

화력발전소의 미분기 미분도 조정장치 개조를 통한 보일러 효율의 평가에 관한 연구

권영수* · 서정세**

A Study on the Boiler Efficiency through the pulverizer classifier improvement of New Fossil Power Plant

Y. S. Kweon and J.-S. Suh

Key Words : Boiler(보일러), Boiler efficiency(보일러 효율), Pulverizer(미분기), Classifier(조정장치), Finess(미분도), Grinding capability(분쇄능력)

Abstract

The main reason for applying pulverizer classifier- rotary type in fossil power plant is boiler high efficiency and energy saving movement in the government. This study intends to analyze the boiler efficiency through the pulverizer classifier-rotary type improvement in thermal power plant and makes its comparison to that of the used fixed type.

1. 서론

삼천포화력 발전소는 역청탄을 전소하도록 설계되었으며, 운전초기에는 약 7종의 석탄이 유입되어 사용되었으나, 최근에는 석탄화력 설비의 증설로 인한 연료수급 안정과 국제 석탄시장의 가격에 절실히 대응하기 위해 수입탄종이 다양해져 50여 종으로 늘어 났으며, 이는 앞으로 더욱 증가될 추세이다.

또한, 발전소 주변지역 주민들의 환경에 대한 요구사항이 증폭되고, 환경오염 물질 배출기준이 강화되었을 뿐 만이 아니라, 발전소내 용지부족으로 탈황설비가 설치되지 않아 석탄의 황(Sulphur)함량이 낮은 저 유황탄의 사용이 불가피하게 되었다. 삼천포화력 발전소는 '93년도에 저유황탄인 인네시아산 Kideo(일명 Pasir)탄의 혼소시험을 실시한 후 혼합 연소중에 있으나, 아역청탄은 휘발분이 약 40%, 수분 약 20% 정도로 보일러 및 미분기설계시 적용된 기준(휘발분:

28%, 수분:10%)과 크게 달라 미분기 분쇄능력이 감소되고 미분탄의 입도가 저하되어, 연소시 미연탄소분이 증가하였고 이로 인하여 보일러 효율 감소현상이 나타났다.

이를 개선하기 위해 미분기 분쇄 효율을 향상시키고자 미분기 고정형 Classifier를 최근에 개발된 회전형 Classifier로 개조하였다.

2. 설비 현황 및 저유황탄의 문제점

2.1 미분기 제원 및 원리

미분기는 Fig. 1과 같이 급탄기로부터 Bowl의 중앙으로 공급된 석탄은 회전되는 Bowl의 원심력에 의해 가장자리로 밀려나고 Bowl Segment와 Grinding Roll의 사이를 지나면서 분쇄된다.

이 때 Bowl 아래에서 위로 공급되는 고온의 1차 공기에 의하여 석탄은 건조되어 이송되며, 이 미분탄 중 덜 분쇄된 무거운 입자의 탄은 Separator에 부딪혀서 바로 아래로 떨어져 재분쇄되고 가벼운 입자는 Inner Cone 외벽을 타고 선회하면서 Deflector Vane을 통과하게 되는데,

이 때 Vane의 개도에 따라 미분탄의 미분도(Fineness)가 결정되어지며 Table 1은 삼천포 제 1.2호기 미분기 제원을 나타낸다.

*정회원, 한국남동발전(주)

**정회원, 경상대학교 수송기계공학부

jssuh@nongae.gsnu.ac.kr

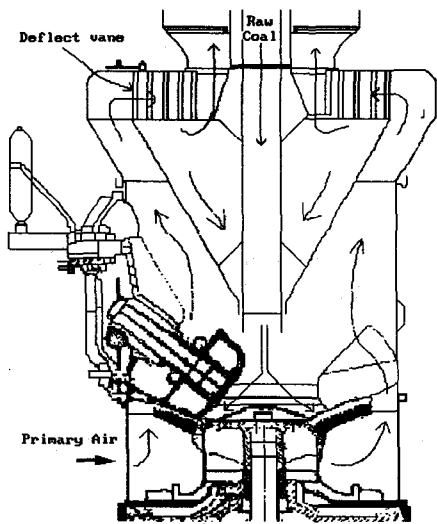


Fig.1 Pulverizer section

Table 1 Pulverizer specification of unit 1,2

| 구 분 | 단 위 | 제 원 | 비 고 |
|------------------------------|---------|---------|----------|
| 형 식 | - | RP 923 | - |
| 분쇄능력 | Ton/hr | 48.5 | - |
| Classifier (Deflect Vane) | 형식 | - | 고정형 |
| | Blade 수 | 개/대 | 36 |
| | 위치 | - | 미분기내 상단부 |
| | 조작 방법 | - | 수 동 |
| 설치 수량 | 대/호기 | 6 | 예비기 : 1대 |
| 설치 년도 | - | '83 | - |
| 제 작 사 | - | CE (미국) | - |

저유황탄(아역청탄)의 성상은 단독 연소시에는 Table 2 에서와 같이 보일러 연소가능 설계범위에 초과 또는 미달된다.

- 총수분 : 약 7~15%정도 과다
- 휘발분 : 약 8~15%정도 과다
- 발열량 : 약 200~820(kcal/kg)정도 낮음.
- 회분 : 약 12~14%정도 낮음.

Table 2 Configuration design and Pasir coal

| 항 목 | 단 위 | 설계 탄 | 저유황탄 탄종 | | | |
|-----------|----------|-------|---------|--------|--------|--------------|
| | | | Kide-co | Ada-ro | Buk-it | Blai-ratho 1 |
| 총수분 (인수식) | | 10 | 20.2 | 24.9 | 18.8 | 18.2 |
| 휘발분 | | 28 | 38.0 | 42.1 | 44.8 | 29.3 |
| 고정탄소 | % (wt) | 52 | 39.9 | 40.5 | 42.3 | 57.9 |
| 회 분 | | 15 | 1.96 | 1.2 | 3.2 | 7.2 |
| 유황분 | | 0.7 | 0.10 | 0.10 | 0.22 | 0.25 |
| 발열량 (인수식) | kcal /kg | 6,100 | 5,464 | 5,216 | 5,76 | 5,846 |
| HGI | - | 48 | 52 | 50 | 45 | 60 |
| 회용점 | ℃ | 1,250 | 1,270 | 1,228 | 1,260 | 1,544 |

2.2 저유황 연소상 문제

설계탄보다 수분함량이 2배 가까이 높은 저 유 황탄을 미분화 가능온도까지 상승시키기 위해서는 Table 3과 같이 미분기 입구온도를 증가시켜야 하는데, 저유황탄은 착화온도가 250℃ 정도로 매우 낮아 미분기 내부에서 화재가 발생하게 된다. 연소시험결과 석탄중의 수분함량이 16%를 초과하면 미분기입구 공기온도가 착화온도인 250℃를 초과하게 되었다. 또한, 수분함량 16% 에서 미분기 출구온도를 제어하기 위한 Hot Air 덤퍼의 개도가 초과하게 개방(75%)되어 정상적 제어 범위(50~70%)를 벗어났다. 이의 해결을 위하여 미분기 출구온도 유지를 위하여 혼탄후의 수분함량을 16% 이하로 제한하고 있으며, 이를 벗어날 경우 미분기 출구온도 설정치를 하향 조정하여 입구공기온도를 낮추어 최소운전 가능치 인 60℃ 이상을 유지하고 있다.

Table3 Pulverizer inlet air temperature change related to moisture in coal

| 수분 함량 | 12 % | 13 % | 14 % | 15 % | 16 % | 17 % | 18 % |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 미분기 입구 공기온도(℃) | 222 | 228 | 235 | 243 | 251 | 261 | 272 |
| 미분기 출구 공기온도(℃) | 80 | 75 | 70 | 70 | 65 | 65 | 65 |
| Hot Air 덤퍼 개도(%) | 65 | 65 | 67 | 70 | 75 | 81 | 89 |

미분기 출구온도를 낮추어 운전함으로써 화재 위험은 떨어지나 미분탄의 건조저하로 미분도가 기존탄보다 낮아 미연분 발생의 원인이 된다. 즉, 미분도 200mesh 통과분에 대해 기존탄은 75 ~ 80%이며, 저유황탄은 최대 70%이다.

또한, 저유황탄 사용시 수분함량 증가 때문에 미분기 분쇄능력이 약 10~14%까지 저하되고 미분도 또한 감소되었다. Kideco 탄, Adaro 탄 등 총수분이 20%를 초과하는 탄의 혼소시 총수분의 가중치가 16% 이상 일 때는 미분기 분쇄능력의 급격한 저하 때문에 과부하로 인한 미분기 동력소비가 증가되었다. 미분기 분쇄능력 저하때문에 내부에서 분쇄되지 않은 석탄이 Under Bowl에 축적, 가열되어 화재 발생에 의한 폭발 위험성도 있다. 따라서, 저장조의 화재예방에 더욱 세심한 주의가 필요했으며, 이를 위해 예비 미분기를 주기적으로 운전하여 장기 저탄에 따른 축열을 방지하여야 한다. 삼천포화력의 석탄 연소는 환경측면과 연소측면을 고려하여 혼합 연소함을 원칙으로 관리하고 있다. 기존탄 상호간의 연소시는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 평균 미연탄소분이 4~5% 범위에 있지만 저 유황탄인 KI-DECO탄과 혼소시는 6~10% 범위로 기존탄에 비하여 약 1~5% 정도 높게 발생되고 있는 실정이다

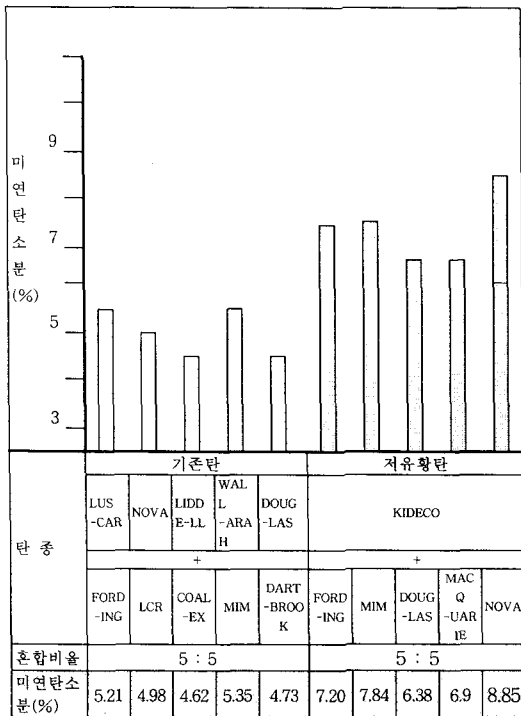


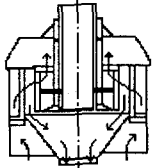
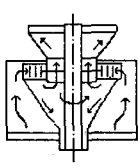
Fig. 2 Unburned carbon quantity in burning mixed coal with low sulphur coal

3. 회전형 미분도 조정장치 특성 및 개조 후 성능시험

3.1 회전형 Classifier 특성

회전형은 90년대 초반부터 실용화된 최신 기술이다. 미분탄 입자와 공기의 원심 분리 능력을 극대화하도록 설계된 회전형 Classifier는 Fine Particle의 Recirculation을 억제하여 과분쇄 되지 않도록 하여 미분기 용량과 미분도를 향상시킬 수 있다. 회전형 Classifier조정장치의 특성은 Table 4에 나타난 바와 같고 Fig.3-6은 Classifier의 실제 사진이다.

Table 4 Pulverizer classifier type comparison

| 항 목 | 신 형 | 기 준 |
|-----------|--|--|
| 동작 구분 | 회전형 | 고정형 |
| 미분도 조정 방법 | Classifier의 회전속도로 미분도 조정 | 고정 Vane의 개도를 조정하여 미분도 조정 |
| 장/단점 | 공급 석탄량에 따라 자동적으로 Classifier의 속도가 변하여 일정한 미분도 유지되고, 원심 분리능력이 향상되어 높은 입도의 탄이 낮은 입도탄과 섞여 하부 Grinding Roll로 되돌아오는 것을 줄일 수 있어 미분기 분쇄능력 증가 | 원심분리능력이 저조하여 높은 입도의 탄이 낮은 입도탄에 섞여 Grinding Roll로 되돌아오는 양이 많아(특히, 수분이 많은 탄) 분쇄능력 감소와 미분탄 입도 저하 초래 |
| 구 조 |  |  |

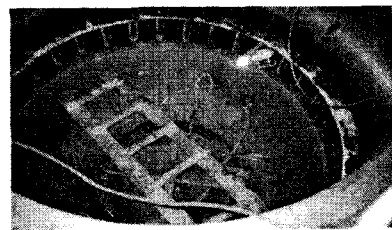


Fig.3 Fixed type classifier

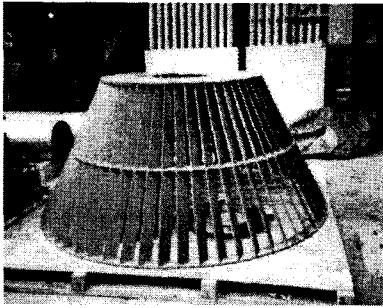


Fig.4 Rotating type classifier

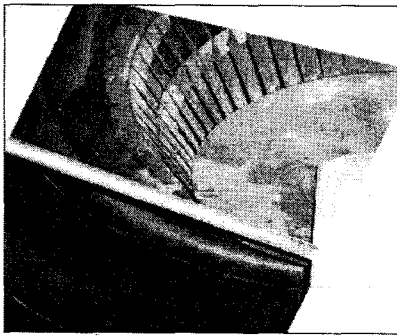


Fig.5 Installed rotating classifier



Fig.6 Rotating classifier motor

3.2 회전형 Classifier 개조

미분도 조정장치의 적용사례에 대한 자료를 수집한 성능과 효과를 수집한 결과는 Table. 5에 나타난 바 같고 삼천포화력 미분기 제작사와 같은 회사에서 개발한 조정장치로 개조하였다.

Table 5 Rotating classifier type comparison

| 항 목 | ABB-CE사 | MITSUBISHI사 | HITACHI사 | |
|-------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------|
| 형 식 | 회전형 | 회전형 | 회전형 | |
| 개조 효과 | 분쇄력 (%) | 15~20 향상 | 20 증가 | 20 증가 |
| | 미분도 #200(%) | 10~15 향상 | 10 향상 | 10 향상 |
| 설치 실적 | BOWENTPP (미) 제 4호기의 4개 발전소 | LAMMATPP (홍콩) 제6호기 외 2개 발전소 | MATSURA TPP (일) 제1호기의 1개 발전소 | |

3.3 회전형 Classifier 개조 전/후 운전시험 결과

회전형 Classifier 개조 전.후 미분도 변화는 Table 6와 Fig. 7과 같이 나타난다.

Table 6 Coal fineness change before/after improvement

| 구 분 | 미 분 도 (%) | | | |
|----------|-----------|-------|--------|--------|
| | 개조전 | 개 조 후 | | |
| | | 85rpm | 100rpm | 125rpm |
| 50 mesh | 99.6 | 99.8 | 100 | 100 |
| 100 mesh | 89.9 | 94.0 | 96.1 | 98.8 |
| 200 mesh | 71.5 | 72.2 | 79.5 | 85.9 |
| 325 mesh | 45.9 | 46.4 | 42.9 | 56.3 |

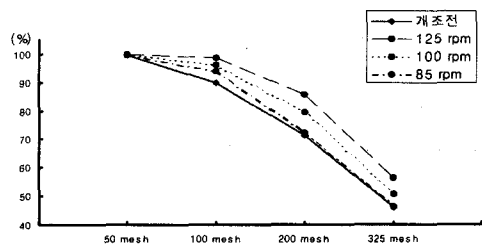


Fig.7 Coal fineness change rate

Table 7, 8과 Table 9는 제1,2호기의 개조 전.후 미분기 성능시험 결과 및 보일러 효율 변화를 나타낸 것이다.

Table 7 Unit 1 Performance test result

| 구분 | 단위 | 개조전 | 개조후 | 증·감 | 증감율 (%) |
|---------|---------------|------|------|--------|---------|
| 미분기 (A) | 미분도 (%) | 69.4 | 78.7 | + 9.3 | + 13.4 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 42.6 | 52.7 | + 10.1 | + 23.7 |
| 미분기 (B) | 미분도 (%) | 70.6 | 79.8 | + 9.2 | + 13.0 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 41.4 | 53.6 | + 12.2 | + 29.5 |
| 미분기 (C) | 미분도 (%) | 71.6 | 84.6 | + 13.0 | + 18.2 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 44.4 | 53.6 | + 9.2 | + 20.7 |
| 미분기 (D) | 미분도 (%) | 74.2 | 86.7 | + 12.5 | + 16.8 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 43.2 | 49.0 | + 5.8 | + 13.4 |
| 미분기 (E) | 미분도 (%) | 76.0 | 88.9 | + 12.9 | + 17.0 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 40.2 | 51.9 | + 11.7 | + 29.1 |
| 미분기 (F) | 미분도 (%) | 73.6 | 90.9 | + 17.3 | + 23.5 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 40.8 | 44.8 | + 4.0 | + 9.8 |

Table 8 Unit 2 Performance test result

| 구분 | 단위 | 개조 전 | 개조 후 | 증감 | 증감율 (%) |
|---------|---------------|------|------|--------|---------|
| 미분기 (A) | 미분도 (%) | 71.5 | 79.5 | + 8.0 | + 11.2 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 46.4 | 53.5 | + 7.1 | + 15.3 |
| 미분기 (B) | 미분도 (%) | 74.4 | 86.1 | + 11.7 | + 15.7 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 42.0 | 49.0 | + 7.0 | + 16.7 |
| 미분기 (C) | 미분도 (%) | 79.0 | 93.8 | + 14.8 | + 18.7 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 34.0 | 48.0 | + 14.0 | + 41.2 |
| 미분기 (D) | 미분도 (%) | 78.4 | 92.2 | + 13.8 | + 17.6 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 34.0 | 53.0 | + 19.0 | + 55.9 |
| 미분기 (E) | 미분도 (%) | 72.4 | 94.6 | + 22.2 | + 30.7 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 34.0 | 53.0 | + 19.0 | + 55.9 |
| 미분기 (F) | 미분도 (%) | 74.8 | 89.2 | + 14.4 | + 19.3 |
| | 분쇄능력 (Ton/hr) | 37.0 | 43.0 | + 6.0 | + 16.2 |

Table 9 Unburned carbon and boiler efficiency improvement

| 항목 | 개조 전 | 개조 후 | 증 감 | |
|---------|--------------|------|--------|--------|
| 제 1 호 기 | 미연탄소분 (%) | 8.45 | 2.36 | 6.09 |
| | 보일러효율 향상 (%) | - | +0.746 | +0.746 |
| 제 2 호 기 | 미연탄소분 (%) | 7.89 | 2.91 | 4.98 |
| | 보일러효율 향상 (%) | - | +0.603 | +0.603 |

4. 결론

고정형 Classifier을 회전형으로 교체함에 따라 미연탄소분 저감과 보일러효율 상승에 따른 절감 금액은 발전소 1기당 연간 8억원 정도이며 상기의 직접적인 경비절감 외에도 미분도 향상에 의한 저과잉공기 운전으로 환경 규제물질인 NOx (질소산화물) 발생량 저감, 석탄회중 미연탄소분 감소에 의한 회 이용율 증가, 연소가능 석탄의 제한(질소분)범위 확대도 도입 석탄종류의 다양화 및 수급안정 도모등 간접적인 효과도 있었다.

후기

본 연구는 한국남동발전(주) 및 항공기부품기술 연구센터의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 한전삼천포화력, 회전형 Classifier 개선 보고서.
- (2) 한전전력연구원, 1997, 화력발전소 성능시험 지침, pp. 157~231.
- (3) 한중, 1999, 미분기 Dynamic Classifier Manual