

# 콤비나트 기업의 온수열 회수 및 가스 코제너레이션 등을 통한 에너지 절약

글: 자료 일본 카시마미나미 공동발전 (주)카시마 발전소 KMG프로젝트팀



## 사업기간

2003년 7월 ~ 2008년 7월

## 사업 개요

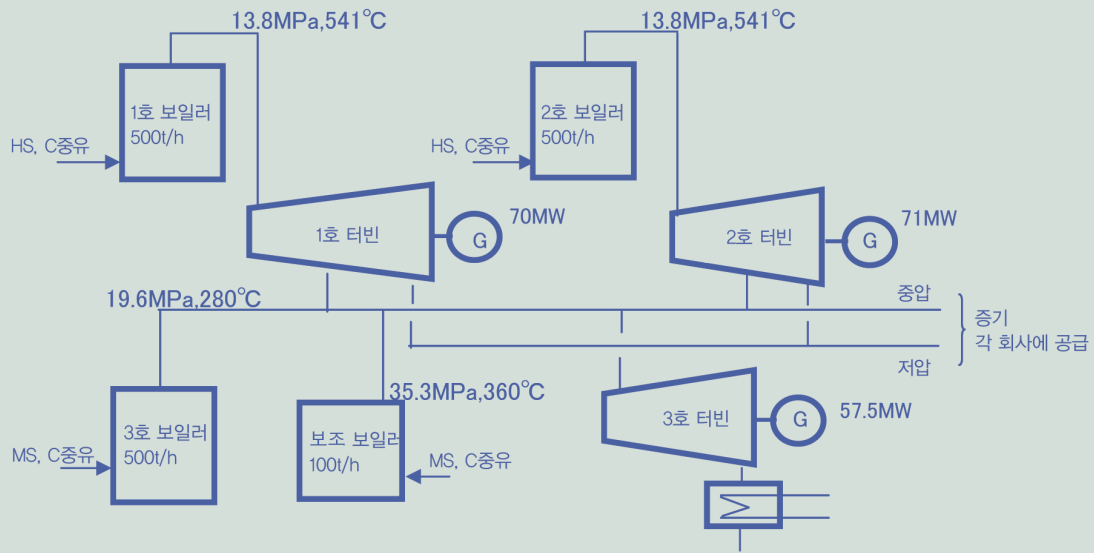
각 기업의 낮은 레벨 온수를 LNG기화용 열원 및 기존 보일러 급수의 예열 열원으로 이용하여 내부 증기를 감소함. 또한 당사가 기존의 보일러 폐열회수를 이용한 온수 공급은 수요자들의 증기 가열을 대체하여 에너지 절약을 실현하게 함. 가스코제너레이션 설비를 운용하고 폐열회수를 이용하여 온수, 증기를 발생시키는 것은 총효율을 높이고 기존의 저압보일러에 의한 복수(復水)발전을 대체하여 각 회사와 열을 공유, 발전소 전체 종합 열 효율을 개선하고, 원유환산 24,000k1/년 에너지 절약을 가능하게 함.

## 사업소 개요

- 생산품목 : 전력, 증기, 증류수 (생산량: 15,299,014 GJ/년 2004년도 측정)
- 종업원수 : 75명
- 제1종 에너지 관리 지정 공장 에너지 사용량 : 534,611k1/년(원유환산: 2004년 측정)

## 발전설비의 공정

- 공급능력    전력: 175MW(자가발전의 공급능력)  
                  증기: 700t/h  
                  증류수: 450t/h



## 1. 사업 선정 이유

2004년 당시 1, 2호 보일러와 1, 2호 증기터빈발전기로 각 회사에 중압·저압의 증기를 합쳐 460t/h정도를 공급함. 여유증기 200t/h과 3호 보일러, 그리고 보조보일러로 증기를 보충하여 3호 복수터빈 발전기로 보내 발전량을 증가 시키려 했지만, 각 회사의 전력수요를 충족하지 못해 전력회사에서 구입한 전력으로 보충할 수밖에 없었음. 이로 인해 저렴한 에너지 확보와 안정적 공급을 사명으로 발전설비능력을 강화시키려고 함. 또한 발전소 내의 에너지절약 대책을 검토하는 중 카시마 콤비나트에서 2004년도의 에너지 절약, 신에너지대책 도입촉진사업에 관한 조사가 실시되어 콤비나트 수요자들이 저위 레벨의 온수를 효과적으로 활용하자는데 의견을 모음에 따라, 이것을 테마로 콤비나트 에너지 절약을 검토하기 시작함.

## 2. 활동경과

### 1) 대응체계

당사 발전소장을 위원장으로 하여 콤비나트 수요자들의 회사로부터 설비검토위원 6명을 선발, 그리고 발전소에서 위원 4명을 선발하여 총 11명의 위원이 콤비나트 에너지절약에 관해 토의를 거듭하여 실천안을 작성함.

### 1 위원회 활동 내용

- 위원회 개최 1회/2개월
- 각 기업의 저위 레벨 온수의 실태 조사
- 각 기업의 온수 이용처와 문제점을 파악
- 발전소의 효율을 높이는 안(案)을 검토
- 발전소의 에너지절약안을 추출

### 2 위원회의 답신안 종합

- 각 회사의 저위 레벨 온수의 활용법
- 발전소 폐열회수 온수를 각 기업에 공급
- 고효율 가스엔진 발전설비의 도입을 통한 에너지 절약

- 대형 전동기의 에너지 절약
- 투자액과 투자회수 정리

### 3 위원회 답신안 승인

- 위원회의 답신안에 관해 주주에게 승인. 이 답신안의 승인을 받아 KMG(Kashima, Minami, Gasengine)프로젝트를 시작하여 에너지절약 활동을 전개함.

### 2) 현황 파악

최근 지구온난화의 대책으로 에너지절약, CO<sub>2</sub> 감소가 급선무임. 또한 환경대책으로 질소산화물 및 황산화물을 감소해야 함. 이러한 상황에서 증유가격 상승으로 3호 보일러에서 발생하는 증기로 복수터빈을 발전(發電)하면 발전효율이 20%정도 낮아지고 발전비도 높아지기 때문에 저렴한 연료로 대체하거나 새로운 발전설비를 도입할 필요가 있음.

### 3) 현황 분석

#### 1 각 기업의 저위 레벨 온수량과 온도의 실태 조사

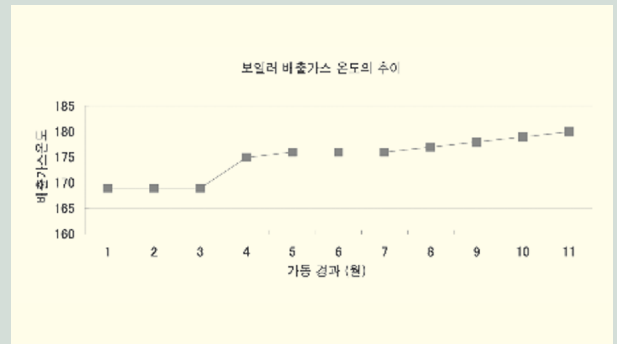
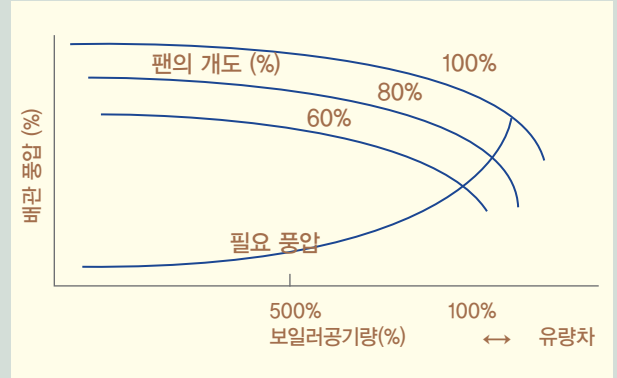
	온수 온도 (°C)	온수량 (t/h)	거리 (km)	불순물 유무
A사	47	13	4	미량
B사	80	45	3	없음
C사	55	17	2	없음

콤비나트 기업을 조사한 결과 해당 발전소에서 이용 가능한 저위 온수를 보유한 회사는 3곳인 것으로 파악됨.

#### 2 3호 보일러에 의한 복수 터빈 발전의 열효율

1, 2호 보일러는 추기(推氣)·배압 터빈 발전기로 발전함. 추기 및 배기증기는 수요자들의 회사로 공급하고 남은 증

기를 복수터빈 발전기로 공급하기 때문에 1, 2호 발전기의 열효율은 70% 이상이지만, 3호 보일러에 의한 복수터빈은 발전열효율이 20% 정도이고 비용도 높음.



#### 3 보일러 배출 가스의 폐기열량

1호 보일러 출구의 배출가스 온도는 보일러 가동시작 시점에는 169°C로 높았고, 가동 후 3개월 후에는 175°C로 상승, 7개월 후에는 조금씩 상승하여 180°C나 되었음. 이것을 연평균으로 환산하면 175°C의 배출가스를 방출하는 것임. 일반적으로 보일러 배출가스 온도가 150°C 정도인 것과 비교하면 25°C나 높고, 12,000MJ/h(원유환산 0.3kl/h)의 에너지 손실이 발생하는 것임.

#### 4 보일러 공기주입송풍기 팬의 조리개 손실

보일러의 공기주입송풍기는 공기흡입 팬의 조리개(팬의 개도(開度))를 통해 보일러 연소 공기량을 제어하기 때문에 이 조리개에서 압력 손실(전력손실)이 발생함.

보일러 부하 100%					
	팬의 개도 (%)	공기량 m3N/h	전력량 kW	팬 개도 100% 공기량	공기량 차 m3N/h
1호 보일러	82	7,350	1,080	8,400	1,050
2호 보일러	85	7,450	1,480	8,400	950
3호 보일러	78	4,400	1,100	5,200	800

보일러 부하 100%에서 팬의 개도여유분(개도 100%에서 증가하는 공기량)이 조리개에 의한 압력손실과 일치했음.

#### 4) 목표설정

2004년 에너지 소비량의 약 4% 정도를 에너지절약 목표로 설정함.

- ▶ 에너지절감량 : 24,043kl
- ▶ CO<sub>2</sub>배출감소량 : 116,300t-CO<sub>2</sub>(화력발전계수 사용)
- ▶ 에너지절감효과 : 4.5%

#### 5) 문제점과 검토내용

##### 1 콤비나트 기업의 저위레벨 온수 이용

저압 보일러와 복수터빈 발전기에 의한 총효율은 20% 미만이기 때문에 가스엔진 코제너레이션 시스템을 채택하여 가스엔진의 연료가 되는 LNG기화용 열원으로 각 회사의 저위 레벨 온수를 이용함. 그러나 다음과 같은 문제점이 있음.

1. LNG기화기의 열원을 이용한 후, 각 회사의 저위 온

수를 어디로 회수하는가.

2. 각 회사의 저위 온수에 불순물(유성의 유기물)이 섞여 들어오지는 않는가.

이러한 문제점을 검토한 결과 다음의 시스템을 채택하여 문제를 해결함.

1. 불순물 혼입의 우려가 있는 저위온수는 이번에 채택을 보류함.

	온수온도 (°C)	온수량 (t/h)	거리 (km)	불순물의 유무	채택 여부	판정 이유
A사	47	13	4	미량	X	A사는 불순물이 섞여 있고, 온도가 낮고, 거리도 길어 투자액이 커짐
B사	80	45	3	없음	O	
C사	55	17	2	없음	O	

2. LNG기화기의 열원으로 직접 사용하지 않고 보일러 급수의 열회수 라인에 열교환기를 설치하여 열회수 후에는 각 회사로 돌아가는 방식을 채택, 회수에 따른 보일러 급수에 불순물이 혼입되는 것을 방지함.



##### 2 저압 보일러의 복수발전의 대체로 코제너레이션 시스템을 도입

###### • 연료의 선택

당사는 카시마 콤비나트 도쿄 복단에 위치하여 지역조건이 내륙형이기 때문에 카시마 항구에서 멀리 떨어져 있어 연료 수입이 기존의 제유소 등으로부터 파이프 수송으로 제한되어 있음. 이번 전력자유화 및 콤비나트 경쟁력 강화를 위한 활동에서도 저렴한 연료를 구입·운

송하는 것이 어려운 상황임. 또한 민가에 인접해있기 때문에 값싸고 조악한 연료를 사용하면 공해가 발생할 우려가 있음. 이 문제를 해결하기 위해 제외설비를 설치하게 된다면 자원·에너지 소비의 증가를 불러와 에너지절약활동에 반하게 됨.

이러한 상황에서 가스회사로부터 LNG로리를 통한 납입 제의를 받아 각종 연료를 비교 검토한 후 LNG를 채택하기로 함.

• 코제너레이션 시스템 채택

콤비나트 기업의 수요는 전력·증기가 함께 증가하는 경향이 있으나, 전력과 증기의 밸런스를 보면 전력이 증가하는 편이 낮기 때문에 매년 전력회사에서 구입하는 전력이 증가하는 상황임. 따라서 발전 효율이 높고 증기 발생이 적은 시스템이 이상적임. 가스엔진과 가스터빈 코제너레이션시스템을 비교, 검토한 결과 발전기 효율이 높고 증기 발생량이 적으며 총효율도 높은 가스엔진을 채택함.

10MW급 가스엔진과 가스터빈 코제너레이션의 비교

	발전 효율	증기 발생	총 효율	설비 투자액	유지비	발전비	종합 평가
가스엔진	43%	5t/h	84%	1	1	1	◎
가스터빈	37%	25t/h	80%	1.2	1.2	1.2	○

• 발전용량 선택

전력회사의 전년도 수전계약을 하회하지 않는 범위인 12MW(6MW×2)를 선택함.

• 온수의 이용

가스엔진을 통해 회수한 온수는 콤비나트 수요자에게 공급하고, 남은 것은 보일러 급수로 모두 회수함.

3 보일러 배출가스의 열회수

배출가스의 열을 최대한 회수(응축온도까지 배출가스의 온도를 낮춤)하기 위해 다음을 고려함.

문제점	대응책
배출가스 응축에 의한 먼지 부착	세정장치 강화
배출가스 응축에 의한 부식	SUS와 불소수지 코팅 2중관

콤비나트 회사와 온수를 공유하기 위해 회수하는 물의 일부를 공급함.

4 보일러 공기주입 송풍기의 에너지절약

팬의 조리개 손실을 에너지절약과 최대한 연결시키기 위해 인버터로 회전수를 제어함과 동시에 다음과 같은 보안 시스템을 채택함.

보일러 공기주입송풍기 인버터화의 최대 문제점은 신뢰성임. 10만 시간에 한번 정도로 고장률이 낮은 편이긴 하지만 당사의 사명인 안정적인 공급을 고려하면 만의 하나의 고장이라도 보일러를 중지할 수는 없음. 따라서 인버터 고장 시, 인버터에서 상용전원으로 교체되는 순간 공기유량에 변동을 주지 않도록 보일러 메이커에게 시뮬레이션을 의뢰하여 다음의 제어 방법을 도입함.

• 고장 시 대응책

①고압차단기의 교체는 전압의 위상이 변해 최대가 되어도, 기동토크(torque)를 전동기와 송풍기의 결합 및 로터가 갖는 기계적 강도에 견딜 수 있는 정도로 제어하기 때문에 차단시의 잔류전압추이에서 재투입까지 교체 시간은 0.7초로 선정함.

②공기주입송풍기의 송출 풍량의 변화를 최대한 억제하여 전환하기 위해 흡입팬을 완전히 열지 않고 에너지절약에 영향을 주지 않는 정도로만 열어서 풍량에 따라 조절함.



**5 도입비용 감소에 의한 경제성 성립**

2005년 '독립행정법인 신에너지·산업기술 종합 개발기구'의 보조사업에 응모하여 채택됨에 따라, 경제성이 크게 개선됨.

6) 대책 내용

**1 각 회사 저위 레벨 온수의 열 공유**

각 회사의 저위 레벨의 온수를 회수하여 열을 공유하여, 당 발전소의 총효율을 높이기 위해 도입한 LNG 가스엔진 연료의 기화열에 이용. 그리고 기존 보일러급수를 예열하는데 이용하는 열교환기를 설치함.

1. 열교환기-A

온수45t/h, IN: 80°C, OUT: 35°C

회수열량 2560kW

2. 열교환기-B

온수17t/h, IN: 55°C, OUT: 31°C

회수열량 495kW

**2 보일러 배출가스의 열회수 및 각 회사로의 온수공급**

미리 보일러급수를 예열, 당 발전소 1호 보일러 배관에 열교환기를 설치하여 폐기가스로부터 열을 회수, 이 열을 이용하여 보일러급수를 한 번 더 가열함. 그리고 그 일부를 각 회사에 온수 공급하여 열을 공유함.

1. 배출가스 열교환 배출가스량 431,000m3N/h

IN: 175°C OUT: 97°C

급수375t/h

IN: 43°C OUT: 73°C

전열면적 2,100㎡ 회수열량 11,000kW

2. 각 회사 온수 공급 15t/h 온도73°C

**3 가스엔진코제너레이션과 각 회사로의 온수 공급**

LNG 가스엔진 코제너레이션은 가스엔진기관 냉각수에서 기존 보일러 급수로 열을 회수하고, 가스엔진기관의 배출가스에는 배출가스 보일러를 설치하여 저압증기를 회수하여, 가스엔진 발전기의 발전출력과 합쳐 총 열효율 84%의 최고 효율을 실현함.

이 가스엔진 발전설비의 발전효율은 43%이기 때문에, 3호 보일러를 정지하여 발전소의 총효율의 향상을 꾀함.

1. 가스엔진 발전기	5,750kW×2대
	발전효율: 43.5%
	연료 LNG1,173m3N/h×2대
	착화용경유 9.8L/h×2대
2. 온수열 회수	3,145kW×2대 열회수율: 23.3%
3. 배출가스보일러	저압증기: 3.3t/h×2대 열회수율: 17.4%
4. 종합열효율	84%

4 1, 2항의 기존 보일러 급수 열회수에 의해 급수가열용 내부 증기가 감소해 보일러의 증발량도 감소함. 또한 보일러 공기주입송풍기는 흡입팬의 조리개에 의해 풍량을 제어하기 때문에 압력손실이 발생하지만, 회전수를 저하(인버터 제어)하는 것으로 팬을 개방한 압력손실분을 절약함.

1. 에너지절감량 계산	$P_w = P(1 - Q1/Q2)3/n$
	P=실동력 Q1: 실부하에서의 공기유량
	Q2: 팬 완전개방시 공기유량
	n: 인버터 등 변환 효율
2. 에너지절감량	1호FDF: 240kW
	2호FDF: 280kW
	3호FDF: 281kW

**5 부생유(副生油) 연소에 의한 에너지절약**

공급처 사무소에서 폐기처분한 부생유를 기존 보일러의 연료로 사용하여, 기존 보일러의 고유황 C중유의 연료소비량을 감소하고 에너지를 절약함.

콤비나트 기업의 온수열회수 및 가스코제너레이션 등에 의한 에너지절약 계획

에너지절감량: 원유환산(kℓ/년)

계획	
각 회사의 저위 온수열 회수에 의한 에너지절약	2,178
가스 코제너레이션에 의한 에너지절약	7,072
보일러 배출가스열 회수에 의한 에너지절약	9,151
1~3호 보일러 공기주입 송풍기에 의한 에너지절약	3,554
부생유연소에 의한 에너지절약	2,088
합계	24,043
이산화탄소 배출량	63,700t/년

7) 대책 후의 효과

• 에너지절감량	24,080kℓ
• CO <sub>2</sub> 배출감소량	63,800 t- CO <sub>2</sub>
• 에너지절감효과	4.5%
• 에너지절감 금액	1,686백만엔(원유단가: 70엔/L)
• 투자액	3,350백만엔
• 단순투자회수년도	2.0년
• 비용대비효과	719kℓ/억엔

8) 종합

당사는 콤비나트 기업과 저위 레벨 온수를 상호 융통하여 온수의 열회수를 통해 에너지절약에 관한 메리트를 얻음. 공급을 받는 각 회사는 온수를 냉각탑의 보급수로 이용하고 있기 때문에 열을 융통함으로써 물이 상온(35℃ 전후)

으로 돌아오게 하는데 냉각팬의 에너지를 절약할 수 있음. 또한 종래에 증기를 통해 온수를 만들던 수요자는 당사에서 폐열회수한 온수를 사용하여 에너지 절약을 실천함. 발전소 내에서 실시한 에너지 효과는 열재료의 단위향상과 전력·증기의 유틸리티 비용 감소 및 이산화탄소 감소를 통해 공급처인 수요자들의 각 회사로 환원됨.

9) 이후의 계획

에너지절약에 대한 대응은 예전부터 계속해왔지만, 도쿄의 정서에 의한 지구온난화 가스감소의 목표를 달성하기 위해서는 에너지 절약을 더욱 더 추진할 필요가 있음.

이번에 실시한 정도로는 목표달성이 어렵기 때문에, 현재 가스회사에 의해 천연가스 배관이 치바에서 카시마까지 부설되고 있고, 당사에서는 완공시기에 맞춰 기존 보일러의 연료전환을 실시할 계획임.