



한원희 팀장  
에너지관리공단 진단사업단  
whhan@kemco.or.kr

## 1. 머릿말

증기사용설비에서 증기는 총 열에너지 중 70%~80%는 열전달 하는데 사용되고, 나머지 20%~30%는 포화수 상태로 응축된다. 이러한 응축수는 차압에 의하여 작동되는 스팀트랩에 의하여 배출되며, 응축수 회수시스템을 거쳐 보일러용 급수원으로 회수하여 이용하는 것이 일반적이라고 할 수 있다.

응축수를 회수 이용할 경우에는 급수중 보충수(Make-up water)를 줄일 수 있으므로 연료절감 뿐만 아니라 급수용수 및 수처리 비용의 절감 등도 기대할 수 있다. 따라서 증기사용설비에서 일을 하고 나온 응축수를 효과적으로 회수, 이용하는 방안은 예전부터 중요한 에너지절감 방안으로 검토되었으며 그 기술과 방법이 상당히 발전해왔다.

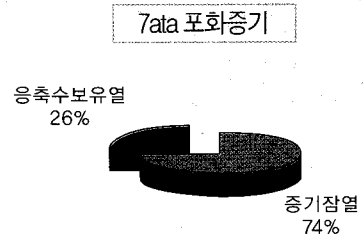
산업현장이나 건물의 열설비에서 응축수를 회수 이용하지 못하고 폐기되거나 또는 응축수 열이 효율적으로 회수하지 못하고 응축수열 중 상당한 열이 버려지는 경우가 종종 발견되고 있으므로 산업현장에서 보다 효과적으로 최대한 열을 회수하는 데 알맞은 응축수 회수방법, 기술 및 사례를 중심으로 기술코자 한다.

## 2. 응축수 보유열량

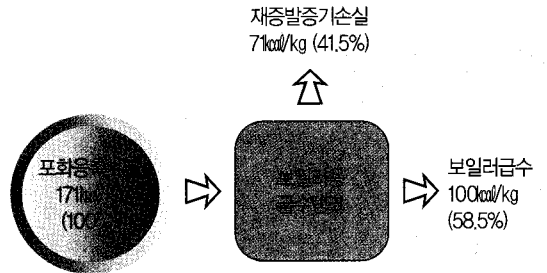
증기의 보유열량 중 응축수가 갖고 있는 보유열이 어느 정도 차지하고 있으며, 일반적인 회수방법(응축수를 개방탱크로 회수 집수방식)으로 응축수를 회수할 경우에 포화응축수열 중 회수되는 열량은 어느 정도 되는지를 살펴보면 다음과 같다.

7ata 포화증기의 경우 증기사용설비에서 잠열을 사용하고 난후 응축수열은 증기의 보유열량 대비 26%에 해당된다. 일반적인 응축수회수 방법인 개방탱크로 응축수를 회수하여 집수하는 방식으로 할 경우에는 포화응축수 보유열 대비 약 58.5% 정도의 열

만 회수하게 되고(포화증기 보유열 대비 약 15%) 나머지 응축수열 41.5%는 개방탱크에서 재증발증기 형태로 전환되어 손실되게 된다.



[그림 1] 포화증기의 응축수 보유열량 구성비



\* 보일러급수용 응축수 회수열량은 총 증기 보유열량 대비 약 15% 임

[그림 2] 응축수 열회수 흐름도(개방형탱크 집수방식)

## 3. 응축수 회수 효과

응축수는 보유열량을 재이용과 급수처리가 거의 불필요하다는 관점에서 가급적 최대한 회수하여 보일러 급수용수로 사용하는 것이 최선의 방안이라고 할 수 있다. 응축수를 회수하여 재사용할 경우에 그 주요 이점은 다음과 같다

### 3-1 연료 절감

응축수를 회수하여 보일러 급수원으로 회수 이용

할 경우 차가운 보충수를 대신해서 급수함으로써 급수온도가 상승되어 보일러에서 연료절감효과를 얻게 된다.

응축수를 보일러 용수로 회수하지 않고 공정용 온수로 사용하는 경우에도 당해 설비에서 열부하 감소로 연료절감효과를 얻을 수 있으므로 이러한 방법도 바람직한 대안이라고 할 수 있다. 다만, 응축수는 별도로 수처리를 할 필요가 거의 없는 순수(증류수)에 해당되므로 수질측면에서 보면 가급적 보일러 급수원으로 사용하는 방안이 보다 합리적이다.

### 3-2. 용수비용 절감

보일러 급수용으로 응축수를 회수하여 사용하는 수량만큼 만큼 보충수 사용량이 줄어들게 되므로 보충수용으로 사용되는 공업용수의 용수 절감과 그에 따른 수처리 비용의 절감도 얻을 수 있다.

### 3-3. 폐수처리비용 절감

보일러 급수용으로 재활용하면 별도로 폐수처리를 할 필요가 없으므로 폐수처리 비용 절감과 방류수 감소에 의한 비용절감을 얻을 수 있다. 응축수를 폐수처리장으로 폐기할 경우에는 폐수처리장의 처리공정 요구온도(40℃ 이하) 때문에 응축수를 열교환기에 의하여 별도로 냉각 처리해야 하는 경우가 발생되므로 이러한 처리비용의 절감효과도 있다.

### 3-4. 보일러 곱보기 용량 증대 및 효율 향상

응축수회수에 따른 급수온도 상승으로 보일러의 곱보기용량 증대와 열효율이 향상되는 효과를 얻을 수 있으며, 연료 절감과 폐수처리 부하경감에 따른 환경개선 효과도 기대할 수 있다.

## 4. 응축수 회수 방법(시스템)

일반적인 방법인 개방형 급수탱크로 회수할 경우에는 고온고압의 응축수는 대기압 조건의 포화온도 상태로 전환되면서 재증발 비산증기가 필연적으로 발생되어 회수된 응축수열 중 상당한 열이 대기로 방출되게 된다.

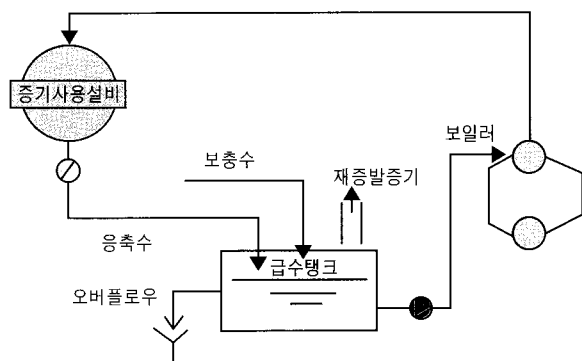
이와 같이 응축수를 회수하는 과정에서 발생하는 열손실

을 최소화하고 응축수를 최대한 회수하기 위해서는 각 산업 현장조건에 알맞은 응축수 회수방법으로 응축수 회수시스템이 채택되거나 개선되어야 할 것이다.

### 4-1. 급수탱크 직접회수 방식(개방식)

일반적인 방식으로서 급수탱크가 대기로 개방되어 있어 탱크로 회수한 응축수열 중 상당한 열량이 재증발증기 상태로 열손실 될 수밖에 없는 방식이다. 급수탱크에서 재증발증기 손실을 방지하기 위하여 방출관 라인에 보충수 살수(spray) 장치를 보완하거나 생산공정 내에서 다른 유체의 가열열원으로 먼저 사용하여 고온의 응축수 온도를 낮춘 후에(100℃ 이하) 급수탱크로 회수하는 방법으로 개선함으로써 급수탱크에서의 재증발증기에 의한 열손실을 감소시킬 수 있다.

급수탱크가 지하에 위치하고 있는 경우에 펌프의 유효 흡입수두(NPSHava) 미확보로 캐비테이션 발생에 따른 펌핑 장애를 방지하기 위하여 필요량보다 많은 보충수를 급수탱크에 공급하여 인위적으로 급수탱크의 저장온도를 낮춤으로써(보통 80℃ 이하) 저장용수가 잉여(over-flow)되어 열손실이 발생하기도 한다.

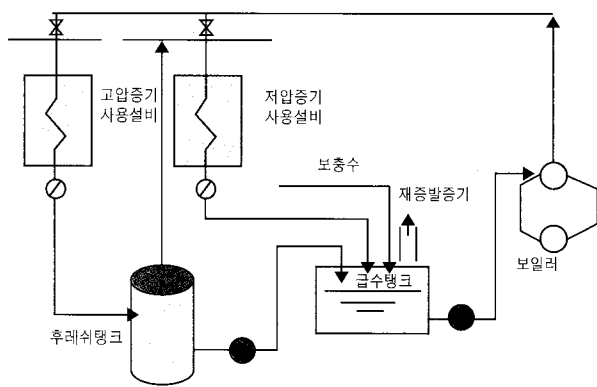


[그림 3] 급수탱크 직접회수방식

### 4-2. 후레쉬탱크 및 급수탱크 이용방식

고압증기의 응축수로부터 후레쉬탱크를 이용하여 저압의

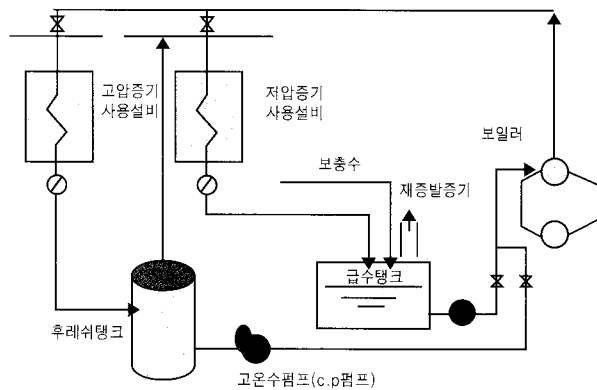
재증발증기(flash steam)를 발생시켜 저압증기 사용설비에 공급하고, 응축수는 개방형 급수탱크로 송수해서 회수하는 방식이다. 대기압보다 높은 압력상태로 응축수가 개방형 급수탱크로 회수되기 때문에 재증발증기 손실이 발생하게 된다.



[그림 4] 후레쉬탱크 및 급수탱크 회수방식

#### 4-3. 후레쉬탱크 및 고온수 펌프 이용방식

후레쉬탱크에서 저압증기를 발생시켜 저압증기로 사용하고 응축수는 개방형 급수탱크로 보내는 것이 아니라 고온수 펌프(전기식, 기계식)로 보일러 또는 탈기기로 직접 공급하는 방식으로서 개방형 급수탱크로 공급하는 방식에 비하여

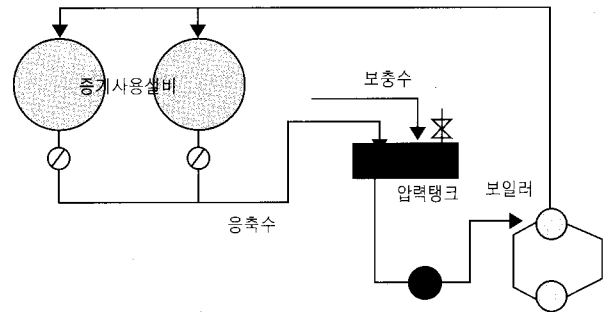


[그림 5] 후레쉬탱크 및 고온수 펌프에 의한 회수방식

재증발증기의 열손실이 거의 없이 응축수열 대부분을 회수할 수 있다.

#### 4-4. 가압식 압력탱크로 회수하는 방식(압력식)

압력용기로 제작된 밀폐형 급수탱크를 보일러보다 높은 위치에 설치하여 트랩을 거쳐 나온 응축수 또는 고압의 응축수를 후레쉬탱크에서 저압증기를 발생시키고 저압의 응축수는 밀폐형 급수탱크로 보내는 방식으로서 개방형 급수탱크에서의 재증발증기 손실의 단점을 해소할 수 있는 방법이며, 급수탱크의 압력조건에 따라 재증발증기의 대기방출 손실이 일부 발생할 수 있다.



[그림 6] 가압식 압력탱크로 회수하는 방식(압력식)

#### 4-5. 드레인 에이지(drainage) 방식

제지압종의 초지진조기와 같이 여러 단계의 증기를 사용하는 기기에 주로 채택되고 있는 방식으로서 고압에서 저압으로 각종 압력의 재증발증기를 이용한 후 최종단계의 압력을 대기압의 응축수로 낮추어(0.5kg/cm<sup>2</sup>-g 이하) 보일러실 급수탱크로 이송할 수 있게끔 시스템을 구성한 응축수열회수 방식이며 응축수에서 발생하는 재증발증기열은 공정 내부로 대부분 회수할 수 있는 방식이다.

#### 4-6. 밀폐식 고온응축수회수 펌프방식

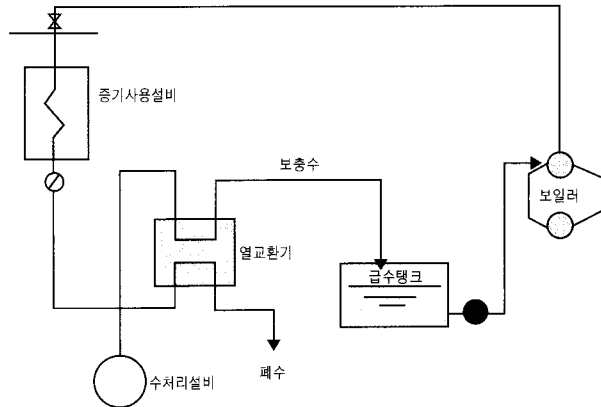
열사용설비로부터 배출되는 고압의 응축수를 후레쉬증기의 손실 없이 고온 응축수펌프(C.P 펌프)에 의하여 직접 보일러에 주입시키는 방식이다. 후레쉬 탱크 및 고온수 펌프

이용 방식과 같이 고온의 응축수열을 회수하는 중간과정에서 열손실이 거의 없이 응축수를 회수, 이용함으로써 응축수의 열회수율이 매우 높다.

C.P 펌프의 주요 설비구성은 제조업체에 따라 차이가 있으나 기수분리탱크, 에덕터, 고온응축수펌프, 공기배출(Air-vent) 및 서어지탱크(Surge tank)로 이루어져 있다.

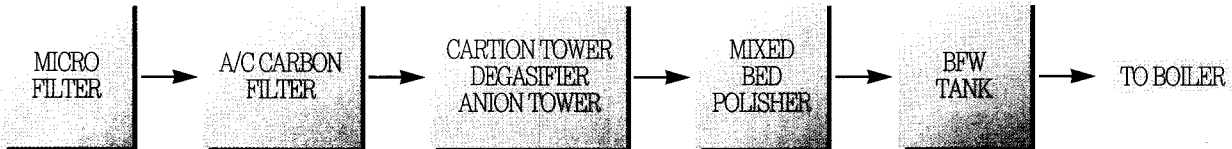
#### 4-7. 열교환기를 이용한 간접 열회수 방식

응축수가 오염될 위험성이 높은 경우나 이미 오염되어 있을 때 열교환기에 의하여 보일러의 급수 또는 타 생산 공정 유체 등을 가열하는 열원으로 활용하는 방법으로 응축수열을 회수하는 방식이다.

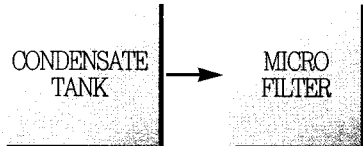


[그림 7] 열교환기를 이용한 간접 열회수 방식

<순수 : Make-up water>

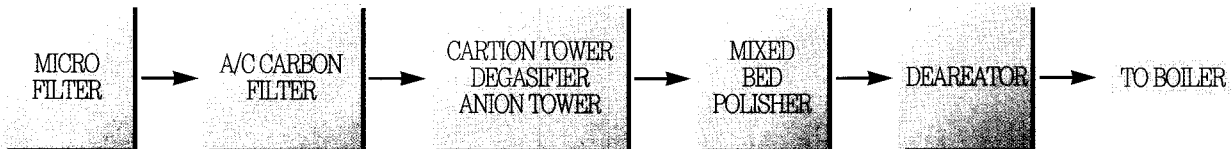


<응축수>

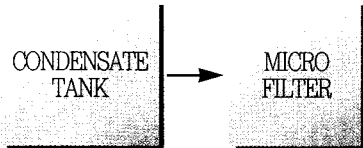


[그림 8] 일반적인 급수(순수, 응축수) 수처리 공정도

<순수 : Make-up water>



<응축수>



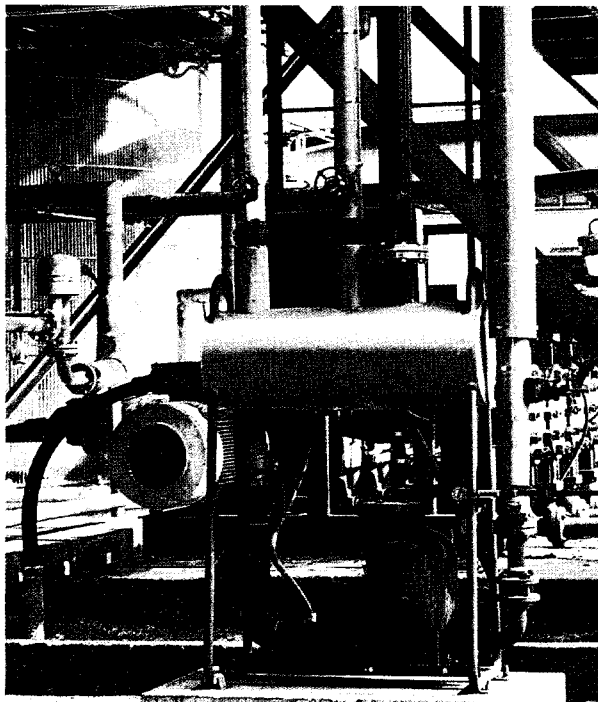
[그림 9] 100°C 미만 급수(순수, 응축수) 수처리 공정도

4-8. 응축수 여과처리 회수방식(열병합발전설비)

열병합발전보일러에서 급수 요구조건이 초순수(Demi-water)에 해당되는 수질을 요구하기 때문에 중소형 보일러의 경우와 같이 응축수를 바로 사용하지 않고, 철분, OIL 및 SS 등 제거하기 위한 별도의 수처리 장치를 거쳐 불순물을 제거한 후 사용하고 있다.

일반적인 응축수 회수방법은 [그림 8]과 같이 공정에서 회수한 응축수를 M/F(Micro filter)를 거쳐 혼상탑(MBP)으로 공급하여 이온교환처리함으로써 불순물을 제거한 후에 급수용수로 사용하는 방법이다. 열병합설비를 보유하고 있는 일부 업체에서는 응축수를 보일러 급수용수로 직접 회수, 이용하지 않고 응축수 열만 회수하기도 하다. 즉 응축수는 열교환기를 통하여 급수(순수, 복수)를 가열하는 열원으로 사용하고, 냉각된 응축수는 폐수처리장으로 버려지게 되어 있다.

또 다른 응축수 회수방법은 [그림 9]와 같이 응축수를 IRU(IRON REMOVAL UNIT : Cermic-filter) 장치에서 여



과 처리하여 철분 및 SS 등 불순물을 제거한 후 바로 급수탱크 보내는 방식으로 국내 P사 등 2개 업체에 설치되어 있다. 이 방식은 응축수온도가 100℃ 미만일 경우에 처리하는 방법이다.

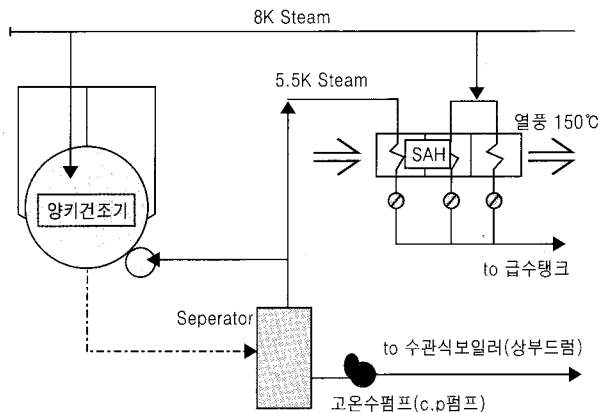
대기압 이상의 고온응축수의 경우는 PP, PE 수지류 계통의 카트리지로 구성되어 있는 여과장치에서 여과 처리한 후 곧바로 탈기기로 보내는 방법으로 응축수를 회수할 수 있으며 국내 H사(응축수온도 : 133℃)에서 채택하여 운용하고 있다.

이와 같은 응축수 여과 처리방식은 응축수 본래의 상태에서 여과 처리하기 때문에 응축수를 냉각하거나(혼상탑의 수지 운전조건 : 보통 60℃ 이하) 응축수 열만 간접으로 회수하는 일반적인 방식에 비하여 훨씬 효율적인 열회수 이용 시스템이라고 볼 수 있다.

5. 응축회수 적용 기술 및 사례 소개

5-1 후레쉬탱크 및 고온응축수 펌프 이용 기술

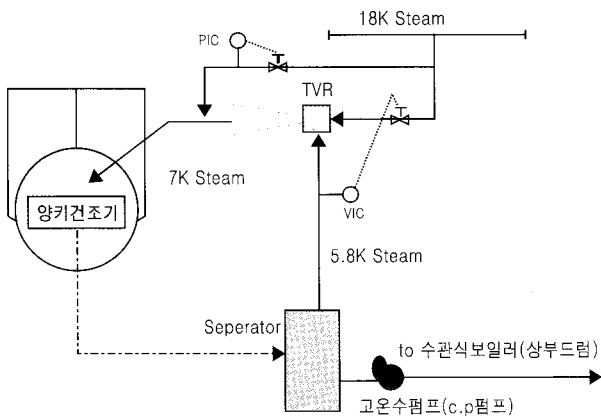
국내 U사의 설치사례로서 Seperator 탱크에서 분리된 재증발증기는 Hood용 열풍히터(SAH)의 순환열풍을 가열하는 예열열원으로 사용하고 있으며, 고온의 응축수는 C.P 펌프에 의하여 수관식보일러 상부드럼으로 직공급하는 시스템으로 구성되어 응축수 보유열의 대부분을 회수 이용하고 있다.



[그림 10] 후레쉬탱크 및 고온응축수 펌프 이용 기술

## 5-2. 후레쉬탱크, TVR 및 고온수펌프 이용 시스템

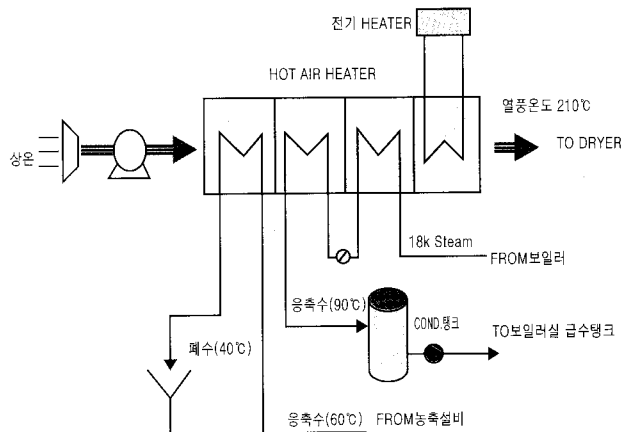
제지공장의 설치사례로서 Separator tank에서 분리된 재증발증기는 열압축기인 TVR(Thermo vapor recompressor)로 재압축하여 양기건조기 실린더 드럼내로 공급하여 사용하고, 고온의 응축수는 고온수펌프(C,P 펌프)로 수관식 보일러 상부드럼으로 직공급하는 시스템으로서 응축수의 열회수율이 매우 높은 시스템이다.



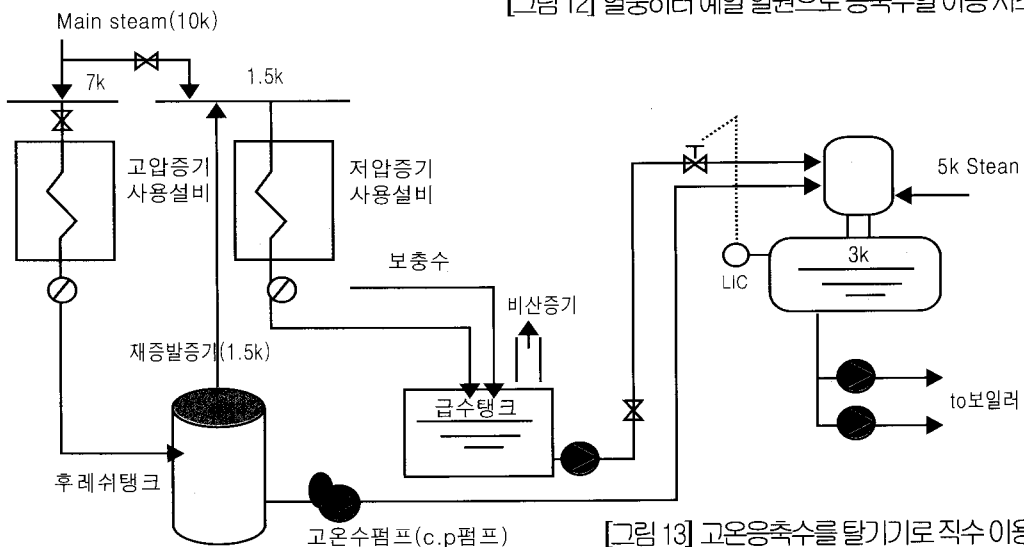
[그림 11] 후레쉬탱크, TVR 및 고온수펌프 이용 시스템

## 5-3. 열풍히터 예열 열원으로 응축수열 이용 시스템

식품 공장인 P사의 Spray dryer 설비에 적용하고 있는 사례로서 열교환기가 4단으로 구성된 열풍히터(Hot air heater)의 공급공기를 예열하는 열원으로 고온의 응축수열을 사용하고 있는 시스템이다. 열풍히터 예열열원으로 재이용된 응축수는 90℃ 이하로 냉각된 상태로 배출되어 응축수 탱크(CON. TANK)로 집수한 후 보일러실 개방탱크로 송수함으로써 개방탱크에서 응축수에 의한 재증발 증기의 발생 손실을 방지하고 있다.



[그림 12] 열풍히터 예열 열원으로 응축수열 이용 시스템



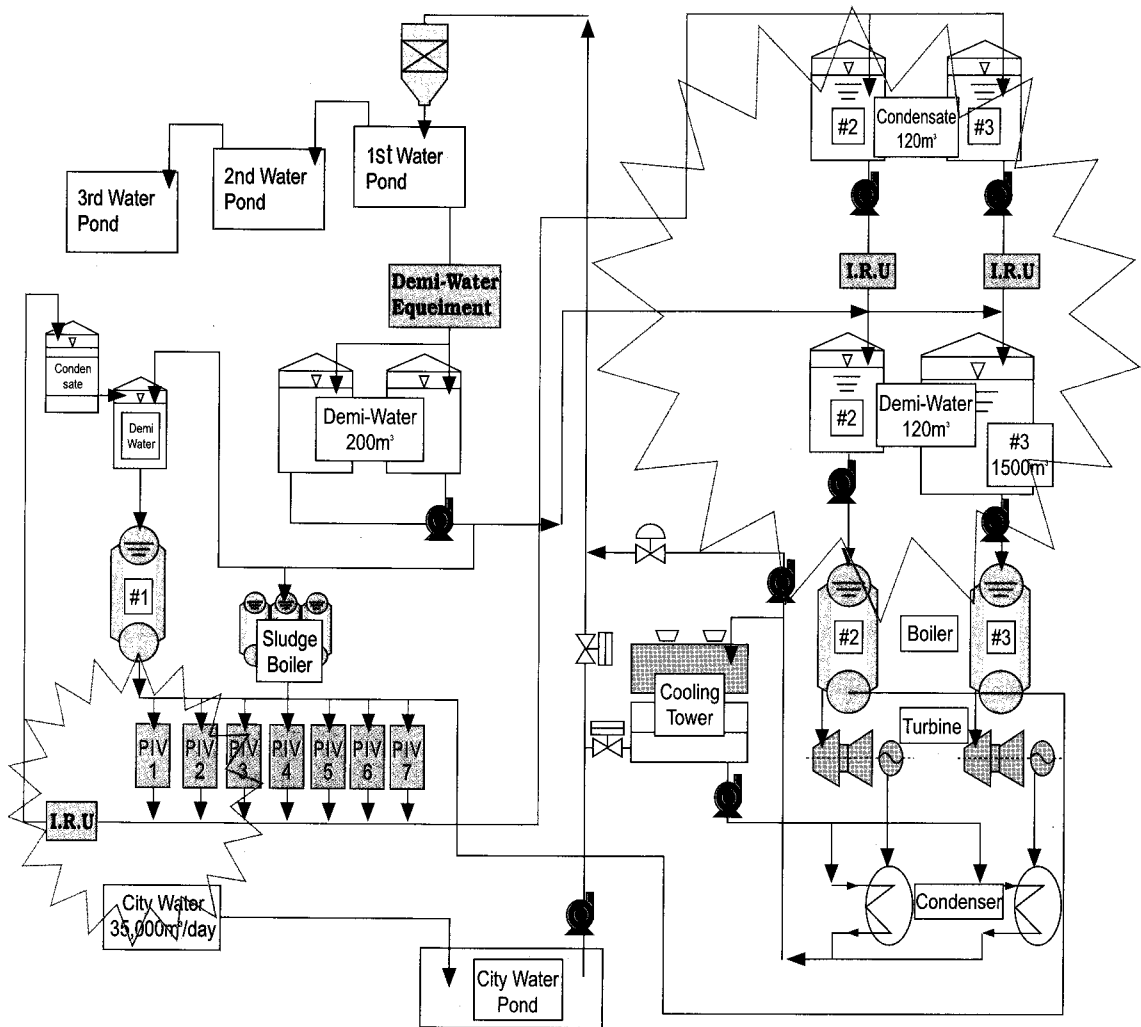
[그림 13] 고온응축수를 달기기로 직수 이용 방식

5-4. 고온응축수를 탈기기로 직수 이용 방식

고압증기 사용설비에서 배출된 응축수는 후레쉬탱크로 보내지며, 후레쉬 탱크에서 발생한 재증발증기는 저압증기 (1.5k) 사용설비의 공급증기로 사용한다.

고온 응축수는 개방형 급수탱크로 보내지 않고 탈기기로

송수하여 고압 증기 응축수의 전체 보유열량을 최대한 회수하는 시스템으로서 중저압 보일러를 보유하고 있는 공장에서 주로 검토 대상이 된다(열병합발전용 보일러의 경우는 응축수를 급수로 사용하기 전에 수처리를 해야 하기 때문에 탈기기로 보내기 전에 수처리 장치에 의한 전처리가 필요함).



[그림 14] Ceramic filter를 이용한 응축수 여과처리 방식(I.R.U 장치 : 저온형)

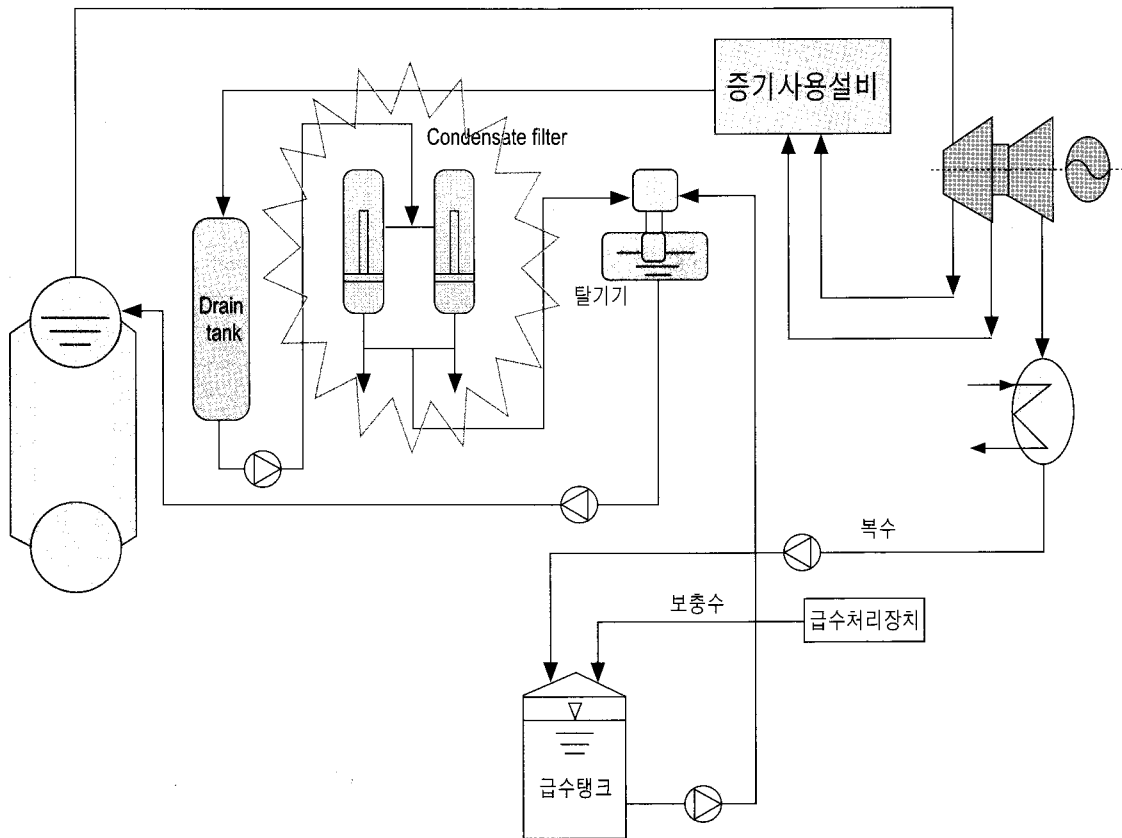
저압증기 사용설비에서 발생하는 응축수가 급수탱크로 회수되는 과정에서 재증발증기가 많이 발생할 경우에는 고온 응축수의 회수방법과 같이 저압증기 응축수도 탈기기로 직공급하는 방법이 바람직하다.

### 5-5. Ceramic filter를 이용한 응축수 여과처리 방식 (IRU 장치 : 저온형)

국내 P사의 설치사례로서 Precoating Ceramic filter로 이루어진 IRU 장치에 90℃의 응축수를 공급하여 여과시킨 후

별도의 수처리 장치를 거치지 않고 Demi-water tank로 보내어 열병합발전 보일러의 급수원으로 사용하고 있다.

IRU 장치의 작업공정은 Precoat 공정, 여과공정, Washing 공정으로 이루어져 있으며, 운전은 먼저 Ceramic filter Element 표면에 필터 조재를 Coating하기 위하여 filter Element 표면에 Precoat 처리하며(Precoating 시간 및 주기 : 15~30분/회, 1주~2주/회), 그 다음에 공정에서 회수된 응축수를 공급하여 여과 처리하며 이러한 여과과정에서 0.45 $\mu$ m 이상의 고형분(산화철 등) 및 Oil 등 불순물을 제



[그림 15] 고온용 응축수 여과장치를 이용한 여과처리 방식



거하게 된다. 또한, 일정기간 동안 계속해서 필터를 사용하면(보통 1주~2주) Ceramic filter Element 표면에 축적된 오염물질(SS 성분 등)로 인하여 필터 성능이 저하되므로 일정한 주기로 Washing 처리하여 재생하는 과정으로 이루어져 있다.

Ceramic filter를 이용한 응축수여과의 가장 큰 장점은 응축수를 냉각하지 않고 90℃ 이상에서 여과가 가능하기 때문에 급수하는 과정에서 응축수의 냉각 및 재가열하기 위한 에너지를 절감할 수 있다.

#### 5-6. 고온용 응축수 여과장치를 이용한 여과처리 방식

Ceramic filter를 이용한 여과방식과 거의 비슷한 방식으로서 Filter(cartridge) 재질이 고분자화학 제품류(PP, PE 수지류)로서 Filter Element 표면의 코팅이 불필요하여 Precoat 공정이 없다.

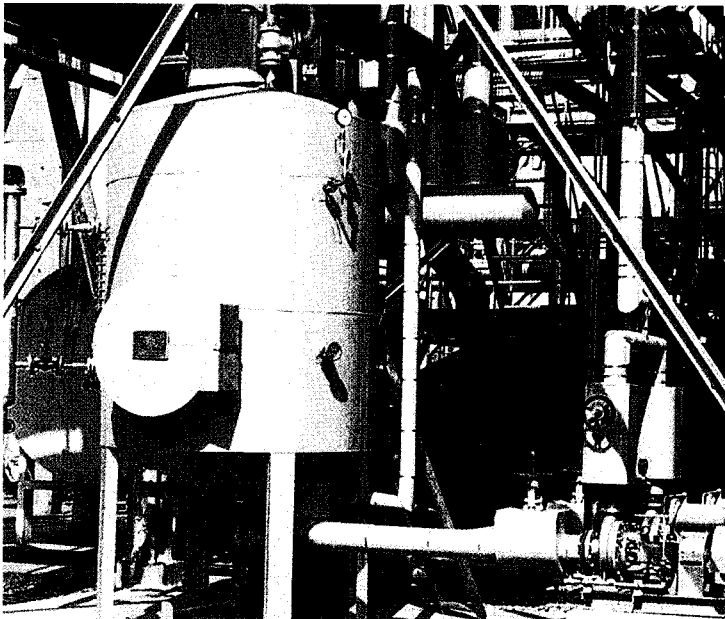
Ceramic filter 여과방식은 100℃ 미만인 경우에 적용되는데 반하여 본 방식은 100℃ 이상의 고온의 응축수를 여과 처리하는 방식으로서 국내에는 H사에 설치사례가 있다(응축수 온도 132℃).

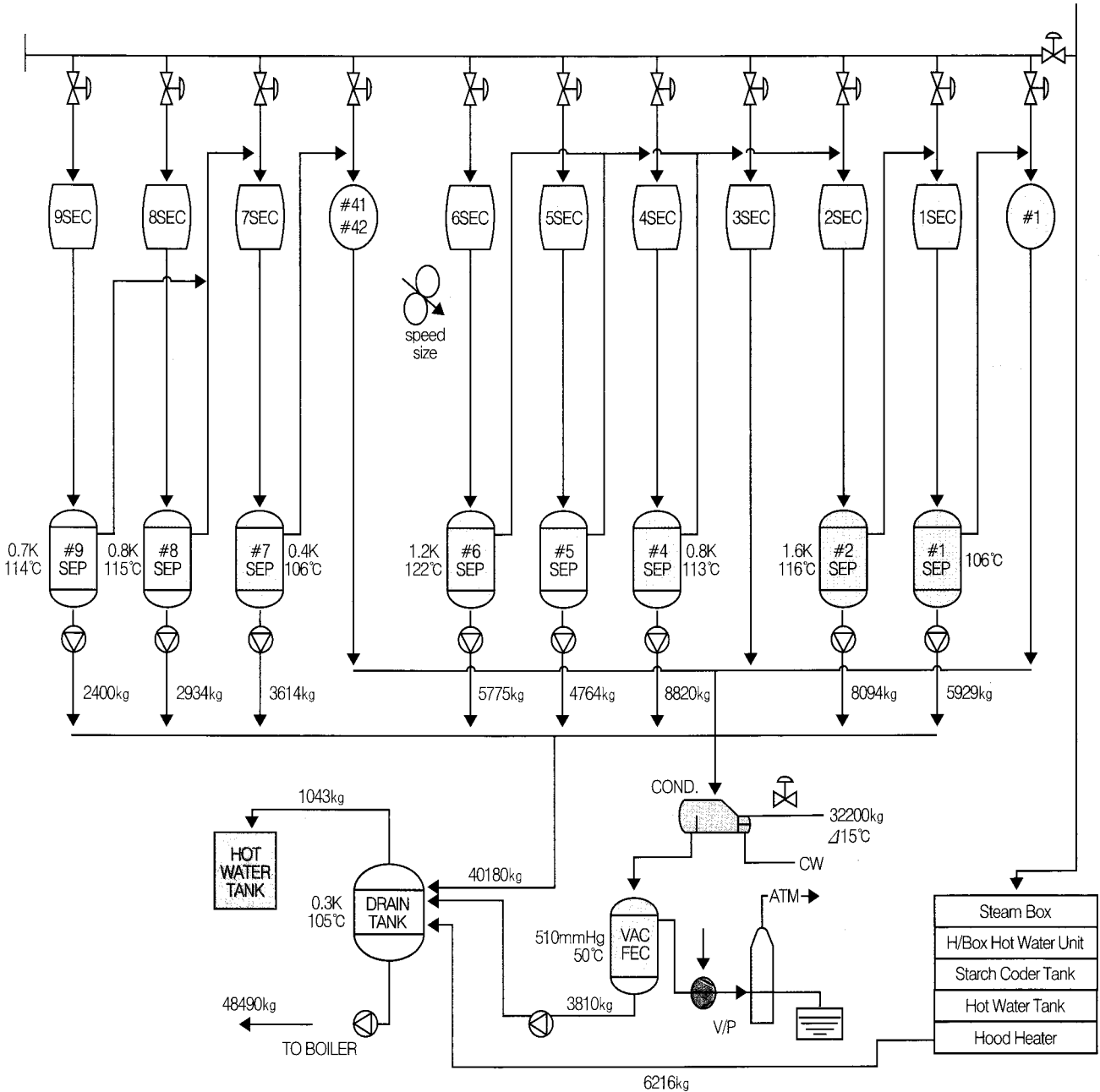
Cartridge는 크게 두 종류로 구분되며(Wound type, Pleated type), 여과성능은 0.45μm 이상의 현탁성 철분을 20ppb 미만으로 제거할 수 있고, 카트리지의 교환주기는 6,000~7,000 시간 정도 된다.

#### 5-7. 초지건조기의 드레인에이지시스템(Drainage system) 이용 방식

제지공장인 Z사의 설치사례로서 9개의 군으로 나누어진 실린더건조기에서 배출되는 각각의 응축수는 개별 분리탱크(Separator tank)로 모아지며 분리된 재증발증기는 차압으로 연계되어 상대적으로 저압을 사용하고 있는 실린더건조기에 공급하여 사용하며, 응축수는 Drain tank로 보내진 후 보일러실 급수탱크로 송수하는 시스템이다.

본 방식은 건조설비에서 배출되는 응축수열을 재증발증기 상태로 공정내에서 최대한 재사용하고, 응축수는 집수탱크로 모은 후에 보일러 급수탱크로 회수(105℃)함으로써 응축수열회수 이용 효율이 매우 높은 시스템이라 할 수 있다.





[그림 16] 초지건조기의 드레인이지시시스템(Drainage system) 이용 방식