

소형 가스터빈에 의한 열전가변형 열병합발전시스템 개발현황

Small Gas Turbine Co-generation with Variable Heat and Power Ratios

- 본 자료는 일본 열병합발전센터 자료를
사무국에서 발췌·번역한 자료임. -

1. 서 언

일본뿐만 아니라 아시아를 중심으로 한 심각한 세계적 공황은 생산활동의 정체와 도시 인프라정비의 감속등 투자의욕을 대폭적으로 감퇴시키고 있다.

그러나 이와 같은 어려운 경제상황하에 있어서도 세계적인 환경보전 흐름에 대응하는 시책은 적극적으로 진행되어지고 있다. 특히 작년 동경에서 개최된 [COP3]에서 2012년까지 CO₂의 6% 삭감이 일본의 목표로 되고 이 목표를 실현하기 위하여 정부는 각 기업에 대하여 매년 1%의 에너지절약 의무화를 실시하기로 하였다.

이와 같은 배경에서 열병합발전은 에너지절약의 결정적인 수단으로, 그리고 지구온난화 방지기술의 핵으로서 금후 더욱 기대를 모아 가고 있는 것으로 생각된다. 그러나, 대도시권에 있어서 에너지수요는 전력화율의 상승을 받아 저열전비측으로 바뀌고 있어 종래의 단 순사이클에서는 잘 대응할 수 없는 경우가 늘고 있다.

열병합발전의 존재가치는 말할 것도 없이 그 종합효율의 높음에 있으며 급속히 보급이 진행되고있는 사업용화력의 ACC(Advanced Combined Cycle)화를 주시하면서 가능한한 열 이용을 도모하는 시스템을 구축하여 가지 않으면 안된다.

본고에서는 저열전비나 큰 부하변동에 유연하게 대응하도록 하므로써 높은 운용효율을 실현할 수 있으므로 현재 급속히 보급이 되고 있는 열전가변 시스템에 초점을 맞추어 소개한다.

표-1. 열병합발전 실적일람

원동기 종별		설치 건수		발전 용 량		1대당발전량
산업용	디젤엔진	564	53.2	1,265,245	39.7	2,243
	가스터빈	256	24.1	1,772,302	55.6	6,923
	가스엔진	241	22.7	147,942	4.6	614
	소 계	1,061	100.0	3,185,489	100.0	3,002
민생용	디젤엔진	777	50.8	388,707	50.9	500
	가스터빈	48	3.1	156,720	20.5	3,265
	가스엔진	706	46.1	217,982	28.6	309
	소 계	1,531	100.0	763,409	100.0	499
합 계		2,592건		3,948,898kW		1,523kW

2. 신시장으로의 전개

열병합발전 시스템의 선정에 있어서 가장 중요한 선택기준의 하나가 “열전비”이다.

사무용 빌딩이나 병원, 호텔 등의 민생용 분야에서는 열부하는 공조·급탕용이 주가되며, 주야나 계절에 의한 수요변화가 크고 그 절대량도 산업용과 비교하면 그다지 크지는 않다. 따라서 열전비가 큰 증기터빈은 물론 가스터빈에서도 활용할 수 있는 경우는 적다. 그 때문에 통상은 저열전비인 소형왕복동 엔진의 복수대수 설치에 낙착되고 만다.

한편 산업용 분야에서는 종래부터 배압형 증기터빈이 열병합발전의 형식으로 이용되어 왔으나 가스터빈의 성능과 신뢰성이 향상된 소화60년경부터 비교적 소규모인 에너지 소비 기업에 있어서도 열병합발전으로 많이 채용되게 되었다.

열병합발전시장이 개설된지 약 10년, 겨우 성숙기를 맞이하고 있는 현재 그 성장신화에도

얼마간 비춰져 왔다. 이것은 경기의 저미도 물론 큰 요인이지만 에너지절약의 진전이나 산업구조의 변화에 의한 대열전비 수요의 감소, 전력화율의 상승에 의한 전력수요의 변동폭 증대등 에너지 소비구조의 변화가 진행되고 게다가 현재의 시스템이 잘 대응할 수 없다고 하는 기술적 제약도 큰 요인이다.

이와 같은 각양의 수요에 대하여 열병합발전을 적용하여 가려고 하면 열전비 가변기술이 중요한 아이템이 되고 있다. 예를 들면 인쇄, 자동차, 전기기기 그리고 반도체 등의 업종에서는 전력수요는 대단히 크고 안정되어 있으나 열에 대해서는 그 절대량 그것이 비교적 적고 계절, 주간, 야간에서의 변동이 현저하다. 그러나, 년간을 통하여 전력을 포함한 총에너지 수요량은 대도시권 밀착형의 산업으로서는 비교적 크기 때문에 자가발전의 욕구가 강하다.

이 경우, 발전코스트만에 착안하면 발전 효율이 높은 디젤발전의 도입도 고려될 수 있으나 환경에의 영향이나 에너지이용 효율의 관점에서 적당한 선택이라고는 할 수 없다.

기업의 Voluntary Plan의 실행이나 CO₂ 삭감을 위한 에너지절약 목표의 설정은 열병합발전 도입이 가장 중요한 Impact가 되며 그 의미에서도 저탄소연료, 저녹스기술 그리고 높은 종합효율은 불가결의 Key-Word이다.

근년 산업용 대형 가스터빈의 성능향상이 현저하며 사업용 화력의 [ACC]는 발전효율

54% (LHV)가 실현되고 있다. 21세기에는 57-60%에 육박할 것이다. 따라서 열병합발전이 그 국가적 의의를 완수하기 위해서는 배열의 고도이용이 장래에도 증가하여야 할 불가결의 요소이다.

이와같은 배경에서 기존기술의 조합에 의한 소형가스터빈 시스템의 열전가변이 평가되고 그 보급이 급속하게 진행되는 상황이 되었다.

3. 가스터빈의 고성능화와 열전가변

가스터빈용 주기로 한 시스템으로 열전가변을 하는데는 다음 3가지의 방법이 알려졌다.

- ① 복합사이클(C/C)
- ② 증기분사 가스터빈(STIG)
- ③ 재생 사이클

어느 것도 사이클이론적으로는 과거부터 알려지고 있는 수법이지만 충분한 성능이나 신뢰성을 기대할 수 없었다든지, 비용적으로 맞지 않았든지 하여 소형 가스터빈 분야에는 실용화가 되지 않았다.

그러나, 최근 가스터빈 기술의 비약적 향상에 따라 구미를 중심으로 상품화가 진행되어 일본에서도 제조업체가 신중하게 실용화에 대처하게 되었다.

열전가변 시스템에는 어느 방법에 있어서도 배열을 어떤 방법으로 전력으로 바꾸느냐 하는데 있지만 투자채산성을 양호하게 하기 위하여는 가스터빈의 기본성능이 높은 것이 필요불가결하다.

가스터빈의 고온화는 열효율을 결정하는 중요한 요소이지만 현재 최신예의 항공기 전용형이나 사업용 화력에서의 가스터빈에는 1,200~1,300℃급이 일반적으로 되고 있으며 현재 건설중인 발전소에는 1,500℃급의 것이 채용되기 시작하고 있다.

고온화는 가스터빈 효율개선뿐만 아니라 배가스 온도상승에 따라 Bottoming효율이 증가되며 대폭적인 종합효율 향상을 가져온다.

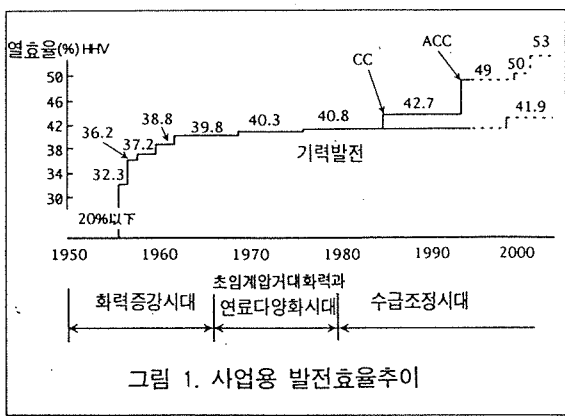


그림 1. 사업용 발전효율추이

10MW 이하의 소형가스터빈의 세계에서 최선단기술의 채용에 따라 이미 TIT는 1,100℃를 넘는 것이 나오고 있다. 대형기구와 같이 향후 더욱 고온화가 진행되어 성능향상이 도모되어 가리라고 생각되어진다.

그러나 여기에서 중요한 것은 산업용 가스터빈에 있어서는 저렴한 설비비와 보수비를 유지하면서 고성능화를 실현하여야 한다는데 있다.

특히 소형가스터빈의 경우는 사업용이나 항공기용과 같은 정도의 Scale-merit가 없고 게다가 경제성의 확립이 지상론제이기 때문에 대형기로부터의 기술이식에 있어서도 충분한 비용부담을 할 수 없는 경우가 많다.

이와 같이 각양의 제약조건을 추가한 위에 높은 성능을 실용화하기 위해서는 단순히 기술개발이나 제조관리뿐만 아니라 보수·운전까지 포함하는 운용상의 많은 Know-How가 축적되어지는 것이 필요하다.

3-1. 소형 복합사이클

고온역 작동 가스터빈과 저온역 작동의 증기터빈을 복합하여 카르노에 가깝게 한 것이 C/C이다. /C의 효율을 올리는데는 Bottoming층의 전력회수를 효과적으로 행하는 것이 중요하다. 보일러의 열회수율은 일반적으로 90% 정도이며 따라서 증기터빈이 Bottoming층의 성능을 좌우한다.

높은 증기압력·온도와 배기압력의 저하가 C/C 효율을 향상시키지만 소형 C/C의 경우는 여러 가지 제약조건이 있어 간단하게 최적설계를 할 수는 없다. 우선 복수의 냉각에 해수이용은 물리적·비용적으로 곤란하며 지역에 따라서는 냉각수 그 자체의 확보가 어려운 곳도 있다.

소형가스터빈의 많은 것은 IGV(입구안내익)를 갖추지 않은 것이 많기 때문에 기온변화나 부하변화에 대응하는 배가스 온도제어를 할 수 없다.

따라서 동절기의 흡기온도나 운용부하에 따라 증기조건이 제약받게 된다.

표-2. 열전가변시스템의 일본 국내실적

No	수요가	가동일자	GT기종	비고
1	비철	1996년 6월	501KH5	증기주입
2	기계	1996년 7월	501KH5	"
3	철강	1996년 7월	501KH5	"
4	자동차	1996년12월	501KH5	"
5	화학	1997년 4월	501KH5	"
6	자동차	1997년 4월	M7A-01	"
7	전기	1997년 6월	501KH5	"
8	전기	1997년 6월	501KH5	"
9	전기	1997년 6월	501KH5	"
10	자동차	1997년 9월	501KH5	"
11	자동차	1997년11월	501KH5	"
12	전기	1997년12월	M7A-01	소형컴바인드
13	전기	1998년 2월	501KH5	증기주입
14	전기	1998년 2월	501KH5	"
15	전기	1998년 2월	501KH5	"
16	자동차	1998년 2월	501KH5	"
17	불명	1998년 2월	M7A-01	소형컴바인드
18	화학	1998년 4월	501KH5	증기주입
19	화학	1998년 4월	501KH5	"
20	자동차	1998년 6월	M7A-01	"
21	자동차	1998년 7월	501KH5	"
22	자동차	1998년 7월	501KH5	"
23	화학	1998년 7월	501KH5	"
24	화학	1998년 8월	501KH5	"
25	자동차	1998년 9월	501KH5	"
26	철강	1998년 9월	501KH5	"
27	철강	1998년 9월	501KH5	"
28	전기	1998년 9월	M7A-01	"
29	전기	1998년 9월	M7A-01	"
30	전기	1998년 9월	M7A-01	"
31	전기	1998년 9월	M7A-01	"
32	재개발	1999년 2월	M7A-01	소형컴바인드
33	재개발	1999년 2월	M7A-01	"

최신 소형가스터빈을 사용한 C/C 시스템의 검토 예를 나타내었다. 여기에는 비용이나 신뢰성 그리고 C/C를 필요로 하는 공장규모부터 고려하여 10MW급 이하의 시스템을 검토하였다. 따라서 가스터빈은 4-7MW급의 것부터 선정하였다.

발전효율은 전 전력 모-드에서 40%를 넘고 단순사이클에서 운전한 경우는 30%, 종합효율에서 70% 이상이 된다. 재가열 버-너를 설치하므로써 종합효율 80% 이상이 가능하며 동절기의 난방수요시의 운전에 대응하므로써 연간 평균효율 개선이 가능하다. 몇개의 실제 시뮬레이션에서도 60~70%의 연간 효율이 달성되었다. 또한 열전가변성도 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 공정증기를 0%에서 100%까지

자유롭게 조절이 가능하고 부하변동이 많은 공정에도 대응할수 있다.

3-2. 증기분사 출력 증강형 가스터빈

일본의 가스터빈 시장에서 지금 가장 주목 받고 있는 것은 증기분사에 의한 출력향상형 시스템으로 제일 유명한 것이 “챙 사이클”이다. 1978년 미국 “산노제” 대학의 쳡교수에 의하여 고안된 시스템으로 종래의 de-Nox용이

표-3. 10MW 복합사이클 사양

원동기메이커		Solar	AGT	가와사키중공업
가스터빈 기종		Taurus70S	Tempest	M7A-02
패키지		니이가다철공소 미쯔이조센	타쿠마 히닷치제작소	가와사키중공업
플레트성능 발전최대시	발전단출력[kW]	8,520	10,120	8,900
	연료가스량[m ³ N/h]	1,810	2,207	1,880
	증기발생량[t/h]	0.0	0.0	0.0
	발전단효율[%]	40.7%	39.7%	41.0%
	열회수율[%]	0.0%	0.0%	0.0%
	종합효율[%]	40.7%	39.7%	41.0%
플레트성능 송기최대시	발전단출력[kW]	6,570	7,420	6,500
	연료가스량[m ³ N/h]	1,810	2,207	1,880
	증기발생량[t/h]	13.1	18.7	14.8
	발전단효율[%]	31.4%	29.1%	29.9%
	열회수율[%]	43.9%	51.3%	47.7%
	종합효율[%]	75.3%	80.4%	77.6%
가스터빈	TIT[°C]	1,160	1,130	1,160
	압력비	16.0	14.0	15.9
	연소기	환식	다관환식	다관환식
	압축기	축류14단	축류10단	축류11단
	터빈	축류 4단	축류 2단	축류 4단
	탈초방식	저 Nox연소기	좌동	좌동
	증기/수분사량[kg/h]	없음	없음	없음
	배출Nox량(16%O ₂ 환산)	20ppm이하	20ppm이하	20ppm이하
	회전수[rpm]	15,200	13,907	13,790
	배기가스량[m ³ N/h]	74,050	82,300	74,060
	배기가스온도[°C]	488	559	516
	형식	산업용경구조	좌동	좌동
	개발년도	1994	1995	1998
	실적[내정포함]	35	15	4
증기터빈	발전단출력[kW]	1,950	2,700	2,400
	주증기압력[ata]	20	20	20
	주증기온도[°C]	350	345	400
배열보일러	복수기진공[mmHg]	606 공기복수기	631 좌동	650 좌동
	증기압력[ata]	20	21	19
	증기온도[°C]	350	350	395
유틸리티	급수온도[°C]	60	60	60
	소내보기전력[kW]	280	300	270

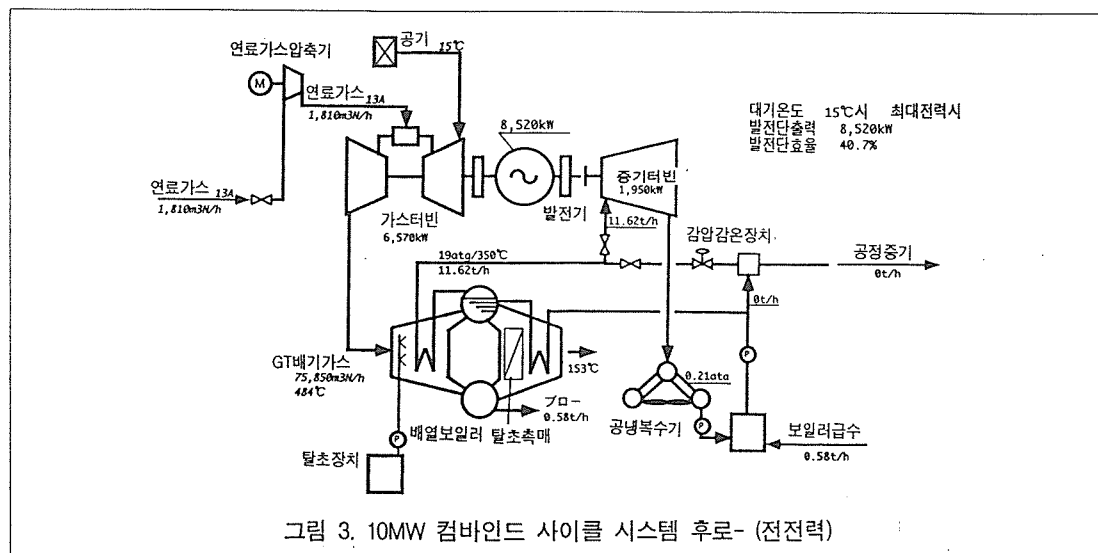
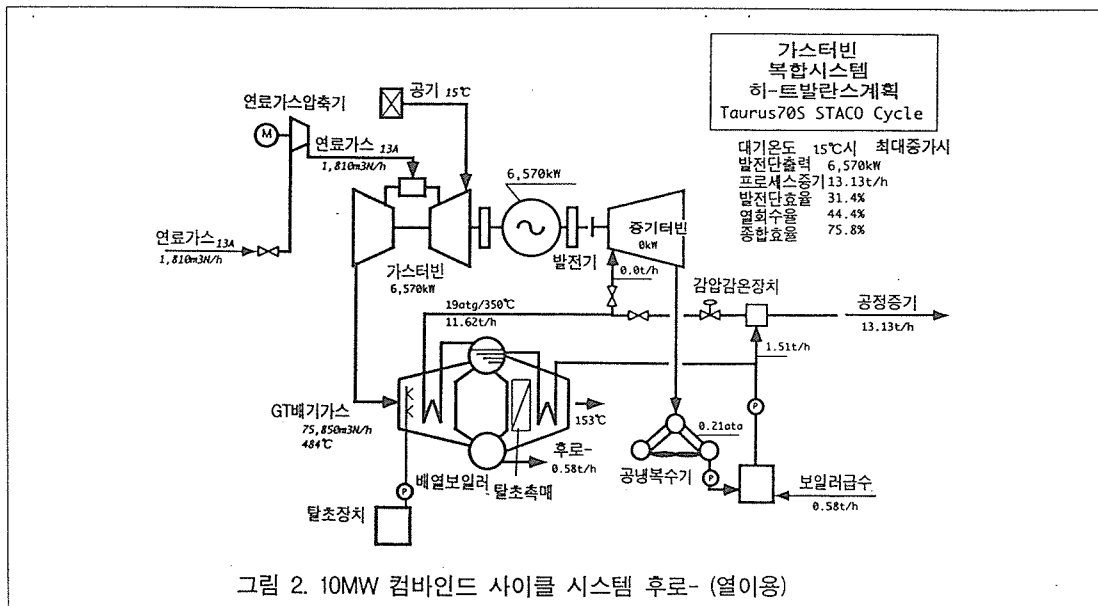
나 여름철의 특성개선 정도가 아니고 회수증기를 거의 전부 가스터빈에 환류시키므로서 Dry시 특성의 약 1.5배 정도까지 출력증강을 도모함과 동시에 발전효율의 비약적인 향상도 병행하여 실현하는 것이다.

가스터빈은 미국 Allison사제의 항공기 전용형이 많은 실적을 가지고 있으며 이급에서 세계 톱클래스의 성능을 가지고 있다. 본 시스템을 적용하는 경우 가스터빈에 요구되는 사양은 대량의 증기분사에 대응가능한 공기압축기 즉의 “서-지마-진”의 크기이다. 일반적으로 항

공기용 가스터빈은 고성능일뿐 아니라 산업용보다 큰 조건변화를 상정하여 설계하였기 때문에 필연적으로 큰 “서-지마-진”을 갖는다.

산업용 가스터빈을 적용하는 경우 정익의 Cutback나 IGV 제어가 필요하며 큰 효율향상은 기대할 수 없다.

이 시스템의 특징은 증기터빈을 불필요로 하는데 추가하여 C/C보다도 저압증기로 충분한 성능을 낼 수 있다는데 있다. 이 때문에 단순 사이클과 비교하여 그 정도의 큰 비용증가없이 시스템 전체에서도 약 1~2할 정도의 상승



으로 억제할 수 있다.

이 시스템이 일본에서 바로 이용되지 아니하였던 이유의 하나는 전기사업법의 보일러검사에 있었다. 규제완화에 따라 검사회수가 삭감되고 이것이 보일러 비용의 저감에 이어져 급속하게 주목을 끌게 되었다. "Allison 패키지"의 1개사인 IHI가 고안한 시스템은 [FLECS]라는 상품명으로 일본에서 기폭제적 역할을 하였으나 쟁교수의 고안과 달리 과열증기를 이용하지 않고 출력증가 효율향상을 실현하고 있다.

3-3. 재생사이클

가스터빈의 고압·고온화에 의한 성능향상은 동시에 큰 위험도 수반한다. 냉각기구의 고도화, 초내열재료의 채용 그리고 전반적인 제작정밀도의 향상과 얼라인먼트 정밀화등이 필요하고 어느것이나 비용충격(Impact)은 극히 높다. 그 때문에 중량경감과 출력의 향상이 무엇보다도 우선하는 항공기용의 경우와 달리 자동차용이나 선박용의 경우는 복잡성과 고가를 피하여 고효율화하는 방법으로 재생사이클을 채용하여 왔다.

재생사이클은 배가스 열회수의 1가지 방법으로 연소공기의 예열에 이용하는 것이다. 재생기는 가스대 가스열교환기이기 때문에 용적과 중량은 크고 약간의 저항증대에 의한 출력 감소도 수반되지만 열소비율은 대폭 삭감할 수 있다.

사이클적·구조적으로는 비교적 심플한 저압력비의 원심압축기에서 단관식의 연소기를 가진 소형가스터빈에 적용하기 쉽다.

이 사이클은 출력이변에는 되지 않지만 재생기의 바이패스나 배열보일러의 재가열에 의하여 증기발생량과 열효율을 가변으로 하는 것이 가능하다.

현재 개발중인 새로운 개념에 기초한 재생사이클 가스터빈으로는 일본에서는 ACT90의 성과를 받는 KHI와 대형 가스3사(동경, 오사카, 동방)에서 개발중인 650kW급 가스터빈의 효율향상용에 채용되어 있다. 또한 미국에서 금년부터 내년을 목표로 하여 상품화를 서두르고 있는 100kW이하의 마이크로 터빈은 일본에서도 대단한 주목을 모으고 있다. 이 제품은 규제완화나 유통기구가 정비되면 그 높은 효율뿐만 아니고 가격이나 핸드링에서 제2의 열병합발전이라고 불리어질 혁신적인 에너지 시스템이 될 가능성을 내포하고 있다.

이들 소형시스템의 선을 넘어 금년부터 실증실험에 들어가는 미국 솔라(solar)사의 Mercury 50을 소개한다. 이 시스템은 동사의 중견기종인 Centaur를 베이스로 재생기를 적용한 것으로 그림에 나타난 바와 같이 콤팩트한 설계로 되어있다. 재생기의 바이패스 제어는 할수 없으나 출력이 4,300kW로 약 40%의 발전효율과 우수한 성능이 예상되고 있다.

재생 사이클은 복잡하고 대형의 열교환기를 포함하는 플렌트용 시스템으로 되어있기 때문에 비용·설치면적 그리고 내구성(내열및 성능저하)등이 어디까지 실용적인 사양으로 제작되어질까 하는 것이 과제이다.

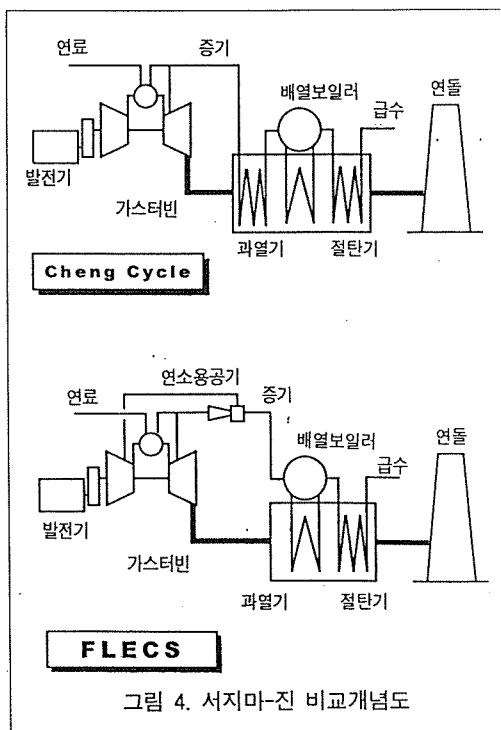


그림 4. 서지마-진 비교개념도

표-4. 증기분사형 가스터빈 · 시스템 비교

	Simple Cycle	Cheng Cycle	FLECS
형 식	501-KB5	501-KH5	501-KH5
출 력	4,190kW	6,090kW	6,290kW
TIT	1,057℃	1,000℃	1,016℃
증기분사량	-	9.8t/h	9.8t/h
증기압력/온도	-	17ata/483℃	18ata/208℃
발전효율	26.2%	38.6%	36.1%
특 징	항공기전용형의 중(中)형 가스터빈으로 세계에서 가장 성공하고 있는 기종. 일본의 열병합발전용으로 20대 이상 실적 있음.	증기분사에 의한 출력 증양방식은 가장 실적이 많음. 과열증기를 이용 발전 효율도 복합발전과 같다.	HI가 새롭게 제안하고 있는 증기분사방식 압축공기의 일부를 추가하여 포화증기와 혼합하여 건증기 터빈에 분사하여 출력증강 도모.

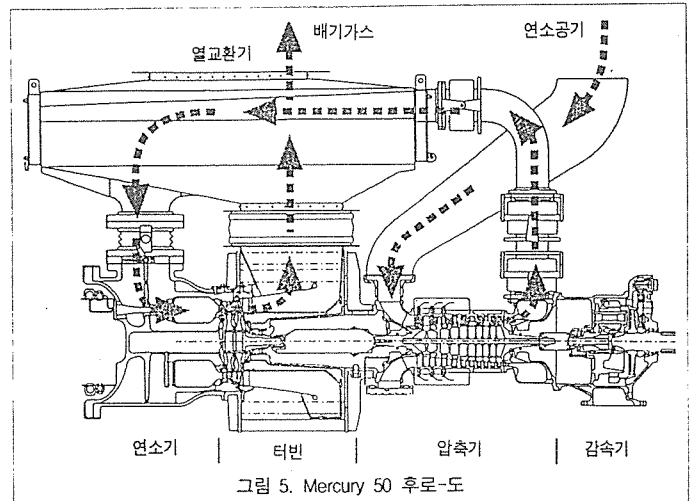
5. 결 언

사업용 C/C의 발전효율에는 비교할 것도 없지만 보다 많은 수요에 대응하기 위한 높은 종합효율을 실현하는 열전가변기술이 불가결의 요소로 크로즈업되고 있다. 가스터빈 단체의 성능향상에 대하여는 제작자의 노력을 기대하지만 그것은 위험과의 흥정(Cutback)이며 단기에 실현가능한 기존의 기술조합에 의한 본 시스템에 기대하는 바가 크다.

열병합발전의 새로운 전개로서 가스터빈의 고효율화와 열전가변기술은 한층 주목을 받고 있다고 생각하지만 가동실적의 평가는 지금부터이다. 지금의 초기적인 트러블은 꽤 많다고 보고되고 있으며 그 대책은 실시되고 있으나 신중하게 결과의 해석을 하고 있으며 기술의 축적을 도모해 가야 한다.

금후는 해외의 우수하고 저렴한 제품을 입수할 뿐만 아니라 세계중에 전개되고 있는 유지·정비센타와 보수시스템도 신뢰성·경제성 양면에서 적극적으로 평가하고 규제완화의 진보에 맞추어 도입을 진행할 필요가 있을 것이다.

어떻든 소형 가스터빈의 세계는 발전성을 내포한 희망있는 분야이다.



회원사 동정

The State of Major Affairs in Membership Companies

1. 회원사 대표 변경

정부의 인사명령에 따라 한국지역난방공사의 김태곤 사장이 임기만료로 퇴임하시고 그

후임으로 특허청 차장으로 근무하시던 김영철 사장께서 99. 6. 8 제5대 사장으로 취임하셨다.

신임사장께서는 1972년 제12회 행정고시를 수석합격, 농수산부, 상공부, 대통령비서실 등