피크타임 때 잉여 전력 재활용… 전력망 응급실 '양수발전'

⑪ 한국수력원자력

한국수력원자력㈜

인공지능(AI)의 전면적인 확산과 반도체 등 첨단산업 육성으로 전력수요가 가파르게 치솟는 가운데, 한국수력원자력의 역할이 원자력발전소 운영을 넘어 전력계통 안정성을 전방위로 책임지는 방향으로 진화하고 있다. 전력 생산량을 단순히 늘리는 것만큼이나, 급변하는 수요와 공급의 균형을 실시간으로 유지하는 일이 국가 에너지 경쟁력을 좌우하는 핵심 과제로 부상했기 때문이다. 특히 무탄소 재생에너지 발전 비중이 가속화되면서 전력 공급의 변동성을 유연하게 흡수하는 양수발전과 수력발전의 전략적 가치가 재조명받고 있다.

국내 최대 발전공기업인 한수원은 원전뿐 아니라 수력·양수·태양광 등 다양한 발전원을 아울러 운영하고 있다. 이 가운데 전력망의 '응급실'로 불리는 양수발전은 전력수요가 폭증하는 시대에 한수원의 역할 변화를 상징하는 핵심 설비다. 전력이 남을 때는 이를 흡수하고 부족할 때는 수분 만에 신속하게 공급하는 전력망의 안전판 역할을 톡톡히 해내고 있다.

전력 안정 공급, 수급 변동 방어하는 '계통 유연성'에 국가 경쟁력 달려

양수발전, 양방향 기능으로 균형

전국 7곳 16기 양수발전기 운영

전체 설비용량 약 4700㎿ 규모

전력 즉각 투입, 잉여 전력 흡수 가능

1980년부터 축적한 노하우 보유

AI로 예측진단·설비관리 고도화



자료/한국수력원자력

◆ 전력수요 폭증 시대, 발전량 확대만큼 시급한 '계통 유연성'

대한민국 에너지 시장은 AI 데이터센터(AIDC)와 첨단 클러스터 조성으로 인한 대규모 전력수요 급증, 그리고 탄소중립에 따른 재생에너지 확대라는 두 가지 거대한 파고와 직면해 있다.

이러한 변화는 실무적으로 전력계통 운영에 거대한 도전 과제를 던진다. AI 인프라와 첨단 반도체 라인은 단 1초의 전력 중단이나 주파수 흔들림조차 용납하지 않는 절대적인 안정성을 요구하기 때문이다. 즉, 단순히 발전소를 더 많이 짓는 것뿐 아니라 생산된 전력을 필요한 시점에 오차 없이 공급하고 급격한 수급 변동을 방어할 수 있는 '계통 유연성'이 국가 경쟁력의 척도가 된다.

원전이 흔들림 없는 대규모 기저부하를 책임진다면, 시시각각 요동치는 수급의 균형추 역할을 하는 것은 단연 양수발전이다. 전력이 과잉일 때는 흡수하고 부족할 때는 수분 내에 출력을 최대치로 끌어올리는 양방향 기능은 전력망 붕괴를 막는 최후의 보루다.

◆ 재생에너지의 명암과 양수발전의 작동 메커니즘

양수발전은 전력 공급이 수요를 초과할 때 하부저수지의 물을 상부저수지로 끌어올려(양수) 저장하고, 반대로 전력이 부족할 때는 상부저수지의 낙차를 활용해 전기를 생산(발전)하는 방식이다. 화학적 배터리와 달리, 물의 위치에너지를 활용해 대규모로 전기를 저장하고 공급하는 일종의 거대한 에너지저장장치(ESS)인 셈이다.

현재 국내에는 청평·삼랑진·양양·예천 등 전국 7곳에 16기의 양수발전기가 운영되고 있다. 전체 설비용량은 약 4700㎿로 원전 4~5기에 해당하는 규모다. 단순한 발전량 확보를 넘어, 전력계통의 위기 상황이나 변동에 맞춰 즉각적으로 출력을 조절할 수 있다는 점에서 대체불가한 가치를 지닌다.

태양광과 풍력 등 재생에너지는 기상 조건에 따라 발전량이 극심하게 출렁인다. 맑은 날 낮에는 태양광 발전이 폭증해 공급 과잉이 발생하고, 해가 지면 급감하는 식이다. 다른 발전원들이 가동을 준비하는 데 시간이 걸리는 반면, 양수발전은 수분 내로 전력을 즉각 투입하거나 잉여 전력을 흡수할 수 있다. 폭염 속 냉방 수요 폭발이나 기상 급변 상황에서 양수발전이 전력망의 방어선 역할을 완벽히 수행하는 이유다.

◆ 잉여전력의 공포와 2025년 스페인·포르투갈 정전 사태의 교훈

양수발전의 진면모는 재생에너지 보급이 확대될수록 더욱 선명해진다. 태양광 발전이 전력수요의 상당 부분을 차지하는 시간대에는 발전량이 많아도 이를 소비하거나 받아줄 그릇이 부족하면 계통 운영에 거대한 부담이 가중된다.

국내에서도 태양광 보급이 늘어나면서 공장과 기업 가동이 줄어드는 봄철 주말이나 명절 연휴마다 잉여전력 문제가 뜨거운 감자로 떠오르고 있다. 실제로 지난 2025년 5월 1일 정오 무렵에는 태양광 발전이 전체 전력수요의 50%를 홀로 담당하는 진풍경이 벌어지기도 했다.

계통 수용 범위를 넘어서는 잉여전력은 결국 발전량 강제 감축(출력제어)으로 이어진다. 이때 양수발전이 남아도는 전력을 하부에서 상부로 끌어올려 저장하는 '스펀지' 역할을 수행하며, 버려질 뻔한 재생에너지를 저녁·밤 시간대 피크타임의 전력수요에 재활용할 수 있도록 돕는다.

앞서 2025년 4월 유럽의 스페인과 포르투갈 전역을 강타했던 대규모 정전 사태는 재생에너지 중심의 전환기에서 계통 유연성 확보가 얼마나 절체절명의 과제인지 경고한 대표적 사건이었다. 양수발전은 단순 보조 전원을 넘어, 에너지 대전환 시대의 필수적인 안전판이다.

◆ 30년 운전 노하우와 설비 고도화… 신뢰성 확보가 관건

이처럼 양수발전의 현장 활용도가 높아질수록 설비 운영과 유지관리의 중요성도 함께 높아진다. 기저부하를 우직하게 담당하는 원전과 달리, 양수발전은 계통 상황에 따라 하루에도 수차례 가동과 정지를 반복해야 한다. 잦은 운전 전환은 설비 피로도를 높이고 부품 수명이나 정비 주기에 직접적인 영향을 미친다.

국내 최초인 청평양수발전소(1980년 준공)를 비롯해 예천양수발전소(2012년 준공)에 이르기까지, 한수원은 수십 년간 축적해 온 방대한 운전 노하우를 보유하고 있다. 나아가 한수원은 이러한 경험 자산에 인공지능(AI) 기반 예측진단 기술과 디지털 기반 설비관리 체계를 전면 접목하여 관리 수준을 고도화하고 있다.

전력계통 이상 상황에 즉각 반응해야 하는 특성상, 사전에 고장 징후를 포착하고 정비 효율을 극대화하는 기술력은 양수발전 신뢰성의 핵심이다. 결국 AI·첨단 산업 시대의 안정적인 전력망은 어느 한 가지 발전원만으로 지탱될 수 없다. 대규모 기저부하를 책임지는 '원전'과, 시시각각 변하는 계통 변동성을 방어하고 잉여 전력을 수용하는 '양수·수력발전'이 유기적으로 맞물려야만 비로소 탄탄한 국가 에너지 생태계가 완성된다.

한수원 관계자는 "첨단 산업 확대와 무탄소 전원 전환 속에서 양수발전의 안정적 운영은 선택이 아닌 필수"라며 "올 겨울 전력공급에 충실함은 물론 안정적인 전력계통 유지를 위해 양수발전소가 만반의 준비태세를 갖출 것"이라고 밝혔다.



한국수력원자력 본사 사옥 전경.


예천양수발전소 상부지 항공사진.



한국수력원자력이 지난 3월 자체 개발한 상태감시 및 자동예측진단 시스템 에이치-에이아이엠디(H-AIMD, Hydro-Artificial Intelligence Monitoring&Diagnosis)를 예천양수발전소에 성공적으로 적용했다. /한수원

/세종=한용수 기자
hys@metroseoul.co.kr