

renewableenergyfollowers.org

양수발전, 미래의 재생 에너지로 자리 잡을 수 있을까?

S.F. 단장 장의성

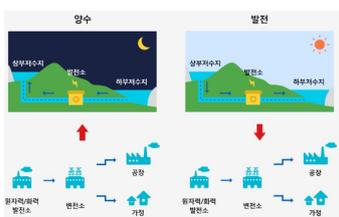
12~15분

양수발전, 미래의 재생 에너지로 자리 잡을 수 있을까?

대학생신재생에너지기자단 23기 김용대, 24기 김하은, 이지혜, 25기 김나연, 송현승

[양수발전이란?]

양수발전은 수력발전의 한 형태로 신재생 에너지계의 천연 배터리라는 별명을 갖고 있다. 전기가 남을 때 전기를 저장할 수 있는 양수발전 기술 덕분에 천연 배터리라고 불리게 된 것이다. 양수발전은 심야 전력수요가 적을 때의 값싼 전력을 이용하는 방식으로 하부댐의 물을 상부댐에 양수하여 전력수요가 급증하는 시기에 전력을 공급한다. 따라서 전력 계통상의 전력 수요량의 일부를 담당하여 전체적인 발전효율을 향상하고, 경제적인 전력 계통의 운용 효율을 높인다. 발전 부분은 수력발전의 일종으로 상부저수지의 저장했던 물을 하부저수지로 낙하시켜 전력을 생산해 전력 계통에 공급하며, 기동성이 타 에너지원의 발전설비보다 상대적으로 우수하다. 따라서 전력 계통의 돌발적인 사고 등에 대처가 가능하므로 국가 전력 수급상의 신뢰도 제고 및 양질의 전력공급에 중요한 역할을 담당한다. 양수발전은 이러한 양수와 발전을 반복해 전력을 생산하는 방식이다.

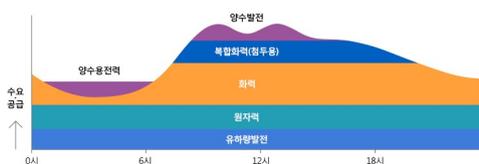


[자료 1. 양수발전의 과정]

출처: [한국수력원자력](#)

[양수발전의 두 얼굴]

장점 1. 전력망의 기동타격대, 양수발전



[자료 2. 시간별 양수발전 그래프]

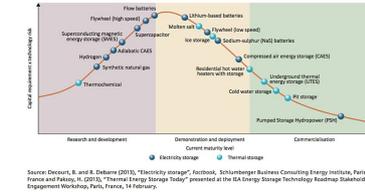
출처: [한국수력원자력](#)

양수발전의 가장 큰 장점은 남은 전력을 저장하는 ESS의 역할을 한다는 점이다. 양수발전은 잉여 전력을 위치에너지를 변환하여 저장해두었다가, 전력 수요가 최대에 이르는 낮 시간대에 발전하여 전력을 공급한다. 이때 짧은 시간 안에 전력이 발전되기 때문에 급박한 전기 수요에 대응할 수 있어 전력 계통 안정도에 기여한다. 실제로 양수발전은 9.15 순환 정전 사태 당시 비상 전원의 임무를 해낸 바 있다.

9.15 순환 정전 사태란 2011년 9월 15일, 이상 기후로 인해 무더위가 지속되자 오전 8시부터 급증한 전력 수요를 예비전력으로도 감당하지 못하게 됐고, 대규모 정전 사태를 막기 위해 일부 지역에 강제 순환 정전을 한 사건이다. 이때 대기 중이던 한수원의 모든 양수발전소가 자체기동 발전을 통해 3분 안에 최대 전력을 생산해 순환 정전의 범위를 최소화할 수 있었다.

이처럼 기동타격대로서의 역할을 하는 양수발전은 항상 일정한 전력을 생산해야 하는 기저 발전원과 연계해 개발됐으며, 그중에서도 특히나 원자력 발전과의 연계가 가장 고평가된다. 최근에는 제주, 호남 등 신재생 에너지 설치율이 높은 지역에서 잉여 전력 문제와 정전 사태의 불안감이 증폭되고 있는 가운데, 그 해결책으로 양수발전이 주목받고 있다. 신재생 발전원 중에서도 풍력 발전과의 연계 기술이 활발히 연구되고 있다. 이처럼 양수발전은 출력 변동에 적극 대처하면서 전력 계통의 전압과 주파수를 조절해 고품질의 전력을 공급하는 역할을 한다. 동시에 기기의 수명 단축, 효율 저하 등을 보완하고 발전원의 열효율과 이용률 향상에 기여한다.

장점 2. 양수발전의 설비 경제성



[자료 3. ESS 종류별 기술성숙도]

출처: [hydraulic storage: advantages and constraints](#)

양수발전은 경제성 측면에서도 이점을 갖는다. 양수발전의 총 발전 효율과 에너지 저장 용량은 각각 70~85%, 500 MWh ~8,000 MWh로 효율이 높고 에너지 저장 용량이 넓은 범위에 분포한다. 이는 곧 양수발전이 용도와 규모에 따라 유연하게 설계 및 사용될 수 있음을 의미한다. 특히 [자료 3]의 오른쪽 부분에서 볼 수 있듯이, 양수발전은 ESS 기술이 요구하는 자본의 양과 기술 위험도가 낮아 가장 성숙한 에너지 저장 기술이다. 이 밖에도 양수발전은 40~60년이라는 긴 시스템 수명을 갖고 있으며 초기 건설 이후 추가적인 비용 지출이 적어 150\$/MWh ~200\$/MWh의 *균등화 비용(LCOE)을 갖는데, 이는 다른 모든 전기에너지 저장 시설에 비해 낮은 수치이다.

전 세계적으로 에너지 전환이 빠르게 이루어지는 가운데, 우리나라는 신재생에너지 도입에 불리한 전력망 체계를 가지고 있어 에너지 저장 기술이 매우 중요하다. 이런 상황 속에서 훌륭한 기동시간과 경제성을 가진 양수발전이 국내 에너지 저장 설비로서 재평가될 것이라 기대한다.

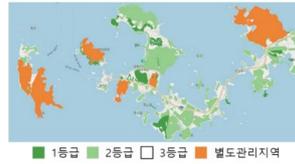
*균등화 비용(LCOE, Levelized Cost Of Energy): 건설부터 폐기까지 설비의 전 수명 주기에 걸쳐 집계한 총비용

양수발전이 가져오는 전력 생산 과정에서의 이점은 충분히 입증됐지만, 양수 발전기의 설치와 양수발전 이용을 반대하는 의견은 여전히 존재한다. 양수발전이 환경 파괴를 유발하고 경제 성장에 도움이 되지 않는다는 것이다. 양수 발전기의 설치와 전력 생산 과정을 살펴보았을 때, 이러한 주장은 아래와 같은 근거로 설명할 수 있다.

단점 1. 양수 발전기 설치의 환경 파괴

양수 발전기는 설치 과정에서 산림 및 생물 자원 파괴, 생물 다양성 파괴 등의 환경 문제를 야기할 수 있다. 실제 양수 발전기 설치 과정에서 다양한 비판이 일었던 흥천 발전소의 경우, 풍천리 산77번지에 설치 계획을 발표했다. 다만, 이 지역은 생태, 자연도 1등급으로 조사된 곳이다. 생태, 자연도 1등급 권역은 멸종위기야생생물의 주 서식지 및 도래지이거나, 주요 생태축과 생태통로가 되는 곳이다. 생태계가 특히 우수하거나 생물 다양성이 풍부하여 보전할 가치가 높은 곳을 자연환경보전법상으로 보호하도록 지정하는 것이다. 흥천의 1등급 지역에는 멸종위기야생생물 인삼, 하늘다람쥐, 수달, 담비, 황조롱이와 같은 포유류와 조류가 분포하는 것으로 밝혀졌다.

원주지방환경청은 한국수력원자력의 전략환경영향평가에 대해 "산림 생태계의 기능이 뛰어나고, 법정 보호종이 다수 서식하기에 환경 영향을 최소화해야 한다"고 입장을 표했다. 양수 발전기의 설치 시, 야생생물이 주로 서식하는 수목이 약 10만 그루 이상 훼손된다. 양수 발전기 설치 및 가동으로 발생하는 소음, 분진은 대기오염 및 소음공해로 연결될 수 있으며, 서식하는 생물의 생존 스트레스를 악화할 수 있다. 흥천군과 더불어 사업지역으로 선정된 영동군도 1등급 권역으로 발전기를 확대 설치하는 지역의 생태와 식생을 전혀 고려하지 않았다는 비판이 일고 있다. 특히, 양수 발전기 유치를 지지했던 지역에서는 설치 지역의 환경문제 해결 및 영향 최소화에 대해 구체적이지 않은 입장을 표하며 환경 파괴에 대한 우려가 증가하고 있다.



[자료 4. 생태, 자연도 기본 구성]

출처: [생태, 자연도 해설서](#)

등급	보전과 이용
1	자연환경의 보전 및 복원
2	자연환경의 보전 및 개발 이용에 따른 훼손의 최소화
3	체계적인 개발 및 이용
별도관리지역	다른 법률에 따라 보전되는 지역(자연공원 등)

[자료 5. 생태, 자연도 등급별 주내용]

출처: [생태, 자연도 해설서](#)

양수 발전기는 높이 차이가 있는 2개의 댐을 설치하기에 산지 절개와 송전 및 변전 시설 설치, 토석장 등에 의한 파괴는 일반적인 댐에 비해 더 크다. 현재 가동 중인 무주 양수발전소의 경우, 발전기 설치 23.5만 평, 진입도로 7.3만 평, 이설도로 1.2만 평, 석재 채취장 1.7만 평 등 34만 평 가까이 되는 산지를 훼손했다. 녹색연합에서 진행한 '양수 발전댐의 생태계 피해 현황과 운영 실태 조사'에 따르면 설치된 양수댐 7개 기준으로 축곡장 717개 면적에 해당하는 약 155만 평에서 훼손이 발생했다. 더불어, 7km가 넘는 산 하부에서 정상부 사이의 도로는 숲이 조성하고 있는 생태계를 파편화, 단절화시키는 역할을 하고 산사태의 위험성을 더욱 높인다. 가동되고 있는 양수 발전댐 중 설치 지역이 생태, 자연도 1등급이거나 보충종/멸종위기종 야생생물이 서식하고 있는 곳은 예천, 청송, 양양, 산청, 무주로 3분의 2가 주요 생물 서식지를 파괴하고 전력을 생산하고 있다. 양수발전은 산 정상부와 하부 모두 댐을 설치하므로 산지 자체의 지형이 변하고 생태 훼손이 발생해 서식하던 생물들에게는 생존의 위협과 피해를 준다.



[자료 6. 예천 양수발전댐 설치 공사로 인해 훼손된 산림 상부 사진]

출처: [녹색연합](#)

단점 2. 양수 발전기의 경제 효용성

환경 파괴에 대한 우려와 지적보다 더욱 주목받는 양수 발전기의 한계는 '경제성'이다. 양수발전소는 24시간 동안 가동되는 전력 시설이 아닌, 전력 피크타임에 보조 전력을 제공하는 시설이다. 따라서 필요한 시간에만 한정적으로 운영하기에 경제성이 매우 낮다. 한국수력원자력의 양수 발전소 운영 정보 공개를 기준으로, 호기별 평균 발전 시간이 2시간 54분으로 매우 짧다는 것을 알 수 있다. 한겨레 일보에 따르면, 2017년 기준으로 양양과 산청에서 가동되는 양수발전소가 각각 약 545억4000만 원, 약 369억9100만 원 적자를 기록했고 청송과 예천에서도 약 270억 원, 약 255억 원의 적자를 기록해 최근 발전 기록으로 2017년부터 2021년까지 포함하면 약 1조 원 가량의 적자가 나타난다.

양수 발전기는 설치 및 건설비가 비싸지만, 투자비를 회수할 수 없다는 구조적 문제가 있기 때문이다. 댐 2개를 설치하는 양수 발전댐의 경우 5,000억 원의 터빈발전기를 4개 이용해야 하는데, 이는 양수 발전 1대당 약 2조 원의 설치비용이 기본적으로 필요하다는 것이다. 한국전력거래소의 통계에 따르면 2006년부터 2022년까지의 설비별 발전량이 원자력 160,184GWh, 화력 348,834GWh, 신재생 에너지 34,934GWh이지만, 양수발전은 3,271GWh로 매우 낮은 발전량을 기록했다. 이용률이 9.6%인 양수 발전기 설치를 위해 2조 원이 넘는 비용을 지불하지만, 전문학적인 적자가 계속되며 경제성에 대한 비판이 일고 있다.

(단위: GWh)

설비명(발전소)	설비명(발전소)	설비명(발전소)	2020	2021	2022
			발전량	발전량	발전량
탄전발전(발전차지차)	소계	소계	394,522	400,373	408,441
	화력	소계	193,184	159,015	176,654
	기타	유연탄	176,714	170,566	162,400
복합력	소계	소계	2,094	1,854	1,871
	풍력	소계	1,594	1,494	1,552
	LNG	소계	597	1,177	1,377
신재생에너지	소계	소계	38,033	49,982	49,105
	태양광	소계	405	491	570
	신재생에너지	소계	3,443	3,687	3,139
양수발전	소계	3,271	3,683	3,184	
신재생	소계	8,247	9,420	9,790	
합계	소계	71	66	60	

[자료 7. 양수발전기 전력 발전량 비교]

출처: [한국전력거래소](#)

또한, 이용이 적고 투자 비용이 높아 가동률이 낮아지면서 양수발전의 단가가 상승하고 있다. 1kWh를 기준으로 양수발전의 단가가 190원으로 상승하였는데, 이는 유연탄, 액화천연가스, 증유의 단가인 각각 43.3원, 125.55원, 150.75원보다 비싼 가격이다. 심야 시간대의 잉여 전력을 사용해 피크타임에 보조 전력을 제공하는 방식의 양수발전은 심야 전력이 충분한 상황에서 활발히 이용할 수 있다. 다만, 심야 전력 수요가 2000년 이후로 계속해서 증가하고 있어 이를 양수발전으로 온전히 이용하기 어려운 상황이다. 액화천연가스(LNG) 발전소에서도 이와 같은 심야 전력을 사용하면서, 수요가 급증했고 정부는 이에 따라 비용을 17.5% 인상했다. 심야 전력의 이용과 활용에 대한 우려가 앞서는 상황에서 경제성과 이용 자원의 문제는 반드시 해결해야 한다. 특히, 양수발전댐의 경제성은 오랜 기간 전력을 생산하는 과정에 치명적인 단점이 될 수 있기에, 투자비 회수나 설치 및 유지비용 절감 등의 적극적인 문제 해결이 진행될 필요가 있다.

양수발전은 물을 이용한 재생 에너지 발전으로 주목받고 있지만, 산림 및 야생생물 서식지 파괴와 같은 환경문제와 낮은 경제성 부분에서 비판받기도 한다. 더 깨끗한 미래와 건강한 자연을 위해 양수발전이 가지는

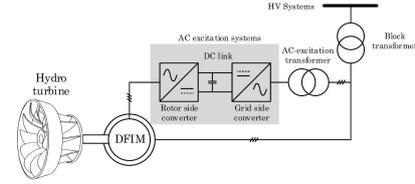
한계를 적극적으로 개선하고 보완하는 것이 필요하다.

[발전하는 양수발전]

기존의 양수발전에서 더욱 개선된 방향성을 가진 '가변속 양수발전'을 소개하고자 한다. 가변속 양수발전은 주파수 컨버터를 통해 모터와 발전기의 속도를 조절해 출력을 변동시킬 수 있는 양수발전이다. 기존의 정속 양수발전은 양수 운영 시 발전기의 출력이 일정하게 유지되어 전력망의 수요에 대응하기 어렵다. 그러나 가변속 양수발전을 적용하면 출력조정 범위가 넓어지기 때문에 전력 계통의 주파수에 맞추어 운영하기 쉽고, 전체 효율이 개선되는 장점이 있다. 재생에너지의 비중이 확대될수록 전력 계통의 안정성을 높이는 것이 중요한데, 출력조정을 용이하게 함으로써 이를 보완한 것으로 볼 수 있다.

가변속 양수발전은 모터와 발전기의 구동방식에 따라 여러 가지로 분류된다. 본 기사에서는 그 중 DFIM(Doubly Fed Induction Machine)과 CFM(Converter-Fed Synchronous Machine)을 소개하고자 한다.

1. DFIM(Doubly-Fed Induction Machine)

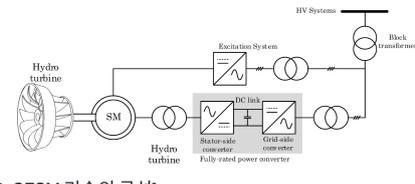


[자료 8. DFIM 기술의 구성]

출처: MDPI

DFIM은 고정자(Stator)가 그리드(Grid)에, 회전자(Rotor)가 RSC(Rotor Side Converter)와 GSC(Grid Side Converter)로 이루어진 전력전자 컨버터에 연결되는 방식이다. DFIM은 회전자와 전력전자 컨버터 사이의 교환을 통해 동기 속도의 ±10% 이내에서 속도를 조정할 수 있는데, 이에 따라 회전자에서 고정자로 추가 전력이 전달된다. 이때 회전자 전류의 주파수 조절을 통해 고정자 주파수와 전압은 그대로 유지한 상태로 가변속 운전할 수 있다. 특히 DFIM 방식은 상대적으로 작은 컨버터를 사용하므로, 고전력 양수발전에 적합하다.

2. CFM(Converter-Fed Synchronous Machine)



[자료 9. CFM 기술의 구성]

출처: MDPI

CFM은 동기장치를 최대 정격의 전력전자 컨버터를 통해 그리드에 연결하는 방식이다. SSC(Stator Side Converter)와 GSC(Grid Side Converter)로 이루어진 전력전자 컨버터를 사용하면 동기장치의 주파수를 AC그리드에서 분리할 수 있어 회전자의 속도와 주파수를 광범위하게 변화시킬 수 있다. 이때 생성된 가변주파수는 DC전력으로 변환되고, 그 후 원하는 연속주파수의 AC 전력으로 변환된다. CFM 방식은 DFIM에 비해 성능이 우수하고 빠른 가동이 가능하지만, 손실률이 높은 정격 컨버터를 필수적으로 사용해야 하므로 저출력 양수발전에 적합하다.

앞서 살펴봤듯이 양수발전의 핵심은 '유연성'과 '신속성'이다. 향후 에너지 전환을 위해 신재생에너지의 비중을 확대할수록 실시간 발전량의 예측이 어려워져 전력 계통이 불안정해지는 상황은 피할 수 없다. 따라서 이를 적절히 대처하기 위해 유연성 자원을 신속하게 투입하는 것이 중요하다.

이때 양수발전은 빛을 발한다. 특히 가변속 양수발전은 양수 시에 넓은 범위의 출력조정이 가능하므로, 전력 계통의 상황에 맞게 대응할 수 있어 기존 설비에서의 이점을 더한다. 이에 2023년 6월 말, 한국수력원자력은 전력 계통 출력변동성 대응 및 첨두부하 공급을 위해 가변속 순양수식발전소로 신규 건설될 포천, 홍천, 영동양수발전소 1, 2호기에 대해 투자시사를 밝혔다.

< 10차 전기본 재생에너지 백업설비 구성안(~36년) >

구분	유연성 자원	저장장치 필요량
초단주기	동기조상기	36.0 GVar
단주기	기타 저장장치	3.66 GW
장주기	기타 저장장치 + 양수	20.85 GW + 1.75 GW(양수)

[자료 10. 「제10차 전력수급기본계획(2022~2036)」 중 일부]

출처: 대한민국 정책브리핑

이러한 장점들을 토대로, 앞으로 국내 양수발전의 수요가 점차 증가할 것으로 보인다. 2023년 1월에 발표된 제10차 전력수급기본계획에 따르

면 백업설비 26.3GW 확보를 위해 약 29조~45조 원의 신규 투자가 필요하다는 전망이 나왔다. 그중 양수발전은 장주기의 관점에서 1.75GW가 필요한 것으로 나왔다. 그러나 입지 조건이 까다롭고 건설기간이 오래 걸리는 만큼, 기존의 양수발전 설비를 보강하는 방법 역시 고려할 필요가 있다. 더불어 설비를 보강하더라도 양수발전의 규모에 따라 DIFM, CF5M 등의 다양한 방식을 채택한다면 더 효과적인 성능을 보여줄 수 있지 않을까 기대한다.

[국내 양수발전 현황]

국내에는 청평, 삼랑진, 무주, 산청, 양양, 청송, 예전에 총 7개의 양수발전소가 가동되고 있으며 총 14호기까지 있다. 총용량은 4,700MW로 국내 전체 발전 설비 용량의 약 4.4%를 차지한다. 밀양에 있는 삼랑진 양수발전소가 우리나라 최대 양수식 발전소이고 국내에서 가장 큰 용량의 발전기는 산청 양수발전소이다.

설비용량

구분	양양발전소	삼랑진발전소	무주발전소	산청발전소	청송발전소	청평발전소	예전발전소
설비용량(MW)	400(2호기)	600(2호기)	600(2호기)	700(2호기)	1,000(4호기)	600(2호기)	600(2호기)
발전기	높이	62	88	60.7	86.9	72	89.8
	길이	206	269	287	368	347	400
용량(수문학적발전)	2.7	6.5/10.1	3.7/6.7	6.4/7.4	4.9/9.2	3.1/10.2	6.9/8.9
시도별별	1980	1985	1986	2001	2006	2006	2011

◎ 총 16기 4,700MW

[자료 11. 국내 양수발전소 설비용량]

출처: [한국수력원자력](#)

예천양수발전소의 경우 2020년 6월 9일 누수로 인한 침수 사고로 인해 가동을 중단했다. 이후 2년 반의 복구 및 정비를 거쳐 2023년 3월 재가동을 시행했다.

한국수력원자력은 충북 영동군, 강원도 홍천군, 경기도 포천시에 양수발전소를 추가로 건설 중이다. 산업통상자원부에 따르면 3개의 양수발전소 건설이 완료되면 양수발전의 설비용량은 현재 대비 약 76% 증가할 전망이다.

기존의 양수발전소는 2010년 이후 한국수력원자력이 운영권을 통합해 단독으로 맡고 있었다. 하지만 양수발전소 경쟁력 강화를 위해 중부발전, 남동발전, 동서발전과 손잡고 경남 합천(한국수력원자력)과 전남 구례(중부발전)를 시작으로 영양, 봉화, 곡성, 금산에 2035년부터 양수발전소를 차례로 지을 예정이다.

[천연 배터리, 양수발전의 미래]

양수발전은 다른 신재생에너지인 풍력, 태양광 등과 다르게 전기가 남을 때는 전기를 저장하고, 부족할 때는 전기를 공급해 전력 계통의 유연성을 주는 역할을 할 수 있다. 하지만 양수 과정에서 사용되는 전력은 심야 시간대의 잉여 전력인데, 현재 심야 시간대의 전력 사용량이 증가하면서 적절치 않은 기술이라는 평가도 받고 있다. 또한 300m 이상의 낙차를 확보해야 한다는 한계점도 가지고 있다. 따라서 양수발전은 태양광 시스템을 연계해 잉여 전력량 부족의 문제를 해결하고, 해양공간을 활용해 낙차를 확보하는 등 다양한 기술들과 함께 이용되면 더 큰 효과를 낼 수 있을 것으로 보인다. 이처럼 양수발전은 우리나라에서 주목받고 있는 신재생에너지 기술로, 탄소중립 달성에 있어서 신재생에너지의 사용이 필수로 다가오고 있는 만큼 그 중요성도 커지고 있기에 천연 배터리로써의 양수발전의 역할을 기대해 볼 수 있을 것이다.

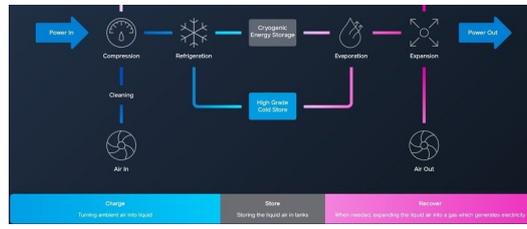
양수발전에 대한 대학생신재생에너지기자단 기사 더 알아보기

- 1. "작은 것의 아름다움, 소수력발전", 8기 신지민, <https://renewableenergyfollowers.org/2194>
- [작은 것의 아름다움, 소수력발전](#)
- [작은 것의 아름다움, 소수력발전 왜, 지금, 신재생에너지일까 '기름 한 방울도 나지 않는 나라' 경제규모에 비해 턱없이 부족한 대한민국 에너지 원 현황을 비유할 때 의례적으로 사용하는 표](#)
- renewableenergyfollowers.org



- 2. "물과 공기가 차세대 ESS를 이끈다.", 16기 문정호, 16기 임상현, <https://renewableenergyfollowers.org/2987>
- [물과 공기가 차세대 ESS를 이끈다.](#)
- [물과 공기가 차세대 ESS를 이끈다. 16기 문정호, 16기 임상현 ESS란 효율적인 에너지 사용을 위해 과잉 생산된 전력을 저장한 후, 수요가 많을 때 저장된 전력을 사용하는 거대한 저장 장치를 말한](#)
- renewableenergyfollowers.org





참고문헌

[양수발전이란?]

1) 한국수력원자력, 수력처 수력설비부, “양수발전이란”, <https://www.khnp.co.kr/main/contents.do?key=218>

[양수발전의 두 얼굴]

<장점>

- 1) 인세환 외 6인, “대용량 에너지저장을 위한 액체공기 에너지저장 시스템”, 기계저널, 59권, 4호, 30-35, 2019.
- 2) 임효진, “균등화발전비용(LCOE)”, 단비뉴스, 2022.11.28., <http://www.danbinews.com/news/articleView.html?idxno=21916>
- 3) 차종희, “양수발전의 기술현황 및 경제성”, 한국과학기술연구원, 2010.07.05., <https://www.sedaily.com/NewsView/1L00VH3JZ4>
- 4) 한국수력원자력, “양수발전이란”, <https://www.khnp.co.kr/main/contents.do?key=218>
- 5) 한국에너지정보문화재단, 에너지 지식백과, “[에너지 지식백과] 재생 에너지편 ⑥ 수력(hydropower)”, https://e-policy.or.kr/education/n_list_edu.php?admin_mode=read&no=5508&make=&search=&prd_cate=10

<단점>

- 1) 국가법령정보센터, 생태, 자연도 작성지침, 시행 2023.4.6 <https://www.law.go.kr/admRuil.sInfoP.do?admRuilSeq=2100000221734>
- 2) 국가통계포털, 한국전력거래소, 에너지 발전 실적, '설비별 발전량 (2006년~2022년) 통계', 2023.08.30., https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?rgId=388&tblId=TX_38803_A010A&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=388_38803_001&seqNo=&lang_mode=ko&language=
- 3) 국립생태원, 환경부, 생태, 자연도 해설서, 2022.11.30., <https://www.korea.kr/archive/expDocView.do?docId=40219>
- 4) 김용희, '반환경, 양수발전, 경제성도 없다...거부감도 여전', 한겨레, 2024.01.16., <https://www.hani.co.kr/arti/area/honam/1124583.html>
- 5) 김현수, '2명 숨진 예천 금곡리 산사태...'한수원 양수발전소 관리도 때문', 경향신문, 2023.07.23., https://www.khan.co.kr/print.html?art_id=202307231538001
- 6) 녹색연합, '양수발전댐의 현황 및 문제점', 가동목적 상실한 양수발전댐 현황과 문제점 조사, 2008.05.13., <https://www.greenkorea.org/%EB%AF%B8%EB%B6%84%EB%A5%98%12370>
- 7) 한국수력원자력, 영동양수발전소 1,2호기 건설사업 환경영향평가서, 2023.07.07., <https://www.yd21.go.kr/kr/html/sub02/020103.html?mode=V&no=f29644862bc9d0252eaaef34fe7a7db6>
- 8) 한국지방세연구원, '양수발전지원세에 대한 지역지원시설세 과세타당성 검토', 2020.11., https://www.klif.re.kr/cmm/fms/PDF.do?atchFileId=FILE_00000000008556&fileSn=0

[발전하는 양수발전]

- 1) 산업통상자원부, "(참고자료) [제10차 전력수급기본계획 (2022~2036)] 확정", 대한민국 정책브리핑, 2023.01.12., <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156547521>
- 2) 양원모, “양수발전 톨아보기⑤] 진화하는 양수 발전...가변속 양수 발전은 무엇”, 이넷뉴스, 2022.01.11., <https://www.enetnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=5208>
- 3) 조주현, “가변속 양수발전 확충 시 전력시장 파급효과 분석 연구”, 에너지경제연구원, pages 38-41, 2020.12.
- 4) ALIO, 한국수력원자력(주) 기관별 공시 신규 시설 투자, 영동양수발전소 1,2호기 건설, 2023.07.13., <https://www.alio.go.kr/item/itemReport.do?seq=2023071402661844&disclosureNo=2023071402661844>
- 5) ALIO, 한국수력원자력(주) 기관별 공시 신규 시설 투자, 포천양수발전소 1,2호기 건설, 2023.07.13., <https://www.alio.go.kr/item/itemReport.do?seq=2023071402661846&disclosureNo=2023071402661846>
- 6) ALIO, 한국수력원자력(주) 기관별 공시 신규 시설 투자, 홍천양수발전소 1,2호기 건설, 2023.07.13., <https://www.alio.go.kr/item/itemReport.do?seq=2023071402661848&disclosureNo=2023071402661848>

[seq=2023071402661845&disclosureNo=2023071402661845](https://doi.org/10.3390/energies13133377)

7) Martha N. Acosta, Daniel Pettersen, et al., "Optimal Frequency Support of Variable-Speed Hydropower Plants at Telemark and Vestfold, Norway: Future Scenarios of Nordic Power System", MDPI, Energies, 13(13), 3377, pages 1-24, 2020.07.

[국내 양수발전 현황]

- 1) 박기락, "예천 양수발전소 재가동..."침수사고 이후 2년 반 만에", 아주경제, 2023.03.03., <https://www.ajunews.com/view/20230303085651535>
- 2) 산업통상자원부, "신규 양수발전 사업자 선정 결과 발표", <https://www.motie.go.kr/kor/article/ATCL3f49a5a8c/168420/view>
- 3) 이서연, "저무는 화력발전시대, 양수발전 '재생에너지 구원투수'로", 아시아투데이, 2024.01.25., <https://www.asiatoday.co.kr/view.php?key=20240125010015571>
- 4) 한국수력원자력, "일반현황", <https://www.khnp.co.kr/main/contents.do?key=219>

[천연 배터리, 양수발전의 미래]

- 1) 유희덕, "한전 전력연, 대용량 Ess 대체기술로 '해수 양수발전' 주목", 전기신문, 2020.04.27., <https://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=197734>
- 2) 차대운, "한수원, 남동, 중부, 동서발전과 양수발전 협력", 연합뉴스, 2024.02.02., <https://n.news.naver.com/article/001/0014484552?sid=101>

