

## LNG 냉열을 이용한 복합사이클 발전시스템의 성능개선연구

김용희, 김병일\*

대림엔지니어링주식회사

\*아주대학교 에너지학과

### A study on the performance enhancement for combined cycle using cold heat of LNG

Yong-Hee Kim, Byoung-Il Kim

Daelim Engineering Co., Ltd

\*Dept. of Energy, AJou Univ.

#### 요 약

우리나라에서 피크부하용으로 사용하는 복합발전이 하계시에 외기온도가 상승함에 따라 실제로는 정격출력을 내지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 연료(LNG)의 냉열을 이용하여 가스터빈의 연소용공기를 냉각시킬 경우, 복합발전 시스템의 성능변화를 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 LNG의 냉열을 이용하여 연소용공기를 원하는 온도까지 냉각시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 연소기로 연료를 투입하기전에 설계온도까지 예열시키는 열교환기를 통해 배기가스에 함유된 현열을 더욱 많이 회수하면서, 가스터빈 투입연료의 온도를 상승시킬 수 있어, 시스템효율이 더욱 상승함을 알 수 있었다. 결론적으로 외기온도가 변하는 경우에, 본 시스템의 도입을 위해서는 경제성분석과 더불어 열교환기 시스템의 최적합성이 추후 진행되어야 할 것이며, 이를 통해 최적의 발전시스템을 구성할 수 있으리라 생각된다.

#### 1. 서론

우리 나라는 최근 지속적인 경제활성화와 소득수준의 향상에 따른 폭발적인 전력수요에 대응하고자 90년대 초부터 원자력, 석유 및 석탄발전소보다 환경, 건설기간, 입지조건 및 투자비등이 유리한 LNG 복합발전소를 건설, 운영 및 계획 중에 있다. 국내의 LNG 복합발전소는 주로 피크부하용으로 널리 사용되고 있으나, 하계시에는 외기 온도가 상승함에 따라 정격출력을 내지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 출력감소문제를 해결하고자 LNG 냉열을 이용하여 가스터빈의 연소용 공기를 냉각시킴으로써 하계시에도 일정출력을 낼 수 있는 방안에 대해 연구를 수행하였다. 이를 위하여 최대 열회수가 가능한 LNG 복합사이클 플랜트를 구성하고, 발전플랜트 전용해석코드인 Gate/Cycle을 이용하여 설계 및 탈설계점에서 성능해석을 수행하였으며, LNG냉열을 이용한 연소용공기의 냉각을 위하여 Aspen Plus를 이용하여 냉각공정에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통하여 하계에 외기 온도가 상승하는 경우에도 출력상승이 가능한 시스템을 제시하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 공정 개요

본 연구에서 대상으로 하는 복합사이클은 Westinghouse W501F 가스터빈과, 가스터빈의 배기가스 중에 함유된 현열을 회수하기 위하여 삼압, 자연순환식 폐열회수보일러(HRSG), 재열 증기터

빈을 이용하고 있다. 본 연구에서 대상으로 하는 공정에 관한 개략도는 Fig. 1에 나타내었으며, 설계조건 특성치는 Table 1에 나타내었다. 또한 본 연구에서 대상으로 하는 외기냉각시스템은  $-162^{\circ}\text{C}$ 의 LNG를 기화시키기 위하여 기존에 사용하던 해수를 이용한 기화기를 적용시키지 않고, 외기와 열교환이 가능한 간접접촉식 열교환기를 적용하여 LNG 기화시 나오는 냉열을 이용하여 연소용 공기의 온도를 낮추도록 구성하였다. 이 구성의 개념도는 Fig. 2에 나타내었다.

## 2.2 공정 시뮬레이션

가스터빈 복합사이클의 공정시뮬레이션은 발전플랜트 전용해석코드인 Gate/Cycle을 이용하였으며, LNG 냉열을 이용한 외부공기냉각시스템은 Aspen Plus를 이용하여 수행하였다. 복합사이클의 시뮬레이션에서 가스터빈은 Gate/Cycle에 데이터베이스로 내장되어 있는 제작사의 설계자료를 이용하여, 외기 온도가 변하는 경우에 가스터빈의 배기가스 조건이 변할 수 있도록 모사하였다. HRSG는 세가지 압력을 가지고 과열 및 재열이 가능하게 구성하였으며, 저압 증발기 발생증기는 탈기용 증기로 사용하도록 구성하였다. 배기가스 현열의 최대회수를 위하여 급수예열기를 설치하였고, 배기가스가 외부로 배출되기 전에 가스터빈 입구 연료의 예열에 재사용 되도록 구성하였다. 이러한 복합사이클시스템은 Gate/Cycle을 이용하여 모사하였고, 설계조건 및 여러 외기 조건에서 성능해석을 수행하였다. 외기 온도가 상승하는 경우에 가스터빈의 출력상승을 위하여, Aspen Plus를 이용하여 외기냉각공정을 구성하였는데, 외기 온도가 계속 변하는 관계로 본 연구에서는 외기 온도가 지속적으로 변하더라도 가스터빈 입구공기온도를 일정하게 유지시킬 수 있도록 공정을 구성하였다. 본 모델은 두 개의 열교환기모델과 유량조절이 가능한 분배기 및 혼합기로 구성되었으며, 외기와 LNG가 열교환을 통하여 외기 온도를 원하는 온도까지 냉각시키고, 여분의 LNG와 열교환기 출구의 NG가 합쳐진다. 연료는 투입되기 전에 HRSG 출구배기가스의 열을 이용하여 원하는 온도까지 예열된 후에 가스터빈으로 투입되도록 구성하였다. 본 연구에서의 설계조건은 외기 온도가  $32^{\circ}\text{C}$ 에서  $15^{\circ}\text{C}$ 까지 냉각되는 시스템을 선정하였으며, 이 조건에서 공기냉각 시스템을 설계하였다.

## 2.3 결과 분석 및 토의

본 연구에서 개발되어진 모델을 이용한 복합사이클의 탈설계점 성능 분석을 Fig. 3 ~ 7에 나타내었다. 외기 온도가 상승함에 따라 연료용공기와 연료의 투입량이 감소되면 가스터빈의 배기가스온도가 상승한다. 또한 가스터빈과 증기터빈의 출력이 감소되는데, 가스터빈이 증기터빈에 비하여 온도에 따른 출력감소율이 현저히 커진다. 이로 인하여, 가스터빈의 출력이 시스템 전체에 미치는 영향은 증기시스템에 비하여 훨씬 커지며, 가스터빈이 전체시스템의 효율 및 출력상승을 위하여 중요함을 알 수 있다. 한편 외기온도가 상승하면 복합사이클의 효율도 감소한다. 본 시스템에서는 LNG 기화열이 외기 온도 냉각에 필요한 열량보다 많아서 가스터빈으로 투입되는 LNG의 일부(98.5%)만 분기하여 외기 냉각용 열교환기에 공급하였다. 또한 LNG의 전량을 연소용 공기냉각에 사용하는 경우,  $15^{\circ}\text{C}$  이하까지 연소용공기를 냉각시키는 것도 가능함을 확인하였다. 분기되었던 연료는 다시 합쳐져서 HRSG후단의 배기가스와 열교환을 통하여 예열된 후, 가스터빈의 연소기로 공급된다. 이를 통하여 가스터빈 입구공기는  $15^{\circ}\text{C}$ , 연료온도는 설계치인  $21.1^{\circ}\text{C}$ 를 상시 유지할 수 있었으며, 이 시스템의 성능해석결과는 Table 2에 나타내었다. 본 연구의 결과에서는 약 250MW의 출력을 내는 복합사이클에서 외기 온도가 상승하는 경우에, 투입되는 연료(LNG)의 냉열을 이용하여 연소용 공기를 원하는 온도까지 냉각시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 연소기로 연료를 투입하기 전에 설계온도까지 예열시키는 열교환기를 통하여 배기가스에 함유되어진 현열을 더욱 많이 회수할 수 있어서 시스템의 효율이 더욱 상승할 수 있음을 알 수 있었다.

### 3. 결론

여름철에 외기 온도의 상승으로 인한 가스터빈 출력감소를 방지하여 피크부하시 더 많은 출력 생산이 가능한 시스템을 제시하였고, 성능을 분석하였다. 이를 통하여 하계에도 설계치의 성능을 가지는 시스템이 가능하며, 배기가스의 현열도 더욱 많이 회수함으로써 기존의 복합사이클 발전 시스템을 더욱 효율적으로 운영할 수 있도록 하였다. 외기냉각시스템의 개략적인 설계를 통하여, 큰 투자비없이 시스템의 구성이 가능함을 확인하였다. 외기 온도가 변하는 경우 본 시스템의 도입을 위한 경제성 분석과 열교환기 시스템의 최적합성이 추후 진행되어야 하며, 이를 통하여 최적의 발전 시스템을 구성할 수 있으리라 생각된다.

### 4. 참고문헌

1. Ganapathy, V : "HRSG features and applications", Heating/Piping/Air Condition, January,(1989)
2. Chen-Hwa Chiu : "LNG receiving terminal with a combined Cycle Gas Turbine(CCGT) Power Plant ", Gastech 94 LNG/LPG Conference Proceedings, Kuala Lumpur, Malaysia, October, (1994)
3. Ganapathy, V : "Waste Heat Boiler Deskbook", The Fairmont Press, (1991)
4. Horlock, J, H : "Combined Power Plant Including Combined Cycle Gas Turbine(CCGT) Plant", Pergamon Press, (1992)
5. 선우 현범, 최기련 외 : "韓國의 에너지産業과 政策", 韓國에너지協議會, (1996)
6. Enter Software, Inc. : "GateCycle User's Guide Vol. 1, 2 ", (1989-1995)
7. Aspen Technology, Inc. : "Aspen Plus User Guide", (1988)

Table 1. Combined cycle simulation data

<b>Ambient condition</b>	
Temp.(°C)/Pres.(bar)	15/1
Relative humidity(%)	50
<b>Gas turbine</b>	
Power output(MW)	163.4
Exhaust temp(°C)	608
Exhaust flow(kg/hr)	3.45626e+6
<b>Steam turbine</b>	
Power output(MW)	82.9
<b>Steam condition</b>	
pres(bar)	100
super heat temp(°C)	537.8
reheat temp(°C)	537.8
Net power output(MW)	246
Net efficiency(%)	48.9

Table 2. Results of the cooling system

<b>공기냉각용 열교환기</b>	
공기온도 : 입구/출구(°C)	32/15
LNG온도 : 입구/출구(°C)	-162/-61
전열 면적(m <sup>2</sup> )	70.3
LMTD	130.5
열전달량 (MMKcal/hr)	6.0410
<b>연료예열용 열교환기</b>	
연료온도 : 입구/출구(°C)	-64/21.1
배가스온도:입구/출구(°C)	148.5/143.8
열전달량(MMKcal/hr)	1.93

Fig. 1 Combined cycle

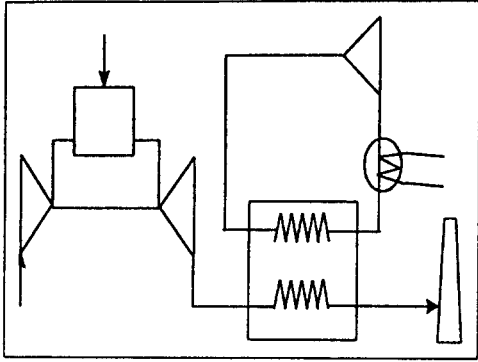


Fig. 2 Block flow diagram of the cold heat system

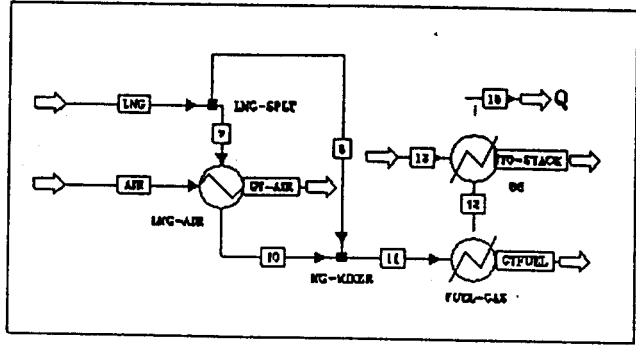


Fig. 3 Ambient temp. vs net efficiency(%)

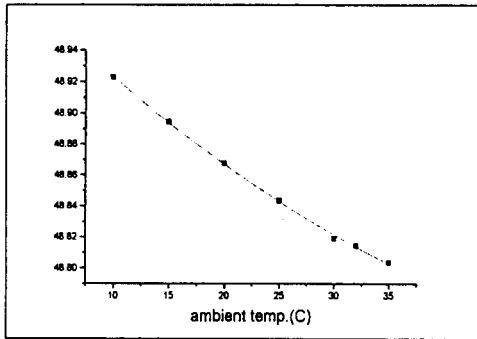


Fig. 4 Ambient temp. vs power output(MW)

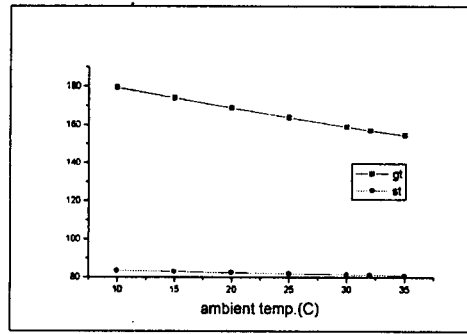


Fig. 5 Ambient temp. vs air flow(Ib/hr)

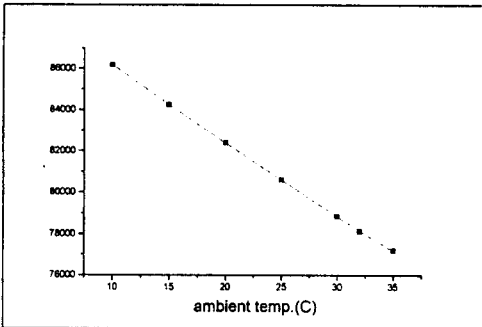


Fig. 6 Ambient temp. vs fuel flow(Ib/hr)

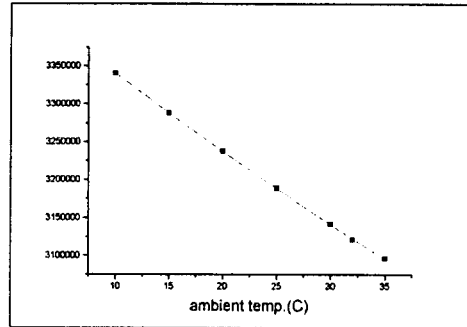


Fig. 7 Ambient temp. vs G/T exit temp.(°C)

