

초임계압형 화력발전소의 성능시험을 통한 최고효율점 선정에 관한 연구

권영수* · 서정세**

A Study on the Selection of Maxium Plant Efficiency through the Performance Test in Super-Critical Power Plant

Y. S. Kwon and J.-S. Suh

Key Words : Super-Critical Pressure(초임계압), Internal Efficiency(내부효율), System Isolation(계통격리), Heat Balance(열정산),

Abstract : The main reason to select the maxium plant efficiency through the performance test in fossil power plant is to increase the efficiency of power plant as well as saving energy collated with the policy of government. This study is aimed at unersstanding the variation trend of efficiency and analyzing the efficiency of boiler and turbine through each of the performance test. Ultimately, the maxium efficiency of power plant will be presented in super-critical pressure type power plant.

1. 서 론

발전소가 건설되어 시운전을 통한 인수성능시험을 거쳐서 상업운전을 하게 되는데 성능시험은 설비의 주기기인 보일러, 터빈 및 보조기기로 구분되어 시행되고 플랜트효율이 산출되는데 이 인수성능시험 후의 효율이 계약서상의 각 기기의 성능을 만족해야 한다.

그러나 인수성능시험은 각 부하(4/4, 3/4, 2/4 Load)별로 시행하게 되는데 이 때 효율이 각 부하사이의 어떤 부하에서 최고가 되는지 알 수가 없고 또 각 계통, 즉 보일러 및 터빈부문으로 구분된 영역을 서로 유입,유출되는 에너지를 격리하게 되는데 이 때 각 계통에 설치된 밸브류를 폐쇄하게 된다.

이 성능시험을 통한 연구는 석탄화력 발전소의 이용율 향상을 도모하고 표준석탄화력 발전설

비, 즉 초임계압형 화력발전소인 보령화력 제6호기의 고부하대에서 최고 효율점을 선정하기 함으로써 저비용 고효율 운전을 위한 성능자료를 제공하기 위하여 성능진단을 실시하고 플랜트의 최고효율점을 찾고자 함이다.

Table 1 에는 보령화력 제6기 의 주요규격이 잘 나타나 있다.

Table 1. Plant specifications

구 분	보령화력 6호기
출 력(MW)	500
주증기 유량 (ton/hr)	1,720 (BMCR)
주증기 압력 (kg/cm ²)	247
재열증기 압력 (kg/cm ²)	36.7
주증기 (℃)	538
재열증기 온도 (℃)	538
복수기 진공도 (mmHg)	722

2. 효율 산정법

2.1. 시험방법

최고효율점 선정을 위한 성능시험은 최고효율

+ 한국남동발전(주)

E-mail: kyeunyous@kosep.co.kr

TEL: 032)880-8457 FAX:032)880-8459

* 경상대학교 기계항공공학부, 항공기부품기술연구센터

E-mail: jssuh@gsnu.ac.kr

점이 예상되는 고부하대인 90% 부하대에서부터 5%씩 부하를 증가시켜 105% 부하대까지 4단계로 2시간씩 각각 1회씩 실시하였으며, 시험결과 의 신뢰도를 확보하고 좁은간격의 부하대에서 비교시험간의 정밀성 확보 및 최고효율점 선정에 정확성을 기하기 위해서 동일 운전조건을 형성하는 데 주안점을 두었다.

상기시험은 계통격리상태에서 실시했으나, 이와는 별도로 100% 부하대에서는 밸브 Isolation (격리)을 하지않은 일상운전 조건에서 1회의 시험을 시행하여 밸브격리시 운전조건과의 성능차이를 분석하였다.

2.1.1 계통 Isolation(격리)

보일러 및 터빈의 열정산시 열의 출입 및 유동상태를 명확히 하기 위해서는 열정산(Heat Balance)의 범위를 어디까지 포함할 것인가 하는 한계를 설정하는 것이 가장 중요한 것 중의 하나가 된다. 이를 위하여 보일러 또는 터빈과 그 부속설비의 한계선을 Envelope Boundary 라고 한다. 이 Envelope Boundary를 경계선으로 하여 출입하는 열은 열정산의 기준이 되는 입열과 출열이 되고 있다.

이 보일러부문 Envelope Boundary와 터빈부문 Envelope Boundary를 기준으로 하여 계통손실을 방지하고자 계통격리를 시켜야 정확한 열정산이 될 수 있는것이다.

2.1.2 계측방법

기준유량 측정은 탈기기 입구 배관에 설치된 Orifice 차압을 Differential Pressure Transmitter를 이용하여 측정하며 30초 간격으로 자동취득된 차압을 평균하여 유량계산식에 의거 기준유량인 복수유량을 산정하였다.

보일러 성능과악의 정확성을 위해서는 보일러 입.출구 공기온도와 출구 배기가스온도를 정확하게 측정하는 것이 중요하다.

보일러는 Design coal 성상과 함께 기준 대기 상태(대기압 760mmH2O, 상대습도 70%, 대기온도 20℃)와 기준공기온도에 의해 설계되었으며, 운전조건은 Unit control 특성과 설계조건에서 벗어 나는 경우에 각 손실량의 기준치로의 보정이

이루어진다.

계측장비의 정밀도는 성능시험에서 대단히 중요한데 전력량 측정의 정밀도 확보는 측정된 터빈성능의 Uncertainty를 줄이는데 매우 큰 영향을 미치므로 전력량계 정밀도를 0.1 % 이내인 것을 사용하였다.

Table 2에는 시험평균치의 설계치에 대한 허용편차를 잘 나타내고 있다.

Table 2 The allowable deviation of testing value compared to the design value

항 목	설계치에 대한 허용편차
주증기 압력	절대압력의 ±0.25 %, 0.35 ata중 큰것
주증기 및 재열증기온도	±16 ℃(과열도 30℃ 이상) ±8 ℃(과열도 15~30℃)
1차 유량	-
2차 유량	±5 %× 1차유량/2차유량
재열기 압력 강하	±5 %
추기 압력	±5 %
추기 유량	±5 %
급수온도	±6 ℃
배기압력	±2.6 mmHg, 절대압의 ±2.5 %중 큰값
출 력	(시험 부하항 참조)
전 압	±5 %
속 도	±5 %

2.2. 시험결과 계산기준

성능시험의 계산 적용 Code는 보일러 부문에 ASME P.T.C 4.1을 기준으로 하였으며, 보일러 성능계산 기준온도는 압입통풍기 입구온도, 그리고 보일러 연소용 연료 기준발열량은 고위발열량으로 하였으며, 보일러 방열손실은 설계치를 적용하였다.

터빈부문에서는 ASME P.T.C 6.0의 화력발전소 성능시험 지침을 기준으로 하여, 터빈효율 계산의 기준유량은 탈기기 입구 복수유량으로 하였다.

2.3. Plant 효율 산정법

플랜트 효율은 발전설비의 성능을 나타내는 대표적인 성능변수로서 비교적 간단히 구할 수 있는 유용한 방법이다.

직접법에 의한 발전단 효율을 평가하는 방법은 발전기 출력과 사용연료의 연료량, 발열량을 다음에서 표현된 직접법 효율 산출 방법으로 계산하기 때문에 연료 사용량 측정결과의 불확실성이 커서 정량적으로 표현하는 방법으로 미흡한 점이 있다.

$$\eta_g = (P * 860)/(W * H_f) * 100 (\%)$$

P : 발전기 출력(kW)

W : 연료소비량(kg/h)

H_f : 연료의 고위발열량(kcal/kg, As fired)

간접법에 의한 발전단 효율 산정은 Plant loss 에 대한 측정상 한계로 인하여 운용측면에서 관리하기는 매우 어려움이 따르기 때문에 직접법을 사용하여 발전단 효율을 표현하는 것이 유용하다.

$$\eta_g = (\eta_b \times \eta_t) - \Delta L$$

η_b : 보일러 효율 (%)

η_t : 터빈효율 (%)

ΔL : Plant Loss (0.6~0.8% 수준임)

2.3.1 보일러효율 산정법

보일러효율 산정법에는 손실법과 입출열법이 있으나 입출열법은 오차가 많고 신뢰성이 적어 손실법이 사용된다.

$$\eta = 100 - [(L \pm \Delta L)/(H_f + B)] * 100(\%)$$

L : Total heat loss,

ΔL : Heat loss correction

H_f : 연료의 고위발열량(kcal/kg)

B : 부가열량

2.3.2 터빈효율 산정법

터빈효율 산정법에는 입출열법과 손실법이 있으나 손실법은 복수기에서의 냉각수량 방열량에 의해 구해지므로 냉각수량 측정의 난이로 입출열법이 사용된다.

$$\eta_t = 860(\text{kcal/kWH}) / \text{Heat Rate}(\text{kcal/kWH})$$

Heat Rate : (공급된열-반환된열)/ kWh

3. 성능시험 결과

3.1. Plant 효율

플랜트 효율은 연료소비량이 비교적 정확하게 측정된 것으로 판단되어 직접법으로 계산하여 산출하였다.

최고효율점이 나타나는 부하대는 99 %에서 101 % 범위이며, 이때의 발전단 효율은 40.18 % 이고, 보일러 효율은 90.25 %, 터빈효율은 45.60%로 나타났다.

발전단 효율 추세는 [Fig.1]에서 보는 바와 같이 저부하대에서부터 점차 증가하다가 100 % 부하대에서 최고효율점을 보이다가 101%부하에서 저하되는 경향을 보였다.

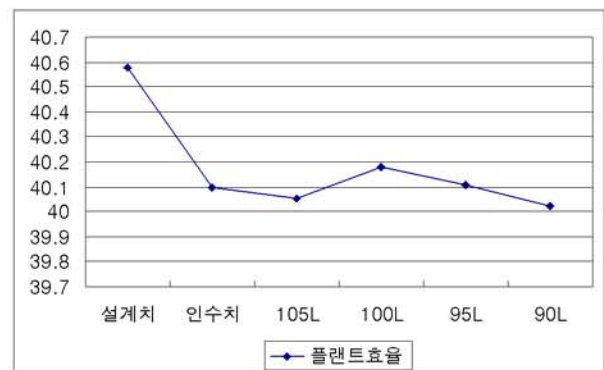


Fig. 1 Plant efficiency trend

3.2 보일러 효율

보일러 효율은 [Fig. 2]에서 보는 바와 같이 90 % 부하에서 최고효율점을 나타내었으며 부하가

증가함에 따라 저하하는 추세를 보였다.

그런데 95 % 부하대에서 100 % 부하대까지는 변화폭이 상대적으로 적었으며, 105 % 부하대에서 최저효율인 90.23 %를 나타내었다. 이는 저부하대에 비해 고부하대로 갈수록 배기가스손실이 증가하여 보일러효율을 감소시킨 요인때문이다.

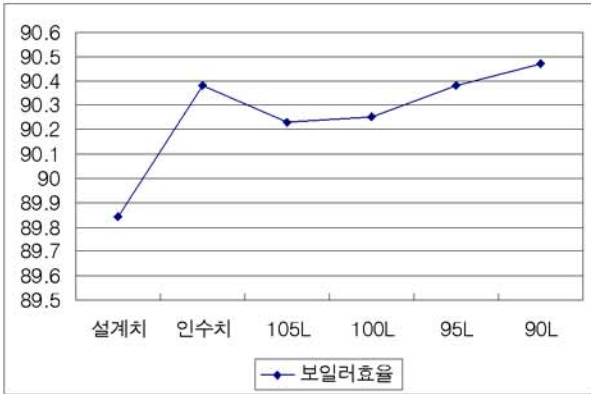


Fig. 2 Boiler efficiency trend

3.3 터빈효율

터빈의 최고효율점은 최대부하인 105 % 부하에서 45.60 % 로 나타났으며, [Fig. 3]과 같이 최대 부하대에서 최고효율을 보이다가 저부하로 갈수록 거의 직선적으로 저하하는 추세를 보이고 있다.

이러한 요인은 일반적인 터빈의 설계기준이 최대부하에서 이루어지므로 운전조건이 설계조건과 가장 유사한 최대부하에서 최고성능을 나타내는 것으로 분석된다.

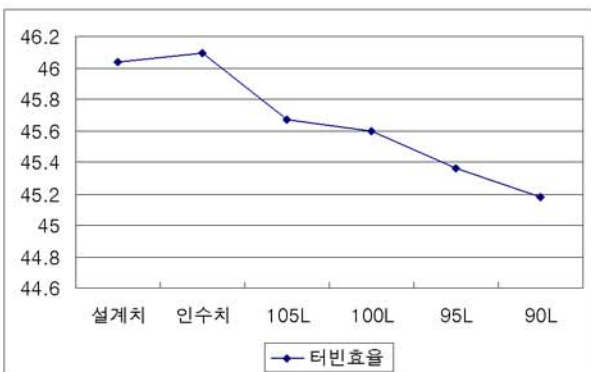


Fig. 3 Turbine efficiency trend

3.3.1 고압터빈 내부효율

Enthalpy Drop Test 결과중 고압터빈 내부효

율은 터빈의 Control Valve 개도가 일정한 상태에서 시험이 이루어졌다면 고압터빈의 상태변화를 나타내는 데 매우 유용한 자료로 활용 할수 있으며 시험결과는 [Fig. 4]에서와 같이 83.69 %로서 인수치 84.75 % 대비 약간 저하된 상태이나 인수시험후 5년이 경과된 것을 감안하면 양호한 상태이다. 최고효율은 105 % 부하대이다.

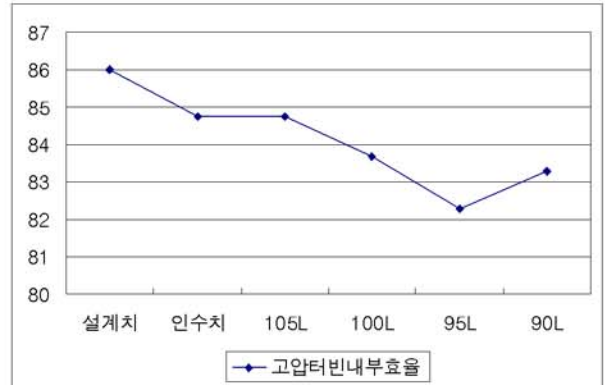


Fig. 4 HP turbine internal efficiency

3.3.2 중압터빈 내부효율

내부효율은 터빈부하에 따라 변동되지 않는 특성을 가지고 있어 N2 Packing 누설량이 일정하다면, 시험결과에 의한 터빈상태 파악에 매우 유용한 자료를 제공하나, N2 Packing 누설량이 변화되었을 가능성이 높은 경우에는 중압터빈 효율 자체가 영향을 받게 되는점을 고려해야 한다. 특히 인수시험당시의 누설율인 3.2%를 적용하였지만 이번시험에서 내부효율이 1.26 % 증가된 것으로 나타났지만 중압터빈의 자체성능이 향상보다는 외적인 요인이 작용되었을 가능성이 높다.

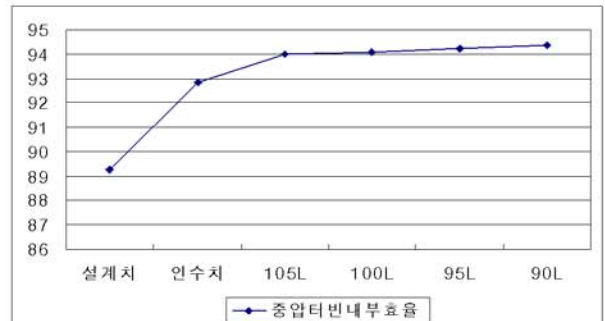


Fig. 5 IP turbine internal efficiency

3.3.3 저압터빈 내부효율

저압터빈 내부효율은 측정시의 운전진공에 영

향을 많이 받음으로 비교대상의 복수기 진공도가 상이할 경우에는 평가가 곤란한 점이 있으며 최고효율은 100 % 부하대이다.

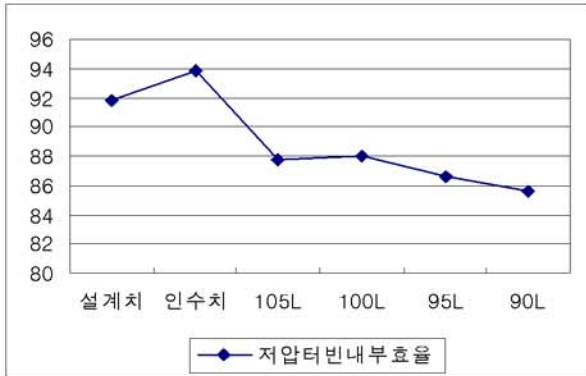


Fig. 6 LP turbine internal efficiency

3.4 계통비격리 성능평가

최고효율점 선정을 위한 성능시험과는 별도로 계통격리를 하지 않은 일상운전조건에서 1회의 성능시험을 시행함으로써 통상의 계통격리시의 성능시험결과의 차이를 분석하였다.

3.4.1 플랜트 효율

단일탄종을 사용한 일상 운전중 플랜트효율은 [Fig. 7]에서 나타난바와 같이 계통격리시의 플랜트효율인 40.18 % 보다 0.31% 가 저하된 39.87 %로 나타났다. 다른 시험조건이 동일하다고 가정할시 비격리 조건의 유량이 증가된 만큼 사이클 손실이 증가되어 플랜트효율이 저하된 것으로 판단된다.

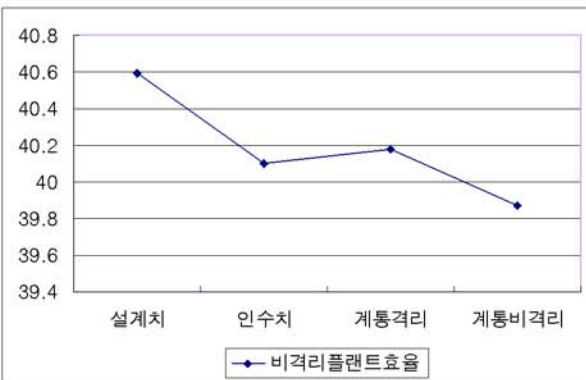


Fig. 7 Unisolated plant efficiency

3.4.2 보일러 효율

보일러 효율은 계통격리에 크게 영향을 받지 않으므로 예상대로 거의 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

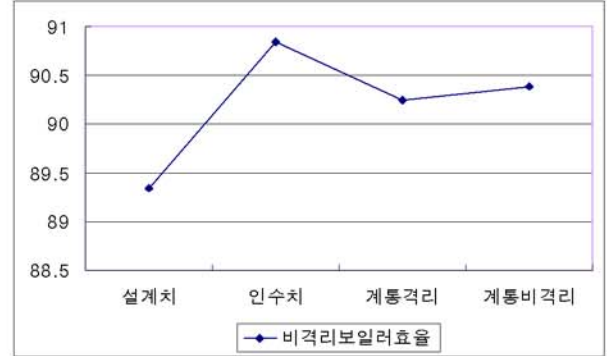


Fig. 8 Unisolated boiler efficiency

3.4.3 터빈 효율

터빈효율은 계통격리에 직접적인 영향을 받게 되므로 계통격리시 대비 터빈성능이 [Fig.9]에서와 같이 저하된 것으로 나타났다.

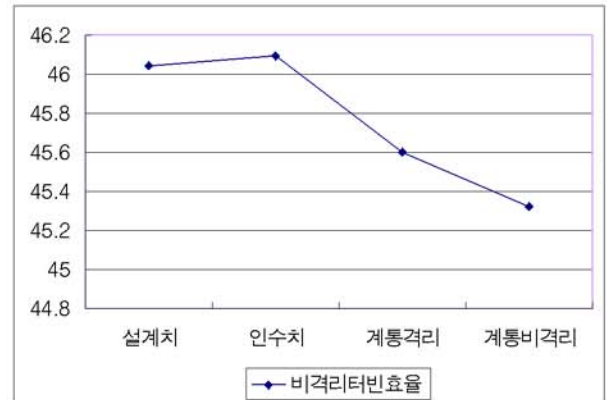


Fig. 9 Unisolated turbine efficiency

4. 결론

첫째로, 플랜트 효율이 최고효율점으로 나타나는 부하대는 99 %에서 101 % 범위이며, 이때의 발전단 효율은 40.18 %이었고 이 때 보일러 효율은 90.25 %이고 터빈 효율은 45.60 %이었다. 발전단효율의 추세는 저부하대에서부터 점차 증가하다가 99%에서 101 % 부하대에서 효율점이 완만하게 저하하는 경향을 보였다.

둘째로, 보일러 효율은 90 % 부하대에서 최고

점을 나타내었으며, 부하가 상승함에 따라 완만하게 저하하는 추세를 보였다.

셋째로 터빈효율은 최대부하인 105% 부하대에서 최고효율점 45.60 %로 나타났다. 이는 터빈부하별 설계치 성능변화 추세와 일치되는 결과로 정상적인 성능변화상태를 보이는것이다.

넷째로 계통비격리시 즉, 일상 운전중 플랜트 효율은 사이클 손실이 증가되어 계통격리시의 플랜트효율보다 0.31 % 가 저하된 39.87 %로 나타났다. 또한 보일러 효율은 계통격리와 무관 큰 차이는 없었으나, 터빈효율은 계통격리에 밀접한 영향을 받아 직선적으로 효율이 저하하는 경향을 보였다. 이와같은 결과는 일상운전시에도 누설되는 밸브를 정비하여 계통손실을 최소화하므로서 고효율 운전에 기여해야 할것이다.

후기

본 연구는 한국남동발전(주) 및 항공기부품기술연구센터, BK21 지역대학육성사업의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드린다.

참고문헌

- (1) KEPRI, 1999, The Performance Test Result for the selecting the greastest efficiency point of Boryeung Thermal Powerstation unit 6, pp. 1 ~ 26.
- (2) KEPRI, 1997, The Performance Test Standard of Thermal Power Plant, pp. 121 ~ 182.