄을 건조기에서 105°F로 60분동안 건조한 뒤 Jaw Crusher로 잘게 부수고 Pulverizer로 미분화시켰다. 미분화된 미분탄을 70 mesh(210 micron) Sieve로 친후 이것

을 140 mesh(105 micron) Sieve로 쳐서 Sieve를 통과한 105 micron 이하의 미분탄 type I과 Sieve 위에 남은 210 micron 이하의 미분탄 type II를 만들었다. Type I과 type II의 미분탄을 coulter counter를 사용하여 그 크기를 측정한 결과가 Fig. 6에서 Fig. 9까지에 소개되어있다. Type I의 산술평균직경은 33.8 micron이었고 체적평균직경은 57.4 micron이었으며 type II의 경우 산술평균직경은 34.7 micron이었고 체적평균직경은 100.4 micron이었다. 여기서 미분탄을 Sieve로 쳐서 type I, type II로 분리하는 과정중에 type II 즉 210 micron 이하의 미분탄에 105 micron이하의 미분탄도 많이 섞여 있었다. 이렇게 얻어진 2가지의 미분탄을 물과 섞어서 10%, 20%와 30% 부하도의 CWM을 만들었다. 여기서 부하도는 CWM중에 미분탄이 차지하는 질량비를 의미한다. CWM의 점

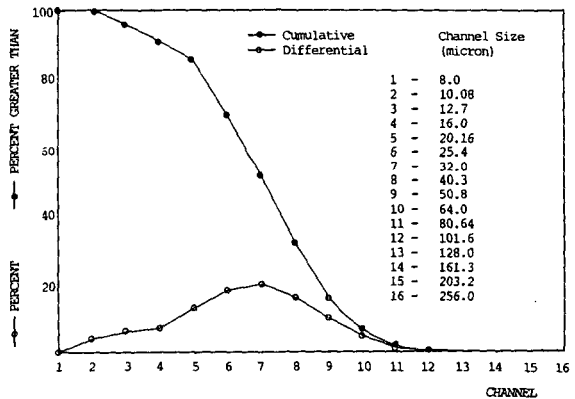


Fig. 6 Number distribution of coal particle (type I)

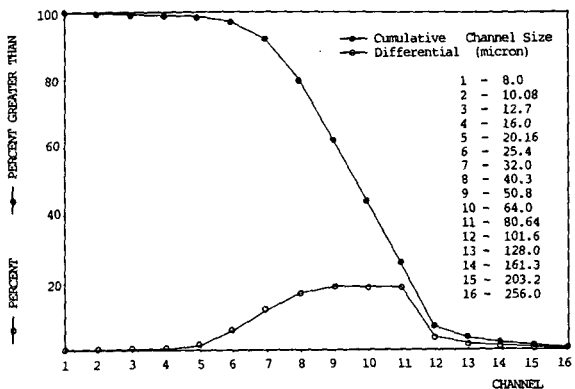


Fig. 7 Volume distribution of coal particle (type I)

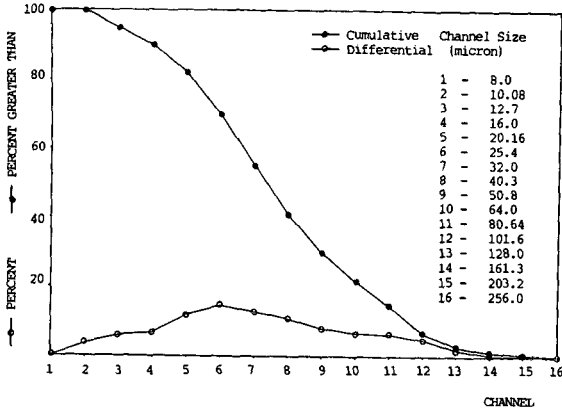


Fig. 8 Number distribution of coal particle(type II)

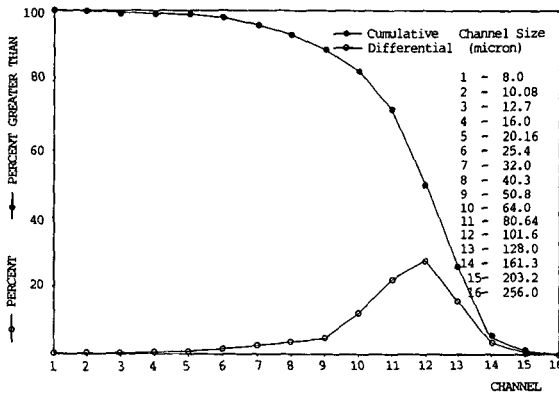


Fig. 9 Volume distribution of coal particle(type II)

Table 2 Viscosity of CWM

Kind of coal particles Loading	unit : cp	
	Type I	Type II
10%	1.3	1.2
20%	2.9	2.5
30%	11.5	9.7

성 측량은 Rotary Type Viscometer(BRAVAND)를 사용하였으며 CWM의 점성은 Table 2와 같다.

5. CWM 미립화 실험 결과 및 고찰

CWM의 미립화 특성과 CWM 방울안의 미분탄

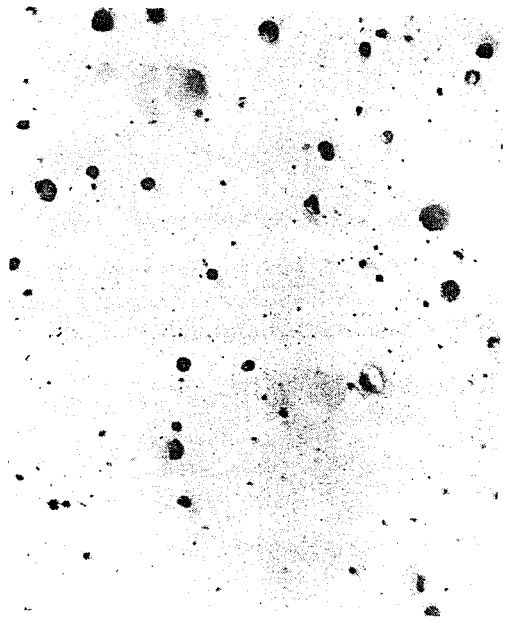


Fig. 10 Impression of CWM droplets

분포를 알아보기 위하여 미분탄 type I(105 micron 이하) 또는 type II (210 micron 이하)와 물을 혼합하여 만든 CWM을 이류체(air-CWM)미립화기로 공기중에 분사시켰으며 측 방향거리 60cm 지점에서 부하도, 공기분사압력, 미분탄의 크기 또는 채집위치 변화에 따른 CWM 방울의 크기분포와 CWM 방울안 미분탄 존재유무를 구해보았다.

부하도는 앞에서 언급하였듯이 10%, 20%와 30%를 사용하였고 공기분사압력은 1.7kgf/cm²와 2 kgf/cm²을 사용하였고 CWM공급압력은 2kgf/cm²을 사용하였다. CWM방울 채집위치는 분무중심, 분무중심에서 수평방향으로 2.2cm와 4.4cm를 채택했다.

10%~30%까지의 낮은 미분탄 부하도를 사용한 것은 Slurry 중, 물의 양을 충분히하여 Slurry 취급을 용이하게 하고 또한 미분탄이 없는 물 방울의 수를 현저히 하기 위함이었다. 사진기가 부착된 현미경으로 CWM 방울을 촬영한 사진이 Fig. 10에 소개되어 있다.

5.1 CWM 방울의 크기분포

Impression채집법에 의하여 채집한 데이터를 사진촬영하여 산술평균직경을 측정한 값이 Table 3에 소개되어있다. 이 결과에서 미분탄 type I과

Table 3 Number mean diameter of droplets(micron)

Kind of coal particle	Type I						Type II					
	Center		2.2cm		4.4cm		Center		2.2cm		4.4cm	
Sampling position												
Air pressure kgf/cm ²	1.7	2	1.7	2	1.7	2	1.7	2	1.7	2	1.7	2
10% CWM	50	45	49	43	41	38	55	58	52	44	41	39
20% CWM	52	44	45	40	44	36	59	58	48	41	45	38
30% CWM	51	43	49	37	45	36	54	45	51	38	46	34

type II의 CWM 방울의 크기가 미세한 차이만 있거나 차이가 없는 것을 알 수 있는데 type II가 type I에 비하여 미분탄의 크기가 크기 때문에 CWM 방울의 크기에서도 CWM type II가 다소 클 것으로 예상되었던 것과 일치하지 않음을 알 수 있다. 이러한 현상은 미분탄의 크기가 큰 것은 작은 것에 비하여 질량 모멘트가 크기 때문에 노즐 출구에서 물로부터 쉽게 분리되어 독립된 미분탄과 미분탄에 묻어 있는 미량의 물이 CWM 방울을 형성하여 분사되기때문에 CWM 방울의 크기가 미분탄의 크기와 반드시 비례하는 것만은 아니기 때문이라고 여겨진다.

또한 위치별 CWM 방울의 크기를 살펴보면 분사중심축에서 바깥쪽으로 갈수록 CWM 방울의 크기가 작아지는 것을 알 수 있다. 이것은 미립화기가 와류 형태가 아니고 Fig. 2와 같이 분사용 공기가 Slurry 바깥쪽 원주에 있기 때문에 생기는 현상으로 Sato의 결과와 일치하고 있다⁽⁸⁾.

그리고 미분탄 부하도와 CWM 방울 크기와의 상관관계를 살펴보면 비록 부하도가 증가함에 따라 CWM 방울이 약간 감소하는 경향이 있기는 하지만 부하도가 CWM 방울의 크기에 미치는 영향이 극히 적음을 말할 수 있다. 이는 Sato의 실험 결과와도 일치하고있다^(8,9).

분사압력이 CWM 방울의 크기에 상당한 영향을 미치는 것으로 보여지고 있는데 분사압력이 클수록 CWM 방울의 크기가 작아지는 것을 알 수 있다. 이는 미립화기 출구에서 분사 압력이 증가할수록 강한 난류가 형성되어 미세한 CWM 방울이 만들어지기 때문이다⁽⁹⁾.

5.2 CWM 방울안의 미분탄의 존재 유무

미분탄의 부하도, 공기분사압력, 채집위치와 미분탄크기 등의 미립화 조건들이 CWM 방울안의 미분탄 존재 유무에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기위해 미분탄을 함유한 CWM 방울과 함유하지않은 CWM 방울을 구분하여 그 CWM 방울의 수를 Table 4와 Table 5에 나타내었다.

Table 4는 미분탄 type I (105 micron 이하)에 관한 것이고 Table 5은 미분탄 type II (210 micron 이하)에 대한 것으로 Table 4와 Table 5의 내용을 미분탄 부하도, 공기분사압력, 미분탄의 크기와 채집 위치에 관련해서 설명하면 다음과 같다.

첫째 부하도의 영향을 살펴보면 부하도가 증가할수록 미분탄이 존재하지 않는 CWM 방울의 수가 감소하는 경향을 미분탄 type I과 type II에서 모두 볼 수 있었다. 이러한 경향은 부하도의 증가가 결국 미분탄이 전체 CWM에 차지하는 비율의 증가를 의미하기 때문에 부하도의 증가로 인하여 미분탄이 존재하지 않는 CWM 방울의 수가 감소할 것이라는 일반적인 예상과 일치하였다. 이 실험 결과를 부하도와 전체 CWM 방울중 미분탄이 없는 방울이 차지하는 비율과의 관계로 Fig. 11에 나타내었다. 여기서 흥미있는 사실은 부하도 10%일 때 물의 양이 90%나 됴에도 불구하고 type I의 경우에는 미분탄이 없는 CWM 방울의 수가 20%이하이며 type II의 경우에는는 25% 이하이므로 부하도가 증가함에 따라서 미분탄이 없는 CWM 방울의 수가 줄어들어 50~70%부하도에서는 미분탄이 없는 CWM 방울의 수는 극히 적을 것으로 믿어지는 것이다.

Table 4 Effect of operational condition on coal particle presence in droplet (type I)

(a) Loading effect on coal particle presence in droplet

Loading	No. of droplet with coal particle(A)	No. of droplet without coal particle(B)	Total number of droplet(C)	Percentage of(B) over(C)
10%	2128	493	2621	18.8%
20%	2051	363	2414	15.0%
30%	1689	160	1849	8.6%

(b) Air pressure effect on coal particle presence in droplet

Air pressure	No. of droplet with coal particle(A)	No. of droplet without coal particle(B)	Total number of droplet(C)	Percentage of(B) over(C)
1.7kgf/cm ²	2826	560	3386	16.5%
2kgf/cm ²	3042	458	3500	13.1%

(c) Sampling position effect on coal particle presence in droplet

Sampling position	No. of droplet with coal particle(A)	No. of droplet without coal particle(B)	Total number of droplet(C)	Percentage of(B) over(C)
Center	3384	568	3952	14.4%
2.2	2484	450	2934	15.3%

Table 5 Effect of operational condition on coal particle presence in droplet (type II)

(a) Loading effect on coal particle presence in droplet

Loading	No. of droplet with coal particle(A)	No. of droplet without coal particle(B)	Total number of droplet(C)	Percentage of(B) over(C)
10%	2245	711	2956	24.1%
20%	2534	678	3212	21.1%
30%	1940	489	2529	19.3%

(b) Air pressure effect on coal particle presence in droplet

Air pressure	No. of droplet with coal particle(A)	No. of droplet without coal particle(B)	Total number of droplet(C)	Percentage of(B) over(C)
1.7kgf/cm ²	3183	1007	4190	24.0%
2.0kgf/cm ²	3536	971	4507	21.5%

(c) Sampling position effect on coal particle presence in droplet

Sampling position	No. of droplet with coal particle(A)	No. of droplet without coal particle(B)	Total number of droplet(C)	Percentage of(B) over(C)
Center	3664	1091	4755	22.9%
2.2cm	3055	887	3942	22.5%

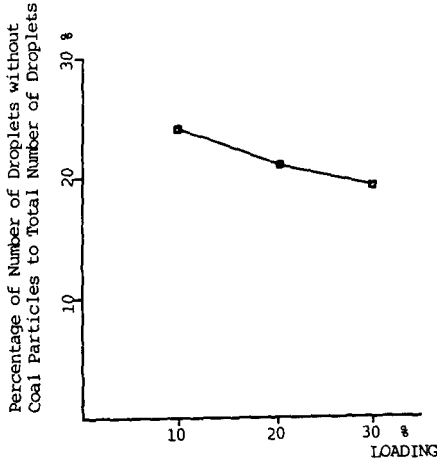


Fig. 11 Loading effect on coal particle presence in droplets

둘째로 공기분사압력의 영향을 살펴보면 공기분사압력이 증가할수록 미분탄이 존재하지 않는 CWM 방울의 수는 감소된 경향을 미분탄 type I 과 type II에서 모두 볼 수 있었다. 여기서 공기분사압력이 증가할수록 미분탄이 없는 방울수가 감소하는 것은 공기분사압력의 증가가 미분탄이 서로 뭉치는 경향을 감소시켜 결과적으로 미분탄으로 구성된 입자들의 수가 증가하기 때문이라고 믿어진다^(8,9).

세째로 미분탄 크기의 영향을 보기 위해 Table 4와 Table 5의 데이터를 서로 비교하여 보면 미분탄 type II의 경우가 type I의 경우에 비해 총 CWM 방울수에 대한 미분탄이 들어있지 않은 CWM 방울의 비율이 큼을 알 수 있다. 이는 부하도가 질량으로 정의되기 때문에 같은 부하도 경우 평균입자크기가 큰 type II CWM 미분탄 입자수가 평균입자크기가 작은 type I CWM 미분탄 입자수에 비해 적으며 또한 type II의 큰 미분탄입자가 물로부터 분리되어 단일 미분탄 입자와 미량의 물이 CWM 방울로 되는 경향이 증가하기 때문으로 믿어진다. 결국 미분탄과 섞이지 않은 물의 양이 많아져서 물만으로 구성된 방울이 많아진 것이다.

끝으로 채집위치의 영향은 미분탄 type I 과 type II 모두 특별한 경향을 찾아 볼수 없어 좀더 자세한 차후 연구가 필요한 것으로 믿어진다.

6. 결 론

미분탄과 물의 혼합물인 CWM을 이류체 분무노

즐로 분사시켜 CWM 방울의 크기분포와 CWM 방울안의 미분탄 존재유무가 부하도, 공기분사압력, 미분탄의 크기분포 그리고 채집위치의 변화에 따라 어떠한 영향을 받는지 실험을 통하여 연구하였다. 그 결과아래의 내용과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 공기분사압력이 증가함에 따라 CWM 방울의 크기는 감소하는 경향을 얻을 수 있었으며 채집 위치가 분무 중심에서 외곽으로 갈수록 연료 방울의 크기가 작아지는 현상을 볼 수 있었으나 부하도의 변화는 연료 방울 크기분포에 별로 영향을 미치지 않았다. 한편 CWM 방울의 크기가 미분탄의 크기와 비례하지 않았다.

(2) 부하도나 공기분사압력이 증가함에 따라 미분탄의 크기분포에 관계없이 미분탄이 없는 CWM 방울의 비율이 감소하였다.

(3) 같은 부하도에서 비교할 때 미분탄의 평균입자가 큰 경우가 작은 경우에 비해 전체 방울수 중 미분탄이 없는 방울수의 비율이 컸다.

(4) 채집 위치와 미분탄이 없는 CWM 방울의 비율간의 관계는 어떤 특정한 경향을 볼 수 없었다. 즉 분무의 중심과 외곽에서 미분탄이 없는 CWM 방울의 비율차이가 미세하였다.

후 기

본 연구는 1988년도 문교부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구 되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드리는 바이다. 한편 본 연구에 큰 도움을 준 대학원 유영길군에게도 감사한다.

참 고 문 헌

- (1) Meyer, P.L. and Chigier, N., 1985, "Characterization of the Atomization Process in Coal-Water Slurry Sprays", Iclass-85, London.
- (2) A.S.M.E., 1985, "Mechanical Engineering", p. 70.
- (3) Gillberg, L., Larsson, N., Mathiesen, M., Nystron, O. and Persson, J., 1983, "Some Rheological Data and Atomization Behavior of CWM's Containing 68 to 83% Coal", Fifth International Symposium on Coal Slurry Combustion and Technology, Pittsburgh Energy Technology Center, Tampa, FL, pp. 1229 ~1243.

- (4) Bortz, S., Engelberts, D and Schreie, W., 1984, "A Study of the Combustion Characteristics of a Number of Coal-Water Slurries", Sixth International Symposium on Coal-Slurry Combustion and Technology Center, Orlando, FL, pp. 710~730.
- (5) Hargrove, M.J., Levasseur, A.A. and Chow, O.K., 1984, "Combustion Characteristics of Coal-Water Mixture", Sixth International Symposium on Coal-Slurry Combustion and Technology, Pittsburgh Energy Technology Center, Orlando, FL, pp. 127~142.
- (6) Rosfjord, T.J., 1985, "Atomization of Coal Water Mixture Evaluation of Fuel Nozzles and a Cellulose Gum simulant", Gas Turbine Conference and Exhibit, ASME, Hoston, TX, pp. 1~8.
- (7) Daley, R.D., Farthing G.A. And Vecci S.J., 1984, "Coal-Water Slurry Evaluation", CS-3413, Project 1895~3. EPRI. Palo. Alto. CA.
- (8) Sato, K., Okiura, K., Bada, A., Takahashi, K. and Shoji, K., 1987, "A Study on Spray Combustion of CWM", Proc. 8th Int. Symp. on Coal Slurry Fuels Presparation and Utilization, pp. 178~191.
- (9) Sato, K., Shoji, K., Akiyama, I. and Baba, A., 1988, "Effect of Coal Particle and Spray Droplet Sizes on Combustion Characteristics of Coal-Water Mixtures", Power Technology, Vol. 54. pp. 127~135.
- (10) Spraying System Korea, 1988, "Catalogue".
- (11) Karasawa, T. and Kurabayashi, T., 1982, "Coalescence of Droplete and Failure of Droplets to Impact the Sampler in the Immersion Sampling Technique", Proc. Int. Conference on on Liquid Atomization and Spray System, pp. 285~291.
- (12) May, K.R., 1950, "The Measurement of Airbone Droplets by the Magnesium Oxide Method", J. Sci. Instrum., Vol. 27, pp. 128~130.