

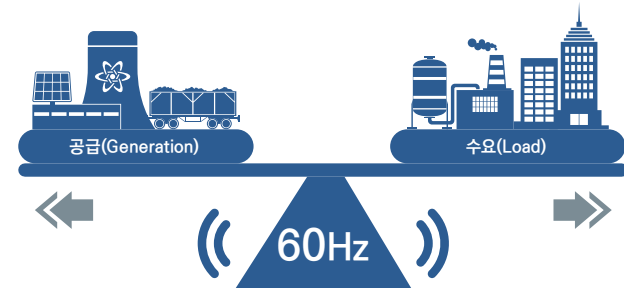
생산과 소비의 실시간 균형, 전력 품질을 결정하는 주파수 60Hz의 원리

전기는 생산되는 즉시 소비되어야 하는, 저장하기 까다로운 에너지다. 전력망 관리의 핵심은 이 '생산'과 '소비'의 균형을 실시간으로 맞추는 데 있다. 이를 이해하기 가장 쉬운 비유는 전력망을 거대한 '물통'으로, 전기의 품질인 주파수(60Hz)를 '물통의 수위'로 보는 것이다. 소비자가 전기를 쓰면 물이 빠져나가고, 발전소가 전기를 생산하면 물이 채워진다. 이 수위가 너무 높으면(공급 과잉) 발전 설비가 과열되어 고장 나고, 반대로 너무 낮으면(공급 부족) 대규모 정전(Blackout)이 발생한다. 따라서 전력거래소와 같은 계통 운영자는 1년 365일, 이 수위를 60Hz라는 기준선에 정확히 맞춰야 한다.

그런데 에너지믹스의 변화로 인해 이 수위 조절이 점점 어려워지고 있다. 원자력이나 석탄화력은 수도꼭지를 일정하게 틀어놓은 것처럼 공급량이 안정적이다. 반면, 태양광이나 풍력 같은 재생에너지는 날씨에 따라 공급량이 크게 변화한다. 예컨대 태양광은 구름이 지나가면 발전량이 급감하고, 맑은 날에는 폭발적으로 늘어나 변동 폭이 40%에 달하기도 한다. 예측하기 어려운 양의 물줄기가 물통에 무작위로 쏟아지면 수위를 정확하게 유지하기 어렵듯, 재생에너지의 증가는 전력망의 주파수 유지의 난이도를 높인다.

이 흔들리는 물통의 수위를 일정하게 유지하는 능력을 우리는 '유연성(Flexibility)'이라 부른다. 갑자기 물이 넘치거나 부족할 때 10~30초 만에 가동해 균형을 맞추는 예비발전기, 남은 물을 잠시 담아두는 에너지저장장치(ESS), 그리고 물이 빠져나가는 구멍의 크기를 조절하는 수요반응(DR) 등이 바로 그 유연성 자원이다. 재생에너지 비중이 높아질수록 이 유연성 자원을 얼마나 확보하느냐가 전력 안보의 핵심 과제가 된다.

주파수와 전력 공급의 시소(Seesaw)



전력망 운영은 무게(전력량)가 계속 변하는 시소의 균형을 잡는 것과 같다. 공급이 수요보다 많으면(왼쪽이 무거우면) 주파수가 상승하고, 수요가 공급보다 많으면(오른쪽이 무거우면) 주파수가 하락한다. 이 균형이 깨지는 순간이 바로 정전(Blackout)이다.

유연성 자원의 대응 속도 비교



핵심용어

주파수(Frequency)

전력계통의 심장 박동과 같다. 한국의 표준은 60Hz다. 수요와 공급이 일치하면 60Hz가 유지되지만, 공급이 많으면 주파수가 오르고(+), 부족하면 떨어진다(-). ±0.2Hz 이상의 오차가 발생하면 발전기가 손상을 입거나 전력망 붕괴 위험이 커진다.

변동성(Variability)

태양광, 풍력 등 재생에너지가 날씨나 시간대에 따라 발전량이 불규칙하게 변하는 특성이다. 태양광은 구름 유무에 따라 약 40%, 풍력은 바람 세기에 따라 약 25%의 변동 폭을 가진다.

수요반응(DR, Demand Response)

전력이 부족하거나 남을 때, 발전소를 더 짓거나 가동하는 대신 소비자가 전기 사용량을 줄이거나 늘려서 수급 균형을 맞추는 제도다. 아기는 전기를 발전소처럼 활용한다는 의미에서 '가상발전소(VPP)'의 핵심 요소이기도 하다.

유연성 자원(Flexibility Resources)

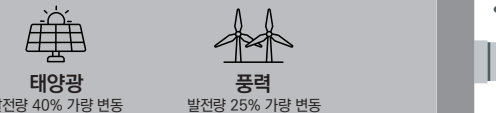
재생에너지의 변동성에 대응해 전력망의 균형을 잡아주는 설비들이다. 빠르게 출력을 조절하는 가스발전기, 전기를 저장하는 ESS, 수요를 조절하는 DR 등이 포함된다.

속응성 발전기 (가스/양수): 필요할 때 수분 내에 가동하여 부족한 전력을 채운다.

공급량을 일정하게 유지할 수 있는 전력



공급량을 예상하기 어려운 전력



재생에너지의 딜레마

변동성 원자력과 석탄은 일정한 양의 전기를 안정적으로 공급한다. 하지만 태양광과 풍력은 날씨에 따라 발전량이 널널하다. 구름이 지나가면 순간적으로 발전량이 40% 이상 급락하기도 한다. 이렇게 불규칙하게 쏟아지는 물줄기는 물통의 수위(주파수)를 요동치게 만든다.

예비발전기

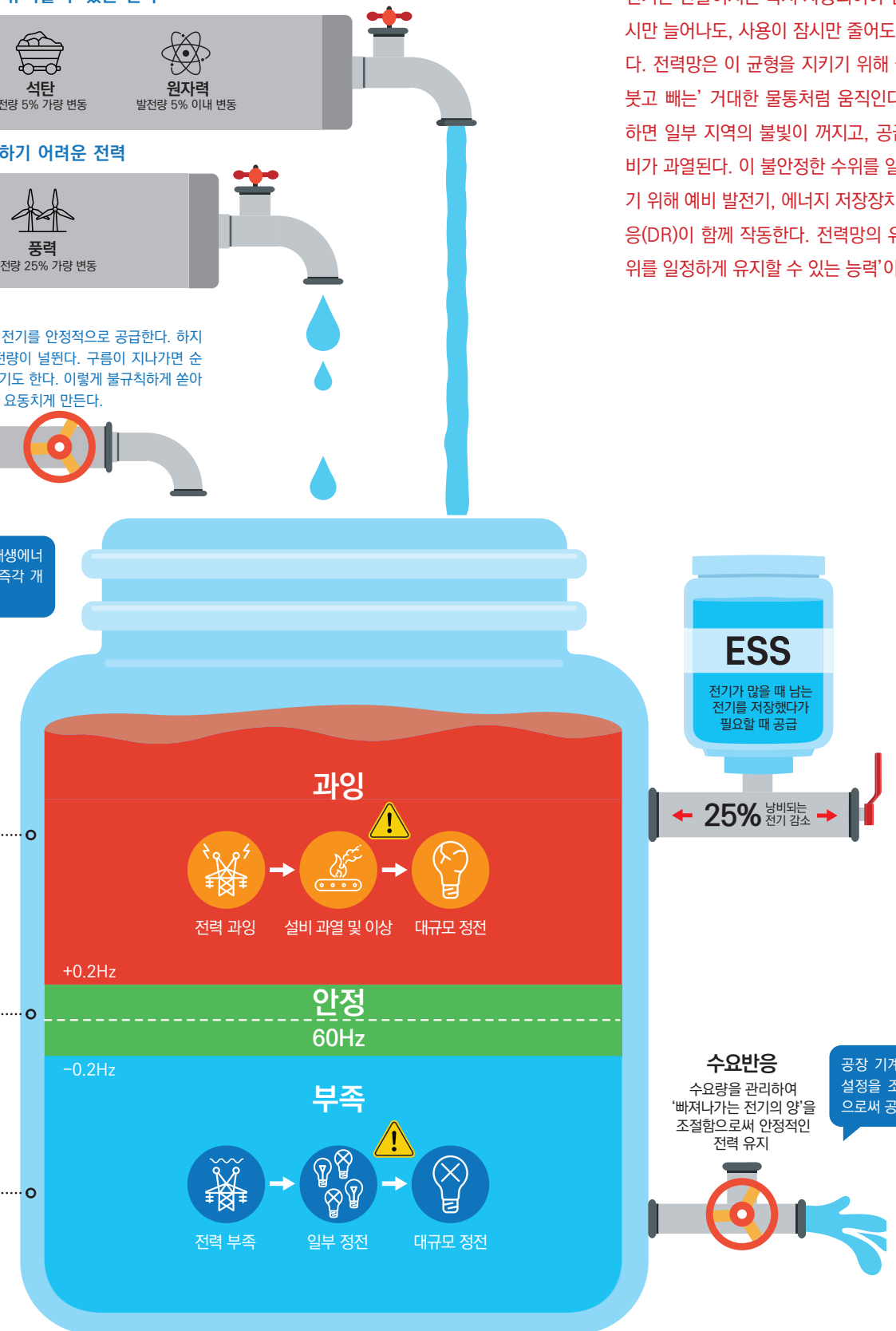
가동 시작해서 전력을 공급하는 데 10~30초 소요되어 급격한 변화에 대응하는 비상 발전

전력망의 구원투수: 유연성 자원 재생에너지로 인해 수위가 불안정해질 때, 즉각 개입하여 균형을 맞추는 설비들이다.

수위가 변하면 무슨 일이 생기나?
▲ 과잉: 물이 넘치는 상황이다. 발전기가 과속으로 회전하여 과열된다. 설비 보호를 위해 발전소가 강제로 멈추게 되며, 이는 전력망 전체 붕괴로 이어질 수 있다.

전력망의 목표
60Hz 사수 전력망은 물통과 같다. 발전소에서 만든 전기가 들어오고(입수), 소비자가 전기를 쓰면 빠져나간다(출수). 이 들어오고 나가는 양이 정확히 일치할 때 전기의 품질인 주파수 60Hz가 유지된다. 이 균형이 깨지면 전자기기가 고장 나거나 정전이 발생한다.

수위가 변하면 무슨 일이 생기나?
▼ 부족: 물이 부족해 바닥이 드러나는 상황이다. 발전기 회전이 느려진다. 주파수 회복을 위해 공장이나 가정의 전기를 강제로 끄는 비상 조치(순환 단전)가 시행된다.



+ 이 그림은 전력망의 균형 개념을 이해하기 위한 비유적 표현입니다.

전기는 만들어지는 즉시 사용되어야 한다. 발전이 잠시만 늘어나도, 사용이 잠시만 줄어도 균형이 흔들린다. 전력망은 이 균형을 지키기 위해 끊임없이 '물을 붓고 빼는' 거대한 물통처럼 움직인다. 공급이 부족하면 일부 지역의 불빛이 꺼지고, 공급이 과하면 설비가 과열된다. 이 불안정한 수위를 일정하게 유지하기 위해 예비발전기, 에너지 저장장치(ESS), 수요반응(DR)이 함께 작동한다. 전력망의 유연성은 곧 '수위를 일정하게 유지할 수 있는 능력'이다.

수요반응: 수요량을 관리하여 '빠져나가는 전기의 양'을 조절함으로써 안정적인 전력 유지
공장 기계를 잠시 끄거나 에어컨 설정을 조절하여, 소비량을 줄임으로써 공급 부족을 해결한다.