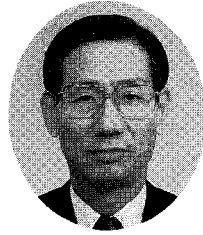


소각로 기본설계 및 선정방법

〈마지막회〉



金炳彩

《(주)진도엔지니어링부사장, 화공기술사》

VII. 폐열회수시설

1. 보일러

보일러는 연료의 연소열을 압력용기 속의 물에 전달하여 소요압력의 증기를 발생시키는 장치이다. 보일러에서 발생한 증기는 그대로 저압 포화 증기로서 공장생산용 열원 및 난방용 등 광범위하게 사용되는 경우와 보일러에서 고압 과열 증기로 만들어 증기 터어빈으로 보내어 동력을 발생시킨 다음 그 배기를 생산용 열원으로 사용한다.

보일러는 본체의 구조형식, 물의 순환방식, 가열방식, 증발하는 유체나 연료의 종류 등에 따라 다음과 같이 분류된다.

- 원통보일러
 - ◎ 직립형 보일러(횡관식, 다관식)
 - ◎ 노동 보일러(코오니시, 랭커셔 보일러)
 - ◎ 연관 보일러(횡연관, 기관차 보일러)
 - ◎ 노동 연관 복합 보일러
- 수관보일러
 - ◎ 강제순환 보일러(직관형, 곡관형, 방사형)
 - ◎ 강제 순환 보일러
 - ◎ 관류 보일러

- 특수보일러
 - ◎ 간접가열 보일러
 - ◎ 배열 보일러
 - ◎ 특수 연료보일러
 - ◎ 특수 유체 보일러
 - ◎ 기타 보일러(온수보일러, 전기보일러 등)

가. 보일러 용량 및 효율

보일러의 용량 표시는 정격 증발량으로 나타내는 경우와, 환산증발량으로 나타내는 경우가 있다. 정격 증발량이란 보일러가 연속운전이 가능한 한 최대부하 상태에서 단위시간에 발생할 수 있는 증발량을 말하며 이때는 증기의 보유열량을 증기의 온도와 압력에 따라 달라지므로 증기압력, 온도 및 급수온도를 함께 나타낼 필요가 있다. 그래서 발생증기를 일정한 기준으로 환산하여 용량을 비교할 수 있는 표시법이 환산증발량 또는 상당증발량이다. 이것은 실제로 급수로부터 소정의 증기를 발생시키는데 소요되는 매시 유효열량을 373.15K의 포화수가 같은 온도의 건포화증기로 상변화 할 때의 증발열 2,257KJ/KG으로 나눈 값이다. 따라서 환산증발량(We)은

$$We = \frac{W_1(h_2 - h_1)}{2,257} \text{ (KG/H)}$$

h_1, h_2 : 급수 및 발생증기의 비엔탈피

W_1 : 실제 증발량(KG/H)

보일러 효율은 연료의 연소에 의한 화학에너지가 어느 정도 보일러에서 열에너지로 전달되었는가를 나타내는 것으로서 증기발생에 소요된 열량을 발생증기의 엔탈피에서 급수 엔탈피를 뺀값으로 얻어진다. 또 보일러의 배출가스 온도는 대략 423-623°K이므로 가스 중의 수분은 수증기 상태이기 때문에 이용가능한 연료의 발열량은 저발열량이다. 따라서 보일러 효율(7)은 다음식으로 표현된다.

$$(7) = \frac{\text{실제로 증기 발생에 소요된 정력열량}}{\text{소비한 연료가 완전연소할때 발생열량}} = \frac{W_1(h_2 - h_1)}{G_f \times H_1}$$

W_1 : 실제 증발량(KG/H)

h_1, h_2 : 보일러 급수 및 증기 엔탈피

G_f : 연료 소비량(KG/H)

H_1 : 연료의 저발열량

나. 보일러의 특성

보일러의 화실크기는 연료를 완전연소 시키는데 적합한 구조와 충분한 크기를 필요로 하며 보일러의 형식, 연료의 종류, 연소방식, 통풍방식, 노벽의 구조 등에 따라 다르다. 표 11은 각종 보일러의 연소방식에 따른 화실 열발생률의 개략치를 나타낸 것이다.

<표 11> 화실 열발생률

보일러종류	연소방식 (MJ/M ² H)	화실용적 (MJ/M ² H)	화실방사전열 (MJ/M ² H)
수관보일러	◎ 석탄 스토커 연소	750-1,500	1,000-1,500
	◎ 미분탄 연소		
	- 건식	380-850	650-1,300
	- 습식	3,000-21,000	-
	◎ 가스 연소	650-1,700	680-2,100
	◎ 증유 연소		
- 패키지 보일러	2,100-5,500	850-2,100	
- 일반용 보일러	850-3,000	-	
- 선박용 보일러	2,300-3,500	1,200-1,800	
원통보일러	◎ 석탄 연소	850-2,100	-
	◎ 증유 연소	2,100-3,800	-

수냉벽은 노내의 화염의 방사열의 직접받아 노벽이

고온화 하는 동시에 수관에 의해 다량의 방사열을 효율적으로 흡수할 수 있다.

최근의 수냉벽은 그림 15와 같이 노속 전둘레가 용접수관 패널(WELDED WALL)에 의한 기밀 구조로 되어 있으며, 가압연소 보일러에서의 연소가스 누설이 전혀없는 구조로 되어 있다.

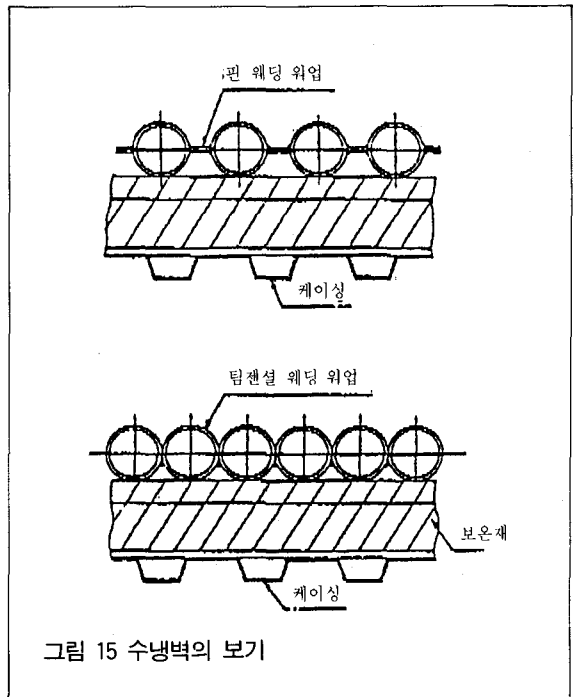


그림 15 수냉벽의 보기

2. 열교환기

폐열을 회수, 이용하는데 있어 열교환기도 중요한 일부를 차지한다. 그러나 열교환기는 폐열을 전량 흡수 하기에는 부피가 상당히 커야 하므로 독자적인 폐열회수시설이기 보다는 보일러 등에 설치, 보조적으로 폐열을 회수하는데 주로 이용된다. 열교환기에는 과열기, 재열기, 이코노마이저 및 공기예열기 등이 있다.

가. 과열기

과열기는 보일러에서 발생하는 포화증기에는 다수의 수분이 함유되어 있으므로 이것을 과열하여 수분을 제거하고 과열도가 높은 증기를 얻기위해 설치한다. 과열증기는 온도가 높을수록 효과가 크며 과열도는 사용재료에 따라 제한된다.

따라서 과열기의 재료는 탄소강을 비롯 니켈, 크롬 올리브덴, 바나듐 등을 함유한 특수 내열 강관을 사용하고 있다.

과열기는 그 부착 위치에 따라 전열 형태가 다르며, 방사형 과열기, 대류형 과열기 및 방사, 대류형 과열기로 분류된다. 그림 16은 각종 과열기의 배치를 보기로 든 것이다. 방사형 과열기는 화실의 천정부 또는 노벽에 배치되고, 주로 화염의 방사열을 이용하는 과열기이다.

대류형 과열기는 보통 제1, 제2연도의 중간에 설치하고 연소가스의 대류에 의한 전달열을 받는 과열기이다. 방사, 대류형 과열기는 대류 전달면 입구 가까이 설치하고 방사열과 대류 전달열을 동시에 이용하는

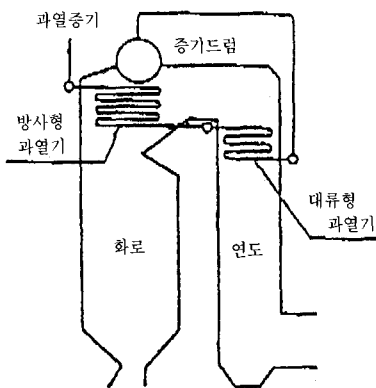


그림 16 각종과열기 설치위치

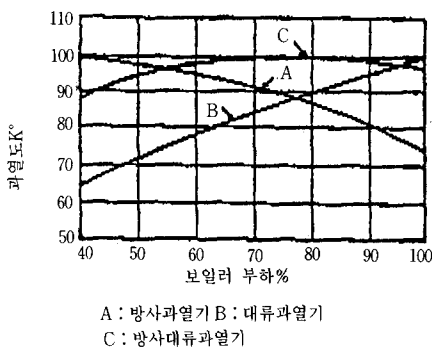


그림 17 과열기의 온도특성

과열기이다.

일반적으로 보일러의 부하가 높아질수록 대류 과열기에 의한 과열 온도가 상승하고 방사과열기에서는 반대로 저하하는 경향이 있다. 그래서 그림 17과 같이 대류 및 방사 과열기를 조합하여 사용함으로써 보일러의 부하변동에 대해 과열증기의 온도변화를 비교적 균일화 할 수 있다.

나. 재열기

재열기는 과열기와 같은 구조로 되어 있으며 대개는 과열기의 중간 또는 뒤쪽에 배치된다. 재열기는 증기 터빈 속에서 소정의 팽창을 하여 포화증기에 가까워진 증기를 도중에서 이끌어내어 그 압력으로 재차 가열하여 다시 터빈에 되돌려 팽창시키는 경우에 사용된다.

다. 이코노마이저

이코노마이저는 연도에 설치되며, 보일러 전열면을 통과한 연소가스의 여열로 보일러 급수를 예열하여 보일러의 효율을 높이는 장치이다. 그 부대 효과로 급수 예열에 의해 보일러수와의 온도차가 감소하므로 보일러 드럼에 발생하는 열응력이 경감되는 것을 들 수 있다. 또 주의할 점은 급수온도가 낮은 경우, 연도가스 온도가 저하하면 이코노마이저 저온부에 접하는 가스 온도가 노점에 달하여 이코노마이저를 부식시키는 것이다. 그밖에 통풍저항이 증가하고, 연도의 가스온도의 저하로 인한 굴뚝 통풍력의 감소 등에 대해서도 주의할 요한다.

라. 공기에열기

공기에열기는 연도 가스 여열을 이용하여 연소용 공기를 예열하여 보일러의 효율을 높이는 장치이다. 이의 부대 효과로서는 연료의 착화와 연소를 양호하게 하고 연소온도를 높이는 효과가 있다.

공기에열기를 이코노마이저와 병용 설치하는 경우에는 공기에열기를 저온측에 설치한다. 그것은 공기에 열전달은 물의 경우보다 작으므로 같은 열량의 회수에 큰 전열 면적을 요하나, 전열면의 온도가 그다지 내려가지 않으므로 저온의 열회수에 적합하기 때문이다. 그러나 연도 가스 온도가 가장 낮아지는 부분이고, 노점 부식의 위험이 크므로 사용 연료 및 가스 성분에 알맞은 출구 배기 가스 온도를 설정하여 지나치게 내리지 않도록 한다.

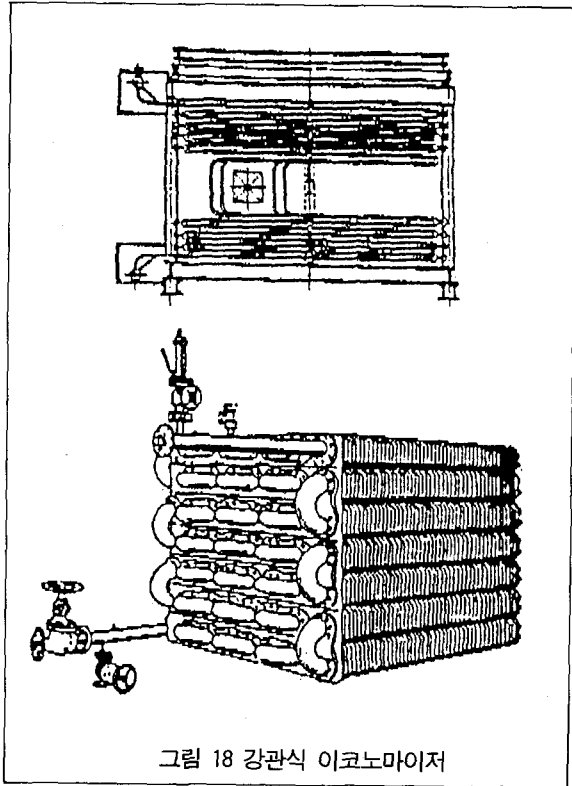


그림 18 강관식 이코노마이저

소형 보일러에서는 이코노마이저로 충분히 배기 가스의 여열을 회수할 수 있는 경우가 많으나 대형 보일러에서는 연도 입구 또는 과열기 출구에서의 가스 온도가 높아, 이코노마이저만으로는 흡수열량이 비교적 미흡하므로 공기에열기에 의한 열회수도 필요하다.

공기에열기의 대표적인 것으로는 관상 공기에열기, 관형 공기에열기 및 재생식 공기에열기 등이 있으며, 그림 19는 그 구성을 보기로 든 것이다.

3. 증기 터빈

증기터빈에서는 증기의 열에너지를 회전운동으로 변환시키는 제과정에서 먼저 증기 속도 에너지에 변환을 필요로 한다. 증기터빈의 작동원리는 이 속도에너지를 어떤 형태로 사용하느냐에 따라 충동식과 반동식으로 대별된다. 다만 충동식에 있어서는 그 단이 소화해야 할 열에너지 전체를 노즐로 속도에너지를 변환하고, 분출하는 고속증기를 회전날개가 받아 증기류를 방향 전환시킴으로써 생기는 충동력에 의해 회전력을 얻는다.

한편, 반동식 단에서는 소화시켜야 할 열낙차의 일부만이 노즐안에서 속도에너지로 변하고 회전날개 내에 있어서도 증기팽창을 일으켜 그반동력도 함께 이용

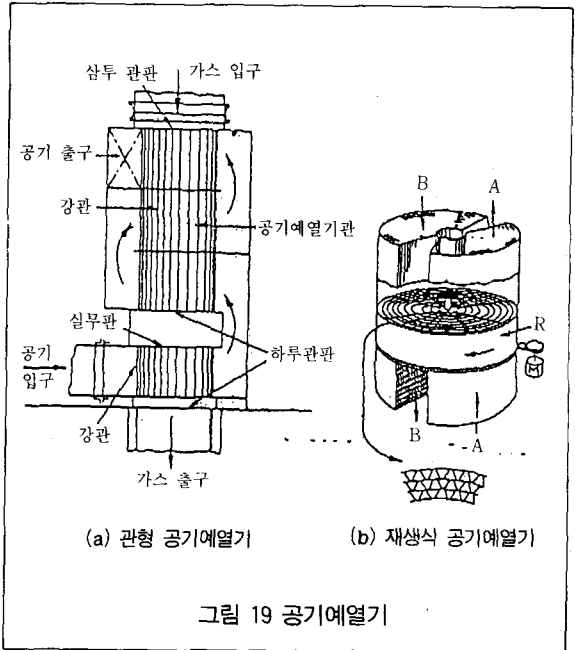


그림 19 공기에열기

하여 회전력을 얻는다.

터빈의 단이 분담하는 단열 열낙차를 ht , 회전날개 부분이 분담하는 단열 열낙차를 hb 라고 했을 때 양자의 비 r 을 반동도라고 한다.

$$\text{즉 } r = \frac{hb}{ht}$$

r 의 값은 0-1의 범위에 있으므로 $r=0$ 일때는 순충동 터빈인 것을 의미한다. 일반적으로 $r \geq 0.5$ 인 것이 반동터빈으로 호칭되고 있다.

가. 증기터어빈의 형식

증기터어빈은 여러가지 관점에서 분류되며, 호칭의 종류도 많다. 증기의 작동방식에 따라 분류한 것이 전항에서 설명한 충동, 반동, 혼합식의 각 터어빈이다. 기타 분류 관점로서는 증기의 이용방식, 피구동기, 증기의 유동 방향, 케이상수, 분류수 등이 있는데 이들을 간추려 보면 표 12와 같다.

산업계에서는 피구동기를 구동시키는 목적 이외에 터어빈 설비를 계획하는 경우도 적지 않으므로 증기의 이용 방식이란 관점에서 본 터어빈의 분류에 대해 좀

〈표 12〉 증기터어빈의 여러가지 형식

분류관점	터 어 빈 형 식
증기작동방식	A. 충동 터어빈(IMPULSE TURBINE) B. 반동 터어빈(REACTION TURBINE) C. 혼합식 터어빈(COMBINATION TURBINE)
증기이용방식	A. 배압 터어빈(BACK PRESSURE TURBINE) B. 추기 배압 터어빈(BACK PRESSURE EXTRACTION TURBINE) C. 복수 터어빈(CONDENSING TURBINE) D. 추기 복수 터어빈(CONDENSING EXTRACTION TURBINE) E. 혼합 터어빈(MIXED PRESSURE TURBINE)
피 구 동 기	A. 발전용 직결형 터어빈(DIRECTLY COUPLED TURBINE) B. 감속형 터어빈(GEARED TURBINE) C. 기계 구동용 급수 펌프 구동 터어빈(FEEDWATER PUMP DRIVE TURBINE) D. 압축기 구동 터어빈(COMPRESSOR DRIVE TURBINE)
증기유동방향	A. 축류 터어빈(AXIAL FLOW TURBINE) B. 반경류 터어빈(RADIAL FLOW TURBINE)
케 이 심 수	A. 1케이싱 터어빈(SINGLE CASING TURBINE) B. 2케이싱 터어빈(TWO CASING TURBINE)
분 류 수	A. 단류 터어빈(SINGLE FLOW TURBINE) B. 복류 터어빈(DOUBLE FLOW TURBINE) 등

더 자세히 설명한다. 제조업체의 현장에서 자가용 발전설비를 계획하는 경우, 주된 목적은 값싸고 확실한 전력을 얻는데 있으나, 대개의 경우 제조업체에서는 공장 프르세스용으로 증기를 필요로 함으로 발전과 프로세스 증기공급을 유효하게 결합시킨 플랜트 계획이 입안되며 목적에 따라 표 13에 표시된 여러형식 중 어느 것인가가 선정된다.

배압 터어빈(BACK PRESSURE TURBINE)은 산업용 터어빈 전체의 70%를 점할 정도이며, 증기를 다량으로 소비하는 산업 분야에서 널리 쓰이고 있다. 터어빈 배기가 프로세스 증기로 유효하게 이용되기 때문에 열효율은 90%가까운 평가를 기대할 수 있다. 단, 이 방식은 증기 부하에 상당한 발전 밖에 할 수 없다는 점에 주의할 필요가 있다.

프로세스 추기계의 터어빈도 그렇지만 현장에 있어서의 증기부하와 전력부하의 장기예측에 근거를 두고 환경관리인. 1992. 9

설계 계획을 결정하지 않으면 사회 정세의 변화에 따라서 생산 품목이나 조업도에 차이가 생긴 경우에, 운용상 불편을 겪게 되는 경우가 있다.

〈표 13〉 증기 사용 방법으로 분류한 터어빈의 특징

적용 형식	배압 터어빈	추기 배압 터어빈	추기 복수 터어빈	복수터어빈
공정증기	일정압력의 공정증기가 필요할 때	2종의 일정압력의 공정증기가 필요할 때	일정압력의 공정증기가 필요할 때	공정증기가 불필요할 때
공정 증기 부하변동	부하변동이 큰 경우 열매 이용율이 저하하여 불리하다	좌와 같음	부하변동이 있어도 출력에 일정한 운전이 가능하므로 유리하다.	부하와는 관계없이 출력에 일정한 운전을 할 수 있다.
소요전력	공정증기량을 상당할 만한 발전력으로 치장하는 경우	좌와 같음	공정증기량이 상당하는 발전량 이상의 전력 확보가 필요한 경우	소요전력을 향상시키는 보충 설비가 있는 경우
운전조건	일반적으로 평형	좌와 같음	병렬 또는 단독	병렬 또는 단독
외부전원의 정전시 대책 (보안전력 확보)	대기방출로 어느 정도는 전력을 확보할 수 있으나 정전이 장기에 이르는 경우에는 부적합	좌와 같음	외부전원 유무에 불구하고 소요전력을 확보할 수 있다. 외부 전원 불안정할 때 좌와 같음	좌와 같음
경제성	배기열량을 공정에 유효하게 사용할 수 있으므로 가장 경제적	좌와 같음	추기만은 그 열량을 이용할 수 있으므로 복수터어빈에 비해 경제적	배기열량은 전부 냉각수에 배양하므로 경제성은 좋지 못함
연료단가의 영향	복수터어빈 만큼 열량이 없음	좌와 같음	복수터어빈과 배압 또는 추기배압 터어빈의 특징을 합친 것	연료단가가 비싼 경우에는 불리, 전경 우에는 유리
냉각수원	냉각수에 대해서는 그다지 배려할 필요 없음	좌와 같음	다량의 냉각수를 필요로 함. 풍부하고 값싸게 얻을 수 있는 것이 바람직함	좌와 같음
적용례	철유공업, 펄프공업, 화학공업, 석유화학, 제당공업	철유공업, 펄프공업, 화학공업	철유공업, 펄프공업, 화학공업, 석유공업, 철강업	광업, 철강업, 시멘트공업, 화학공업, 전력사업용

이와 같이 소각로에서 발생한 증기터어빈을 돌려 현장은 주로 발전에 이용되고 있으며 현재 국내에서도 폐기물 소각로에서 소각시 발생하는 열을 이용 발전하는 곳도 여러군데 설치, 가동되고 있는 실정이다.

상담 및 문의전화 862-0012