

## Conditioning Tower의 성능 향상

신상백\* · 이현수 · 홍창식  
 <동양중앙연구소 공정연구팀>

### 1. 연구배경 및 목적

시멘트 생산공정에서 전기 집진기 앞에 위치하고 있는 conditioning tower는 가스의 온도와 습도를 조절함으로써 집진 효율을 높이는 역할을 한다. 이를 위해 미세한 입자의 물을 tower내에 균일하게 분사시킴으로써 가스의 현열에 의해 완전히 증발되도록 한다. 오늘날과 같이 보다 엄격해 지는 환경 규제에 대응하고 공정을 보다 효율적으로 이용하기 위해서는 conditioning tower와 같은 집진 설비의 효율을 높이기 위한 적절한 설계와 운전이 매우 중요하다.

당사 4호 R/M conditioning tower의 경우 상부에서 P/H 배가스가 유입되고 하부에서는 R/M 출구 가스가 유입되어 분사된 물과 열교환을 한 후 하부 cone 바로 위에 위치하고 있는 덕트를 통해 배출되는 구조를 가지고 있다. 이는 정상 운전 중에도 wet bottom이 발생하고 용량 규모에 비해 살수량이나 냉각효과가 작아서 문제점이 제기되어 왔고 R/M을 통과한 가스가 tower 하부로 유입됨으로써 포집된 분진이 재비산되며 tower 벽면이 마모되어 air leakage가 증가하는 등의 문제점을 가지고 있었다.

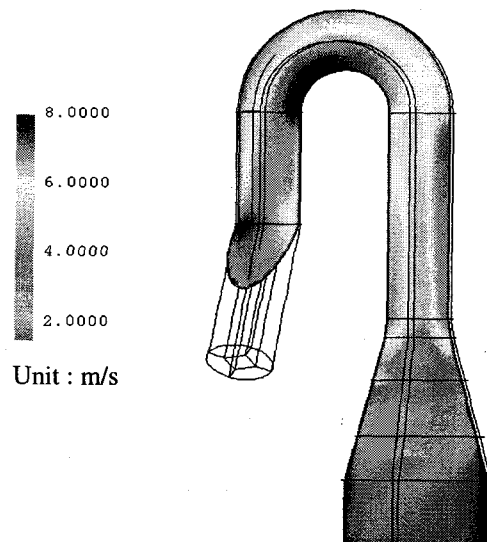
본 연구에서는 전산유체역학(CFD) 기술을 이용하여 이러한 문제점을 가지고 있는 conditioning tower를 진단하고 개조안을 마련함으로써 성능을 극대화 하고 집진 효율을 향상시켜 원가를 절감하고자 하였다.

### 2. 전산모사

#### 2-1. 개조전 상황 진단

먼저 개조전 conditioning tower의 운전상황을 파악하기 위해 전산모사를 통해 유속, 온도 및 압력 분포 등을 구하였다.

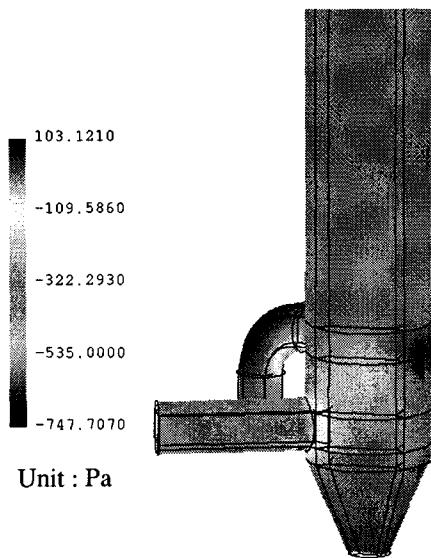
<Fig. 1>에 tower 입구에서의 유속 분포를 나타내었다. 이를 통해 P/H로 부터 유입된 가스는 곡관을 지나 충분히 긴 직관을 통과하면서 흐름이 발달되고 있으며 반경방향으로는 불균일한 속도 분포를 보이지만 전,후면에서의 차이는 없으며, 두 층의 다공판을 지나면서 균일하게 혼합되는 양상을 보이고 있음을 알 수 있다. 결과적으로 유입부 부분에서의 흐름의 불균일로 인한 성능 저하의 가능성은 없는 것으로 판단 할 수 있다.



<Fig. 1> 입구에서의 유속분포(개조전)

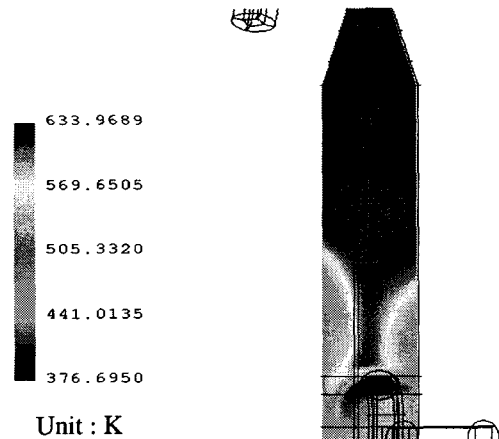
<Fig. 2>에 나타낸 출구에서의 압력분포를 살펴보면 R/M로 부터 많은 양의 가스가 유입되고 출구 덕트의 크기가 충분하지 않으

며 이 두 덕트가 가까이 붙어 있기 때문에 매우 큰 압력손실이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이로 인해 tower 하단에 부분적으로 +압력이 걸리거나 공정의 운전상황 변화에 따라 압력 balance가 깨질 수 있을 것으로 판단 된다.



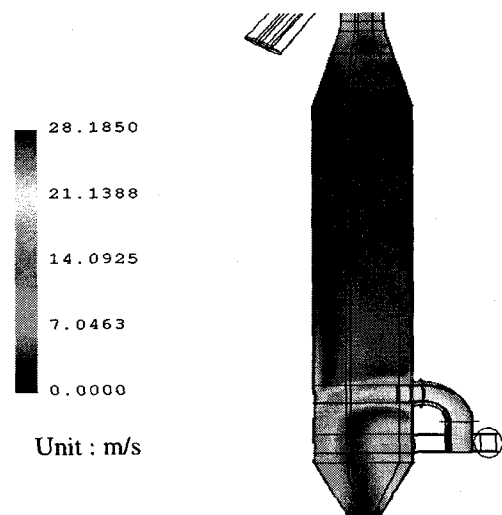
<Fig. 2> 출구에서의 압력분포(개조전)

<Fig. 3>에는 tower 내에서의 유체 흐름에 의한 열교환 효과를 살펴보기 위해 온도 분포를 나타내었다. 여기서 R/M로부터 유입된 가스가 tower 벽면에 부딪혀 하부 방향으로 강한 와류를 형성하고 다시 벽면을 따라 상승하며 고온의 P/H 배가스와 혼합되는 양상을 보임을 알 수 있다. 이렇게 R/M로부터 유입된 가스가 벽면을 따라 상승하면서 만듦게 되는 저온 구역은 분사된 물이 충분히 증발되는 것을 방해해 결과적으로 가스와 물이 안정적으로 접촉할 수 있는 유효 공간을 줄어듦으로써 conditioning tower의 성능 저하를 초래할 수 있다.



<Fig. 3> 온도분포 (개조전)

<Fig. 4>에는 tower 내부의 유속분포를 나타내었는데, R/M로부터 유입된 가스가 반대편 tower 벽면에 강하게 충돌하여 마모를 일으키고 있으며 이로 인해 air leakage가 추가로 발생할 수 있는 가능성이 있음을 확인할 수 있다. 또한, 많은 양의 가스가 tower 내에 유입되면서 하단에 매우 크고 복잡한 와류를 발생시켜 분진들의 재비산을 촉진시킬수 있음을 알 수 있었다.



<Fig. 4> 유속분포(개조전)

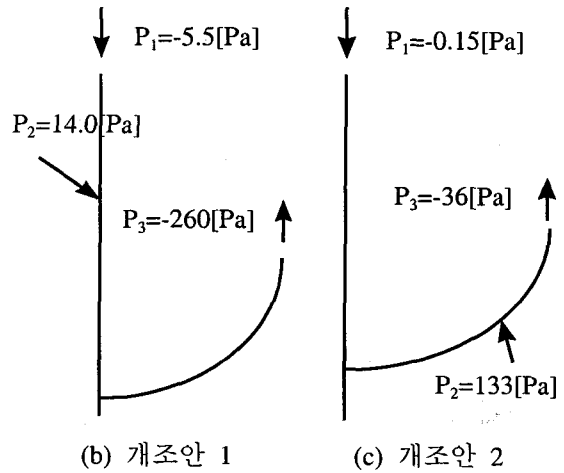
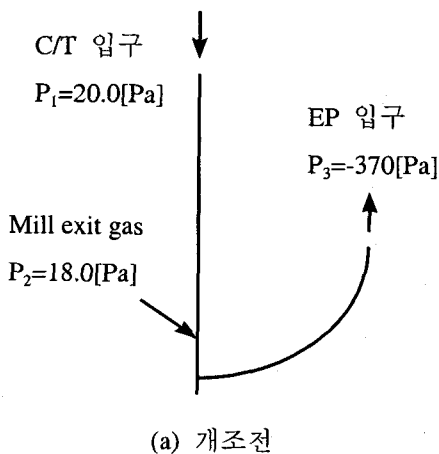
2-2. 개조안 도출

전산모사를 통해 개조전 운전 상황을 진단해 본 결과 conditioning tower 하부에 생기는 큰 와류가 성능 저하의 주원인으로 판단되어 이를 해결하기 위한 여러가지 개조안이 고려되었고, 그 중 최선이라고 생각되는 다음과 같은 두가지 개조안이 최종적으로 검토되었다.

<개조안 1> R/M 출구 가스 덕트를 현재 위치에서 4m 상부에 하부방향으로 경사지게 설치하는 방안

<개조안 2> conditioning tower 출구와 전기 집진기 사이에 있는 덕트에 R/M 가스를 유입시키는 방안

개조안 1은 conditioning tower 출구와 R/M 출구가스의 입구 덕트가 근접해 있어 발생하는 와류 형성을 방지하고 보다 안정적인 흐름을 형성하고자 시도되었고, 개조안 2는 tower 출구 이후에 R/M 가스를 유입 시킴으로써 tower 내 유효 열전달 공간을 최대화하는 것을 목표로 하였다. 개조전과 두가지 개조안의 개념도와 각 개조안에 의한 효과를 예측하고자 열유체 해석을 행하여 얻은 압력 손실값을 <Fig. 5>에 나타내었다.



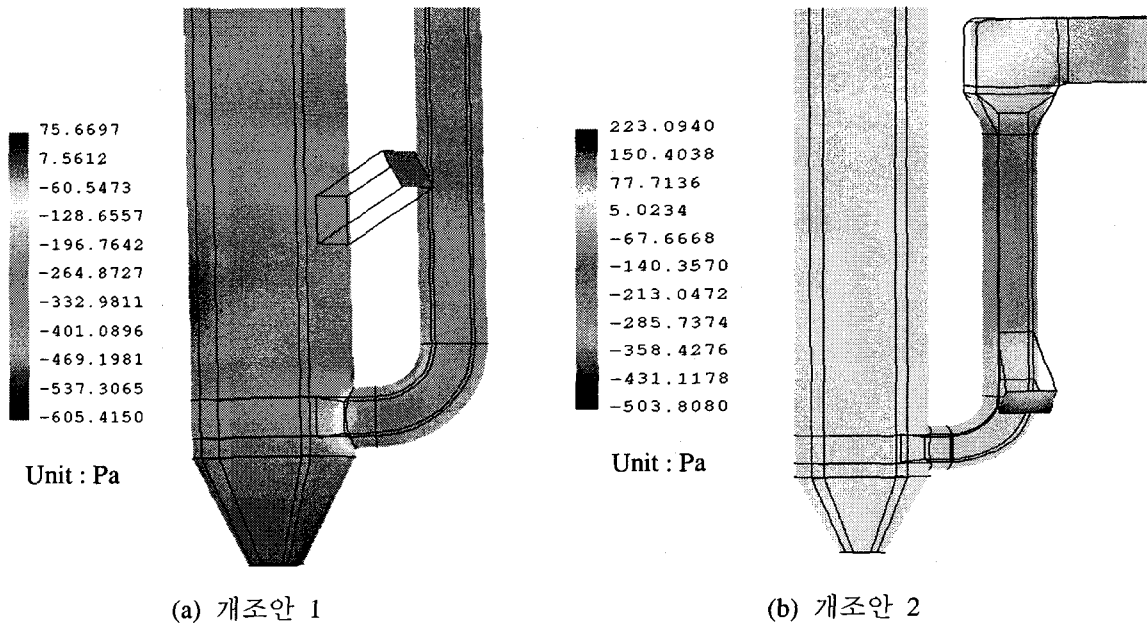
<Fig. 5> 개조안 및 압력손실

먼저 개조안 각각의 압력손실을 살펴보면 개조안 1의 경우 약 40% 정도 압손이 감소하였고 개조안 2의 경우에는 P/H 측 입구를 기준으로 약 90%, R/M 측 출구를 기준으로 약 55% 정도 감소하였다. 이러한 압력손실의 감소 경향은 tower 하부에서 발생하는 강한 와류에 기인한 압손이 전체 압손에 비해 큰 비중을 갖기 때문으로 판단된다.

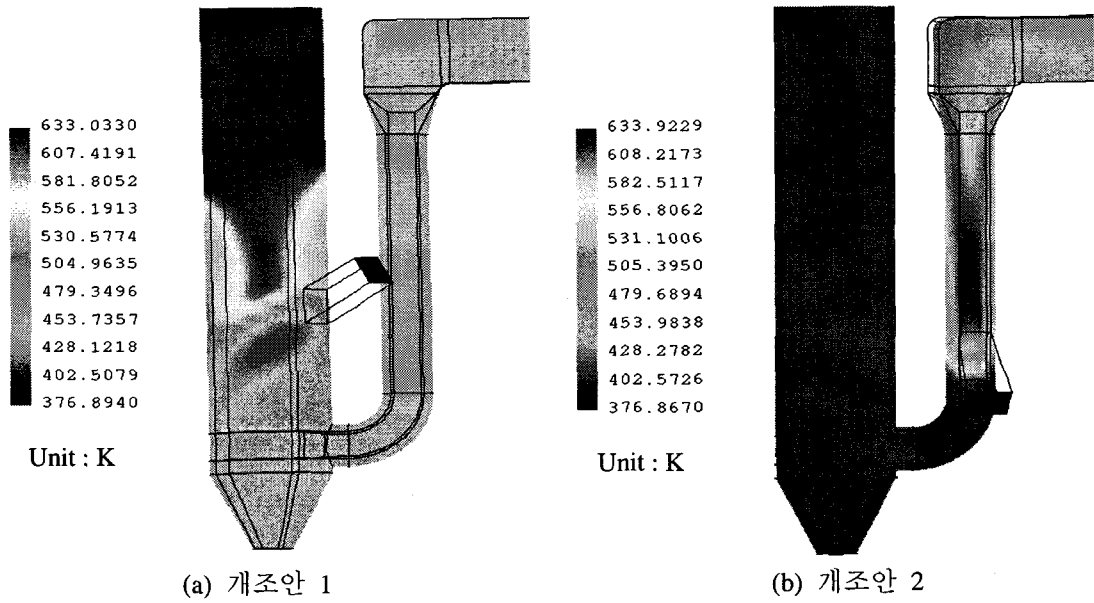
<Fig. 6>에는 개조안의 압력분포를 나타내었다. 개조안 2의 경우에는 tower 내부에서는 거의 압력 손실이 생기지 않는 반면에 R/M 가스가 유입되는 지점에서 적은 양의 압력 손실이 발생하고 있다.

<Fig. 7>에는 각 개조안들의 온도분포를 나타내었다. 개조안 1의 경우에는 현재와 거의 유사한 형태의 온도 분포가 나타났는데 이는 R/M 덕트를 상부로 이동시켜도 유입된 R/M 가스가 상승하여 tower 내부의 유효 공간을 감소시키고 가스 분사된 물간의 안정적인 접촉을 방해하는 현상에 대한 뚜렷한 상향 효과가 없음을 의미한다.

개조안 2의 경우에는 고온의 conditioning tower 출구 가스와 R/M 가스가 E.P의 유입 덕트 내에서 혼합되면서 상승하고 있다.



<Fig. 6> 개조안의 압력분포

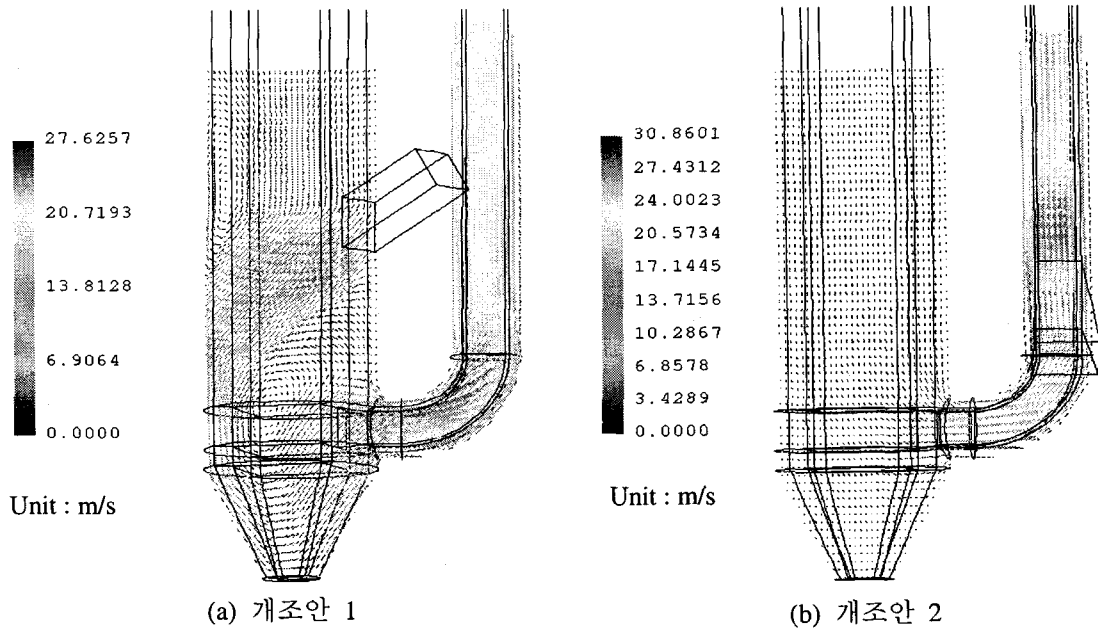


<Fig. 7> 개조안의 온도분포

이 개조안의 경우에는 짧은 덕트 내에서 가스 혼합이 이루어져야만 전기 집진기에서 좋은 집진 효율을 보장할 수 있는데 해석 결과를 보면 약간의 편차를 보이기는 하나 그 차이가 크지 않으며 이후로 90도의 turning을 위한 guide vane과 3열의 다공판을 거쳐 전기 집진기의 집진실로 들어가게

되므로 혼합효과에 대한 문제점은 없을 것으로 판단되었다.

<Fig. 8>에는 개조안의 유동장 벡터도를 나타내었다. 개조안 1의 경우 중간 정도의 높이에서 흐름 방향으로 R/M 가스가 유입되므로 현재보다는 향상된 유동상태를 보여주지만 하부에서 상부로 향하는 유동과 와류



<Fig. 8> 개조안의 유동장 벡터도

가 여전히 존재하므로 분진의 재비산 문제와 열전달을 위한 유효 공간의 감소라는 측면에서는 뚜렷한 개선점을 찾기가 어려웠다. 반면에, 개조안 2의 경우에는 tower 내부에 낮은 유속을 확보할 수 있으며 균일한 흐름과 등방향을 향하고 있는 유동장을 통해서 현재보다 conditioning tower의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

2-3. 개조효과

이상과 같이 두가지 개조안을 분석해 본 결과 개조안 2의 형태로 개조하는 것이 conditioning tower의 성능과 압력손실 등 여러 면에서 우수할 것으로 판단 되어 이러한 형태로 실공정을 개조하였다. 그 결과 유효 공간의 증가로 인해 conditioning tower 내에서의 살수량을 증가시킴으로써 분진의 비저항성을 낮추고 전기 집진기 입구에서의 온도와 압력을 감소시킬 수 있었으며, 이는 전기 집진기의 전체적인 효율 향상이라는 결과를 가져왔다. 또한, tower 벽면의 마모를

방지하고 전기 집진기 입구의 풍량을 감소시킴으로써 전기 집진기 및 R/M IDF의 전력비를 절감하는 등 연간 7천만원 정도의 원가절감 효과를 가져왔다. <Table 1>에 이러한 개조효과를 정리하여 표로 나타내었다.

<Table 1> 개조효과 분석 데이터

항 목	개조전	개조후	차 이
살수량(kg/min)	109	143	34↑
E.P 입구압력 (mmAq)	-75	-50	20↓
C/T 온도 감소차(°C)	12	35	23↑
E.P1 실전류 (mA)	546	639	93↑
E.P2 실전류 (mA)	665	700	35↑
함진농도 (mg/Nm <sup>3</sup> )	35	17	18↓
Mill IDF DP'(%)	77	42	35↓
Mill IDF 전류(A)	126	104	22↓
E.P IDF DP'(%)	68	51	17↓
E.P IDF 전류(A)	31	30	1↓

### 3. 결론 및 고찰

전산유체역학기술을 이용하여 conditioning tower의 운전상황을 진단하고, 검토된 개선안을 토대로 당사 4호 R/M 출구 덕트를 개조하였다. 그 결과 압력손실이 감소하여 동력비를 절감시킬 수 있었고 전기 집진기 입구에서 풍량 감소로 인한 IDF 전력비 절감 등의 유형효과를 거두었으며 conditioning tower의 성능을 향상시켜 결과적으로 전기 집진기의 효율을 향상시키는 등의 공정상의 개선효과도 아울러 얻을 수 있었다. 그리하여 연간 7천만원 정도의 원가절감 효과를 가져왔고 최근 같은 공정상태에 있는 당사 5호 R/M conditioning tower에도 적용함으로써 원가절감 효과는 더욱 커지고 있다.

시멘트 제조 공정의 경우 많은 분진을 함유한 고온의 기체를 다루게 되므로 공정상에 문제점 발생시 측정상의 어려움이 많고, 또한 측정이나 실험을 통해 개선안을 찾기가 어렵다는 특성을 가지고 있기 때문에 전산유체역학기술은 본 연구에서 소개한 사례뿐만 아니라 여러 시멘트 제조 공정상의 문제점을 진단하고 개선안을 도출하는데 훌륭한 도구로 이용될 수 있다.

#### <참고문헌>

1. Roger Ettema, "Electrostatic precipitator performance improvement through numerical simulation", *World Cement*, pp.63~66, April (1994)
2. Moises Guinares, Celso M. Miranda and Anand Mahabaleshwarker, "The rebuild of a gas cooling tower", *World Cement*, pp.58~59, September (1996)
3. Morten Schiøth, "Upgrading electrostatic precipitators(EPs)", *World Cement*, pp.53~57,

October (1996)

4. Ulf Richter and Robert Taylor, "Solving conditioning tower imbalances", *World Cement*, pp.46~51, January (1999)