

시멘트 kiln으로부터 “저온 폐열발전”의 신기술

Tang JinQuan

심언기

<Dalian East New Energy Development Co., Ltd.> <세일교역>

1. 정의 및 특징

1-1. 정의

Kiln 앞·뒤 공정에서 각각 Pre-heater와 clinker cooler로부터 나오는 flue gas의 waste gas(폐열)를 이용하여 cement clinker의 품질이나 생산공정에 전혀 나쁜 영향을 주지 않고, 1.27MPa~3.43MPa, 340°C~435°C의 steam을 만들어 전기 에너지를 얻는 기술입니다.

1-2. 특징

저온 폐열발전(pure low-temperature WHR power generation)의 제2세대 기술은 위에 언급한 공정을 효율적으로 수행하기 위한 몇 가지 특징이 있습니다.

- Cooler는 발전(發電)을 위해, 2개 이상의 flue gas extraction outlet(배출구)를 갖습니다.
- 독립적 super-heater는 AQC(Cooler측 폐열 보일러) 근처에 설치됩니다.
여기서 생성되어 Turbine에 들어가는 최초 steam의 온도 조절이 가능하기에 kiln으로 부터 방출된 flue gas의 온도 변화에 영향을 받지 않습니다.
- independent super-heater는 발전(發電)의 안정성과 운용의 효율성을 증대시키기 위해 C1 (pre-heater의 마지막 부분) 내부에 설치됩니다.
- AQC boiler(Cooler측 waste heat boiler)와 SP boiler(Pre-heater측 waste heat boiler)의 각각에 대한 water feed system은 독립적이면서 상호영향을 미치지 않는 분산시스템입니다.
- boiler feed water에 의한 De-aeration system(산소제거 시스템)은 추가적인 화학적 또는 전기적 에너지 공급 없이 145°C의 저온폐열을 사용합니다.
- flue gas의 출구온도를 조정하기 위한 adjusting unit(조절 장치)은 여러 상황에서의 다양한 습도와 온도를 맞추기 위해 SP boiler의 외부에 설치됩니다.
- clinker cooler에서의 cooling air는 순환됩니다.

2. 주요 기술 및 Thermodynamic system(열역학 시스템) 구축

① 주요 기술(Technology Key points)

Kiln에서 suspension pre-heater로 부터 배출되는 hot air를 수집 재활용 하기 위해 suspension pre-heater 보일러를 설치합니다.

그리고 clinker cooler의 flue gas extraction을 세 구간으로 나눠 배출 폐열 중 cooler중간 앞 부분에서 얻어지는 500°C 이하의 적은 량의 flue gas를 independent clinker cooler flue gas waste heat superheat (이하 ASH super heater)에 공급합니다.

그리고 중간 구간에서 얻어지는 360°C 이하의 flue gas는 cooler boiler(이하AQC boiler)에 공급되어 활용됩니다.

또 다른 flue gas exhaustion outlet(배출구)는 120° C이하의 flue gas를 배출하는 cooler의 후방구간에 설치합니다. 여기에서 나온 gas는 바로 대기에 방출됩니다.

Waste heat boiler와 waste heat super heater에서 얻어진 증기(steam)를 수용할 수 있는 turbine을 설치합니다.

Power generation system(발전 시스템)의 터빈에 에너지로 이용되는 primary steam(1차 steam)의 parameter는 1.27~3.43 MPa에 340°C~435°C입니다.

2차 포화증기의 parameter는 0~0.2 MPa에 160°C의 온도를 지닙니다.

이 때의 발전(發電) capacity는 clinker output 기준, 3140 KJ/KG (38~45kwh/t)이 됩니다.

② 열역학시스템의 구축

일반적으로 kiln에서 2세대 발전기술에 적용되는 열역학 전기시스템 방식은 다음 2가지 방식으로 구분됩니다.

● 첫 번째 방식은, diagram 4 에서처럼, 기본 형태 시스템입니다.

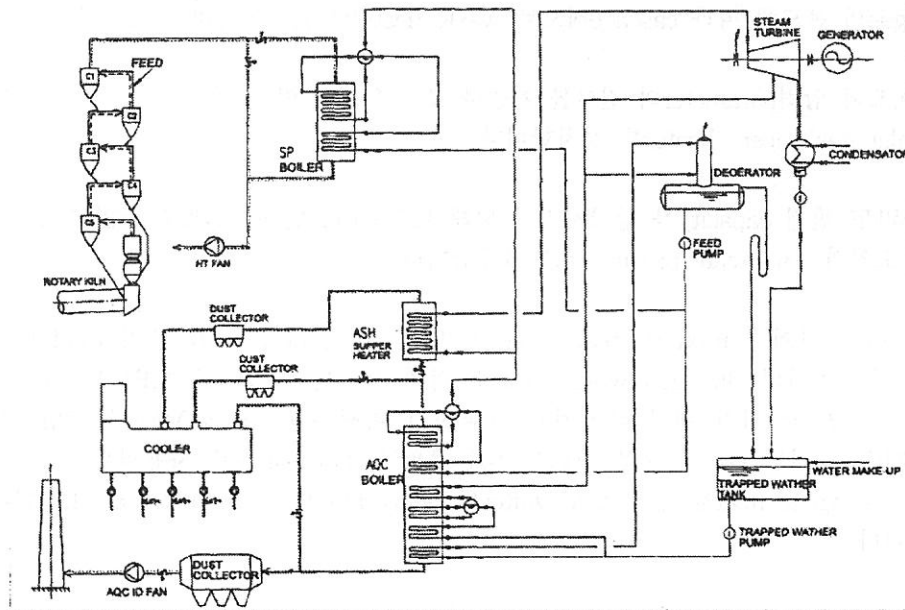
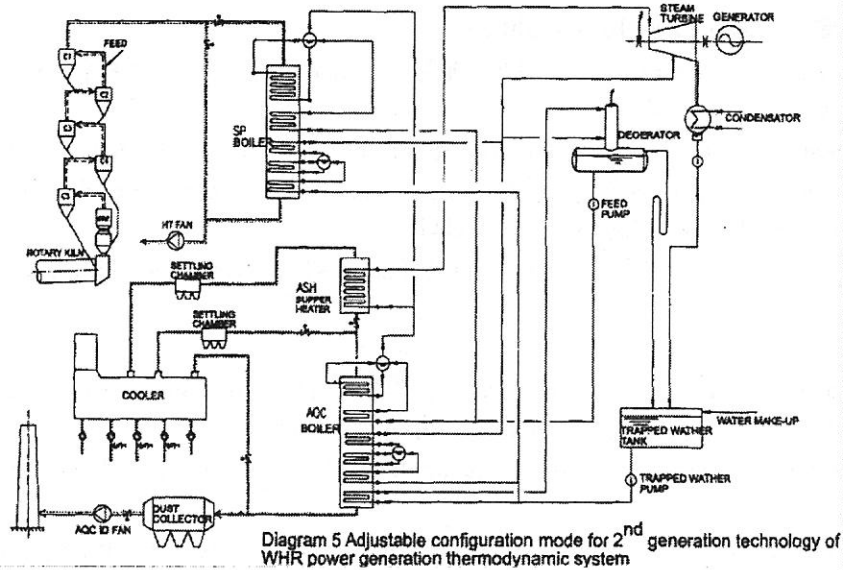


Diagram 4 Basic configuration mode for 2nd generation technology of WHR power generation thermodynamic system

- 두 번째 방식은, diagram 5 에서처럼, 조정 가능 개념의 시스템입니다.



3. Technology 특징

Clinker cooler에서 방출된 flue gas의 폐열을 재활용하고 Pre heater의 저온 폐열을 회수하여 전력을 만들어내는 제2세대 열역학 발전시스템 구축과 관련하여, 새로운 기술은 이전의 기술을 그대로 반영하면서 아래와 같은 다른 기술적 특징들을 더 추가하였습니다.

- ① Cooler는 상대적으로 높은 고온과 고압의 primary steam(1차 증기) parameter를 만들기 위해 다단계로 flue gas의 온도에 따라 cascade적으로 waste heat(폐열)를 인출하여 활용합니다.
- ② Steam의 온도와 압력parameter의 컨트롤 가능한 조건(온도나 압력 같은)을 만들기 위해 개별적으로 clinker cooler gas super heater를 설치합니다.
- ③ 발전기는 WHR 발전 capacity를 향상시키기 위해 1.27~3.43 MPa / 340°C~435°C의 상대적으로 높은 고온과 고압의 1차 steam parameter를 사용합니다.
- ④ Turbine은 여러 단계의 mixing steam feed 방법을 사용합니다. (2차 증기 mode), 그리고 AQC boiler는 190°C 이하의 flue gas waste heat에 의해 생산된 0.15~0.5 MPa의 hot water와 저압·저온 steam을 변동시키기 위한 측정치를 제공하기 위해 1.47~3.43 MPa의 고압 steam 부분과 0.15~0.5 MPa의 저압 steam 부분 그리고 100~120°C의 hot water를 사용합니다. 그리고 145°C이하의 flue gas waste heat를 통해 feed water와 de-aeration에 공급하여 100~120°C의 hot water를 생산합니다.
- ⑤ AQC boiler와 SP boiler 각각의 water feed system은 상호 영향을 주지 않고, 양 쪽 boiler 의 독립적인 운영 조건을 만들어주는 시스템입니다.

- ⑥ Boiler feed water의 De-aeration system은 추가적으로 화학적 전기적 에너지를 사용하지 않고, 145°C 이하의 low temperature waste heat를 사용합니다.
- ⑦ 변환된 waste heat를 최대한의 전력 에너지 생산을 위해 공급하면서, cement 생산을 위한 다양한 drying temperature의 요구조건을 충족시켜야 함에 따라, 조절장치는 SP boiler의 outlet에 설치합니다.

4. 저온폐열 발전(pure low-temperature WHR power generation)의 제2세대 기술의 성과

시멘트 생산공정과 설비를 변동하지 않고, raw meal & coal의 건조에 필요한 최소 온도 170°C의 요구 조건을 충족시키면서, cement kiln 운전에 영향을 주지 않는 범위 내에서, 본 pure low temperature power (저온발전)의 2세대 기술은, 1세대의 폐열발전(發電)의 문제점과 비교해서 저온폐열 발전의 제2세대 기술성과는 다음과 같습니다:

- ① 이들 폐열로 중간 압력의 450°C 과포화증기와, 0.1~0.5MPa의 저압이며 180°C의 낮은 포화증기, 그리고 85~110°C의 hot water를 동시에 생산할 수 있습니다.
- ② 열역학 순환시스템의 효율성을 증대시키기 위해, 열 변동에 따라 동작되는 cascade의 원리에 따라 sub-medium pressure와 medium temperature parameter를 설정할 수 있습니다. 따라서 cement 생산공정으로부터 발생하는 다양한 flue gas의 온도에 따라 폐열의 최대치 활용을 가능하게 합니다.
- ③ Cement 생산라인에서 열역학 순환시스템의 2세대 저온 발전(發電)기술과 circulation parameter, 그리고 flue gas 방출 방법들은 공정에서 나온 flue gas 폐열을 최대치의 전기 에너지로 변환시킵니다. 그래서 2세대의 WHR power generation capacity는 실제 3140KJ/Kg (38~45KWh/t)의 출력을 달성함으로써 해서, 1세대 기술보다 월등히 향상되었습니다. 1세대의 기술과 비교해 볼 때, clinker ton당 WHR power generation capacity는 clinker의 지속적인 열 소비를 전제로 할 때 12%~31.25% 향상되었습니다.
- ④ 1세대 발전기술에서, steam turbine의 수명에 영향을 끼칠 수 있는 steam 1 차 온도를 통제하지 못했던 문제를 해결했습니다.
- ⑤ 상당히 높은 압력과 온도를 포함한 steam은, 다양한 범위의 온도와 압력 parameter를 사용함으로써 좀 더 원활한 steam turbine의 운용 조건을 생성합니다(1차 steam 압력과 온도는 2.29MPa-370°C로 설계 되었습니다, 실제 운용범위는 1.27MPa~2.47MPa, 325°C~400°C 입니다.) ; 그러나 1세대 turbine의 steam 압력과 온도 허용 범위는 이보다 훨씬 적었습니다(1차 스팀 압력과 온도는 0.689MPa-317°C로 설계되고, 실제 운용 범위는 0.49~0.98MPa, 292°C~330°C 입니다). 그러나 2세대의 WHR 발전 capacity는 1세대보다 1차 steam parameter(압력 & 온도)의 범위를 크게 운용함으로써 해서, 1세대보다 운용과 신뢰성 면에서 훨씬 더 뛰어나게 만들었습니다.

-
- ⑥ AQC boiler와 SP boiler의 상호 간섭/영향, water feed system의 control 어려움, system의 불안정한 공급 같은 문제들을 해결했습니다.
 - ⑦ SP boiler의 outlet flue gas 온도를 컨트롤하기 위해 설치된 조절장치 때문에, cement line에 설치된 gas duct damper의 조정 없이, SP boiler의 outlet flue gas의 폐열 온도를 이용하여 시멘트 생산을 위한 raw meal & coal의 drying 조건에 충족시키면서, 최대치로 전기를 생산합니다.
 - ⑧ 145°C 이하의 저온 폐열이 feed water와 de aeration system에 이용되는 것은, 추가로 화학적, 전기적 에너지가 소비되지 않을 뿐만 아니라, feed water의 안정성 향상과 feed water의 산소 요건도 충족시키면서 boiler 운용의 지속성에도 기여합니다.

위에 언급된 points들은 WHR 발전 시설이 이미 생산 현장에 투입됨으로써 입증되고 있습니다.