



분산형전원과 신재생에너지

김 영창

아주대학교 에너지학과
waickim@hotmail.com



- 분산형 전원
 - Decentralized generation
 - Dispersed generation
 - Intermittent generation
- 신재생에너지
 - Dispatchable technology & non-dispatchable technology
 - 설비투자의 주체
 - 풍력
 - Regulating power or regulating units
 - 경제성
 - TOU tariff & regulated tariff
 - 설비계획과 신재생에너지
 - Subsidy



분산형전원

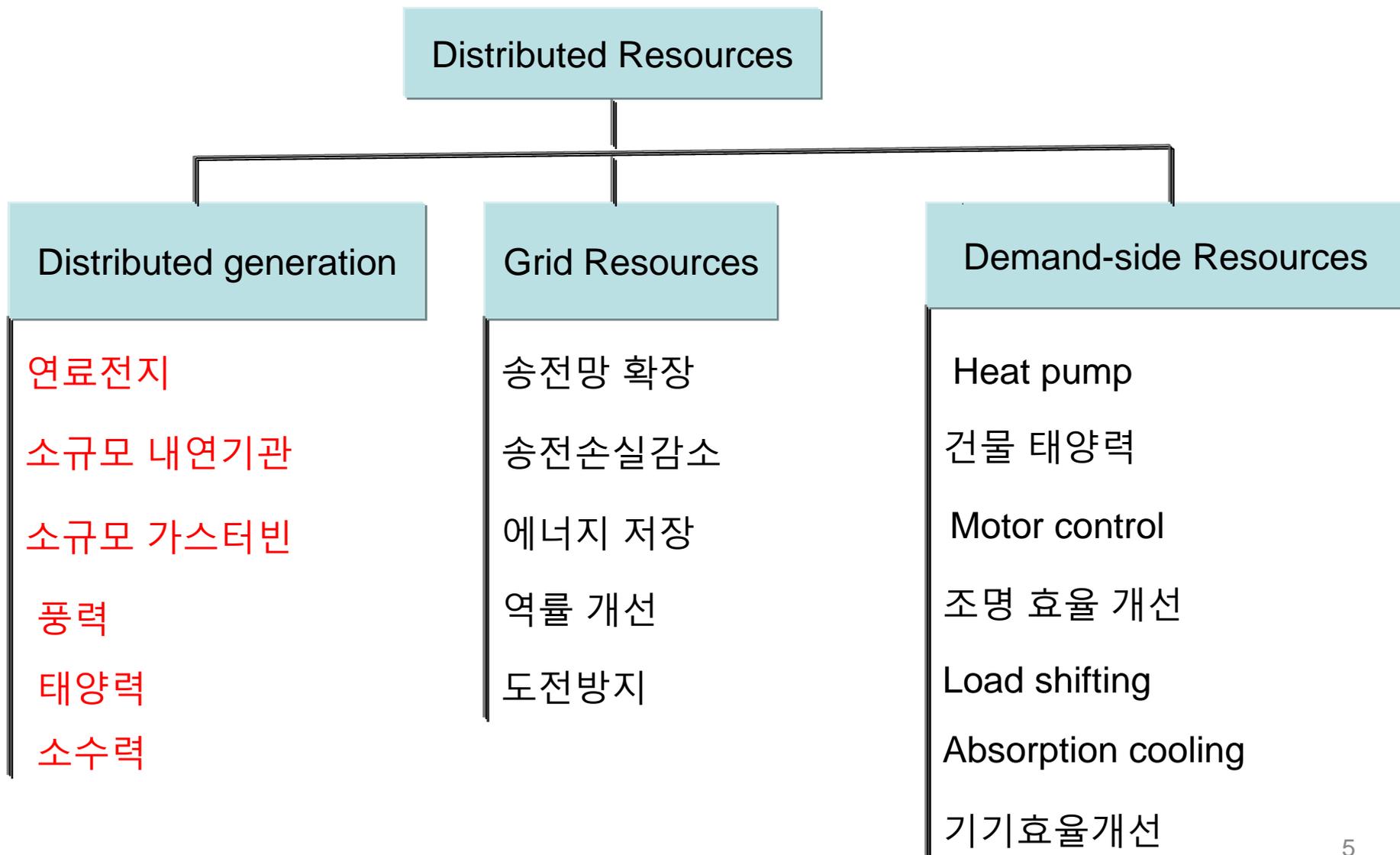


Acronyms & Reference



- CBP : Cost Based Pool
- CCGT : Combined Cycle Coal Gasification Turbine
- CP : Capacity Payment
- DSM : Demand Side Management
- Genco : Generation Company
- GHG : Greenhouse Gas
- IGCC: Integrated Coal Gasification Combined Cycle
- IPP : Independent Power Producer
- KOREC : Korea Electricity Regulatory Commission
- KPX : Korea Power Exchange
- MKE : Ministry of Knowledge and Economy
- MOCIE : Ministry of Commerce and Industry and Energy (former MKE)
- SMP : System Marginal Price
- NGO : Non-governmental Organization
- RDF : Refuse-derived Fuel
- NDT : Non-dispatchable technology

Distributed Resources



- distributed generation
- embedded generation
- decentralized generation
- on-site generation

분산형 전원의 정의 (1)

- 분산형 전원은 막연히 소규모 발전으로 정의되어 있었음
- 정확히 소규모 발전이란 무엇인가?
 - 의견 일치가 이루어지지 않았음
- 분산형 전원 에 대한 정의
 - 전압수준에 기반을 두어 정의를 내리거나 분산형 전원이 망에 접속되고 이 망으로부터 전기사용자에게 부하가 직접 공급된다는 정의에서부터 시작
 - 분산형 전원을 몇 가지 기본적인 특성 즉 신재생에너지, 열병합발전, 급전불가능 등의 관점에서 정의함
 - 배전망에 접속되어 중앙에서 계획되지 않고 급전되지도 않는 소형 발전기로 정의함

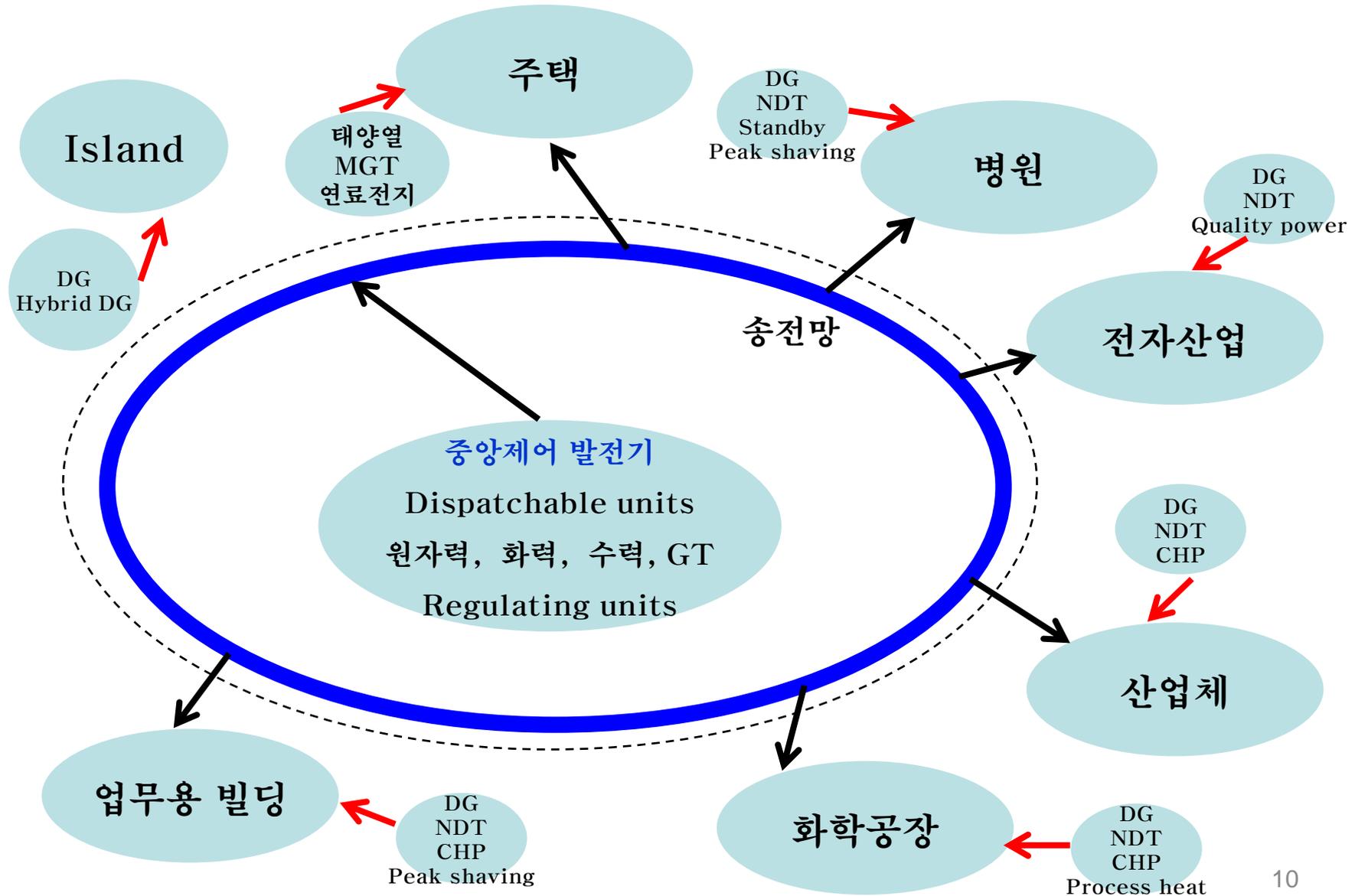
분산형 전원의 정의 (2)

- IEEE는 중앙급전지시를 받는 발전소보다 설비용량이 작은 발전설비라고 정의함
 - 계통의 어느 모선에 접속해도 계통운용에 큰 영향을 미치지 않는 경우를 뜻함
- 소규모의 발전원 혹은 대규모 중앙급전대상 발전계통의 일부분이 아니고 부하에 근접해 있는 1kW에서 수 MW에 이르는 발전기 혹은 전력저장설비라고 정의함
- 특정 소비자의 수요를 충족시키기 위해, 배전계통을 경제적으로 운영하기 위해, 혹은 그 모두를 위해서 소비자 거주 지역 또는 근접 지역에 위치
- 배전망에 접속된다고 가정

분산형 전원의 정의 (3)

- 분산형 전원에 대한 여러 가지 정의가 존재하는데 이것은 광범위한 발전설비형태를 포함하고 있다는 것임
- 일부에서는 송전계통에 접속되는 대규모 열병합 발전기나 풍력 단지를 포함하고 있고 다른 전문가는 배전계통에 접속되는 소규모 발전기라고 말함
- 공통적으로 제안하는 것은 적어도 배전계통에 접속되는 소규모 발전기는 분산형 전원의 일부로서 인식되어야 한다는 것임
- 소비자 부하에 근접해서 혹은 수용가 측의 계량기 주변에 설치되는 발전기는 보통 분산형 전원임.
 - 소비자 거주지역에 있는 대부분의 발전기는 또한 배전계통에 접속되기 때문

분산형 전원의 개념도



분산형전원 - 소개



- 19세기 말 발전사업의 초창기의 분산형 전원
 - 초기의 송전망은 직류 (초기의 발전기는 직류)
 - 발전소와 소비자 간의 거리, 전압 등에 제약을 받음
 - 가까운 인근의 주민에게만 전력 공급
- 그 이후의 전력산업의 발전
 - 교류이론 및 변압기의 출현과 기술발전으로 장거리 송전 가능
 - 발전기 당 출력의 증가
 - 편리성의 증진 및 단위 사용량당 비용 하락
 - 거대한 송전망과 발전기로 구성된 대규모 전력시스템의 건설
 - 공급안정성의 증가
 - 연계된 고압송전계통으로 발전에 있어서 “규모의 경제” 달성

분산형전원 - 소개

- 지난 10년간의 기술혁신과 변화하는 경제 및 규제환경
 - 분산형 전원기술의 발전
 - 새로운 송전선 건설에 대한 제약
 - 고 신뢰도의 전력에 대한 소비자의 수요 증가
 - 전력시장 자유화와 규제완화
- 분산형 전원에 대한 관심 고조

외국의 분산형 전원의 이용목적



- 전력시장 자유화와 환경에 대한 우려
 - 소규모 발전기술의 개발이 오랜 시간 동안 진행
 - “규모의 경제”를 이루기는 아직은 어려움
 - 분산형 전원을 건설한다고 하여 새로운 송전선로를 건설하지 않아도 된다거나, 건설을 지연시킬 수 있다고 보기 어려움
 - 최소한 보완공급(back-up supply)을 위해서라도 송전계통은 필요함.
 - Intermittent generation을 위해 regulating unit 필요

전력시장의 자유화

- 전력공급 사업자 사이에 점차 분산형 전원에 관심 고조
- 소비자들은 자신에게 가장 적합한 전력공급 서비스를 물색
- 분산형 전원기술은 사업자들이 소비자가 선호하는 전력공급 서비스의 형태로 공급하는데 도움을 줌
- 자유화된 시장에서는 유연성 있는 방법으로 변화하는 경제환경에 적응하는 것이 중요
- 분산형 전원은 대용량 발전기에 비해 규모가 작고 건설기간이 짧기 때문에 여러 가지 경우에서 볼 때 유연성을 제공함
 - 건설기간 단축이 항상 그렇게 확실한 것이 아닐 수 있음
 - (풍력 및 태양력 발전소 건설에 대한 일반 대중의 저항 가능성)

대기용 전원 및 첨두부하용 전원



- 운전, 규모, 확장 등에 있어서 유연함
 - Module 형태로 용량 확장 가능
- 유럽에서는 열 사용, 신재생에너지 도입, 잠재적인 효율향상이라는 요인 때문에 분산형 전원에 대한 시장수요가 높아지고 있음
- 경쟁시장의 경우
 - 경쟁시장의 시간대 별 전력가격의 변화에 유연성 있게 대응할 수 있음
 - 시간대 별 수요에 따른 운전의 결정
 - 분산형 전원은 전력시장의 가격변동에 대해서 hedging으로서 작용

신뢰도와 전력품질 (1)



- 미국 내 분산형 전원의 수요
 - 서비스 품질 또는 신뢰도에 대한 고려가 하나의 요소임
- 전력시장이 자유화되면 소비자들은 신뢰도 높은 전력공급의 가치에 대해 더 비중을 둘 것임
- 유럽 국가에서 신뢰도 수준은 이미 매우 높음
 - 주로 엔지니어링 기준이 높기 때문
 - 소비자들은 공급중단을 큰 위험으로 느끼지 않기 때문에 실제로 큰 관심을 갖지 않음

신뢰도와 전력품질 (2)



- 신뢰성 있는 전력을 공급할 수 있는 분야가 가장 중요한 향후의 틈새시장으로 인식
- 전력공급중단에 대처하기 위한 방어시스템을 제공해 줄 수 있는 두 가지 기술 :
 - 분산형 전원
 - 상시전원공급시스템(UPS system)과 결합된 보완공급시스템
- 분산형 전원과 전력품질 사이의 관계는 애매함
 - 역으로 대규모로 분산형전원을 도입하면 전압변화형태의 불안정성을 초래할 수도 있음

- 송배전 설비투자에 대한 대안 또는 송배전 비용에 대한 측로(bypass)가 될 수 있음
 - 연료공급이 지역 별로 충분할 경우에만 가능함
 - 위치 선정이 잘 되면 계통 손실을 줄이는 데에도 도움이 됨
- on-site generation
 - 송배전설비를 회피함으로써 약 30% 정도의 전기생산비용의 절감 가능
- 계통운영의 관점
 - 송배전 설비에 대한 투자를 대체할 수 있음
 - One-way flow of power를 고려한 송배전망의 설계
 - 분산형 전원은 송배전 투자비 절감 가능

경제적 효율

- 가치 있는 자원 낭비 회피원칙
- 전력시장에서 분산형 전원이 효율적으로 진입할 수 있는 시장구조, 시장운영 및 가격에 달려있음
- 수직독점 사업에서의 분산형 전원
 - 독점사업자는 품질유지 서비스에 높은 가격 책정 가능
 - 분산형 전원의 발전량에 대하여 낮은 가격을 책정함으로써 분산형 전원을 확산하지 못하게 방해할 수도 있음

전력품질

- 계통 주파수
 - 전력수급의 불균형은 계통 주파수를 60Hz의 정격치에서 벗어나게 함
 - 분산형 발전기는 계통주파수를 유지하기 위한 계통운영자 및 규제기관의 노력에 무임승차할 수 있음.
- 전압수준
 - 배전계통망에 연결된 분산형 전원의 운전은 지역 별 전압수준의 변화에 영향을 끼칠 수 있음
 - 방사상 배전계통에서 전압 수준이 상승하는 것이 분산형 전원의 주요한 기술적인 접속문제로 지목됨

접속문제 (1)

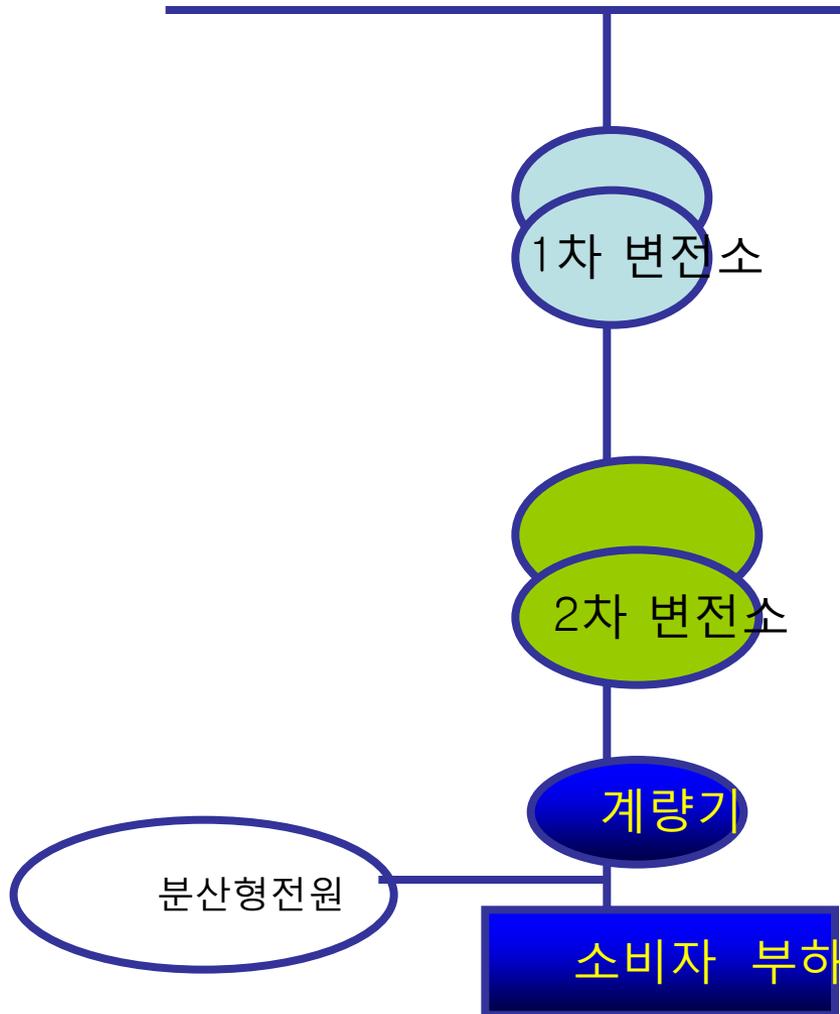
- 전력조류
 - 전력은 어떤 전압수준 내에서 양방향으로 흐를 수 있음
 - ✓ 일반적으로는 고압 수준에서 저압 수준으로, 예를 들어 송전망에서 배전망으로 흐르는 것처럼 한 방향으로 흐름
 - 분산형 발전기의 점유율이 높아지면 전력조류가 저압에서 중간전압계통으로 흐르게 될 수도 있음
- 양 전압수준에서의 다른 계통보호장치가 요구됨

접속문제 (2)

- 무효전력
 - 분산형 소규모 및 중간 규모의 분산형 발전기는 대부분 비동기 발전기(asynchronous generator)를 사용
 - 무효전력 공급 불능
 - 전력전자계통을 이용한 분산형 발전기는 때때로 무효 전력량의 일부를 생산하여 공급할 수도 있음
- 전력의 변환
 - 태양광, 연료전지와 같은 분산형 전원은 직류를 이용하여 전력을 생산함
 - 분산형 발전기는 고주파가 발생할 수도 있는 직류-교류 연계시스템을 통해 계통망에 접속됨.
 - 가변 주파수의 교류전압을 생산해 내는 시스템은 또한 특수한 기술이 필요함
 - 전력전자계통연계에는 실제적으로 관성이 없다는 단점이 있음

분산형 발전기의 접속

송전계통



- 송전계통에 연결된 분산형 전원도 분산형 전원이라고 정의하기도 함
- 분산형 전원은 배전 또는 전기사용자측 계량기를 통해 배전계통에 연결되고 있는 것으로 판단
- 분산형 전원이 부하에 근접해 있어야 한다는 생각은 통일됨
- 송전과 배전을 구분하는 ‘법적인’ 전압 수준이 지역마다 상이함
- 분산형 전원에 대한 의미를 정의할 때 전압수준을 기준으로 삼는 것은 바람직하지 못함
 - 배전계통(방사상 계통)과 송전계통(망의 형태)

발전용량

- 발전용량
 - 최대 발전용량수준에 대한 동의가 없었고 결론은 발전용량이 적절한 기준이 되지 않음
- 서비스의 종류
 - 분산형 전원으로 인식되기 위해서는 발전기가 적어도 유효전력 (active power)을 공급해야 함
 - 무효전력 및 기타 품질유지 서비스(ancillary service)도 공급될 수 있고 이것은 부가가치의 생산이라고 볼 수도 있지만 꼭 필요한 것은 아님
- 발전기술
 - 신재생 에너지분야에서 기술 및 용량의 이용 가능성이 국가 별로 다름
 - 발전기술로서 분산형 전원을 정의하기는 어려움

운전형태

- 운전형태
 - 운전형태(계획운전의 가능성, 풀(pool)가격에 의한 발전, 급전가능성 등)를 분산형 전원에 대한 중요한 정의의 기준으로 생각하지 않음
 - 분산형 발전기는 계통운영자의 통제 밖에 있다는 사실과 연결된다는 것임
- 전력공급지역
 - 분산형 전원은 같은 배전계통에서 생산되고 소비되는 전력으로 설명됨
- 소유형태
 - 소유의 형태를 분산형 전원에 대한 정의 기준으로 보지 않음
 - 전기사용자, 독립발전사업자 그리고 재래식 발전사업자가 분산형 발전기를 소유할 수 있음

요약 및 결론

- 분산형 전원의 정의에 대한 합의가 필요함
- 일반적으로 적용될 수 있는 분산형 전원을 가장 잘 정의한 것은 배전계통에 직접 연결되거나 소비자 계량기의 하부에 위치한 발전원임



신재생에너지



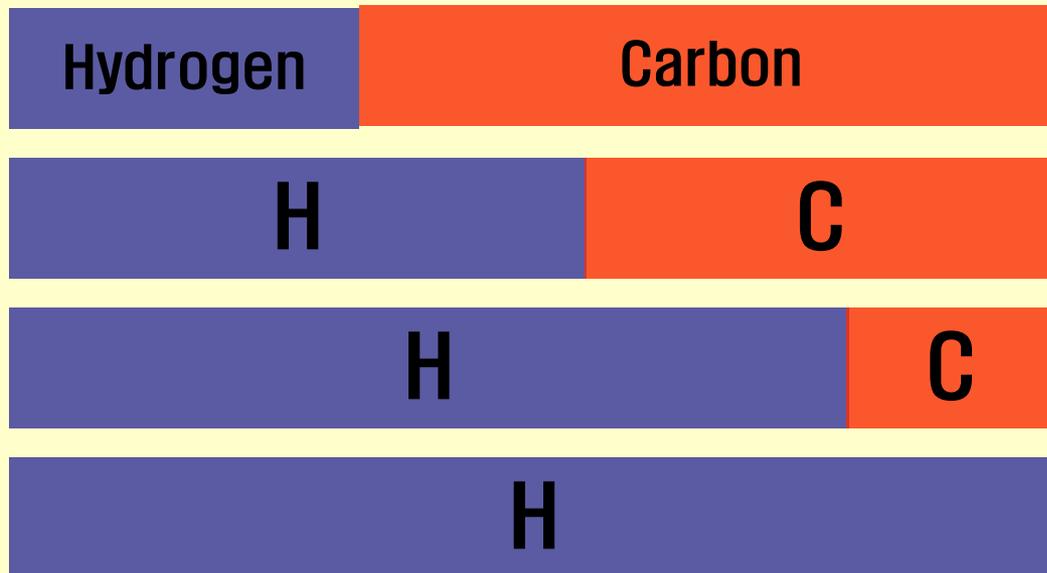
신·재생에너지의 정의 (신에너지및재생에너지개발·이용·보급촉진법)

- 신에너지 :
 - 기존의 에너지를 가스, 액체 연료로 변환하여 직접 또는 발전에 이용하는 새로운 에너지
 - 수소, 연료전지, 석탄액화·가스화
- 재생에너지 :
 - 자연에너지를 재생하여 새로운 에너지로 변환·이용하는 에너지
 - 태양에너지, 풍력, 바이오, 폐기물, 수력, 해양, 지열

인류의 에너지 사용추세



■ 연료 비교



연료 C/H 비

석탄 ~2

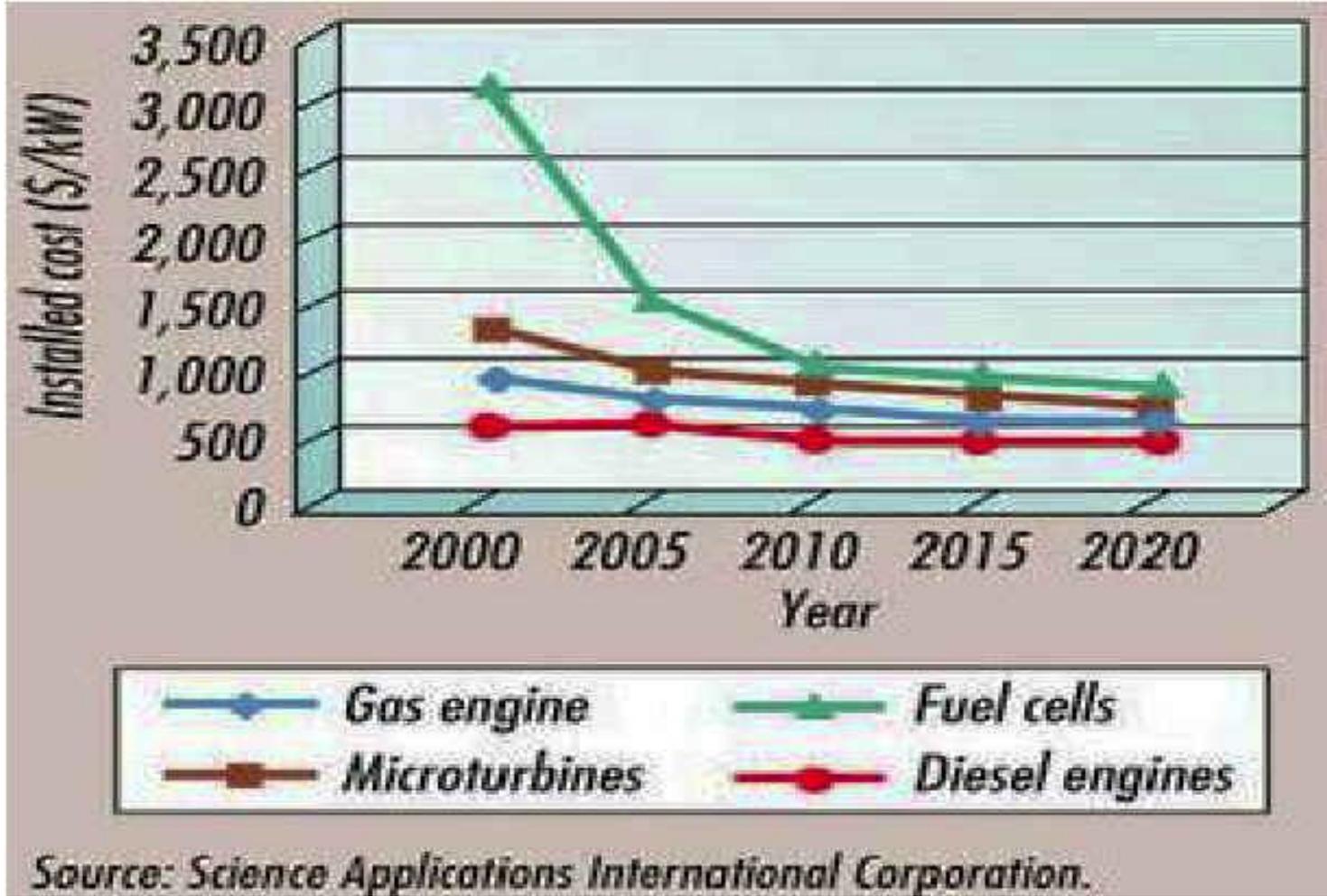
석유 ~0.45

천연가스 0.25

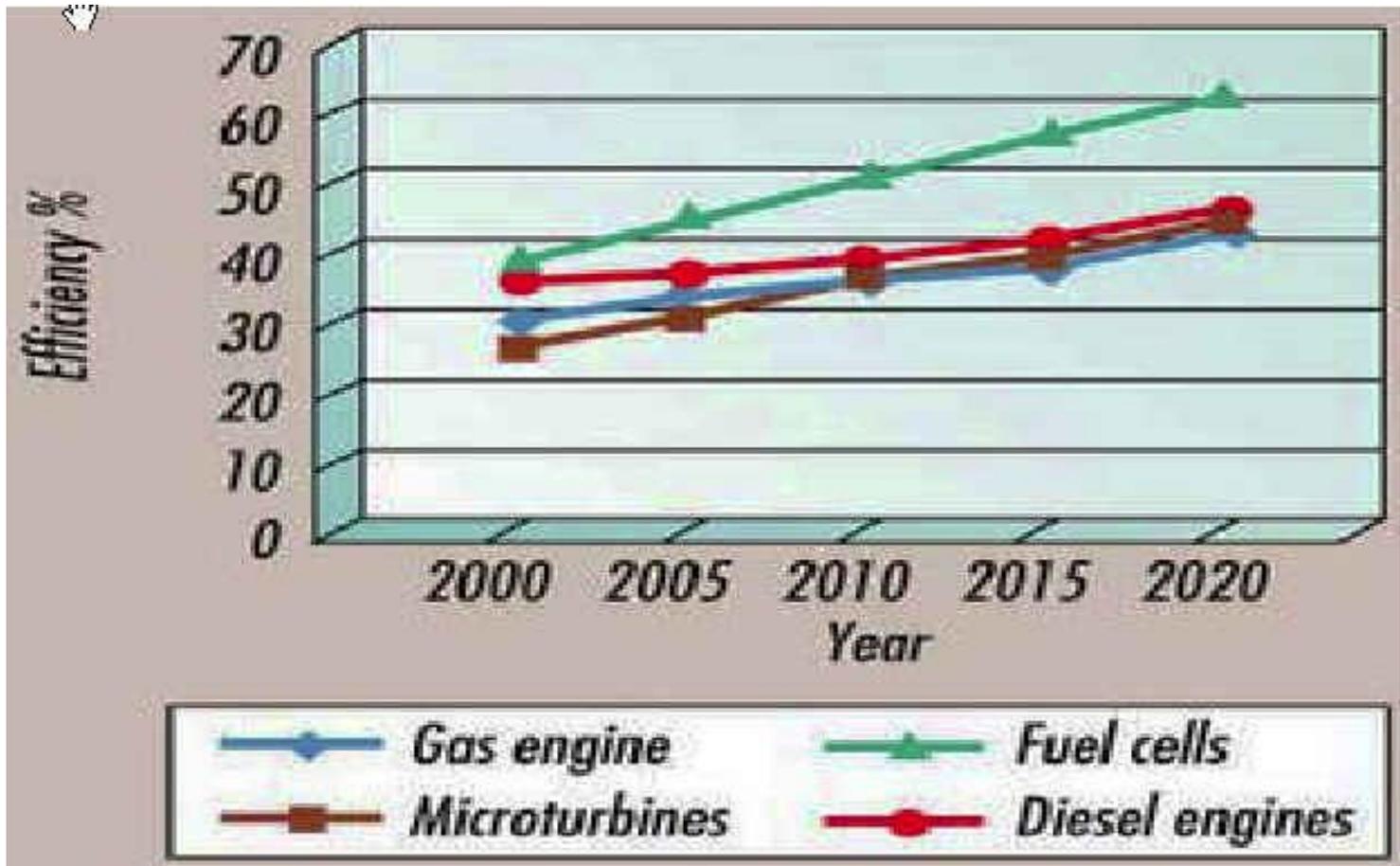
수소 0

■ 궁극적으로 탄소가 없는 H₂가 주 에너지원

신재생에너지 발전의 경쟁전망 (가격)



신재생에너지 발전의 경쟁전망 (효율)



Source: Science Applications International Corporation.



Intermittent generation

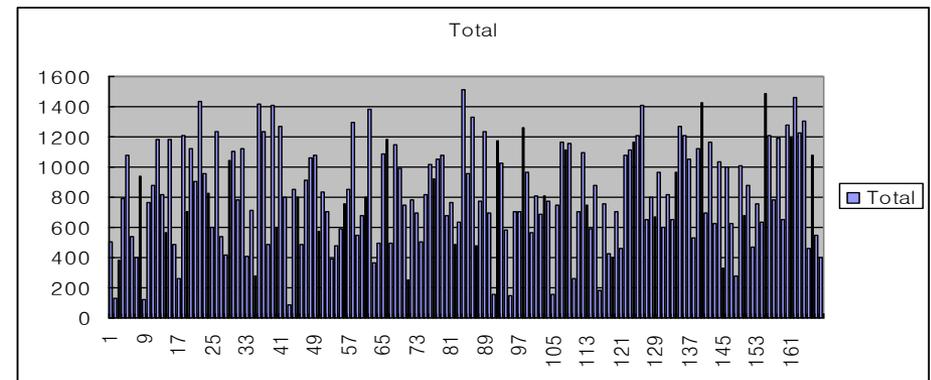
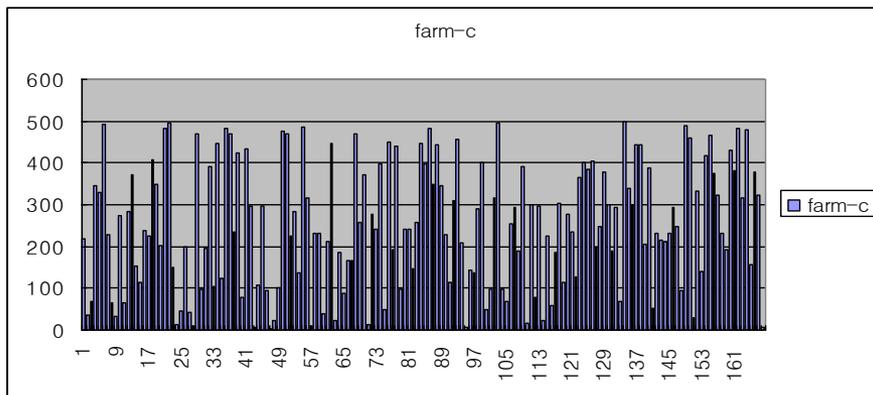
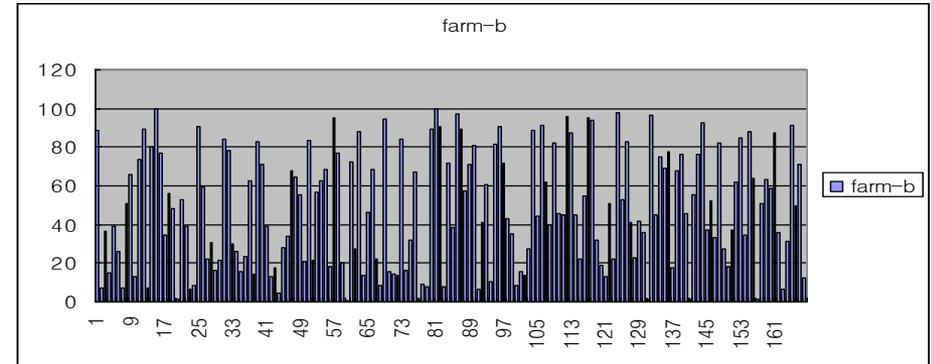
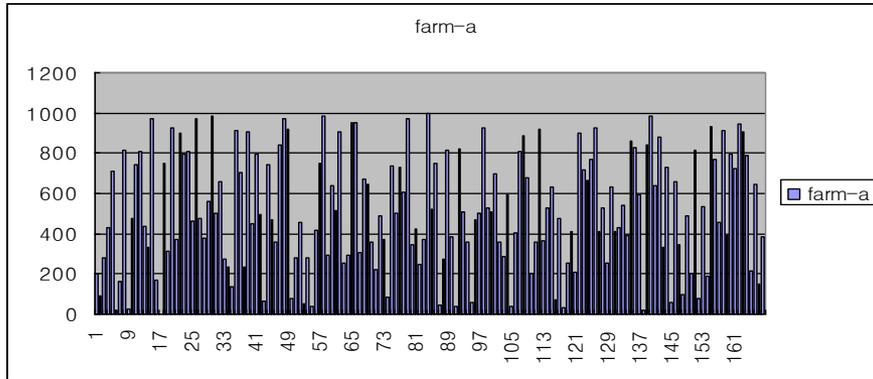


신재생에너지 발전과 regulating unit



- 풍력
 - 풍력의 변화로 인하여 풍력발전의 출력변화는 극히 가변적이고 예측이 어려움
 - 전력계통은 전력품질의 유지를 위해 **gas turbine**, 수력 등의 출력변화가 용이한 발전설비를 갖추어야 함
 - 풍력발전기의 수 또는 풍력단지의 갯수의 변화에 따라 출력변화의 **variance**가 변화
 - 전력계통은 **regulating unit** 필요
- 태양력 발전
 - 계절적 기후의 변화
 - 구름(**cloud coverage**)의 변화에 따른 출력변화
 - 하루 동안의 밤 낮의 변화 등
- 자연력에 의존한 발전기는 급전원이 필요할 때 가동하기 어려운 전원임
- 시간대별 출력 변화
 - **Dispatchable unit**의 고장정지(**forced outage**) 시에 활용하기 어려움.
 - 계통의 신뢰도 유지에 별로 도움이 안됨.

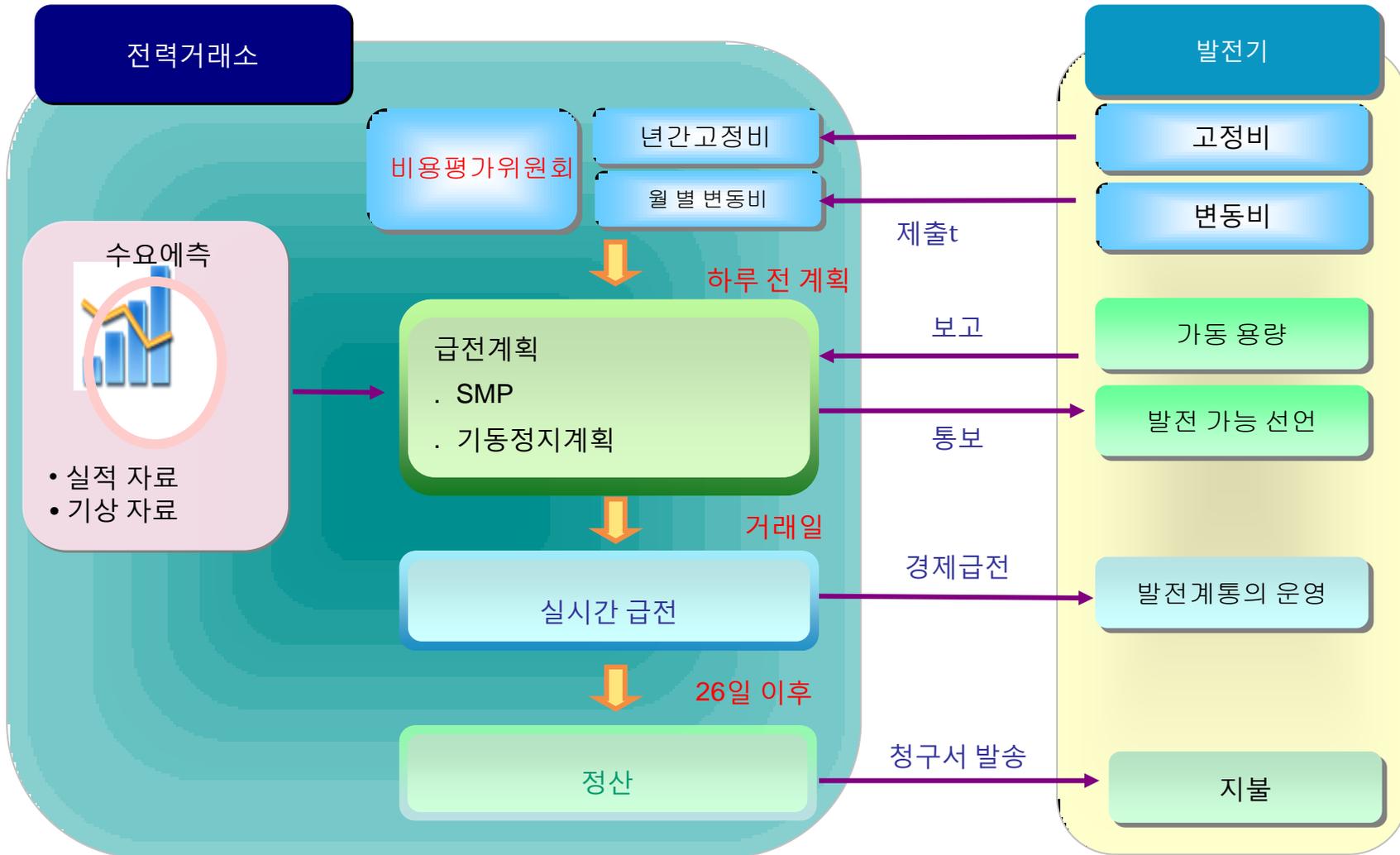
Wind Power Generation from a wind farm



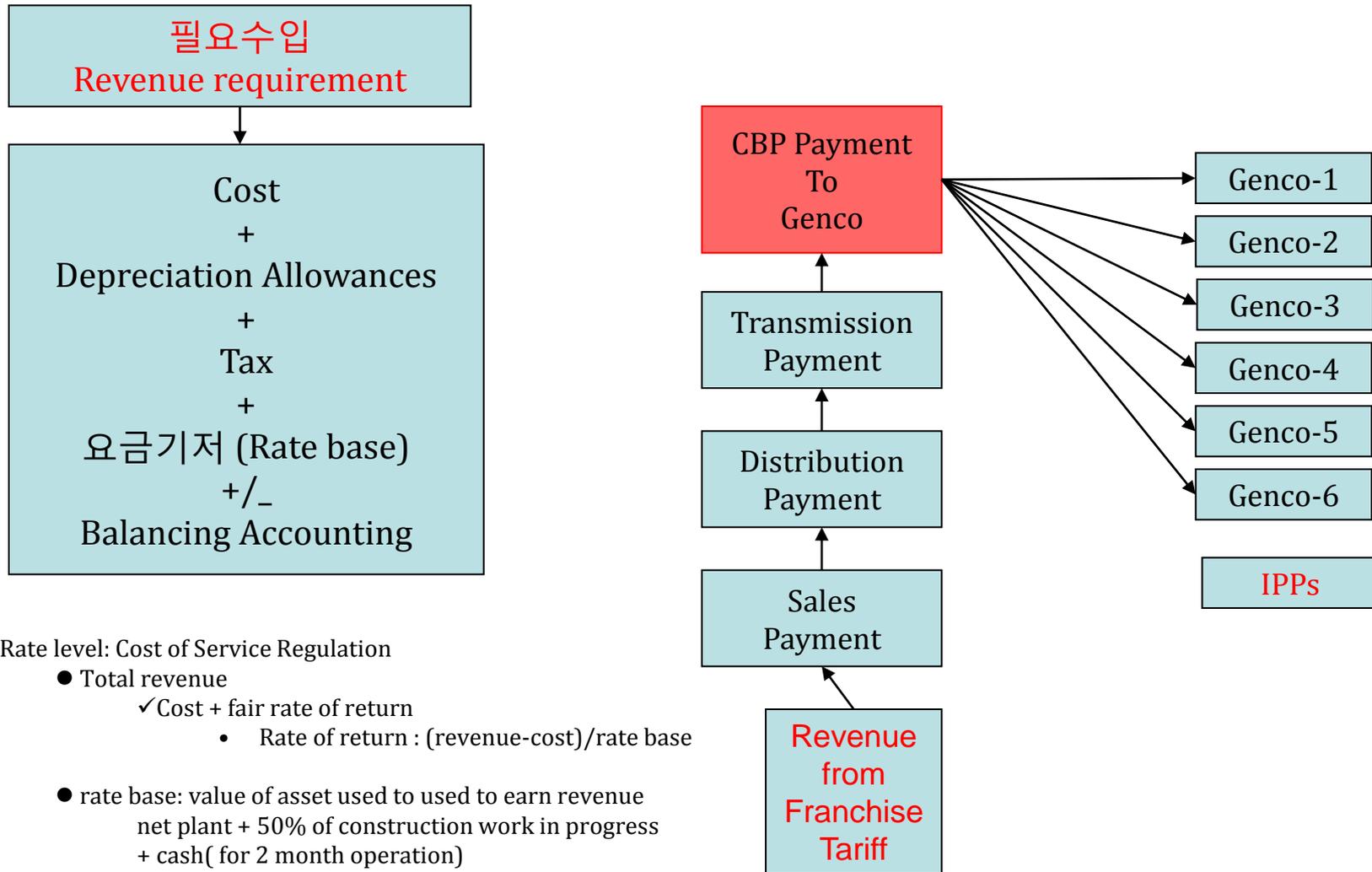
- 각 풍력단지 별 출력변동과 계통전체로 본 풍력 발전출력의 변화
- 총 풍력발전출력의 변화는 variance 감소함.
- 발전단지의 갯수에 따라 변화함

- Dispatchable unit와 NDT의 별도 취급 필요
 - Intermittent generation은 자연력의 변화로 인하여 운전 시뮬레이션에서 chronology의 유지 필요
 - Regulating power의 필요
 - 그렇지 않을 경우, 신뢰도의 계산오류 발생

CBP의 전력거래

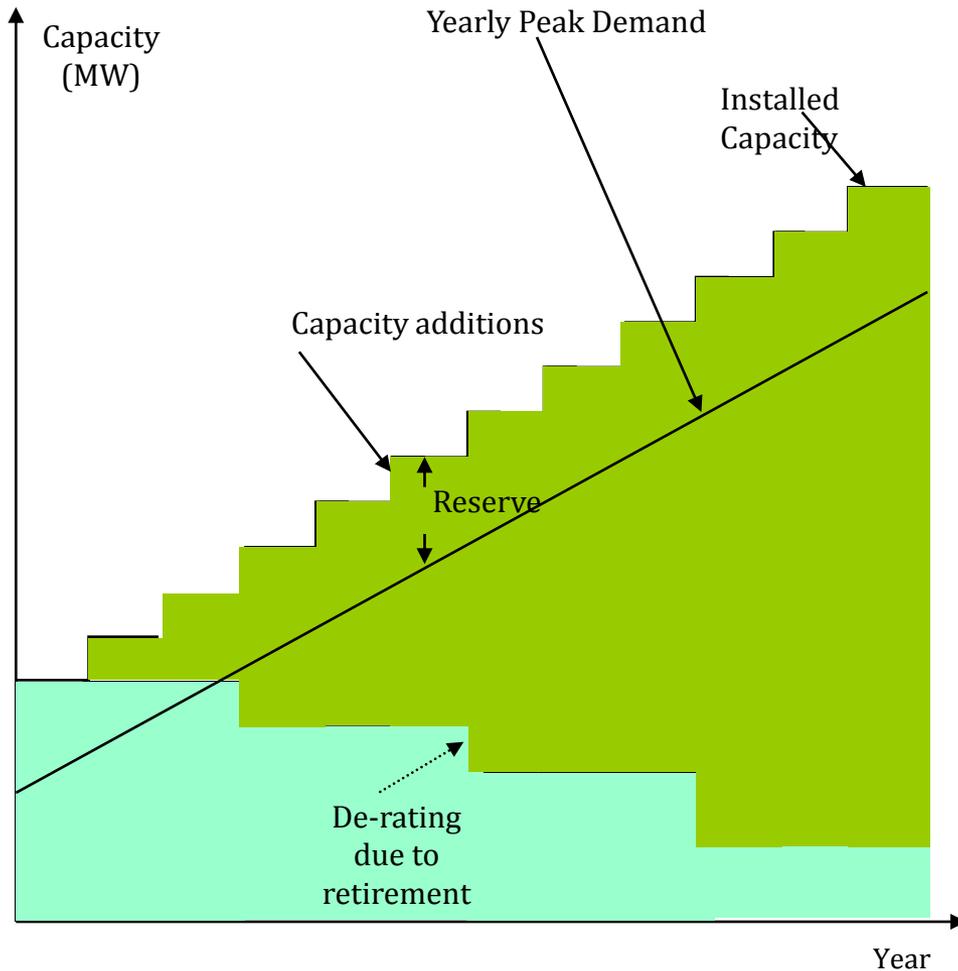


요금구조와 발전회사의 수입



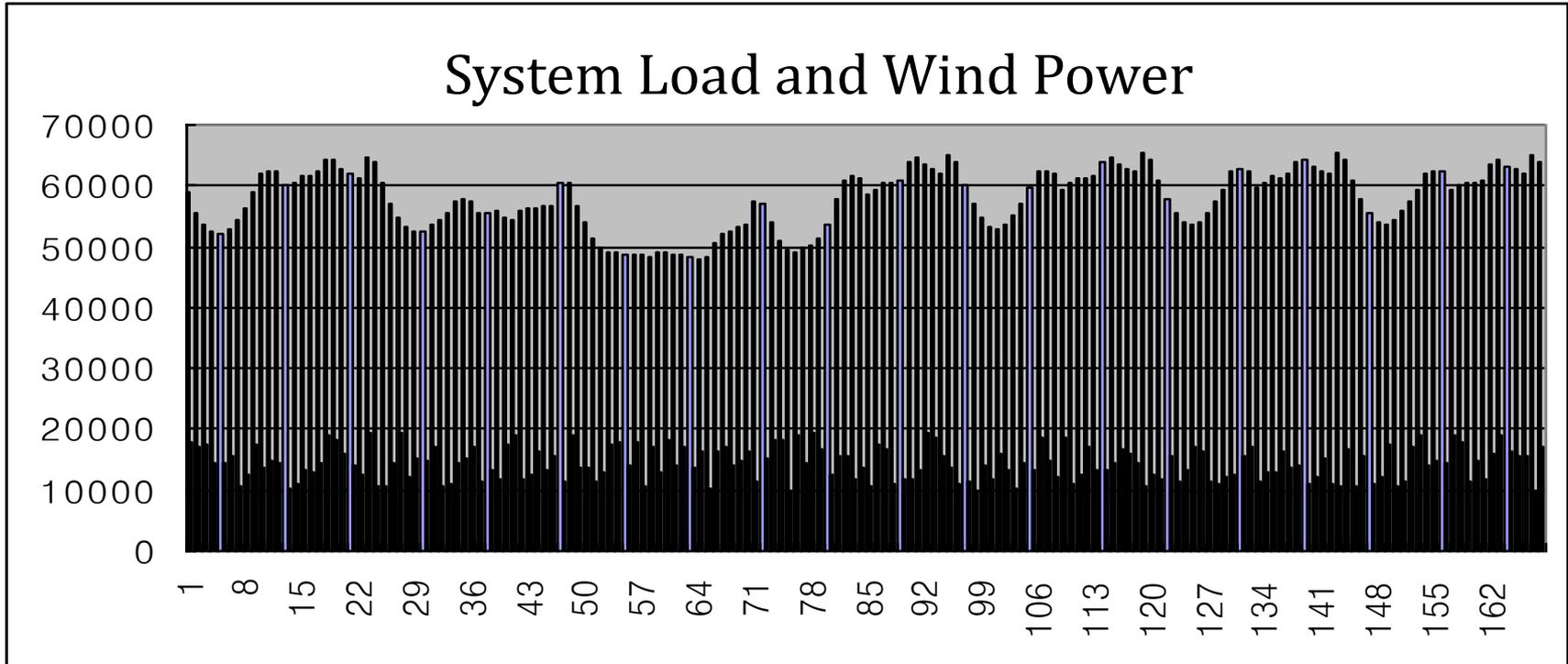
- Rate level: Cost of Service Regulation
 - Total revenue
 - ✓ Cost + fair rate of return
 - Rate of return : $(\text{revenue} - \text{cost}) / \text{rate base}$
 - rate base: value of asset used to used to earn revenue
net plant + 50% of construction work in progress
+ cash(for 2 month operation)
 - allowed rate of return: WACC (weighted average cost of capital)

전력수급계획



1. 수요예측
2. 기준계획안 (전력거래소)
 - ✓ 비용최소화(할인률, 현가)
 - ✓ 기타 제약 조건
3. 발전회사의 건설계획
 - ✓ 각 회사의 의사결정
 - ✓ 수급계획위원회 검토
4. 정부의 계획 확정
5. 급전불가능전원

계통 부하와 풍력발전 출력



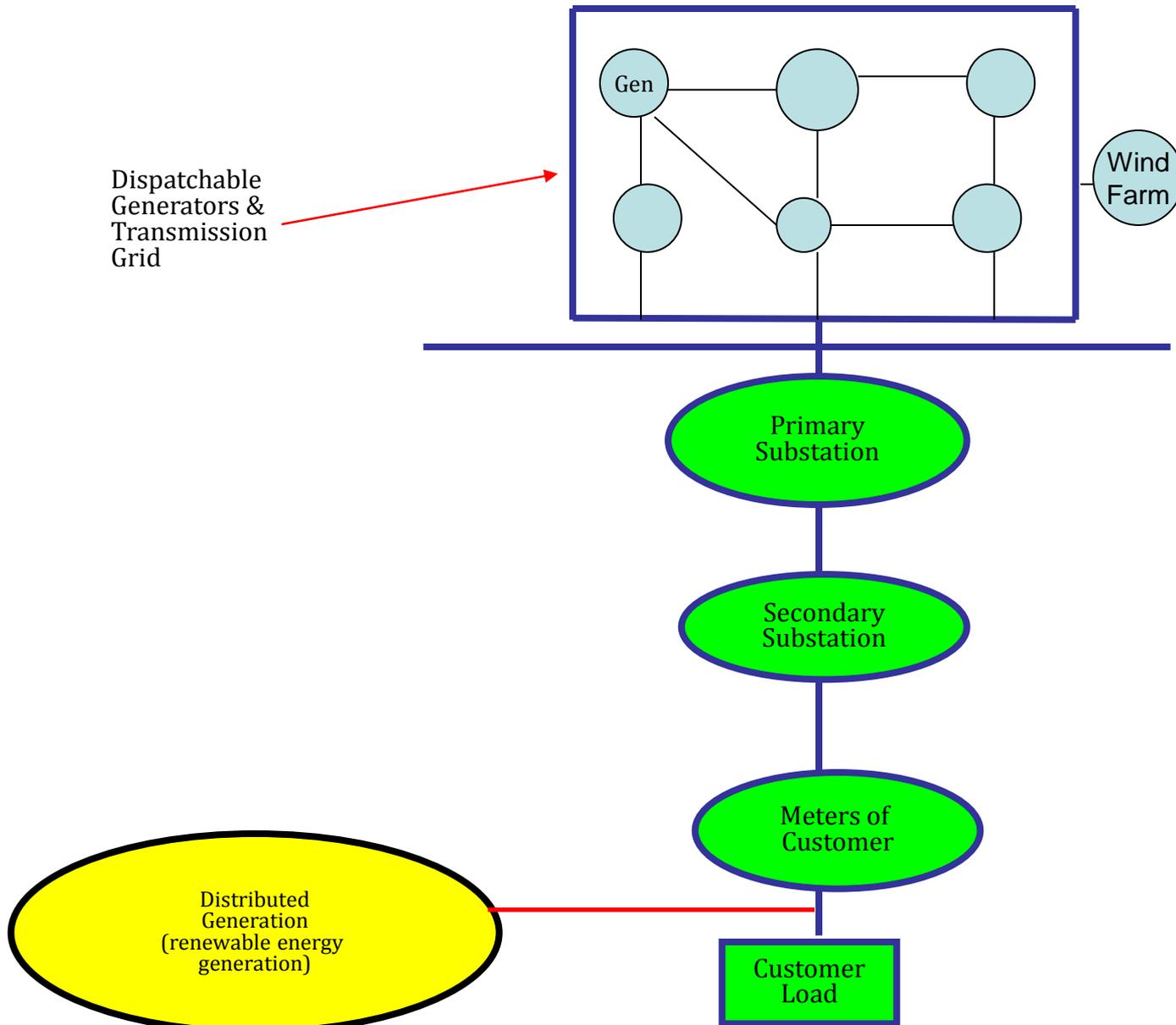
신재생에너지 발전의 시간대별 출력을 부하곡선에서 삭제 후
Dispatchable generator의 운전 시뮬레이션

신재생에너지 1



- Dispatchable Technology
 - 장기전력수급계획 수립: 전력거래소, 정부
 - 건설의 허가: 정부
 - 건설 및 운영: 발전사업자
- Nondispatchable technology
 - 투자 결정: 사업자, 개인 소비자
 - 건설 및 운영: 사업자, 및 개별 소비자

Connection to Grid - distributed generator



신재생에너지 발전의 경제성



- 비용: 투자비와 운전비 (Levelized Bus-bar cost)
- 혜택: 전기요금과 발전비용과의 차이, 또는 보조금
- 경제성 (일반 발전기의 발전단가 비교는 경우에 따라 다름)
 - Simple Payback Period
 - Net Present Value (할인률의 선택)
 - Internal Rate of Return
 - NPV and IRR with Fuel Escalation
- 전기요금
 - Standard Residential Rates
 - Residential Time-of-Use Rates
 - Demand Charges
 - Load Factor
 - Real Time Pricing
- Risk
 - Subsidy의 변동 (전력거래소의 구매가격의 변화)
 - 경쟁시장이 아닌 경우, subsidy 필요
 - 요금수준 및 구조의 변동

분산형 발전 구매 기준가격 (전력거래소)



전원	기준가격 (원/kWh)		비고	
태양광	484.52 (일반부지, 15년)		<30 kW	
풍력	107.29		>10 kW	
소수력	SMP + 15	86.04(일반1MW이상)	< 5 MW	
매립지 가스	SMP + 10	<20MW	74.99	<50 MW
	SMP + 5	20-50 MW	68.07	
폐기물 소각 (RDF포함)	SMP + 5		<20 MW	

- SMP : marginal plant의 변동비

Thank you for attention