

Dynamic classifier 가 장착된 미분기 모델에서의 석탄 입자 분리 실험

이 건명* · 김 혁제* · 김 혁필* · 김 상현* · 하 종광*

An experimental study for the coal particle separator in the pulverizer model
with dynamic classifier

Gun-Myung Lee, Hyuk-Je Kim, Hyeuk-Pill Kim, Sang-Hyeun Kim and Jong-Kang Ha

Key Words : Pulverizer(미분기), Static classifier(고정분리장치), Dynamic classifier(회전분리장치), Fineness(미분도), Separator top(분리기 덮개), Capacity(수율), Standard Sieve(표준체망)

Abstract

Three-dimensional experimental analyses were conducted in the pulverizer simplified isothermal model. The experimental model was constructed on a 1/3.5 scale of 500MW pulverized coal boiler. The purpose of this study is to investigate the characteristics of coal particle separator and the pressure loss in the pulverizer models with dynamic classifier. Without regards a shape of separator top, the results showed that the increase of dynamic classifier rpm was induced in finer coal particle. But the capacity of total mass per minute was reduced. Also, the increase of dynamic classifier rpm had no effect on total pressure loss, but an increase of inlet velocity was induced that the rise of total pressure loss in the pulverizer models with dynamic classifier.

1. 서 론

보일러 본체 뿐만 아니라 석탄을 분쇄 시키고 저장/수송하는 Coal pulverizing system 은 석탄을 사용하는 화력 발전 시스템에서 중요한 구성 요소이다. 화력 발전소에서 미분탄을 수송 시키는 방법은 크게 두가지로 나누어진다. 첫번째 방법으로는 현재 90% 이상의 수요를 가지고 있는 Direct system 으로 이는 미분기에서 생성된 미분탄을 Coal pipe 를 거쳐 직접 버너를 통하여 Furnace 로 들여 보내는 방법이다. 반면 두번째 방법인 Indirect system 은 미분기에서 나온 미분탄을 일정한 저장 용기인 Storage bin 에 저장한 후 Coal ejector 를 거쳐 Coal pipe 내부로 유입시켜 석탄을 Furnace 로 보내주는 방법이다. 이러한 Direct 및 Indirect system 의 구성 요소 중에서도 미분기는 석탄을 분쇄하는 1차적인 장치로서, 다른 여러 장치들 보다 그 중요성이 크다. 아울러 Direct system

에 있어서 미분기는 국내 500MW 급 표준 발전소의 보일러 1호기 당 6대가 기본적으로 설치되어 있으며 실제 보일러가 MCR 및 100%NR(Nominal rating) 운전 조건에서는 5대가 가동된다.

현재까지 국내에 설치된 미분기는 대부분이 수직형 미분기로서 분쇄된 석탄을 분리하는 Classifier 의 vane 이 고정된 Static classifier 를 장착한 것이다. 반면 Dynamic classifier 는 석탄을 분리하는 Classifier 의 vane 이 회전하도록 되어 있기 때문에 Static classifier 에 비해서 석탄의 미분도(Fineness)를 향상시키는 장점이 있다. 특히 석탄의 미분도 향상은 보일러의 성능 향상에 직접적인 영향을 미치며 아울러 환경 문제와 관련하여 규제 물질인 NOx 를 저감 시키므로 그 중요성은 매우 크다. 일반적으로 Static classifier 의 경우, 75 μ m(200 mesh sieve) 이하의 미분도가 약 70~75%의 결과를 보이고 있지만 Dynamic classifier 의 경우는 제작사에 따라 약간의 차이가 있지만 일반적으로 75 μ m 이하의 미분도가 80% 이상의 결과가 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 Dynamic classifier 가 장착된 미분기 모델에서 입자 분리의 특성을 규명하고자 미분기의 형상 및

* 두산중공업 기술연구원 발전기술연구원
e-mail : gmlee2@doosanheavy.com

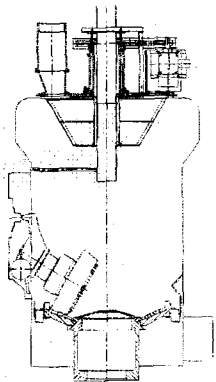
Classifier의 RPM 변화에 따른 압력 손실 분포와 더불어 미분도 분포 특성 결과를 나타내었다.

2. 실험 방법

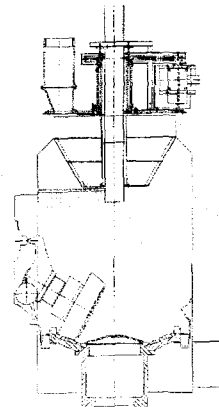
2.1 실험 모델

본 연구에서는 삼천포 #2 호기 500MW 급 화력 발전소에서 실제 구동중인 미분기를 기하학적 상사를 고려하여 1/3.5 scale 로 축소하여 제작하였다. 모델의 재질은 미분기 Body 부위는 투명 아크릴로, Dynamic classifier 부위와 Bowl 부위는 각각 Steel 및 석고로 제작하였다. Fig. 1은 본 실험 모델을 도시한 그림으로 separator top 형상에 따라 TypeA, B로 구분 하였다. TypeA 모델은 기존 미분기 형상에서 단지 Static classifier를 Dynamic classifier로 교체한 모델이다. 반면 TypeB 모델은 Dynamic classifier가 장착된 TypeA 모델에서 Separator top 부위의 형상이 변경된 모델로 실제 삼천포 #2 호기에 설치한 Dynamic classifier가 장착된 미분기 형상이다. Mill 설치를 위한 세계의 Opening cover를 포함한 미분기 본체 외부의 형상은 TypeA, B 모두 기존 Static classifier가 장착된 미분기 형상과 동일하다.

미분기 모델은 크게 Dynamic classifier, Roller 그리고 Bowl 및 Bowl에 부착된 Vane wheel로 구성되어 있다. 여기서 Dynamic classifier와 Vane wheel은 60개와 30개의 Vane으로 이루어져 있으며 Vane wheel은 $\pm 45^\circ$ 까지 각도 조절이 가능하도록 제작하였다. Bowl과 Dynamic classifier는 원형과 같은 기하학적 상사를 고려하여 각각 60RPM과 350RPM까지 조절이 가능하며, 시계방향(CW)뿐만 아니라 반시계 방향(CCW)으로도 회전이 가능하도록 제작하였다. Mill의 위치는 원형과 마찬가지로 Raw coal pipe를 중심으로 120° 간격으로 각각 Bowl에 놓여져 있다. 따라서 Mill은 Bowl이 회전 시 원형처럼 회전이 가능하도록 제작하였다.



(a) Type A

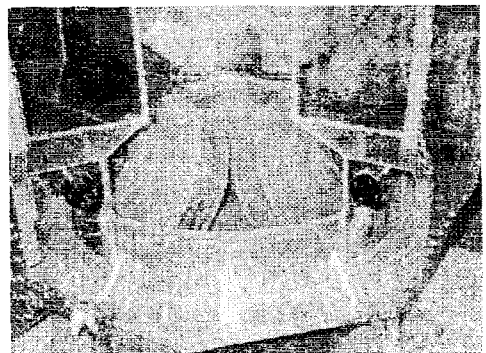


(b) Type B

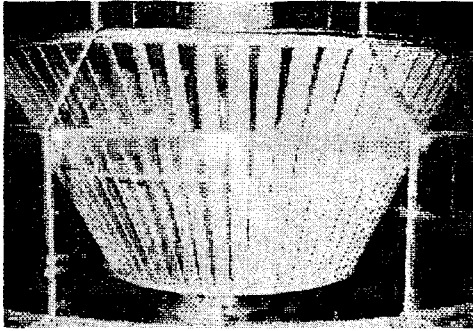
Fig. 1 Schematic diagram of the pulverizer test models

2.2 모델의 상사성

본 연구에서는 모델 제작 시 가능한 원형과 모델간의 3차원 축소비를 유지하였다. Photo 1에 나타난 바와 같이 Bowl 및 Dynamic classifier을 원형과 같이 회전이 가능하도록 제작하여 가능한 기하학적 상사성을 유지시켰다. 아울러 완전한 운동학적 상사를 위해서는 동일한 레이놀즈 수를 적용시켜야 하지만 경험적으로 10^4 이상의 레이놀즈 수 조건에서는 운동량 및 질량의 수송 과정은 난류 강도(Turbulent intensity)에 의해 지배되며, 분자 수송 과정은 무시될 수 있으며 또한 이 조건에서는 레이놀즈 수를 증가 시켜도 유동 패턴은 변화하지 않는다고 알려져 있다. 따라서 본 모델 실험에서는 레이놀즈 수가 10^5 이상 단위이기 때문에 레이놀즈 수의 영향을 무시하였다. 또한 Vane wheel 통로로부터 유입되는 유동의 선회 각도는 Bowl RPM을 조절하여 원형과 유사하게 상사 시킴과 동시에 미분기 내부의 공기와 석탄 입자의 질량비 역시 실제 원형과 유사하게 상사 하였다. Table 1은 실험 조건과 원형에서의 물성치 및 무차원 변수 값을 나타내었다.



(a) Bowl & mill



(b) Dynamic Classifier

Photo 1 View of 1/3.5 scaled model of bowl & dynamic classifier

Table 1 Experiment conditions and properties

Description	Model		Actual
	Type A	Type B	
Bowl RPM	55	55	35
유체 밀도(ρ_a)	1.21	1.21	0.564
점성 계수(μ)	1.806×10^{-5}	1.806×10^{-5}	3.256×10^{-5}
동점성 계수(ν)	1.493×10^{-5}	1.493×10^{-5}	5.773×10^{-5}
레이놀즈 수(Re)	1.07×10^5	1.07×10^5	7.6×10^5
Mass loading rate	0.14	0.14	0.5

2.3 실험 장치

미분기의 압력 손실 분포 특성을 살펴보기 위해 본 연구에서는 Digital manometer와 L-type Pitot tube를 사용하였다. Digital manometer의 측정 최대 속도 및 압력은 각각 56m/sec와 $\pm 199.9 \text{ mmH}_2\text{O}$ 로 측정 위치는 미분기 모델 전방 400mm의 입구 덕트 및 출구 Pipe 끝단에서 측정하였다. Table 2는 입출구 덕트에서의 압력 측정 수를 나타내었다.

Table 2 Specifications of the test sections and points

Test section	Points		Total point
	Horizontal	Vertical	
Inlet duct	24	14	38
Outlet duct	13	13	26

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 입자 분리 실험 장치의 개략도를 도시한 그림이다. 미분기 내부의 미분판 분리 장치에 의해 분리된 석탄 입자는 출구 파이프를 배출 된다. 아울러 출구 파이프에 설치된 Sampling probe 및 사이클론에 의해 입자가 포집된다. 특히 본 실험에서의 Sampling probe 및 사이클론은 실제 원형에서의 형상과 동일하게 제작하여 사용하였다. 또한 포집된 입자의 수율(Capacity)은 천칭(Balance)을 이용하여 측정하였으며 입자 Size 분포는 표준 체망(Standard Sieve)을 순차적으로 적층하여 Sieve shaker machine을 가동시켜 ASTM D197(87) 방법에 따라 측정하였다.

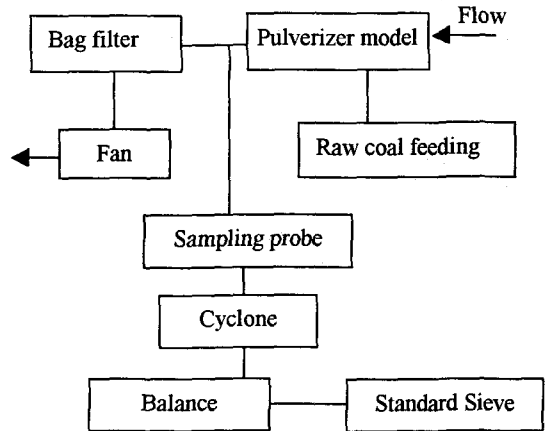


Fig. 2 Schematic diagram for the experiment of the pulverizer model

3. 실험 결과

Fig. 3 및 4은 출구 파이프 4EA에서의 유량 및 압력 분포 값을 도시한 그림이다. 각 출구 Pipe의 유량은 입구에서의 유량 값으로 무차원 시킨 값으로 미세한 차이는 있지만 Type A 및 B 동일 출구 Pipe 4EA로 거의 균등하게 분배되고 있음을 볼 수 있다. 아울러 압력 분포 값 역시 유량 분포 값과 마찬가지로 미세한 차이는 있지만 출구 파이프 4EA에 거의 유사함을 볼 수 있다.

Fig. 5은 입구 속도 값을 유지한 후 Dynamic classifier의 RPM을 변화 시켜 가며 압력 손실(ΔP)을 도시한 그림이다. 그림을 살펴보면 Type A 형상에서의 압력 손실 값이 Type B 형상에 비해 동일 조건에서 상대적으로 높게 분포되고 있음을 볼 수 있으며 Type A, B 동일 Classifier 회전수에 따라 미세한 증가를 보이고 있지만 미분기 전체 압력 손실에는 크게 영향을 미치지 않고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 6는 Dynamic classifier의 RPM을 고정 시키고 입구 속도를 증가 시켜 가며 압력 손실 값을 도시한 그림이다. 결과를 살펴보면 앞선 Fig. 5의 결과와 마찬가지로 Type A 형상에서의 압력 손실 값이 Type B 형상에 비해 동일 조건에서 상대적으로 높게 분포되고 있음을 볼 수 있지만 입구 속도가 증가할수록 Type A, B 동일 압력 손실 값이 점점 증가됨을 볼 수 있다.

Fig. 7은 Type A 및 B에서 Dynamic classifier RPM 변화에 따라 $75 \mu\text{m}$ 이하 입자 분포 및 수율을 도시한 그림이다. $75 \mu\text{m}$ 이하 입자 분포는 Type A 및 B 형상에서 미세한 차이는 있지만 거의 유사한 분포 값을 보이고 있으며 150RPM 이하의 회전 수에서는 RPM에 대한 영향을 많이 받

고 있지만 이상의 회전 수에서는 영향이 거의 없음을 볼 수 있다. 수율(Capacity) 분포는 Dynamic classifier RPM 이 증가함에 따라 Type A 및 B 형상에서 동일 점차 감소하는 경향을 보이며 Type A 및 B의 수율 편차 역시 RPM 증가에 따라 점점 작아지고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 8은 Type A 및 B에서 Dynamic classifier RPM 변화에 따른 미분도의 누적치를 도시한 그림이다. Type A 및 B 동일 RPM 변화에 따른 75 μ m 이상의 입자 누적치의 분포 값은 거의 유사함을 볼 수 있다. 아울러 150RPM 이상으로 회전할 경우에는 형상 변화에 관계없이 75 μ m 이하의 미분도 누적치가 90% 이상으로 유사한 분포 값을 보이고 있다.

Fig. 9는 Size 별 입자 배출 분포를 도시한 그림으로 Type A 및 B 형상에서 동일 Dynamic classifier RPM 이 증가함에 따라 큰 입자의 배출량이 점점 작아지고 있음을 볼 수 있다. 특히 두 형상 동일 150RPM 이상에서는 150 μ m 이상의 입자 배출 분포량이 10% 미만임을 볼 수 있다.

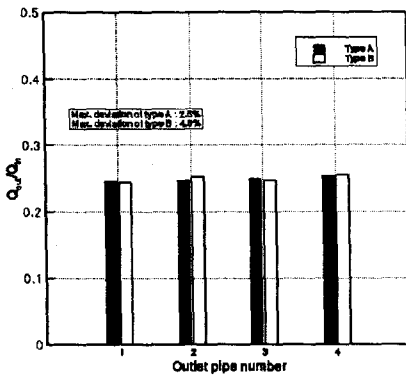


Fig. 3 Mean air flow rate of outlet pipe 4EA

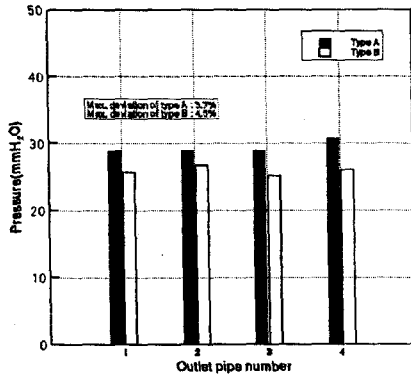


Fig. 4 Total pressure of outlet pipe 4EA

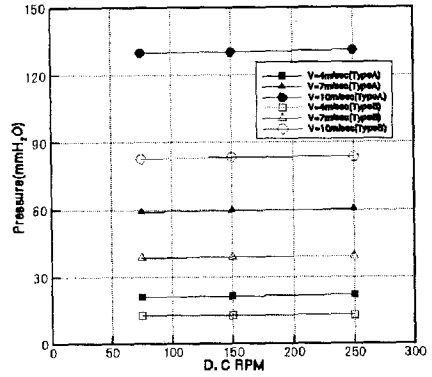


Fig. 5 Pressure loss with various rpm of dynamic classifier

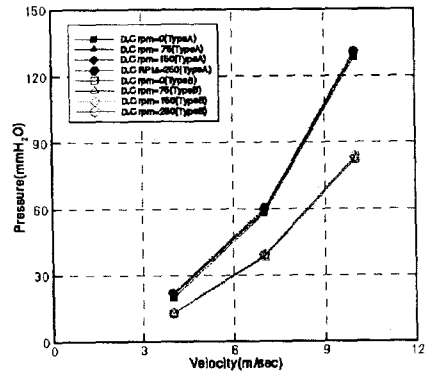


Fig. 6 Pressure loss with various inlet velocity of dynamic classifier

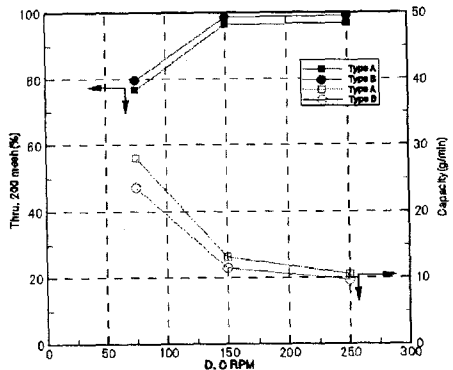


Fig. 7 Distributions of the coal fineness for the through of 200 mesh & the capacity

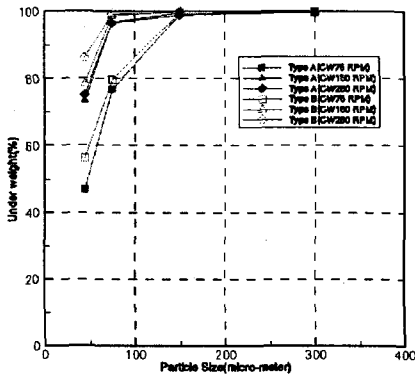
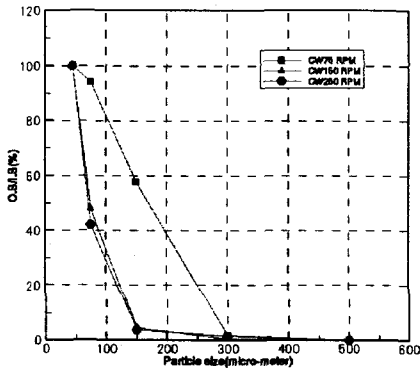
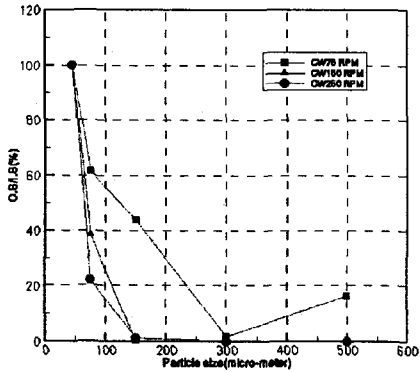


Fig. 8 Distributions of the coal fineness for the under weight(%)



(a) Type A



(b) Type B

Fig. 9 Distributions of the coal fineness size discharge for the various rpm of dynamic classifier

4. 결론

Dynamic classifier가 장착된 미분기 type A 및 B 형상에 대한 실험 결과를 살펴보면 다음과 같다. Dynamic classifier RPM 변화에 따른 전압 손실은 Type A와 B에서 거의 영향을 받지 않는 것으로

보인다. 반면 입구 유속을 증가 시키면 전압 손실이 점점 증가한다. 또한 Type A에 비해 Type B의 전압 손실은 상대적으로 낮게 분포되었다. 아울러 미분기 출구 Pipe 4EA의 유량 및 압력 분포는 Type A, B 동일 거의 균등하게 분배되고 있다.

Dynamic classifier의 RPM 증가는 미분기의 형상과 관계없이 미분도는 증가시키고 수율은 감소시키고 동시에 상대적으로 큰 입자의 배출량을 감소시키고는 있지만 일정 RPM 이상이 되면 미분도 및 수율에 거의 영향이 없음을 볼 수 있다. 특히 미분기 형상 변경에 따른 미분도는 미세한 차이는 있지만 거의 유사한 분포 값을 보이고 있으며 수율 분포 값 역시 RPM이 증가함에 따라 점점 유사한 분포 값을 나타내고 있다.

5. 참고문헌

- (1) Ramana Murty, G. V., Naga Srinivasa, P. R., "Experimental flow investigations in a coal pulverizer model" Joint Power Generation Conference Volume 2 ASME 1996.
- (2) Ramana Murty, G. V., Naga Srinivasa, P. R., "Air flow studies in a coal pulverizer" proceedings of the 22nd national conference on fluid mechanics and fluid power, 13-15 december 1995, IIT Madras, pp 405-410.
- (3) Chandraker A.L., Panwalkar A. S. and Bhasker, C., 1995, "Air flow studies in bowl mill housing" proceedings of the 22nd national conference on fluid mechanics and fluid power, 13-15 december 1995, IIT Madras, pp 419-424.
- (4) A.C. Benim, B. Epple, P. Stegelitz., "Modeling the two-phase flow in coal pulverizers" 4th International conference on technologies and combustion for a clean environment Lisbon(Portugal), July 1997.
- (5) M. Benz, H. Herold, B. Ulfik., "Performance of a fluidized bed jet mill as a function of operating parameters" Int. J. Miner. Process. 44-45, 1996, 507-519.
- (6) Joseph G. Singer "Standard handbook of powerplant engineering".
- (7) C. T. Crowe "Numerical models for dilute gas-particle flows" Journal of fluids engineering, Vol. 104, September, 1982, pp 297-303.