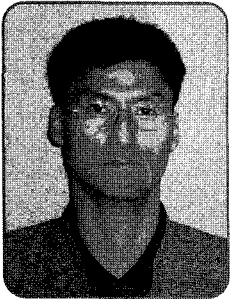


# 복합화력 Condenser Receiver Tank 배출증기 회수관련 설비개선



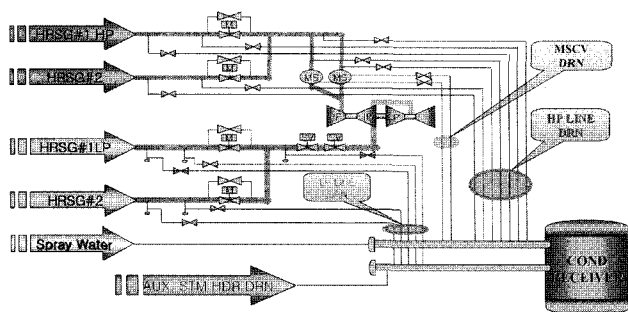
한전전력연구원  
기계설비진단그룹  
책임 전문원 김 용찬  
Tel : (042)865-5448

## □ 설비개요 및 문제점

복합화력발전소 기동시 보일러에서 생산되는 고온, 고압의 증기는 터빈에 유입되기 전까지 주증기 배관의 열충격을 방지하기 위하여 응축수 배출배관을 통해 일정시간 계통밖으로 증기를 배출시켜 배관의 예열을 실시하고 있다.

이때 배출되는 증기는 콘덴서 리시버 탱크에 모이게 되고, 이들 증기는 복수펌프에서 공급되는 Spray Water에 의해 응축되어 Condenser로 회수되도록 되어 있다. 그러나 콘덴서 리시버 탱크로 유입되는 증기의 열량이 너무 크고 유량이 너무 많아 Spray Water가 증기를 충분히 응축시키지 못하고 탱크 상부에 설치된 배출배관을 통해 대기로 직접 배출되고 있는 실정이다.

이와 같이 발전소 기동시마다 대기로 배출되는 많은 양의 증기로 인한 소음공해, 동절기 도로결빙에 따른 안전사고 발생 가능성, 가시공해 배출의 오해 유발로 인한



[그림 1] 고압, 저압 Drain 계통도

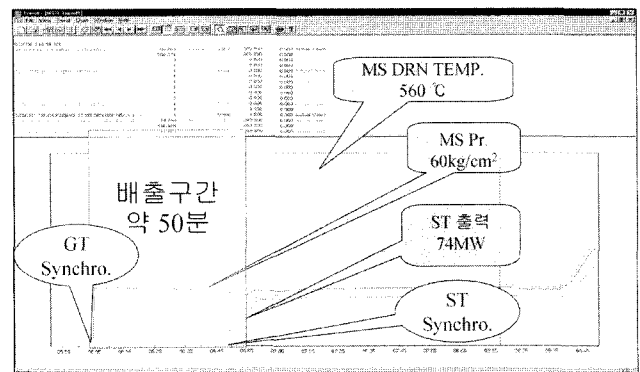
민원이 발생될 뿐만 아니라 값비싼 열에너지가 낭비되는 문제점을 가지고 있으며, 특히 복합화력 발전소는 도심에 위치하고 있고, DSS(Daily Start-up Shut-down)운전을 함으로써 그 영향이 더욱 큰 실정이다.

## □ 배출증기 회수시스템의 운전특성 검토

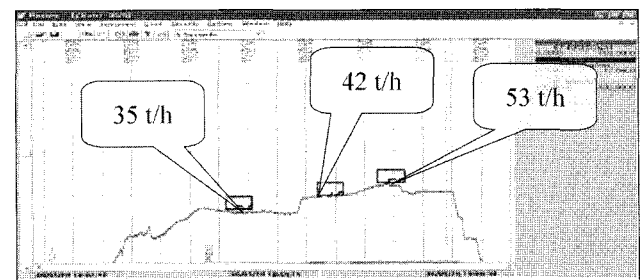
주증기 배관에서 배출되는 증기의 특성에 대하여 검토 하였다.

GT 계통 병입 후 증기터빈 기동을 위한 예열증기가 주 증기 배관을 통해 흐르는데 이때 주증기 배관의 증기 압력은 60kg/cm<sup>2</sup>, 온도는 560℃의 고온, 고압으로 증기터빈 계통병입 전 약 50분 동안 응축수배출배관을 통해 Condenser Receiver Tank에 유입된다.

Condenser Receiver Tank로 유입되는 증기와 Spary Water가 혼합되어 대기로 배출되는 증기의 양



[그림 2] 증기터빈 기동시 운전변수 그래프(수동운전)



[그림 3] 배출증기 유량 측정 결과 그래프  
(2006년 5월 28일 18:00~19:04)

을 측정하기 위하여 대기배출증기배관 내에 Insertion Turbine 유량계를 설치하여 측정한 결과 약 30ton/h에서 최대 53ton/h의 증기가 대기배출되는 것으로 나타났다. 이때 배출증기온도는 약 105℃ 정도로 측정되었다.

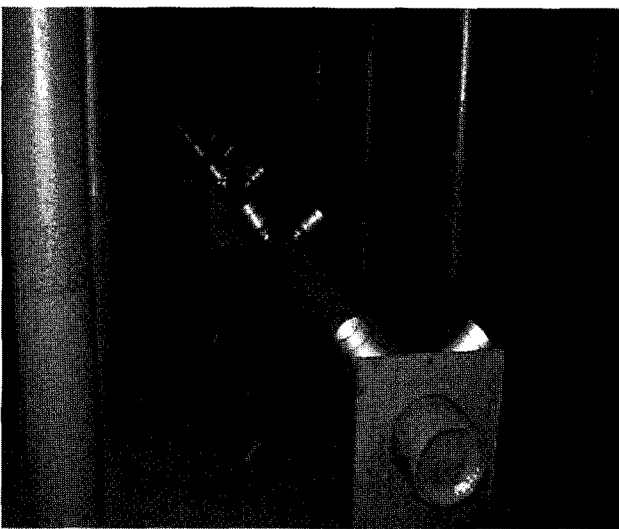
[표 1] 배출증기 유량측정 결과

기동일	배출증기 유량(t/h)		
	최대	최소	평균
5/26			35
5/28	53	35	45
5/29	42	32	37
6/1	42	10	42
6/2			36
6/4			31
6/5	44	32	38
6/7			31
6/11			41

□ 설비 개선 검토

부산 복합화력 발전소는 일반적인 복합화력이 탈기시스템이 급수탱크 상부에 설치되어 있는데 반하여 복수기 하부에 탈기시스템(Sparging System)<sup>1)</sup>이 설치되어 보조증기를 이용하여 계통수의 탈기를 실시하는 구조로 되어 있다.

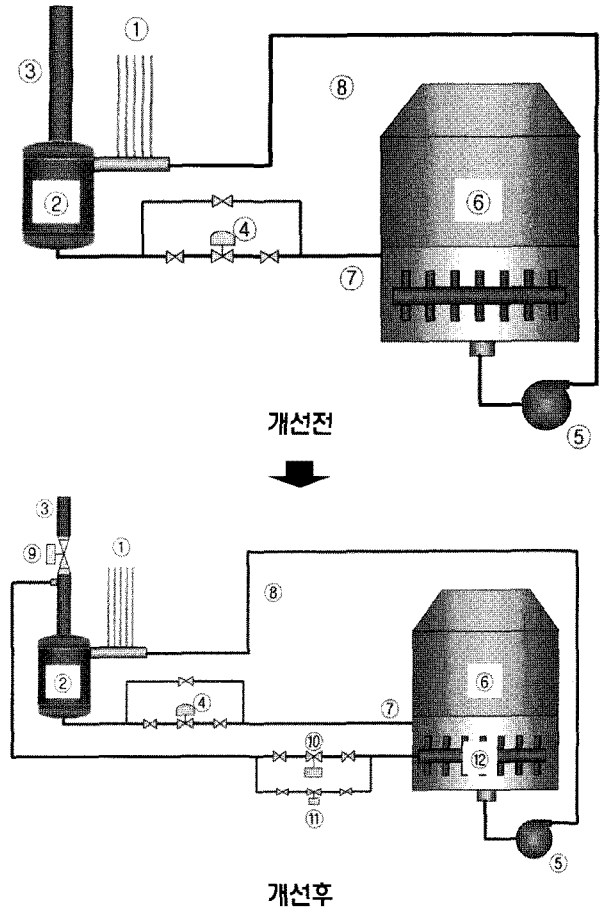
기존의 시스템에 대한 검토결과 기설치된 콘덴서 탈기시스템(Sparging System)으로 배출증기를 회수할 경우 소음 및 가시공해 문제를 해결함은 물론 경제적인



[그림 4] Sparging System

1) 수격작용 등의 이유로 사용하지 않고 있었음.

측면에서 폐열을 계통으로 회수함으로써 효율향상에도 기여할 수 있다는 확신을 가지고 신설시스템을 구성하고, 신설시스템이 적용되었을 때 각 관련설비의 안정성에 대해 검토하였다.

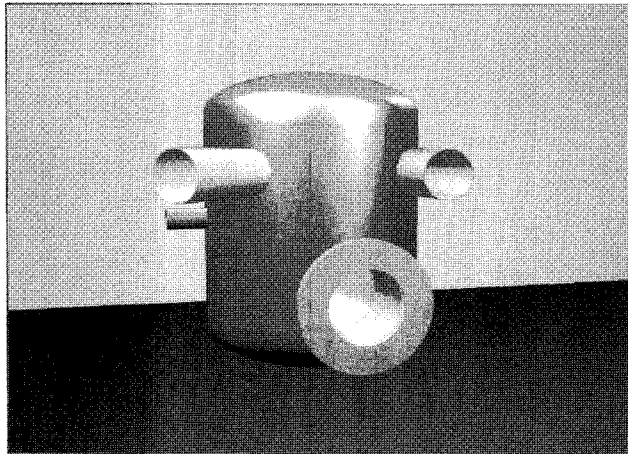
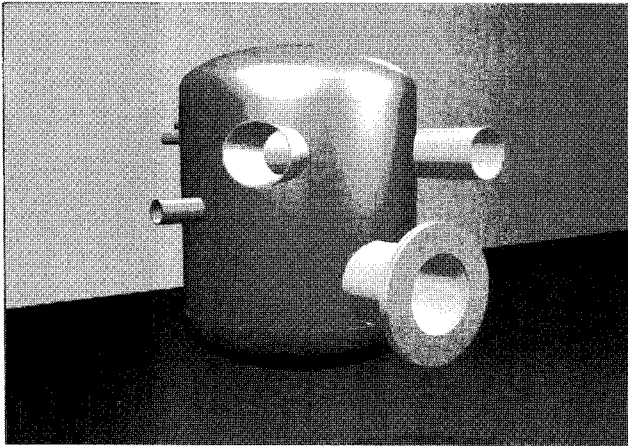


① 응축수배출배관	⑦ 응축수 회수배관
② 콘덴서 리시버 탱크	⑧ Spray Water 공급배관
③ 대기배출증기배관	⑨ 차단밸브
④ 수위조절밸브	⑩ 압력조절밸브
⑤ 복수펌프	⑪ 바이패스 밸브
⑥ 복수기	⑫ 탈기시스템

[그림 5] 배출증기 회수 시스템

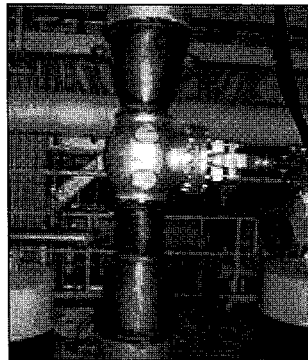
□ 시스템 안전성에 대한 기술적 검토

신설시스템을 적용하기 위한 기술적 과제로는 신설시스템이 복수기와 직접 연결되는 관계(발전소 정지와 직접 관련됨)로 복합화력발전소 콘덴서 리시버 탱크 대기배출증기 회수시스템에 발생할 수 있는 여러 사항들에 대해 기술적 검토를 수행하였다.



[그림 6] Condenser Receiver Tank의 3D Modeling

탱크 상부에 연결된 직경 22"인 대기배출증기 배관을 직경 6"인 탈기 시스템(Sparging System) 배관에 연결할 때 탱크 내로 유입되는 증기가 배관의 단면적 감소로 인한 질량유량이 감소하게 되어 탱크에 압력이 작용하게 되는 경우와



[그림 7] 차단밸브 설치 모습

증기가 유입되지 않을 경우 탱크 내 진공압력(680mm Hg Vac.)이 작용할 경우에 대해 탱크의 안전성여부를 유한요소해석 프로그램인 NASTRAN을 이용하여 구조해석을 수행하였으며, ASME Code를 이용하여 계산을 수행하였다.

또한 탱크에 배출증기 유입시 탱크 및 배관 내의 압력분포, 유속분포, 혼합된 증기의 건도를 CFX 프로그램을 이용하여 유동해석을 하였으며, 탱크로부터의 배출증기가 탈기시스템(Sparging System)으로 들어갈 때 증기에 의한 배관 내 수격작용 발생 가능성에 대한

과도유동해석을 수행하였다.

### ▶ 콘덴서 리시버 탱크의 진공압 및 내압이 작용할 때의 안전성 평가

- 탱크 내 배출 증기유입이 없어서 진공압력이 작용할 때의 구조해석결과 최대허용응력인 160MPa 보다 훨씬 작은 0.091MPa의 외압이 작용하는 것으로 나타났고, ASME SEC. VIII, Division 1, UG-28(c) :  $Do/t \geq 10$ 을 적용하여 계산한 결과 허용응력이 1.097MPa로 작용하는 외압 0.091MPa 보다 훨씬 높은 것으로 나타났다.

- 콘덴서 리시버 탱크로 연결된 배출증기 배관의 모든 밸브가 열렸을 때 탱크로 유입되는 증기유량이 63ton/h으로 계산되었으며 63ton/h의 증기가 유입될 경우 유동해석결과 탱크 내 1.59MPa의 압력이 작용하는 것으로 나타났다. 탱크 내 1.59MPa의 압력이 작용할 때 탱크의 원주방향에 걸리는 응력에 의한 최소필요두께를 계산한 결과 약 10.5mm로 실제 두께 14mm보다 작아 안전한 것으로 판단되었다. 유한요소해석을 통한 탱크의 구조해석을 수행한 결과 조합응력은 동체 중앙부에서 약 74MPa, 동체 상단부에서 약 103MPa, 헤드부에서는 약 138MPa의 입력이 걸리는데 이는 최대허용응력인 160MPa 보다 작은 값으로 구조적으로 안전함이 판명 되었다.

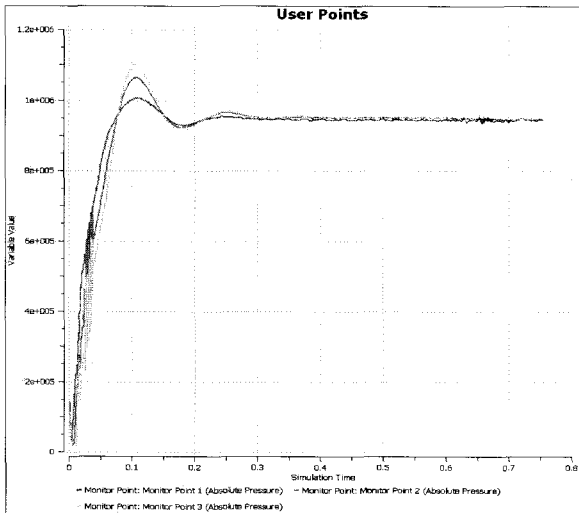
### ▶ 탱크에서 복수기로 들어가는 증기에 의한 복수기 내 탈기(Sparging)배관의 수격작용 발생 가능성에 대한 평가

- 탱크에서 복수기로 증기가 들어가기 전 탈기(Sparging)배관에는 약 40°C의 물로 채워져 있다. 배관에 증기가 유입될 때 물과 증기가 혼합되면서 수격작용이 발생할 수 있는지에 대한 과도유동해석을 수행한 결과 초기 0.3sec까지 압력의 진동이 심하였으나 이후 압력변동은 크지 않았다. 따라서 압력변동이 크게 나타나는 시간이 매우 적어 수격작용은 발생하지 않는 것으로 평가 되었다.

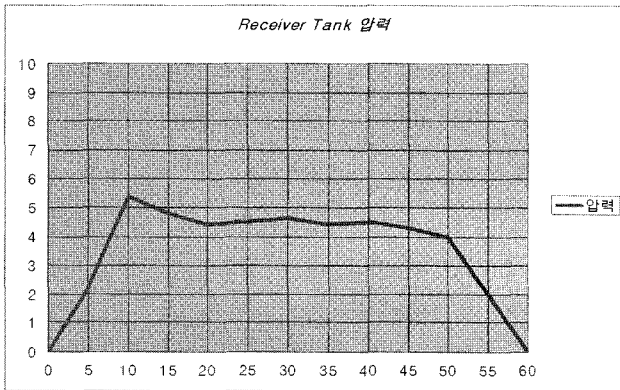
### □ 개선시스템 적용 및 시운전 결과

신설 시스템을 적용하여 시운전을 실시한 결과 콘덴서 리시버 탱크에서 배출되는 증기를 완전히 차단하고

계통으로 전량 회수할 수 있었으며, 이때 탱크내의 작용 압력이 최대 4.5~5.4kgf/cm<sup>2</sup>로 최대 허용응력인 16.3 kgf/cm<sup>2</sup> 보다 작아 콘텐서 리시버 탱크의 안전성이 입증 되었다.



[그림 8] 초기 기동시 배관의 압력 변화추이



[그림 9] Condenser Receiver Tank내의 압력변화

## □ 설비개선 효과

부산복합화력 발전소 기동시마다 대기로 배출되던 많은 양의 증기를 계통으로 완벽하게 회수함으로써 얻어지는 효과에 대하여 사회적 측면과 경제적 측면으로 나누어 정리해 보면 다음과 같다.

### 1. 사회적 측면

- 설비 기동시 콘텐서 리시버 탱크에서 대기로 배출되는 증기를 원천적으로 차단하여 가시공해 배출에 대한 주민의 오해요인을 해소할 수 있었다.
- 많은 양의 증기배출로 발생하는 소음 감소로 법적 규제치 준수  
기존의 시스템에서 설비 기동시 배출증기에 의한

소음이 81dB(A) 정도 발생하였으나, 개선된 시스템을 1호기에만 적용하였음에도 65.6dB(A)로 감소하여 법적 규제치인 70dB(A) 이하를 유지하였고, 다른 호기에도 추가 적용시 소음은 더욱더 감소할 것으로 예상된다.

- 동절기 배출증기의 응축으로 인한 소내도로 결빙을 방지하여 발전소내에서의 안전사고 예방에 큰 기여를 하였다.

## 2. 경제적 측면

### 2.1 폐열 회수

- 조건
  - 배출증기 온도 : 100℃
  - 배출증기 건도 : 0.986
  - 1kWh = 860kcal
  - 열량계산 : 현열 + 증발잠열(건도 1로 계산)  
= 100 + 538 = 638kcal/kg
- 폐열회수에 따른 이익(Warm Start 기준/Unit)
  - 배출증기량 : 50,000kg
  - 회수열량 : 638kcal/kg × 50,000kg  
= 31,900,000kcal
  - 발전량으로 환산 :  
(31,900,000kcal × 37%) / 860 = 13,724kWh
  - 열회수로 얻는 경제적 이익 :  
13,724kWh × 94.53원/kWh = 1,297,329원/회
  - 연간 173회 기동 : 약 2억2천4백만원/년
- 1개호기에 적용하였을 때 폐열회수에 따른 경제적 이익이 연간 약 2억2천4백만원으로 나타났으며, 4개호기 적용시 연간 약 8억9천6백만원의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

### 2.2 순수 회수

- 조건
  - 원수 단가 : 1,114원/ton
  - 순수 생산비 : 318원/ton
  - 순수 소비량 : 50ton/회
- 순수 사용 절감에 따른 이익(Warm Start 기준 /Unit)
  - 1,432천원 × 50ton = 71,600원/회
  - 71,600 × 173회 = 12,387천원/년
- 배출증기 회수에 의한 원수절감 효과  
대기로 배출되는 증기를 회수함으로써 증기생산에 필요한 원수절감으로 연간 약 1천2백만원이 절감

되고, 4개호기 적용시 4천8백만원이 절감되는 것으로 나타났다.

### 2.3 약품 사용량 감소

○ 용존산소 제거 및 순수 생산에 필요한 약품 (N2H4 : 하이드라진) 투입량 절감

본 시스템 적용 전 발전소를 기동하여 계통수의 용존산소량을 기준치인 7ppb 이하로 낮추기 위해 약 2~3시간 동안의 하이드라진(N2H4) 투입이 요구되었으나, 본 시스템을 적용한 후에는 하이드라진(N2H4) 주입시간을 최대 1시간 30분으로 줄일 수 있었다.

이상에서 보는 바와 같이 부산복합화력 발전소 기동시 대기로 배출되던 증기를 계통으로 회수할 수 있도록 설비를 개선함으로써 에너지절감에 기여함은 물론, 환경민원을 해소하여 친환경 기업으로서

의 이미지 제고에도 커다란 효과를 거둘 수 있게 되었다.



[그림 10] 기동시 증기배출 모습 비교

## 해외 열병합 정책과 시사점



프리랜서 컨설턴트  
공학박사 정해성  
H·P : 016-741-5564

### 1. 서론

분당, 일산 등지의 중대형 CHP(Combined Heat and Power)로 인해 이미 전력시장에서 많은 주목을 받던 열병합은 최근에 소형열병합을 이용하는 구역 전기사업자들이 전력시장에 진입하면서 더욱 큰 관심의 대상이 되었다.

열과 전기를 동시에 생산하는 열병합 사업은 전력시

장에서는 대규모 발전사업자와 경쟁하고 열시장에서는 다양한 열원들과 경쟁해야 하는 쉽지 않은 상황에 놓여 있다. 그러므로 열병합에 대한 투명하고 정확한 정책과 규제가 더욱 필요한 시점이라고 판단된다. 이런 상황에서 해외 열병합 정책에 대해 간략히 분석하고 우리에게 제공하는 시사점을 검토하여 향후 정책이 가야 할 방향을 가늠해 보는 것이 의미 있을 것으로 기대된다.

### 2. 국내 전력시장과 열병합

열과 전기를 동시에 생산하는 열병합의 특성 상 전기를 판매하는 전력시장과의 관계를 검토해 봐야 한다. 특히 우리 전력시장에서 열병합은 다른 발전기와 다른 생산방법이 적용되어 형평성의 문제에 대한 많은 논란이 있었으므로 전력시장과의 관계를 살펴보는 것이 더욱 중요할 것이다.