

# 분산발전 기술의 동향 및 전망

이 글에서는 최근 새로운 발전 개념으로 부상하고 있는 분산발전 기술의 개념을 소개하고 현재의 동향과 향후 전망에 대해서 기술하고자 한다.

손 정 략 / 서울대학교 기계항공공학부, 교수

e-mail : jlsohn@snu.ac.kr

## 분산발전의 정의

분산발전(DG : Distributed Generation)이란 전력 수요자 인근지역에 설치 가능한 소규모 발전 설비를 이용하여 수요자에게 필요한 전력을 전량 공급하거나 이미 사용 중인 중앙 집중식 전력 공급 체계의 단점을 보완하기 위한 용도로 적용 가능한 발전 방식이다. 최근에는 분산발전의 개념이 다양하게 확대되어 분산 에너지 자원(DER : Distributed Energy Resources), 분산 자원(DR : Distributed Resources), 분산 동력(DP : Distributed Power), 분산 에너지(DE : Distributed Energy) 등의 용어가 등장하기도 하지만 넓은 의미에서 다른 모든 용어를 분산발전으로 묶어서 이해되기도 한다. 분산발전에 사용 가능한 발전설비의 크기는 용도에 따라 다양하지만 일반적으로 가정용 단독 발전 시설용에 해당하는 수kW급 으로부터 단위 지역 발전 및 냉난방용의 수십MW급 (혹은 수백 MW급) 정도 까지를 분산발전이라고 받아들여지고 있다. 분산발전은 그림 1에서와 같이 원거리 대형 발전 설

비로부터의 송전에 의해서 공급되는 중앙 집중형 발전(centralized power generation)의 반대되는 개념으로 장거리 송전에 따른 전력 손실을 줄일 수 있고, 수요처에 따라 다양하게 사용할 수 있다는 장점이 특징이다.

## 분산발전의 역사적 배경

분산발전이란 새로운 개념의 기술이 아니며 Thomas Edison이 1882년 미국 뉴욕에 설치한 인류 최초의 발전소인 Pearl Street Station(그림 2 참조)이 석탄 보일러 증기기관을 이용하여 33kW의 직류(DC) 전력을 생산하여 주변 건물에 송전과 동시에 열을 공급하는 열병합 분산발전소였다. 그러나 20세기에 들어서면서 증기터빈 기술의 실용화와 함께 발전 규모가 커지면서 발전시설은 점차 도심 외곽지역으로 옮겨지게 되었으며, 1970년대 이후 대형 원자력발전의 본격적인 보급과 함께 발

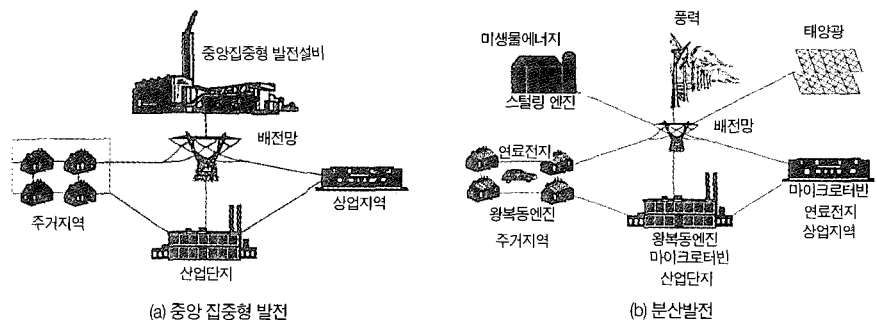


그림 1 중앙 집중형 및 분산발전의 비교

전산업은 중앙 집중형 발전설비들을 기반으로 발달되어 왔다. 이러한 발전설비의 대형화 추세는 전력공급 회사들을 대규모로 성장시켰으며, 결과적으로 전력시장은 소수의 전력 사업자들에 의해서 독점되기에 이르렀다.

그러나 1973년 불어 닥친 세계적인 석유파동은 소수에 의해서 독점되는 전력시장 구조가 에너지 위기 상황에서 과연 효과적인 대처 능력이 있는가 하는 의문을 가지게 하였다. 이러한 이유 때문에 미국은 석유파동 이후 당시 대형 전력 공급 업체 주도의 전력시장을 개방시켜 전력 시장의 자유경쟁시대를 열었으며, 그 결과 수많은 전력 생산 및 공급 회사들이 설립되었다. 이들 회사들은 양질의 전력을 경쟁력 있는 가격으로 생산하여 공급할 수 있는 효과적인 발전설비의 도입에 많은 관심을 가지게 되었는데 이것이 복합화력 혹은 열병합발전설비를 중심으로 한 분산발전 개념의 실용화를 앞당길 수 있는 계기가 되었다. 그 결과, 1980년대 이후 기존의 대형 중앙 집중형 발전과 함께, 전력 수요가 있는 곳을 중심으로 한 분산발전의 보급이 확산되기 시작하였으며, 비교적 최근에 해당하는 1992년 미국의 Energy Policy Act에 의한 전력 거래 자유화 정책으로 이어지게 되었다.

이와 함께 1990년대 말 전 세계적으로 정보통신 기술의 급속한 발달에 의한 디지털 산업혁명은 발전 산업에도 지대한 영향을 미치게 되었다. 그 중에서도

특히 인터넷 등의 영향으로 산업 구조가 기존의 대량 생산 위주의 중앙 집중형 구조로부터 소규모 분산형 산업 구조로 급격히 변화되고 있다. 이러한 추세는 앞으로도 더욱 가속화될 것이고, 그 결과 발전 산업도 대형 중앙 집중형으로부터 새로운 산업 구조에 적합한 소형 분산발전 형태로 진화되어 가고 있다.

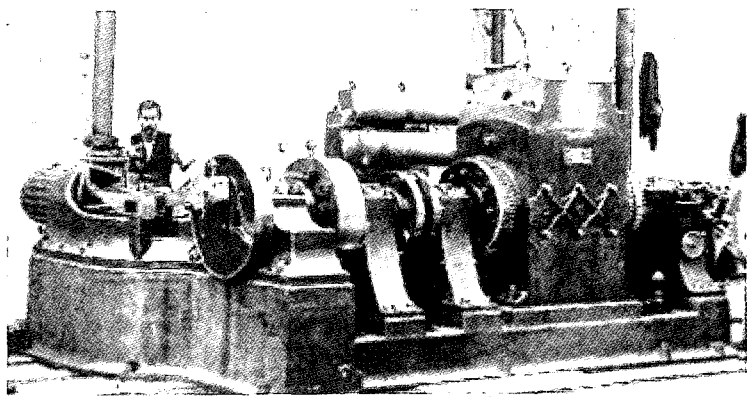
### 분산발전의 보급 촉진 요인

#### 에너지 공급 불균형 해소

최근의 통계에 따르면 세계 인구의 20% 정도에 불과한 10억 명이 조금 넘는 선진국의 인구가 총 에너지 공급의 약 60%를 소비하는 반면, 80%에 해당하는 개도국의 50억 명의 인구가 에너지 공급의 나머지 40%를 소비하고 있다. 더구나 20억 명의 국민층(1인당 GDP 1,000불 미만)이 1인당 연간 약 0.2toe의 에너지를 소비하는 반면, 10억 명의 선진국 국민들(1인당 GDP 22,000불 이상)은 25배나 되는 5toe를 소비하고 있다. 따라서 선·후진국간의 에너지 공급 불균형의 해소를 위해서는 후진국에서의 전력 보급 시설을 급속히 증대시켜야 하는데 이를 위해서는 건설비용 및 기간에 대한 부담이 큰 대형 중앙 집중형 발전 설비보다는 전력 보급이 필요한 지역을 중심으로 상대적으로 신속하게 설치가 가능한 분산발전설비의 보급이 적절하다. 특히 아프리카 사막 지역 등 고립 지역의 전력 공급을 위해서는 원거리 송전이



(a) 외부 전경



(b) Edison의 Jumbo Dynamo

그림 2 인류최초의 분산발전 설비인 Pearl Street Station

거의 불가능할 뿐만 아니라 요구되는 전력량이 대형 발전설비의 설치를 요구하지 할 만큼 많지가 않으므로 소규모 발전설비가 적합하다. 이러한 용도의 분산 발전설비의 보급은 마치 과거 러시아 등에서 낙후된 통신 시설의 보완을 위해서 각종 인프라 구축과 관련된 대규모 투자가 필요한 기존의 유선 전화 보급망을 확충하기보다는 무선 전화의 보급이 더욱 효과적이었던 것과 같은 맥락으로 이해될 수 있다.

안정적인 전력 공급

몇 년 전의 미국과 유럽 지역에서의 대규모 정전 사태를 통하여 불안정한 전력 공급은 이미 사회적으로 커다란 혼란을 야기하게 됨을 경험한 바 있으며, 더구나 최근의 9·11사태 이후 각종 테러 위협성의 증대되고 있어 대형 발전설비보다는 소규모의 발전 설비를 소규모로 분산시키는 것이 더 안전하다는 여론이 전 세계적으로 확산되고 있다. 특히 아래의 표 1에서와 같이 정전에 따른 경제적 손실은 현대 사회를 지배하고 있는 각종 산업 중에서도 사회적, 경제적으로 가장 민감한 금융 산업에서의 피해 규모가 더욱 큼을 알 수 있다. 또한, 디지털 산업 구조에서의 핵심을 이루고 있는 반도체, 통신 등을 중심으로 한 전자산업은 정전 시간이 3.0초/년 이내에 해당하는 7nines(99.99999%) 이상의 높은 신뢰도의 전력 공급을 요구하고 있으며, 이를 위해서는 송전 과정에서 각종 불확실성을 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 특수 수요처에 맞춤형으로 고품질 전력 공급이 가능한 분산발전 기술 적용이 필수적이다.

표 1 정전에 따른 산업별 손해 규모

산업분야	손실금액
휴대폰 관련 산업	\$41,000/시간
온라인 예약 관련 산업	\$72,000/시간
항공권 예약 관련 사업	\$90,000/시간
신용카드 관련 사업	\$2,580,000/시간
금융 관련 사업	\$6,480,000/시간

환경 친화적인 전력 생산

분산발전 시장의 확대와 관련된 또 다른 변수는 전 세계적인 관심사인 환경친화적인 발전설비의 구축이다. 1990년대 지구온난화 방지를 위한 Kyoto 협

약이 체결된 후 최근 들어 1차 규제 대상국들을 중심으로 온실가스 배출량 규제가 시작되었으며, 현재의 협약 상태가 지속된다면 우리나라도 2013년도부터 규제 대상국에 해당한다. 대표적인 온실가스인 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해서는 화석연료를 사용하는 경우에는 발전설비의 고효율화가 유일한 대책이며, 궁극적으로는 이산화탄소 배출이 없는 수소 연료 및 재생에너지 사용이 보편화되어야 한다.

분산발전 응용 분야에 있어서 큰 비중을 차지하고 있는 열병합발전의 경우 전력과 열을 동시에 생산하여 에너지 활용 효율을 높임으로써 이산화탄소 배출량을 줄이는 데 기여할 수 있다. 뿐만 아니라 연료전지, 풍력, 태양광 등 수소 연료 및 재생 에너지를 사용하는 발전설비들은 아직도 기술적으로 완숙기에 접어들지 못하여 대형 중앙 집중형보다는 소규모 분산발전설비를 중심으로 그 수요가 확대되어 가고 있는 상황이다. 그 밖에도 분산발전을 활용할 경우 수요자 인근 지역에 설비를 설치하여 운용하여야 하므로 천연가스 등 청정연료 사용이 필수적이므로 환경친화적인 연료 사용량을 증대시키게 되어 대기 오염과 관련된 환경문제 개선에 기여할 수 있다.

분산발전의 활용 전망

자가 발전 및 계통연계용

앞서 기술한 바와 같이 분산발전의 주 용도는 (1) 수요처가 필요로 하는 모든 전력을 자체적으로 충당하기 위한 기저 부하용 자가 발전용과 (2) 기존의 전력 공급회사의 송배전 시설과의 연결에 의한 계통연계용으로 구분할 수 있다. 자가 발전의 경우는 외부로부터의 전력 공급이 원천적으로 불가능한 도서 지역 등 원거리 지역에서의 전력 수급, 산업 폐기물 및 Biomass 등 특수 연료의 활용, 혹은 특수 용도의 고품질 전력 확보용으로 주로 활용된다. 계통연계용의 경우에는 정전사태를 대비하기 위한 비상 발전용(Stand-by), 하절기 등 전력 부하가 높을 경우 전력의 추가 생산을 위한 첨두부하용(Peak-cut shaving) 등이 이에 해당되며, 분산발전에 의해서 생산된 전력을 거꾸로 전력회사로 매전 하는 경우도

여기에 해당된다. 전력회사의 입장에서는 발전설비 추가 건설을 위한 적정 전력 수요, 송배전 시의 전력 손실에 따른 경제적 손실 등을 고려하여 신규 설비를 건설하는 대신 분산발전설비의 설치를 장려함으로써 신규 발전설비 건설 및 기존 설비 개량 시기의 조절 등이 가능할 것이다.

### 열병합 발전용

분산발전 시장에 있어서 큰 비중을 차지하고 있는 영역이 열병합발전 시장이다. 열병합발전은 동력 장치로부터 전력을 일차적으로 생산한 다음, 그 배기열을 회수하여 난방용 및 온수공급용 열 등으로 활용하는 개념으로써 에너지 효율을 극대화시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점 때문에 전 세계적으로 국가가 중심이 되어 열병합발전의 보급 활성화를 위한 정책을 활발하게 펼치고 있다. 국내에서도 최근 들어 도심지역 아파트 단지를 중심으로 소형 열병합발전의 도입이 급속히 확산되고 있다. 특히 최근 들어서는 회수된 배기열을 이용하여 난방용으로만 활용하지 않고 Absorption chiller를 활용하여 냉난방 겸용으로 활용함으로써 열병합발전(Cogeneration) 개념이 Trigeneneration으로 확장되고 있다. 뿐만 아니라 열병합발전 중에서도 용도, 지리적 위치, 계절적 상황에 따라 생산 전력과 열의 비율이 달라져야 하므로 동일한 설비를 이용하여 전력과 열의 비중을 조절할 수 있는 열전 가변형 열병합발전의 도입이 시도되고 있다.

### 주거용 발전 설비용

분산발전 시장의 미래 지향적인 궁극적인 목표는 마치 가정용 단독 보일러처럼 단독으로 주거용 발전설비(RPG : Residential Power Generation)를 각 가정마다 설치하는 것이다. 이러한 상황이 전개되기 위해서는 자체적으로 생산하는 전력의 요금이 전력회사로부터 공급받는 경우보다 싸야 하며, 설비의 초기 설치를 위한 투자비용이 사용자가 부담을 느끼지 않을 정도가 되어야 한다. 이를 위해서는 3~30kW급의 주거용 발전에 활용 가능한 저렴한 고효율이 높은 동력장치가 개발되어야 하며, 이를

위해서는 소형 발전용으로 적용 가능한 마이크로 터빈, 가스 엔진 등의 효율 향상과 연료전지 등의 미래형 고효율 동력장치의 상용화를 위한 지속적인 기술 개발 투자가 필요하다.

그럼에도 불구하고 미국 내에서의 주거용 단독발전설비 보급과 관련된 최근 조사 결과를 보면 조사 응답자들 중 (1) 50% 이상이 과거 5년 동안의 전력 수요의 증가에 의한 전기비용에 부담을 느끼고 있으며, (2) 31%가 주거용 단독발전에 관심이 있고, (3) 40% 가량이 주거용 단독발전 설비 구매를 고려한 적이 있는 것으로 나타났다. 이러한 추세로 보아 주거용 단독발전 시장은 수요자가 만족할 만한 수준의 제품 출시 여부에 따라 예상보다 일찍 도래할 수도 있을 것이다.

## 분산발전용 동력장치

분산발전설비에 있어서 가장 핵심이 되는 부분은 전력을 생산하기 위한 동력을 만들어주는 동력장치이다. 분산발전용 동력장치는 아래의 표 2와 같이 화학반응에 의한 동력장치와 재생 에너지를 연료로 사용하는 동력장치로 구분된다. 화학 반응 동력장치는 연료의 연소에 의한 열을 이용하여 동력을 생산하는 내?외연기관 및 터빈류와 연료로부터 직접 전력을 생산하는 연료전지류로 구분된다. 분산발전용으로 활용 가능한 재생 에너지 동력장치로는 태양광, 풍력 등이 있을 수 있다. 그림 3의 대표적인 분산발전용 동력장치의 주요 특성은 아래와 같다.

### 왕복동 엔진

왕복동 엔진은 100여 년 전에 개발된 제품으로서 자동차 등 수송기관 동력원으로 널리 사용되어지고 있으며, 가장 보편적인 분산발전용 동력장치로 활용되고 있다. 출력의 범위는 1/10kW부터 수십MW에 이르기까지 매우 넓은 편이고 주로 기저 부하용으로 많이 활용되며, 저렴한 비용과 높은 열효율이 장점인 반면 유지보수 비용이 크고 환경친화성이 상대적으로 약한 것이 단점이다. 환경친화성을 향상시키기 위해서는 일반적으로 촉매저감장치(삼원촉매, 산

화축매, Lean NOx Catalyst등)나 SCR(Selective Catalyst Reduction)을 주로 장착하고 있으며, 최근 들어 천연가스를 연료로 사용하고 희박 연소 기술을 적용하는 것이 추세이다. 최근 들어서는 천연가스를 사용하여 환경친화성을 강화시키고, 제품 가격을 낮추기 위한 출력밀도를 증가시키는 방향으로 기술 개발이 이루어지고 있으며, 가정용 열병합 발전용 동력원으로 활용 가능한 1~3 kW급 초소형 엔진에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

마이크로 터빈

마이크로 터빈은 항공기용 보조동력장치(APU : Auxiliary Power Unit), 디젤엔진 터보차저 등으로부터 기술이 발전되어 왔으며 30~500kW급의 소형 분산발전용으로 개발되어 2001년 이후 상용화 제품이 시장에 출시되고 있는 상황이다. 최근에 출시되고 있는 대부분의 제품은 기저 부하용으로 개발되었으며, 왕복동 엔진에 비하여 상대적으로 낮은 열효율을 만회하기 위한 재생(recuperated) 사이클을 채택하고 있다. 열교환기를 사용하는 재생 마이크로 터빈의 경우 비 재생 터빈의 열효율인 14~20% 수준보다 훨씬 높은 20~30%의 열효율 확보가 가능하다. 열병합 발전용인 경우에는 재생 마이크로 터빈의 경우 배기가스 온도가 낮아 열 생산 성능에 한계가 있을 수 있으므로 비재생 터빈도 적용이 가능하다.

대부분의 마이크로 터빈은 원심 압축기와 반경류 터빈으로 구성된 단축으로 구성된 간단한 구조로서, 타 동력장치에 비하여 유지 보수가 비교적 간단한 편이지만, 수십만rpm 수준의 고속회전 특성으로 인한 우수한 특성의 베어링 적용이 필수적이며, 이러한 이유로 공기베어링이 주로 사용되고 있다. 마이크로 터빈 시장은 아직도 본격적으로 형성은 되어있지 않은 상황이지만 중소형 상업단지 및 산업단지, 아파트 등 주거단지 등이 주요 시장 분야가 될 것으로 예상된다.

소형 가스터빈

발전용 가스터빈은 복합화력발전의 출력은 수백 MW급에 이르지만 소형 가스터빈인 1~10MW급

표 2 분산발전용 동력장치의 분류

화학반응 동력장치	연소반응	왕복동 엔진	내연기관	가솔린 엔진 디젤 엔진 천연가스 엔진
			외연기관	스털링 엔진
		터빈		마이크로 터빈 소형 가스 터빈
	전기화학 반응	연료전지	저온형	PEMFC PAFC AFC DMFC
고온형			MCFC SOFC	
재생 에너지 동력장치	태양광			
	풍력			

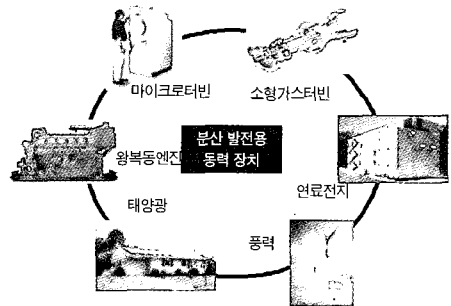


그림 3 대표적인 분산발전용 동력장치의 종류

규모로 분류된다. 마이크로 터빈과 마찬가지로 소형 가스터빈의 경우에도 설치비용이 저렴하고, 환경 친화성이 우수하고, 높은 배기가스 특성으로 인하여 열 생산 성능이 우수하며, 유지 보수비용이 저렴하지만 상대적으로 열효율이 낮은 것이 단점이다. 소형 가스터빈의 열효율 향상을 위해서는 세라믹 소재, 단결정 초내열 합금 등 고온 내열 소재 개발과 고효율 냉각 기술에 대한 연구가 필수적이며, 이러한 기술 개발은 열효율 향상에만 기여할 뿐만 아니라 보수 기간을 연장시킴으로써 유지 보수비용 절감에도 기여할 수 있을 것이다.

연료전지

1839년 William Grove경에 의해서 처음으로 개발되었으나 1960년대 미국 NASA가 Gemini, Apollo 등 우주선 전력공급용 에너지 소스로 사용하면서부터 실용화되었다. 연료전지는 전해질의 특성에 따라 고분자 전해질 연료전지, 인산형

연료전지, 용융탄산염 연료전지, 고체 산화물 연료전지 등 다양한 종류로 구분되며 그 중에서 발전용으로 상용화되어 시장에 출시한 연료전지는 UTC 사에서 개발한 인산형 연료전지에 불과하며 다른 종류들은 상용화 개발이 활발하게 진행되고 있는 상황이다. 인산형 연료전지의 작동온도는 220°C 수준으로서 전력생산 열효율은 약 40%로 왕복동 엔진 등 다른 제품에 비하여 열효율이 월등히 우수하다. 또한 열병합 발전용으로 사용할 경우 전체 에너지 이용률은 약 85%에 이르는 것으로 알려져 있다. 약 600°C에서 작동되는 용융탄산염 연료전지와 800°C 부근에서 작동되는 고체산화물 연료전지는 고온형 연료전지로 분류되며 아직 상용화 개발 전단계로서 수백 kW급 제품이 시제 운전 중에 있다.

연료전지는 수소를 연료로 사용하므로 공해물질의 배출이 전혀 없이도 전력 생산이 가능하다. 그러나 수소는 천연가스, 가솔린과 같은 탄산화물 등 다른 화학적 연료로부터 개질하여 생산하여야 하므로 개질 과정에서 이산화탄소 등의 공해물질이 생성된다.

태양광발전

1839년 프랑스 물리학자인 Edmund Becquerel이 태양광발전 기술을 발표한 이후, 1954년 Bell Lab에서 태양광으로부터의 전력변환 효율이 4%인 태양광발전이 가능한 실리콘 태양광 전지(photovoltaic cell)를 본격적으로 개발하게 되면서 실용화되기 시작하였다. 태양광발전은

공해물질 배출이 전혀 없고 유지보수 비용이 매우 저렴한 장점이 있는 반면, 아직도 타 동력장치에 비하여 가격이 매우 비싸며, 낮 시간에만 작동이 가능하므로 별도의 에너지 저장 장치가 필요하며 거대한 태양광 집진시설이 필요 하는 등의 단점이 있다.

풍력발전

1970년대 세계적인 에너지 위기이후 미국을 중심으로 풍력발전을 재생 에너지 원으로 적극적으로 검토하기 시작하였다. 풍력발전은 가장 경제적으로 전력 생산이 가능한 발전설비이며, 태양광과 함께 가장 친환경적인 설비이다. 그러나 전력 생산의 품질이 풍량 등 기후 조건에 크게 좌우되며 해변이나 고산지대 등 설치 장소 선정에 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 미래형 동력장치 중 가장 경제성이 우수한 설비로 평가받고 있다.

맺 음 말

전력 수요자 인근지역에 설치 가능한 소규모 발전 설비를 이용하여 수요자에게 필요 전력을 공급하는 분산발전은 서로 다른 특성을 지닌 소규모 분산 산업들의 집합인 디지털산업 구조의 특성에 가장 적합한 미래 지향적인 발전시스템이다. 전력공급 위주의 분산발전 고유의 개념은 열병합발전 개념의 접목과 함께 전력과 열을 동시에 공급함으로써 각종 산업의 원동력을 제공해주는 중요한 중추적인 역할을 담당해 나아갈 것이다. 그러나 분산발전은 기존의 중앙 집중형 발전 시스템의 대체 개념이 아닌 계통 연계를 통하여 상호 보완적인 체계로 운용될 것이다. 특히 전력 거래 자유화에 따른 다양한 송배전 사업의 활성화로 인하여 그림 4와 같이 분산발전과 중앙 집중형 발전의 융합뿐만 아니라 다양한 특성의 동력장치로부터 생산되는 전력을 다양한 수요자의 요구에 알맞게 공급할 수 있는 미래 지향적인 전력산업으로의 진화를 촉진시킬 것으로 전망된다.

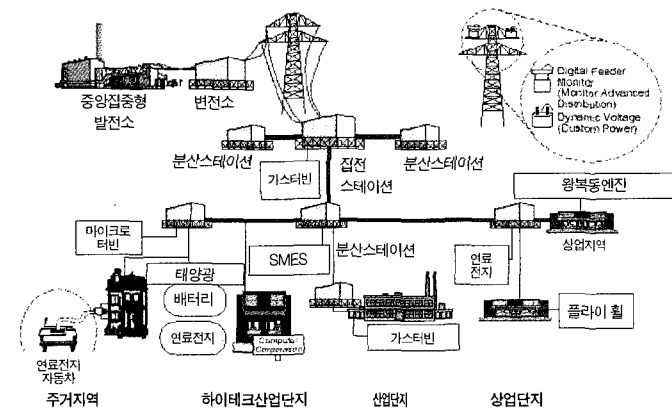


그림 4 분산 및 중앙 집중형 발전의 혼합 구조인 미래의 발전 시스템 사례