

석탄가스화 복합발전용 고온건식 bench scale 탈황 공정 설계

박 영성, 이창근, 한 근희, 손 재익, 위 영호*, 이 정수*
한국에너지기술연구소, 한전기술연구원*

Design Consideration of the Bench Scale Desulfurization System for IGCC

Y. S. Park, C. K. Yi, K. H. Han, J. E. Son, Y.H. Wi* and J.S. Lee*
Korea Institute of Energy Research, Korea Electric Power Corporation*

서론

석탄가스화 복합발전시스템(IGCC)의 한 부분인 탈황공정은 가스화로에서 생성되어 나오는 석탄가스중의 H_2S 및 COS 를 고온상태에서 제거하여 발전부분에서의 부식문제 및 공해문제를 해결하는 매우 중요한 단위 공정이다. 특히 고온건식 탈황법은 습식 탈황법에 비하여 열효율면과 공해억제측면에서 유리한 방법으로 미국, 일본을 중심으로 연구 개발이 한창 진행중에 있다.

본 한국에너지기술연구소에서는 고온건식탈황에 관한 요소기술개발을 목표로 탈황제 제조 및 반응특성규명과 소규모 고온탈황공정의 프로세스개발에 역점을 두고 있다. Bench scale 고온건식 탈황시스템의 상세설계가 연우화학(주)과 공동으로 이루어졌다.

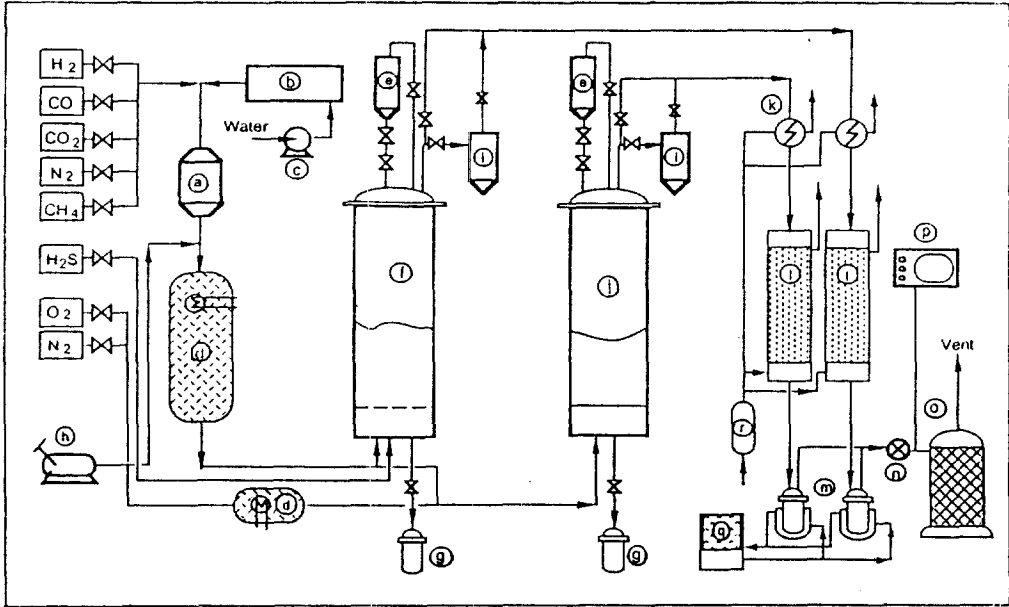
설계기준설정

Bench scale 고온건식 탈황시스템의 설계기준은 다음과 같다. 탈황탑 및 재생탑은 기-고반응물의 혼합효과가 좋고 공정의 운전 및 제어성이 우수한 유동층 방식을 채택하였다. 공정의 조업압력은 10기압으로 적용하였으며, 운전온도는 탈황탑 및 재생탑 모두 $800^{\circ}C$ 로 적용하였다. 탈황제로는 아연계와 티타늄의 혼합물질로서 반응성과 내구성이 좋은 것으로 알려진 zinc titanate로 선정하였다.

또한 탈황제는 비표면적을 늘려 반응성을 촉진시키기 위해 $200\mu m$ 정도의 평균 입경을 갖는 분말을 적용하였으며, 적당한 유동화조건을 유지하고 입자의 비산손실을 억제할 수 있도록 유동화속도는 탈황탑과 재생탑 모두 $0.3m/sec$ 를 적용하였다. 공급되는 H_2S 의 농도는 $3000ppm$ 으로 유입되어 $150ppm$ 이하로 낮춤으로써 95%의 탈황효율을 얻는 것으로 하였으며, 이에 필요한 유동층반응기의 층높이(static bed height)는 $20cm$ 로 적용하였다.

공정구성

고온건식 탈황시스템의 공정흐름도는 [그림 1]과 같다. 전체공정은 크게 가스 전처리 및 공급부문, 탈황제주입 및 배출부문, 탈황탑 및 재생탑본체, 집진 및 가스후처리부문으로 구성된다.



a: Gas mixer b: Steam generator c: Water pump d: Gas preheater e: Sorbent hopper
 f: Desulfurizer g: Storage tank h: Compressor l: Filter j: Regenerator
 k: Condenser(double pipe type) m: Knockout pot n: Pressure let down valve
 o: Absorber p: Gas analyzer q: Cold path r: city water header

[그림 1] 고온건식 탈황시스템 공정흐름도

공정별 설계 및 사양

가) 반응탑과 재생탑

탈황탑에서는 석탄가스화 모사가스에 포함된 H₂S가스를 탈황제를 써서 흡수하는 반응이 일어나며 반응기하부 plenum의 높이는 300mm, 유동층 및 freeboard 영역의 높이는 1200mm로 적용되었다. 탈황탑의 재질은 탈황공정에 공급되는 수분과 산성가스(H₂S, COS등)에 의한 고온부식을 최대한 억제하기 위해 스텐레스강에 비해 고온부식저항이 월등히 높은 Inconel Alloy 625를 사용하였으며, sintered plate형으로 되어 있는 분산판도 동일한 재질로 적용하였다. 반응기에는 압력과 온도측정용 probe들이 적당한 높이에 배치되어 있으며, 고온 고압조건을 고려하여 반응기벽의 두께는 7.6mm, 플랜지 두께는 40mm로 적용하였다. 반응기의 가열 및 온도조절을 위해 전기히터가 plenum에 1개, 반응영역에 3개가 부착된다.

재생탑은 탈황탑과 동일한 가스유량을 처리하여 탈황제를 재생시키는 공정이므로 반응기의 형태와 크기는 탈황탑과 동일하게 적용되었으며, 다만 스텐레스 310으로 재질이 적용되었다.

나) 가스예열기

가스예열기는 탈황공정 및 재생공정에 공급되는 시료가스를 상온에서 500°C까지

지 가열하는 장치로서 공정별로 별도 설치된다. 가스에 열기의 형태는 파이프 외부에 전기히터가 부착되고 내부에 전열면적을 늘리기 위해 직경이 작은 튜브를 뿔뿔이 내장하는 방식으로 되어 있다. 바깥쪽 파이프는 직경 3인치에 길이 1000mm이며, 안쪽에는 직경 3/8인치, 길이 1000mm 튜브 44개가 내장된다.

다) 고체취급설비

탈황제 저장조는 탈황탑 및 재생탑에 공급될 탈황제의 저장 및 공급을 담당하는 장치다. 저장조의 형태는 원통형으로서 직경 157mm, 높이 387mm의 크기를 가지며, 저장조내 압력균형(pressure balance)을 위해 반응기상부의 압력측정노즐에 연결된 pressure equalizing관이 저장조 상단에 설치되어 있다.

탈황제 배출 저장조는 탈황탑 및 재생탑에서 운전중 혹은 운전정지시 배출되는 탈황제를 일시적으로 저장하는 장치다. 저장조의 형태는 원통형이며, 직경 208mm, 길이 400mm로 되어 있다.

라) 가스후처리설비

1차 냉각기는 탈황 및 재생반응기로부터 배출되는 가스온도를 800°C에서 200°C까지 냉각시키는 장치로서 안쪽에 배가스가 흐르고 바깥쪽에 냉각수가 공급되는 이중관 열교환기 형태로 되어 있으며 바깥쪽 파이프는 직경 1.5인치, 안쪽은 직경 3/4인치 크기로 되어 있다.

2차 냉각기는 탈황 및 재생공정에서 1차 냉각기를 거친 배가스의 온도를 200°C에서 40°C까지 냉각시키는 공정으로서 형태는 전형적인 shell & tube 형의 tubular heat exchanger로 되어 있고, shell pipe 직경은 106mm, 길이는 1300mm이며, 안쪽에 직경 12.7mm, 길이 1000mm에 해당되는 tube가 총 31개 내장된다.

Knock-out pot는 탈황 및 재생공정의 2차 냉각기에서 응축된 냉각수를 포집하고, 아울러 배가스에 포함되어 있는 잔여 수분을 추가로 응축시키는 역할을 하는 장치다. Knock-out pot의 내경은 208mm, 길이는 500mm이며, 장치의 외벽에는 수분을 응축시키기 위한 냉매의 순환이 가능하도록 jacket이 부착되어 있다.

Absorber는 배가스에 포함되어 있는 각종 산성가스(H₂S, COS등)를 대기로 배출시키기 이전에 알칼리 수용액(NaOH)에 중화처리시키기 위한 공정이다. Absorber의 내경은 259mm, 길이는 600mm이며, 몸체의 상하단에 level gauge가 부착된다. 이밖에 온도 압력 측정용 게이지와 absorber내 흡수액의 PH측정을 위한 sampling port가 설치되어 있다.

마) 스팀발생기

스팀발생기는 모사가스와 함께 시료가스로 사용될 스팀을 공급하기 위한 장치이며, 일정용기에 차있는 oil이 전기 heater로 가열된 후 oil로부터 열을 받아 다시 coil형태로 되어 있는 tube내 물을 증발시키는 간접가열방식으로 되어 있다.

Oil은 국부과열이나 침전등을 방지하기 위해 외부에 설치된 순환펌프를 통해 순환되며, 스팀발생기내 coil을 흐르는 물은 header와 deionizer등을 거쳐면서 전처리된 후 metering pump에서 정량되어 tube내로 공급된다.

바) 가스혼합기

가스혼합기는 각각의 bomb로부터 일정한 유량으로 공급되는 여러가지 시료가

스(H_2 , CO , CO_2 , H_2S , CH_4 , N_2 등)나 스팀발생기로부터 공급되는 스팀을 혼합하여 균일한 조성의 석탄가스화 모사가스를 만들기 위해 부착된 것이다. 가스혼합기의 형태는 단순한 실린더형으로 직경(I.D.) 157mm, 길이 250mm이다

사) 계장설비

본 장치의 제작목적을 충족시키기 위하여 필요한 부위의 유량, 온도, 압력등을 측정할 수 있도록 설계가 이루어졌다.

각 실험치의 중요성과 제어의 필요성에 따라 1. 현장에 계기가 직접 달려 있는 경우 2. 계기판으로 보내지는 경우 3. Programmable Logic Controller (PLC)를 거쳐 컴퓨터로 보내지는 경우 4. 컴퓨터와 계기판 양쪽으로 모두 보내지는 경우로 설계되어 졌다.

반응기 유동층내의 층높이와 유동화상태를 간접적으로 파악하기 위하여 탈황탑과 재생탑의 공기분산판의 차압과 유동층내의 차압을 측정한다.

아) 제어계통

고압가스통으로부터 배출가스의 압력강하를 위하여 압력강하밸브를 사용하여 통과한 후의 압력을 일정압력으로 유지되도록 하였다.

주입가스의 유량제어를 위하여 mass flow control valve (MCV)가 사용되었다.

스팀발생기의 온도는 제어가 부착된 전기히터에 의하여 이루어지고 압력은 압력강하밸브에 의하여 고정되고, 그 압력이 일정한계를 넘게 되면 경보가 울리면서 물 주입펌프가 멈추게 설계되어 있다.

탈황탑, 재생탑의 온도유지를 위하여 세부분으로 나뉘어져 있는 전기히터를 사용하였고, 각 부분에는 제어기에 의하여 온도를 조절할 수 있게 되어있다. 가스에 열기들도 온도제어를 위하여 전기 히터가 사용되었다.

반응기 압력조절을 위해서는 반응기내의 압력이 제어변수가 되고, 배기가스 유량이 조작변수가 되어 제어밸브를 조절하여 고압이 유지되도록 하였다.

PLC는 전력공급장치와 전기적신호의 입력 출력, 디지털신호의 입력 출력을 위한 단자로 구성되어 있다. PLC를 거쳐 컴퓨터로 보내진 실험치들은 DCS (Distributed Control System)의 소프트웨어가 사용되어 데이터수집, 처리가 이루어진다.

결론

석탄가스화 복합발전용 고온건식 탈황공정개발을 위한 고온 고압의 두 유동층 반응기들을 포함한 bench scale 장치의 상세설계중 겪은 경험과 관련설계기술자료를 기술하였다.

참고문헌

Abbasian, J., R.P. Bacht, J.R. Wangerow, W. Mojtahedi and K. Salo, "Advanced High-Pressure Bench-Scale Reactor for Testing with Hot Corrosive Gases," I&EC Research, 33, p91 (1994)

박 영성 외 10인 "석탄가스화 복합발전용 고온건식 탈황기술 개발 (I)," 연구보고서, 선도-3, 한국전력기술연구원 (1994)