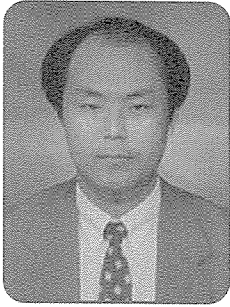


분산발전으로서 열병합발전 기술의 역할과 전망



(주)호성중공업 연구소
연구위원/상무
오시덕/공학박사
Tel : (02)707-4360

요약문

지속적인 경제 성장과 산업·사회의 고도화에 따라 서 고품질, 고신뢰도의 에너지수요는 비약적으로 증가할 전망이다. 특히 모든 산업 활동이 IT와 연관되어질 수밖에 없는 미래의 산업구조 및 에너지산업의 자유화가 가속되는 상황에서 전력 품질, 신뢰도의 유지는 중요한 사회적 화두로 대두될 것으로 판단되며, 이와 같은 상황 대응을 위한 유력한 기술적 대안으로 분산발전이 급부상하고 있다. 열병합발전 기술은 하나의 에너지원으로부터 전력과 열을 동시에 발생시키는 종합에너지 시스템으로 발전에 수반하여 발생하는 배열을 회수하여 이용하므로 에너지의 종합 열이용 효율이 높아서 산업체, 민생용 건축물 및 소규모 구역 등에 전력 및 열을 공급하는 에너지 시스템으로 주목받고 있다.

열병합 발전 기술은 환경 친화성 및 에너지 절약성이 우수하고, 종합 열이용 효율이 높아서 경제성 확보에 가장 유리하다는 기술적 특성 때문에 분산발전 기술 중에서 가장 유망한 기술로 각광받고 있다.

Abstracts - Distributed generation, the small scale production of electricity at or near customers, has the potential to improve the reliability of the power supply, reduce the cost of electricity, and lower emissions of air pollutants. Cogeneration typically achieves a 30 to 40% reduction in primary energy usage compared with electricity-only generation and heat-only boilers and is the most competitive technology in distributed generation. And then cogeneration has a pivotal role to increase the installed capacity of distributed generation. The primary

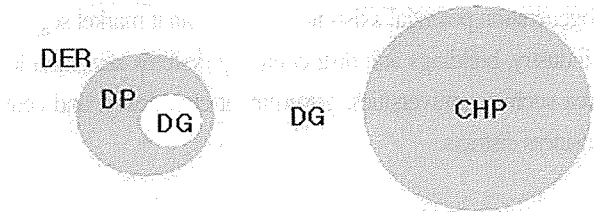
cogeneration potential exists in three important market segments : industry, buildings and district energy systems serving a local area such as universities, government complexes, and central business districts.

1. 분산발전의 범위 및 정의

현재 분산발전의 개념에 대한 합의가 없는 상태에서 서 그 취지나 목적에 따라 다양하게 정의되고 사용되면서 일부 혼선이 있는 게 사실이다. 최근에 IEA (International Energy Agency)에서는 분산발전(DG, Distributed Generation)을 최종 수요처 부근(On Site) 또는 배전선로의 지원용으로 설치되는 엔진, 소규모 가스터빈, 연료전지 및 태양광을 포함하는 발전시설로 정의하고 있으며, 이때 대단위 단지 형태로 조성되는 풍력은 제외하고 있다. 또한 대단위로 조성되는 풍력발전을 포함하는 기존의 전력 계통과 연계 또는 독립 전원으로 사용되는 모든 발전설비를 총칭하여 Dispersed Generation으로 구분하고 있으며, 전력 저장 설비 및 분산 발전을 포함하는 경우에는 분산전원(DP, Distributed Power), 분산발전 및 수요 측의 부하 관리를 포함하는 경우에는 분산 에너지원(DER, Distributed Energy Resources)이라고 정의하고 있다. 또 열병합발전(CHP, Combined Heat and Power)은 분산발전에 포함되며, 이들 관계를 그림으로 나타내면 다음의 [그림 1]과 같다.

분산발전 기술 중에서 열병합발전 기술은 환경 친화성 및 에너지 절약성이 우수하고, 하나의 에너지원으로부터 전력과 열을 동시에 발생시키는 종합에너지 시스템이다. 이 기술은 발전에 수반하여 발생하는 배열을 회수하여 이용하므로 에너지의 종합 열이용 효율이 높다는 기술적 특성 때문에 산업체, 민생용 건축물 및 소규모 구역 등에 전력 및 열을 공급하는 에너지 시스템으로 주목받고 있다. 즉 열병합 발전 시스템은 산업체, 건축물 등에서 필요한 열, 전기에너지

를 보일러 가동 및 상용 전력에 의존하지 않고 자체 발전시설을 이용하여 일차적으로 전력을 생산한 후, 이 때 배출되는 열을 회수하여 이용하므로 기존의 발전방식 보다 30~40% 높은 에너지 절약 효과를 거둘 수 있어 경제성 확보에 유리하여 분산발전 기술 중에서 가장 유망한 기술로 각광받고 있다.



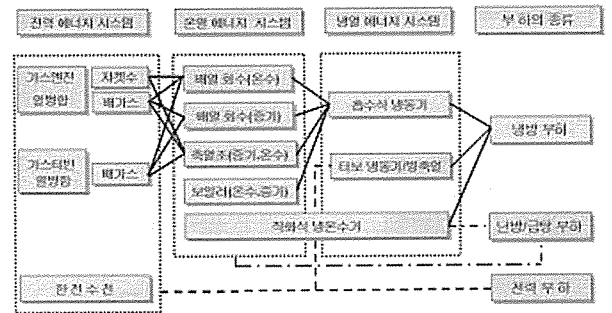
[그림 1] Definition of distributed generation

2. 열병합 발전 기술의 개요

열병합 발전 기술은 연료를 공급받아 원동기에서 연소하고, 열에너지로부터 얻어지는 회전력을 이용하여 발전기에서 전기를 생산하는 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 계통연계 장치, 원동기로부터 폐기되는 열을 유효하게 회수하는 폐열회수 보일러, 회수된 열을 유효하게 활용하기 위한 열이용 장치 및 열병합 발전기의 합리적이고 효율적인 운전을 위한 보조 장치 등으로 구성될 수 있다.

열병합 발전을 도입하는 경우 수요처의 전기에너지는 열병합 발전에서 생산되는 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 조합하여 냉열을 공급할 수도 있고, 직화식 냉온

수기를 설치하여 하나의 에너지 기기로 필요에 따라 온열 또는 냉열을 교대로 공급하도록 에너지 시스템을 구축할 수도 있다.

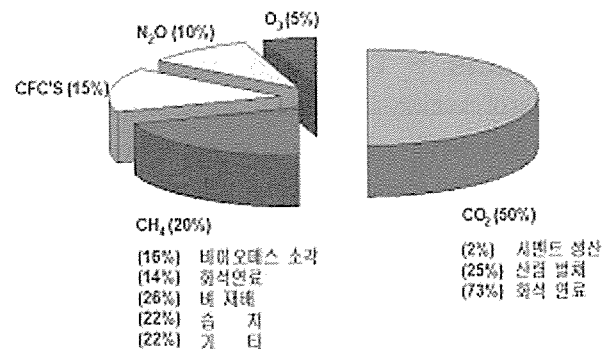


[그림 2] Cogeneration in an energy network

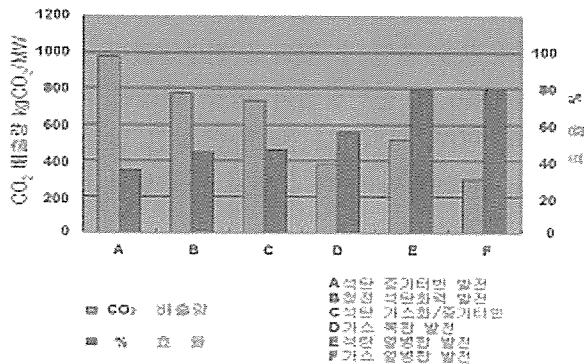
3. 기후변화 대책기술로서의 열병합 발전

세계적으로 온실가스가 지구 온난화에 미치는 기여도는 [그림 3]에 나타나 있는 바와 같이 CO₂, CH₄, CFC'S 등의 순이고, 그중에 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 것으로 판단된다.

열병합 발전 방식은 [그림 4]에서와 같이 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.

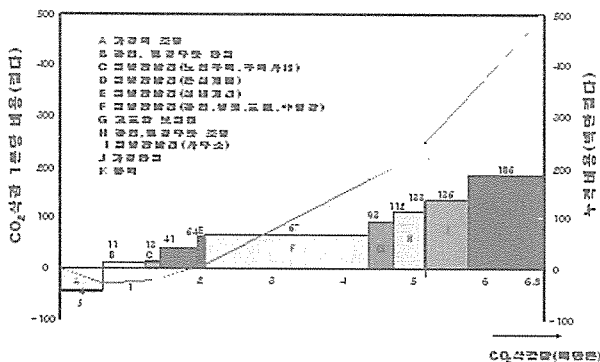


[그림 3] Contributions of global warming



[그림 4] Efficiency and emissions of selected generation technology

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

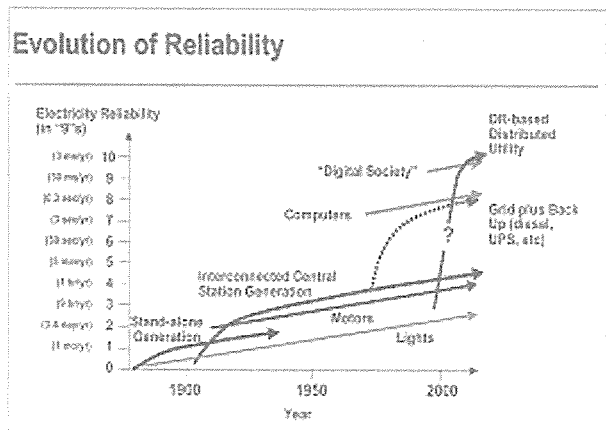


[그림 5] CO2 reduction cost of selected technology

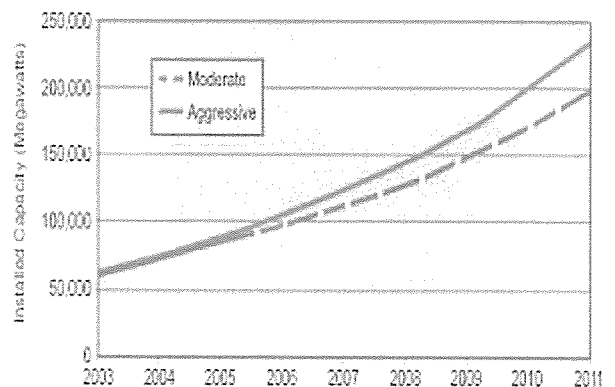
4. 도입의 필요성 및 전망

EPRI의 예측에 의하면 전 세계의 에너지 소모량에서 전력이 차지하는 비중이 2000년에 38%, 2020년에는 50%, 2050년에는 70%로 급격히 신장할 것이며, 선진국의 경우 그 비중은 더욱 커질 것으로 전망(미국은 2000년 37%, 2010년에 50%, 일본은 1997년 41%, 2010년에 54%)하고 있다. 또한 [그림 6]에 나타나 있는 바와 같이 정보화 사회로의 진전이 가속화되면서 고품질 전력(9-nines에서 10-nines 이상)에 대한 요구는

지속적으로 증가하고 있으며, 분산발전 기술이 유력한 대안 기술이 될 것으로 전망하고 있음을 알 수 있다. 또 EPRI의 예측에 의하면 미국의 정전 및 전력의 품질변동에 의한 손실은 연간 12~26(10억) \$로서, 산업유형별로는 이동통신 41,000 \$/h, 통신판매 72,000 \$/h, 항공기 예약 90,000 \$/h, 신용카드 2,580,000 \$/h, 주식거래소 6,480,000 \$/h 등으로 차이가 큰 것으로 조사되었고, IT기술의 보급에 따른 에너지 산업의 투명성 제고로 사회비용의 내재화 및 비용의 수익자 부담 요구가 증대되면서 수요 특성별로 전력요금의 차등 적용은 불가피할 것으로 예상되며, 이와 함께 지속가능 사회의 구현을 위하여 대체에너지 및 청정에너지에 대한 관심이 고조되면서 분산발전에 대한 사회적 요구가 증가될 전망이다. 이와 같은 시대적인 요구로 분산발전의 도입이 증가할 것이라는 데는 대부분의 에너지 전문가들이 동의를 하고 있으나 구체적인 도입 시기 및 전망에 대하여는 일부 이견이 있는 것도 사실이다.



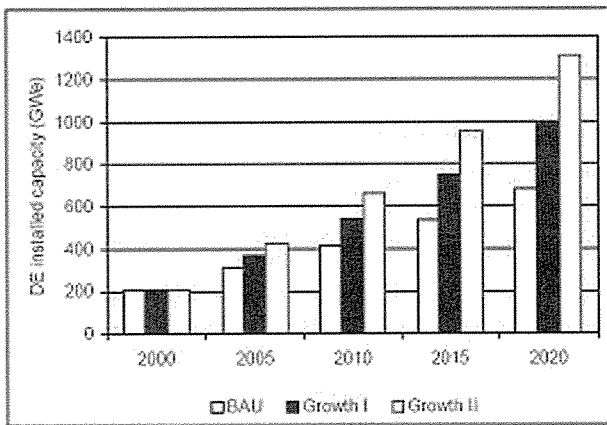
[그림 6] Evolution of electricity reliability



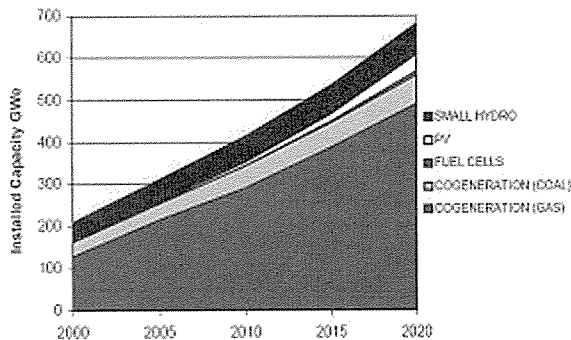
[그림 7] Distributed generation installed capacity world market : 2003 to 2011

최근 ABI Research에서는 분산발전에 대한 시장의 불확실성은 여전히 존재하고 있으나 앞에서 기술한 시대적인 상황을 반영하는 경우 장기적으로는 전망이 밝으며, [그림 7]에 나타나 있는 바와 같이 2011년에는 현재의 약 3배에 달하는 200,000MW의 분산발전이 세계에 보급될 것으로 전망하고 있다.

또한 WADE(World Alliance for Decentralized Energy)에서는 분산발전은 2000~2003년에는 전세계 발전설비 용량의 7%정도가 보급되었으며, 2003년의 경우 235GW가 보급된 것으로 보고 되었다. WADE의 조사 연구에 의하면 [그림 8]에 나타나 있는 바와 같이 보급 정책에 따라 2020년까지 최저 681GW에서 최고 1,310GW가 보급될 전망이며, [그림 9]에서 알 수 있는 바와 같이 분산발전 중에서 기술적, 경제적인 장점이 많은 열병합발전이 분산발전 시장을 주도할 것으로 전망하고 있다.



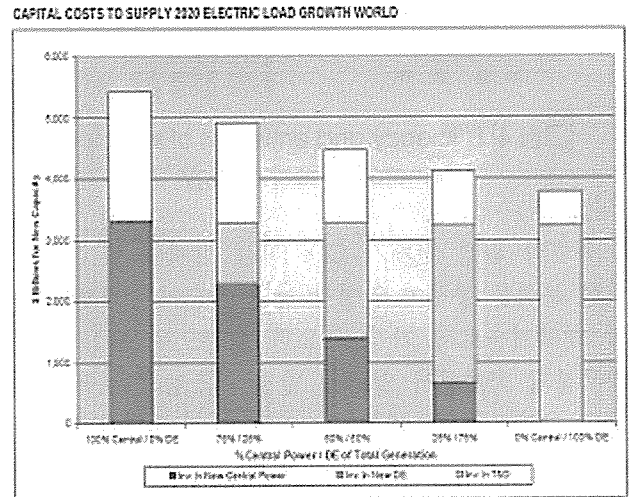
[그림 8] Worldwide installed DG capacity



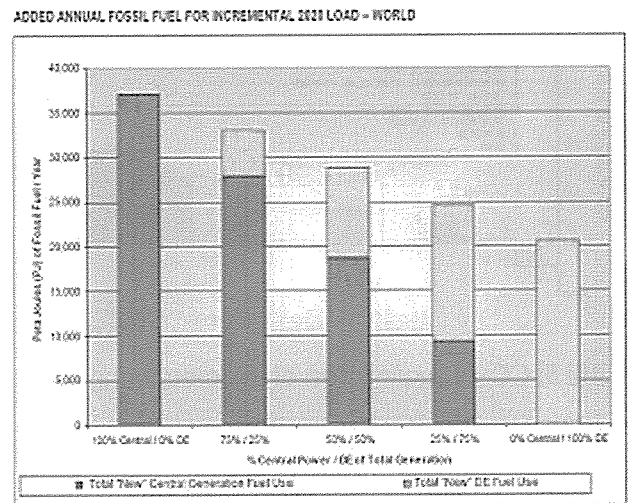
[그림 9] DG installed capacity as usual

또한 2020년까지 설치되는 발전시설을 집중발전 대신에 분산발전을 보급하는 경우 소매전력단가를 25% 낮출 수 있고, 전세계에 도입되는 발전 설비 용량을 기준으로 할 때 \$1,500billion의 설비비를 줄일 수 있

으며, 연간 1,000Mt의 CO₂ 발생량과 50%이상의 화석 연료 사용량을 줄일 수 있다고 전망하였다. [그림 10]은 집중발전 및 분산발전의 비율 변화에 따른 투입 설비비의 변화, [그림 11]은 집중 발전 및 분산 발전의 비율 변화에 따른 화석 연료 사용량의 변화를 나타내고 있다.



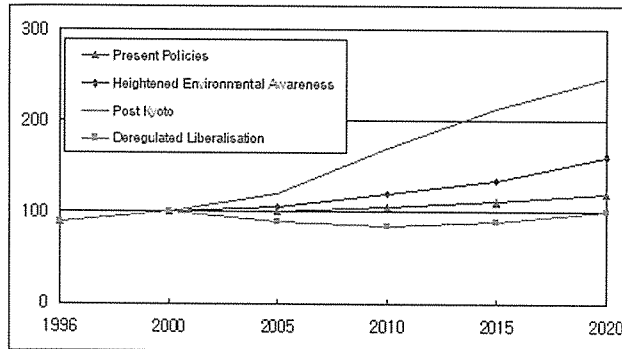
[그림 10] Capital costs to supply 2020 electric load growth world



[그림 11] Added annual fossil fuel for incremental 2020 load - world

특히 분산발전 기술 중에서도 열병합 발전 기술은 환경 문제를 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 환경 변화로 감소하던 열병합 발전은 환경 규제의 강화로 지속적으로 성장할 전망인데, 특히 기후 변화 협

약에 따른 CO₂ 감축 의무 이행을 반영하여 정책이 설계되는 경우 성장 추세는 가속될 것으로 전망되어 선진국에서는 열병합 발전에 대한 기술개발 및 보급 정책의 합리적, 효율적인 설계에 박차를 가하고 있다.

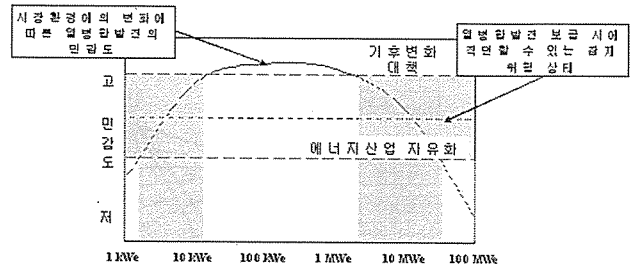


[그림 12] EU cogeneration installed capacity by scenario(GW)

그러나 이와 같은 밝은 전망에도 불구하고 열병합 발전은 급변하는 환경 하에서 어떻게 경제성을 지속적으로 유지할 수 있도록 할 것인가 하는 문제를 안고 있다. 즉 기존의 대형화, 집중화의 에너지 공급 및 이용에서 분산화, 경쟁을 통한 효율화로 패러다임이 바뀌면서 기술에 대한 중요성, 긴급성 및 유효성의 개념도 빠른 속도로 변화하고 있는데, 이와 같은 상황은 최근까지 열병합 발전 시스템이 비교적 성공적으로 보급되고 있었던 독일의 경우 발전사업 민영화와 함께 전력 가격의 하락으로 30%이상의 열병합 발전소가 가까운 장래에 폐쇄되어야 할 것이며, 수익성이 유지되고 있는 열병합 발전 설비는 19%에 불과하다는 조사를 접하게 되면서 더욱 설득력을 얻고 있다.

이와 같이 급변하는 환경적인 요소가 열병합 발전 기술에 미치는 민감도의 분석 및 열병합 발전의 기술개발 및 보급의 효율화, 합리화를 위한 시도가 유럽의 열병합 발전 협회를 중심으로 한 선진국에서 진행되고 있다. 민감도 분석 결과 [그림 13]에 나타나 있는 바와 같이 10kW급 이하의 초소형 및 10MW이상의 대형의 경우 시장 환경의 변화에 따른 민감도가 적지만 최근에 분산 발전으로 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 초소형 열병합 발전 기술의 개발과 현재 시장이 형성되어 있으나 민감도가 높은 용량 범위에서 열병합 발

전의 설계·운전의 최적화를 통한 경제성 확보에 관한 기술개발을 진행하고 있다.



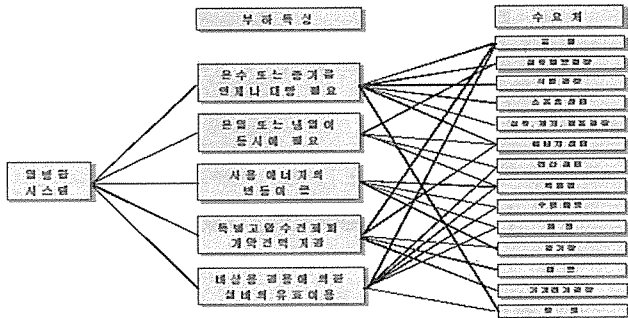
[그림 13] Cogeneration risk graph

시장 환경의 변화에 따른 민감도가 낮은 마이크로 열병합 발전의 경우 경제성 확보에 유리한 가스엔진의 개발과 병행하여 스테어링 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 이하 용량의 스테어링 엔진 열병합 발전의 개발은 적극적으로 추진되고 있으나 상용화까지는 시간이 필요할 전망이다.

5. 분산발전의 경제성 및 경쟁 관계

열병합 발전 기술의 경제성은 시스템의 가동률 및 부하율이 높은 상태에서 운전하여 연간 운전비의 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, 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 특별고압 수전을 피하고자 하는 곳 등이다. 즉 연간 안정한 급탕부하가 있는 호텔, 병원, 스포츠설비나 전력·열부하의 변동이 작고, 설비의 복수화가 필요한 컴퓨터 센터 등에 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.

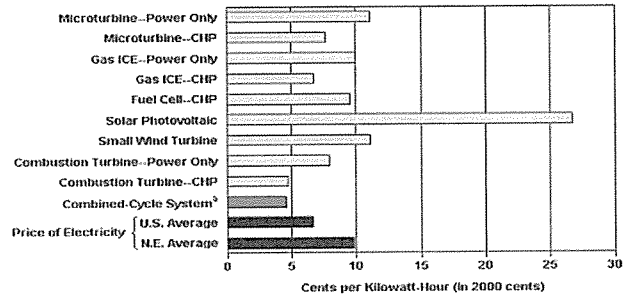


[그림 14] Suitable load profile and sites for cogeneration

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, 배열회수의 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 등이 있다. 그러나 디젤엔진은 배출규제로 지역에 따라서 제약을 받고 있고, 마이크로 가스터빈과 연료전지는 친환경성은 우수하지만 설비비가 고가이고, 내구성이 비교 열위에 있다고 할 수 있다.

이들 분산발전 기술과 전형적인 집중발전기술의 발전 단가를 비교하면 다음의 [그림 15]와 같다. [그

림 15]에서 알 수 있는 바와 같이 열병합 발전이 가장 경쟁력이 있고, 태양광이 경쟁력이 낮은 것으로 알려져 있다. 특히 열병합발전의 발전단가가 New England 지역의 평균전력 가격보다 낮은 것으로 나타나 있어 지역에 따라서 경제성 있는 발전기술이 될 것으로 전망하고 있다.



[그림 15] Levelized cost of selected distributed generation

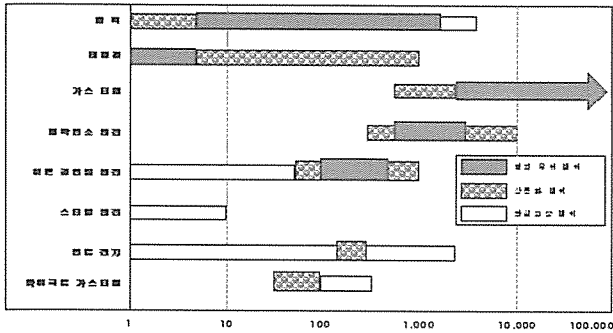
[그림 16]은 용량(kW)에 따른 분산발전의 현재의 현황 및 경쟁 관계를 개념적으로 정리한 것이다. 현재의 상태에서 환경규제가 강화되고 있는 현실을 감안할 때 소형은 가스엔진, 대형은 가스터빈이 바람직하고, 중형의 경우에는 가스엔진과 가스터빈이 경쟁하고 있음을 알 수 있다. 또한 현재 상용화 진입 단계에 있는 마이크로 가스터빈 또는 연료전지는 틈새시장에 한하여 도입이 되고 있으나 상용화가 완료되어 경쟁력을 확보하게 되는 경우 열병합 발전 기술 중의 강력한 대안으로 대두될 잠재 가능성은 크며, 최근의 기술개발 추이를 고려하는 경우 장기적으로 중·대형은 가스터빈, 중·소형에서는 가스엔진이 비교 우위에 있다고 할 수 있고, 초소형의 경우에는 가스엔진, 스테링 엔진, 연료전지 등이 경쟁할 것으로 예상되나

[표 1] Distributed generation technology options

구분	디젤엔진	가스엔진	가스터빈	마이크로 터빈	연료전지	태양광	풍력
용량(kW)	20~10,000	5~10,000	1,000~	30~200	<1~10,000	<1~10,000	<1~3,000
발전단효율(%)	36~43	20~45	21~40	27~30	35~50	-	-
설비비(\$/kW)* : 현재	350~500	600~1,000	650~900	600~1,100	2,000~ 3,500	5,000~ 10,000	900~1,000
설비비(\$/kW)* : 대량생산시	-	<500	-	200~400	100~300	1,000~ 2,000	500

* 설비비는 배열 회수기를 제외한 발전세트 기준임

최종적인 승자는 에너지 절약성, 친환경성, 전력품질, 경제성 등에 의하여 결정될 전망이다.



[그림 16] Status and competitive range of selected distributed generation

6. 맺음말

본 고에서 분산발전 기술의 정의, 종류, 경쟁관계, 필요성 및 전망, 분산발전 기술에 있어서의 열병합 발전의 역할에 대하여 정리하여 보았다. 분산 발전은 현재의 비상용, 첨두 부하용, 기저 부하용 또는 열병합 발전용에서는 물론 전력 품질, 전기소매, 송·배전의 지원, 마이크로 그리드용 등으로 다양하게 적용될 전망이다. 현 상황에서는 상대적으로 많은 기술적, 경제적인 장점을 가지고 있는 열병합 발전이 분산발전 시장을 주도하고 있다고 할 수 있다. 그러나 열병합 발전을 포함한 분산 발전기술의 보급과 관련하여 시장의 불확실성도 여전히 존재하고 있는 것이 사실이다. 따라서 보급 기반 확충을 위한 관련자들의 적극적인 노력이 없이는 열병합 발전을 포함한 분산발전의 보급 활성화는 상당한 어려움에 직면할 것으로 판단된다.

특히 본 고에서는 설명하지 못한 마이크로 그리드 기술은 산업화와 더불어 가속화되고 있는 도시화, 지속가능사회의 실현을 위한 저개발국가에서의 효율적인 전력 공급뿐만 아니라 열병합 발전을 포함한 분산발전 시장의 불확실성을 제거할 수 있는 유력한 대안기술이 될 전망이다. 마이크로 그리드 기술을 포함한 분산발전 기술은 IT, 전력 전자, 전기공학, 기계공학 기술을 망라한 융합기술이라 할 수 있다. 따라서 분산발전의 상용화는 전공분야간의 물리적 결합을 뛰어 넘는 화학적 결합을 이루겠다는 전문가들의 적극적인 의지와 협력에 달려있다고 하여도 과언이

아니다. 본 고가 에너지 분야의 유력한 대안인 분산 발전기술에 새롭게 도전하는 계기가 되기를 기대해 본다.

참고문헌

- 1) 오 시 덕, “열병합 발전 기술,” pp. 34~40, 기계저널 제34권 제 10호, 2003
- 2) 오 시 덕, “분산전원 기술의 현황과 미래,” pp. 11~15, 전력전자학회지 제 8권 제 6호, 2003
- 3) 오 시 덕, “Distributed Generation Technologies in Evolving Energy Markets,” pp. 74~101, 제 2회 풍력발전정책 및 기술 Workshop, 한국풍력기술개발사업단, 2004
- 4) EPRI, Electricity Technology Roadmap : 1999 Summary and Synthesis, p.13, 2003
- 5) An Arther D. Little White Paver, “Reliability and Distributed Generation,” 2000
- 6) COGEN Europe, “The Future of CHP in the European Markets - The European Cogeneration Study,” May, 2001
- 7) Jhon Slow, “Micro-CHP for homes - a commercial reality,” pp. 31~37, Cogeneration and On-Site Power Production may-june 2004.
- 8) WADE, “ World Survey of Decentralized Energy - 2002/2003,” 2003
- 9) WADE, “ World Survey of Decentralized Energy - 2004,” 2004
- 10) Douglas Holtz-Eakin, “Prospects for Distributed Electricity Generation,” The Congress of United States, Congressional Budget Office, September 2003
- 11) Jonathan Lynch, “ ‘MicroGrid’ power networks - next-generation architecture for the new energy landscape,” pp. 39~45, Cogeneration and On-Site Power Production may-june 2004.
- 12) John Jimison, Michael Brown and Simon Minett, “Cogeneration and decentralized energy worldwide - how to birng them into mainstream ?,” pp. 31~41, Cogeneration and On-Site Power Production july-august 2004.