

USC 보일러에서 혼합연료별 적정과잉공기비

박진철*, 이재현*, 문승재*[†]
한국동서발전(주), *한양대학교 기계공학과

Adequate Excessive Air Ratio for The Various Blended Coal at a USC Boiler

Jin-Chul Park, Jae-Heon Lee*, Seung-Jae Moon*[†]

KOREA EAST-WEST POWER CO.,LTD, Seoul 135-791, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

ABSTRACT : Given the fact that the entire bituminous coal used for a boiler is imported, the supply of coal is often affected by the rise of international coal price. Moreover, coal suppliers have been diversified due to the competition among power generation companies for reducing costs and inexpensive sub-bituminous coal is used. As a result, boilers combustion conditions have been deviated from the initial boiler design. This requires the selection of adequate excessive air ratio for different combustion conditions to enhance the efficiency of boiler operation. The boiler efficiency has been identified through an examination on the change of excessive air ratio by mixed fuel in unit 8 of Dangjin power plant complex. In addition, an excessive air ratio was calculated based on the examination result.

According to the study result, the adequate excessive air ratio was 13% when Macquarie and Powder river were mixed at a ratio of 5:5 and when Sonoma and Megaprima persada were mixed at a ratio of 5:5. When BHP Billiton and Powder river were mixed at a ratio of 4:6 and Centennial and Batubara were mixed at a ratio of 3:7, the adequate excessive air ratio was 11%.

Key words : USC, excessive air ratio(과잉공기비), boiler efficiency(보일러 효율)

기 호 설 명

C_{pg} : 건배기가스의 평균정압비열 [J/kg · °C]
 F_{C_s} : 연료 1kg 중 실제연소된 탄소량 [kg/kg]
 F_{CO_2} : 건배기가스 중 이산화탄소 체적백분율 [%]
 F_H : 연료 1 kg 중 수소함량 [kg/kg]
 F_{N_2} : 건배기가스 중 질소 체적백분율 [%]
 F_{O_2} : 건배기가스 중 산소 체적 백분율 [%]
 F_S : 건배기가스 중 황 체적백분율 [%]
 F_{uc} : 연료 1 kg당 미연탄소량 [kg/kg]
 H_b : 부가열량 [J/kg]
 H_e : 공기에열기 출구 배기가스의 수증기엔탈피 [J/kg]

H_f : 연소열량 [J/kg]
 H_{rv} : 기준공기온도에서의 포화증기 엔탈피 [J/kg]
 H_{rw} : 기준공기온도에서의 포화수 엔탈피 [J/kg]
 L_g : 건배기가스 손실 [J/kg]
 L_h : 수소연소 손실 [J/kg]
 L_{ma} : 공기 중 수분 손실 [J/kg]
 L_{mf} : 연료 중 수분 손실 [J/kg]
 L_r : 방열 손실 [J/kg]
 L_i : 보일러 열손실 [J/kg]
 L_{uc} : 미연탄소 손실 [J/kg]
 L_{um} : 미측정 손실 [J/kg]
 M_f : 연료 1 kg 중 수분 함량 [kg/kg]
 Q_{in} : 보일러 입열 [kcal/h]
 Q_{out} : 보일러 출열 [kcal/h]
 T_{go} : 공기에열기 출구가스 온도 [°C]

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2220-0450; fax: +82-2-2298-4634

E-mail address: smoon@hanyang.ac.kr

- T_{ra} : 기준공기온도 [°C]
- W_{ao} : 연료 1 kg당 공기에열기 출구 건공기량 [kg/kg]
- W_{fe} : 연료 소비량 [kg/h]
- W_{go} : 연료 1 kg당 공기에열기 출구 건배기가스량 [kg/kg]
- W_{ma} : 연소용 건공기 1 kg 중 수분함량 [kg/kg]

그리스 문자

η : 효율

1. 서 론

제5차 전력수급현황에 따르면 국내의 전력수요는 1980년에 5,457 MW에서 2009년 66,797 MW로 꾸준히 증가해왔다. 이에 따라 발전 설비용량도 증가하여 2010년 기준으로 발전 설비용량은 76,136 MW이고 이 중 석탄화력은 24,205 MW의 설비용량을 가지고 있다. 또한 2024년까지 31,445 MW로 석탄화력 설비용량은 증가할 예정이다.^[1]

기술적인 측면에서도 석탄화력에서 터빈을 운전하기 위한 증기생산 역할을 하는 보일러의 설계기술이 성장하여 국내에는 총 36기의 초임계압보일러가 운영되고 있다. 이 중 2005년 당진화력 5호기를 시작으로 주증기 및 재열증기 온도를 566°C 및 596°C까

지 상승시킨 USC 보일러가 건설되어 14기가 운영되고 있다.

연료측면에서 보았을 때 국내의 석탄화력은 크게 무연탄화력과 유연탄화력으로 나눌 수 있는데 무연탄화력은 발전원가가 높으며 연료의 발열량이 낮고 연소성이 좋지 않으므로 화력발전의 대부분은 유연탄화력이 차지하고 있다. 하지만 보일러 연료인 유연탄을 전량 수입하는 운영 특성상 국제석탄가격 상승^[2] 및 2001년 전력산업 구조개편으로 인한 발전사간의 경쟁이 심화되었다. 이로 인해 원가절감을 위한 석탄 공급원의 다변화, 저가 아역청탄 공급 등으로 보일러 설계시와는 다른 연소조건을 가지게 되었고 달라진 연소 환경에 따라 적정 공기비를 찾아 효율향상을 이루어내는 것이 필요하게 되어 본 연구에서는 당진화력 8호기를 대상으로 혼합연료별 공기량 변화시험을 통한 USC 보일러의 효율을 구하여 적정 공기비를 제시하고자 한다.

2. 시험방법

2.1 시험대상설비 구성

시험대상설비는 2007년 12월 31일 상업운전을 시작한 당진화력 8호기를 대상으로 하였다. 당진화력 8호기는 재열재생 사이클로서 정격출력 500,000 kW이다. 보일러 형식은 관류형, 초초임계압, 평형통풍방식 및 접선연소방식이며 2 패스형식

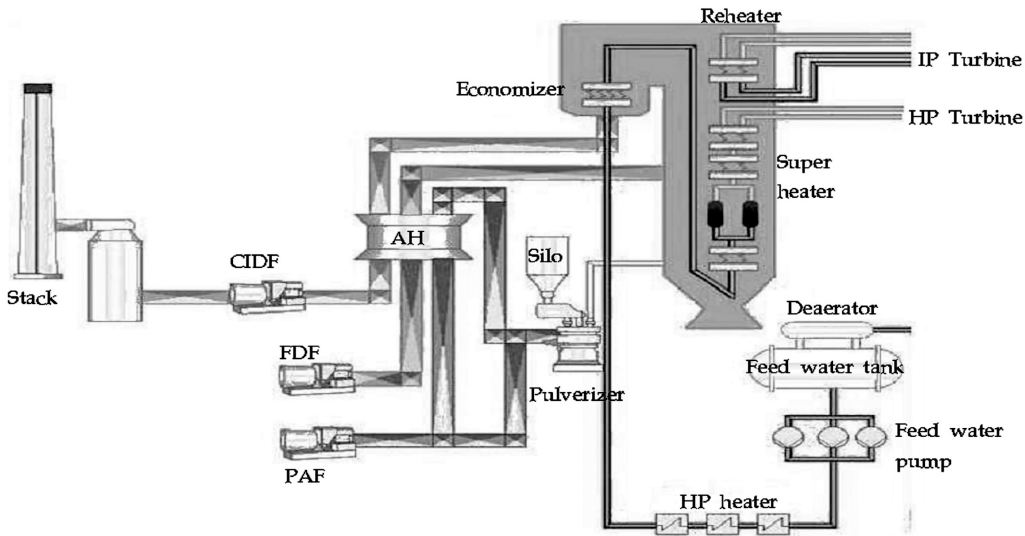


Fig.1 Schematic diagram of the test boiler

의 옥내형 보일러로 제작되었다. 기저부하 운전용 유연탄 화력 발전소로서 빈번하고 신속한 기동정지 및 높은 부하변동율, 안정된 저부하운전 및 기동손실의 최소화, 높은 열효율, 수명유지를 위한 열응력 감소 및 고도의 제어기술 등이 적용되어 있다.

주요 규격으로는 최대 연속증발량 1,605 ton/h이고 주증기 조건은 과열기 출구기준으로 255 kgf/cm², 569℃, 재열증기 조건은 재열기 출구기준으로 55.09 kgf/cm², 596℃이며 보일러 급수온도는 295℃, 대기온도 20℃로 설계되었다.^[3]

Fig. 1은 시험대상 보일러의 개략도이다. 보일러의 운전을 위하여 필요한 공기는 2대의 압입통풍기(FDF; Forced Draft Fan)와 2대의 1차 공기 통풍기(PAF; Primary Air Fan)에 의해 공급되며, 2대의 통합 유인통풍기(CIDF; Combined Induced Draft Fan)로 처리되는 평형통풍방식이다. 연소용 공기는 2대의 압입통풍기로 공급되며 이 공기는 병렬로 설치된 2대의 공기예열기에 의하여 예열되어 노(furnace)내에 공급되어진다. 1차 공기 통풍기는 미분탄의 운반과 건조에 사용된다. 미분탄을 미분기(pulverizer)내에서 적절히 건조시키기 위해서는 더운 공기와 찬 공기가 필요하기 때문에 1차 공기 송풍기에서 나오는 공기의 일부는 공기예열기(AH; Air pre-Heater)를 통과하여 더운 공기가 되어 찬 공기와 함께 미분탄의 건조 및 이송의 역할을 한다.

보일러에서 증기를 생산하기 위한 급수는 탈기기(deaerator)에서 가열되어 급수에 포함된 용존산소를 분리시켜 급수탱크에 저장된다. 이 급수는 급수펌프에 의해 고압급수가열기를 통과하면서 가열되고 보일러의 절탄기로 공급되어 배기가스의 여열로 다시 가열된다. 이후 가열기를 통과해 고압터빈(HP

turbine), 재열기 그리고 중압터빈(IP turbine) 및 저압터빈(LP turbine)을 거치게 된다.

2.2 시험 연료

본 시험은 아역청탄 혼합율을 50%이상 적용하여 발열량 기준으로 연료를 네 번 변경하였으며 시험 연료는 수입 역청탄 및 아역청탄의 혼합연료를 사용하였다. Table 1은 시험에 사용된 연료의 성분 분석치이다. 성분분석은 연료가 미분기에 공급되어 분쇄되기 전 연료저장고에서 채취하여 성분분석을 실시하였고 연료의 분석단위는 연료 1 kg중 항목별 중량 백분율로 나타낸다.

시험대상 연료는 연료의 발열량에 영향을 미치는 탄소성분을 제외한 성분들에 대해서는 비슷한 조건을 갖도록 혼합하였다. 1차 시험(Test 1)은 호주산 Macquarie탄과 미국산 Powder river탄의 5:5 혼합연료로서 발열량 25.06 MJ/kg, 2차 시험(Test 2)은 호주산 Sonoma탄과 인도네시아산 Megaprima persada탄의 5:5 혼합연료로서 발열량 24.54 MJ/kg, 3차 시험(Test 3)은 호주산 BHP Billiton탄과 미국산 Powder river탄의 4:6 혼합연료로서 발열량 23.73 MJ/kg 그리고 4차 시험(Test 4)은 호주산 Centennial탄 인도네시아산 Batubara탄의 3:7 혼합연료로서 발열량 22.69 MJ/kg의 연료를 사용하였다.

2.2 시험 방법

각 시험은 보일러의 안정상태 유지를 위해 각 연료가 보일러 급탄 후 2시간 이후 진행되었으며 발전단 기준 520 MW 출력, 주파수 60 Hz를 유지하며 과잉공기비는 설계값인 15%에서 11%까지 2%p씩 줄

Table 1. Characteristics of coal in this work

Description	Unit	Design coal[12]	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Carbon	wt%	62.15	66.97	61.89	58.08	57.69
Hydrogen	wt%	3.87	4.58	4.01	3.82	3.00
Oxygen	wt%	7.81	3.38	11.18	10.94	11.59
Nitrogen	wt%	1.29	1.11	1.25	0.92	1.49
Sulphur	wt%	0.68	0.48	0.70	0.61	0.94
Ash	wt%	14.21	6.68	7.84	7.50	7.61
Total moisture	wt%	10.00	16.81	13.12	18.13	17.69
Higher heating value	MJ/kg	25.51	25.06	24.54	23.75	22.69

여가며 각각의 케이스별로 2시간씩 데이터 취득 운전과 안정상태를 반복하였다. 또한 연료인 석탄을 공급하는 미분기 운전을 안정적으로 하기 위해 미분기의 운전은 연료이송용 공기가 공급되는 bowl 하부와 연료가 분쇄되는 bowl 상부의 차압을 300 ~ 350 mmH₂O로 유지하였고 미분기 입구온도는 연료의 착화온도 대비 -5℃ 이내를 유지하였다. 또한 주증기 및 재열증기 온도 유지를 위해 연소용 공기는 -20°에서 30°까지 분사노즐의 각도조정이 가능하도록 하였다.

보일러 열효율 측정을 위한 계측점은 AMSE PTC 4.1에 근거하여 위치가 선정되었으며 이러한 계측점은 요약하면 다음과 같고 계측지점을 나열번호와 함께 Fig. 2에 나타내었다.^[4]

- ① 대기압
- ② 건습구온도
- ③ 대기온도
- ④ 공기에열기 입구 공기온도
- ⑤ 공기에열기 출구 공기온도
- ⑥ 공기에열기 입구 가스온도
- ⑦ 공기에열기 출구 가스온도
- ⑧ 보일러 용수 압력
- ⑨ 보일러 용수 온도
- ⑩ 보일러 용수 유량
- ⑪ 공기에열기 입구 가스조성

- ⑫ 공기에열기 출구 가스조성
- ⑬ Fly Ash 시료
- ⑭ Bottom Ash 시료
- ⑮ 사용연료의 시료

선정된 위치에 ASME PTC 4.1에서 추천하는 방법으로 각 측정점에서의 자료 취득을 위한 계측기가 설치되고, 설치된 계측기 및 기록계는 정밀급 계측장비가 사용되었다. 한편 보일러 절탄기 출구 연도와 보일러 하부에서 시료 채취한 회중 미연탄소농도는 미연탄소 분석기에 의해 분석된 결과값을 시험자료로 활용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 보일러 열효율 산정방법

본 연구는 보일러의 연소 과잉공기비에 따른 효율과의 관계로 평가하였으며 환경성 및 설비 유지보수 비용측면은 배제하였다. 효율 산정은 ASME PTC 4.1에서 제공하는 보일러 효율 산정방법을 토대로 전력연구원의 열효율 산정프로그램을 사용하였고 보일러 입열에서 열손실량을 뺀 값을 보일러 출열로 사용하는 열손실법을 적용하였다.^[5]

열손실법에 의해 보일러 열효율을 산정하기 위해서는 보일러에서 발생하는 각 손실을 산정하여야 한다. 보일러에서 발생하는 열손실량은 여러 열손실

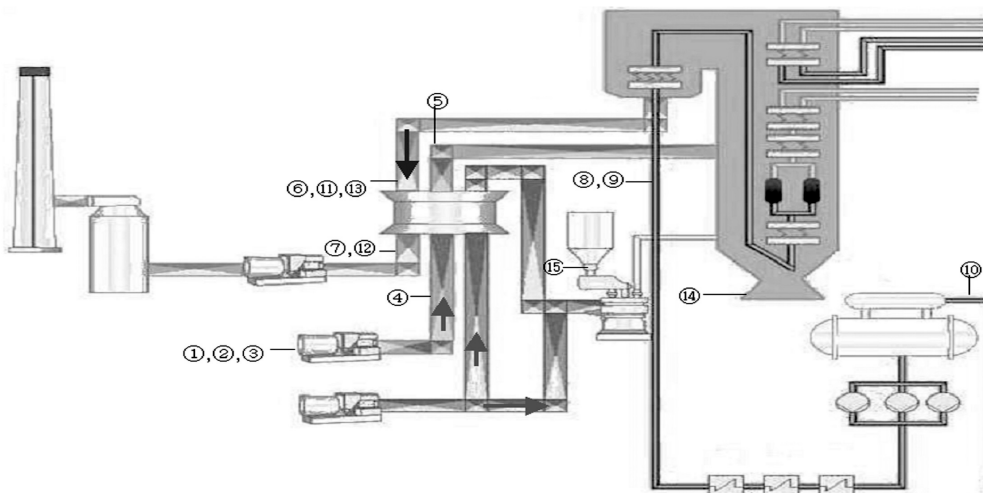


Fig. 2 Measured points in present study

항목을 합한 값으로서 식 (1)과 같으며 각 항목은 시험 시 취득된 데이터로 산정하였다.

$$L_t = L_g + L_{mf} + L_h + L_{ma} + L_{uc} + L_r + L_{um} \quad (1)$$

L_t 는 열손실의 합으로서 건배기가스손실(L_g), 연료 중 수분손실(L_{mf}), 수소연소손실(L_h), 공기 중 수분손실(L_{ma}), 미연탄소손실(L_{uc}), 방열손실(L_r), 미측정손실(L_{um})의 합으로 구한다. 본 시험의 열손실 항목 중에서 방열손실과 미측정손실은 각각 발열량의 0.25%, 0.19%의 설계값을 적용하였다.

3.1.1 건배기가스손실량 산정

건배기가스란 연소생성물 중 수분을 제외한 배기 연소가스이다. 이 가스의 최종 출구온도가 보유하고 있는 총열량과 이것이 기준공기온도로 냉각되었을 경우 가지게 되는 열량과의 차이가 건배기가스손실이다. 건배기가스손실량(L_g)을 구하는 식은 식 (2)와 같다.

$$L_g = W_{go} + C_{pg}(T_{go} + T_{ra}) \quad (2)$$

식 (2)의 각 항목에서 W_{go} 는 연료 1 kg당 공기에 열기 출구 건배기가스량, C_{pg} 는 건배가스의 공기에 열기 출구 가스온도(T_{go})와 기준공기온도(T_{ra})간의 평균정압비열이며 W_{go} 는 식 (3)으로 산정하였다.

$$W_{go} = \frac{44.01F_{CO_2} + 32.00F_{O_2} + 28.02F_{N_2} + 28.01F_{CO}}{12.01(F_{CO_2} + F_{CO})} \times (F_{C_s} + \frac{12.01F_S}{32.07}) \quad (3)$$

식 (3)에서 F_{CO_2} , F_{O_2} , F_{CO} , F_S 는 공기에 열기 출구 건배기가스의 이산화탄소, 산소, 일산화탄소, 황 조성 체적백분율이고 F_{N_2} 는 질소의 체적백분율로서 계산상 100에서 F_{CO_2} , F_{O_2} , F_{CO} 를 뺀 값을 사용하였다. F_{C_s} 는 연료 1 kg내 탄소 중 실제 연소된 탄소량으로서 연료 1 kg중 탄소함량에서 미연탄소량을 뺀 값을 사용하였다.

3.1.2 연료 중의 수분손실량 산정

연료 중의 수분은 연소 전에는 액화상태로 존재하지만 노내에서 아무런 일을 하지 않은 채 단지 열을 받아 가열 및 증발된 상태로 건배기가스가 되어 보일러를 떠나는데 이 열량에 대한 손실이 연료 중의

수분손실이다. 연료 중의 수분손실량(L_{mf})을 구하는 식은 식 (4)와 같다.

$$L_{mf} = M_f(H_e + H_{rv}) \quad (4)$$

식 (4)의 각 항목에서 M_f 는 연료 1 kg 중의 수분함량, H_e 는 공기에 열기 출구 배기가스의 수증기 엔탈피 그리고 H_{rv} 는 기준공기온도(T_{ra})에서의 포화수 엔탈피이다.

3.1.3 수소연소손실량 산정

연료 중의 수소는 보일러 내에서 연소되어 많은 열을 발생하나 연소 시 발생된 물은 증발잠열을 흡수하여 수증기가 되고 이것은 현열도 보유한 채 보일러 경계밖으로 나가게 됨으로 생기는 손실이다. 수소연소손실량(L_h)을 구하는 식은 식 (5)와 같다.

$$L_h = 8.936F_H(H_e - H_{rv}) \quad (5)$$

식 (5)의 각 항목에서 F_H 는 연료 1 kg 중의 수소함량, 8.936는 수소 1 kg 연소시 생성되는 물의 중량, H_e 는 공기에 열기 출구에서의 수증기 엔탈피이고 H_{rv} 는 기준공기온도에서의 포화수 엔탈피이다.

3.1.4 공기 중의 수분손실량 산정

연소용 공기 중의 수분은 보일러 내에서 연소에 아무런 기여도 하지 못한 채 오히려 보일러로부터 열을 흡수한 상태로 건배기와 함께 보일러를 떠나게 되는데 이 열량이 수분손실이 된다. 그러나 연소용 공기 중 수분은 대기 중에서 이미 수증기 상태로 존재하였고 또한 수증기 상태로 보일러를 떠나기 때문에 그 현열만이 공기 중의 수분손실이 된다. 공기 중의 수분손실량(L_{ma})을 구하는 식은 식 (6)과 같다.

$$L_{ma} = W_{ma}W_{ao}(H_e - H_{rv}) \quad (6)$$

식(6)의 각 항목에서 W_{ma} 는 연소용 건공기 1 kg당 수분함량, W_{ao} 는 연료 1 kg 연소에 사용된 공기에 열기 출구 건공기량, H_e 는 공기에 열기 출구에서의 수증기 엔탈피 그리고 H_{rv} 는 기준공기온도에서의 포화수 엔탈피이다.

3.1.5 미연탄소손실량 산정

연료 중의 가연성 성분 중의 일부가 노내에서 완전히 산화하지 못하고 연소가스나 재성분에 포함되어 배출되게 되는데 이러한 가연성 물질이 가진 미방출

열에너지를 미연탄소손실이라 한다. 미연탄소손실량(L_{uc})을 구하는 식은 식 (7)과 같다.

$$L_{uc} = 33.80F_{uc} \quad (7)$$

식 (7)의 각 항목에서 33.80은 연소 후 남은 연료의 찌꺼기 중에 포함된 미연탄소 1 kg의 열량이다. 일반적으로 연료의 찌꺼기 중에 존재하는 탄소는 33.57 ~ 34.03 MJ/kg범위의 열량을 가지고 있어 ASME code의 적용례에 따라 33.80 MJ/kg으로 사용하였다. F_{uc} 는 연료 1 kg당의 미연탄소량으로서 시료분석을 통해 산정되었다.

3.1.6 보일러 부가입열 및 효율보정

식 (8)은 보일러 효율 산정식이다. 항목별 열손실량을 구한 뒤 보일러의 열효율을 산정하기위해서 보일러 입열에 대해 연료의 연소열(H_f) 이외에 보일러 계 내에서 발생하는 연소용공기의 보유열량, 습분 등 부가입열(H_b)을 더하여 전체 보일러 열입력을 구하여 효율 산정에 사용하였다.

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - L_t}{Q_{in}} = 1 - \left(\frac{L_t}{H_f + H_b} \right) \quad (8)$$

또한 보일러 열효율은 보일러 설비 자체의 성능이 일정한 경우에도 입구공기온도, 연료의 성상 및 발열량, 공기 중의 수분함량, 연료 혼소율 등의 성능시험조건의 변화에 따라 다른 값으로 나타난다. 그러나 성능시험은 일정기준 하에서의 설비성능을 파악하는데 있으므로 설계보정 기준공기온도와 시험시의 기준공기온도 차이에 대한 열입열 보정을 실시하고 연료에 대해서는 건배기가스 손실, 연료 중 수분 손실, 공기 중 습분손실의 보정을 실시하였다.

3.2 연료별 시험 결과

3.2.1 Macquarie-Powder river 혼합연료

Macquarie-Powder river 5:5 혼합연료 연소시험에서 열손실 항목 중 건배기가스 손실은 공기량이 증가함에 따라 상승하는 형태로 나타났다. 연료 1 kg 중 건배기가스량은 과잉공기비가 11%에서 15%로 증가시 11.28 kg/kg에서 11.39 kg/kg으로 증가하였으며 공기에열기 출구가스온도 역시 143.2°C에서 146.94°C까지 선형적으로 상승하였다. 그 결과 건배기가스 손실량은 1,300 kJ/kg에서

1,354 kJ/kg으로 54 kJ/kg 상승하였다.

연료 중의 수분손실량은 연료 중의 총수분함량에 크게 영향을 받는데 본 시험의 경우 연료 중 수분함량은 16.81%로 시험을 실시한 4가지 연료 중 3번째로 많은 수분함량을 가지고 있었다. 또한 공기량 변화에 따른 수분손실량은 공기량이 증가함에도 4 kJ/kg미만의 변화를 보여 공기량 변화에 따른 열손실량 변화에는 영향이 적음을 알 수 있었다.

연료별 수소연소손실량은 연료성분 중 수소함유량이 크기를 좌우하였다. 본 시험의 수소함유량은 5.50%로서 네 번의 시험 중 가장 많은 함유량을 보유하고 있고 수소연소손실량 역시 가장 많았다. 수소연소손실은 건배기가스손실 다음으로 열손실 항목 중 가장 큰 비중을 차지하였지만 공기량 변화에 따른 손실량 변화는 4 kJ/kg 미만으로 효율변화에 끼치는 영향은 적었다.

공기 중의 수분손실은 열손실항목 중 가장 적은 손실량을 나타낸 항목이다. 공기량이 증가함에 따라 공기에열기 출구에서의 수증기 엔탈피가 증가하며 손실량이 증가하였으나 과잉공기비가 11%에서 15%까지 4%p 증가함에도 손실량은 16.83 kJ/kg에서 17.54 kJ/kg까지 1 kJ/kg미만의 변화를 보여 공기량 변동에 의한 효율 변화 효과에는 영향을 주지 않음을 알 수 있었다.

미연탄소손실은 연소 후 남은 찌꺼기 속에서 분석된 미연탄소량의 크기에 따라 손실량의 크기가 정해지는데 연료비의 크기에 따라 미연탄소손실의 크기가 정해졌다. 본 시험에서는 과잉공기비가 11%에서 15%로 4%p 증가하였을때 미연탄소 손실량은 31.50 kJ/kg 줄어들었다. 미연탄소손실은 건배기가스손실 다음으로 공기량 변화에 따른 손실량 변화량이 큰 항목임을 알 수 있었다.

각 손실항목별 손실량을 더하여 총열손실량을 구하고 과잉공기비 변화에 따른 효율을 산정하였다. Test 1에서의 공기량 변화에 따른 보일러 열효율은 과잉공기비 11%에서 89.96%, 13%에서 90.09% 그리고 15%에서 90.05%를 나타내어 과잉공기비 13%에서 가장 높은 효율을 나타내었다.

3.2.2 Sonoma-Megaprima persada 혼합연료

Sonoma-Megaprima persada 5:5 혼합연료 연소시험에서도 Macquarie-Powder river 5:5 혼합연료 연소시험 때와 마찬가지로 연료 중의 수분손실과 수소연소손실 그리고 공기 중의 수분손실은

공기량이 변화함에도 손실량의 크기는 비슷하게 나타났다.

연료 중의 수분손실은 351.7 kJ/kg에서 353.5 kJ/kg으로 1.8 kJ/kg 증가하였으며 수소연소손실은 961.3 kJ/kg에서 966.4 kJ/kg으로 5.1 kJ/kg 증가하였다. 공기 중의 수분손실은 7.05 kJ/kg에서 7.07 kJ/kg으로 0.02 kJ/kg 증가하여 열손실 변화는 거의 없었다.

그러나 건배기가스손실과 미연탄소손실의 손실량은 크게 변화하여 건배기가스손실량은 1169.9 kJ/kg에서 1271.4 kJ/kg으로 약 100 kJ/kg 증가하였고 미연탄소손실은 223.9 kJ/kg에서 171.0 kJ/kg으로 52.9 kJ/kg 감소하였다.

본 시험에서는 미연탄소손실이 네 번의 시험 중 가장 큰 손실량을 나타내었는데 연료중의 휘발분에 대한 고정탄소분의 비인 연료비가 1.52로서 연소 중 연료의 열분해가 잘 이루어지지 않은 것으로 보이고 공기량을 증가시킬수록 연소성이 좋아져 미연탄소손실량이 큰 폭으로 줄어들었을 것으로 판단된다.

공기량 변화에 따른 보일러 열효율은 과잉공기비 11%에서는 90.12%, 13%에서는 90.24% 그리고 15%에서는 90.16%로 산정되어 과잉공기비 13%에서 가장 높은 효율을 나타내었다.

3.2.3 BHP Billiton-Powder river 혼합연료

BHP Billiton-Powder river 4:6 혼합연료 연소를 실시한 시험 역시 연료 중의 수분손실과 수소연소손실 그리고 공기 중의 수분손실은 공기량이 변화함에도 손실량의 크기는 비슷하게 나타났다. 본 시험연료는 연료 중 수분함유량이 많아서 연료 중 수분 손실이 480.9 ~ 483.4 kJ/kg로 Macquarie-Powder river 5:5 혼합연료 연소시험 대비 약 40 kJ/kg이 많이 나타났다.

건배기가스손실은 공기량이 증가함에 따라 연료 1kg당 공기에열기 출구 건배기가스량이 9.35 kg/kg에서 9.68 kg/kg으로 상승하였고 공기에열기 출구 온도가 144.29℃에서 144.86℃로 증가하여 건배기가스손실량은 1136.8 kJ/kg에서 1182.7 kJ/kg으로 45 kJ/kg 증가하였다.

미연탄소손실은 시료분석을 통해 미연탄소량을 구하여 손실량을 산정한 결과 과잉공기비가 11%에서 15%로 4%p 증가함에 따라 90.13 kJ/kg에서

71.16 kJ/kg으로 18.97 kJ/kg 감소함을 알 수 있었다.

열손실량을 산정하고 보일러 열효율을 산정한 결과 과잉공기비 11%에서는 90.37%, 13%에서는 90.30% 그리고 15%에서는 99.22%로 산정되어 과잉공기비 11%일 때 가장 높은 효율을 나타내었다.

3.2.4 Centennial-Batubara 혼합연료

Centennial-Batubara 3:7 혼합연료 연소시험을 실시한 시험 역시 연료 중의 수분손실, 수소연소손실 그리고 공기 중의 수분손실은 공기량이 변화함에도 연료의 성분에 의해 정량적으로 나타날 뿐 손실량의 크기는 비슷하게 나타났다.

과잉공기비 11%에서 15%로 공기량이 증가하였을 때 연료 중의 수분손실은 477.8 kJ/kg에서 478.3 kJ/kg으로 0.5 kJ/kg 증가하였으며 수소연소손실은 723.1 kJ/kg에서 723.9 kJ/kg으로 0.8 kJ/kg 증가하였다. 공기 중의 수분손실은 6.63 kJ/kg에서 6.92 kJ/kg으로 0.29 kJ/kg 증가하여 위 세 가지 손실이 효율변화에 끼치는 영향은 미미함을 알 수 있었다.

연료 1 kg 중 건배기가스량은 과잉공기비 11%에서 15%로 공기량 증가 시 8.50 kg/kg에서 8.77 kg/kg으로 증가하였으며 공기에열기 출구가스온도 역시 143.3℃에서 154.8℃까지 선형적으로 상승하였다. 그 결과 건배기가스손실량은 1073 kJ/kg에서 1155 kJ/kg으로 82 kJ/kg 상승하였다. 또한 미연탄소손실량은 124.24 kJ/kg에서 113.08 kJ/kg으로 11.16 kJ/kg 감소하였다.

산정된 열손실량을 토대로 보일러 열효율을 산정한 결과 과잉공기비 11%에서는 90.61%, 13%에서는 90.46% 그리고 15%에서는 90.35%로 산정되어 과잉공기비 11%에서 가장 높은 효율을 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 당진화력 8호기 보일러를 대상으로 하여 USC 보일러에서 연소되는 연료의 변화에 따른 적정과잉공기비를 구하기 위해 성능 시험을 실시하였다. 발열량이 다른 4가지 연료의 연소시험을 통해 열손실법에 의한 열손실항목을 도출하여 과잉공기비 변화에 따른 항목별 손실변화와 보일러 효율을

구하였다. 산정된 효율을 토대로 과잉공기비를 도출해내었고 구체적인 결론은 다음과 같다.

USC 보일러인 당진화력 8호기를 대상으로 한 연료별 적정과잉공기비 시험을 통해 Macquarie-Powder river 5:5 혼합연료 연소시와 Sonoma-Megaprima persada 5:5 혼합연료 연소시의 적정과잉공기비는 13%이고 BHP Billiton-Powder river 4:6 혼합연료 연소시와 Centennial-Batubara 3:7 혼합연료 연소시의 적정과잉공기비는 11%임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 지식경제부, 2010, “제5차 전력수급 기본계획”, pp. 11-24.
2. 에너지경제연구원, 2009, “세계 석탄수급 및 2010년 연료탄 가격전망”, p. 30.
3. 이성노, 김영주, 2004, “수직연소식 보일러에서 운전조건이 미연분 발생에 미치는 영향”, 산업기술연구논문집 Vol. 19 No. 1 pp. 5-12.
4. 여정수, 2002, “대형 석탄화력 보일러의 최적연소 특성에 관한 연구”, 경상대학교 석사논문.
5. 이창식, 정희택, 1998, “신규화력발전소의 최적 운전 조건 도출을 위한 보일러 성능시험에 관한 연구”, 산업기술연구논문집 Vol. 14 pp. 307-314.
6. 한국전력기술, 2007, “당진화력 7,8호기 운전 지침서”, Vol II.
7. 한국전력공사 전력연구원, 2008, “당진화력 제 8호기 인수성능시험 결과보고서” p. 14.
8. 한국동서발전(주), 2007, “화력발전설비 성능 시험 지침”, pp. 61-69.