

화력발전용 가스재열기 Sector Plate 의 유한요소 해석

황석환* · 이후광* · 최재승*

Finite Element Analysis of Gas-Gas Heater Sector Plate in Thermal Power Plant

Suk-Hwan Hwang, Hoo-Gwang Lee and Jae-Seung Choi

Key Words : Gas-Gas Heater(가스재열기), Flue Gas Desulfurization(탈황설비 시스템), Pressure Drop(압력강하), Pressure Difference(차압)

Abstract

Today's industrialized plants are required to reduce SOx emitted from stacks at factories, utility power stations, etc. For this purpose, flue gas desulfurization (FGD) system is installed and gas-gas heater (GGH) is used to play a vital role to reheat the wet treated gas from FGD. The sector plates are located at cold and hot sides of gas gas heater. They serve as sealing to prevent mixing treated and untreated gases. Therefore, the deformation of the sector plate due to its dead weight and gas pressure should be considered as major factor for the sector plate design.

1. 서 론

가스재열기(Gas-Gas Heater, GGH)는 발전소에 설치되는 탈황설비 시스템(Flue Gas Desulfurization, FGD)의 주요 설비중의 하나이다.

현재 발전소에 설치되는 배연 탈황장치는 습식이 주류로 되어 있으나 처리후의 가스가 수분 포화 온도 내인 약 40~50 °C가 되어 덕트 및 굴뚝의 부식을 초래하며, 굴뚝을 나온 가스의 백연현상으로 인한 발전소 주변에 환경오염을 유발하게 되므로, 이를 방지하기 위하여 배연가스의 확산성 향상 및 덕트, 굴뚝의 부식을 방지할 목적으로 배연가스의 온도를 약 85~110 °C로 재가열한다. 이런 목적으로 등유나 가스를 연료로 온도를 높이기 위한 후기연소기(After Burner)라는 재가열 장치가 사용되기도 하지만, 재가열 장치 사용시에는 재가열 연료와 연소장치(Burning System)의 추가 공급

이 필요할 뿐만 아니라 냉각수가 필요하기 때문에 폐열가스를 이용한 가스재열기가 경제적으로 널리 채용되고 있다.

Fig.1에 탈황설비 시스템을 나타내었으며, 가스재열기는 보일러로부터 나온 고온의 폐열을 이용하여 탈황장치(De-SOx System)를 빠져 나온 저온 고압의 가스를 고온저압의 가스로 바꿔주는 역할을 한다.

가스재열기에 작용하는 압력을 Table 1에 정리하였고, Table 2에 압력강하(Pressure Drop)와 차압(Pressure Difference)을 나타내었다. 탈황장치를 거치기 이전의 가스를 미처리가스(Untreated Gas)라 하고, 탈황장치를 거쳐서 나온 가스를 처리가스(Treated Gas)라 할 때, 압력강하는 미처리가스의 압력차(P_1-P_2)와 처리가스의 압력차(P_3-P_4)를 말한다. 그리고 가스재열기의 윗쪽이 저온부이고, 아래쪽이 고온부라 할 때, 차압은 저온부의 압력차(P_2-P_3)와 고온부의 압력차(P_1-P_4)를 말한다.

Fig.2는 가스재열기의 형상을 나타내었으며, 열

* 두산중공업(주) 기술연구원

소자(Heat Element)를 포함한 로타의 회전 속도는 1~4 RPM 으로써 저속으로 회전하고 있다. 그리고 가스재열기의 주요 부품중의 하나인 Sector Plate 는 저온부와 고온부에 각각 2 개씩 모두 4 개가 있으며, 고압의 미처리가스가 저압의 처리가스로 흐르는 것을 막아주어 탈황 효율을 높여주는 실링 역할을 한다. 그러므로 누설을 최소화하기 위한 편평도 유지가 Sector Plate 설계시 주요 인자가 된다.^[1]

본 연구는 Sector Plate 에 대한 유한요소 해석을 수행하여 가스와 직접 접촉하는 Plate 를 부식에 강한 C-276 재질로 바꿔 두께 변화에 따른 변형량을 계산하고, Sector Plate 의 두께를 줄임으로써 가스재열기의 경량화에 그 목적이 있다.^[2,3]

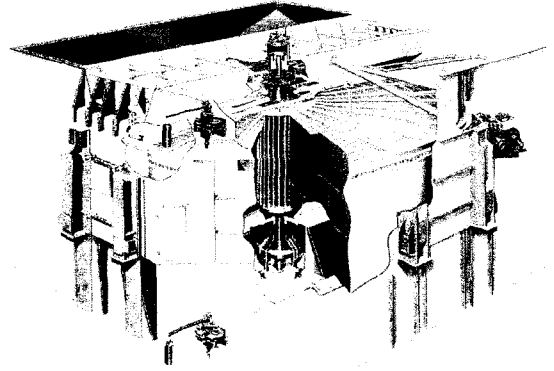


Fig.2 Gas-Gas Heater(GGH)

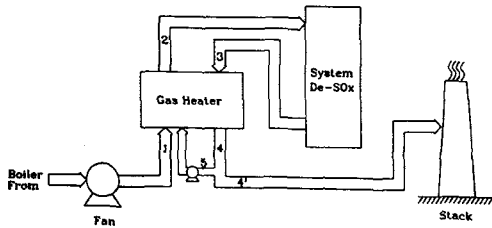


Fig.1 Flue Gas Desulfurization(FGD) System

2. Sector Plate 의 유한요소 모델링

Sector Plate 의 유한요소 해석을 위한 모델링은 범용 해석 소프트웨어인 I-DEAS 를 이용하였다.^[4]

Sector Plate 는 저온부와 고온부의 형상이 다르며, 저온부 Sector Plate 의 유한요소 모델 및 경계조건을 Fig.3 에 나타내었고, 고온부 Sector Plate 의 유한요소 모델 및 경계조건을 Fig.4 에 나타내었다. 유한요소 모델의 요소는 두 경우 모두 Thin Shell 을 사용하였으며, 요소수와 절점수는 각각 저온부의 경우는 4,372 개와 4,628 개이고, 고온부의 경우는 5,414 개와 5,194 개이다.

Table 1 Pressure Condition in GGH

Unit : mmAq (N/m²)

Conditions	Pressure
Untreated Gas Inlet 1	338(3,312)
Untreated Gas Outlet 2	278(2,724)
Treated Gas Inlet 3	134(1,313)
Treated Gas Outlet 4	79(774)

Table 2 Pressure Drop and Pressure Difference

Unit : mmAq

Pressure Drop	Untreated Gas Side(P ₁ -P ₂)	60
	Treated Gas Side(P ₃ -P ₄)	55
Pressure Difference	Cold Side(P ₂ -P ₃)	144
	Hot Side(P ₁ -P ₄)	259

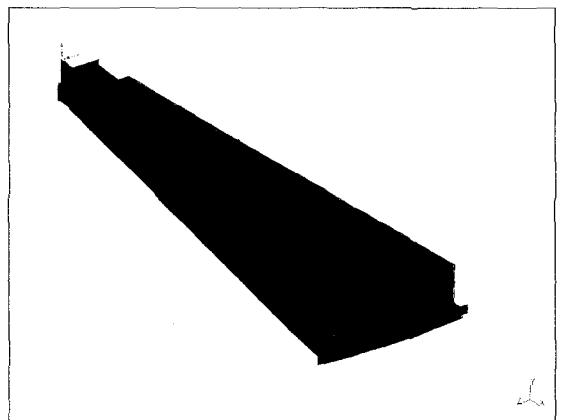


Fig.3 Finite Element Model & Boundary Condition of Sector Plate (Cold Side)

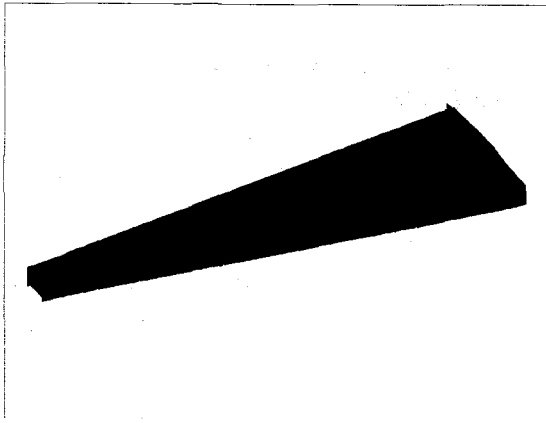


Fig.4 Finite Element Model & Boundary Condition of Sector Plate (Hot Side)

3. 유한요소 모델의 경계조건

유한요소 모델의 경계조건으로는 변위 경계조건과 하중 조건이 있는데, 변위 경계조건은 Fig.3과 Fig.4에 표시되어 있듯이 각각 세 지점에서 모든 자유도를 구속하였다. 그리고 하중 조건으로는 자중과 Sector Plate에 작용하는 압력이 있으며, 밀도는 $7,850 \text{ kg/m}^3$ 을 사용하였다. Sector Plate에 작용하는 압력은 다음과 같이 저온부와 고온부로 나누어서 생각하기로 한다.

3.1 저온부에서의 Sector Plate의 압력 분포

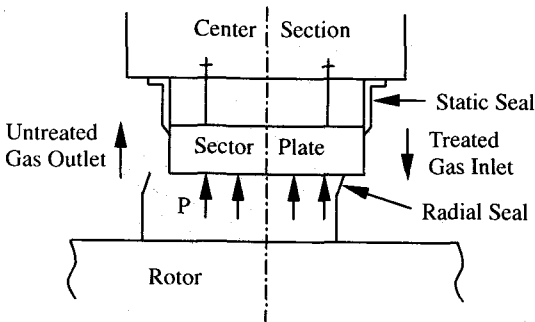


Fig.5 Pressure Distribution (P_2) of Sector Plate (Cold Side)

Fig.5에 저온부에서의 Sector Plate에 작용하는 압력 분포를 나타내었다. 저온부에서의 Sector Plate는 Center Section에 매달려 있고, 아래에는 로타가 회전하고 있으며, 중양을 기준으로 양쪽에서 서로 다른 압력 조건이 형성된다. 즉, 로타가 회전함에 따라 미처리가스 압력(P_2)이 작용하는 경우와 처리가스 압력(P_3)이 작용하는 경우가 있다. 그리고 저온부의 경우 Sector Plate에 압력이 작용하는 방향과 중력 방향이 서로 반대 방향이다.

3.2 고온부에서의 Sector Plate의 압력 분포

Fig.6에 고온부에서의 Sector Plate에 작용하는 압력 분포를 나타내었다. 고온부에서의 Sector Plate는 Center Section 위에 얹혀 있고, 그 위로 로타가 회전하고 있으며, 중양을 기준으로 양쪽에서 서로 다른 압력 조건이 형성된다. 즉, 로타가 회전함에 따라 미처리가스 압력(P_1)이 작용하는 경우와 처리가스 압력(P_4)이 작용하는 경우가 있다. 그리고 고온부의 경우 Sector Plate에 압력이 작용하는 방향과 중력 방향이 같은 방향이다.

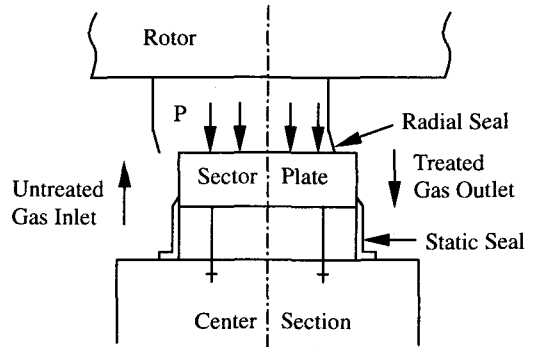


Fig.6 Pressure Distribution (P_1) of Sector Plate (Hot Side)

4. 유한요소해석 결과 및 분석

현재 사용하고 있는 Sector Plate에 압력이 작용하는 Plate의 두께가 13mm이고, 이것을 2mm씩 줄여가면서 해석을 수행하였다. 해석 결과 중에서 압력이 작용하는 Plate의 최대 변형이 $\pm 0.76 \text{ mm}$ 이하가 판정조건이 된다.^[5]

4.1 저온부에서의 해석 결과

저온부에서의 해석 결과는 Sector Plate 에 압력이 작용하는 Plate 의 두께가 13mm 인 경우에 대해서 하중 조건이 자중과 압력(P_2)이 함께 작용하는 경우의 변형을 Fig.7 에 나타내었다.

그리고 Plate 의 두께가 13mm, 11mm, 9mm, 7mm 인 경우에 대해서 하중 조건이 자중+압력(P_2), 자중+압력(P_1)인 경우의 해석 결과를 Fig.8 에 나타내었다. 저온부의 경우 압력이 작용하는 방향과 중력 방향이 서로 반대 방향이므로 Plate 의 변형이 양 또는 음의 방향으로 발생할 수 있다.

Fig.8 에서 알 수 있듯이 저온부에서의 해석 결과는 해석에 사용된 모델의 모든 두께에 대해서 최대 변형이 설계 허용치인 $\pm 0.76\text{mm}$ 이하가 되므로 자중과 압력에 의한 변형 측면에서는 건전한 것으로 판단된다.

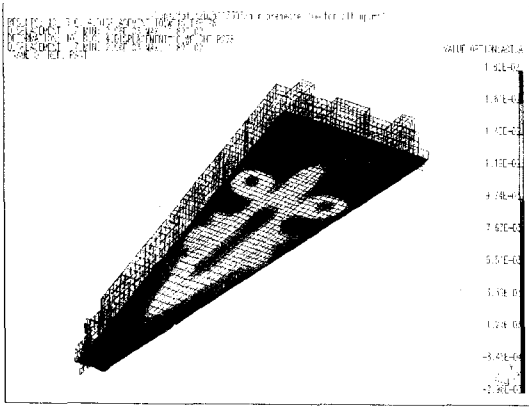


Fig.7 Deformation of Sector Plate due to Dead Weight + P_2 (Cold Side)

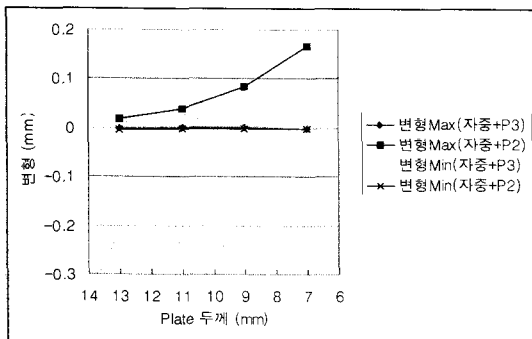


Fig.8 Plate Thickness vs. Deformation (Cold Side)

4.2 고온부에서의 해석 결과

고온부에서의 해석 결과는 Sector Plate 에 압력이 작용하는 Plate 의 두께가 13mm 인 경우에 대해서 하중 조건이 자중과 압력(P_1)이 함께 작용하는 경우의 변형을 Fig.9 에 나타내었다.

그리고 Plate 의 두께가 13mm, 11mm, 10mm, 9mm 인 경우에 대해서 하중 조건이 자중, 압력(P_1), 자중+압력(P_1)인 경우의 해석 결과를 Fig.10 에 나타내었다. 고온부의 경우 압력이 작용하는 방향과 중력 방향이 서로 같은 방향이므로 Plate 의 변형의 최대치는 항상 음의 방향으로만 발생한다. Fig.9 와 Fig.10 에는 음의 부호는 생략하고 수치만 나타내었다.

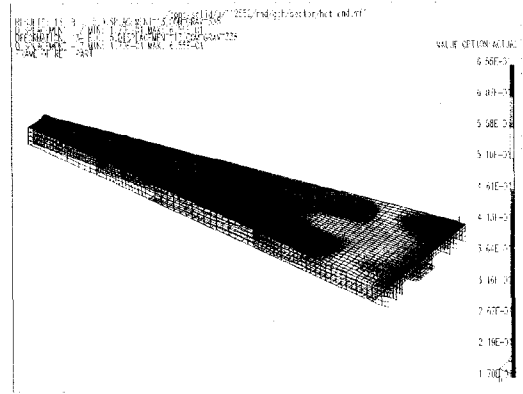


Fig.9 Deformation of Sector Plate due to Dead Weight + P_1 (Hot Side)

Fig.10 에서 알 수 있듯이 고온부에서의 해석 결과는 압력이 작용하는 방향과 중력 방향이 서로 같은 방향이므로 자중+ P_1 의 하중 조건일 때 최대 변형이 발생한다. 그리고 자중에 의한 변형과 P_1 에 의한 변형의 합이 자중+ P_1 에 의한 변형과 일치함을 알 수 있다.

Plate 두께 9mm 일 때 최대 변형이 0.8mm 로써 설계 허용치인 $\pm 0.76\text{mm}$ 를 초과하며, 두께 10mm 일 때 최대 변형이 설계 허용치 이하로 나타났다. 그러므로 고온부의 경우 자중과 압력에 의한 변형 측면에서 볼 때 Plate 의 두께는 10mm 까지 사용 가능한 것으로 판단된다.

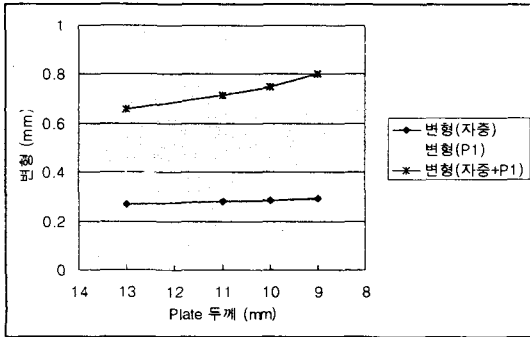


Fig.10 Plate Thickness vs. Deformation (Hot Side)

5. 결론

화력발전용 가스재열기의 주요 부품중의 하나인 Sector Plate 에 대한 유한요소 해석을 수행하여 가스와 직접 접촉하는 Plate 의 두께 변화에 따른 변형량을 계산하였다.

저온부에서는 압력이 작용하는 방향과 중력 방향이 반대 방향이므로 Plate 의 변형량은 매우 작은 값이 된다. 그러나 고온부에서는 압력이 작용하는 방향과 중력 방향이 같으므로 Plate 의 최대 변형이 저온부보다 상대적으로 크게 나타났다. 그러므로 편평도 유지를 위한 Sector Plate 설계시 저온부보다 고온부에서의 변형량이 더 중요한 인자임을 알 수 있다.

참고문헌

- (1) ABB-KK, 1997, Strength Calculation Methods and Formulas for Major Structural Components of the GGH.
- (2) Incropera, F. P., Introduction to Heat Transfer.
- (3) Holman, J.P., 1981, Heat Transfer, 5th ed., McGraw-Hill.
- (4) I-DEAS User's Manual, SDRC, 1997.
- (5) 일본 기계학회편, 전열공학자료, 개정 제 3 판, 1975.