

글 ■ 오시 덕 / (주)효성 중공업연구소 기반기술응용팀, 팀장
e-mail ■ ohsdk@hyosung.com

이 글에서는 분산 발전 기술 중에서 경제성 확보의 측면에서 가장 유리하다고 하는 열병합발전(Cogeneration) 기술에 대해 소개하고자 한다.

최근에 법제계적으로 환경규제의 강화, 에너지 산업의 민영화 등 에너지 산업 환경의 급변과 함께 환경 친화성 및 에너지 절약성이 우수한 열병합 발전 시스템 도입의 필요성이 재인식되고 있다. 열병합 발전(Cogeneration) 기술은 하나의 에너지원으로부터 전력과 열을 동시에 발생시키는 종합에너지 시스템으로 발전에 수반하여 발생하는 배열을 회수하여 이용하므로 에너지의 종합 열이용 효율을 높일 수 있다는 장점 때문에 특히 산업체, 민생용 건축물 등의 전력 및 열원으로써 주목받고 있다. 즉 열병합 발전 시스템은 산업체, 건축물 등에서 필요한 열, 전기에너지를 보일러 가동 및 상용 전력에 의존하지 않고 자체 발전시설을 이용하여 일차적으로 전력을 생산한 후 배출되는 열을 회수하여 이용하므로 기존의 발전방식 보다 30~40%의 에너지절약 효과를 거둘 수 있고, 특히 최근 지식 집약적 산업의 확대 및 고도정보화 사회로의 진전 등에 따라 에너지원으로써 고품질의 전력이 점유하는 비율이 점차 높아지면서 분산 발전의 하나로 각광받고 있는 기술이다.

열병합발전의 구성요소

열병합 발전 기술은 연료를 공급받아 원동기에서 연소하고, 열에너지로부터 얻어지는

회전력을 이용하여 발전기에서 전기를 생산하고, 발전하는 과정에서 필연적으로 발생하는 배열을 회수하여 유효하게 이용하는 대표적인 고효율 에너지기술이다. 열병합 발전 기술은 크게 엔진, 가스터빈 등의 원동기, 원동기의 회전력을 이용하여 전기를 생산하는 발전기, 발전기에서 생산한 전기를 상용 계통선로에 연계하거나 수요처에 공급하기 위한 차단기, 단로기, 보호 장치 및 배전반, 원동기로부터 폐기되는 열을 유효하게 회수하여 사용하기 위한 폐열회수 보일러 및 열교환기, 연료를 공급하기 위한 연료 탱크를 포함하는 연료공급장치, 기타 열병합 발전기의 합리적, 효율적인 운전을 위한 윤활유 탱크, 냉각탑, 공해방지기기 및 원격제어장치 등으로 구성될 수 있다.

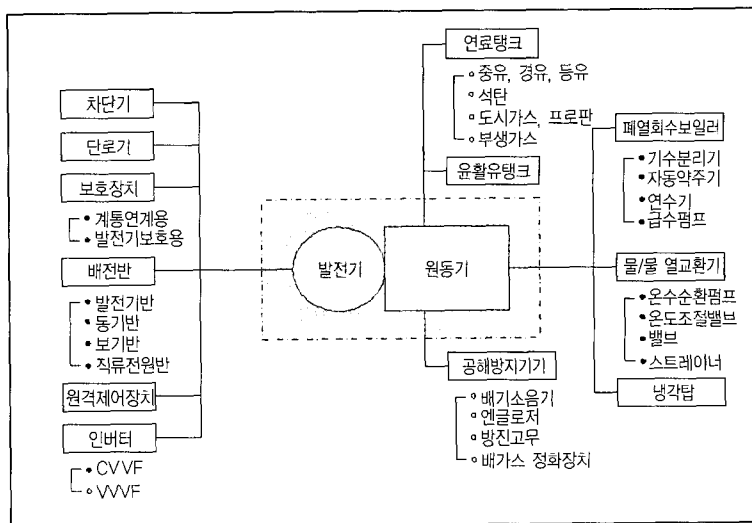


그림 1 열병합발전의 구성기기

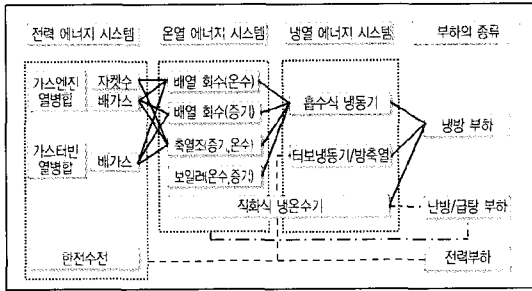


그림 2 열병합 발전을 포함한 에너지 시스템의 연계 예

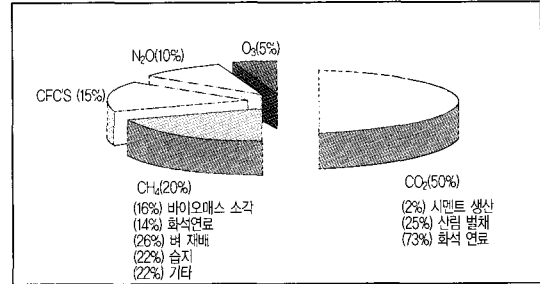


그림 3 온실가스별 지구온난화 기여도

각각의 구성기기의 다양한 특성을 가지고 있으므로 수요처의 특성에 적합하게 조합하여 구성하게 된다.

열병합 발전을 도입하는 수요처의 전기에너지는 열병합 발전에서 발전하는 전력을 이용하고 부족분은 상용 계통 선로로부터 수전하며, 열에너지는 열병합 발전에서 회수되는 열을 이용하고 부족분은 열 저장조의 열에너지 또는 보조 보일러를 가동하여 공급받고, 냉열의 경우에는 열병합 발전에서 공급되는 온열 에너지를 이용하는 흡수식 냉동기 또는 열병합 발전에서 공급되는 전기 에너지를 이용하는 터보 냉동기를 가동하여 냉열을 공급할 수 있다. 에너지 공급의 유연성 및 경제성 확보를 위하여 수요처의 특성에 따라서 흡수식 냉동기 및 터보 냉동기를 적절하게 조

합하여 냉열을 공급할 수도 있고, 직화식 냉온수기를 설치하여 하나의 에너지 기기로 필요에 따라 온열 또는 냉열을 교대로 공급하도록 에너지 시스템을 구축할 수도 있다.

기후변화 대응을 위한 온실가스 감축 기술개발 방향

세계적으로 온실가스가 지구 온난화에 미치는 기여도는 CO₂, CH₄, CFC'S 등의 순이고, 그중 CO₂가 50%로 가장 심각한 수준이다. 우리나라의 경우에는 CO₂가 97.7%, CH₄가 10.9%로 CO₂의 기여도가 세계 평균에 비하여 심각한 정도인 것으로 조사되고 있다. 따라서 우리나라에서 집중적으로 개발되어야 할 기후변화협약 대책기술은 CO₂의 발생량을 저감시키는 기술이어야 할 것

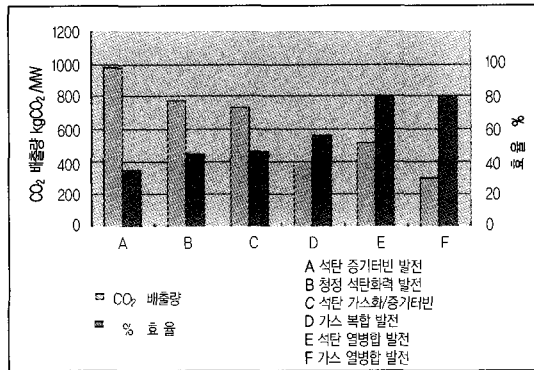


그림 4 기존의 발전 방식과 열병합발전 기술의 효율 및 환경친화성 비교

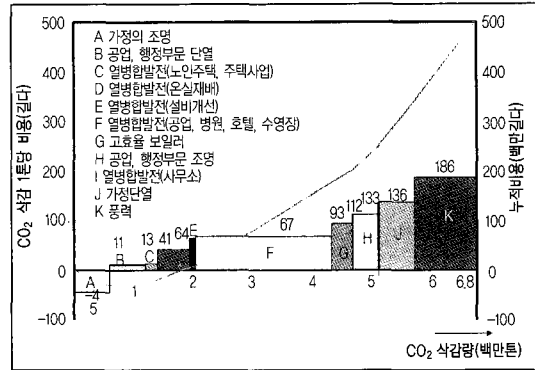


그림 5 CO₂ 삭감 수단별 비용

로 판단된다.

열병합 발전 방식은 기존의 발전 방식에 비하여 약 30~40% 정도의 이용 효율 향상을 기대할 수 있는 고효율 에너지 기술일 뿐만 아니라 지구 온난화에 가장 기여도가 높은 CO₂의 배출량을 획기적으로 줄일 수 있는 친환경기술이므로 우리나라에서 기후변화 대책기술로 적극적으로 개발되어야 할 기술이다.

유럽의 환경 단체가 CO₂ 삭감 잠재량 및 비용에 대한 분석을 통하여 열병합 발전 기술이 기후변화 협약 대책기술로서 가장 중요한 대안으로 인정되면서 대부분의 국가에서 열병합 발전 시스템의 보급에 박차를 가하고 있다. 따라서 CO₂가 지구온난화에 미치는 기여도가 상대적으로 높은 우리나라의 경우 열병합 발전 기술은 기후변화 협약 대책 기술로 중요하게 다루어져야 될 것으로 판단된다.

열병합 발전 기술의 경제성은 시스템의 가동률 및 부하율이 높은 상태에서 운전하여 연간 운전

비의 절감량으로 초기투자비를 얼마나 신속하게 회수하느냐에 달려 있다. 즉 열병합 발전의 경제성 유무를 결정하는 중요한 요소는 수요처의 전력부하, 열 부하의 특성과 수요처의 특성에 적합한 에너지 시스템의 조합 및 용량 최적화와 운전 전략이라고 할 수 있다. 대체로 열병합 발전의 경제성 확보에 적합한 수요처는 연간 안정한 전력부하, 열부하가 필요한 건물, 전력부하와 열부하의 시각별 수요패턴이 유사한 건물, 건물의 열전비가 비교적 높은 건물 또는 병원이나 컴퓨터 센터 등 전력 열 에너지원의 복수화가 필요한 곳, 초기투자 비용 및 공간의 제약으로 특별고압수전을 피하고자 하는 곳 등이다. 즉 연간 안정한 급탕 부하가 있는 호텔, 병원, 스포츠설비나 전력 열부하의 변동이 작고, 설비의 복수화가 필요한 컴퓨터 센터 등 열병합 발전 시스템을 도입하여 에너지원을 분산시키면 정전이나 설비의 고장이 발생하는 경우에도 전력과 열을 안정적으로 공급할 수 있기 때문에 시설 전체의 신뢰성이 향상된다는 장점을 살릴 수 있다.

수요처의 특성에 적합한 에너지 시스템의 조합 및 용량 최적화와 운전 전략은 수요처의 에너지 부하 패턴, 에너지 이용 형태 등을 포함한 수요처의 특성에 따라서 원동기의 종류, 배열 회수의 형태, 에너지 시스템의 연계 및 계통연계 특성을 고려하여 결정하게 된다. 이와 같은 연계 특성의 검토 시에 가장 중요한 요소는 원동기의 특성이라고 할 수 있다. 현재 열병합 발전용 원동기로 검토될 수 있는 기술로는 디젤 및 가스엔진, 마이크로 및 발전용 가스터빈, 인산형 연료전지

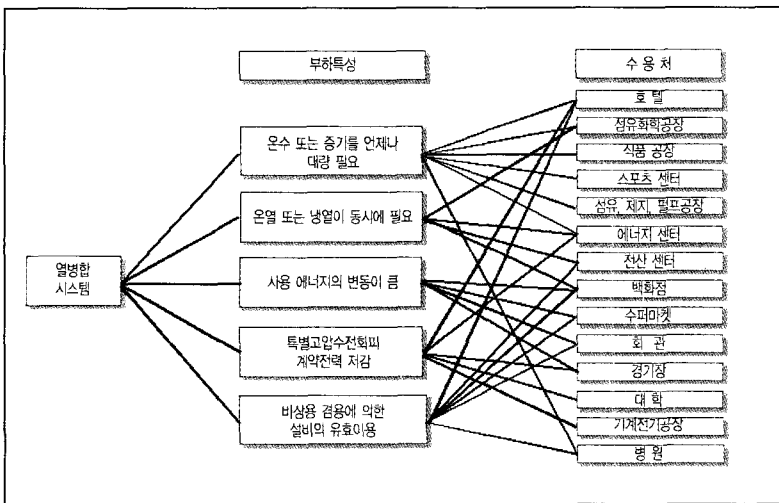


그림 6 열병합발전 기술 도입 가능성이 높은 수요처 및 부하 특성



표 1 열병합 발전용 원동기의 특성 비교

구 분	디젤 엔진	가스 엔진	가스 터빈	연료 전지	
적용규모	15~10,000kW	10~5,000kW	30~100,000kW	40~10,000kW	
발전효율	36~43%	28~42%	21~40%	35~54%	
종합효율	60~75%	65~80%	70~80%	60~80%	
연 료	등유, 경유, A종유	가스	등유, 경유, A종유, 가스	가스	
시동시간	10초 이내(비상용)	15초 이내	40초 이내(비상용)	4~5시간(인산형)	
배열온도	배가스 400~500°C 냉각수 70~80°C	배가스 350~700°C 냉각수 80~90°C	배가스 450~600°C	작동온도 250°C 이하(인산형) 온수 70~120°C	
가 격	발전기세트 (USD/kW)	125~300	250~600	300~600(일반) 500~700(마이크로)	1500~3000
	탠키 기준 (USD/kW)	350~500	600~1000	650~900(일반) 1000~1300(마이크로)	1900~3500
	열회수기 (USD/kW)	n.a	75~150	100~200(일반) 200~600(마이크로)	포함
유지보수비 (USD/MWh)	5~10	7~15	3~8(일반) 5~10(마이크로)	5~10	
CO ₂ 배출 (kg/MWh)	650	500~620	580~680(일반) 720(마이크로)	430~490	
NOx 배출 (kg/MWh)	10	0.2~1.0	0.3~0.5(일반) 0.1(마이크로)	0.005~0.01	
소음(dB)	110(저주파)	100(저주파)	110(고주파)	거의 없음	

등이 있다. 그러나 디젤엔진은 배출규제로 지역에 따라서 제약을 받고 있고, 마이크로 가스터빈과 연료전지는 친환경성은 우수하지만 설비비가 고가이고, 내구성이 비교 열위에 있다고 할 수 있다. 현재의 상태에서 환경규제가 강화되고 있는 현실을 감안할 때 소형은 가스엔진, 대형은 가스터빈이 바람직하고, 중형의 경우에는 가스엔진과 가스터빈이 경쟁하고 있음을 알 수 있다. 또한 현재 상용화 진입 단계에 있는 마이크로 가스터빈 또는 연료전지는 틈새시장에 한하여 도입이 되고 있으나 상용화가 완료되어 경쟁력을 확보하게 되는 경우 열병합 발전 기술 중의 강력한 대안으로 대두될 잠재 가능성은 크다.

현재 선진국을 중심으로 추진되고 있는 기술개

발 현황을 고려할 때 중 대형에서는 가스터빈, 중 소형에서는 가스엔진이 비교 우위에 있고, 초 소형에서는 가스엔진, 스팀 엔진, 연료전지 등이 경쟁을 할 것으로 예상되며, 최종적인 승자는 에너지 절약성, 친환경성, 전력품질, 경제성 등에 의하여 결정될 전망이다.

3. 열병합 발전 기술의 발전 동향

최근에 열병합 발전 기술은 급변하는 환경 하에서 어떻게 경제성을 지속적으로 유지할 수 있도록 할 것인가에 집중되고 있다고 할 수 있다. 즉 기존의 대형화, 집중화의 에너지 공급 및 이용에서 분산화, 경쟁을 통한 효율화로 패러다임

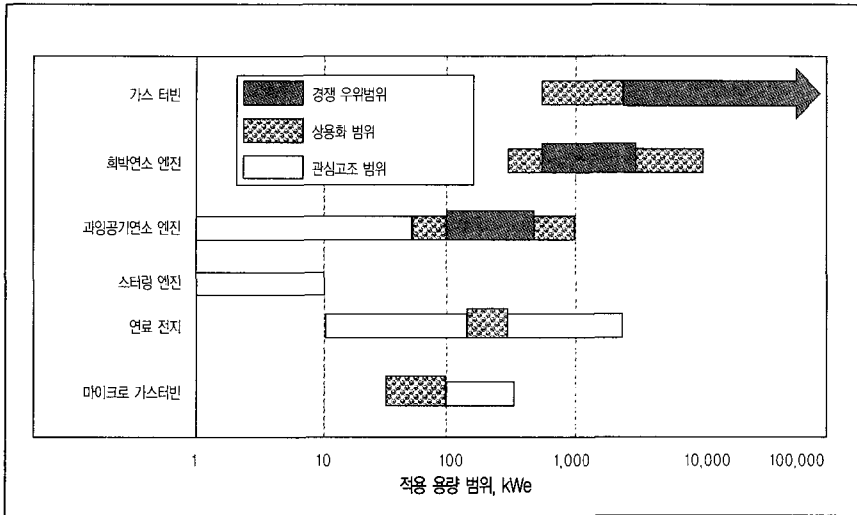


그림 7 원동기 종류, 용량별 상업화 및 경쟁관계

발전 기술에 미치는 민감도를 분석하고 열병합 발전의 기술 개발 및 보급의 효율화, 합리화를 위한 시도가 유럽의 열병합 발전 협회를 중심으로 한 선진국에서 진행되고 있다. 그 결과 용량에 따라서는 10kW급 이하의 초소형 및 10MW 이상의 대형의 경우 시장 환경의 변화에 따른 민감도가 적지만 최근에 분산 발

이 바뀌면서 기술에 대한 중요성, 긴급성 및 유효성의 개념도 빠른 속도로 변화하고 있다. 이와 같은 현상의 단적인 예는 최근까지 열병합 발전 시스템이 비교적 성공적으로 보급되고 있었던 독일의 경우 발전사업 민영화와 함께 전력 가격의 하락으로 30% 이상의 열병합 발전소는 가까운 장래에 폐쇄하여야 할 것이며, 수익성이 유지되고 있는 열병합 발전 설비는 19%에 불과하다는 조사를 접하게 되면서 더욱 설득력을 얻고 있다.

이와 같이 급변하는 환경적인 요소가 열병합

전으로 급격히 도입이 추진되고 있는 수십 kW 수~MW급 범위의 용량은 시장 변화에 민감함을 알 수 있었다. 이와 같은 상황 하에서 선진국에서는 잠재 시장을 겨냥하여 민감도가 적은 용량 범위의 초소형 열병합 발전 기술의 개발과 현재 시장이 형성되어 있으나 민감도가 높은 영역의 용량 범위에서는 열병합 발전의 설계 운전의 최적화를 통한 경제성 확보에 관한 기술개발을 진행하고 있다.

시장 환경의 변화에 따른 민감도가 낮은 마이

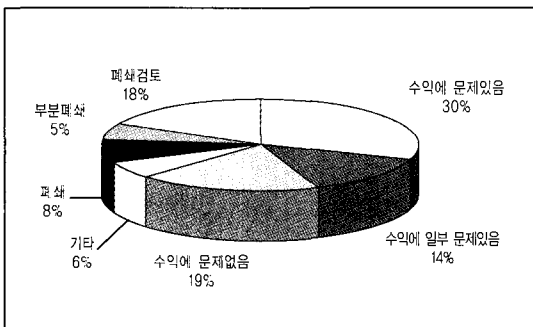


그림 8 독일의 산업용 열병합 발전 시스템의 현황

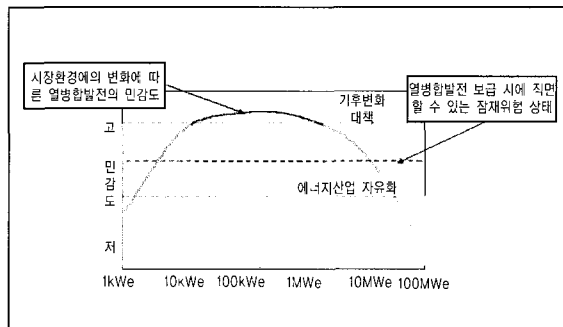


그림 9 열병합 발전 용량별 시장 환경 변화에 따른 민감도



표 2 마이크로엔진 열병합 현황

회 사 명	발전출력 (kWe)	원동기 종류	효율(%)			특징 및 보급현황
			발전	열회수	종합	
Yanmar(Japan)	5.0	Gas Engine	27.0	60.0	87.0	•안마디젤 개발
	9.8	Gas Engine	24.5	57.0	81.5	•大阪가스, 안마디젤 공동 개발(1998) •大阪가스 지역에 400대 보급(2003.1.현재)
	22.0	Gas Engine	28.0	57.0	85.0	•안마디젤개발
Senertec(Germany)	5.5	Gas Engine	27.0	61.0	88.0	
本田技研工業 (Japan)	1.0	Gas Engine	20.0	65.0	85.0	•大阪가스, 東邦가스, 西部가스, 노리쯔, 長府製作所 공동으로 개발 •가스엔진은 本田技研工業에서 개발 •2003년 1월 현재 60개를 실증시험 중이며, 시험 결과는 만족할 만한 수준임 •4인 가족의 가정용으로 2003년 3월 판매 예정 •판매가격 약 76만 엔 예상(회수기간 5년 예상)
アイシン精機 (아이신정기) (Japan)	6.0	Gas Engine	26.5	59.5	86.0	•東京가스, 아이신정기와 공동개발 •가스엔진은 GHP용을 적용 •판매가격 약 220만 엔 예상(2002.6.판매) •26대 판매(2002년 말 실적) : 레스토랑
WhisperTech (New Zealand)	0.75	Stirling Engine				•2003년 상품화 예정(AC Version) •레저 산업에 주로 판매 중(DC Version)
Sigma(Norway)	3.0	Stirling Engine	>25.0			•Ocean Power Corporation(USA)의 자회사 •2005년 상품화 예정(Demo용 제작/시험 중)
Solo(Germany) ENATEC	9.0 1.0	Stirling Engine Stirling Engine	24.0	64.0	88.0	•Prototype 제작, 시험 중 •Eneco, ATAG, ECN의 합작회사 •2004년 상품화 예정
Sunpower(USA)	1.0	Stirling Engine				•Prototype 제작, 시험 중

표 3 마이크로 가스터빈 현황

회 사 명	발전출력 (kWe)	회전수 (rpm)	효율(%)			NOx (@ 13% O ₂)	특징 및 보급현황
			발전	열회수	종합		
Capstone(USA)	28	96,000	25.0			<12ppm	Allied signal로부터 독립(1988) 열교환기업체 : Unifin(Canada)
	60	96,000	28.0			<12ppm	Air Bearing 채택 국내Agent : 삼성물산 2,000대 이상 판매(2002.6.)
Elliot(USA)	80	68,000	29.0			<33ppm	Ebara(Japan) 사의 자회사 Ebara사가 패키징하여 상품화 단계임 35kW, 60kW 모델 확대 예정
Turbec	105	70,000	30.0	48.0	78.0	<20ppm	ABB, Volvo Aero 합작회사(1998) 상품화/판매 중 20대 판매(2001.1.)
Bowman(UK)	80		27.0	51.0	87.0	<33ppm	상품화/판매 중 터빈본체는 Elliot에서 구매, 기타 설비를 자체제작 후 패키징 25대 판매(2001.1.)
Ingersoll-Rand(USA)	70		28.0			<12ppm	상품화/판매 중
Toyota Turbine & System(Japan)	50	80,000	28.0				토요타自動車(株)(70), 아이신精機(株)(20), 愛三工業(株)(10) 합작회사(1998) 상품화/판매 중
IHI(Japan)	2.6	100,000					상품화/판매 중(2002)

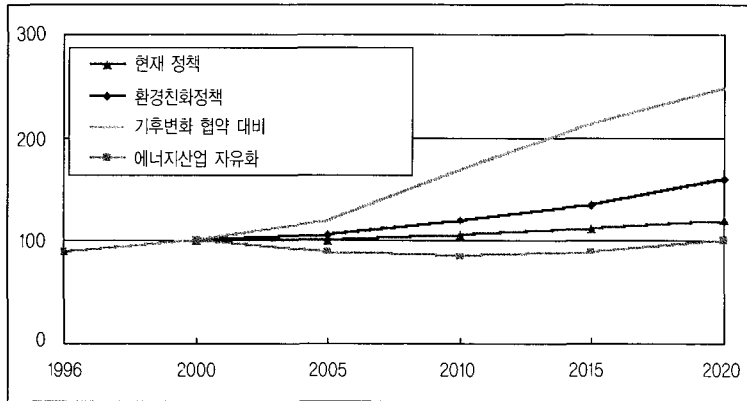


그림 10 환경변화에 따른 유럽의 열병합 발전 시스템의 도입량 예측

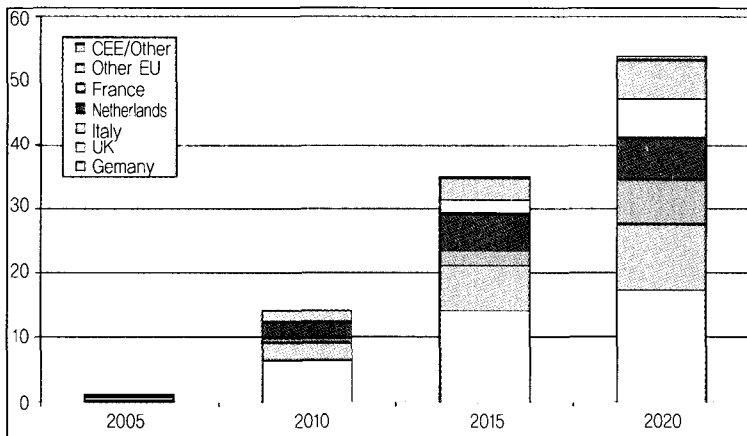


그림 11 유럽의 초소형 열병합 발전 보급 전망(15kWe 미만)

크로 열병합 발전의 경우 경제성 확보에 유리한 가스엔진의 개발과 병행하여 스팀링 엔진 및 마이크로 터빈에 대하여 개발이 집중되고 있다. 특히 일본의 경우 마이크로 엔진은 도시가스회사의 주도로 1~20kW의 용량이 개발되고 있으며, 10kW급은 상용화되어 웨밀리 레스토랑 등에 보급되고 있고, 1kW급의 경우 100여 개소의 단위 건물에 설치되어 실증 운전되고 있는 것으로 보고 되고 있다. 10kW 이하의 용량 범위의 스팀링

엔진 열병합 발전의 개발은 적극적으로 추진되고 있으나 상용화까지는 시간이 필요할 전망이다.

열병합 발전 기술은 환경문제를 극복하기 위한 사회 및 경제 체계의 재편, IT 및 컴퓨터 네트워크 기반의 지속 가능한 사회의 추구하고 함께 지속적으로 성장할 것으로 전망되고 있다. 규제완화에 따른 시장 자유화와 같은 시장 환경이 변화로 감소하던 열병합 발전은 환경 규제의 강화로 지속적인 성장할 전망이다, 특히 기후변화 협약에 따른 CO₂ 감축 의무 이행을 반영하여 정책이 설계되는 경우 성장 추세는 가속될 것으로 전망하고 선진국에서는 열병합 발전에 대한 기술 개발 및 보급 정책의 합리적, 효율적인 설계에 박차를 가하고 있다.

유럽 등 선진국은 기후변화 협약 등 급변하는 시장 환경을 고려하여 시장 환경의 변화에 대한 민감도가 상대적으로 적은 초소형 열병합 발전 시장이

급격히 성장할 것으로 전망하고 여러가지 형태의 초소형 열병합 발전에 대한 기술개발이 적극적으로 진행되고 있다. 기후변화 협약의 의무 이행에 대한 요구에 직면하고 있는 우리나라의 경우 소형 열병합 발전의 국산화율 향상 및 보급 활성화 방안을 포함하는 효율적이고 합리적인 기술개발 및 보급 정책의 발굴에 적극적으로 나서야 하고, 특히 초소형 열병합 발전과 관련한 기술개발에 관심을 기울여야 할 것으로 판단된다.