

특집 : 분산전원의 기술동향

분산전원 기술의 현황과 미래

오 시 덕

((주)효성 중공업 연구소 기반기술응용팀 팀장)

WEC(World Energy Council) 보고에 의하면 현재 세계 인구의 20%정도에 불과한 10억이 조금 넘는 선진국의 인구가 총 에너지 공급의 약 60%를 소비하는 반면, 세계 인구의 80%에 해당하는 개도국의 50억의 인구가 에너지 공급의 나머지 40%를 소비하고 있다. 일부 선진국이 기후가 추운 지역에 위치하고 있다고 하더라도 에너지 사용의 불균형은 심각하다고 밖에 할 수 없는 상황이다. 더욱이 20억의 최빈곤층(1인당 GDP 1,000\$미만)이 1인당 연간 약 0.2toe의 에너지를 소비하는 반면 10억의 선진국 국민들(1인당 GDP 22,000\$ 이상)은 25배나 되는 연간 1인당 5toe를 소비하고 있다. 따라서 WEC에서는 현재 직면하고 있는 선·후진국간의 에너지 공급 불균형의 해소는 물론 미래의 지속가능한 사회 달성을 위하여 에너지빈곤 문제의 극복, 공급에너지의 품질 및 신뢰도 향상, 에너지 개발의 환경 및 건강에 미치는 부정적 영향 최소화를 권고하고 있는 실정이다¹⁾.

이와 같은 WEC의 권고가 없더라도 지속적인 경제성장과 산업·사회 생활의 고도화에 따라서 고품질, 고 신뢰도의 에너지수요는 비약적으로 증가할 전망이다. 즉 모든 산업 활동이 IT와 연관되어질 수밖에 없는 미래의 산업구조, 특히 에너지산업의 자유화가 가속되는 상황 하에서 전력 품질, 신뢰도의 유지는 중요한 사회적 화두로 대두될 것으로 판단되며, 이와 같은 상황 대응을 위한 유력한 기술적 대안으로 분산발전이 급부상하고 있다. 본 고에서는 최근에 급부상하고 있는 발전기술인 분산발전의 현황과 미래에 대하여 간단히 서술하고자 한다.

1. 분산발전의 범위 및 정의

현재 분산발전의 개념 및 정의에 대한 합의가 없는 상태에서 분산발전의 취지나 목적에 따라서 다양하게 정의되고 사용되면서 일부 의미전달에 혼선을 초래하기도 했다. 최근에



그림 1. 분산발전의 범위 및 정의³⁾

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 발전시설을 의미하며 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 포함하여 분산전원(DP, Distributed Power), 분산발전 및 수요 측의 부하관리를 포함하여 분산에너지원(DER, Distributed Energy Resources)이라고 정의하고 있다. 또 열병합발전(CHP, Combined Heat and Power)은 분산발전에 포함하고 있다²⁾. 이해를 돕기 위하여 그림으로 요약하여 나타내면 다음의 그림 1과 같다.

2. 분산발전의 종류 및 경쟁관계

현재 분산발전으로 검토될 수 있는 기술로는 디젤 및 가스 엔진, 마이크로 터빈, 가스터빈, 연료전지, 태양광 및 풍력이 있으나 기술 성숙도, 경쟁 범위 등에서는 차이가 있다. 표 1에 기술별 용량범위, 발전효율 및 설비비를 비교하여 요약·정리하였다. 일반적으로 배출규제의 강화로 지역에 따라서

표 1. 분산발전별 성능비교²⁾

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

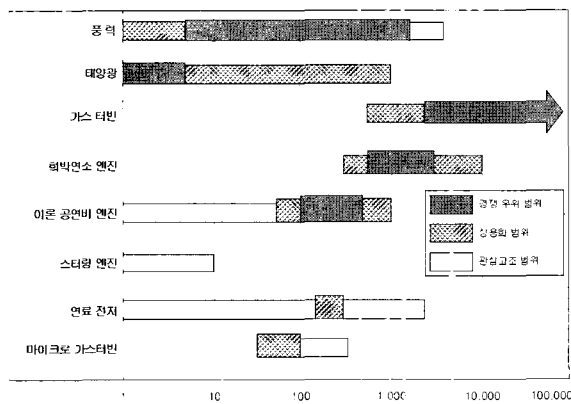


그림 2. 분산발전 기술별 경쟁관계⁴⁾

디젤엔진의 도입은 제약 받고 있으며, 마이크로 터빈과 연료전지, 태양광 등은 친환경성은 우수하지만 설비비가 고가이고, 내구성이 비교 열위에 있으나 대량 생산이 가능한 경우 설비비가 대폭 감소될 것으로 예측되고 있어 잠재력이 큰 유망한 기술로 분류되고 있다.

분산발전 기술의 경쟁 관계, 특히 신·재생에너지 시스템에 해당하는 태양광 및 풍력, 최근에 관심이 고조되고 있는 기술에 해당하는 마이크로 터빈 및 연료 전지, 기존에 보편적으로 보급되어 왔던 기술인 엔진 및 가스터빈을 망라하여 동일한 조건으로 비교하는 것은 상당히 어렵다. 그러나 포괄적인 관점에서 용량별 경쟁관계 및 기술의 성숙도를 정리하면 그림 2와 같이 나타낼 수 있을 것 같다. 그림 2에 의하면 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 대량 생산으로 경쟁력이 확보되면 분산발전 기술 중에서 강력한 대안으로 대두될 잠재 가능성은 크다. 현재 선진국을 중심으로 추진되

고 있는 기술개발 현황 및 수준을 고려할 때 중·대형에서는 가스터빈, 중·소형에서는 가스엔진이 비교 우위에 있고, 초소형에서는 가스엔진, 스팀 엔진, 연료전지 등이 치열하게 경쟁할 전망이다. 에너지 여건에 따라서 이들 기술은 전 영역에서 신·재생 에너지 시스템에 해당하는 태양광 및 풍력과 경쟁할 것으로 예상되며, 특히 소형에서는 태양광, 중·대형의 영역에서는 풍력과 경쟁할 전망이다. 그러나 최종적인 승자는 에너지 절약성, 친 환경성, 전력품질, 경제성 등에 의하여 좌우될 것이나 주어진 여건에 따라서 상호 보완적으로 공존할 가능성이 높다.

3. 분산발전 도입 필요성 및 전망

EPRI의 예측에 의하면 전 세계의 에너지 소모량에서 전력이 차지하는 비중이 2000년에 38%, 2020년에는 50%, 2050년에는 70%로 급격히 신장할 것이며, 선진국의 경우는 그 경향은 더욱 커질 것으로 전망(미국은 2000년 37%, 2010년에 50%, 일본은 1997년 41%, 2010년에 54%)하고 있다^{5, 6)}. 또 그림 3에 나타나 있는 바와 IEA에서도 전력의 증가율이 총에너지 증가율을 앞서는 것으로 예측하고 있다. 또한 그림 4에 나타나 있는 바와 같이 정보화 사회로의 진전이 가속화되면서 고품질 전력에 대한 요구는 점차 증가할 전망(9-nines에서 10-nines 이상)이며, 분산발전 기술을 유력한 대안 기술로 전망하고 있음을 알 수 있다. 또 EPRI의 예측에 의하면 미국의 정전 및 전력의 품질변동에 의한 손실은 연간 12~26(10억)\$, 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 에너지산업의 투명성 제고로 사회비용의 내재화 및 비용의 수익자 부담 요구가 증대되면서 수요 특성별로 전력요금의 차등 적용은 불가피 할 것으로 예상되며, 지속가능 사회의 구현을 위한 사회적 요구로 대체에너지, 청정에너지에 대한 관심이 고조되면서

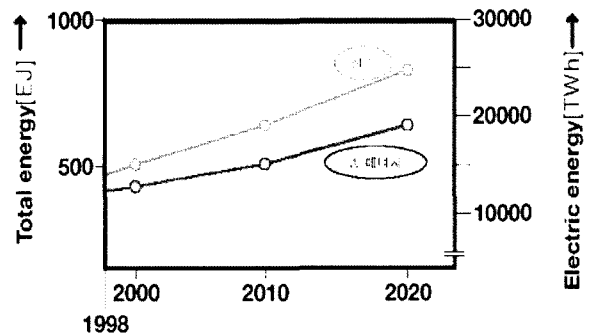


그림 3. 총에너지 및 전기에너지의 증가율⁷⁾

Evolution of Reliability

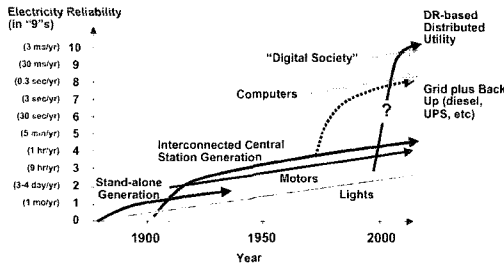


그림 4. 사회의 변화와 전력품질의 추이^[4]

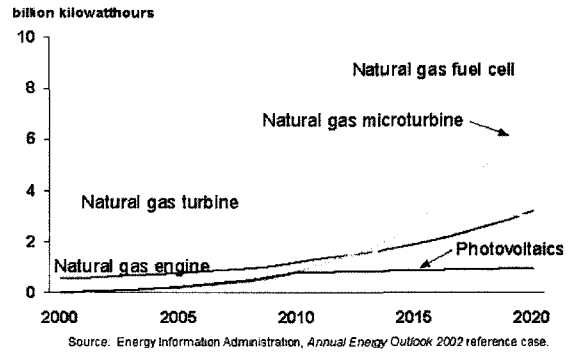


그림 6. 분산발전 종류별 도입 전망^[9]

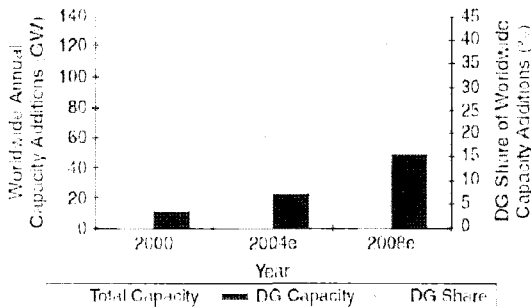


그림 5. 분산발전의 도입량 추이^[8]

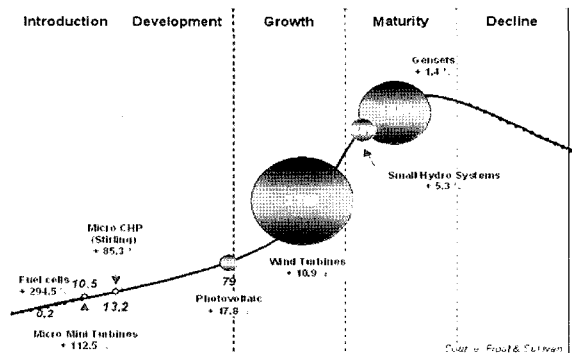


그림 7. 유럽의 분산발전 현황과 전망^[10]

분산발전에 사회적 요구가 증가될 전망이다.

에너지 분야의 대부분의 전문가들은 시대적인 요구로 분산발전의 도입이 증가할 것이라는 데는 동의할 하나 구체적인 도입 전망 및 시기에 대하여는 일부 이견이 있다. 미국의 EIA(Energy Information Agency)의 그림 5에 나타나 있는 바와 같이 분산발전의 도입량은 2000년에 총 발전 시설용량의 10% 정도 수준에서 지속적으로 증가하여 2008년에 40%에 이를 것으로 전망하고 있다.

또 미국에서 에너지 소스별 도입 추이는 그림 6에 나타나 있는 바와 같이 천연 가스터빈 점유율은 크나 증가율은 낮고, 천연가스 엔진의 점유율은 어느 정도 크고 증가율은 완만하게 증가하고, 마이크로터빈과 연료전지는 현재의 점유율은 작지만 2010년부터 비약적으로 증가할 것으로 전망하고 있다. 현재 분산발전 기술로 연료전지, 마이크로 터빈 및 태양광에 대하여 가격 저감 및 내구성 향상 등 경쟁력을 확보하기 위한 기술개발에 역량을 집중하고 있으나 직면한 기술적인 장애를 극복하지 못하는 경우에는 2012년 이후에도 가스터빈, 가스엔진 등의 분산발전이 지속적으로 발전 시장의 주류를 이룰 수도 있을 것이다.

그림 7은 Frost & Sullivan이 조사한 유럽의 분산발전 현황과 전망을 나타내고 있다. 그림의 종축은 기술의 성숙도,

횡축은 성숙단계를 나타내며, 원의 크기 및 병기된 숫자는 2001년 현재 설치되어 운전되고 있는 분산발전의 설비용량(MW)을 나타내고, %는 도입량의 증가율을 나타내고 있다. 그림 7에 의하면 연료전지, 마이크로 터빈, 스테링 엔진을 포함한 마이크로 열병합 발전은 기술성숙도는 낮고 시장은 진입 단계에 있고, 태양광은 기술 성숙도는 연료전지, 마이크로 터빈 및 스테링 엔진 보다는 높으나 시장은 보급단계, 풍력은 기술성숙도는 태양광보다 높고 시장은 성장단계, 가스엔진 및 가스터빈을 포함한 기존의 분산발전기술과 소수력 발전은 기술성숙도도 높고, 시장은 성숙 단계에 있음을 알 수 있다. 따라서 기술개발 자원이 극히 제한적인 우리나라의 경우 분산발전 기술의 기술적 성숙도, 시장 상황 등에 따라서 기술개발의 전략적인 접근이 필요할 것으로 판단된다.

4. 분산발전 시대의 유망기술

분산 발전은 현재의 비상용, 침투 부하용, 기저 부하용 또는 열병합용에서는 물론 전력 품질, 전기소매, 송·배전의 지원, 마이크로 그리드용 등으로 적용이 다양화될 전망이다. 분산발전기술의 용도에 따른 계통연계 기술을 정리하면 다음의 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같

Application	Interface Configurations			Today	Emerging
	Isolated, No grid access	Isolated with automatic transfer	Grid interconnection, no power		
Standby/Back-up	←→	←→	←→	✓	
Peak Shaving (Onsite loads)	←→	←→	←→	✓	
Reactive (Onsite Loads)	←→	←→	←→	✓	
Combined Heat and Power	←→	←→	←→	✓	
Power Quality	←→	←→	←→	✓	✓
Electricity Sales	←→	←→	←→		✓
Ancillary Services	←→	←→	←→	✓	✓
T&D Support	←→	←→	←→	✓	✓
Microgrids	←→	←→	←→	✓	✓

그림 8. 분산발전의 용도 및 계통연계 기술의 추이¹¹⁾

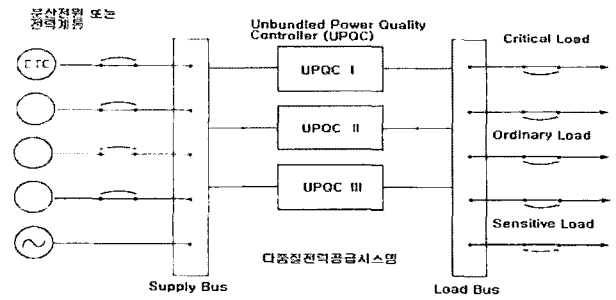


그림 10. 분산전원을 기반의 다품질 전력공급 기술¹³⁾

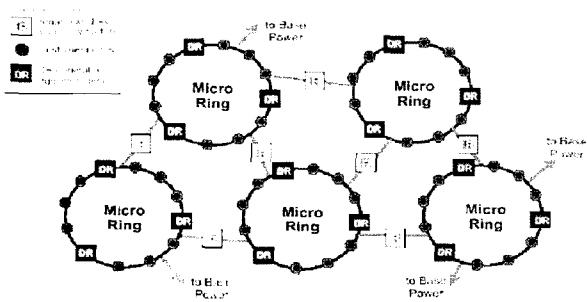


그림 9. 미전화 지역의 분산전원 기술 : Micro-Grid¹²⁾

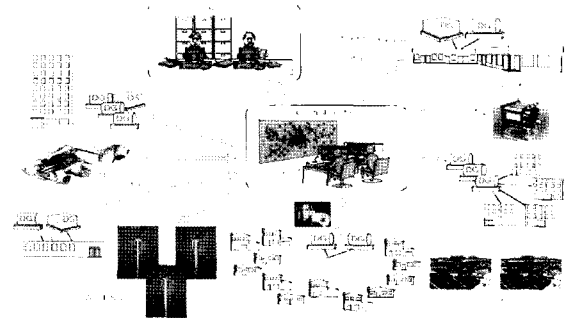


그림 11. 분산발전 기반의 미래 Virtual Utility¹⁴⁾

이 계통연계 분야의 유망기술은 전력품질, 전력 소매, 송·배전 지원 및 마이크로 그리드의 응용기술이라고 할 수 있다.

IT 기술의 발달과 더불어 분산발전을 기반으로 마이크로 그리드 기술이 중요한 기술로 대두될 것으로 예상되며 이를 개념적으로 나타내면 그림 9와 같다. 그림 9에 나타나 있는 마이크로 그리드 기술은 특히 산업화와 더불어 가속화되고 있는 도시화, 지속가능사회의 구현을 위한 저개발국가에서의 효율적인 전력 공급을 위한 유력한 대안 기술이 될 것으로 판단된다.

현재까지의 전력신뢰도 유지를 위한 투자는 공익성 확보차원에서 사회 비용이 최저가 되도록 하는 가치 기준의 투자를 하여 왔으나 전력 산업의 자율화와 함께 공익성 보다는 이윤을 추구하게 되면서 성능 기준의 투자를 지향할 수밖에 없는 상황에 이르렀다. 따라서 신뢰도 유지에 의한 혜택이 상대적으로 적은 다수의 전력 수요자가 신뢰도 향상으로 얻어지는 대부분의 혜택을 독식하는 몇몇의 수요자를 위하여 비용을 분담하여 왔던 기존의 관례가 문제점으로 이슈화될 수 있다. 즉 전력을 사용하는 대부분의 수요자는 이제 더 이상 몇몇 수요자에게 투자효과가 집중되는 전력의 고 신뢰도 유지를 위한 비용의 분담을 강력히 거부하고 수익자 비용 부담 요구가 증가될 전망이다. 이와 같은 시대적 상황의 유력한 기술적 대안으로 그림 10에 나타나 있는 분산전원 기반의 다품질 전력

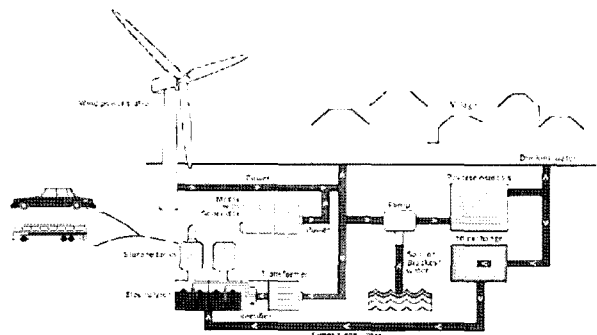


그림 12. 미래의 분산전원의 연계^{4,15)}

공급 기술의 부상이 예상된다.

그리고 ABB, GE 등은 열병합 발전을 포함한 분산발전과 IT 기술, 상용 계통과의 연계되는 그림 11에 나타나 있는 디지털 전력 회사와 같은 미래 전력공급 기술을 미래의 유망기술로 인식하여 관련기술의 개발에 집중하고 있는 것으로 보고 되고 있다. 특히 ABB는 이와 같은 기술이 2015년경에 현실화 될 것으로 전망하고 있다.

또 태양광, 풍력 등 신·재생에너지를 이용한 수소제조 기술 등이 실용화되고, 에너지 저장 장치, 기타의 분산 전원과의

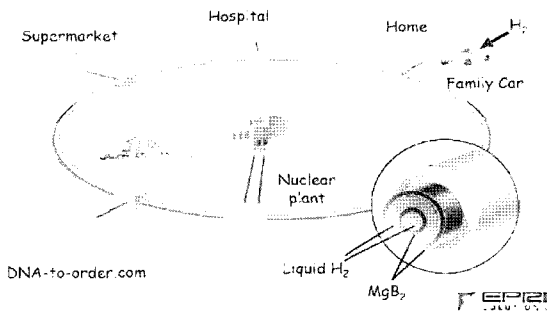


그림 13. 수소 에너지 시대의 초전도 송전 Super Grid¹²⁾

연계를 포함한 관련 기술의 상용화가 진행되는 경우에는 지속 가능 사회 구현을 위한 에너지 공급 기술로 그림 12와 같은 복합 에너지 공급 기술도 미래 유망기술의 하나가 될 전망이다.

미국의 EPRI에서는 그림 13과 같은 수소 에너지 시대의 초전도 송전 슈퍼 그리드를 전력분야의 미래 유망기술로 전망하고 있다. 원자력, 태양, 풍력 등 다양한 에너지원을 이용하여 전력 또는 수소를 생산하고 초전도 송·배전 선로를 활용하여 에너지 수요처에 전력과 수소를 동시에 장거리 수송을 하는 개념으로 이와 같은 기술이 실현되는 경우 에너지의 생산, 공급 및 수요 측에서 현재 직면하는 상당부분의 문제를 일거에 해결할 수 있는 유력한 기술 중의 하나라고 할 수 있다.

본 고에서 분산발전 기술의 정의, 종류 및 경쟁관계, 필요성 및 전망, 유망기술에 대하여 개념적 내용을 중심으로 정리하여 분산발전에 대한 전반적인 이해를 돕고자 하였다. 또 유망기술에 서술된 대부분의 기술은 다양한 기술이 포함된 융합기술이라는 특성 때문에 필자가 장기간에 걸쳐서 분산발전에 대한 연구는 수행하여 왔으나 기계공학도라는 태생적 한계로 상세히 기술하는 것은 바람직하지 않을 것으로 여겨진다. 이미 기술하였듯이 미래의 유망기술은 대부분은 전공분야를 넘나드는 융합기술이 될 수밖에 없을 것으로 전망된다. 본 고의 내용이 다른 전공분야간의 물리적 결합을 뛰어 넘는 화학적 결합을 통하여 에너지 분야의 유망기술에 새롭게 도전하는 실마리 제공의 계기가 되기를 기대해 본다.

참고 문헌

[1] World Energy Council, Living in One World - Sustainability from an Energy Perspective, 2001.
 [2] International Energy Agency, Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets, 2002.
 [3] Anna Monis Shpiley and R. Neal Elliot, "Distributed Energy Resources and Combined Heat and Power : A Declaration of Terms", Internet Material.

[4] (주) 효성 중공업연구소, 분산전원, 2003.
 [5] EPRI, Electricity Technology Roadmap - Powering Progress, 1999.
 [6] Yoshihiro HAMAKAWA, "Accelerated Promotion of Renewable Energy Development and their Roles to Environmental Issues," p. 17, 1st Renewable Energy Forum in North-East Asia, Seoul, 10~11 November 2003.
 [7] DOE/EIA, International Energy Outlook 2001, March 2001.
 [8] Hans B. Puttgen etc, "Distributed Generation : Semantic Hype or the Dawn of a New Era?," pp.22~29, IEEE power & energy magazine, january/february 2003.
 [9] DOE/EIA, International Energy Outlook 2002.
 [10] Frederic Baron, "Distributed Generation : a View from a Utility," Energy Venture Capital Conference, Zurich October 29-29, 2002.
 [11] An Arthur D. Little White Paper, Distributed Generation : System Interface.
 [12] Steve Gehl and Dan Rastler, "Evolving Energy Delivery Systems Using Distributed Resources," EPRI.
 [13] 김재연, "다기능 열병합발전의 기술과 경제성", pp. 32~38, 설비 저널 제32권 제11호, 2003.
 [14] Markus Bayegan, "A Vision of the Future Grid," pp.10~12, IEEE Power engineering Review, December 2001.
 [15] Jens Peters, "The P&T System - a Grid-independent Continuous Supply of Power and Drinking Water by a Wind-powered and Hydrogen-supported System," Global Wind Power Conference, Paris, April 2002.

<저 자 소 개>



오시덕(吳始德)

1959년 5월 3일생. 1982년 중앙대 기계공학과 졸업. 1985년 동 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1985년 1월~현재 (주) 효성 근무. 1998년 9월~현재 중앙대 기계공학부 겸임교수. 1998년~현재 열병합, 펌프의 에너지절약 분야 에너지관리 진단 기술교육 강사. 2000년~ 현재 풍력기술연구회 실무위원. 2002년 8월~현재 과학기술부 비전위원회 위원 및 작성팀장.