



열병합발전 시스템과 에너지환경

—일본 열병합 발전 심포지움을 다녀와서—

글/도 유 봉(에너지관리공단 과장/기술사)

— 목 차 —

1. 서 론
2. 심포지움 동정
3. 현장기술 답사
4. 화학석유 공장에서의 열병합발전 실적
5. 배기재연소형 산업용 Repowering system
6. 인산형 연료전지의 개발상황
7. 결 론

1. 서 론

열병합발전(Cogeneration)은 에너지의 효율적인 이용방안으로서 동일열원으로부터 열과 전기를 동시에 생산하여 유효하게 사용하는 방식이다.

우리나라와 일본의 열병합발전 도입현황을 비교하여 보면, '92년말 기준으로 산업용 53건/1,017,000kW, 건물용 6건/49,000kW, 공업단지 8건/403,000kW, 지역난방 10건/20,000kW로서 도합 77건/1,489,000kW이고, 일본은 민생용 844건/404,000kW, 산업용 633건/2,101,000kW로서 도합 1,507건/2,505,000kW로서, 일본의 경우 단위용량은 비교적 적지만 신기술 개발과 정부의 제도적 지원에 힘입어 적용건수가 우리나라의 20배 정도로 열병합발전 시스템도입이 활발하게 전개되고 있다. 그래서 필자는 일본의 열병합발전 적용사례를 연구·검토하고자 일본 열병합발전 연구회가 주최한 “열병합발전 심포지움 '93”에 참가하였다.

심포지움 내용중에서 “화학석유 공장에서의 열병합발전 실적”, “배기재연소형 산업용 리파워링

(Repowering)시스템”, “인산형 연료전지의 개발상황”이 우리 회원의 실무에 유익할 것으로 생각되어 그 내용을 게재코자 한다.

2. 심포지움 동정

이번 열병합발전 심포지움은 1993년 11월 24일부터 25일까지 2일간에 걸쳐서 동경 중심지에 있는 경단련(經團連)회관에서 250여명(한국인 7명포함)이 참석한 가운데 개최되었으며, 26일은 3개 업체에 대한 Technical tour가 있었다.

첫날 오전에는 「특별강연」 “건축이 지구환경에 미치는 영향”과 「기조강연」 “열병합발전의 전망”에 대한 연설이 있었다.

오후에는 「에너지정책」으로 “환경조화형 에너지 커뮤니티 사업의 전개”와 「지구환경」으로 “지구 온난화 방지를 위한 세계적 동향” 및 「신기술」로서 “300kW산업용 세라믹 가스터빈의 개발상황”, “가스 전소용 가스인젝션 디젤기관의 개발”, “인산형 연료전지의 개발상황”에 대한 발표가 있었다.

이튿날 오전에는 「연구보고」로서 “열병합발전 시스템의 최적 규모설계”와 「운전보수 시스템 평가」로서 “화학석유 공장에서의 열병합발전 실적”, “대형 실내레저 센터에서의 열병합발전 실적”, “복합빌딩에서의 열병합발전 실적”에 대한 발표가 있었다.

오후에는 「운전보수 시스템 평가」의 계속으로 “대단위 아파트 단지의 열병합발전에 의한 지역냉난방 열공급”, “배기 재연소형 산업용 리파워링시스템”, “新梅田지역의 열병합발전 시스템”에 대한 발표가 있었다. 이어서 단상토론(Panel Discussion)으로 「운전보수 시스템 평가」에 대한 사례를 발표한 6명이 연단에 자리잡고 열병합발전 시스템의 도입경

위와 설계·시공·운전에 관한 기술자료를 서로 깊이있게 토론을 하였으며, 참석자들로 부터 여러가지 기술적인 질문사항에 대해서 성실한 자세로 답변에 임하였다.

심포지움의 주요내용 중에서 요즈음 세계적인 관심사로 떠오르고 있는 지구환경 문제에 대한 최근 동향으로서, 1992년 6월 브라질 리오데자네이로에서 개최한 UN환경개발회의(UNCED)의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 환경과 개발에 관한 리오선언의 채택

· 인류의 미래를 위하여 지구를 양호한 상태로 유지할 것을 목적으로 사람과 국가와의 상호관계를 규정하는 행동의 기본원칙을 집대성한 것으로 전문 및 27개 조항으로 이루어졌다.

2) 기후변동 조약의 서명

· '92년 5월 국제연합 총회에서 채택된 것으로 세계 50개국 이상 비준에 의하여 90일후에 발표되는 것으로 되어 있다. 조약내용은 지구온난화 방지대책에 대한 국가별 계획책정과 실시를 포함한 10개 조항으로 되어 있으며, 이산화탄소의 2,000년 이후 배출억제 목표를 1990년 수준(1인당 2.57톤/년)으로 하였다. UNCED 기간중에 155개국이 서명하였으며(우리나라도 포함됨) '93년 8월 현재 서명국 수는 166개국이고 31개국이 비준하였다.

3) 생물다양성 조약의 서명

· '92년 5월의 제 7회 교섭회의에서 생물다양성의 보전, 생물다양성 요소의 지속적 이용, 유전자원의 이용에서 생기는 이익을 균등 배분하는 것을 주요내용으로 하는 국제조약을 채택, UNCED기간중에 157개국이 서명하였다.

4) 삼림에 관한 원칙성명의 채택

· 국가의 개발필요성 및 경제성장 레벨에 따라 삼림을 이용하는 최적적 권리를 인정함과 함께 삼림의 다양한 기능(생물다양성의 유지, 에너지원, 탄소의 저장 등)의 유지 및 지속적 경영의 강화, 삼림정책의 본연의 자세, 국제법규, 다국간의 합의에 기초를 둔 임산물 무역, 개방되고 자유로운 무역의 촉진, 세계의 녹화, 국제협력 등에 대해 규정하였다.

5) Agenda 21의 채택

· 환경과 개발에 관한 리오선언의 제원칙을 실시하기 위한 행동프로그램으로서 환경·개발의 양면에 걸친 4분야(사회·경제적인 측면, 개발자원의 보호

와 관리, 여성을 비롯한 각 주체역할의 본연의 자세, 실시수단)의 40항목에 대해 폭넓게 각국 행동의 본연의 자세를 정리했다.

그리고 지구온난화 방지를 위하여 일본이 제시한 지구재생 계획을 살펴보면, 산업혁명 이후 200년에 걸쳐 변화한 지구를 금후 수십년에 걸쳐 재생할 것을 목적으로 환경·에너지 기술을 개발 도상국에 이전하고 세계각국이 협조해서 온실효과를 가져오는 가스배출억제·삭감을 위한 종합적이고도 장기적인 행동을 추진할 것을 「지구재생계획」으로 Summit 등에서 국제적으로 제창하였으며 구체적인 내용은 다음과 같다.

① 세계적인 에너지절약의 추진

· 1990년 착수·효과발현~2,000년 전세계 효과 파급

— 계몽보급에 의한 전세계적인 에너지절약 의식의 고양

— 민생·운수·산업 각분야 및 시스템을 활용한 종합적인 에너지절약정책의 촉진

② Clean에너지(신·재생가능 에너지, 원자력 등)의 대폭적인 도입

· 1990년 착수~2,000년 전세계 효과 파급

— 태양광발전, 연료전지 등 신·재생가능 에너지의 기술개발 도입

③ 혁신적인 환경기술의 개발

· 1990년 착수~2,010년 전세계 효과 파급 개시

— 환경조화형 생산기술(CO₂ 고정화·유효이용 기술, 제3세대 프레온, 생분해성 플라스틱의 개발, 환경조화형 생산 프로세스 기술)

— 발본적 에너지이용 효율향상 기술(상온 초전도 이용 기술 등)

④ 이산화탄소 흡수원의 확대

· 1990년 착수~2020년 전세계 효과 파급 개시

— 식수·삼림보전(아마존강 유역, 동남아시아, 중앙아프리카 등에서의 식수)

— 해양의 이산화탄소 고정능력의 강화

— 사막녹화

⑤ 차세대 혁신적 에너지기술의 개발

· 1990년 착수~2030년 전세계 효과 발현 개시

— 우주태양 발전기술의 개발

— 핵융합 발전기술의 개발

3. 현장기술 답사

셋째날에는 Technical tour로서 오전 9시 20분에 동경역 광장에서 약 60여명이 집결하여 관광버스로 첫번째 견학장소인 Toyosu(豊洲)센터 빌딩에 도착하였다. 건물은 '92년 10월 27일 준공된 것으로 건물높이 165m, 연면적 30,000평인 High level 인텔리전트 고층빌딩(지하 2층, 지상 37층, 옥탑 1층)으로서 지하 2층에 열병합발전 시스템을 비롯한 열원설비가 설치되어 있었으며, 설비의 주요 특징을 살펴보면 최신 기술을 구사한 1,000kW비등냉각형 가스엔진 열병합발전 시스템이 도입되어 있었다. 엔진의 배열회수는 실린더자켓 냉각수 계통에서 저압증기(1kg/cm²G)상태로 회수한 것과 배가스 보일러에서 발생한 고압증기(8kg/cm²G)상태로 회수한 것을 공조용 열원으로 사용하고 있으며, 배가스의 질소산화물(NOx)농도는 NOx Converter(3원촉매 방식)에 의하여 200ppm이하로 낮추고 있다. 또한 에너지관리시스템(EMS)에 의하여 정상운전 중의 제 특성(각부온도, 압력 등)의 표시 및 기록과 이상발생시의 경보표시, 기타 각종 계산·해석 등에 의하여 가스엔진의 공연비(空燃比)나 점화시기 등을 상시최적의 상태로 제어되고 있었다.

두번째 견학장소인 Meguro gajoen(目黒雅緻園)은 숲으로 둘러싸여 조용한 가운데 반세기 이상의 역사와 전통을 자랑하는 곳으로 지난 3년간의 개축공사끝에 '91년 10월에 준공되어 새롭게 오픈된 이 건축물은 Office동과 Banguet(연회)동으로 나뉘어져 있으며, Office동(지하 3층, 지상 19층, 옥탑 2층)은 연면적 28,000평으로서 인텔리전트 기능을 갖춘 사무실용 건물이고 Banguet동(지하 2층, 지상 8층, 옥탑 1층)은 연면적 12,000평으로서 호텔(객실수:61실)과 연회장(24개소) 및 결혼식장이 있다.

이곳에 도입된 열병합발전 시스템은 생(省)·지, 경제성, Clean성 등 많은 특징을 가진 설비로서 200kW가스엔진 2기와 연료전지(Fuel Cell) 1기로 구성되어 있었다. 설비는 소규모이지만 가스엔진의 자켓 및 배가스로부터 배열을 회수하여 온수는 난방·급탕 뿐만 아니라 온수흡수냉동기에 의하여 냉방에 이용되고 있으며, 연료전지는 동경가스(주)에서 신뢰성시험(Field test)용으로 설치된 것으로 배열(60℃ 온수)은 급탕에 열원으로 연중 계속사용 할 수 있

도록 되어 있었다.

이어서 세번째 견학장소인 동경가스 에너지기술 연구소를 방문하였다. 이 연구소는 50여명의 연구원들이 지구환경을 오염시키지 않고 차세대를 연결하는 에너지로서 기대되고 있는 천연가스의 연료기술, 전열(傳熱)·유체기술, 열병합발전 기술, 공조기술 등의 연구를 수행하고 있으며 열병합발전 기술의 연구로서는 가스엔진과 가스터빈에 의하여 더 높은 효율향상과 배가스의 Clean화를 목표로 고부하 연소기술 등의 개발, 차세대 열병합발전 시스템으로서 기대되고 있는 연료전지에 대해서 기초 및 운전연구를 수행하고 있었다.

현재 진행중인 Reid프로젝트로서 3원촉매장치, 2중효용관 냉온수기, 가스엔진의 녹킹(Noking)발생 방지, 가스터빈의 저NOx기기, 연료전지 개발 등이 있으며 3원촉매장치에 대한 연구는 공해방지를 위하여 질소산화물을 감소시키는 장치로서 현재는 세라믹을 사용하고 있으나 더욱 성능이 좋은 메탈허니컴(Metal honeycam)의 개발을 추진중에 있다. 2중효용관 냉온수기는 지구의 오존층을 파괴시키는 프레온가스를 사용하는 터보식 냉동기를 대체함으로써 환경보존에 기여하고 있으나 효율이 터보식 냉동기에 비하여 낮으므로 효율을 높이기 위한 연구를 계속하고 있으며, 가스엔진의 녹킹발생 방지를 위하여 피스톤 상부구조를 변형시키는 연구와 가스터빈에서 발생하는 Thermal NOx를 줄이기 위하여 희박(稀薄)연소방법 등을 연구하고 있었다. 연료전지에 대한 연구는 1972년 부터 미국 Target 계획에 참여하여 운전연구를 시작할 것을 비롯하여 그후 20년간에 걸쳐서 국내외 제작메이커와 연료전지를 공동개발(50kW/100kW/1,000kW/5,000kW) 하였으며, 신뢰성 시험(Field test)을 5년간에 걸쳐서 40,000시간을 목표로 여러곳에서 실시중에 있다. 연구소내에도 연료전지가 200kW(1,908시간 운전)×2대, 100kW(4,360시간)×2대, 50kW(6,553시간)×3대가 운전상태에서 각종시험을 받고 있었다. 현재는 연료전지를 이용하기에는 초기 투자비(3,000\$/kW)가 높기 때문에 시설투자에는 경제성이 없으므로 향후 연료전지의 설비비 저감에 크게 기대되고 있다. 그리하여 '97년도까지 설치비 50%감소(1,500\$/kW), 사이즈 30%감소를 목표로 기술개발 연구를 계속하고 있다고 하였다.

B) 전력계통

자가발전으로서 13,000kW인 증기터빈과 1,600kW인 복수터빈 외에 디젤발전기 5,000kW×5대를 합하여 39,000kW의 발전능력을 가지고 있다. 즉 공장 전력 사용량은 36,000~42,000kW로서 자가발전과 관서전력으로부터의 수전전력과 병렬운전하여 공장으로 전력을 공급하고 있다. 또 디젤발전에서는 배열을 회수하여 증기는 공장 프로세스용으로 이용하고, 온수는 보일러의 급수예열에 이용하고 있다.

2) 열병합발전 시스템의 도입경위

- '78년 2월 5,000kW(1호기)
- 5,000kW(2호기)
- '88년 4월 5,000kW(3호기)
- '90년 3월 5,000kW(4호기)
- '91년 2월 5,000kW(5호기)

를 설치하여 가동하고 있다.

A) 수전 및 디젤발전 비용비교

수전은 시간대별 조정계약으로 되어 표 1과 같은 요금체제로 되어 있다.

<표 1> 관서 전력 수전요금 단가

구 분	년간 시간(Hr)	단가(엔/kWh)
첨두 시간대	219	19.39
주간	3,260	12.91
경부하	294	9.04
야간	2,460	5.16
심야	2,280	4.27
최저 부하일	240	3.25
기본요금	18,000엔/ kW·년	

<표 2> 디젤 발전 단가

중유 가격(엔/kl)	발전단가(엔/kWh)
22,000	5.06
25,000	5.75
30,000	6.92
35,000	8.08
* 연료비 · 소모품비 · 증기회수비 계상	

디젤발전단가는 표 2와 같다. 여기서 단가를 비교해 보면 첨두시간 · 주간시간 · 경부하시간에서는 디젤발전 단가쪽이 싸지만, 야간 · 심야시간에서는 수전쪽이 싸다. 이 때문에 디젤발전은 주간 등의 시간만 운전하게 되어 연간 운전시간은 약 3,800시간 정도이다.

B) 채산성의 검토

이상과 같이 연간경비의 절감액을 산출하여 설비비와 비교를 하였다. 특히 중유가격은 환율이나 원유가격 등에 의하여 변동하기때문에 중유가격을 상정하여 검토할 필요가 있다. 여기에 금리 8%로 보고 3년 이내에 투자비회수가 가능하다고 판단하였기 때문에 디젤발전 설비를 도입하기로 하였다. 채산성의 검토사항은 다음과 같다.

(1) 연간경비 절감액

① 전력요금 절감액

- 기본요금
- 종량요금

② 발전비용 증가액

- 연료비
- 유회유비
- 탈초비
- 증기회수비(절감액)
- 수선비

(2) 설비비

① 디젤발전기 설비비

- 기초 건물비
- 전기 공사비
- 탈초 설비비
- 철구조물 공사비

C) 공해방지 대책

디젤발전기 설치에 따른 환경공해 대책은 정부의 법규제 이외에 지역과의 공해방지 협정이 있어서 이것에 만족하도록 대책을 수립하였다.

(1) 황산화물(SOx)

대기오염 방지법에서는 K치 규제 그리고 지역과의 협정으로 연료중의 유황분을 0.3%이하로 하였다.

(2) 매연

대기오염 방지법에서는 100mg/Nm³이하로서, 엔진본체에서 나오는 매기가스는 이보다 충분히 낮은 값이다.

(3) 질소산화물(NOx)

대기오염 방지법에서는 950 μ m이하로 되어 있지만, 지역과의 협정에따라 탈초장치를 설치하여 130 μ m이하로 되도록 설계하였다. 상세한 내용은 나중에 서술한다.

(4) 소음대책

환기팬이나 공기압축기 등 소음방지법에 의한 규

제도 있지만, 부지경계선까지의 거리 약 80m로서 건물의 벽을 ALC판에 의한 차음구조로 하였다.

3) 디젤발전 설비

본 설비의 특징으로는

① 1·2호기는 S사의 라이선스를 기본으로 한 5,000kW엔진으로서 회전수 514RPM이고, 이에 비하여 4·5호기는 N사의 엔진으로서 5,000kW에 회전수는 720RPM이다. 회전수가 높은 기종을 선정한 이유는 엔진과 발전기 모두 콤팩트하게 되어 경량이고 가격이 저렴해진다.

② 이 엔진은 통상 월~토요일의 08:00~22:00까지 운전하고 있어서 매일아침 기동하고 야간에 정지를 한다. 이때문에 기동·정지의 동작을 Turning을 포함하여 자동적으로 행하도록 설계되어 있다. 이러한 조작은 전부 중앙제어실에서 하나의 스위치로 가능하며 데이터 로깅장치에 의하여 운전상황은 중앙제어실의 CRT에 표시되고 일보·월보의 데이터는 Print Out되도록 하였다.

③ 통상 엔진운전시에는 수전과 병렬운전으로 되지만, 수전측이 정전 또는 순간정전시에는 자동적으로 단독운전이 된다. 또 수전에 정전등이 예상될 때에는 수동조작에 의하여 단독운전으로 절제한다. 이것은 수전전원의 불안정에 의하여 공장생산의 손실을 자가발전에 의하여 커버할 수 있는 것으로 이 의미는 대단히 큰 것이다.

④ 발전의 출력제어로서는 다음 2가지 제어를 행하고 있다.

- i) 발전전력 일정제어
- ii) 수전전력 일정제어

4) 배열 회수

엔진 배가스라인에 보일러를 설치하여 10kg/cm²G 압력의 증기를 취출하고 있다. 이 보일러의 특징으로는

① 증기압력을 10kg/cm²G로 높게하여 증기터빈 추기라인과 접속하고 있다. 증기터빈의 추기량을 줄이고 배기량을 늘리는 것에 의하여 발전량을 높일 수 있게 된다.

② 이 보일러의 열교환부는 Fine type/Pin튜브를 채용하고 있다. 이것에 의하여 배가스 중의 매연이 부착되지 않고 부식에 강하게되어 긴수명을 유지할 수 있다.

③ 보통은 고압증기에 의하여 정기적으로 매연정

소(Soot Blowing)를 하고 있지만, 이 보일러는 기동전에 온수 스프레에 의하여 매연을 제거하는 것으로 1주일에 1회정도 실시하고 있다.

5) 배가스 처리설비

디젤발전 설비의 배가스상태는 다음과 같다.

SOx : 17~46ppm이하(S=0.1~0.3%)

NOx : 엔진출구 950ppm이하

탈초출구 130ppm이하

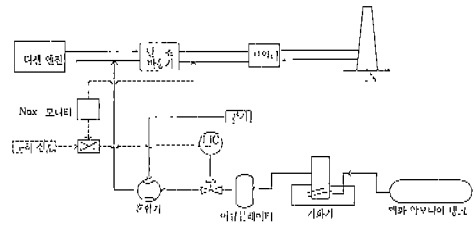
매연 : 60~80mg/Nm³

온도 : 엔진출구 360°C

배열보일러출구 220°C

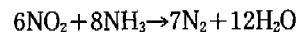
배가스량 : 32,000Nm³/h

탈초장치의 제동도는 그림 3과 같으며, 엔진배가스는 탈초반응탑 입구연도에 있어서 배가스 중의 질소산화물에 대응하는 암모니아가스를 주입하여 균일하게 혼합시킨후 탈초반응탑으로 보내게 된다.



<그림 3> 매연 탈초 장치 계동도

탈초반응탑내에 충전된 촉매층 중에서 배가스에 포함된 질소산화물은 암모니아가스와 화학반응하여 무해한 질소와 수증기로 분해된다. 대표식으로는



이다. 촉매는 판상으로 되어 있어 배가스는 촉매와 병행으로 흐르게 되어 매연이 적게 쌓이는 구조로 되어 있다. 또 반응에 있어서는 350°C 이상의 온도로 하면 높은 탈초율이 얻어진다. 본 설비에서는 탈초율이 86%이다. 본 공장에서는 디젤용 탈초설비로 10년이상의 가동실적을 가지고 있다.

6) 운전 실적

A) 고장 실적

초가에는 몇가지의 트러블이 발생하였으나 약 3개월 이후는 안정한 운전을 계속하고 있다. 트러블의 주원인으로는 가스누설, 누수, 누유에 의한 것으로

긴급보수를 요하는 것이 아니어서 휴지시킬 수 있는 토·일요일에 수리하였다.

B) 운전감시 및 일상점검작업

매일의 기동정지는 중앙제어실의 스위치 조작으로 하고, 감시작업도 중앙제어실에서 가능하다. 일상점검은 상주근무자 중 한 사람이 5,000kW×5대를 2~3시간/일 정도, 또 3교대 근무자가 순회점검으로서 조석으로 1회 30분정도 실시하고 있다.

C) 오버홀(Over Haul)작업

제작메이커의 점검기준은

B점검(3,000시간마다) : 연료변, 배기변의 점검

C점검(6,000시간마다) : 급배기 변동, 시린더헤드, 과급기, 공기냉각기점검

D점검(12,000시간마다) : 피스톤 개방점검 및 시린더헤드 등 점검

E점검(24,000시간마다) : 실린더 라이너 및 메인

축수, 피스톤 개방점검

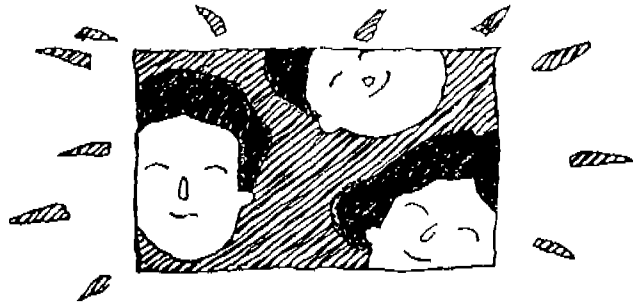
등으로 되어 있어, 당공장의 경우에는 C점검(소요일수 10일간)은 전력사용량이 적은 겨울철에 실시하기때문에 4,000시간마다 실시하고 있다. B점검(소요일수 2일간)은 토·일요일을 이용하여 실시하는 것으로 조정하고 있다.

7) 맺음말

최근에는 열병합발전 시스템 설치 수도 급증하고 있다. 에너지의 안정확보와 CO₂배출이 문제로되는 현실정에서 전력과 증기, 온수 등의 열에너지를 이용할 수 있는 열병합발전 시스템은 종합열효율이 60% 이상으로 높아져 대단히 유효한 생(省)에너지 대책이다. 앞으로 열병합발전 시스템 도입을 검토하는 분들에게 참고가 되었으면 한다.

<다음호에 계속……>

승용차 10부제 캠페인



승용차 10부제 운행이 생활화되면 -

얼굴이 밝아집니다.

출근길부터 짜증 또 짜증,
자동차가 많아서 그렇습니다.
승용차 10부제 운행이 생활화 될 때,
그만큼 운행속도가 빨라져 거리는 쾌적해지고,
사람들 얼굴은 밝아집니다.

월출에 한번이라도 차를 두고 다니면 연간 3,000억원, 1대당 1년
유지비 100,000원이 절약됩니다.