

폐열발전 시스템

- W.H.R.S (Waste Heat Recovery System) -

서 형 남 (라파즈한라시멘트(주) R&D 팀 과장)

1. 서 론

1824년 포틀랜드 시멘트가 처음으로 개발된 후 그간 여러가지 공정개선으로 열효율이나 에너지 원 단위면에서 획기적인 발전은 있었으나 아직도 시멘트 제조원가 중에는 전력비 비중이 약 15%를 차지하고 있다.

현재 당사는 2, 3호 증설라인에 국내 처음으로 폐열발전 설비를 설치, 운용하고 있으며 본 설비를 통하여 총소요전력의 20%를 충당하고 있어 원가절감에 크게 기여하고 있다.

폐열발전 설비의 개요를 살펴보면, WHRS는 시멘트 제조공정 중 크링카 Cooler(Air Quenching Cooler)에서 나오는 고온의 공기로부터의 폐열을 효과적으로 이용할 수 있도록 설계된 폐열회수 발전설비이다. Kiln에서 소성된 크링카를 냉각시키기 위한 공기가 크링카 Cooler 하부로부터 공급된다.

크링카의 냉각에 사용된 후 크링카 Cooler에서 흘러나온 공기 중 고온부의 공기는 Klin 및 Calciner의 연소용 공기로 사용되고 천정부에서 추출된 중온부 공기는 집진기(Waste Heat Noric Cyclone)로 보내져 대기로 방출되기 직전, 전기집진기를 거쳐 분진을 제거토록 되어 있다. 또 저온부의 공기는 크링카 Cooler의 하부를 통과하기 전 열교환기(〈사진-2〉)를 거쳐 집진기를 통과하도록 되어 있다.

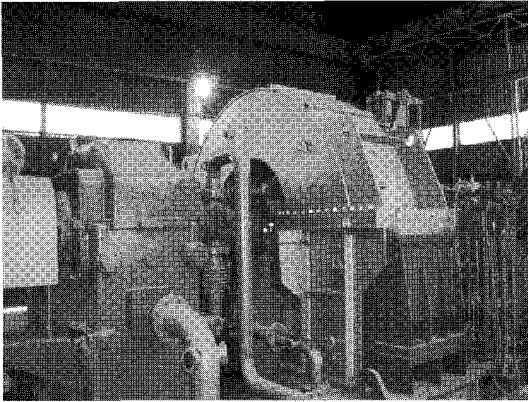
2. 폐열발전 시스템

설비는 크게 보일러설비, 터빈설비, 발전설비, 수처리설비로 구분할 수 있다. 당사에서는 2, 3호 증설라인 2대의 Kiln 각각의 크링카 Cooler에 1대씩 총 2대의 폐열보일러를 갖추고 있으며, 각각의 폐열보일러는 두 종류의 스팀, 즉 고압의 과열증기와 저압의 포화증기를 생산하여 발전을 위해 현대의 터빈 발전기에 들어가도록 되어 있다.(〈사진-1〉)

스팀터빈은 입구노즐에서 고압의 Steam을 얻는 Condensing Type과 Admission Nozzle에서 저압의 Steam을 얻는 Admission Type으로 되어 있다. Turbine에서 작업을 끝낸 Steam은 배출노즐을 통하여 응축기로 들어가 응축수로 바뀐다. 이 응축수는 다시 폐열보일러로 이송된다.

응축기에 쓰이는 냉각수는 냉각탑에 순환되어 냉각되며, 냉각탑에서 응축기로 공급된 냉각수에 의해 터빈에서 나온 스팀은 응축수로 전환되고 더워진 냉각수는 다시 냉각탑으로 보내져 대기에 의해 냉각되어 응축기로 보내진다. WHRS에는 두 종류의 보충수가 있다. 하나는 폐열보일러와 터빈 라인상의 보충수이고 또 다른 하나는 냉각탑과 응축기 라인상의 보충수이다.

전자는 폐열보일러, Steam trap, Gland packing 등으로부터의 누수방지와 응축기 아래에 설치되어



〈사진-1〉 가스터어빈 발전기

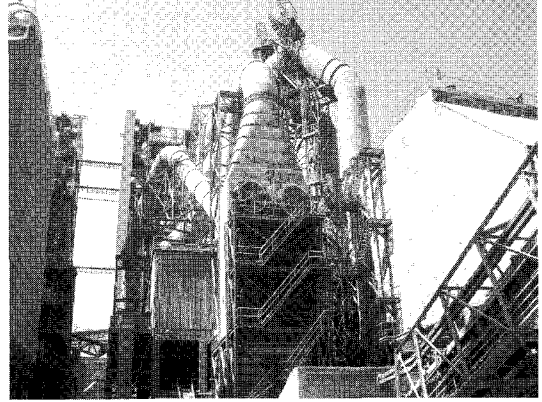
있는 응축수를 보충하기 위해 Demineralized Water 장치에서 처리된 원수(Raw Water)로 보충되어지고 후자는 냉각탑에서 표류나 증발로 인하여 생긴 냉각수의 손실을, 냉각탑의 콘크리트 수조를 보충하기 위한 공급원수에 의해 직접 보충받는다.

발전기는 감속기어를 거쳐 터빈에 연결되어 있다. 터빈은 그곳에 공급되는 스팀에 의해 전기를 발생한다. 발전기는 상용전기와 병행하여 일정하게 가동되도록 되어 있다.

WHRS는 중앙조정실(CCR)에서 펌프 및 기타 장치를 조정 감시하며 ON/OFF 동작을 행하도록 되어 있다. 실제 당사의 폐열발전 설비의 효과를 파악해 보면, 시멘트 생산공정에 지장받지 않으면서 Kiln 배기가스의 폐열을 이용하여 전력을 생산함으로써 에너지 이용을 극대화하고 있다.

가. 폐열발전 설비 개요

폐열발전 설비는 시멘트 제조공정의 크링카 Cooler(AQC)에서 나오는 고온의 공기중 천정부에서 추출된 중온부 공기(370°C)를 집진기를 거쳐 폐열보일러(WHB)로 보내져 물을 가열하여 발생된 Steam으로 터빈을 돌려 전력(9,100kwh)을 생산하며, 사용된 뜨거운 가스는 대기로 방출되기 전에 전기 집진기(E.P)를 거쳐 분진을 제거한 후 대기로



〈사진-2〉 열교환기

방출한다.

나. 폐열발전 설비 현황

설비는 크게 보일러 설비, 터빈 설비, Generator 설비, 수처리 설비로 구분된다.

1) 보일러 설비

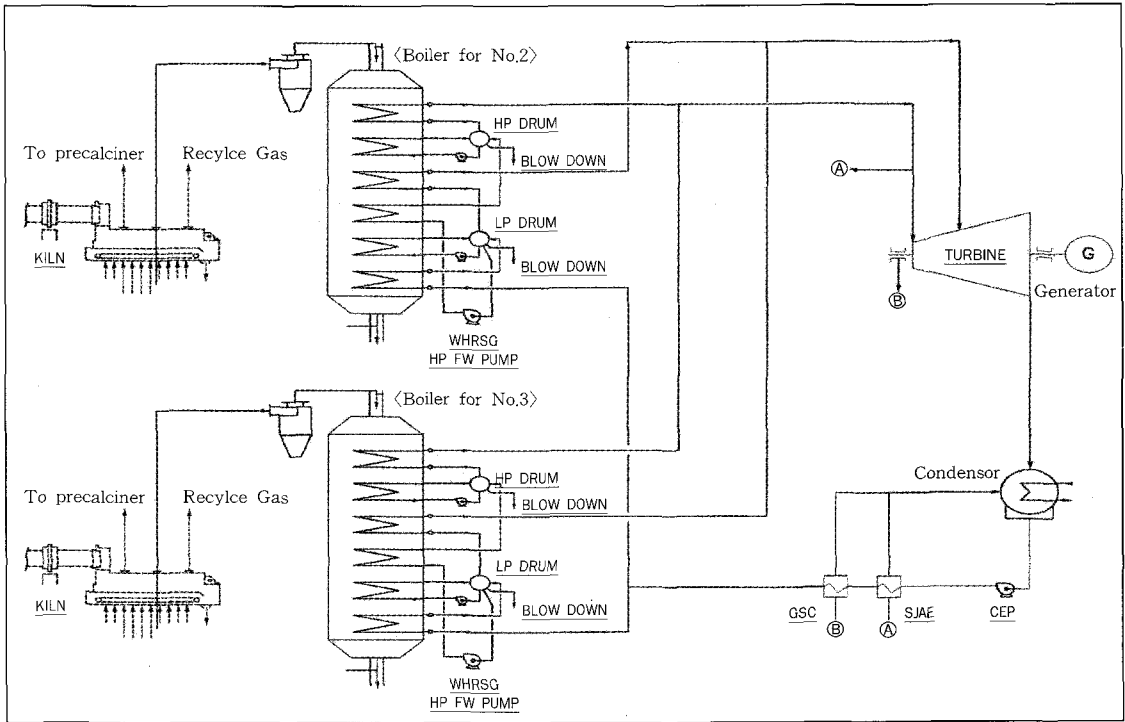
- 용량 : 27톤/시간×2기
- 형태 : 수직형 강제 순환식 이중 압력 수관식 보일러
- 온도 : 고압 340°C, 저압 135°C

2) 터빈 설비

- 형태 : Blushless Type
- 용량 : 최대 10,666kw
- 주압력 : 24kg/cm²
- 주온도 : 335°C
- 배기증기압력 : 0.075kg/cm²

3) Generator 설비

- 형태 : Synchronous generator
- 용량 : 12,500KVA
- 전압 : 6,600V
- 회전속도 : 1,800RPM



〈그림-1〉 폐열발전 설비공정 FLOW SHEET

4) 수처리 설비

- 형태 : 활성화된 카본 필터를 갖춘 혼합 배드형 탈 이온기
- 용량 : 120m³/사이클
- 품질 : PH 7~8, 전리도 10 μs/cm² ↓, 실리카(SiO₂) 0.2PPM ↓

다. 폐열발전 설비 공정

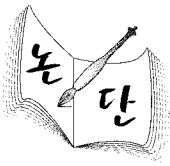
2, 3호 증설라인 2대의 Kiln 각각의 크링카 Cooler에 1대씩 2대의 폐열 보일러를 설치하여 각각의 보일러는 두 종류의 Steam, 즉 고압의 과열 증기(25kg/cm², 340°C)를 생산하여 스팀터빈으로 보낸다. 이것은 입구 노즐에서 고압의 스팀과 Admission Nozzle에서 저압의 스팀과 Admission Nozzle에서 저압의 스팀으로 들어가 한대의 터빈 발전기를

돌려 전력(9,100kwh)를 생산하고 일을 끝낸 스팀은 배출 노즐을 통하여 응축기로 들어가 응축수로 바뀐 후 다시 폐열 보일러로 이동되게 된다.

이 과정중 보일러속의 응집방지를 위한 Drain과 Steam Trap, Gland Packing 등으로 손실된 스팀을 보충하기 위해 순수처리 설비에서 이온교환 수치를 사용하여 원수의 규소(SiO₂)성분 및 이온화된 전해질(Na⁺, Ca⁺, Cl⁻ 등)을 제거하여 PH 7~8, 전리도 10 μs/cm 이하의 순수를 만들어 폐열보일러 보충수로 보충되어진다.

또한 응축기에서 스팀의 응축을 위한 냉각수는 냉각탑으로부터 각 라인의 냉각수 및 응축기의 냉각수로 보내지며 냉각을 시킨 후 더워진 물은 다시 냉각탑에서 냉각되어지고 표류나 증발에 의한 냉각수의 보충은 원수로 보충되어진다.

발전기는 접속기 기어를 거쳐 터빈에 연결되어 터빈은 스팀에 의해 일정한 스피드로 가동되게 되어



있으며 조정은 중앙 조정실에서 하게 되어 있다.
(〈그림-1〉)

3. 결 론

폐열발전의 설비효과는 기존의 시멘트 생산방식으로는 크링카를 냉각하면서 발생하는 열을 그냥 대기로 방출했으나 현재에는 시멘트 생산공정에 지장을 주지 않고도 여기에서 폐열을 회수하여 전력을 생산함으로써 에너지 이용의 극대화라는 결과를 얻었다. 〈표-1〉은 당사에서 폐열발전을 통해 얻은 에너지 절감효과이다.

부족 자원의 절대 부족과 폭발적인 전력수요로 인

〈표-1〉 에너지 절감효과

항 목	내 용
연간 순이익	23억
전력 기여율	15%
시멘트 제조 기여율	3%(793원 Ton CE')

한 전력부족 현상이 심화되고 있는 현재, 당사는 폐열을 회수하여 전력을 생산함으로써 내부적으로는 생산효율을 높이고 비용을 절감할 수 있으며, 외부적으로는 에너지를 절약함으로써 연료를 사용하여 발생하는 환경오염을 줄이면서 정부시책에 적극 부응하고 있다. ▲

시사 용어 해설

▶ 넛크래커(Nutcracker)

우리나라가 미국 일본과 같은 선진국에 비해서는 기술과 품질 경쟁에서 밀리고, 중국이나 동남아 후발개도국에 비해선 가격 경쟁에서 밀리는 현상을 지칭하는 말이다. 미국의 세계적인 컨설팅 회사인 부즈앨런&해밀턴사가 IMF 외환위기 직후 우리나라 상황을 이같이 지적하면서 생겨난 말이다. 외환위기 당시에는 우리나라 수출산업이 처한 상황을 설명하는데 많이 쓰였으며, 이같은 표현의 밑바닥에는 우리나라가 당시로선 도저히 위아래로 치여 경쟁력을 가질 수 없다는 비아냥이 깔려 있었다. 내부적으로는 일본이 집중 육성한 산업 분야를 우리나라가 그대로 따라 키우는 과정에서 한국만이 내세울 수 있는 독보적인 영역을 확보하지 못했다는 자체 반성도 배어 있었다. 외환위기 이후 우리 경제가 본 궤도에 올라서면서 이같은 상황을 타개하기 위해선 지식집약적 산업을 키워야 한다는 비판이 제기됐다. 덕분에 우리나라는 정보기술(IT) 부문에서 세계에 자랑할만한 경쟁력을 갖출 수 있었다. 최근에는 이를 뒤집어 가격은 일본보다 낮고 기술은 중국보다 앞섰다는 역(逆)넛크래커의 인식 변화를 강조하는 목소리가 높아지고 있다. 철저한 원가절감과 구조조정을 이행하고 기존 산업기반을 심분 활용하는 것이 좀더 바람직하다는 주장도 나오고 있다.