

리종환
아남환경산업(주)대표이사

과열증기 액화방식 폐수처리기술

1. 개요

지 세계적으로 환경에 대한 관심이 고조되고 있으며 말로만 환경을 부르짖는 국가와 기업은 이제 더 이상 존속할 수 없다는 이념아래 아남 그룹이 반도체사업 다음으로 21C를 대비한 주력 사업으로 환경 PLANT보급을 통하여 인류에 이바지 하고자 아남환경산업을 창립,이제 10여년의 폐기물 처리역사를 가진 국내 최대 규모의 폐기물 종합처리업체로서 그동안의 기술적 KNOW-HOW를 가지고 세계최초로 과열증기 액화방식 폐수처리시스템을 개발하게 되었습니다.

이 기술은 특히 폐수처리과정의 부산물인 증기를 이용하여 열병합발전에 의한 전기문제해결과 냉난방 및 중수, 상수로의 재활용이 가능하게 되는 세계최초의 폐수 무방류 시스템이며 또한, 과열증기 액화방식 폐수처리시스템은 기존의 폐수처리방식보다 처리비용이 적게 드는 경제성과 아울러 부지면적을 5분의 1정도로 최소화 할 수 있는 고성능 콤팩트 시스템이기 때문에 쓰레기 침출수, 분뇨, 축산 폐수 등과 같은 혐오시설 및 기타 악성폐수도 통합 처리할 수 있는 장점을 겸비한 시스템입니다.

2. 기술개발 동기

▶ 산업구조의 고도화 및 도시화에 따른 음용수 수질악화, 산업용수부족, 난분해성 폐수증가, 독성물질 유입에 따른 실용신기술 개발이 필요하며 특히 난분해성 매립장 침출수는 국내보유 기술로는 처리가 난해한 것으로 판명됨에 따라 신기술 개발의 절대적인 필요성이 부각됨

▶ 국내수처리 기술력은 무분별한 해외기술 도입으로 전국 매립지에 발생하는 침출수 대부분이 완벽처리가 되지않고 있으며 수질환경 악화에 따른 환경피해는 날로 증가되고 있음

▶ 단순 처리기준 이내가 아닌 완벽한 청정수 처리로 폐수

무방류를 실현하고 부대 에너지를 이용한 냉·난방등 종합 RECYCLING SYSTEM으로 경제성을 높임

3. 과열증기 액화방식 폐수처리 기본원리

▶ 폐수를 가압 또는 감압조건하에서 증발시켜 증발한 수증기를 SUPER HEATING SYSTEM을 이용하여 400~600℃ 사이의 적당한 온도 가열, 과열증기화함으로써 수증기와 함께 증발한 악취 등 냄새성분과 이온화된 유·무기물질을 열산화 또는 탄화시켜 순수 물 분자만의 수증기가 과열증기로 남게 된다. 이렇게 정화된 과열증기는 적절한 열교환 수단을 이용, 최대한 회수 후 유용에너지로 이용하는 SYSTEM

▶ 폐수증발기에 투입하는 열량을 고압으로부터 저압에 이르기까지 다단계증발법(CASCADE EVAPORATION)을 적용하여 열량손실을 최소화함과 동시에 기화잠열과 응축수 냉·난방의 열원으로 사용하는 다목적 SYSTEM

4. 기술의 장점 및 기대효과

▶ 증발법을 이용한 물리적 방법의 정수처리 기술로 자동화 운전이 가능한 Compact형 고성능 system이며, 2차 공해를 유발하지 않는다.

▶ 열병합발전과 폐수처리를 병행하여 전력을 생산하는 물론 폐·하수를 공업용수나 상수로 Recycling하여 폐·하수의 무방류(세계 최초)를 실현함으로써 수질 환경의 자연복원을 초래할 수 있고, 지역 냉·난방을 열병합발전 폐수처리의 부산물 개념으로 해결, 국민경제에 크게 이바지 할 수 있다.

▶ 폐·하수 무방류 즉 폐·하수를 처리하여 공업용

수와 상수를 부산물 개념으로 생산할 수 있는 경제성이 있다.

▶ 폐기물 매립지 침출수(난분해성)처리의 경우 또다른 공해의 원인이 되는 매립지 발생가스(LFG : Landfill gas)를 열발열량으로 사용, 열병합 폐수처리를 실시함으로써 매립지 침출수처리의 획기적 경제성 확보는 물론 전력과 용수생산 및 지역 냉·난방까지를 해결할 수 있는 다목적효과를 거둘 수 있다.

5. 적용분야

- ▶ 산업용폐수의 공업용수화 처리 설비·Plant
- ▶ 생활 하수의 상수화 처리 설비·Plant
- ▶ 식품·의약품 및 첨단 산업용 초순수 생산 설비·Plant
- ▶ 열병합발전 해수 담수화 설비·Plant
- ▶ 과열증기 액화방식 냉·난방설비·Plant

6. 과열증기 액화방식 폐수처리 기술개발 진행상황

구분	기술개발진행	비고
1991.5	진공증발농축시설(200TON/D)	
1993. 2	진공증발농축시설 설치(500TON/D)	자체 기술력제작
1996. 4	과열증기 액화방식 폐수처리SYSTEM 기술개발 / 검토	
1996. 11-12	과열증기 액화방식 폐수처리SYSTEM PILOT TEST 성공(침출수, 각종 난분해성 적용)	당사현장 침출수 20MP/DAY
1997. 5-6	수도권 매립지 침출수처리 PILOT PLANT TEST 성공	KBS독점취재
1997. 10	당사현장 설치 PLANT설치 완료예정	500TON/DAY

7. 침출수 및 난분해성 폐수 특성

▶ 침출수 처리는 무분별한 외국기술 도입에 의한 국내 침출수 특성에 맞지 않으며 특히 생물학적처리 공법 적용시 질소 성분에 의한 부영양화등 심각한 연안해양 오염 및 하천오염을 유발하게 됨.

▶ 매립기간 경과에 따른 생물학적 난분해성물질 (NBDCOD : Non-Biodegradable Chemical Oxygen Demand) 농축으로 생물학적 처리공정 효율증대는 물론 고도 후처리 시설이 절대적으로 요구됨

▶ 산업폐기물 매립장 침출수는 매립성분에 따라 각종 중금속항목 및 유해물질 함유로 생물학적 처리공정 적용시 난점발생

▶ 우리나라 생활폐기물 특성상 CI 농도가 높으며 국내 해안매립이 계속 증가추세로 해수의 매립시설 유입에 따른 침출수중 CI 농도증가로 생물학적 처리시 미생물 대사활동의 저해를 초래함

▶ 침출수의 특성상 물리·화학·생물학적 단일 처리공정에 의한 침출수의 완벽처리가 불가능하므로 물리-화학-생물학적-고도화학-처리공정을 적용시 인력·소요부지·동력·기타 부대시설 설치에 따른 막대한 경

비 소요가 예상됨

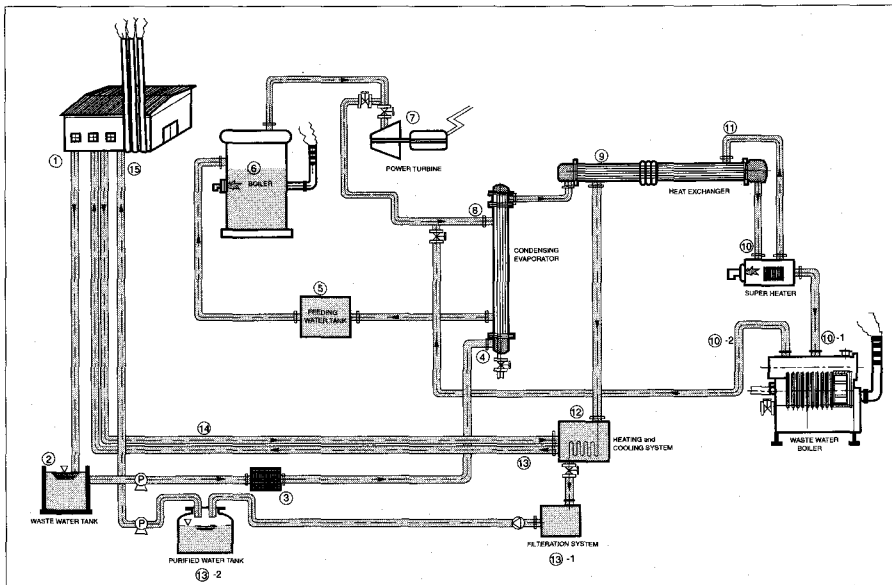
▶ 도축·제지·염색·도금폐수는 국내수처리 기술력으로 처리시 고가의 처리경비가 소요되며 완벽한 처리수를 기대하기 힘들며 폐수처리오니와 같은 2차 오염물질에 의해 처리경비가 높음

8. 과열증기 액화방식 폐수처리 FLOW SHEET

◎ 과열증기 액화방식 열병합 폐수처리 SYSTEM

- ① 가정 또는 공장 등지에서 폐수가 발생한다.
- ② 원수집수조에 발생된 폐수를 저장한다.
- ③ 여과조에서 폐수를 1차 여과한다.
- ④ 증발응축기로 폐수가 유입된다.
- ⑤ 적당한 온도로 폐수를 1차 예열한다.
- ⑥ 발전용 고압 Boiler에서 150℃정도의 Steam을 발생시킨다.
- ⑦ 포화 증기를 터빈에 보내어 Steam을 이용하여 전력을 발생시킨다.

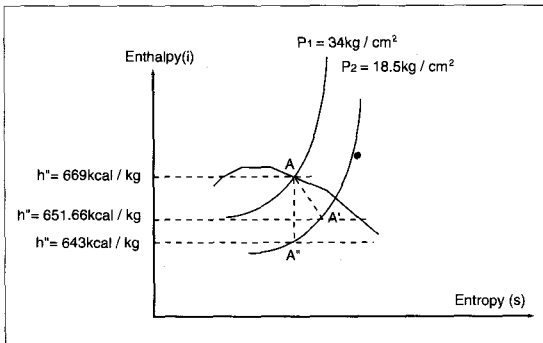
- ⑧ 이 배압터빈에서 나오는 증기로 폐수를 1차 증발시킨다.
- ⑨ 폐수가 1차 증발후 Steam을 열교환기로 유입시킨다.
- ⑩ 1차 Steam을 열교환 후 포화증기를 Super Heater로 유입시킨다.
- ⑩-1. Super Heater에서 발생된 550℃정도의 고온에 의해 열산화 및 탄화시킨다.



과열증기 액화방식 열병합 폐수처리 시스템

- ⑩-2. 열산화 혹은 탄화후 잉여폐열은 Recycle시킨다.
- ⑪ 2차 증발후 열교환기로 재이용한다.
- ⑫ 열교환기에 발생한 300℃정도의 Steam을 Heating and Cooling SYSTEM에서 냉·난방으로 전환한다.
- ⑬ 냉·난방으로 가정 또는 공장 등지에 재이용한다.
- ⑬-1. Cooling Tower를 거친후 공장등지에 재이용한다.
- ⑬-2. 여과후 정수처리과정을 거친다.
- ⑭ 냉·난방으로 재이용후 폐열을 발생한다.
- ⑮ 중수 및 상수로 재이용한다.

9. 폐수처리능력 5,000ton/day의 경제성 분석 실예



위 그림에서, 이론열낙차는 $(669-643)=26\text{kcal/kg}$ 이고, 일반적으로 증기터빈의 내부팽창효율은 59%이므로 터빈의 유효열낙차는 이론열낙차×내부팽창효율에서 다음과 같이 계산한다.

$$26\text{kcal/kg} \times 59\% = 15.34\text{kcal/kg}$$

일반적으로 발전기 효율은 94.5%, 감속기 효율은 99%이므로 1kWh 당 증기소요량은 다음과 같다.

$$\frac{860\text{kcal/kWh}}{15.34\text{kcal/kg} \times 94.5\% \times 99\%} = 59.92\text{kg/kWh}$$

발전터빈에서 34kg/cm²의 포화증기를 시간당

100,000kg/h 만큼 투입시키면,

$$\frac{100,000\text{kg/h}}{59.92\text{kg/kWh}} = 1,669\text{kW}$$

의 전력이 발생되며 터빈출구의 증기는 압력 18.5kg/cm², 온도 210℃, 엔탈피 651.66kcal/kg의 상태로 된다. 이와 같이 터빈에서 통과된 뒤의 증기는 18.5kg/cm²의 배압을 갖고 있으므로 그 배압을 이용하여 1단의 Condensing evaporator(응축압력 18.5kg/cm², 증발압력 11kg/cm²)에 투입될 수 있어 응축열에 따라 증발하는 열량은

$$(669 - 15.34 - 215.94) \times 100,000 = 43,772,000\text{kcal/h}$$

므로

1단의 폐수증발량 X₁은

$$43,772,000 = X_1 \times (664 - 95) \text{에서, } X_1 = 76,928\text{kg/h로 산}$$

출된다.

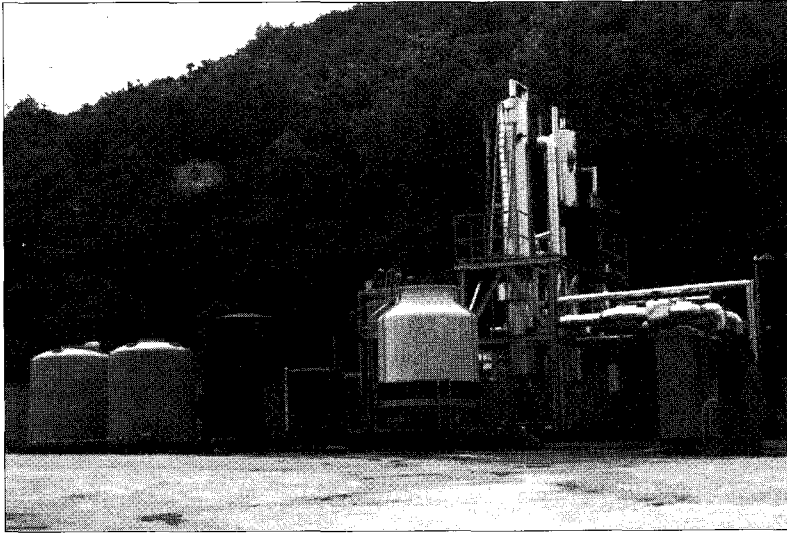
여기서 95kcal/kg는 Preheater에서 각단에 공급되는 폐수가 마지막단의 Superheater의 여열로 예열된다. 따라서, 1단의 Condensing evaporator에서 210℃로 응축된 물 100,000kg/h는 Boiler로 되돌아 재급수됨과 동시에 X₁=76,928kg/h의 폐수가 11kg/cm², 183.2℃ 상태의 포화증기로 증발되며, 1단의 열교환기를 경유 하면서 1단의 Super heater에서 압력 11kg/cm², 온도 550℃로 과열시킨다.

Super heater에서 $(856.4 - 779) \times 76,928 = 5,954,220\text{kcal/h}$ 만큼의 열량을 얻은 후 다시 1단의 열교환기로 되돌아 가서 압력 11kg/cm², 325℃의 과열증기상태로 2단의 Condensing evaporator(응축압력 11kg/cm², 증발압력 4kg/cm²)에 투입되어 응축열에 따라 증발되는 열량은 $(741 - 189.8) \times 76,928 = 42,402,714\text{kcal/h}$ 이므로

2단의 폐수증발량 X₂는

$$42,402,714 = X_2 \times (656 - 95) \text{에서 } X_2 = 75,584\text{kg/h로 산출}$$

된다.



6,016,063kcal/h 만큼의 열량을 얻은후 다시 3단의 열교환기로 되돌아 가서 1.6kg/cm², 285℃, 725kcal/h의 과열상태로(725-128.5)×79,158=47,217,747kcal/h 만큼의 열량을 갖고 폐수에 열기 및 냉난방장치에 투입되어, 각단의 폐수를 95℃로 예열시킴과 동시에 냉난방 장치에서 128℃로 응축될때까지 증발잠열이 회수된다. 20℃의 폐수를 95℃까지 예열시키는데 필요한 열량은 1단의 폐수공급량 76,928kg/h, 2단의

따라서, 2단의 Condensing evaporator에서 189.9℃로 응축된 물(X₁)76,928kg/h는 정화한 응축수로 됨과 동시에 X₂=75,584kg/h의 폐수가 4kg/cm², 151℃ 상태의 포화수증기로 증발되며 2단의 열교환기를 경유하면서 2단의 Super heater에서 압력 4kg/cm², 온도 550℃로 과열시킨다. Superheater에서 (857.9-781.6)×75,584kcal/h=5,767,071kcal/h, 만큼의 열량을 얻은 후 다시 2단의 열 교환기로 되돌아가서 압력 4kg/cm², 300℃의 과열 증기 상태로 3단의 Condensing evaporator(응축압력 4kg/cm², 증발압력 1.6kg/cm²)에 투입되어 과열증기의 응축열에 따라 증발되는 열량은 (732.3-152.1)×75,584=43,853,929kcal/h이므로,

3단의 폐수증발량 X₃는

$$43,853,929 = X_3 \times (649 - 95), X_3 = 79,158 \text{kg/h로 산출된다.}$$

따라서 3단의 Condensing evaporator에서 152.1℃로 응축된 물(X₂=75,584kg/h)은 정화된 응축수로 됨과 동시에 79,158kg/h(X₃)의 폐수가 1.6kg/cm², 128℃ 상태의 포화 수증기로 증발되며 3단의 열교환기를 경유하면서 3단의 Super heater에서 압력 1.6kg/cm², 온도 550℃로 과열시킨다.

$$\text{Super heater에서 } (858.4 - 782.4) \times 79,158 =$$

폐수공급량 75,584kg/h, 2단의 폐수공급량 75,584kg/h, 3단의 79,158kg/h 임을 감안하여

$$(79,628 + 75,584 + 79,158) \times (95 - 20) = 17,577,750 \text{kcal/h로 산출되며,}$$

이 열량은 3단 열교환기에서 나오는 열량인 47,217,747kcal/h의 36.8%가 폐수를 예열시키는데 충당되고, 나머지 열량인 29,841,610kcal/h (X₃'=79,158kg/h×0.632=50,028kg/h)는 냉방 장치로 투입되어 냉난방하부에 이용된다.

냉난방에 이용할 수 있는 총열량은 상기열량 이외에 2단의 75,580kg/h 및 3단의 79,150kg/h, 그리고 마지막 단의 50,020kg/h에서 정회된 응축수는 각각 189.7℃, 152.1℃ 및 128.5℃의 고온으로 난방이나 온수공급온도가 50℃로 강화하는데 까지 아직도 여열을 갖고 있으므로

$$(189.7 - 50) \times 75,580 + (152.1 - 50) \times 79,150 + (128.5 - 50) \times 50,020 = 22,566,310 \text{kcal/h만큼의 열량을 추가 할 수 있으므로}$$

$$29,841,610 + 22,566,310 \text{kcal/h} = 52,407,920 \text{kcal/h이다.}$$

따라서, 난방가능 면적은

$$\frac{52,407,920\text{kg/h}}{400\text{kcal}/(\text{평} \cdot \text{h})} = 131,110\text{평}(25\text{평}, 5,240\text{가구})\text{이며}$$

보다 고온의 응축수(166℃, 172,780kg/h)가 보다 저온의 응축수(128.5℃ 31,990kg/h)를 별도의 온수 열교환기로 146℃의 증기를 발생시켜 냉방장치로 투입시키면 31,990×507=16,218,930kcal/h의 열을 흡수시킬 수 있으므로 이 열을 추가로 냉방에 사용할 수 있다.

따라서, 냉방에 사용할 수 있는 열량은 46,060,540kcal/h로 증가되어, 냉방가능 면적은 다음과 같다.

$$\frac{46,060,540\text{kcal/h}}{300\text{kcal}/(\text{평} \cdot \text{h})} = 153,530\text{평}(25\text{평}, 6,140\text{가구})\text{로 될과 동시에}$$

70℃의 온수를 시간당

$$194.349 \left(\frac{172,780 \times (138 - 70) + 31,990 \times (128 - 70)}{70} \right) \text{kg을 공급할 수 있을 것이다.}$$

실제로 이 장치의 폐수처리능력과 증발손실(약 10%미만)을 감안하면 한시간에 184,290kg을 공급할 수 있다.

그리고, 한가구당 전기공급능력은 월간

$$\frac{1,669 \times 24\text{hr} \times 30\text{day}}{5240\text{가구}} = 229.4\text{kWh로 산출된다}$$

폐수처리능력은 $X_2 + X_3 + X'_3 = 75,584 + 79,158 + 50,028 = 204,768\text{kg/h}$ 이며, 일당으로 환산하면 4,914ton/day로

5,240가구 × 4(인/가구) × 200kg/(인 · 일) = 4,192,000kg/day임을 감안하면, 722ton/day의 여유가 있다. 그리고, 이때에 투입되는 에너지는

$$100\text{ton/h의 보일러} : \frac{(669 - 215.94)}{0.85} \times 100,000\text{kg/hr} = 5,301,170\text{kcal/h}$$

$$1\text{단의 Superheater} : \frac{(856.4 - 779)}{0.75} \times 79,628\text{kg/hr} \times 0.8 = 6,574,080\text{kcal/h}$$

$$2\text{단의 Superheater} : \frac{(857.9 - 781.6)}{0.75} \times 75,584\text{kg/hr} \times 0.8 = 6,151,520\text{kcal/h}$$

$$3\text{단의 Superheater} : \frac{(858.4 - 782.4)}{0.75} \times 79,158\text{kg/hr} \times 0.8 = 6,417,070\text{kcal/h}$$

이나 각단의 super heater의 배기온도가 고온임을 고려하여 폐열보일러 등의 열회수장치를 설치하여 가동하였을 때 열회수효과(최소절감 20%)를 감안한다면 super heater에서의 투입에너지는 19,142,670kcal/h이다.

따라서, 총 투입에너지는 72,443,840kcal/L(B-C oil로 환산시 7,430kcal/hr 도시가스도 환산시에는 6,192kg/h)로 된다. 여기에서 상기의 0.8배수는 폐열보일러 등 열교환기의 열회수 효과를 감안한 것이다.

$$\text{따라서, 폐수처리 열원단위는} \frac{72,443,840\text{kcal/h}}{204,768\text{kg/h}} = 353.8\text{kcal/kg이며}$$

방열손실을 최대로 10%임을 감안하면 389.1kcal/kg임을 알 수 있다.

< 상담 및 문의 : (0562) 278-1112 >