

# 가스터빈흡입공기 냉각시스템의 흡수식 냉동기 적용사례

TIAC 시스템에 흡수식 냉동기 적용시 어떠한 이점이 있는지에 대해 실제 사례를 통해 소개하고자 한다.

가스터빈발전을 포함한 열병합발전은 미국, 유럽, 일본, 중동 지역에 걸쳐 널리 분포하고 있다. 대형발전소에서 전기를 공급받아 대부분의 도심지역에서 사용되고 있지만, 발전소와 멀리 떨어진 지역이거나 전기를 많이 사용하는 대규모 단지의 경우, 자가발전시스템을 통하여 전기 및 열을 생산할 수 있는 시스템을 구축하고 있다. 이는 안정적인 전기의 공급이 가능할 경우에 대형발전소에서 전기를 공급받는 방식보다 저렴하게 사용할 수 있으며 국제유가 변동에 따른 리스크 관리 측면에서도 능동적으로 대처할 수 있음을 의미한다.

가스터빈은 대기를 작동유체로 사용하고 있으며 그 성능은 대기 조건에 좌우된다. 즉, 터빈 입구 가스온도를 일정하게 유지하는 일반적인 운전에서는 출력이 대기압에 비례하며 대기온도 1℃ 향상 당 0.6 ~ 0.8% 정도의 가스터빈 출력은 저하된다. 전력부하 피크가 발생하는 여름철의 경우 입구공기 온도가 상승하게 되며 이에 따른 전기출력의 향상방안이 필요하게 된다.

흡입공기 온도를 내려주는 방식은 크게 4가지로 구분할 수 있으며 그 내용은 다음과 같다. 증발냉각방식, 안개분무방식, 습압축방식, 기계냉각 방식이 존재하며, 기계냉각 방식은 전기식과 흡수식으로 구분할 수 있다. 국내의 경우 자가발전시스템의 도입이 활발하지 않아서 입구 공기냉각에 대한 중요성이 크게 필요하지 않았다. 그렇지만 탄소중

최형우

(주)신성엔지니어링 기술연구소

선임연구원

080904@ishinsung.com

량제를 포함한 다양한 규제에 따른 시스템 효율향상이 발전사 생존의 문제에 직면하면서 그 필요성은 대두되고 있으며, 본 원고에서는 중전 방식대비 터빈 입구 공기냉각 시스템에 흡수식냉동기와 접목한 사례를 소개하여 터빈 출력변화 및 전체 시스템의 경제성에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고자 한다.

### 개요

당사의 독자기술로 설계된 스팀구동 흡수식 냉동기는 UL 및 ASME 압력용기 설계기준에 적합하게 설계되어 UL인증 및 U-STAMP를 취득하였을 뿐만 아니라 AHRI 인증을 취득한 시운전 설비에서 성능테스트를 수행하여 그 능력을 검증하였다. 현지에 설치 후 전체 가스터빈 발전시스템과 연계된 시운전을 완료하였으며 대수 제어 연동, 외기온도 변화에 따른 냉동기 운전특성 등을 확인하였다. 본론에서는 당사에서 공급한 흡수식 냉동기의 주요기술을 소개하고 현지에 설치된 가스터빈시스템과 연계한 주요한 특징을 기술하고자 한다.

### 흡수식 냉동기

지구상에 존재하는 가장 안전하고 친환경적인 증류수(H<sub>2</sub>O)를 냉매로 사용하는 흡수식 냉동기는 상용화된 지 약 30년이 되었으며 제품의 신뢰성과 효율이 비약적으로 발전하였다. 저급에너지인 열에너지가 가열원으로 이용될 수 있으며, 가스터빈열병합발전에서 생산되는 HRSG(배열회수보일러)의 저압의 스팀을 이용하여 냉수 생산이 가능하게 된다. 생산된 냉수는 가스터빈의 입구공기냉각기에 냉수를 공급하여 가스터빈에 공급되는 공기온도를 조절하여 발전효율을 상



[그림 1] 공장테스트 전경

승시키게 된다. 본 고에 적용된 흡수식 냉동기는 2중효용 병렬흐름 방식으로 스팀소비량을 중전 대비 약 20% 절감한 최신 기술을 접목하였다. 주요 기술을 요약하면 다음과 같다. 드레인 응축냉매 열회수, 스팀 응축냉매 열회수, 엘리미네이터 압력손실 저감, 중력낙하트레이 적용, 불응축가스 자동회수시스템 기술 등이 있다. **그림 1**은 이중효용 흡수식 냉동기 (1,000 RT) 시운전 사진을 나타내었다. 스팀압력을 받는 고온재생기는 압력용기 기준에 의한 설계를 진행하였으며 전장품을 포함한 주요부품은 UL 승인 부품을 사용하였다.

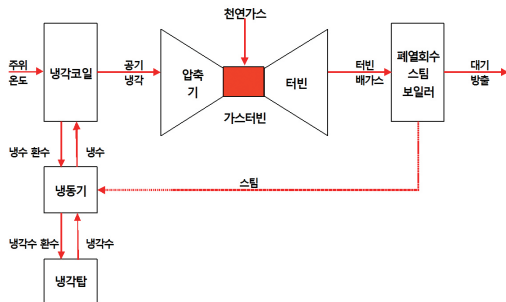
### 가스터빈 발전시스템

가스터빈발전시스템은 CHP(Combined Heat and Power) 시스템 중에서 각광을 받고 있는 하나의 방법으로 미국에서 최근 많이 생산되는 셰일가스를 기반으로 저렴하며 안정적인 연료수급이 가능하다. 가스터빈 발전시스템은 플랜트 성격이 강하며 수많은 부대설비를 필요로 한다. **그림 2**와 **그림 3**은 가스터빈발전시스템의 계통도를 나타내고 있으며 주요기능을 중심으로 살펴보면 다음과 같다. 천연가스를 연료로 사용하며 완전연소를 위하여 공기가 사용된다. 가스터빈 시스템 냉각에 물을 공급해야 하며 열교환을 통하



[그림 2] 가스터빈 시스템 계통도

여 발생된 스팀은 고압과 저압으로 분리되어 각각 사용된다. 연소열을 통한 에너지가 발생되는데 이때 전기에너지 및 열에너지를 생성한다. 최종적으로 배기가스는 대기 중으로 방출되며 발전 시스템 효율향상을 위하여 냉동기 및 냉각탑이 필요하게 된다.



[그림 3] 가스터빈 시스템 모식도

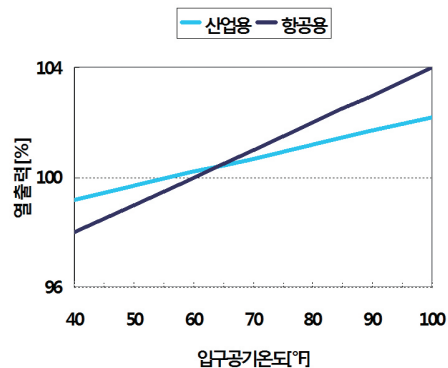
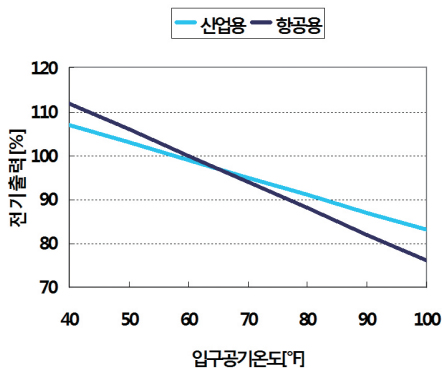
가스터빈 발전시스템의 주요기능을 중심으로 부품리스트를 정리하면 다음과 같이 크게 구분할 수 있다.

- 1) Gas Turbine Engine
- 2) Complex Air-Purifier
- 3) Recovery Boiler(HRSG)
- 4) Turbogenerator
- 5) Steam Turbine
- 6) Contact Condenser
- 7) Heat Pump Unit
- 8) Automatic Control System
- 9) Fire Protection System
- 10) Water Treatment System

여기서 60 MWe 급 전력생산을 위한 각 계통의 수지를 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{AIR}(86) + \text{FUEL}(2.5) + \text{STEAM}(17.8) \\ & \rightarrow \text{GAS-STEAM MIXTURE}(106.3) \text{ [kg/s]}, \text{FEED WATER}(64) \text{ [Ton/h]} \end{aligned}$$

가스터빈 흡입공기의 온도에 따라서 터빈과 열 출력력이 변화하고 그 관계를 그림 4에 나타내었



[그림 4] 터빈 흡입공기 온도에 따른 출력 변화

다. 일반적으로 성능곡선은 15℃(60°F)이 기준이 되며 터빈의 전기출력과 열출력은 상반된 관계를 가진다. 흡입공기 관리에 있어 공기노점온도 이상을 유지해야 하며 흡입공기량의 확보를 위하여 공기의 밀도를 최대한 올려야 한다. 특히, 여름철의 경우 터빈의 출력확보 및 고온부 부품손상 방지를 위한 흡입공기의 냉각처리가 반드시 필요하게 된다.

### 적용사례

당사 이중효용 흡수식냉동기는 미국 펜실베이니아주 P&G 공장에 설치되어 운전 중이다. P&G 사는 2012년 매출이 830억 달러(91조 3000억)로서 전 세계 180개국 이상의 국가로 종이제품을 포함한 소비제품을 제조/판매하는 회사이다. 당사 2,000 RT 흡수식 냉동기가 설치된 현장은 Cogen II Project에 가스터빈 + 냉동기 조합으로 가스터빈의 입구 공기를 냉각하여 가스터빈의 효율을 높이는 TIAC(Turbine Inlet Air Cooling) 시스템으로서 발전기에서 생산되는 전기량을 증대시키는 목적으로 구성되어 있다. **그림 5**는 가스터빈 발전시스템의 설치 전경을 **그림 6**은 흡수식 냉동기 사진을 각각 나타내었다.

설치된 가스터빈 발전시스템의 주요제원을

정리하면 다음과 같다.

#### 1)가스 터빈

Maker : Rolls Royce Trent 60  
 Gross electrical power (kWe) : 61,210  
 Exhaust temperature : 433℃  
 Size(L/W/H) : 8,000/4,000/5,000 mm

#### 2)배가스 보일러(HRSO)

Maker : HAMON-DELTAK  
 LP Boiler : 19,500 lbs/h = 8,845 kg/h  
 MP Boiler : 145,000 lbs/h = 65,770 kg/h  
 Economizer  
 M.A.W.P(Max Available Working Pressure) : 720 psig = 49.6 barG  
 ASME U Stamp

#### 3)터빈 입구 AHU

Maker : COLMAC  
 열교환 방식 : Water injection type  
 열량 : 6,048 Mcal/h  
 ASME U Stamp, AHRI, UL

#### 4)냉각탑

Maker : 발티모어



[그림 5] 가스터빈시스템의 설치전경



[그림 6] 설치된 흡수식 냉동기 전경

냉각톤 : 1,000 CRT X 2EA

5) Absorption Chiller

Maker : (주)신성엔지니어링

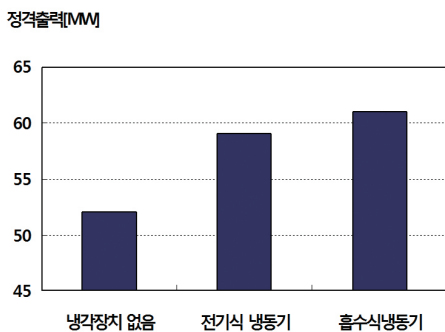
Model : SAB-SF100G1 X 2EA

ASME U Stamp, UL

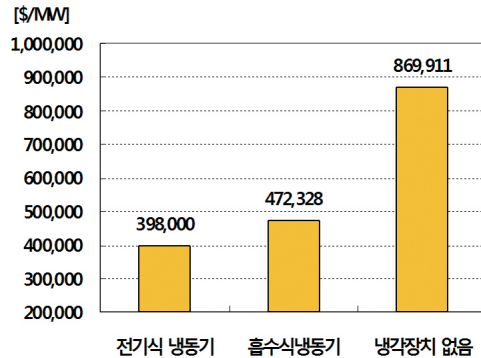
## 경제성 비교

설치된 가스터빈 발전시스템의 시운전을 통하여 입구 공기냉각 기능을 구동하지 않은 경우와 대비하여 터빈의 발전출력이 얼마나 상승하는지를 비교하였다. **그림 7**에서 냉각방식별 터빈의 정격출력의 변화를 비교한 자료이며 입구 공기냉각을 하지 않은 경우 대비하여 약 17% 출력이 향상되었다. 이때 외기온도는 약 32°C(90°F)이었다. 입구 공기냉각에 필요한 부대설비투자비를 고려하여 투자회수비용을 검토해 보면, 60 MWe 기준으로 투자회수 기간은 약 3년 수준으로 상당히 매력적인 조건으로 산출되었다. **그림 8**은 출력증가에 따른 자본비용을 비교한 결과로 냉동기를 사용할 경우 약 절반 수준의 자본이 절약되는 것으로 분석되었다.

더 나아가 축열시스템을 도입하여 입구 공기냉각이 필요하지 않을 경우 그 냉열을 축열조



[그림 7] 냉각방식별 터빈 출력



[그림 8] 출력증가에 따른 자본비용

에 저장하여 인근 지역으로 지역냉방 (District Cooling) 사업을 하는 경우도 있다. 주간 피크부하 외의 시간대에는 냉열을 축열하여 익일 냉방부하를 축열조에서 감당하게 된다. 이 경우 1년 내내 발전시스템을 가동하게 되며 축열부하를 고려한 냉동기 설치용량을 줄일 수 있게 되며 추가적인 비용절감 효과가 발생된다. 검증된 미국의 사례를 살펴보면 750 MWe 개보수 현장의 경우 1,000만 달러 수준의 비용절감 효과가 발생한 것으로 조사되었다.

## 결론

당사의 이중효용흡수식 냉동기가 미국 펜실베이니아주 P&G 공장에 설치되어 발전 효율을 대폭적으로 증대시키면서 안정적인 가동 중에 있다. 이 시스템은 가스터빈시스템의 폐열을 이용하여 발생한 스팀으로 흡수식냉동기를 구동하여 얻은 냉수로 가스터빈의 입구 공기를 냉각하여 가스터빈의 발전효율을 대폭 높일 수 있으며, 중전 전기식 냉동기로 입구공기를 냉각하는 대신 흡수식냉동기를 운전함으로써 냉동기 구동전기를 현저히 줄일 수 있었다. 이러한 흡수식냉동기를 접목한 TIAC(터빈 입구 공기냉각) 시스템은

에너지절약의 새로운 솔루션 중의 하나로 주목받고 있다. 지금까지 살펴본 내용을 바탕으로 정리하면 다음과 같이 결론을 도출할 수 있다.

- 1) 경제성 확보
  - 3년 이내 투자비 회수
- 2) 친환경(OZONE FREE) 제품
  - 친환경 냉매사용(ODP, GWP=0)
- 3) 출력 향상 및 지역냉방사업 연계
  - 터빈의 발전출력 향상 (+17%)
  - 잉여 스팀을 활용한 인근지역 지역냉방사업 연계가능

## 참고문헌

1. Shinsung Engineering Technical Databook, Absorption Chiller Part.
2. ENERGY-TECH MAGAZINE, 2004, pp. 12-15.
3. ARI Standard 560 Absorption Water Chilling and Water Heating Packages, 2000, pp.3-6.
4. Absorption Chiller Application, 2013, HARFKO Technical Seminar, p.20.
5. Waste Heat Driven Chiller, 2013, HARFKO Technical Seminar, pp.2 & 17-18.
6. ASME CODE SEC. VIII DIV. I
7. Lee, S. H., Study on CHP Efficiency Through Turbine Inlet Air Heating by Waste Heat, pp. 49-50. 