

신호는 수평축 입력이 되고 다른 픽업으로부터 발생된 출력은 수직 축 입력이 된다.

Orbit Data를 수집할 때 취득하려는 주파수 기준이 없으면(예 : 1X rpm) 주파수 정보를 얻을 수 없다. 예로써 그림과 같은 경우 주파수가 1X RPM인 곳에서는 통상적으로 Unbalance 상태라고 간주될 수 있다.

동기 기준 Pulse는 X, Y 픽업 이외에 또 다른 Non-Contact 픽업을 설치하면 얻어질 수 있으며, 계측기에서는 이 기준 Pulse를 Orbit에서 "Blank"로 표시한다.

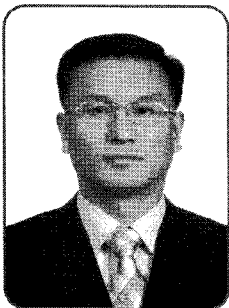
Orbit Plot은 무게 불평형, 예압(Preload)의 상태,

Rubbing 상태, Shaft면의 흠집(Glitch) 등을 진단하는 유용한 도구로 활용된다.

참고 문헌

1. 봉석근외 6명, 2007, "기계상태 감시 및 진단 실무", 한전KPS.
2. BENTLY NEVADA, 1993, "Machinery Diagnostics"
3. Donald E, Bently, 2002, "Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics"

증기터빈 성능시험 및 성능분석 기법(3)



한전전력연구원
엔지니어링센터
책임연구원/항공원
Tel : (042)865-7591

- 2) 고품미립자에 의한 침식
- 3) 증기통로의 기계적 손상
- 4) Peening 혹은 이물질에 의한 손상
- 5) 증기통로의 Radial 및 Axial Seal 간극 증대 등이 있으며

상기 문제는 다음과 같은 사유로 손실이 일어난다. 즉 ① 노즐이나 버킷의 면적변화에 따른 단락에너지 분배변화, ② 노즐이나 버킷의 형상변화에 따른 공기역학적 손실(Aerodynamic loss), ③ 표면조도에 악화에 의한 마찰손실 증가, ④ 실 및 패킹 간극 증가로 인한 누설손실 증가, ⑤ 압력비, 증기속도, 증기의 유입각도 변화에 따른 속도삼각형 변화에 기인하며, 성능저하형태에 따른 손실비율은 ① 노즐 형상변화에 따른 손실이 40 %, ② 버킷 형상변화에 따른 손실이 5 %, ③ 표면 거칠기 증가에 따른 손실이 35 %, ④ 실, 패킹의 누설 손실이 20 %를 각각 점유하고 있다.

[주1] 단락에너지 분배 손실

이상적인 단락의 효율은 그림에서처럼 속도비(Wheel 속도/이론증기속도)와 버킷의 반동도에 따라 변한다. 속도비 중 터빈의 날개속도는 일정하게 주어져 있다.

7. 터빈의 설비상태에 따른 성능분석

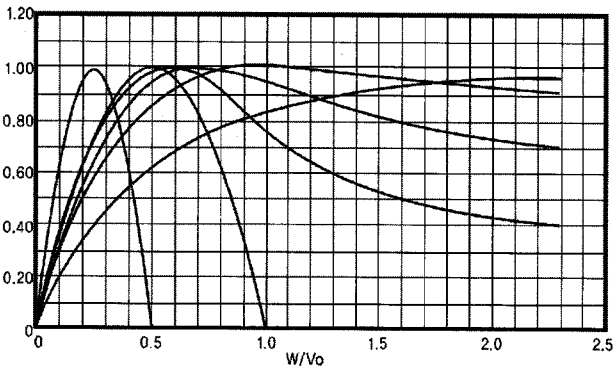
가. 터빈성능에 영향을 미치는 인자

터빈성능에 영향을 주는 설비는 크게 터빈본체와 터빈의 부속기기의 2가지로 대별되며, 터빈본체에 의한 성능저하로는 크게 운전조건과 터빈 기계적 조건의 2가지로 구별할 수 있고, 터빈본체 이외의 설비에 의한 성능저하로는 복수기, 급수가열기, 급수펌프 구동터빈 및 각종 밸브들의 격리상태 등이 있다.

나. 터빈본체설비의 성능저하형태 분류

- 1) 증기통로의 침전물 부착

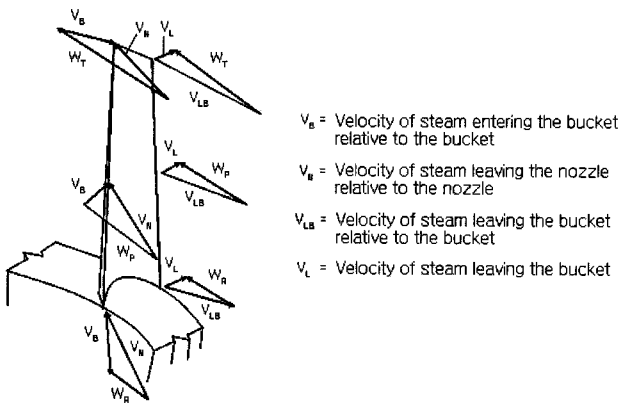
만약 노즐면적이 변한다면 유량 관계식 $w \approx A \sqrt{p_1/v_1}$ 에서처럼 주어진 부하에서 유량이 일정하므로 입구압력이 변하게 된다. 이 입구압력변화는 단락 속도비를 변화시키는 유효에너지(이론증기속도)를 변환시켜 설계 최고 효율 값에서 벗어나게 된다. 한편, 반동도란 단락 총 압력강하에 대한 버킷의 압력강하비로 정의되기 때문에 일정한 속도비일 때 반동도는 노즐과 버킷 면적비의 함수다. 노즐과 버킷의 면적 변화는 단락의 반동도를 변화시키기 때문에 최고 효율 값에서 벗어나게 된다. 그리고 에너지 분배변화에 의한 손실은 한 단락에 그치지 않고 한 단락의 에너지 분배 변화는 후속 단락의 에너지 분배변화를 가져오므로 설계점을 벗어난 운전조건은 적어도 2개의 단락 이상에서 영향을 미친다.



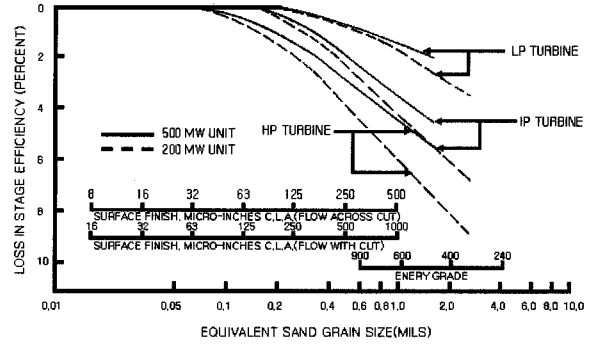
[그림 11] 반동도 및 속도비에 따른 이상적인 단락효율

[주2] 공기역학적 손실

버킷이나 노즐의 형상변화는 노즐출구의 증기분출 각이 버킷의 각과 일치하지 않는 결과를 가져온다. 이것은 속도삼각형의 각도손실이 적정 설계 값을 벗어나도록 하며, 형상변화가 심한 경우 증기흐름이 노즐이나 버킷의 통로로부터 벗어나게 한다.



[그림 12] 터빈단락에서의 속도삼각형



[그림 13] 표면조도 악화에 의한 단락효율 저하곡선

다. 증기통로의 침전물 퇴적

1) 발생원인

- 가) 수처리가 양호하지 못할 경우 보일러의 Carry over 또는 과열기나 재열기의 과열저감수 유입시
- 나) 복수기 누설로 인한 Chloride나 Silica가 Carry Over 될 때
- 다) 동합금을 사용하는 급수가열기에서 반복적인 온도변화에 의한 박리현상에 따른 침전물 퇴적(고압 터빈에 주로 발생)

2) 침전물 퇴적부위 : 주로 고압터빈에 부착

3) 침전물 퇴적이 미치는 영향 및 현상

- 가) 노즐과 버킷의 면적감소와 표면조도 증가에 따른 에너지 분배와 공기역학적인 형상을 변화시킴으로 손실을 유발
- 나) 침전물이 퇴적하면 최대부하가 감소되며 주증기량 통과용량 감소
- 다) 터빈 엔탈피강하효율 저하
- 라) 첫 단 압력이 증가하며 일반적으로 침전물이 부착된 부근의 압력은 증가하는데 반하여 하류측 압력은 감소
- 마) 과도한 버킷의 침전물퇴적은 Thrust Bearing Load를 증가시키므로 Thrust Bearing Oil 온도를 상승시키는 경우도 있으며 노즐 Partition의 경우 압력차의 증가로 Diaphragm이 변형되어 Rubbing 진동이 발생한 경우도 있음.
- 바) 터빈의 각종 밸브(Stop, Control 또는 Non-return 밸브)의 Stem이나 Bushing에 침전물이 퇴적되어 밸브의 동작을 방해하거나 억제시켜 Over Speed 등의 위험을 초래할 수 있음.
- 사) 침전물이 Carry Over 되면 과열기의 압력강하

을 증가

아) Chloride나 Sulfide가 터빈으로 Carry Over 되면 터빈의 마지막 2-3단에서 응축되기 전에는 증기 속에 남아 있으나, 응축되는 시점에서 농축되는 경향이 있다. 이것들은 일반적으로 감지할 수 있는 어떠한 문제를 유발시킬 수 있을 정도로 많이 축적되지는 않지만 Stress Corrosion Crack 환경을 조성시키게 되어 터빈의 Wheel Dovetail, Tie Wire Shroud Band 또는 Packing Spring 등의 Crack 초래

4) 대책

- 가) 수처리 철저
- 나) 발생시 일반적으로 Aluminum Oxide Blasting 을 하여 침전물을 제거할 수 있다. 그러나 날개 표면상태의 거칠기는 어느 정도 증가한다.

라. 증기통로의 침식

1) 증기통로 침식의 분류

- 가) 고행미립자 침식 : 증기로부터 운반되어온 이물질에 의해 증기통로의 금속이 마찰되어 깎이는 것으로 주로 고온고압터빈에 발생된다.
- 나) 증기응축에 따른 침식 : 증기가 응축된 수적에 의해 증기통로의 금속이 닳게 되는 것으로 주로 저온저압터빈에 발생된다. 화력에서는 주로 마지막 2-3단에서만 문제되지만 원자력에서는 크게 문제가 되고 있다. 화력에서는 습증기영역의 Bucket에 Stellite 판을 부착하며, 원자력에서는 Moisture Removal Pocket과 Serrated Bucket Tip 등의 특수한 설계를 한다.

2) 고행미립자 침식 발생원인

과열기와 재열기관, 주증기관과 같이 고온의 관으로부터 금속산화물이 박리 되어 증기에 의해 운반되므로 고행미립자의 근원이 된다.

3) 고행미립자 침식 발생부위

고온 증기의 입구부위 또는 그 가까이에서 심하게 발생되며 하류측에서는 감소하게 된다. 예를 들면 부분부사(Partial Arc) 운전 중 일을 많이 하는 첫 단 노즐과 같이 증기속도가 매우 빠른 부분은 이런 종류의 침식을 받기 쉽다. 재열이후 증압터빈 첫 단도 침식을 받기 쉬운 것으로 나타나고 있다.

4) 고행미립자 침식이 터빈에 미치는 영향 및 현상

- 가) 노즐과 버킷의 형상변화, 증기통로 표면조도 악화, Spill Strip의 간극을 증가시키므로 에너지 분배 및 공기역학적인 형상이 변화되어 터빈손실 증가
- 나) 부하증가, 주증기 및 급수유량 증가, 단락압력이 증가
- 다) 엔탈피강하효율 저하

5) 고행미립자 침식에 대한 대책

- 가) 최신형 단락 설계 : Plasma Spray, Blade Redesign
- 나) 보일러의 고온부와 고온관의 산화억제 재질 사용 - Chromizing이나 Chromiting 보일러튜브 사용
- 다) 보일러튜브의 주기적인 화학제정
- 라) 고행미립자 제거 : Steam & Air Blowing 실시, 내부 Separator 설치
- 마) 운전방법
 - 경부하에서 장시간 운전을 피하며, 만약 이것이 불가피한 경우 변압운전 또는 Full Arc 운전을 할 것(첫 단 압력비가 감소하면 증기속도가 증가하여 충격 큼).
 - 빈번한 Cycling 운전을 피할 것 : 변압운전 실시
 - 수처리를 잘할 것.
 - Shut-Down 기간 중 산소와 접촉되지 않도록 보일러 보존 철저
 - Reheater Thermal Shock 방지

6) 고행미립자 침식 점검에 대한 주의사항

터빈분해점검 시 어떤 경우에는 고행미립자에 의한 침식은 기계적 사상 작업을 한 것처럼 금속표면이 매우 고르고 매끈하게 닳게 되어 육안으로 점검하기 어려운 경우가 있다. 이런 경우 침식의 정도를 알기 위해서는 노즐이나 버킷의 증기통로면적을 점검하여야 한다.

마. Peening 혹은 이물질 손상

1) 발생원인

이것은 각 터빈 단락에 이물질(산화 스케일과 다른)이 유입되므로 야기된다. 전형적인 이물질은 용접 뚝, 용접 비늘, 용접봉, 풀린 작은 Bolt나 Nut 또는 증기계통의 상류측에서 풀린 그 외 이물질의 조각들이다. 이러한 이물질은 정지작업 중 터빈으로 들어온다.

2) 특징

Peening이나 이물질 손상의 특징은 고행미립자 침식과 달리 순간적이거나 단시간에 걸쳐 일어나며 지속적으로 계속된다. 또한 손상입자는 일반적으로 고행미립자 침식을 일으키는 입자보다 크다.

3) 미치는 영향

노즐과 버킷 병목부의 형상과 표면조도의 변화를 일으켜 터빈효율에 악영향을 미친다.

4) 예방책

- 가) 터빈 기동전과 주요 정비 후에는 주증기와 재열 증기관을 Blow Down 할 것.
- 나) 설치 또는 정비 후 터빈에 이물질이 남지 않도록 반드시 확인할 것.
- 다) 기동전이나 주요 보일러 정비 후 주증기나 재열 증기 Stop 밸브에 Fine Mesh Screen을 설치할 것. Fine Mesh Screen을 제거하기 전에 가능한 한 밸브전개상태와 정격 증기조건에서 충분한 기간동안 터빈을 운전할 것.

바. 실 간극 증가

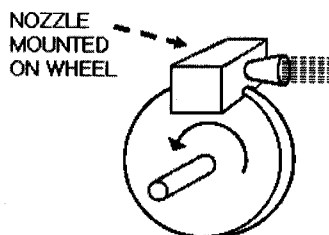
1) 실 간극 증가 영향

터빈 내부단락의 실은 증기통로로부터 증기누설을 억제하기 위한 것으로 실을 통하여 누설된 증기는 노즐과 버킷을 우회하므로 축 출력으로 발생되지 않으며 또한 노즐과 버킷으로 흐르는 증기의 흐름을 교란시켜 축 출력 감소를 초래한다.

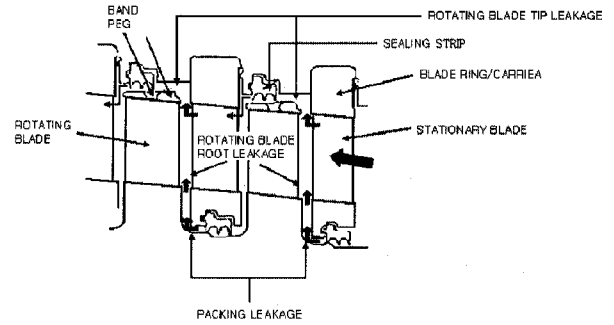
2) 실 간극 증가 원인

- 가) 고행미립자 침식이나 고정부를 갖는 회전부의 마찰에 의해 일어난다.
- 나) 마찰은 터빈축의 Misalignment, Rotor의 높은 진동, 고정부의 열적 뒤틀림, Bearing 파손, 물 유입 등에 의해 발생한다.

REACTION PRINCIPLE

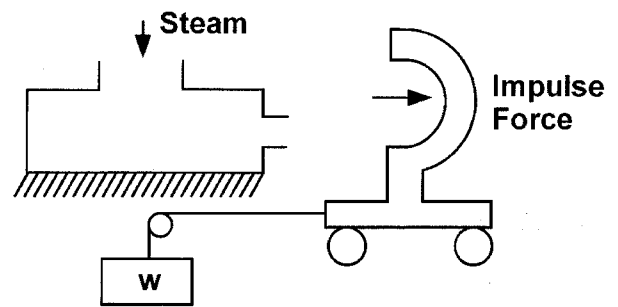


[그림 14] 반동터빈의 원리



[그림 15] 터빈 반동단 Stage의 세부도

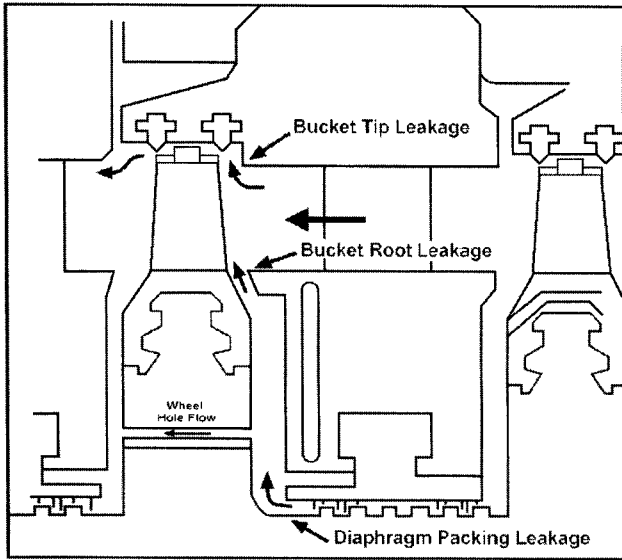
Impulse Principle



[그림 16] 충격터빈의 원리

3) 실 간극 증가로 인한 누설손실

- 가) Bucket Tip 누설
- 나) Diaphragm-Packing 누설
- 다) Bucket Root 누설 : Bucket Root 누설은 Diaphragm Packing에서 누설된 증기를 터빈의 증기통로로 유입시키므로 주증기의 흐름을 교란시켜 부가적인 손실을 초래한다. 따라서 Wheel Balance Hole은 Diaphragm Packing에서 누설된 증기가 후속단락으로 통과하도록 함으로써 Bucket Wheel측에 압력이 형성되어 추력이 발생하는 것을 막아줄 뿐 아니라 Bucket Root 누설에 따른 주증기 흐름의 교란을 방지시켜 준다.
- 라) Shaft End Packing 누설
- 마) 기타누설 : Inner Shell Horizontal Joint, Diaphragm Outer Fit Distortion, 밸브 Snout Ring, Outer Shell로부터 Inner Shell로의 관통, Thermocouple, Pressure Tap, Cooling Steam Pipe, Heating Steam Pipe 등의 누설



[그림 17] 터빈 충동단 Stage의 세부도

사. 터빈의 운전경과에 따른 성능저하

1) ASME 추천

터빈은 경년(Aging)에 따라 침전물의 퇴적, Packing이나 Stage 간극 마모량의 증가와 같은 기계적 조건에 의해 그 성능상태가 변한다. 터빈이 정상적으로 잘 운전되고 보일러 급수처리가 양호한 발전소에서 경년에 따라 기계적 조건이 열화 됨으로써 수반되는 터빈성능저하는 다음의 곡선에 의해서 추정할 수가 있다. 이 곡선은 ANSI/ASME에서 추천하고 있는 방법으로 과열증기를 사용하는 터빈에 대해 경년열화에 의한 성능저하 값을 추정하는데 이용되고 있다. 이것은 경험에 근거하여 작성되었으며, 터빈운전과 수처리 상태가 양호할 때 기대되는 성능저하의 평균값을 나타낸 것으로, 크기가 다른 많은 터빈의 엔탈피강하시험 자료를 이용하여 계산하였으며 저압터빈의 효율저하는 중압터빈 효율저하의 1.5배로 추정하여 작성하였다. 그 외 경년열화에 의한 성능저하 값에 영향을 미치는 것으로 증기의 체적유량과 터빈의 크기도 작용되고 있다.

$$\frac{B.F}{\text{Log}(MW)} \times \sqrt{\text{Initial Pressure (psig)} \times 2400} \times F$$

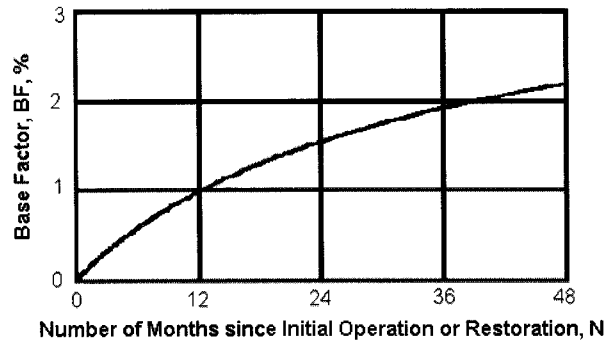
- B.F (Base Factor) : ASME PTC 6, Report 1985 적용([그림 18] 참조)
- f (Adjust Factor) : 1.0 for Fossil Units, 0.7 for Nuclear Units

[주] 터빈 케이싱이 개방된 기간동안은 포함하지 않으며, 이 곡선은 성능저하 추정자료가 없을 경우의 지침임. 한편

정상적인 운전과 양호한 수처리가 이루어지지 않고 운전조정범위를 벗어난 상태에서의 성능저하는 이 곡선 값보다 큼.

- 계산 예) 150 MW, 1800 psi의 터빈이 12개월 동안 정상적인 운전을 한 경우, 성능저하는?

$$\Delta\%HR = (1.0/\text{log } 150) \times \sqrt{(1800/2400)} \times (1.0) = 0.4\%$$



[그림 18] 경년열화에 따른 터빈성능저하 기본계수

2) IEC 추천

≤150 MW

: 2~12 Months : 0.1, %/Month

: 12~24 Months : 0.06, %/Month

>150 MW

: 2~12 Months : $0.1 \times \sqrt{(150/\text{정격용량})}$, %/Month

: 12~24 Months : $0.06 \times \sqrt{(150/\text{정격용량})}$, %/Month

아. 누설손실

1) 개요

증기누설은 터빈의 성능에 무시할 수 없는 영향을 끼친다. 터빈의 엔탈피강하효율에는 보통 단락내부의 누설영향은 고려되어 있으나, 밸브 Stem 누설, 축단의 패킹누설, 몇 개단의 단락을 By-pass 하는 축 패킹의 누설증기 및 Steam Seal 등과 같은 외부누설은 고려되어 있지 않으므로 성능계산 시 고려해야한다. 모든 외부 누설증기는 보통 사이클 내로 회수되어 성능향상과 보급수절약에 공헌하고 있지만 사이클에 유효하게 이용되지 못하면 손실이 된다.

2) 해당 유체의 1%의 증기가 복수기로 누설 시 터빈에 미치는 영향(재열터빈)

누설위치	화 력		원 자 력	
	열소비율	전기출력	열소비율	전기출력
고압터빈입구	0.83%	0.94%	0.81~0.96%	0.81~0.96%
고압터빈출구	0.53%	0.69%	0.56%	0.56%
중압터빈입구	0.69%	0.69%	0.60%	0.60%
저압터빈입구	0.44%	0.44%	0.60%	0.60%

3) 압력측정에 의한 누설량 감지

누설되는 밸브를 감지하는 다른 좋은 방법은 밸브 하류측 관내압력을 측정하는 것이다. 대부분의 누설된 유량은 복수기로 유입된다. 압력측정의 가장 좋은 위치는 개략적으로 복수기로부터 관 직경의 두 배 떨어진 위치다. 이 방법은 누설된 흐름이 Flash Tank로 유입될 때에도 유용하다. 전체 누설유량(물+증기) 중에서 증기의 부분은 다음 식으로 계산된다.

$$W_s = A_p \times N \times \left(\frac{W}{P_p} \right) \times P_p \quad (1)$$

where, W_s ; Steam part of leakage flow, A_p ; Area of Pipe, (W/P_p) ; Flow function, N ; Restriction factor(see Table), P_p ; Pressure in pipe downstream of valve

<표 4> Restriction Factor, N, as a function of nozzle pressure ratio

P1/P2	N	P1/P2	N	P1/P2	N
1.83&Over	1.000	1.40	0.931	1.16	0.723
1.75	0.998	1.38	0.921	1.14	0.689
1.70	0.995	1.36	0.911	1.12	0.650
1.65	0.991	1.34	0.900	1.10	0.605
		1.32	0.988	1.08	0.552
1.60	0.985	1.30	0.874	1.06	0.487
1.55	0.978	1.28	0.860		
1.50	0.966	1.26	0.843	1.05	0.450
		1.24	0.824	1.04	0.406
1.48	0.960	1.22	0.802	1.03	0.355
1.46	0.954	1.20	0.779	1.02	0.293
1.44	0.946	1.18	0.752	1.01	0.210
1.42	0.939				

위에서 계산된 건포화 증기유량(Dry Saturated Steam Flow)은 증발된 물의 일부다. 총 누설유량은 증발과정 중 엔탈피가 변화하지 않으므로 계산할 수 있다.

$$W_w \times H_{bv} = (W_w - W_s) \times H_{av} + W_s \times H_s \quad (2)$$

where, W_w = Water leakage, W_s ; Steam flow (calculated from Equation 1),

H_{av}, H_{bv} ; = Water enthalpy after and before the valve,

H_s ; Steam enthalpy after the valve

식(2)에서 증발되지 않은 물의 유량을 풀면

$$W_w = \frac{(W_w - W_s) \times H_{av} + W_s \times H_s}{H_{bv}} \quad (3)$$

만약 모든 물이 다 증발되었다면 H_{bv} 는 H_s 와 같거나 더 클 것이다. 그 경우 누설유량을 계산하는 데는 단지 식(1)만이 필요하다.

4) 온도측정에 의한 누설량 감지

누설되고 있는 밸브는 복수기로 유입되는 배관의 온도를 측정함으로써 또한 감지될 수 있다. 온도측정에는 저항온도계 등을 사용할 수 있으며 연속적으로 감시하기 위해서 기록계에 연결할 수도 있다. 온도계는 가능한 한 밸브의 하류 측으로부터 멀리 떨어진 곳에, 그러나 복수기로부터 배관직경의 2배 이내가 되지 않는 위치에 설치한다. 이 위치는 밸브를 통과한 누설된 물이 증발하기 위한 시간을 주기 위해서다. 밸브 하류측 배관온도는 증기의 포화온도에 가까워야만 한다. 그리하여 배관내부의 압력은 증기표로부터 구할 수 있다. 증발에 의해 발생된 증기의 유량은 식을 이용하여 계산할 수 있다. 만약 누설이 과열증기이고 압력이 측정되지 않았다면, 개략적인 유량은 배관의 열손실을 기준으로 하여 계산할 수 있다. 계산에는 나관 상에서 가능한 한 멀리 떨어진 두 지점의 온도측정, 보온재 표면에서 온도측정, 그리고 보온재의 두께가 필요하다.

열손실 q 는

$$q = \frac{T_{pipe} - T_{insulation}}{R} \times L \times D \quad (1)$$

where; q ; Heat loss (btu/hr), R ; Thermal resistance(= ℓ / k), ℓ ; Insulation thickness (feet), $k = 0.022$ btu/hr/ft/°F, L ; Distance between temperature readings (feet), D ; Diameter of pipe (feet)

$$q = \text{Wleakage} \times (T1 - T2) \times Cp \quad (2)$$

where; $(T1-T2)$ = Difference between the two temperature measurements

Cp = Specific heat of steam at a constant pressure

누설량을 결정하기 위해서 식(1)로부터 열손실량을 계산하고 식(2)에 대입한다. 따라서 누설량은

$$\text{Wleakge} = \frac{q}{(T1 - T2) \times Cp} \quad (3)$$

8. 터빈 블레이드의 전형적인 손상원인

가. 피로파괴

- 1) 저 사이클 피로 : 열응력
- 2) 고 사이클 피로 : 진동에 의한 반복 응력

나. 응력부식균열(Stress Corrosion Crack)

부식성 환경. 동익, 고정 핀, Shroud Band, Tenon, Erosion Shield 등에서 발생

다. 침식

- 1) 습증기의 습분에 의하여 저압터빈의 저압단에서 발생
- 2) 보일러관의 산화스케일 유입에 의하여 고, 중압터빈 입구측 블레이드에서 발생

라. 이물질 유입에 의한 충격

운전 중 유입 이물질 혹은 탈락 부품이 블레이드에 충격을 주어 손상이 발생

마. Rubbing에 의한 손상

- 1) 동익의 Rubbing에 의하여 Shroud Band, Tenon 등의 손상이 발생
- 2) 심하면 동익 Tip의 절손(특히 Free Standing Blade의 경우)도 발생
- 3) Rubbing 원인 : 조립시 간극조정 불량과 운전 시 물 유입과 같은 케이싱의 열적 불평형

바. 설계 불량

주로 공진, 마진 부족, 강도 부족 등에 기인하므로 건

설 후 초기 운전시나 수년 내에 문제가 발생하여 노출 되는 경우가 대부분임

사. 제작 불량

모재 재질의 불균일, Erosion Shield 부착 및 열처리시 과도한 잔류응력 발생 등

아. 조립 불량

- 1) 고유진동주파수가 변하여 공진 유발
- 2) Shroud Band 조립시 Tenon을 Over Pinning하면 Tenon 균열 발생

자. 경년열화

- 1) 장기간 운전함에 따른 재질열화로 기계적 성질이 취약해져 균열이 발생, 절손
- 2) 15년 이상 운전된 발전소의 동익 절손은 대부분 이 경우에 해당

차. 터빈 블레이드의 손상시기

운전 후 5년 이내에 블레이드 설계 및 조립에 기인한 문제의 대부분이 블레이드 몸체 및 Root부 균열, Tenon 절손, Shroud Band 탈락 등의 형태로 나타나므로, 블레이드의 손상은 이 기간 중에 가장 많이 발생한다. 정비 후 안정적인 운전이 이루어지다가 15~20년이 경과하면 블레이드의 경년열화에 기인한 손상이 다시 증가하는데 이 경우는 그 동안의 운전상태(부분 부하 운전, 과부하운전, 기동정지 빈도), 정비 정도, 설계 마진 정도 등에 영향을 받는다.

9. 설비의 이상 징후 판별지침

가. 고품입자 침식 징후

- 1) 고압터빈과 중압터빈 모두에 낮은 엔탈피강하효율
- 2) VWO에서 높은 증기유량(정격 교축압력 및 온도 하에서)
- 3) VWO에서 높은 전기출력(정격 교축압력 및 온도 하에서)
- 4) 고 부하 대비 저 부하에서 더 심각한 효율편차(설계 또는 인수치에 비해)
- 5) 빈번한 터빈 기동, 정지 이력
- 6) 터빈의 모든 단에서 정상 압력보다 높은 압력
- 7) 높은 최종급수온도

나. 증기유로 오염 징후

- 1) 고압터빈과 증압터빈 모두에 낮은 엔탈피강하효율
- 2) VWO에서 낮은 증기유량(정격 교축압력 및 온도 하에서)
- 3) VWO에서 낮은 전기출력(정격 교축압력 및 온도 하에서)
- 4) 물/증기 사이클의 오염에 관한 기타 징후(높은 급수기열기의 종단온도차 등)
- 5) 높은 용존산소 수준이나 비정상적인 pH와 같은 수질관리상 문제의 이력
- 6) 복수기 관 누설 이력
- 7) 교축유량에 비해 상대적으로 높은 1단 압력
- 8) 터빈의 모든 단에서 정상 압력보다 낮은 압력
- 9) 운전시간 경과에 따른 효율의 점진적 변화

다. 증기유로의 기계적 손상 징후 또는 Peening (감소영역) 징후

- 1) 해당 단에서의 낮은 엔탈피강하효율
- 2) 정상보다 높은 피닝 영역의 단 압력 (피닝이 첫 단에서 발생할 경우 증기유량과 모든 단 압력은 VWO에서 낮으며 출력도 감소)
- 3) 물/증기 사이클의 오염에 관한 기타 징후 없음

라. N2 패킹(HIP 일체형 케이싱 터빈) 누설증가 징후

- 1) 낮은 고압터빈 엔탈피강하효율에도 불구하고 VWO에서 정상 증기유량 유지
- 2) 특히 낮은 부하에서 증압터빈 겉보기 엔탈피강하효율 증가
- 3) 부하에 따라 일정하지 않은 증압터빈 엔탈피강하효율
- 4) 교축유량에 비해 상대적으로 낮은 1단 압력
- 5) 의도적이거나 우발적으로 권장 기동 및 부하 매개 변수를 초과함에 따라 발생하는 강제 기동의 이력
- 6) 재열저감수량 증가(감소된 재열증기유량 및 고압 터빈효율 때문에)

마. 실 누설 징후

- 1) 반전된 고압터빈효율(즉 효율이 높은 부하보다 낮은 부하에서 높음) 현상 발생
- 2) 고압터빈효율이 낮은 부하에서는 정상인 반면 높은 부하에서는 낮아진 경우
- 3) 교축유량 대비 상대적으로 낮은 전기출력

- 4) 교축유량 대비 낮은 첫 단 압력
- 5) 터빈의 다른 단 압력에 비해 상대적으로 낮은 1단 압력
- 6) 실을 교체한 후 일정한 시간이 경과된 경우
- 7) Steam Seal System의 Seal Steam 공급량 증가
일반적으로 Steam Seal과 내부단락 실은 둘 다 동시에 동일한 방향으로 영향을 받는 경우가 많으므로 Steam Seal이 마모되었을 경우 내부단락 실도 역시 마모되었을 가능성이 매우 크다. 따라서 Steam Seal System의 Seal Steam 공급량이 증가하면 일단 내부단락 실도 증가한 것으로 볼 수 있다.
- 8) 엔탈피강하효율의 저하
누설증기는 일을 하지 않으므로 터빈 증기통로의 정상적인 팽창증기에 비해 온도가 높게 유지되며 터빈효율을 저하시킨다.

바. 제어밸브 디스크와 Stem의 분리 징후

- 1) 밸브 하나를 덜 연 상태에서도 증기유량과 전기출력이 VWO 성능과 동일
- 2) 동일 제어밸브개도 하에서 증기유량 감소
- 3) Stem 굴절부(해당되는 경우)의 압력이 밸브가 열린 것으로 표시된 상태에서 첫 단 압력과 유사
- 4) 제어밸브 위치 변경에 대한 부하 변경의 시각지대

10. 관련 용어해설

가. 제어밸브(가감밸브, 교축밸브, 제어밸브, Governing 밸브)

조정단(Governing Stage)의 노즐 군에 주증기량을 조정하여 유입시키는 밸브

나. 단락(Stage)

한 열의 고정노즐과 한 열의 회전날개(Bucket or Moving Blade)와의 쌍으로 결합되어 있는 터빈의 기본단위

다. 조정단(Governing Stage, Control Stage)

터빈에 유입되는 증기유량을 조정하는 단락. 일반적으로 첫 단 노즐 군의 분할된 각 부분은 각각의 제어밸브에 바로 연결되어 있음.

- 1) 1열 의 조정단(1-Row Governing Stage) : 1조

의 노즐과 1열의 회전날개로 구성된 조정단 (Rateau Turbine)

2) 2열 의 조정단(2-Row Governing Stage) : 1 조의 노즐과 2열의 회전날개와 1열의 증기흐름을 전환하기 위한 고정날개로 구성된 조정단(Curtis Turbine)

라. 단락효율(Stage Efficiency)

한 단락 내에서 열에너지가 기계적 일로 변환되는 비율

마. 엔탈피강하효율(Internal Efficiency)

팽창선 효율 또는 엔탈피강하효율이라고도 하며, 어느 특정한 터빈 단락군에 있어서 사용 열낙차를 단열 열낙차로 나눈 값

바. Bowl : 터빈의 단락(Stage) 또는 단락군 (Section)에서 노즐 전단의 공간

사. 압력

- 1) Bowl 압력 : 단락 입구압력
- 2) Shell(Stage) 압력 : 단락 출구압력
- 3) 첫 단 압력 : 첫 단 출구압력이며, 2단 입구 압력임.

아. 압력비(Pressure Ratio)

터빈의 어느 한 단 또는 단락군에서 출구압력을 입구 압력으로 나눈 값

자. 속도비(Velocity Ratio)

호칭경(Pitch Diameter)에서 날개의 원주속도(U)와 단락의 단열 열낙차에 의한 이론증기속도(V°)의 비, 즉 속도비 = U / V° 임.(여기서 $U = \pi \times$ 호칭경 \times rpm/60 m/s, $V^\circ = \text{SQRT}(2g/A \times \Delta H) = 91.5 \times \sqrt{\Delta H}$ m/s, 호칭경은 터빈 회전날개의 중간지점을 측정 한 터빈 단락의 직경)

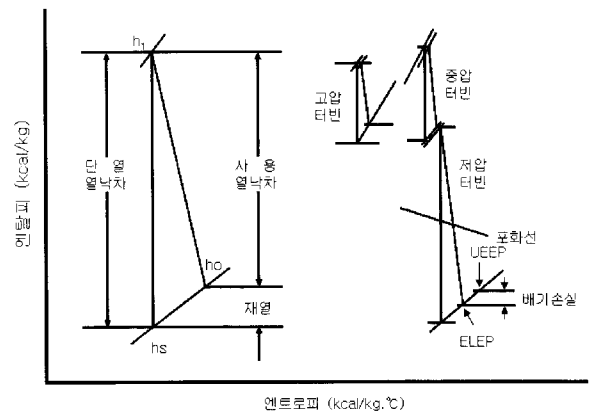
차. 반응도(Degree Of Reaction)

단락의 단열 열낙차 가운데 회전날개 중에서 기계에 너지로 변환되는 비율

카. 밸브환상선(밸브 Loop Curve) 및 밸브점 궤 적선

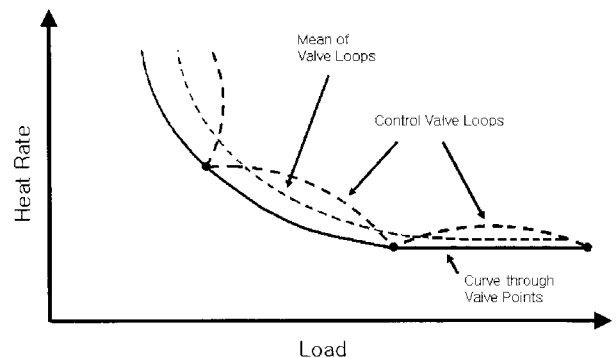
- 1) 밸브환상선 : 제어밸브가 닫힌 상태에서 완전히 열 립에 따라 실제로 발생하는 터빈성능변화의 결과를 밸브환상이라 하며, 전 운전범위에 걸쳐 부하에 따른 실제 터빈의 열소비율 또는 고압터빈효율의

연속적인 곡선



[그림 19] 엔탈피강하효율 산정도

- 2) 밸브환상평균(Mean Of 밸브 Loops) : 밸브환상 선 상에 나타난 열소비율과 동일하게 부하 가중 평균한 열소비율을 완만하게 그린 곡선
- 3) 밸브점(밸브 Point) : 밸브 최적점(밸브 Best Point)이라고도 하며 밸브환상선의 낮은 점, 즉 효율이 최고가 되는 밸브위치
- 4) 밸브전개 : 모든 제어밸브가 완전히 열려 최대 설 계용량에 있을 때를 말함
- 5) 밸브점 궤적선(Locus Curve) : 밸브점을 연결한 연속적인 곡선. 일반적으로 정격부하(Nominal Rate)는 밸브점에서 벗어나고 있어 실제적인 열 소비율은 밸브환상선에서 나타나므로 열효율이 낮 지만, 제작자측에서 제시한 열평형도에 표기된 열 소비율은 밸브점 궤적선 상에 나타나는 효율, 즉 실제 운전효율보다 높은 이상적인 효율을 제시하 고 있다.



[그림 20] Locus Curve

타. 주증기 유량비(Throttle Flow Ratio)

동일한 증기조건하에서 실제 주증기량과 밸브전개 때 의 주증기량과의 비

파. 노즐

위치에너지를 운동에너지로 변환하는 장치

하. 버킷

운동에너지를 회전력 Torque로 변환하는 장치

참고문헌

1. ASME Performance Test Code 6 Steam

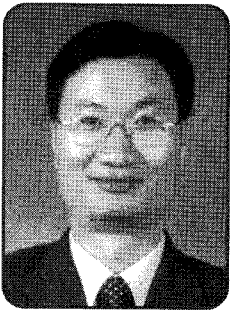
Turbine, 1998

2. Heat Exchange Institute, Inc. Standards for Steam Surface Condensers, 1995, Nine Edition

3. Evaluating and Improving Steam Turbine Performance, K.C,COTTON, 1993

4. 화력 및 복합발전설비 성능시험지침서, 전력연구원, 2007

국내·외 가정용 열병합발전시스템 동향 및 발전방향



한국에너지기술연구원
건물에너지연구센터
책임연구원/공학박사 박병식
Tel : (042)860-3323

한국에너지기술연구원
건물에너지연구센터
선임연구원/공학박사 최재준
Tel : (042)860-3326

1. 서론

최근의 유가파동과 더불어 불안정한 에너지 비용은 전세계인들로 하여금 신재생에너지에 대한 관심을 증폭시켰다. 그러나, 신재생에너지의 태생적인 한계로 말미암은 에너지 용량의 한계 때문에 기존 에너지 시스템의 고효율화에 관심을 더욱 더 기울이고, 발전시켜야 할 필요성을 절실히 느끼고 있다. 열병합발전은 천연가스, 바이오가스, 오일 등의 주요 연료를 유용한 에너지(전기, 난방열, 급탕)로 변화시키는데 가장 효율적인 방법으로 최근의 에너지 위기 시기에 가장 주목해야 하는 기술로 인정을 받고 있다. 이를 광범위하게 사용할 경우 경제, 환경적으로 다양하고도 긍정적인 효과를 볼 수 있으며 자원의 합리적인 이용 및 에너지의 안정적인 공급에 도움이 된다.

열병합발전은 대형공장 및 지역난방용으로서만 사용되는 것이 아니라 소규모 공장, 공공기관 및 가정도 이 기술을 공유할 수 있으며, 관련된 이익을 얻을 수 있다. 전기와 열에너지를 동시에 얻는 것이 가능하며 이를 어디에서는 편리하게 사용할 수 있다. 그리고 열병합발전 시스템은 기본 부하에서 운영할 수 있으며, 1년에 약 4,000시간 이상을 사용할 수 있다.

국내에서의 열병합발전은 100MW 이상의 중대형 열병합발전이 먼저 도입되었으며, 국내 아파트단지를 중심으로 수백kW의 소형 열병합발전시스템이 누진제가 적용되는 국내 가정용 전기가격을 타겟으로 하여 급속히 도입된 전력이 있으며, 현재는 세계적인 유가 상승과 더불어 증가되는 가스값을 감당해 내지 못하여, 또한 증가되는 가스비와는 달리 전기료는 많이 증가하지 않