

가스터빈 · 연료전지 복합이용 고효율 Cogeneration System

본 자료는 일본 열병합발전센터자료에서 발췌 · 번역한 것임.

1. 서 언

日清製油(株)에서는 1993년에 책정한 당사 환경개념의 실현을 위하여 에너지전환 · 배수처리 등에 적극적인 환경투자를 하였고 또한 1995년 4월에는 6000KW급 가스터빈Cogeneration System을 가동개시, 에너지고효율 이용을 추진하여 왔다. 금번

- Total Energy Cost 삭감
- 탄산가스 배출량 삭감에 의한 환경부하 저감.
- 하절기 전력 Demand의 삭감

을 목적으로 연료전지와 가스터빈을 조합한 신 발전시스템을 도입, 그 도입경위, 시스템 개요, 설치 · 운전상황, 도입효과에 관하여 소개한다.

2. 공장개요

당 공장은 1963년에 조업을 개시, 셀러드유, 드레싱, 조미료 등 외에도 화장품 또는 화장품의 소재, 영양보조식품, 대두단백 등의 여러가지 제품을 생산하였다. 한편 주력상품인 식용유는 원료의 하역에서부터 제품까지의 일관생산을 하여 원료인 곡물을 가공하는 과정에 전기나 증기를 많이 사용하고있다.

표-1 에너지사용현황

	1990년도 실적		1999년도 실적	
	연료사용량	CO ₂ 배출량	연료사용량	CO ₂ 배출량
전력구매량	6.81×10 ⁷ kWh	3.19×10 ⁴	3.66×10 ⁷ kWh	1.71×10 ⁴
도시가스 (발전전력)	0.96×10 ⁷ m ³	2.25×10 ⁴	3.54×10 ⁷ m ³ (4.67×10 ⁷ m ³)	8.31×10 ⁴
A(중유)	1.95×10 ³ kl	4.97×10 ³	0	-
C(중유)	1.78×10 ⁴ kl	5.36×10 ⁴	0	-
폐유	1.08×10 ³ t	2.37×10 ³	2.64×10 ³ t	5.82×10 ³
기타	3.68×10 ³ t	2.94×10 ³	4.46×10 ³ t	3.57×10 ³
합계		11.56×10 ⁴		10.64×10 ⁴

표-2 Cogeneration System의 규격

가스터빈	명칭 출력 회전수 압축/터빈	DORUNEEDO 6750KW(at 흡기온도3°C) 11,053rpm 축류15단/축류4단(1축)
발전기	용량 · 전압	7,500kVA · 6,600V 1500rpm
배열 보일러	형식 최대증발량 운전압력 탈초설비	자연순환2동수관식 45t/h(보조버너없음:14.5t/h) 9.3kg/cm ² (193°C) 암모니아수에 의한 건식접촉 환원

또한 당 공장은 JR根岸線の 磯子역전에 위치하여 주택지역에 인접하고 배수기준 등의 환경대책이 엄격한 東京灣에 인접하고 있기때문에 조업이래 환경대책과 일체가 된 생산활동을 실시하여 왔다.

가일층 지역사회와 밀착된 활동을 추진, 계속하여 지구환경의 보호와 풍요한 사회의 실현에 공헌하여 나가기 위하여 환경 Management활동을 적극적으로 전개하고 있다.

본 사례는 그 환경대책의 일환이다.

3. 에너지사용현황과 GT규격

당 공장의 에너지사용현황을 표-1에, 1995년에 도입한 Gas Cogeneration System의 설비규격을 표-2에 나타내었다. 본 시스템에서는 가스터빈 배가스로부터의 열회수 외에 추가버너 시스템을 채용함에 따라 80% 이상의 종합효율을 달성 하였다.

또한 표-1에는 환경보전 대책의 관점에서 탄산가스 배출량현황을 아울러 산출하였다. 1999년도는 1990년도에 비하여 8.0%의 탄산가스배출량을 삭감(생산량은 7.8% 증가) 하였다. 또한 폐유 · 기타가 증가한것은 외부에의 반출량을 삭감하여 내부처리를 하였기 때문이다.

4. 가스터빈 흡기냉각을 조합한 연료전지 발전시스템의 도입

4.1 도입의 경위

연료전지는 에너지효율이 높고 에너지절약성이 우수하고 대기오염의 주원인인 질소산화물(NOx), 유황산화물(SOx)을 발생하지 않는 우수한 발전시스템이다.

가스터빈은 하절기에 외기온도의 상승에 의하여 압축기 부하가 증가되고 이에 수반하여 출력이 저하된다. 하절기에 출력이 저하되고 동절기에 출력이 상승하는것이 가스터빈의 숙명적인 특성이므로 하절기의 전력 Peak-Cut는 공칭정격출력보다 낮은 하절기 출력대책으로 계획할 필요가 있다. 일반적으로 가스터빈은 외기온도 15℃ 상승할때 10% 정도의 출력이 저하된다.

하절기 가스터빈 출력 회복을 위한 수단으로 흡수식냉각을 하는 사례는 종래부터 있었고 흡수에 물의 분무, 공장의 냉수직접이용, 흡수식냉동에 의한 냉수이용 등의 사례가 있다.

연료전지와 가스터빈의 흡기냉각의 조합은 연료전지 排熱의 고도이용을 도모한 새로운 시스템으로서 연료전지가 갖는 고효율 특성을 합쳐 종합적인, 효과적인 공장에너지절약, 하계절 전력Demand의 삭감(買電의 평준화)하고 또한 연료전지의 우수한 환경성과 가스터빈 흡기냉각의 효과에 의하여 공장의 환경부하(탄산가스배출량과 NOx 배출량)를 삭감하는 등의 두 가지 점이 본 시스템도입의 포인트이다.

또한 본건은 NEDO(신에너지·산업기술종합개발기)의 보조사업에 의하여 시행된 것이다.

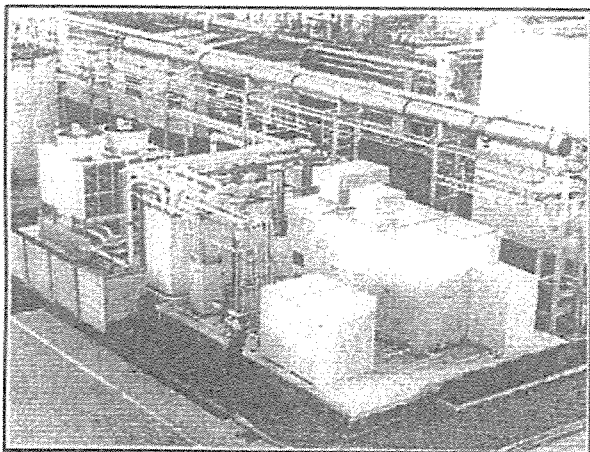


그림-1 시스템의 외관

4.2 시스템의 구성과 규격

시스템의 전체구성을 그림-2에 나타내었다. 가스터빈은 6,000KW급으로서 정격 45t/h의 증기를 생산, 공장내의 각 Process의 열원으로 이용된다.

가스터빈 흡기냉각시스템설비의 주요한 구성과 규격을 표-3에 표시하였다.

적용한 연료전지는 표준품으로 개발한 증기배출 200KW 인산형연료전지이다.

연료전지로부터 전지스택의 반응열에 의한 高位排熱(167℃)과, 플랜트 배가스로부터 회수한 저위배열(60℃온수)의 2계통의 배열을 얻는데 이것이 가스터빈 흡기냉각과 보일러 급수예열에 유효하게 이용된다.

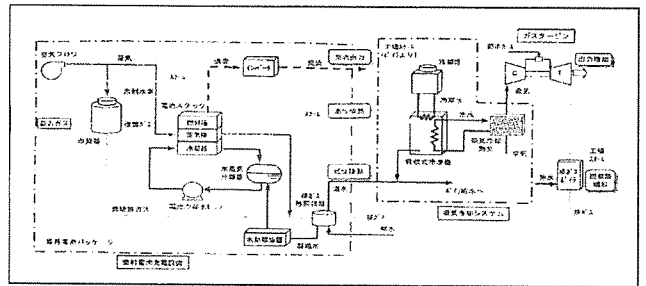


그림-2 연료에 의한 가스터빈 흡기냉각시스템

표-3 시스템구성과 규격의 개요

연료전지발전설비 형식 연료 출력과 운용 배열출력 발전효율	증기배출 인산형연료전지 옥외패키지형 중압도시가스 13A 200KW (AC송전단), 계통연계운전 고위배열: 167℃ 증기, 86Mcal/h 저위배열: 60℃ 온수, 124Mcal/h 38.5%
흡기냉각설비 냉동기 냉수조건 기타 기기구성	증기흡수식냉동기, 200USRT 공급 7℃ 회수12℃ 냉수펌프, 냉각수펌프, 제어반 동력 1set.
냉각코일유닛 성능	냉각능력: 622kcal/h 압력손실: 13.5Ag

연료전지로부터의 배열 스팀은 흡수식냉동기의 열원으로 이용되고 제조된 냉수는 흡기냉각코일로 들어가 가스터빈의 흡기냉각이 이루어진다. 연료전지로부터의 배열온수 및 냉동기 드레인은 가스터빈 추가 보일러 및 기존 가스보일러의 급수예열에 이용된다.

하절기에는 흡기냉각부하가 커서 연료전지만으로는 증기량이 부족하기때문에 공장증기를 보급하는 회로를 설치하였다. 이 보급증기량은 흡기냉각의 효과에 의한 가스터빈 배열발생량의 증가로 감당되기때문에 추가 가스량의 증가는 없다.

4.3 증기계통의 구성

증기계통을 구성하기전 양자의 특성을 고려하여 제어상의 論理를 정리할 필요가 있어서 사전 시뮬레이션에 의한 검증을 실시하고 최종적으로 그림-3과 같이 증기계통을 구성하였다. 고려한 점은 다음과 같다.

- 연료전지, 흡기냉각은 각각 개별 기동/정지가 가능하여야 한다. 어떠한 이상이 있더라도 자동 분리되어 운전이 가능할것.
- 연료전지, 흡기냉각 각각 개별 단독운전이 가능할것.
- 연료전지, 흡기냉각이 각각 개별 부하변화에 자동 추종할것.

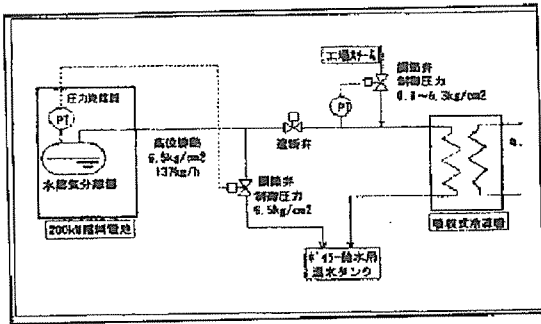


그림-3 증기계통의 구성

4.4 설계시의 기대효과

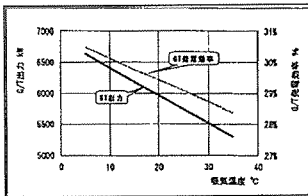


그림-4 가스터빈 특성의 흡기온도의존성

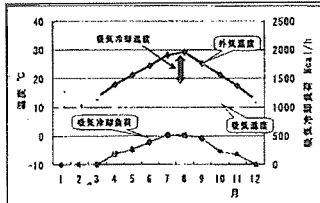


그림-5 흡기냉각온도

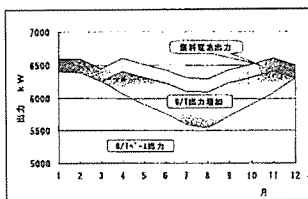


그림-6 월례시스템출력 (흡기냉각효과)

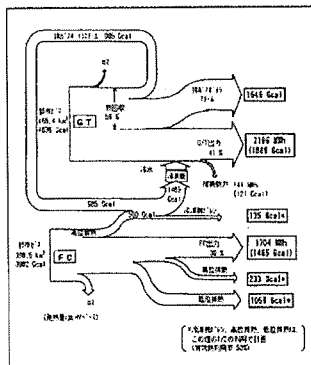


그림-7 연간총에너지수지 (본시스템분)

가스터빈의 출력과 연료 유량의 외기온 도의존성의 실측치를 그림-4에, 이것을 근거로 계획한 흡기냉각온도와 월별시스템출력, 연간총에너지수지를 그림-5 ~ 그림-7에 표시하였다.

흡기냉각에 의하여 8월 평균 약 500KW의 출력상승, 8월의 Peak(최고기온시)로 약 700KW의 출력up가 가능, 연료전지의 출력 200KW와 합하여 하계절 약 900KW의 전력 Peak cut가 가능하게 되었다. 이것이 시스템의 도입에 의한 에너지절약효과와 경제적효과를 보증하는 것이다.

가스터빈 흡기냉각은 출력상승뿐만 아니라 발전효율의 측면에서도 이점이 있다. 이것은 흡기냉각에 수반하여 가스터빈발전효율이 증가하는 특성에 의한것으로서 (그림-4참조) 연료전지가 갖는 고효율 특성과 흡기냉각시스템 전체로 약 40%의 발전효율을 얻을 수가 있다. 시스템에 의한 총발전출력은 공장의 연간전력구매량의 약 11%에 상당한다. 에너지절약·환경성에 관해서는 연간으로 약 320kl(석유환산)의 에너지절약 및 약 240ton(탄소환산)의 탄산가스 삭감효과가 기대된다.

5. 설치·운전현황

흡기냉각설비의 설치공사는 가스터빈이 운전중이 었으나 냉각코일 설치 등 2일의 정지기간을 제외하고는 운전이 지장없이 약 2개월간의 공사를 종료하였다. 그후 조정운전을 거쳐 흡기냉각시스템은 99년 4월에, 연료전지와와의 종합시스템과는 99년 4월부터 생산을 개시하였다.

흡기냉각시스템은 동절기(12~3월)에는 휴지하였으나 그 사이에도 연료전지는 연속 운전되었다. 현재까지의 운전상황은 후술하는바와 같지만 종합성과 실 운용성에 관해서 평가하여보자.

5.1 1999년 9월 시스템의 성능기록

전반 및 9월말은 외기온도에 연동하여 가스터빈출력은 증가되어 Peak로 700KW 이상, 평균 400KW 정도의 출력 증가의 효과를 얻었다. 가스터빈 출력증가는

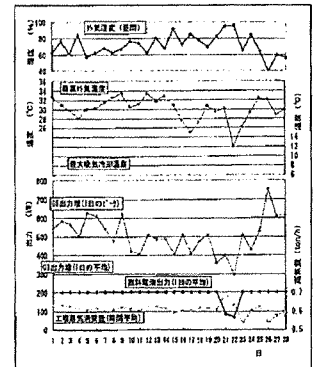


그림-8 시스템성능기록 (1999년9월)

코일냉각능력의 관련으로 외기온도 이외에 습도에도 관계하지만 대략 계획대로의 효과를 얻을 수 있었다.

5.2 가동실적

1999년 9월 이후의 연료전지 및 흡기냉각설비의 가동실적을 표4에 표시하였다. 이 1년간의 실적에서 총발전량을 보면 당초의 기대효과를 하회하고 있으나 연료전지 고장 등에 대한 대책을 세워 현재에는 출력성능을 포함하여 대략 사양을 만족하는 결과를 얻고 있다.

또한 흡기냉각은 기상조건에 의하여 냉각효과가 좌우되므로 냉동기의 운전설정온도를 내리는 등으로 발전량의 상승을 기록하였다.

5.3 시스템과 Trouble에 관하여

표-4에도 나타나 있듯이 시스템의 트러블로서는 연료전지 Trip이 9월 이후 7회 발생되었다.(흡기냉각측은 없음)

그 트립原因的 대부분은 증기 배출계통에 기인하는 것으로 그 이외에는 제어계의 트러블이었다. 본 가동개시후 1년이 경과, 전지의 총가동시간도 시운전을 포함하여 1만시간에 가까워지고 있는사이에 신뢰성은 서서히 향상, 현재는 안정가동을 계속하고 있다.

또한 그외의 트러블 및 과제로서는

- 수소 누설량을 줄이기 위하여 점검정비시에 연료계통의 Seal부분의 보수를 실시.
- 수처리장치내의 프리필터, RO막의 교환주기의 연장화를 들 수 있다.

표-5에는 1999년 9월 이후의 Trip 개요를 나타내었다.

표-4 연간이동실적 (99/9~00/8)

	연료전지		흡기냉각			비고 (FC트립 등)
	가동시간(h)	발전량(kWh)	GT가동시간(h)	발전UP량(kWh)	평균UP량(kWh/h)	
1999.9	691.45	131,205	720.00	300,130	416.8	1회
1999.10	720.33	141,356	744.00	248,300	333.7	1회
1999.11	715.00	144,956	720.00	91,980	127.8	1회
1999.12	653.33	131,982	660.12	0	0.0	1회
2000.1	720.49	146,370	644.22	0	0.0	1회
2000.2	696.00	141,397	687.12	0	0.0	
2000.3	733.18	150,753	71.45	0	0.0	
2000.4	646.13	118,551	656.27	42,311	64.5	
2000.5	632.43	128,221	615.08	239,030	388.6	1회
2000.6	384.63	73,044	720.00	377,070	523.7	1회+定檢정비
2000.7	664.08	120,753	744.00	286,730	361.2	
2000.8	731.68	137,602	565.83	221,850	392.1	
합계	7,988.73	1,571,590	7,548.09	1,789,401	-	

표-5 연료전지 Trip 개요(99/9~00/8)

Trip명	원인 과 대책
1. 전지전압 低	A/D 보드 및 절연변환기불량 교환
2. 전지냉각수저유량	냉동기입구의 압력변동에 의하여 전지측의 수증기분리기 압력이 내려가, 냉각수순환펌프 Cavitation발생. →제어로직 변경
3. 抽氣管水位低	원인은 위와같음 →공장증기측과압력제어개선
4. 수·증기비 低	대기운전에서 사동중 Trip → Soft 상의 설정치 변경
5. 抽氣管水位低	Check valve 불량 → 분해청소(점검시교환)
6. 전지냉각수 제어P정지	공정부하변동에 의한 전지냉각수 인버터Trip → Inverter Reset후 기동
7. 제어전압 低	제어반내의 누전 → Relay교환

5.4 경제성에 관하여

본 시스템의 경제성(초년도 예측)은 다음과 같다.

- 총투자액 약 2억엔
 - Merit 약 3천3백만엔
 - 내역 전력전등비 감소 : 5천2백만엔
 - 연료비 증가 : 1천9백만엔
- 투자금액의 3분의 1가량을 NEDO에서 보조 받았다.

6. 마지막으로

연료전지는 소용량이면서도 대형화력발전소와 같은 높은 발전효율을 갖고 있으므로 발전에 의한 연료의 환경부하(탄산가스 발생량)는 買電의 환경부하와 거의 동등한 값을 나타낸다. 排熱을 유효하게 이용하면 그 만치 약 100%환경부하 저감의 효과를 얻을 수 있다. 가스터빈 흡기냉각에의 연료전지 적용은 이 효과와 흡기냉각이 갖는 고효율특성과의 상승에 의하여 환경성·경제성에서 Merit를 가져온 것이다. 200KW 연료전지와 6000KW급 가스터빈과를 조합한 사례이나 연간을 통하여 배열증기의 과부족인 점에서 비교적 Balance가 좋은편이다. 가스터빈 출력이 낮으면 배열증기의 잉여가 증가되어 그의 이용처를 생각할 필요가 있다.

작금의 에너지절약 움직임의 배경에는 가스터빈 자가발전의 도입사례가 증가되고 있지만 흡기냉각은 Demand가 높은 계절에 출력을 회복시키는 손쉬운 대책이고 금후 환경부하 저감을 목표로 연료전지의 적용사례가 증가하여 나가기를 기대하고 싶다.

마지막으로 가스터빈 흡기냉각의 열원으로 연료전지의 배열을 이용할 필요가 있는것일까? 와 같은 질문을 받을 때가 있다. 확실히 연료전지는 고가의 설비로서 투자비용도 크지만 동시에 보다 큰 효과를 얻을 수 있었다는것을 첨언 한다.