

열병합발전소의 에너지절약

에너지관리공단 진단기술처장 기술사 김하연
TEL:(0342)7106-140

열병합발전소는 에너지이용효율이 높아 에너지절약 효과가 크기 때문에 정부에서도 열병합발전도입을 촉진하기 위하여 장기저리의 투자비지원과 세제상 조세감면혜택을 부여하는등 다각적인 지원을 실시하고 있으며 일반적으로 열병합발전시설 보유업체는 에너지 다소비업체로서 에너지관리자의 기술수준이 다른업체에 비해 상대적으로 높은편이다.

최근 유가가 큰폭으로 인상되었으나 전력요금은 소폭인상에 그쳐 열병합발전소의 에너지비용 절감효과가 크게 감소되었으며 이에따라 추기복수식 열병합발전시설과 흡수식냉동기를 가동하는 업체는 국가적으로 에너지이용효율향상과 전력안정공급에 크게 기여함에도 불구하고 자체 열병합발전시설을 보유하지 않고 터어보냉동기를 가동하는 업체보다 에너지비용부담이 증가되는 모순이 발생하고있어 에너지가격에 제도적인 개선이 필요한 것으로 분석되고 있다.

본고에서는 지난 십여년간 산업체 에너지관리진단결과 도출된 제반사항을 중심으로 열병합발전설비를 보유한 업체의 에너지관리자가 설비관리상 유의할 사항을 요약 정리 하였으며 귀사의 에너지절약추진에 다소나마 도움이 될것으로 기대한다.

초과할 때 사용됨.

증기보일러 형식에는 여러가지 종류가 있으나 다음설비가 주로사용된다

▶ 수관식보일러

용량이 10t/h를 초과 하거나 사용증기압력이 10kg/cm²이상 높은경우에 주로사용된다.

증기드럼이 작기 때문에 증기부하변동이 심한 곳에서는 부하추종운전이 어렵다

▶ 노통연관식보일러

용량이 10t/h이하이거나 증기사용압력이 10kg/cm²이하로 높지않은곳에 주로사용된다

증기용량이 크므로 부하변동에 적응력이 높고 가격이 저렴하나 안전사고시 재해발생이 크다.

▶ 관류보일러

용량이 3t/h 미만인곳에 주로사용하며 전자동운전이 용이하고 효율이 높은편이나 경유등 경질유를 사용하여 연료비가 높고 수질관리를 잘해야 보일러성능이 저하되지 않는다

전열매체로서 증기, 고온수, 열매유의 특성을 비교하면 다음과 같다.

<각 열매체별 특성비교 >

항 목 구 분	증 기	고 온 수	열 매 유
1.단위중량당열량	대단히많다	중간정도	적 다
2.재료비	싸 다.	싸 다	비 싸다.
3.전열계수	크 다.	중간정도	적 다
4.고온공급	부적합	부적합	적합
5.온도변화	일정한온도	온도저하	온도저하
6.순환펌프	불필요	필 요	필 요
7.배관크기	작 다	크 다	크 다
8.제어특성	용 이	곤 란	곤 란
9.온도조절	감압에의한조절	곤 란	곤 란
10.증기트랩	필 요	불 요	불 요
11.재증발손실	발 생	없 음	없 음
12.부루오다운	필 요	불 요	불 요
13.배관부식	있 다	적 다	없 다
14.화재위험	없 다	없 다	높 다
15.배관방식	별문제없음	후랜지방식	용접이필수적

1. 보 일 러

가. 보일러의 종류와 형식선정

◎ 보일러는 크게나누어 증기보일러, 온수보일러, 열매체보일러로 구분된다.

▶ 증기보일러

주로 산업체에서 열사용처의온도가250°C이하의 온도범위에서 주로이용됨.

▶ 온수보일러

주로 건물,아파트에서 이용되며 열사용처의 온도가 150°C이하의 온도범위에 이용됨

▶ 열매체보일러

주로 산업체에서 열사용처의 온도가 250°C를

나 보일러의 용량 및 대수선정

◎ 계절별 부하변동이 큰 경우

겨울철 난방부하가 큰 경우에는 보일러별로 용량을 달리하여 겨울철에는 용량이 큰 보일러를 가동하고 여름철에는 용량이 적은 보일러를 가동하는 것이 설비 및 효율관리 측면에서 유리하다.

그러나 겨울철에 stand-by보일러가 필요한점을 감안하면 보일러가 3대 이상이 필요하다.

◎ 계절별 부하변동이 적은 경우

보일러의 용량을 균일하게하여 부하변동시 대수 제어 운전을 실시하는 것이 설비 및 효율관리 측면에서 유리하다.

이러한 경우에는 stand-by 보일러수가 감소하게 되므로 최소2대의 보일러로도 열수요를 감당할 수 있고 설비용량이 동일하므로 부품의 호환성이 좋아 설비유지관리에 유리한점이 많다.

◎ 보일러 상시운전대수

원칙적으로 고효율보일러 1대로 보일러 부하를 감당하는 것이 바람직하다. 일반적으로 보일러운전 장애 발생시 증기공급중단을 방지하기 위하여 2대 이상의 보일러를 저부하로 상시가동하는 업체가 많으나 이러한 경우에는 보일러 운전부하가 낮아져 보일러효율이 저하되고 급수펌프, 송풍기 등의 소비전력이 증가되며 설비수명이 짧아지고 유지보수비가 많아져 각종 손실이 증가된다. 그러나 보일러의 부하변동이 심한 경우에는 관류보일러 등 소용량 보일러를 다수설치하고 부하의 변화에 따라 대수제어운전을 하는 것도 효율 및 설비관리 측면에서 바람직한 방법이 될 수 있다.

다. 보일러 중점관리대상

보일러의 고효율 운전을 위해서는 연료 및 연소관리, 급수 및 관수등 수질관리, 배가스 폐열회수등 다각적인 관리가 필요하나 보일러의 효율관리지표로는 다음사항을 중점관리 하도록 한다.

◎ 공기비관리

보일러 성능관리중 가장 1차적인 관리대상으로서 부하 변동이 심한 경우에도 항상 적정공기비 유지가 가능하도록 관리되어야 하며 공기비는 액체연료의 경우 12수준, 기체연료의 경우 1.1수준으로 관리하면 적정한 것으로 볼 수 있다.

◎ 배가스온도

보일러 및 공기에열기의 전열면오염을 방지하여 외부로 배출되는 최종배가스 온도를 최대한 낮게 유지한다. 보일러의 배가스온도의 변화추이를 주기적으로 체크하면 보일러의 성능저하여부를 용이하게 판단할 수 있으며 배가스 상승시에는 연소실에 끄르름이 부착하거나 관내에 스케일이 형성된 것으로 볼 수 있으므로 전열면을 청결하게 유지한다. 적정 배가스 온도는 연료종류 및 가격에 따라 차이가 있으나 열병합발전소의 경우에는 150°C수준 이하로 관리하면 양호하다. 일반적으로 배가스온도를 20-25°C 낮추면 연료가 1%절감 되는 것으로 판단해도 큰 무리가 없다.

◎ 급수온도

보일러 급수온도를 7-8°C 높이면 연료 1%절감이 가능하며 따라서 증기응축수, 보일러배가스열, 공정 폐열 등을 최대한 회수하여 급수온도를 높게 유지하는 것이 에너지절약의 지름길이다.

◎ 설비보온

보일러의 표면온도를 측정하여 표면온도와 주변온도와 의 차가 20°C 이상이면 보온강화 방안을 강구한다.

라. 적정공기비 유지방안

보일러 에너지관리의 가장 1차적인 관리대상은 적정공기비 유지라고 볼 수 있으며 적정공기비 유지를 위해서는 먼저 성능이 우수한 버너를 선정하고 배가스 배출구에 산소분석계를 설치하여 산소농도를 항상 3.5% 이하로 유지하도록 하여야 한다.

◎ 고성능 버너선정

열사용처의 증기부하 변동이 비교적 큰 경우에는

다소 초기투자비가 증가하더라도 턴다운비가 큰 고성능버너를 채택하여 저부하시에도 적정공기비 유지되도록 하는 것이 바람직하다. 공기비가 높을 때에는 공연비조절장치를 조정하면 적정 공기비 유지가 가능하며 자체조정이 어려운 경우에는 버어너제작업체에 의뢰하거나 연소관리 전문업체에 의뢰하여 공연비를 조정하는 것이 바람직하다.

◎ 공기비 산정

적정공기비 유지를 위해서는 배가스중의 산소또는 탄산가스를 측정하여 공기비를 산정하여야 하며 일반적으로 배가스라인에 산소분석센서(지르코니아 센서)를 부착하여 산소농도를 측정하여 공연비를 자동제어하는 방식이 가장 많이 이용되고 있다. 배가스중 산소농도를 측정하여 공기비를 산정하는 방식은 다음과 같다.

$$\text{공기비} = \frac{21}{21-O_2}$$

마. 버어너 선정시 유의할점

보일러의 부속장치중 가장 핵심적인 설비는 버어너이며 보일러의 효율은 사실상 버어너에 달려 있다고 해도 과언이 아니며 가장 중요한 것은 버어너의 화염형상과 보일러연소실 형상이 잘 조화되어야 한다. 따라서 보일러 설치시에는 버어너를 먼저 선택한후 버어너의 화염형상에 맞도록 보일러 연소실을 설계하여야 한다. 버어너 선정시 고려할 사항으로는

◎ 넓은 부하범위에서 적정공기비 유지

버어너선정시 가장 유의할 점으로는 연소부하의 변동시에도 항상 적정공기비를 유지하는 것이며 성능이 우수한 버어너일수록 넓은 부하범위에서 적정 공기비를 유지할 수 있다. 버어너의 성능을 나타내는 지표인 턴다운비는 적정공기비 유지범위내에서 최대연소량과 최소연소량의 비를 나타낸다

중소규모 보일러의 중유연소용으로 많이 사용되고 있는 로터리버너는 가격이 저렴한 잇점이 있으나 부하변동이 심한곳에서는 공기비제어성능이 떨어지므로 가능한 성능이 우수한 스팀젯터버너 등을 선

정하는 것이 바람직하다. 그러나 최근에는 로터리버너 중에서도 넓은 연소범위에서 우수한 공연비 유지가 가능한 고성능 로터리버너도 보급되고있어 이의 사용도 바람직하다.

◎ 환경배출기준 충족여부

연소과정에서 배출하는 대기오염물질은 분진, 질소산화물, 황산화물이 있다. 따라서 버너선정시에는 이러한 대기오염물질 배출을 최소화 할수있는 버너를 선정하는 것이 중요한 과제이다. 최근에는 분진배출 규제치가 점차 강화되고 있어 배기관리에 어려움을 겪고 있으며 지금까지는 질소산화물 배출규제가 엄격하지 않았으나 앞으로는 질소산화물 배출규제가 강화될 전망이어서 버어너 선정시 이에대한 대책도 강구할 필요가 있다.

바. 배가스 온도관리 및 배열회수 이용방안

보일러 효율 향상을 위해서는 배가스온도를 가급적 낮게 유지할 필요가 있으며 배열회수 장치로는 과열기, 급수예열기, 공기예열기 등을 설치한다.

◎ 노통연관식 보일러의 배열회수

저압보일러의 경우 노통연관식은 공기예열장치를 부착하지 않는 경우가 많으나 이것은 일반적으로 노통연관보일러의 배가스온도가 높지않고 공기예열기 부착시 연소실 내부압력이 증가되어 버어너의 분무성능 저하요인이 될 수있기 때문이다. 따라서 노통연관보일러의 배가스온도가 높은 경우에는 1차적으로 연관청소를 실시하여 끈으름을 제거하고, 2차로 보일러 내부의 스케일형성여부를 점검하여 전열저항이 발생하지 않도록 수질관리를 강화한다. 이러한 조치후에도 배가스온도가 높을 경우에는 공기예열기를 부착하여 연소용공기를 예열하는 방안을 검토한다.

◎ 수관식보일러

수관식보일러는 공기예열기가 부착되는 경우가 대부분이며 배가스온도가 높을 경우에는 1차적으로 연소실과 공기예열기의 전열면청소를 실시하여 전열효과를 상승시키고, 2차적으로 보일러 내부스케

일을 제거하며 이러한 조치후에도 배가스온도가 높을 경우에는 공기에열기 전열면적 증대를 적극 검토한다.

◎ 폐열회수 장치 설치순서

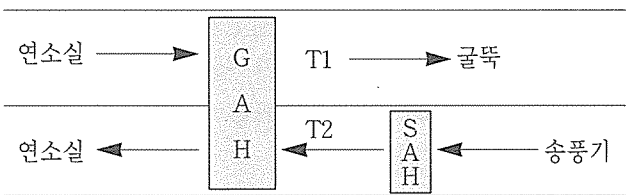
보일러 내부의 전열패턴을 보면 연소실에서는 주로 복사전열에 의해 보일러내부로 열전달이 일어나며 연소가스가 수관군을 통과할때에는 대류전열에 의해 전열이 이루어진다. 배열회수장치의 설치순서로는 열사용처의 온도범위에 맞추어 일반적으로 연소실 → 과열기 → 급수예열기(절탄기) → 공기에열기의 순으로 설치된다.

◎ 냉단온도관리

대용량보일러의 경우에는 공기에열기(GAH)후단에 증기가열기(SAH)가 설치되어 있으며 이때에는 공기에열기의 부식발생을 방지하기 위하여 냉단온도(COLD END TEMPERATURE)기준에 맞추어 증기가열기 예열온도를 조정하면 배가스온도를 목적하는 온도로 조정가능하다.

냉단온도란 공기에열기의 저온부식을 피할 수 있는 최저온도로서 보일러에서 사용하는 연료의 종류, 황함유량, 공기에열기의 재질 등에 따라 각각 다르게 되나 일반적으로 연료중의 황함유량이 1.0% 수준이고 공기에열기 재질로서 연강을 사용할 경우 냉단온도를 105°C정도 유지하면 공기에열기의 부식을 방지할 수 있다

$$\begin{aligned} \text{냉단온도} &= \frac{\text{최종배가스온도} + \text{SAH예열후 급기온도}}{2} \\ &= \frac{T1 + T2}{2} \end{aligned}$$



사. 보일러 급수 수질관리

보일러 내부에 스케일이 형성되면 보일러효율이 크게 저하되기 때문에 보일러 수질관리는 효율향상

및 안전관리 측면에서 대단히 중요하다. 보일러 수질관리 대상으로는 보일러에 깨끗한 물을 공급하기 위한 급수관리와 보일러 내부에 스케일부착을 방지하기 위한 관수관리가 있다.

보일러 급수로는 순수가 가장 바람직하나 순수제 조비용이 많이 들기 때문에 발전소등 고온 고압증기를 필요로 하는곳에만 순수를 주로 사용하고 있다.

◎ 순수처리장치 계통



◎ 저압보일러 급수관리

일반적으로 저압보일러용 급수처리는 원수를 양이온교환수지장치까지 처리한 연수를 주로 사용하고 있으며 저압 보일러 급수관리 기준은 경도성분을 1PPM이하로 낮게 유지하여야 스케일형성을 방지할 수 있다. 보일러급수며 수질분석을 정밀하게 하는 것은 고가의 장비와 시약, 전문지식이 필요하기 때문에 중소기업에서는 어려움이 많으며 현장조업자가 용이하게 수질관리를 하는 방법으로는 전기전도도미터를 구입하여 보일러로 급수되는 물의 전기전도도가 50μS/cm 이하 수준으로 유지되도록 관리하면 저압보일러의 경우 비교적 무리없이 스케일 형성방지가 가능하다.

<각종 수질분석결과 참고치 >

구분	중류수	응축수	순수	수도수	공업용수
전기전도도(μS/cm)	3.13	3.36	0.53	157.7	202
TDS(mg/l)	2.07	2.23	0.54	105.2	134.6
전기저항(MΩ.cm)	0.32	0.30	1.25	0.006	0.005

아. 캐리오버의 원인과 대책

캐리오버란 보일러 물중에 용해 또는 부유한 고형물이나 물방울이 보일러에서 발생한 증기에 혼입되어 외부로 배출되는 현상을 말하며 물방울에 의한

프라이밍과 불순물에 의한 포오밍으로 구분되고 캐리오버에 의한 주요장해는 다음과 같다.

◎ 캐리오버의 장해

- 증기전도가 저하된다
- 수면계의 수위확인이 어렵다.
- 안전밸브, 각종계기가 오염되어 작동장애 요인이 된다.
- 과열기로 물이 들어가 온도조절이 어렵다.
- 자동제어계통 검출단의 기능장애요인이 된다.
- 워터햄머를 일으켜 배관손상 요인이 된다
- 식품공장의 경우 제품품질 손상요인이 된다.

◎ 캐리오버의 원인과 대책

원 인	대 책
1. 증기부하가 클 경우	연소량을 낮춘다
2. 주증기밸브를 갑자기 열 경우	밸브를 잠그고 수위안정시 까지 기다린다
3. 고수위 운전시	일부를 부로우시키고 새로 운 물을 급수한다
4. 부유물, 유지, 불순물 존재시	급수 수질관리를 강화한다
5. 과도하게 농축될 때	부로우다운량을 증가시킨다
6. 수질이 산성일 때	압력계, 연락관을 분출시킨다
7. 실리카 농도가 높을 때	급수수질을 개선하고 압력 계를 점검한다.
8. 기타	기수분리기를 점검한다

자. 가스연료 대체시 유의사항

◎ 증유를 가스로 대체시

연료중의 가연성분은 주로 탄소와 수소이다. 연료의 특성을 나타내는 단위로 탄수소비(C/H RATIO)가 있으며 증유는 탄수소비가 높기 때문에 연소시 밝은 오렌지색 화염을 형성하며 이러한 화염은 휘도가 높기 때문에 복사전열이 잘된다. 따라서 증유 연소보일러 설계시에는 복사전열면적을 늘이고 대류전열부의 비중을 낮추도록 설계된다.

반면 가스연료의 경우에는 탄수소비가 낮기 때문에 청색의 화염을 형성하게 되고 가스연소화염은 휘도가 낮아 복사전열효과가 크게 감소되므로 가스보일러 설계시에는 휘도가 높은 버어너를 선정하고

대류전열부에서 충분한 전열이 이루어지도록 설계가 이루어진다. 따라서 기존 증유연소 보일러를 가스연료로 대체시 보일러를 교체하지 않고 버어너만 교체하게 되면 대류전열면적이 부족하여 배가스온도가 상승하고 보일러 효율이 저하되므로 설비가동율이 높은 보일러의 연료대체시에는 가급적 보일러를 교체하는 것이 에너지이용 효율향상 측면에서 바람직하다.

2. 증기 및 응축수관리

가. 증기의 열적 특성

◎ 증기를 사용하는 이유

요.를 제외한 대부분의 열사용처에서 필요로 하는 온도는 300°C를 초과하는 곳이 드물다. 따라서 건조, 증발, 농축, 증류, 난방과 같이 가열온도가 낮은 공정에서는 연료를 직접연소시키면 적정온도 관리가 어렵기 때문에 연료의 연소열을 열사용처에 전달하는 매체로서 증기를 많이 사용하고 있다. 증기는 물을 가열하여 기체상태화한 것으로 값이 싸고, 구입이 용이하며, 누설시에도 오염이 없고 보유열량이 크기 때문에 적은배관으로 많은열을 수송할 수 있으며 제어도 용이하기 때문에 널리 사용되고 있다.

◎ 증기사용시 가열온도범위

증기는 주로 잠열을 이용하게되나 가열온도가 높게되면 증기압력이 높아져 설비구조가 견고해야 하기 때문에 가열온도에 제약이 따른다. 일반적으로 가열온도가 250°C를 초과하게되면 증기압력이 40 ata이상의 고압이 필요하기 때문에 증기대신 열매체를 사용하고 있다.

◎ 증기압력별 포화온도 간이계산법

증기압력별 포화증기는 증기표를 보아야 정확하게 알수있으나 현장에서 증기압력별 포화온도를 판단할수 있는 방법으로는 게이지압력에 1을 더하여 절대압력으로 고친후 루트를 두번 씌우고(1/4승) 여기에 100을 곱하면 증기의 포화온도와 대략 일치

한다. 실제예로서 증기압력 3kg/cm.g인 포화증기 에 대하여 위방식을 적용하면 3kg/cm.g증기의 포화온도는 141.4°C정도로 산출되며 이온도는 증기표상의 실제증기포화온도인 142.9°C와 비교할 때 온도차가 1.5°C에 불과하므로 현장에서 개략적인 증기압력별 포화온도 판단에 큰 무리가없다.

나. 증기의 질

증기는 물을 가열시켜 증발시킨 상태이기 때문에 엄밀히 말하면 물과 증기의 혼합물로 볼 수 있으며 물이 많이 포함되면 증기의 질이 저하되기 때문에 열사용처에 장애가 발생한다. 증기의 질을 나타내는 단위로 증기건도를 사용하며 건도에 의해 증기를 구분하면 다음과 같다.

◎ 건도에 의한 증기분류

- 건도 0 일 때 : 포화수
- 건도 1 일 때 : 건포화증기
- 1 < 건도 : 과열증기
- 0 < 건도 < 1 : 습증기

증기건도는 KS기준에 과열기가 설치되지 않은 보일러의 경우 증기건도가 98%이상이어야 하며 보일러 수질관리가 미흡할 경우에는 캐리오버가 발생하여 증기건도가 저하되므로 기수분리기를 설치하고 수질관리를 철저히한다.

◎ 습증기의 엔탈피 계산방법

$$h'' = h' + x \times r \text{ 이 되며}$$

여기서 h'' : 증기엔탈피(kcal/kg)

h' : 포화수현열(kcal/kg)

x : 증기건도 r : 증기잠열(kcal/kg)

◎ 증기건도저하시 문제점

- 증기소비량이 증가된다.
- 재증발증기 손실이 증가한다.
- 가열시간이 길어진다
- 설비수명이 단축된다.

◎ 증기건도저하원인

- 증기발생압력이 지나치게 낮을 때

○ 피크부하에 의해 증기압력이 순간적으로 떨어지는 경우

○ 급수수질불량으로 보일러수면에 거품이 생성될 때

(관수의 총고형물이 2,000ppm에서 3,000ppm으로 증가될 때 증기건도는 95%에서 65%로 저하됨)

스팀헤더에서 채취한 응축수의 ph가 7이 아니거나, 총고형물이 0ppm이 아니거나, 스팀헤더밸브시스템에 현약품이 생성되면 캐리오버가 발생하는 것으로 볼수있으므로 캐리오버억제방안을 강구하여야 한다.

다. 증기소비량 계산방법

증기사용량 계산방법은 직접증기를 사용하는 경우와 열교환을 통한 간접가열의 경우에 각각 계산방법이 다르며 각각의 계산방법은 다음과 같다.

◎ 직접증기 분사가열시

증기를 사용하여 온수를 만들 때 많이 사용되며 직접증기를 사용하는 경우의 증기소비량 계산식은 다음과 같다.

증기사용량(kg/h) =

$$\frac{\text{피가열물중량(kg/h)} \times \text{비열(kcal/kg}^\circ\text{C)} \times \text{가열전후온도차}(\text{}^\circ\text{C)}}{\text{증기엔탈피(kcal/kg)} - \text{가열후온도에서물엔탈피(kcal/kg)}}$$

◎ 열교환기사용시

대부분의 증기사용처에서는 열교환기를 설치하여 공기 물 등을 간접적으로 가열하고 있다.

증기사용량(kg/h) =

$$\frac{\text{피가열물중량(kg/h)} \times \text{비열(kcal/kg}^\circ\text{C)} \times \text{가열전후온도차}(\text{}^\circ\text{C)}}{\text{증기잠열(kcal/kg)}}$$

위식에서 알 수 있는 바와같이 열교환기를 사용하여 가열하는 경우에는 주로 증기잠열만 이용가능하나 직접증기 분사가열의 경우에는 잠열과 현열을 모두 이용할수 있기 때문에 에너지이용효율이 높다고 볼 수 있다.

배관설계를 위한 증기소비량 계산은 위와같은 방법으로 계산하게 되나 실제설비가동시 증기소비량

은 방열 및 기타손실열량이 추가되어야하며 가열온도의 높고낮음, 피가열물의 종류(액체,기체)에 따라 각각 달리 적용하여야 하고 간접가열의 경우에도 열색기등 배치식 온수가열시에는 잠열이외에 현열이용도 가능하게되어 실제증기소비량은 계산치보다 감소하게되는점 등을 면밀히 검토하여야 한다.

라. 배관설치시 고려사항

◎ 증기압력 및 배관경선정

증기압력에 따라 비체적이 달라지고 이에따라 동일배관직경인 경우에도 증기수송능력이 달라지므로 공장설계시 증기압력 및 배관경 선정시 증기사용설비별로 정확한 수요예측과 증설계획 등을 반영하여야 한다.

증기수송거리가 먼 경우에는 가급적 공급증기압을 높이는 것이 배관경을 축소할수있어 유리하다.

◎ 배관구배

증기 및 응축수배관에서 적절한 기울기를 부여(1/250 정도)하여 증기 및 응축수가 흐르는 방향으로 배관을 점차 낮게하므로써 응축수배출을 원활하게하는 것은 대단히 중요하며 중소기업체의 경우 배관구배가 잘못되어 설비장애를 초래하는 경우가 많으므로 주의가 필요하다.

◎ 신축흡수장치

증기관은 내부증기온도 압력에 따라 신축이 일어나기 때문에 배관신축을 흡수하기 위하여 익스팬션을 설치하여야 하며 일반적으로 루프형 익스팬션이 이용되나 설치공간이 협소하거나 미관을 고려하는 경우 슬립익스팬션, 벨로우즈익스팬션, 볼조인트등도 많이 이용된다

◎ 연결지관

증기관이나,응축수회수관은 먼저 주관을 설치하고 분기관을 연결하게되며 이때 증기분기관은 반드시 주증기관의 상부에서 인입하도록 배관을 설치하여야하고 증기배관중의 응축수제거를 위한 응축수회수관(증기관30-50m마다 1개소씩설치)은 증기관 하부에 드레인 포트를 설치하여 트랩으로 인입되도록

배관을 설치하여야 양질의 증기공급이 가능하다.

마. 증기배관 직경선정

◎ 증기압력과 비체적

대부분의 업체에서 증기배관은 공장건설 초기에 부설하게되고 그후 설비증설시에 증기지관을 주관에 계속 연결하는 형태가 대부분이다. 이러한 경우 증기사용량이 지속적으로 증가되면 배관의 증기수송능력이 부족하여 증기유속이 증가되고 이에따라 배관에서의 증기압력강하가 심하게 되어 필요로 하는 증기량을 얻을수 없고 설비침식 및 워터햄머의 원인이 된다.

반대로 증기관경이 지나치게 크면 투자비가 증가되고 방열손실 증가요인이 된다. 증기보유열량은 증량을 기준으로 계산되며 증기압력이 낮아지면 증기비체적이 급속히 증가되므로 5kg/cm.g 이하의 저압 증기를 사용할 때에는 배관의 증기수송능력이 급속히 저하되므로 주의를 요한다.

〈증기압력과 비체적과의 관계〉

구분 \ 압력(ata)	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0	20.0
비체적(m ³ /kg)	3,300	1,725	0,902	0,382	0,198	0,101
백분율(%)	100	52	27	12	6	3

위표에서 알 수 있는 바와같이 증기압력이 저하되면 비체적이 급속히 증가되므로 배관투자비를 고려할 때 증기압력은 최소 5kg/cm.g이상으로 유지하는 것이 바람직하다.

◎ 증기속도기준 배관경선정

증기관을 통과하는 증기속도를 가정하여 수송증기의 비체적과 증기단면적을 연관시켜 계산하며 건포화증기의 속도는 25m/s 정도로 선정하면 무리가 없다. 배관내 증기속도가 35m/s를 초과하면 소음과 침식의 원인이 되므로 환경선정시 주의할 필요가 있다.

증기관경계산식은 다음과 같다.

$$d(m) = \sqrt{\frac{\text{증기량(kg/h)} \times \text{비체적(m}^3\text{/kg)}}{\pi \times 900 \times \text{증기속도(m/s)}}$$

◎ 증기압력기준 배관경선정

일정거리의 배관을 통과한 증기는 배관내 압력손실에 의한 압력강하가 있게되므로 원거리에 있는 증기사용처에 증기를 공급할 경우에는 증기사용처의 증기압력과 증기수송중의 압력강하를 고려하여 배관직경을 선정 하여야 한다. 증기배관중의 압력손실계산식은

$$\text{압력손실} = \text{마찰계수} \times \frac{\text{배관길이}}{\text{배관직경}} \times \frac{\text{증기속도의}^2 \text{ 제공}}{2 \times \text{증력가속도}}$$

이 되므로 배관직경이 작아 증기속도가 증가하게 되면 압력손실이 크게 증가된다. 따라서 증기수송을 효율적으로 하기 위해서는 증기공급압력을 가능한 높이고 증기사용설비 직전에 감압밸브를 부착하여 증기사용설비에 공급하는 방안이 증기의질 및 배관 투자측면에서 바람직하다.

바. 증기트랩 종류와 특성

증기트랩의 증기사용설비의 응축수배출구에 설치되어 증기가 외부로 배출되는 것을 방지하고 응축수만 배출하도록 하는 기능을 갖고있으며 따라서 트랩관리는 증기관리상 대단히 중요한 부분이다.

〈증기트랩 종류와 특성〉

구분	작동원리	구조에 의한 분류
메커니컬트랩	증기, 응축수의 비중차	버킷형(상향버킷,하향버킷) 후로트형(레버식,후리후로트식)
씨모스테이틱 트랩	증기, 응축수의 온도차	금속팽창형 액체팽창형 증기팽창형 바이메탈형
씨모다이나믹 트랩	증기, 응축수의 열역학특성차	오리피스형 디스크형

◎ 증기트랩 부착이 필요한곳

- 보일러출구 증기헤더
- 감압밸브,기타자동조절밸브의 앞부분
- 익스팬션의 앞부분
- 증기수송관의굴곡부
- 입상배관의 하부
- 증기사용설비 앞부분

〈배관구경별 증기송기량(kg/h)〉

(증기속도 25m/s기준)

관경(mm) 압력(kg/cm.g)	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
0.4	10	25	40	62	92	162	265	384	675	972	1457	2806	4101	5936
0.7	12	25	45	72	100	182	287	430	716	1145	1575	2816	4629	6204
1.0	12	26	48	72	100	193	300	445	730	1160	1660	3099	4869	6751
2.0	19	43	70	112	162	295	428	656	1215	1755	2520	4815	7425	10575
3.0	26	56	100	152	225	425	632	910	1580	2480	3440	6779	10269	14316
4.0	30	63	115	180	270	450	742	1080	1980	2925	4225	7866	12225	17304
5.0	36	81	135	211	308	548	885	1265	2110	3540	5150	8865	14268	20051
6.0	43	97	162	253	370	658	1065	1520	2530	4250	6175	10629	17108	24042
7.0	49	114	190	288	450	785	1205	1750	3025	4815	6900	12288	19377	27080
8.0	54	122	205	320	465	810	1260	1870	3240	5220	7120	13140	21600	33210
10.0	66	145	257	405	562	990	1530	2205	3825	6295	8995	15966	25860	35890
14.0	85	195	331	520	740	1375	2080	3120	5200	8500	12560	21720	34139	47128

◎ 트랩종류별 장단점 비교

트랩종류	장 점	단 점
상향버켓형	작동확실 전기누설없음	형상이 크다 배기성능이 취약 동결우려
하향버켓형	배기성능양호	설치곤란 동결우려 효율이 나쁘다
레버식후로트형	경부하에 유리	위터햄머에 취약 레버의 고장이 많다
후리후로트형	소형경량 구조간단 연속배출 정속작동 보수용이	위터햄머 대책필요
벨로즈형	응축수온도 제어가능 배기성능양호	위터햄머에 취약 고압에 부적합 과열증기에 사용불가
바이메탈형	동결우려가 없음 고장적다 배기성능양호	과열증기에 사용불가 온도차 크다 사용중 메탈특성 변화
오리피스형	소형경량 과열증기 사용가능	정밀부품의 고장이 많다 증기누설 배압제한(30%)
디스크형	소형경량 구조간단 과열증기사용가능 위터햄머에강함 포화온도의 응축수배출	배압제한(50%) 저압제한(0.3kg/cm ²)

사. 증기설비별 트랩선정

설비명	적정 트랩	비고
1.증기주관 관말	디스크식	
2.기수분리기	후로트식	증기관
3.난방열교환기	후로트식	에어벤트내장
4.라지에타	벨로즈,다이어프램	
5.유니트 히타	후로트식	에어벤트내장
6.방열판,파이프	후로트식	에어벤트내장
7.이증자켓슐	후로트식	식당
8.증기오븐	벨로즈,다이어프램	식당
9.증발기	후로트식	에어벤트내장
10.열풍건조기	후로트식	에어벤트내장
11.건조실린더	후로트식	에어벤트내장식

설비명	적정 트랩	비고
12.아이론,카렌다	후로트식	세탁소
13.의류프레스	디스크식	
14.온수조가열	후로트식	에어벤트내장
15.증류기,다이제스터	후로트식	에어벤트내장
16.가류기	버켓식	에어벤트병열설치
17.다단식프레스	디스크식	
18.열관	벨로즈,다이어프램	
19.대용량 저장탱크	후로트식	에어벤트내장
20.스팀트레이싱	벨로즈,다이어프램	

아. 스팀트랩 점검방법

◎ 대기방출에 의한 점검

증기트랩이 증기를 누출하면 육안으로 손쉽게 확인할수 있으므로 가장 손쉬운 트랩점검방법이나 이때에는 점검자가 각트랩형식별 배출특성을 정확하게 이해하고있고 생증기와 재증발 증기를 구분할수 있어야 바른 점검을 할 수 있다. 또한 디스크트랩은 배출특성상 배압의 영향으로 작동불량이던 트랩이 대기방출 점검시에는 정상작동으로 바뀔수 있으므로 주의를 요한다.생증기 색깔은 약간 푸른빛이나 재증발증기는 수분이 많아 백색을 띤다.

◎ 사이트 그라스에 의한방법

육안에 의해 스팀트랩을 점검하는 방법으로 트랩 후단에 유리점검구를 설치하여 내부불의 작동상태로 트랩의 정상작동여부를 파악할수있어 매우 효과적이나 초기투자비가 증가되는점과 사용압력의 한계,배관내에 이물질이 많을 경우에는 유리면이 쉽게 오염되어 수명이 단축되는점 등을 고려할 필요가 있다.

◎ 초음파 누출탐지기에 의한 점검

유체가 오리피스를 통과할 때 발생하는 초음파가 배관에 손쉽게 흡수되는 특성을 이용하여 초음파탐지기로 트랩의 정상작동을 확인할 수 있다.

만약 증기트랩에서 응축수만 배출하는 경우에는 초음파가 발생하지 않으나 증기를 배출하는 경우에는 통과 속도가 대단히 빠르기 때문에 다량의 초음파가 발생하여 트랩작동상태를 파악할수 있으나 실

제사용시에는 숙련이 필요하다.

◎ 전기전도도에 의한방법

트랩작동상태를 무인으로 원격점검이 필요한 경우에 사용되며 증기와 응축수의 전기전도도차이를 이용하여 트랩앞단에 설치한 감지센서가 응축수와 접촉하면 파란불을, 증기와 접촉하면 빨간불이 점등되므로 트랩작동상태를 정확하게 파악할수 있으나 초기투자가 증가되는 결점이 있다.

자. 증기감압효과

증기사용처별로 필요한 증기압력을 맞추어 공급하기 위해서는 보일러에서 고압증기를 발생시키고 증기사용처별로 감압밸브를 설치하면 증기배관설치비 절감과 증기품질향상을 도모할수 있으며 감압시 효과는 다음과 같다.

◎ 에너지절약

증기발생처의 압력을 최대한 높이고 증기사용처의 압력을 최대한 낮출수있어 증기이용효율 극대화가 가능하다. 특히 증기사용설비의 압력을 낮출수록 증기잠열이 증가되고 응축수손실이 감소된다.

◎ 증기의 건도향상

감압을 하게되면 증기가 보유한 총열량은 변하지 않으나 현열량은 감소하게 되므로 증기건도가 향상된다. 100%건조한 증기를 감압하게되면 이론적으로는 과열증기로 변하게 되나 실제로는 습증기로 공급되는 것이 대부분이므로 감압에 의해 과열증기로 변하는 경우는 많지않고 증기건도가 향상된다.

◎ 배관비절약

고압증기 수송시 증기비체적이 감소하여 증기수송용량이 증대되므로 증기관경을 작게할수있어 배관비를 크게 줄일 수 있다.

◎ 일정온도유지

감압을 하게되면 증기압력을 일정하게 유지할수 있고 증기압력이 일정하면 증기온도도 일정하게 유지되므로 균일한 열공급이 가능하다. 증기온도가 포

화온도보다 낮은경우에는 공기빼기장치를 부착한다.

◎ 생산성향상

증기의 안정적 공급과 일정온도 유지가 가능하게 되므로 증기사용설비의 성능과 생산성 향상효과를 거둘수 있다.

◎ 감압밸브 설치시 유의할점

- 감압밸브는 가급적 증기사용설비에 가깝게 설치한다.
- 감압밸브에는 반드시 스트레너를 설치한다.
- 감압밸브로 공급되는 증기는 기수분리기, 관말 트랩에 의해 응축수가 제거되어야 한다.
- 감압밸브 앞에 설치하는 리듀서는 하부 응축수고임을 방지하기 위해 편심리듀서를 사용한다.
- 감압밸브정비를 위해 바이패스를 설치한다.
- 감압밸브용량이 과용량이 되지 않도록 용량을 선정하고 필요시에는 감압밸브를 병렬로 증설할 수 있는 구조로 배관을 구성한다.
- 감압밸브를 통과하는 증기속도는 음속에 가까우므로 소음이 발생하기 쉬우며 밸브전후의 배관구경선정을 적절히 하여야 한다.

차. 재증발증기량 계산방법

◎ 재증발증기 회수필요성

포화증기표에서 증기의 압력이 상승하면 물의 비등점 즉 포화온도가 상승하게되어 물의 승온에 필요한 현열이 증가하며 증기의 압력이 감소하면 현열도 감소한다. 잠열이란 액체상태인 물이 기체상태인 증기로 상변화를 하는데 필요한 열이며 대체로 증기압력이 증가할수록 잠열은 감소한다. 우리가 증기사용설비에서 이용하는 열은 잠열로 볼수있으며 따라서 저압증기를 이용할수록 이용열량이 증가된다.

응축수의 압력은 증기압력보다 낮은 것이 보통이며 따라서 트랩을 통과한 응축수는 응축수관 또는 대기로 배출될 때 포화온도가 저하되므로 응축수중 일부가 재증발증기로 된다.

실례로 7kg/cm.g증기가 응축되면 응축수현열은

약170kcal/kg이 된다. 그러나 대기압상태에서 응축수가 보유할 수 있는 최대열량은 100kcal/kg이므로 70kcal/kg이 남게되어 응축수의 일부가 재증발증기로 변화된다.

따라서 응축수를 대기상태에서 회수하면 재증발증기가 대기로 배출되어 열손실이 발생하므로 재증발증기를 회수하여 이용하도록 시스템을 구성하여야 한다.

◎ 재증발증기 발생량 산출방법

$$\text{재증발증기발생량(kg/h)} = \frac{\text{증기사용량(kg/h)} \times \text{공급증기응축수엔탈피(kcal/kg)} - \text{재증발증기응축수엔탈피(kcal/kg)}}{\text{재증발증기잠열(kcal/kg)}}$$

카. 재증발증기 회수시 고려사항

재증발증기 회수를 위해 후래쉬베셀을 설치할 경우 주요고려사항은 다음과 같다.

- 투자비를 고려할때 응축수압력이 충분히 높아야 경제성이 있다.
- 후래쉬베셀 설치시 응축수배압 증가요인이 되므로 트랩용량이 충분한가 검토한다.
- 재증발증기의 이용처가 충분하여야 재증발증기 회수효과가 크며 난방등에 이용할 경우에는 여름철의 잉여증기 이용방안을 충분히 검토한다
- 재증발증기 압력을 일정하게 유지할 필요가 있을 때에는 주증기 라인에 감압밸브를 부착하면 효과적이다
- 재증발증기 사용처는 후래쉬베셀과 가급적 가깝게 위치하는 것이 유리하다
- 후래쉬베셀에서의 응축수는 압력이 낮으므로 오그덴펌프를 설치하면 효과적으로 회수할 수 있다.
- 후래쉬베셀 내부에서의 증기유속은 3m/s 이하로 유지하여야 증기건도가 향상된다
- 응축수부하 변동요인을 고려하여 후래쉬베셀용량을 결정한다.
- 후래쉬베셀높이는 가급적 높게하는 것이 캐리오버를 방지할 수 있다.
- 응축수유입구 구경은 가급적 크게한다.
- 응축수의 후래쉬베셀유입구 높이는 전체높이의

1/3 이 적당하다.

타. 증기배관내 공기가 미치는 영향

◎ 증기관내 공기유입 원인

증기사용설비가 가동정지되면 증기관내의 증기가 응축되어 물로 변하게 되며 이렇게되면 비체적이 급속하게 감소되어 증기관내가 진공이 되므로 증기트랩, 에어벤트, 밸브의 그랜드패킹 등을 통해 외부공기가 증기관내로 유입되게된다. 이후 다시증기가 공급되면 응축수는 증기트랩을 통해 배출되나 공기는 배출되지 않기 때문에 열사용설비에서 열전달이 원활하게 이루어 지지않고 전열저항이 발생하여 균일한 가열이 이루어지기 어려우며 이러한 현상은 대형공기에열기,이중자켓,실린더건조기 등에 자주발생하고있어 표면온도 불균일을 초래할뿐만 아니라 배관부식을 초래하므로 공기등 모든 불응축성공기는 모두 제거되어야한다.

◎ 공기에 의한 장애

- 가열시간지연발생
- 분압에 의한 증기온도저하
- 가열능력감소
- 온도불균형 발생

◎ 공기제거방법

증기를 연속적으로 사용하는 설비의 경우에는 공기장애에 그다지 영향을 받지 않으나 증기를 간헐적으로 사용하는 설비는 공기제거에 대한 대책을 철저히 하여야 하며 그 방법은 다음과 같다.

- 탈기기 설치로 용존산소등 불응축가스제거
- 응축수 회수율증대
- 에어벤트설치
- 수처리제에 의한 CO₂발생억제

파. 증기단가 산정방법

구분	항 목	산 출 방 법	금 액 (원/톤)
정 비	1.감가상각비	총투자비(원)×0.06÷년간증기 생산량(톤)	
	2.보수유지비	년간보수비(원)÷년간증기생산량(톤)	
	3.인건비	종업원수(명)×년간급여액(원/년)÷년간증기생산량(톤)	
	4.제세보험료	년간금액(원/년)÷년간증기생산량(톤)	
	5.기타관련비용	기타비용(원)÷년간증기생산량(톤)	
	소 계(A)	1+2+3+4+5	
변 동 비	6.연료비	연료량(1/년)×단가(원/1)÷년간증기생산량(톤)	
	7.전력비	년간전력비(원)÷년간증기생산량(톤)	
	8.약제비	급수,관수처리비(원)÷년간증기생산량(톤)	
	9.용수비	급수,냉각수(원)÷년간증기생산량(톤)	
	10.소모품비	년간비용(원)÷년간증기생산량(톤)	
	11.기타비	기타비용(원)÷년간증기생산량(톤)	
	소 계(B)	6+7+8+9+10+11	
	합 계	(A)+(B)	

*감가상각비산정은 내용년수 15년, 잔존가치 10%기준임.

3. 증기터빈

증기터빈은 산업체 열병합발전설비중 가장 널리 사용되는 발전장치로서 단위설비당 에너지사용량이 많고 효율이 높기 때문에 에너지절약효과가 크다. 현재 국내에는 대략 70여개 업체에 증기터빈 열병합발전시설이 도입되어 있으며 공단에서 장기저리로 시설자금을 지원하고있어 앞으로도 열병합발전 시설 도입업체가 꾸준히 증가될 전망이다

가. 증기터빈 형식별 특성

◎ 배압터빈

배압터빈 방식은 복수기가 없으며 고온고압 증기를 터빈에서 팽창시켜 발전한후 생산공정에서 필요한 증기압력에 맞도록 터빈배기를 공급한다.

가장 단순한 형태의 열병합발전 형태로서 부하변동이 적고 전력과 열수요가 대체로 평행하게 변화할 때 적용하기 좋으나 보조복수기 또는 축열장치를 병용하여 증기 또는 전기부하의 변동을 감당하도록 할수도 있다. 비교적 대용량의 경우에는 보조보일러를 설치하여 설비운전의 고효율화와 부하변동에 대처하도록 한다. 발전량은 증기유량의 변화에 좌우되므로 발전량의 과부족을 공공전력계통과 연결하여 병열운전으로 해결하는 것이 보통이다. 배압터빈은 설비가 간단하고 효율이 높은 장점이 있으나 발전출력을 높일 수 없고 부하변동에 대한 적응력이 취약하다.

◎ 추기배압터빈

추기배압터빈은 터빈입구측으로 유입된 고온고압 증기를 터빈에서 팽창도중 계통에서 필요한 증기압력에 따라 증기를 빼어내어(추기) 일정압력으로 계통에공급하고 나머지증기를 터빈배기에서 계통으로 공급하므로 2종류이상의 압력이 다른 증기가 요구될 때 적용된다. 발전량은 추기와 배기의 증기유량에 따라 변화되므로 전력계통은 공공전력계통과 병열로 설치하는 것이 보통이며 배압식보다 규모가 큰경우에 주로 적용된다.

◎ 추기복수터빈

추기복수터빈은 계통의 열부하 변동이 심한 경우에 사용되며 터빈추기에서 계통에 증기를 공급하고 나머지증기는 복수기에서 복수된다. 따라서 효율은 배압 또는 추기배압에 비하여 낮아지기도 하나 전기출력을 높일수 있고 전기 및 증기부하를 동시에 조절할 수 있는 잇점이 있으며 이방식은 일정수준 이상의 전기부하가 있고 증기부하의 변동이 심할 경우 보일러와 계통의 안정을 위해 주로 적용되며 또한 공공계통전력과 독립된 단독운전도 가능하다. 최근 우리나라의 전력수급상 수요에 비하여 공급이 부족한 실정이므로 공업단지 집단에너지 공급시설과 같이 비교적 용량이 큰 설비는 대부분 부하추종성이 우수한 추기복수터빈을 설치하고 있다.

◎ 배압터빈과 복수터빈의 조합

배압터빈과 복수터빈 특성을 동시에 갖게하는 방식으로서 증기부하와 전기부하를 거의 제한없이 공급할수있으며 또한 복수터빈만 정지시킬수 있으므로 부하변동에 대한 적응력이 매우 우수하여 증기부하와 전기부하가 비균형인 산업체에 적용하면 적합하다.

추기복수터빈에 비하여 복수터빈으로 흐르는 냉각증기가 불필요하게 되므로 계절별로 부하변동이

큰경우에 고효율운전이 가능하며 두 개의 터빈과 두 개의 발전기가 설치되므로 추기복수에비하여 투자비가 많이들고 제어계통이 복잡해진다.

◎ 터빈형식별 특성비교 요약

열병합발전에 이용되는 증기터빈은 배압터빈, 추기배압터빈, 추기복수터빈이 주로 이용되고 있으며 주요설비별 특성비교는 다음과 같다.

구분 \ 형식	배압터빈	추기배압터빈	추기복수터빈
1.공정특성	일정압력증기가 다량필요한경우	2종이상의 증기압력이 필요한경우	발전출력극대화가 필요한경우
2.열부하변동	부하변동시 설비이용을 저하	부하변동시 설비이용을 저하	부하변동시에도 일정출력 운전가능
3.발전출력	발전출력은 열부하에 의해 좌우됨	발전출력은 열부하에 의해 좌우됨	열부하가 감소하면 발전출력이 증대됨
4.계통연계	병렬운전이 바람직함	병렬운전이 바람직함	단독운전도 가능함
5.정전대책	장기간 외부전원 차단시 운전으로	장기간 외부전원 차단시 운전으로	외부전력유무에 관계없이 안정전원 확보 가능
6.열효율	열효율이 가장 높음	추기복수식보다 열효율이 높음	발전전용 복수식보다 열효율이 높음
7.에너지가격 영향	연료가격의 영향이 비교적 적음	연료가격의 영향이 비교적 적음	전력가격의 영향이 큼
8.냉각수원	불필요	불필요	필요
9.초기투자	가장적음	배압식보다 많음	가장많음

나. 증기터빈의 열손실 종류

구분	손실의 종류	손실내용
외부손실	1. 외부누설손실	터빈축과 차실을 관통하는 부분은 축의 패킹을 통하여 고압증기가 외부로 누설됨.또한 반동터빈에서는 회전부에 걸리는 추력을 평형시키기 위하여 마련된 밸런스피스톤 주변의 간극으로 증기가 누설되며 누설을 적게하기 위하여 라비린스패킹이 사용됨
	2. 기계손실	베어링의 마찰손실,수봉패킹에 소비된동력,오일펌프 및 조속기의 운전에 요하는 동력을 합하여 기계손실이라 하며 이손실은 터빈회전수 및 용량에 관계되나 부하와는 관계가 없다.
	3. 배기손실	터빈최종단에서 유출속도에너지를 말하며 이손실은 7.5-12kcal/kg정도로써 전열낙차에 대한 비는 2-4%이다.
내부손실	4. 노즐손실	노즐 또는 고정기익속에서의 저항손실 및 난류에 의한 에너지손실
	5. 회전기익손실	회전기익에 있어서의 에너지손실
	6. 유출속도손실	회전기익으로부터 유출하는 증기의 운동에너지
	7. 습증기손실	증기속에 물방울이 섞여있을 때 물방울의 속도는 증기속도보다 느리며 여기에서 발생하는 손실을 말함

다. 증기터빈 성능관리

◎ 성능저하 여부파악

증기터빈의 신규설치 또는 정비후 터빈 추기 및 배기의 과열도를 지속적으로 체크하게되면 운전시간의 경과에 따라 터빈의 성능저하추이를 파악할수 있으며 운전시간 경과에 따른 성능저하는 피할수 없다 하더라도 효율저하의 정상또는 이상여부를 손쉽게 파악할 수 있다

◎ 성능저하 요인분석

일단 터빈의 성능저하가 예상되면 터빈의 각 운전부하별로 터빈효율과 기계효율을 산정하여 실제로 성능이 얼마나 저하되었는가를 정밀하게 산정하여 터빈성능이 저하된 요인을 분석하며 최초터빈설치 및 보수후 성능시험자료 와 현재운전자료를 비교하게되면 성능저하요인분석이 매우 용이하다.

◎ 성능복구시 효과분석

터빈성능저하요인을 자체기술력으로 용이하게 제거할수 있을경우에는 즉시 시행하도록 하며 자체수정이 불가능한 경우에는 터빈성능저하에 따른 손실량을 산정하고 터빈보수 전문업체와 성능복구방안을 협의하며 터빈보수시의 투자경제성을 분석하여 보수여부 및 시기를 결정한다.

라. 증기터빈의 간이성능 판단방법

◎ 터빈효율

이론적으로 터빈효율은 단락선도효율, 내부효율, 유효효율등 여러 가지로 해석하고 있으나 터빈의 완전도를 표시하기 위해 유효효율을 많이 사용하고 있다. 유효효율은 단순히 터빈효율이라고도 불려지며 전열낙차에 대한 터빈축출력의 비율을 나타낸다

$$\text{터빈효율} = \frac{\text{터빈 입출구증기실제열낙차(kcal/kg)}}{\text{터빈입출구증기 이론열낙차(kcal/kg)}} \times \text{기계효율}$$

위식은 터빈이 이론적으로 낼 수 있는 출력대비 실제출력의 비율을 알수있기 때문에 터빈내부에서 증기팽창이 얼마만큼 충실하게 이루어졌는가를 판단할 수 있으며 여기에서 터빈출구증기 엔탈피는

증기선도에서 터빈입구증기와 동일한 등엔트로피선(증기선도에서 수직선)을 그은후 터빈출구증기압력과 만나는곳에서 수평으로 이동하여 터빈출구증기의 엔탈피를 구할수 있다.

또한 터빈축출력은 발전기출력을 발전기효율로 나눈값을 사용하게 된다

추기터빈인 경우 터빈으로 출입되는 증기는 수증기 및 배기외에 상당한 양이 팽창도중 외부로 유출되므로 추기점을 기준으로 증기유량을 구분하여 계산하여야한다.

위식에서 기계효율은다음과 같이 구할수 있으며 최근에는 터빈제작기술이 향상되어 대부분의 터빈 제작소에서 기계효율을 95%이상 보장하고 있다.

$$\text{기계효율} = \frac{\text{시간당발전량(kwh/h)} \times 860(\text{kcal/kwh})}{\text{시간당증기량(kg/h)} \times \text{터빈입출구증기엔탈피차(kcal/kg)}} \times 100$$

◎ 증기터빈성능 간이 판단방법

추기배압터빈의 개략적인 성능을 용이하게 판단할 수 있는 방법으로는 추기과열도가 70-80°C를 초과하거나 배기과열도가 30-50°C를 초과하는경우에는 일단 터빈성능이 저하된 것으로 판단할수있으므로 정밀한 성능점검이 필요하다.

마. 증기터빈 운전에 영향을 미치는 인자

변수 \ 요인	압력	온도	진공도
증량유량	증가	감소	불변
유입체적유량	불변	불변	불변
배기체적유량	증가	감소	증가
유입효율	불변	불변	불변
배기효율	(고) 저하 (저) 개선	개선	(고) 저하 (저) 개선
기계효율	개선	개선	개선
터빈효율	(고) 저하 (저) 개선	개선	(고) 저하 (저) 개선
유효에너지	증가	증가	증가
증기소비율	개선	개선	개선
출력	증가	증가	증가

바. 증기터빈의 성능보증사항

열병합발전시설 설치자가 터빈 제작자에게 보증
을 요구하는 증기터빈의 특성은 다음과 같다.

- 1) 부분부하를 포함한 정상운전조건에서 각각의
배기압력에 따른 증기 소비율
- 2) 과부하 운전시의 배기압력과 증기소비율
- 3) 운전가능한 주증기 최고압력
- 4) 운전가능한 주증기 최고온도
- 5) 상기 4)항의 온도에서 운전지속 가능시간
- 6) 급수가열용 추기없이 보증할 수 있는 최대출력
- 7) 급수가열이 되면서 보증할 수 있는 최대출력
- 8) 프로세스용으로 추기할 수 있는 최대유량

- 9) 프로세스용 추기단에서의 압력변화율
- 10) 각 급수가열용 추기단에서의 압력
- 11) 기준이 되는 배기압력에서의 열소비율
- 12) 부분부하를 포함한 정상운전조건에서 각각의
배기압력에 따른 열소 비율
- 13) 운전가능한 최소출력
- 14) 보정계수(CORRECTION FACTOR)

위 사항중 터빈성능과 관련하여 가장 중점적으로
관리되어야할 대상은 열소비율이다. 또한 터빈구매
시 제작자로부터 각각의 부하에 따른 추기량, 압력,
온도 등에 관한 데이터를 제공 받을수 있으며 급수
가열사이클이 표시된 열평형도와 부하변동에 따른
열소비율 변화곡선을 요구할 수 있다.

배 연 탈 황 기 술

한국전력공사 제2건설처 최병남 부장
TEL:(02)3456-5990

1. 배연탈황설비 일반

가. 개 요

대기환경에 대한 관심이 높아지고 배출허용규제
가 강화됨에 따라 연료중 황성분이 보일러에서 연
소용 공기와 결합하여 생성되는 황산화물(SOx)을
제거하기 위하여 탈황설비 설치가 필요하게 되었다.

나. 탈황공정 종류

(1) 원천탈황

연료중의 황성분을 물리적 또는 화학성질을 이용
하여 제거함으로써 원천적으로 황산화물 발생량을
줄이는 방법이다.

(가) 원천탈황 방법

- ① 물리적 처리법 : 부유선별, 자기선별, 유류응
집, 원심분리, 비중선별
- ② 화학적 처리법 : 알카리 침출, 금속염 침출, 습

식산화, 염소화

- ③ 미생물 처리법 : 박테리아, Fungi, 효소 등을
이용한 황성분 제거

(나) 기술수준

- ① 상용화되어 이용가능한 방법은 일부 물리적
처리법이며 화학적 처리법과 미생물 처리법은
대부분 Pilot 실험중이거나 기초연구중에 있다.
- ② 탈황능력은 연료 분쇄정도, 연료의 성상에 따
라 좌우되어 한계가 있다.

(다) 원천탈황의 특징

- ① 효율이 50~60%로 낮아 배연탈황설비(FGD,
Flue Gas Desulfurization)추가 설치 없이는 환
경규제치(99. 1. 1 이후 석탄화력 및 중유화력
: 120 ppm) 준수가 곤란하다.
- ② 탄광지역 발전소(Mine Mouth 발전소)는 환경
규제기준에 따라 유리할 수 있으나 우리나라
실정과 맞지 않다.
- ③ 고허탄(3~4%S)에서는 가능하나 2%S 이하의
저황탄은 실효성이 없다.