

〈論 文〉

고부하도 CWM 연료방울안에 존재하는 미분탄 분포

김 성 준* · 유 영 길**

(1990년 12월 26일 접수)

Coal Particle Distribution Inside Fuel Droplets of High Loading CWM

Sung Joon Kim and Young Kil Yu

Key Words : CWM(미분탄과물의 혼합체), Atomization(미립화), Coal Particle Distribution (미분탄분포)

Abstract

The purpose of this experiment is to understand the distribution of coal particles inside CWM droplet which is believed to be a very important factor controlling the flame stability. CWM slurry is atomized by an air assisted twin fluid nozzle. An experimental rig is designed and fabricated. The mean size of coal particle distribution in CWM slurry, atomizing air pressure, coal particle loading in slurry and sampling position inside spray are main experimental variables. The atomized CWM droplets are sampled on the thin white layer of magnesium oxide by the emergency sampling shutter. The sampled coal particles on magnesium oxide layers are collected into test tubes and dispersed completely by Ultra-Sonicator. The size distribution of coal particles inside droplets are measured by Coulter Counter. The presence of coal particle inside the impressions of droplets on magnesium oxide layer are investigated by photo technique. There are quite many droplets which do not have any coal particles. Those are just water droplets, not CWM droplets. The population ratio of droplets without coal particles to total number of droplets is strongly affected by the mean size of coal particle distribution in slurry and this ratio becomes bigger number as the mean size of coal particles be larger. The size distribution of coal particles inside CWM droplets is not even and depends on the size of droplet. Experimental results show that the larger CWM droplets has droplets has bigger mean value of particle size distribution. This trend becomes more evident as the atomizing air pressure is raised and the mean size of coal particles in CWM slurry is bigger. That is, the distribution of coal particles inside CWM droplets is very much affected by the atomizing air pressure and the mean size of pulverized coal particles in CWM slurry.

1. 서 론

중요한 에너지원인 석유는 그 가채량이 얼마되

지 않고 의존도가 상대적으로 높아 항상 잠재적 석유파동의 위험이 따르고 있다. 이러한 석유의 공급 불확실성과 높은 가격을 해결할 수 있는 대체에너지원으로서 크게 관심을 끌고 있는 것이 Coal Water Mixture(이후 CWM 이라 한다)이다. CWM의 구성부분인 석탄은 세계부존량이 앞으로

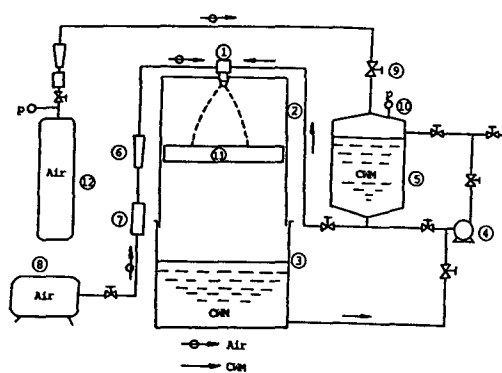
* 정회원, 강원대학교 공과대학 기계공학과

** 정회원, 강원대학교 대학원

300년이상 사용할 수 있을 만큼 많아 공급의 안정성을 얻을 수 있고 그 가격 또한 저렴하여 기존의 기름 연료비의 30% 가량을 절약할 수 있다. CWM 이외에도 석탄을 이용한 대체에너지원인 COM(Coal Oil Mixture)과 COWM(Coal Oil Water Mixture)등이 고려되고 있으나 열량 생산비가 CWM에 비해 높아서 대체에너지원으로 가장 저렴한 CWM에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. CWM을 연소기관의 대체연료로 사용하기 위해서는 연소과정의 초기단계인 연료 미립화 과정을 반드시 이해해야 하며 이는 주로 CWM의 낮은 연소성과 화염의 불안정성을 해결하기 위한 것이다. CWM연소성과 안정성이 낮은 이유는 연료방울이 고체연료인 미분탄과 물로 구성되어 있기 때문에 CWM이 연소할 때 연소특성 특히 화염의 불안정성과 Local Quenching이 일반 유체연료와는 다르게 연료방울안의 미분탄 분포에 크게 의존할 것으로 믿어진다. 그러나 과거의 연구^(1~3)는 주로 미립화된 연료방울 크기분포에 관한 것으로 연료방울안의 미분탄의 존재 유무와 미분탄의 크기분포에 관한 연구가 전혀 진행되지 않아 본 실험은 분산시 운전조건, 부하도, 그리고 연료방울 채집위치가 연료방울안의 미분탄 존재유무와 연료방울안의 미분탄 크기 분포에 미치는 영향 연구를 실험 목적으로 했다. 여기서 부하도라 함은 미분탄과 물의 질량비를 의미한다.

2. 실험 시스템의 구성

고부하도(부하도 50% 이상)에서 본 실험을 수행하기 위해 먼저 슬러리의 성질을 고찰한 결과 다음의 문제점들이 예상되었다. 50% 이상의 고부하도 CWM은 유동성이 현저히 감소하여 Fig. 1의 기존 실험시스템중 혼합기능을 수행하는 로타리 펌프와 파이프라인이 막히는 현상을 생각할 수 있었고 로타리 펌프가 혼합기능을 수행하는 동안 로타리 펌프의 날개와 벽면사이에 끼인 미분탄의 파괴로 미분탄의 크기분포가 바뀌는 현상을 생각할 수 있었다. 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 혼합기능을 수행하는 로타리 펌프를 기존의 시스템에서 제거하거나 교반기로 교체하는 방법등 몇가지 실험시스템의 변경을 고려하였다. 한편 CWM에서 물과 미분탄이 분리되는 속도를 확인하기 위해 미분탄 Type I으로 만든 50%이상의 고부하도 CWM을



- 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

비이커에 1리터 정도 담고 이를 24시간 동안 교반하지 않고 기다린 뒤에 슬러리의 윗부분에 미분탄과 분리되어 생길지도 모를 물의 층을 확인한 결과 거의 물과 미분탄의 분리현상을 볼 수가 없었다. 또한 Tyep II의 경우는 부하도 55% 이상에서 위의 분리 현상을 볼 수 없었는데 슬러리의 안정성이 이를 구성하는 미분탄의 크기에 의존함을 볼 수 있었다. 즉 슬러리의 미분탄 부하도가 50%이상으로 증가됨에 따라서 제조된 CWM으로부터 미분탄이 분리되어 슬러지층을 형성하는 현상이 실험의 준비 및 수행중과 같은 짧은 기간에는 전혀 볼 수가 없어 실험시스템 구성부분에 혼합기능을 수행하는 로타리 펌프부분이 필요없었다. 이 로타리펌프를 제거함으로써 로타리펌프에 의한 미분탄의 파괴를 제거하는 잇점도 있었다. 또한 슬러리 혼합탱크의 높이를 조정하여 슬러리 탱크 출구와 미립화기 입구의 거리가 최소가 되도록 슬러리탱크를 위로 올려 탱크 출구와 미립화기 입구의 높이가 같도록 하였으며 이를 통해 혹시라도 있을지 모를 파이프에서의 막힘현상을 최소화했다. 이와 같은 것을 고려하여 본 실험을 위한 실험시스템을 Fig. 2와 같이 구성하였는데 그 구성부분을 살펴보면 미립화기에 일정한 압력으로 공기와 슬러리를 공급하기 위해 공기압축기, 슬러리 탱크, 공기압 조절기 그리고 유량계가 설치되어 있고 분사실에 미립화기로부터 분사된 고속의 연료방울을 채집할 수 있도록 채집기

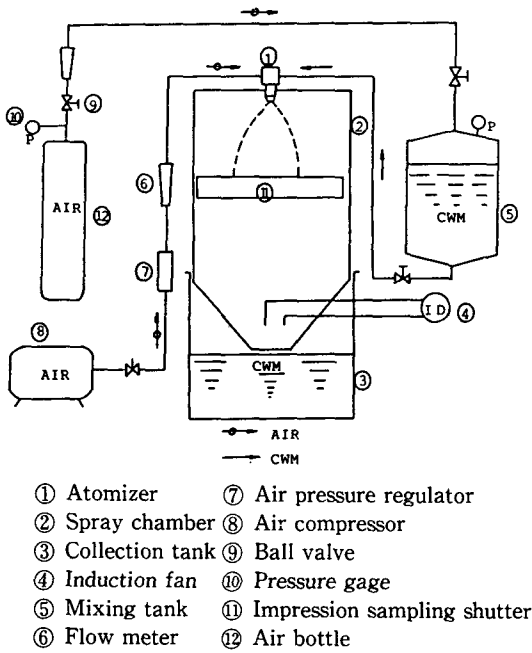


Fig. 2 Schematic of modified CWM atomization facility

구를 장치했다. 또한 유도 팬(induction fan)을 설치하여 미립화기에서 무화된 CWM이 분사실 외부로 유출되는 것을 방지하였다.

3. CWM 제조

본 실험에서 사용된 CWM은 미분탄의 최대 직경이 차이가 있는 두가지 분포의 미분탄을 물과 혼합하여 만들었다. 우선 미분탄을 만들기 위하여 석탄을 건조기에서 건조시킨뒤 Jaw Crusher로 석탄 덩어리를 잘게 부수고 Pulverizer로 미분화시켰다. 미분화된 미분탄을 70mesh(210 micron) Sieve로 친후 이것을 140mesh(105micron) Sieve로 쳐서 통과한 105 μ m이하의 미분탄과 140mesh Sieve위에 남은 210 μ m 이하의 미분탄을 각각 Type I과 Type II로 구분하였다. 실제로 Type II의 210 μ m이하의

Table 1 Kind of CWM

Type of coal particle	Type I (under 105 μ m)	Type II (under 210 μ m)
Loading (%)	57	58

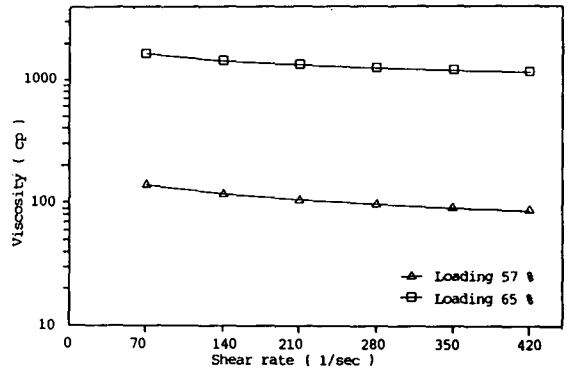


Fig. 3 Rheological behavior of CWM (Type I)

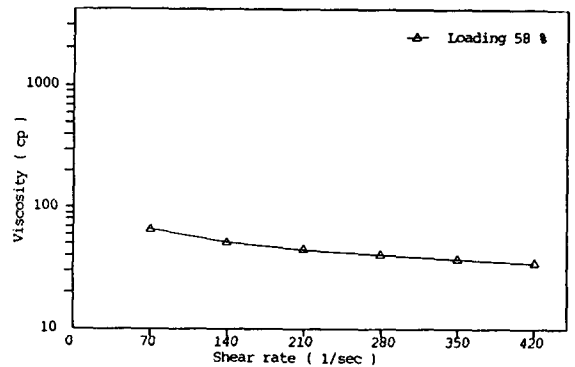


Fig. 4 Rheological behavior of CWM (Type II)

미분탄에도 105 μ m이하의 미분탄이 상당량 포함되어 있었다. 이렇게 얻어진 미분탄을 이용하여 Table 1과 같이 CWM을 제조했다. 또한 CWM의 Rheological 특성을 알아보기 위해 Table 1에 있는 부하도에 따라 Rotary Type Viscometer (BRAVAND)를 이용하여 점성을 측정하고 그 특성을 Fig. 3과 Fig. 4로 나타냈다. 이들 그림에서

Table 2 Properties of the pulverized coal

Type of coal particle	Water (%)	Volatile matter (%)	Ash (%)	Fixed carbon (%)
Type I	1.5	5.8	50.2	42.5
Type II	2.0	6.4	47.0	44.6

실험에 사용된 CWM이 Pseudo-Plastic 성질을 갖는 물질임을 알 수 있었고 같은 부하도일때 미분탄의 최대 크기가 작은 Typ I CWM이 미분탄의 최대 크기가 큰 Type II CWM보다 점성이 높음을 알 수 있었다. 또한 원료석탄의 성질을 알기 위하여 공업분석을 하였고 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

4. 연료방울 채집법

4.1 시험관 채집법

미립화기로부터 분사된 연료방울을 채집하여 위치에 따른 슬러리의 흐름량, 슬러리에 포함된 물과 미분탄의 양, 부하도 그리고 미분탄의 크기분포를 알기 위해 Fig. 5와 같이 미립화기로부터 60cm 떨어진 곳에 시험관을 분사축 중심에서 반경방향으로 1.6cm간격으로 5개를 설치했다. 이때 시험관의 직경은 10mm로 측정시간은 1분으로 하였다. 여기서 측정시간을 1분으로 한 것은 측정시간이 길면 많은 양이 시험관에 채집되나 시험관의 입구가 막히면 더 많은 오차의 원인이 되기 때문에 시험관 입구의 막힘이 없이 연료방울을 시험관에 받을 수 있는 최장시간을 고려하여 측정시간을 결정하였다. 연료방울을 채집한 시험관의 무게를 전자저울을 사용하여 측정하여 채집된 슬러리의 무게를 얻고 다시 시험관을 건조기에 넣고 건조시킨 뒤 무게를 측정하여 미분탄의 무게를 알았다. 그리고 시험관을 완전히 세척한 뒤 시험관 무게를 측정하였으며 슬러리의 무게, 물과 미분탄의 무게 그리고 부하도를 알 수

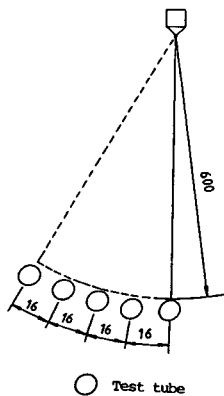


Fig. 5 Sampling positions of test tube sampling method

있었다. 채집된 미분탄의 크기 분포를 알기 위해 건조된 미분탄을 Isoton II 용액에 넣고 Ultra-Sonicator로 완전히 분산시킨뒤 Coulter Counter로 미분탄의 크기 분포를 측정했다. 이 시험관 채집법을 통해서 분사안의 부하도 변화와 미분탄 크기분포에 대한 데이터를 얻을 수 있었다.

4.2 Impression 채집법

혼합연료를 미립화기로 분사시킨뒤 연료방울안에 포함된 미분탄의 존재 유무와 미분탄의 크기분포 그리고 연료방울의 분포를 알기 위해 과거에 사용된 Phototechnic이나 Laser법으로는 실험목적에 맞는 실험을 수행할 수 없어 고속으로 분사되는 연료방울을 채집할 수 있는 Impression 채집법⁽⁴⁾을 사용했다. 이미 소개한 대로 Impression채집법은 산화 마그네슘을 슬라이드 글라스에 입힌 뒤 이것을 Emergency Sampling Shutter⁽⁵⁾를 이용해 연료방울을 채집하는 법이다. 이때 산화마그네슘층이 얇으면 연료방울이 파괴되기 때문에 적당한 층을 가져야 한다. 이 방법은 채집시 연료방울의 파괴가 거의 없으며 채집후 거의 영구적으로 연료방울을 보관할 수 있으며 기존의 Silicon Bath를 사용했을 때의 단점⁽⁶⁾을 보완할 수 있는 방법이다. 또한 산화마그네슘의 색이 백색이어서 석탄 입자와 구별이 쉽다. 채집위치는 Fig. 6에서와 같이 분사축 중심에서 반경방향으로 3.2cm간격으로 3곳에서 측정하였다. 그러나 실제로는 채집장치의 위치는 한곳에 고정해 두고 미립화기를 회전시켜서 측정하였다. 이렇게 측정한 이유는 슬라이드 글라스 위에 채집

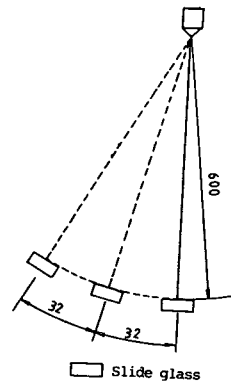


Fig. 6 Sampling positions of impression sampling method

될 때 수직으로 채집되어야 비교적 정확한 연료방울의 크기를 측정할 수 있으며 연료방울 안에 들어 있는 미분탄이 산화마그네슘층을 파고들어 그 속에 감춰지지 않기 때문이다.

5. 데이터 분석방법

채집된 연료방울의 크기, 연료방울안의 미분탄 존재유무 및 연료방울안의 미분탄 크기 분포를 얻기 위해 사진법과 Coulter Counter법을 사용했다. 사진법은 현미경이 부착된 사진기를 이용하는 방법으로 연료방울 크기의 5배 또는 10배의 상이 필름 위에 생기도록 사진을 찍은 뒤 이를 현상하고 확대기를 사용하여 인화지 위에 연료방울 실제 크기의 50배 또는 100배의 영상을 얻었다. 인화된 사진은 Fig. 7과 같이 미분탄을 포함한 연료방울과 미분탄을 포함하지 않은 것을 구분할 수 있었으며 사진을 판독하여 연료방울의 크기 분포를 측정하였다. 즉 사진법을 통해 연료방울의 크기 분포를 측정하고 연료방울안 미분탄의 존재유무를 확인할 수 있었다.

연료방울안 미분탄 분포 측정을 위해 산화마그네슘층 위의 연료방울을 큰 것과 작은 것으로 분리해 연료방울안의 미분탄을 각각 다른 시험관에 넣고 아이소톤 용액과 섞은 다음 이것을 Ultra-Sonicator에 넣어 완전히 분산시켰으며 이를 Coulter Counter로 측정해 연료방울안 미분탄 분포를 알았다. Coulter Counter는 입자의 크기를 측정하는 장치인데 미분탄의 최대 크기가 $210\mu\text{m}$ 이므로 분포에 맞게 $8\mu\text{m}$ 부터 $256\mu\text{m}$ 까지를 16채널로 나누어 측정하였다. 이렇게 함으로써 $1\mu\text{m}$ 이하의 산화마그네슘입자를 측정범위 밖에 들으로써 미분탄 입자만을 측정할 수 있었다. 이 Coulter Counter법은 연료방울안 미분탄 분포측정을 위해 사용되었다.

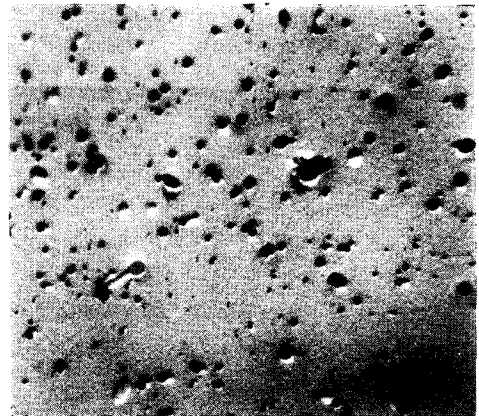


Fig. 7 Impression of droplets on MgO layer

6. 실험결과 및 고찰

실험은 고부하도에서 미분탄의 크기분포에 따라 크게 두가지로 나누어 진행되었다. 먼저 미분탄의 크기가 작은 Type I을 가지고 부하도 57%와 65%의 CWM을 이류체 미립화기로 분사시켰다. 65% CWM의 경우 실험 변수중 공기공급압력(AP)와 슬러리 공급압력(SP)을 변경시켜 3가지 실험조건의 조합을 만들었다. 즉 공기의 공급압력의 변화가 미립화에 미치는 영향을 알기 위해 슬러리 공급압력 5kgf/cm^2 에서 공기 공급압력을 1.5kgf/cm^2 과 2.0kgf/cm^2 으로 하였고 슬러리 공급압력의 변화가 미립화에 미치는 영향을 관찰하기 위해 공기 공급압력 1.5kgf/cm^2 에서 슬러리의 공급압력을 5kgf/cm^2 과 7kgf/cm^2 으로 하였다. 그리고 부하도 57%에서는 공기공급압력의 영향을 좀더 자세히 보기 위해서 슬러리의 공급압력을 4kgf/cm^2 으로 일정하게 하고 공기공급압력을 0.7kgf/cm^2 , 0.85kgf/cm^2 그리고 1.0kgf/cm^2 로 하였다. 둘째는 미분탄의 크기가 큰 Type II를 가지고 부하도

Table 3 Experimental conditions

Atomizing Conditions	Type of coal Particle		Type I					Type II		
	Loading (%)		57	65		58				
Air pressure (kgf/cm ²)	0.7	0.85	1.0	1.5	2.0	1.5	0.7	0.85	1.0	
Slurry pressure (kgf/cm ²)	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	7.0	1.0	1.0	1.0	

58%에서 슬러리의 공급압력을 1.0kgf/cm²로 일정하게 한뒤 공기 공급압력은 미분탄 Type I의 CWM 부하도 57%와 동일한 조건으로 측정했다. 이는 실험후 데이터를 분석할 때 채집된 연료방울의 크기를 적정크기로해 실험데이터 분석을 보다 용이하게 함이었다. 위의 내용이 Table 3에 요약되어 있다.

6.1 시험관 채집법에 의한 실험

Fig. 8은 Type I의 미분탄을 이용하여 분사중심축에서 분사의곽으로 시험관을 1.6cm간격으로 배열하여 분사된 연료방울을 1분간 채집한 뒤 각 위치에서의 부하도를 측정 한 값이다. 이 그림에서 볼 수 있는 것은 위치에 따라서 부하도가 약간씩 차이가 있으며 그 산술평균값은 원래 슬러리의 부하도 65%에 근사하나 약간 높아진 것을 볼 수 있었다. 그 이유는 압축공기와 CWM이 혼합되어 분사될 때 슬러리중의 물이 무화되어 분사의곽쪽으로 확산되어 감에 따라 생기는 현상으로 보여진다. 즉 이 현상은 본 실험에서와 같은 대기압, 대기온도 상태가 아닌 고온의 연소환경에서는 더욱 심화 될 것으로 믿어진다. 또 부하도가 분사중에서 위치에 따라 10%정도의 변화가 있어 순간적으로 부하도가 낮아진 부분에서 많은 흡열 반응으로 소염현상이 나타나 화염의 불안정성의 원인이 될 것으로 믿어진다. 운전조건에 따른 부하도의 산술평균값을 비교하면 Table 4와 같다. 이 Table에서 공기의 공급압력의 영향을 보기 위해서 Case I과 Case II를 비교해 보면 공기의 공급압력이 증가할수록 부하도가 증가됨을 볼 수 있는데 이는 공기의 공급압력이 증가하

Table 4 Mean value of loading for atomizing conditions

Atomizing conditions	Case I	II	III
Air pressure (kgf/cm ²)	1.5	2.0	1.5
Slurry pressure (kgf/cm ²)	5.0	5.0	7.0
Mean value of loading (%)	65.6	66.3	65.1

면서 물의 무화도가 증가되어 시험관에 채집된 물의 양이 줄어 부하도가 증가된 것으로 믿어진다. 슬러리의 공급압력의 영향을 보기 위해 Case I과 Case III을 비교해 보면 슬러리의 공급압력이 증가할수록 부하도가 감소되는데 이는 같은 공기의 공급압력하에서 슬러리의 공급압력이 증가함에 따라 무화도가 감소되어 시험관에 채집된 물의 양이 증가된 것으로 믿어진다.

Fig. 9는 Type II의 미분탄을 가지고 부하도 58%로 CWM을 만든 뒤 미분탄의 크기 변화와 공기공급압력이 미립화에 미치는 영향을 알기 위해 공기 공급압력을 변화시켜 가면서 실험하여 Fig. 8과 같은 방법으로 연료방울을 위치에 따라 채집한 결과이다. 부하도가 분사축 외곽으로 갈수록 증가함을 볼 수 있으며 공기의 공급압력이 증가할수록 채집된 연료방울안의 미분탄 부하도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 압축공기와 CWM이 혼합되어 분사될 때 슬러리중의 물이 무화되면서 분사의 곁쪽으로 확산되어 생기는 현상으로 Fig. 8과 같은 현상으로 믿어진다.

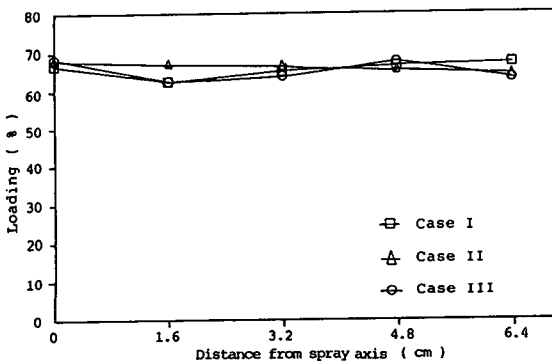


Fig. 8 Variation of loading upon sampling positions (Type I)

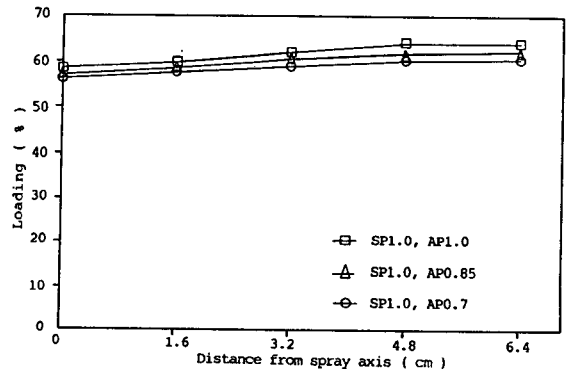


Fig. 9 Variation of loading upon sampling positions (Type II)

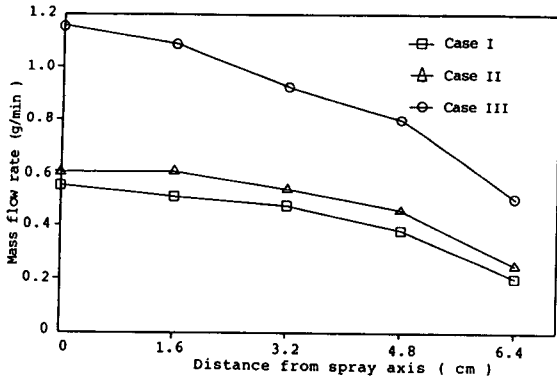


Fig. 10 Variation of slurry flow upon sampling positions (Type I)

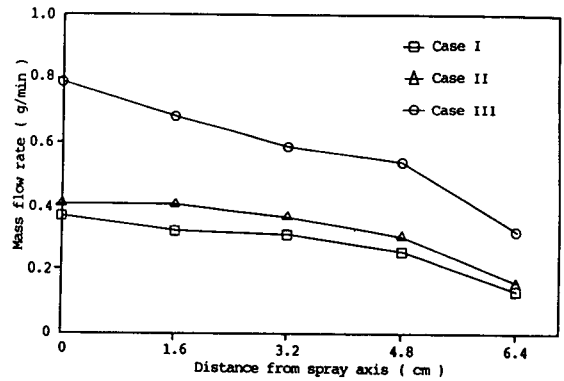


Fig. 12 Variation of coal quantity upon sampling positions (Type I)

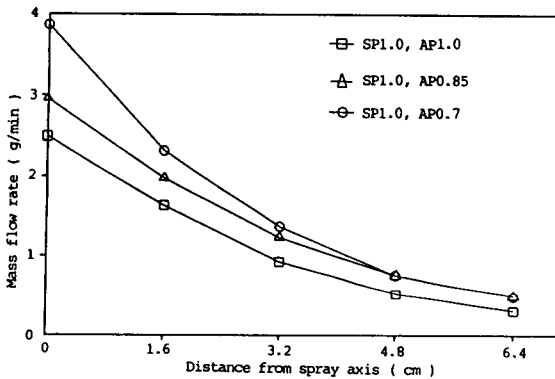


Fig. 11 Variation of slurry flow upon sampling positions (Type II)

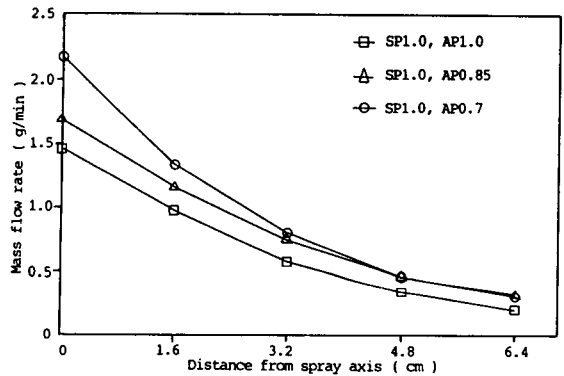


Fig. 13 Variation of coal quantity upon sampling positions (Type II)

Fig. 10은 Type I의 미분탄을 가지고 채집위치에 따른 슬러리의 흐름량을 1분간 채집하여 그 변화량을 나타낸 것으로 분사축 중심으로부터 외곽으로 갈수록 슬러리의 공급압력이 높아지고 공기의 공급압력이 낮아짐에 따라 슬러리의 양이 증가됨을 볼 수 있는데 슬러리의 공급압력이 5kgf/cm^2 에서 7kgf/cm^2 로 40% 증가됨에 따라 슬러리 흐름량이 2배 가까이 증가되었고 공기의 공급압력이 2.0kgf/cm^2 에서 1.5kgf/cm^2 으로 약 25% 낮아짐에 따라 슬러리의 흐름량이 약 10% 정도 증가되어 슬러리의 공급압력에 더 많은 영향을 받음을 알 수 있었다. 채집위치에 따른 슬러리 흐름량의 변화는 슬러리의 공급압력이 낮아지고 공기의 공급압력이 증가할수록 분사축 슬러리 흐름량 변화가 완만해짐을 알 수 있다. 즉 공기의 공급압력과 슬러리의 공급압력의 비가 증가할수록 분사내의 위치에 따른 슬러리 흐름량이 균등해짐을 알 수 있다.

Fig. 11은 Type II의 미분탄을 이용하여 공기의 공급압력을 변화시키면서 위치에 따른 슬러리의 양을 측정한 것이다. 공기의 공급압력이 감소됨에 따라 슬러리의 양이 거의 일정하게 증가되는 것을 볼 수 있으며 위치에 따라 분사축 중심에서 외곽으로 갈수록 Fig. 10에 비해 급격히 감소됨을 볼 수 있었는데 이는 미분탄의 크기가 커지고 슬러리의 공급압력과 공기공급압력이 Fig. 10에 비해 많이 감소했기 때문으로 믿어지며 여기서도 공기의 공급압력과 슬러리의 공급압력의 비가 증가할수록 채집위치에 따른 변화가 완만해짐을 볼 수 있다. 즉 미분탄 크기에 관계없이 슬러리 흐름량의 변화율이 공기의 공급압력과 슬러리의 공급압력의 비가 증가에 따라 완만해졌다.

Fig. 12와 Fig. 13은 미분탄 Type I과 Type II를 각각 분사시켰으며 연료량을 채집위치에 따른 미분탄의 흐름량을 1분간 채집하여 그 변화량을 나

타낸 것으로 분사축 중심에서 외곽으로 갈수록 미분탄의 양이 감소되는데 이는 Fig. 10에서 슬러리의 흐름량 변화와 비슷한 경향을 보이며 슬러리의 양에 비례하여 미분탄의 양이 분사내에 존재함을 알 수 있다. 이는 실제 연소시 발열량에 주로 관계되는 것이 미분탄이기 때문에 분사시 위치에 따른

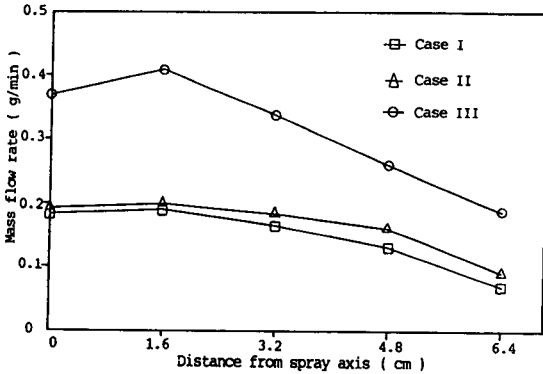


Fig. 14 Variation of water quantity upon sampling positions (Type I)

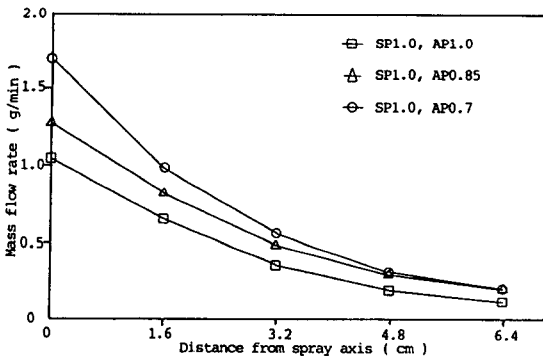


Fig. 15 Variation of water quantity upon sampling positions (Type II)

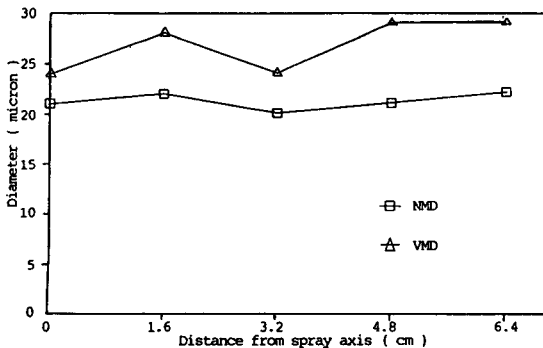


Fig. 16 Variation of mean diameters of coal particles inside spray on sampling positions

미분탄의 양은 연소 현상 연구에 중요한 요소가 될 것으로 믿어진다. 여기서도 미분탄의 흐름량이 공기의 공급압력과 슬러리의 공급압력의 비가 증가할수록 균등해지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 14와 Fig. 16은 연료방울 채집위치에 따른 물의 흐름량을 1분간 채집하여 그 변화량을 나타낸 것으로 Fig. 14와 Fig. 15 모두 분사축 중심에서 외곽으로 갈수록 감소하나 Fig. 14의 경우 분사축으로부터 1.6cm 위치까지는 증가됨을 볼 수 있는데 그 물리적 이유는 분명하지 않다.

Fig. 16은 시험관을 이용하여 분사된 연료방울을 채집한뒤 분사안의 미분탄의 체적평균직경과 산술 평균직경을 위치별로 나타낸 것으로 위치에 따른 미분탄의 평균직경 분포는 분사외곽으로 갈수록 약간 커지는 경향이 있으나 전반적으로 큰 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 이는 CWM을 분사시켰을때 연료방울의 크기분포가 분사축 중심에서 외곽으로 갈수록 감소되는 것과 대비되는 것으로 선회가 없는 미립화기에 의한 분사에서 볼 수 있는 흥미있는 현상으로 보인다.

6.2 Impression 채집법에 의한 실험

(1) 연료방울의 크기 분포

Fig. 17은 Type II를 분사시켰을 때 위치에 따른 연료방울의 체적평균직경을 나타낸 것으로 분사 중심축에서 외부로 갈수록 감소하는데 이는 미립화기의 특성과 일치되는 결과로 본 실험이 정상적으로 수행된 것을 확인할 수 있었다.

(2) 연료방울안의 미분탄 존재유무

고부하도 실험에서 공기분사압력, 채집위치, 미

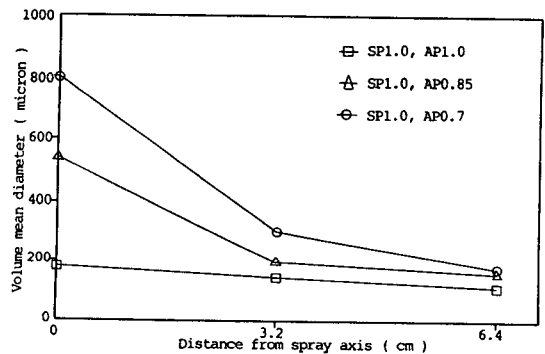


Fig. 17 Variation of CWM droplet size upon sampling positions

분탄의 부하도와 미분탄의 크기등 분사조건들이 미립화시 CWM 연료방울안의 미분탄 존재유무에 어떤 영향이 미치는지를 알기위해 CWM 연료방울안에 미분탄을 포함하지 않은 연료방울의 비율을 Table 5에 나타내었다. Table 5에서 미분탄의 부하도에 따른 영향을 보면 부하도가 증가할수록 미분탄의 크기에 관계없이 미분탄을 포함하지 않은 연료방울의 비율이 감소되는 경향을 볼 수 있는데 이는 부하도의 증가가 CWM중 미분탄이 차지하는 비율을 증가시켜 결국 미분탄을 포함하지 않은 연료방울의 수를 감소시키는 것이다. 미분탄의 크기에 따른 영향은 같은 부하도에서 미분탄의 크기가

큰 Type II가 Type I보다 연료방울중 미분탄을 포함하지 않은 연료방울의 비율이 큼을 알 수 있었고 또한 미분탄의 크기에 따른 영향이 다른 분사조건보다 훨씬 크게 나타냄을 알 수 있었다. Table 5(a)에서는 미분탄 Type I을 사용해 57%의 고부하도에서 미분탄을 포함하지 않은 연료방울의 비율을 나타낸 것으로 고부하도에서 미분탄을 포함하지 않은 연료방울이 존재하는 것을 알 수 있었고 채집위치와 운전조건에 따른 영향은 특정한 결론을 유추할 수 없어 더 많은 실험 데이터의 축적이 필요할 것으로 믿어진다. 또한 Table 5(b)는 미분탄 Type II를 사용해 부하도 58%에서 전체 연료방울

Table 5 Percentage of number of droplets without coal particles to total number of droplets

(a) Type I (for loading 57% CWM)

Sampling positions Classification Atomizing conditions (kgf/cm ²)	0.0 (cm)		3.2 (cm)		6.4 (cm)		Total		%
	A	B	A	B	A	B	A	B	
Air pressure 1.0 Slurry pressure 4.0	1080	0	1074	0	611	0	2765	0	0
Air pressure 0.85 Slurry pressure 4.0	3786	44	1408	44	669	7	5863	95	1.59
Air pressure 0.7 Slurry pressure 4.0	1468	15	1751	20	1309	25	4528	60	1.31
Total	6334	59	4233	64	2589	32	13156	155	1.16
$\% \left(\frac{B}{A+B} \right)$	0.92		1.49		1.20		1.16		

(b) Type II (for loading 58% CWM)

Sampling positions Classification Atomizing conditions (kgf/cm ²)	0.0 (cm)		3.2 (cm)		6.4 (cm)		Total		%
	A	B	A	B	A	B	A	B	
Air pressure 1.0 Slurry pressure 4.0	1359	79	574	99	240	51	2173	229	9.53
Air pressure 0.85 Slurry pressure 4.0	545	107	537	73	696	54	1778	234	11.63
Air pressure 0.7 Slurry pressure 4.0	960	88	1058	132	827	66	2845	286	9.13
Total	2864	274	2169	304	1763	171	6796	749	9.93
$\% \left(\frac{B}{A+B} \right)$	8.73		12.29		8.84		9.93		

A : Number of droplets with coal particles

B : Number of droplets without coal particles

중 미분탄을 포함하지 않은 연료방울의 비율을 나타낸 것으로 여기서 비율이 약 10%인데 Type I의 부하도 57%에서 약 1.0%로 부하도 58%와 비교할 때 부하도가 증가했음에도 불구하고 미분탄이 없는 연료방울의 비율이 커져 미분탄 크기에 지대한 영향을 받음을 볼 수 있다.

6.3 연료방울안 미분탄 크기분포

Fig. 18은 미분탄 Type I 부하도 57%의 CWM을 슬러리 공급압력 4kgf/cm²과 미립화공기압력을 각각 0.7kgf/cm², 0.85kgf/cm², 1.0kgf/cm²로 변화시키면서 미립화시켜 Impression채집법으로 얻은 데이터를 연료방울의 크기가 큰 것과 작은 것으로 구분하고 연료방울안의 미분탄을 Coulter Counter로 분석하여 그 결과를 채집위치에 따라 체적평균직경변화로 표시한 것이다. 분사중심과 외곽에서는 작은 연료방울안의 미분탄 평균직경이 큰 연료방울안의 미분탄 평균직경보다 컸으나 3.2cm

에서는 반대현상이 나타나 어떤 일정한 경향을 볼 수 없었다. 그러나 세 채집위치에서의 값을 평균한 것은 작은 연료방울안의 미분탄의 평균직경이 약 26.6 μ m이고 큰 연료방울안의 미분탄이 약 25 μ m이어서 작은 연료방울안에는 큰 미분탄이 더 많은 것으로 보여지나 그 차이가 워낙 적어 어떤 확정적 의견을 제시할 수 없었다.

Fig. 19는 Fig. 18의 실험치를 산술평균직경으로 표시한 것으로 Fig. 18의 체적평균직경의 변화와 비교했을때 전체적인 평균직경이 10 μ m정도 작음을 알 수 있으며 체적평균직경의 변화에 비해 채집 위치에 따른 평균직경의 변화가 비교적 일정함을 알 수 있다. 미분탄의 평균직경이 분사중심에서는 큰 방울과 작은 방울에서 같았으나 3.2cm와 6.4cm에서 작은 연료방울안의 미분탄 평균직경이 큰 연료방울안의 미분탄 평균직경에 비해 컸으며 세 채집위치의 산술평균값의 경우 작은 연료방울안 미분탄의 평균직경이 16.5 μ m이고 큰 연료방울 미분

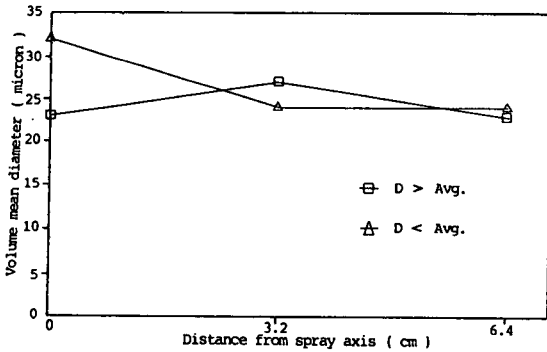


Fig. 18 Variation of coal particle size inside droplets on sampling positions(Type I)

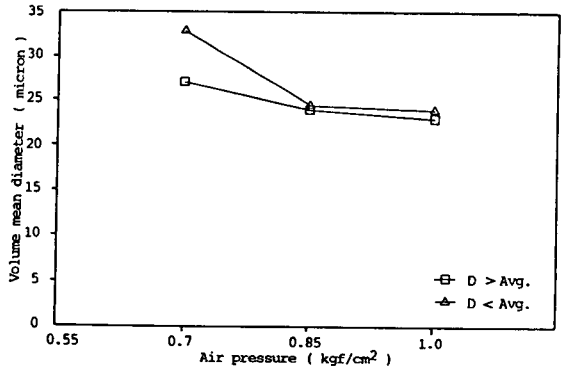


Fig. 20 Variation of coal particle size inside droplets on atomizing pressures(Type I)

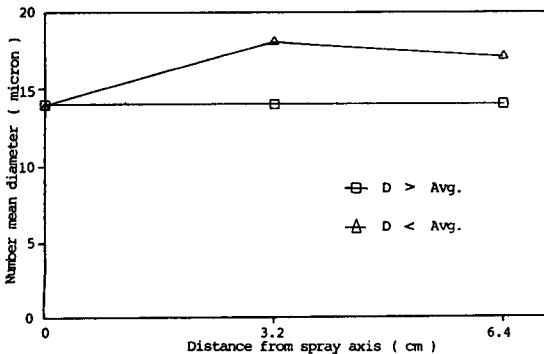


Fig. 19 Variation of coal particle size inside droplets on sampling positions(Type I)

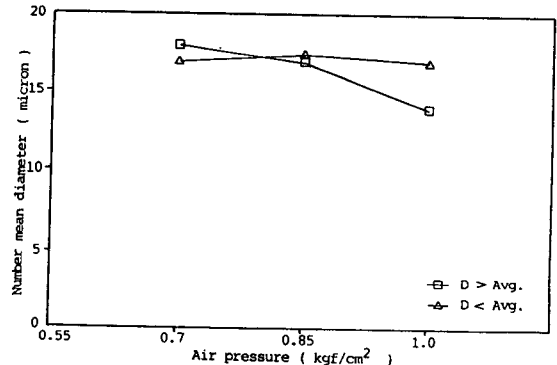


Fig. 21 Variation of coal particle size inside droplets on atomizing pressures(Type I)

탄의 평균직경이 $14\mu\text{m}$ 으로 작은 연료방울안에 큰 미분탄이 약간 많음을 볼 수 있었으나 Fig. 18과 같이 그 차이가 적어 어떤 확정적 의견을 제시할 수 없었다.

이를 좀더 자세히 설명하면 Fig. 17에서 분사의 각으로 갈수록 연료방울의 산술평균직경이나 체적 평균직경이 감소하는 경향을 볼 수 있는데 이는 분사의 각에 많은 작은 연료방울이 있는 점을 고려할 때 흥미있는 결과라 하겠다. 즉 작은 연료방울이 많을수록 연료방울안 미분탄의 평균직경이 커진다는 것은 Fig. 17과 Fig. 18 및 Fig. 19의 결과와 일치하고 있다.

Fig. 20과 Fig. 21은 분사조건에 따라 체적평균직경과 산술평균직경으로 나타낸 것인데 분사조건에 따라 산술평균직경을 평균한 값이 큰 연료방울과 작은 연료방울의 경우 각각 $16.3\mu\text{m}$ 과 $17.2\mu\text{m}$ 이고 체적평균직경을 평균한 값이 큰 연료방울과 작은 연료방울의 값이 각각 $24.7\mu\text{m}$ 과 $27.2\mu\text{m}$ 으로 Fig. 18과 Fig. 19의 결과와 같이 어떤 특정한 경향

을 제시할 수 없었다.

Fig. 22와 Fig. 23은 부하도 58%에서 미분탄 평균직경이 큰 Type II를 사용하여 공기의 공급압력 변화에 따른 연료방울 내의 미분탄평균 크기 변화를 나타낸 것이다. 연료방울 내의 미분탄 크기 분포는 공기의 공급압력이 증가함에 따라 큰 연료방울 내에 포함된 미분탄의 평균직경이 감소하고 작은 연료방울 내에 포함된 미분탄의 평균직경이 증가함을 볼 수 있어 슬러리의 공급압력이 일정할 때 공기의 공급압력이 증가함에 따라 연료방울 내에 포함된 미분탄의 평균직경의 차이가 증가함을 알 수 있었다. 이에 따라 연료방울 내에 포함된 미분탄의 평균직경이 작은 Type I에서는 큰 연료방울과 작은 연료방울을 내에 포함된 미분탄의 평균직경 차이가 거의 없었으나 미분탄의 평균직경이 큰 Type II에서는 큰 연료방울과 작은 연료방울 내에 포함된 미분탄의 평균직경의 차이가 현저하게 나타남을 볼 수 있었다. 이는 미분탄의 크기가 커질수록 공기분사압력이 높아질수록 큰 미분탄이 독립되어 작은 연료방울을 형성하는 경향이 커지기 때문으로 연료 분사시 연료방울 내의 미분탄의 크기분포가 공기 분사압력과 미분탄의 크기분포에 크게 영향을 받음을 확인할 수 있었다.

7. 결 론

CWM을 이류체 미립화기로 미립화시켜 full cone 형태의 분사에서 연료방울을 채집해 실험한 결과 다음과 같은 결론을 유도할 수 있었다.

(1) 분사축중심에서 분사의 각으로 갈수록 슬러리의 흐름량, 미분탄의 양, 물의 양은 감소하였으나 미분탄의 크기분포는 거의 변화가 없었다.

(2) CWM을 분사시켰을때 연료방울중에 미분탄을 포함하지 않은 연료방울이 존재하였으며 특히 고부하도 CWM에서도 미분탄을 포함하지 않은 연료방울이 존재한 것을 확인할 수 있었고 미분탄의 입도크기가 연료방울중 미분탄의 존재유무에 큰 영향을 주었다. 이는 연소시 Local Quenching과 밀접한 관계가 있을 것으로 생각되며 불완전 연소 및 화염의 불안정성의 원인이 될 것으로 믿어진다.

(3) 연료방울안의 미분탄 분포의 경우 작은 연료방울안에 큰 미분탄이 들어있고 큰 연료방울안에는 작은 미분탄이 들어 있는데 이 경향은 미분탄의 크기분포에 큰 영향을 받았다. 여기서 혼합연료인 경

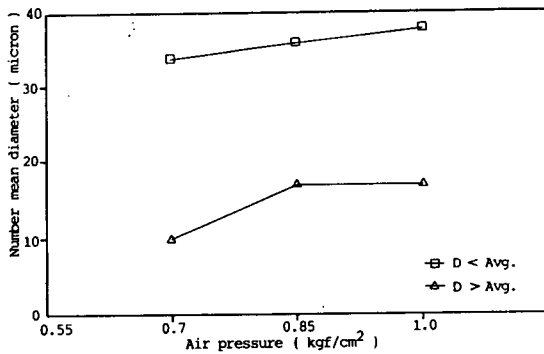


Fig. 22 Variation of coal particle size inside droplets on atomizing pressures (Type II)

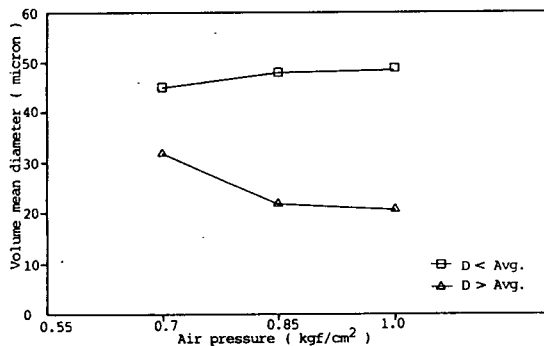


Fig. 23 Variation of coal particle size inside droplets on atomizing pressures (Type II)

우 작은 연료방울도 큰 연료방울에 비해 결코 무시할 수 없는 열량을 가지고 있어 연소시 이에 대한 고려를 해야할 것으로 믿어진다.

(4) 연료방울안의 미분탄 분포는 채집위치에 따라 미분탄의 평균직경의 크기 변화가 거의 없는데 비해 CWM 연료방울의 크기 변화는 분사축 중심에서 외곽으로 갈수록 감소하는 것을 고려할 때 대비되는 현상이다.

따라서 본 실험결과가 혼합연료를 연소할 때 중요한 실험적 데이터를 제공할 것으로 믿어지며 앞으로 채집거리와 미립화기의 형태에 따른 연료방울 분포에 대한 영향 연구가 필요하며 더 많은 실험적 데이터의 축적이 필요할 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 '89년도 일반기초연구비 지원 과제(에너지공학분야, 관리번호 891-0903-024-2)로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

- (1) Sato, K., Okiura, K., Shoji, K. and Akiyama, I., 1988, "Experimental Study on the Atomization Process of Slurry Fuels", ICLASS-88, pp. 73~80.
- (2) Gillberg, L., Larsson, N., Mathiesen, M., Nystron, O. and Persson, J., 1983, "Some of 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, FL, pp. 1229~1243.
- (3) Sato, K., Okiura, K., Akiyama, I. and Baba, A., 1988, "Effect of Coal Particle and Spray Droplet Sizes on Combustion Charecteristics of Coal-Water-Mixtures", Power Technology, Vol.54, pp. 127~135.
- (4) 김종호, 김성준, 1990, "CWM방울안의 미분탄 존재", 대한기계학회논문집, 제14권, 제5호, pp. 1211~1221.
- (5) Karasawa, T. and Kurabayashi, T., 1982, "Coalescence of Droplets and Failure of Droplets to Impact the Sampler in the Immersion Sampling Technique", ICLASS-82, pp. 285~291.
- (6) Aihara, T., Shimoyama, T., Hongoh, M. and Fujinawa, K., 1985, "Instrumentation and Error Sources for the Measurement of the Local Drop Size Distribution by and Immersion Sampling Cell", Proc. International Conference on Liquid Atomization and Spray System", Vol.15, pp. 1~11.

(1) Sato, K., Okiura, K., Shoji, K. and Akiyama, I.,