

분산형 압축공기 전력저장 발전 기술

김영민, 신동길 | 한국기계연구원

Daniel Favrat | 스위스 로잔연방공대

1. 서론

전력소비 패턴은 특정 시간대에 집중되어 있기 때문에, 부하조절이 어려운 기저공급력(원자력, 석탄화력 등)에 의한 심야의 잉여전력을 저장해서 발전단가가 높은 주간의 첨두발전을 대체한다면 큰 경제적 이익과 에너지 절감 효과를 가져올 수 있다. 또한 향후 풍력, 태양광 등 신재생 에너지의 보급이 더욱더 증가할 전망이지만 신재생 에너지 보급과 효율적 이용을 위해서는 신재생 에너지의 가장 큰 문제점이라고 할 수 있는 발전의 간헐성(Intermittency)을 해결하여야만 한다. 즉 일정하지 않은 신재생 에너지에 의한 전력을 저장해서 전력 수요패턴에 맞게 공급할 필요성이 있다.

전력저장의 방법으로는 축전지, 초전도 저장(SMES) 등 전력의 형태로 저장하는 기술 외에 위치에너지로 변환시켜 저장하는 양수발전, 운동에너지로 저장하는 Flywheel, 압력에너지로 변환하는 압축공기 저장(CAES: Compressed Air Energy Storage) 등이 있다. 여러 가지 기술들이 연구개발 되고 있지만 현재로서는 대규모 전력 저장이 가능한 것은 양수발전과 압축공기 저장 발전뿐이며, 양수발전은 지형적인 제약과 환경적 문제 등으로 점점 건설이 어려워지고 있기 때문에 압축공기 저장 발전에 대한 관심이 증가되고 있다고 할 수 있다. 심야의 잉여전력을 이용하여 공기를 압축·저장하고 주간에 발전에 활용하는 압축공기 저장 발전은 1978년 독일의 Huntorf 발전소에 290MW의 플랜트가 사용화 되고 나서, 각국에서 그 연구개발이 진행되게 되었다. 압축공기 저장 발전에서 가장 중요한 것은 압축공기 지하저장조를 경제성 있게 건설하는 것이며, 지하 암염층이나 대수층, 폐광 등 자연적으로 기밀성이 확보되는 암반구조를 이용하고 있다.

그러나 최근 동향은 이러한 지질적인 요구 특성으로 입지조건이 제한받는 기존 대규모 CAES와는 달리 수요처에 가까운 곳에 인공의 압축공기 저장조를 설치하고 압축열을 축열하여 난방열로 이용하는 분산형 압축공기 저장(Micro-CAES) 발전에 대한 관심과 연구가 집중되고 있으며, 향후 기술개발 보급시에는 미래 전력 네트워크와 에너지 시스템에 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 고에서는 이러한 분산형 압축공기 저장 발전의 특징과 기술적 과제 및 향후 전망에 대해서 살펴보고 한국기계연구원에서 진행되고 있는 연구내용에 대해서 간략하게 소개하고자 한다.

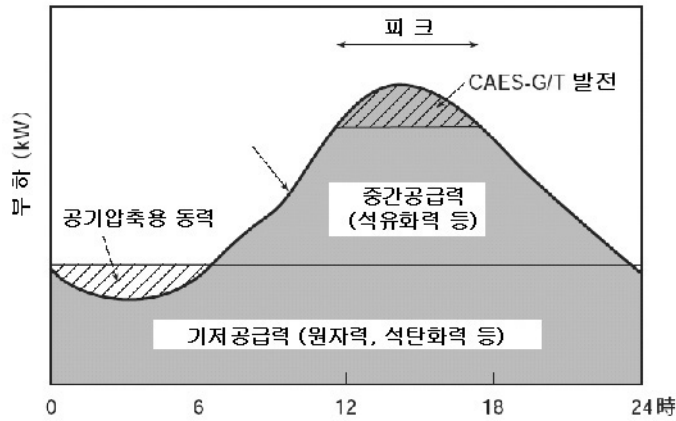


그림 1. 일일 전력수요 패턴과 압축공기 저장 발전

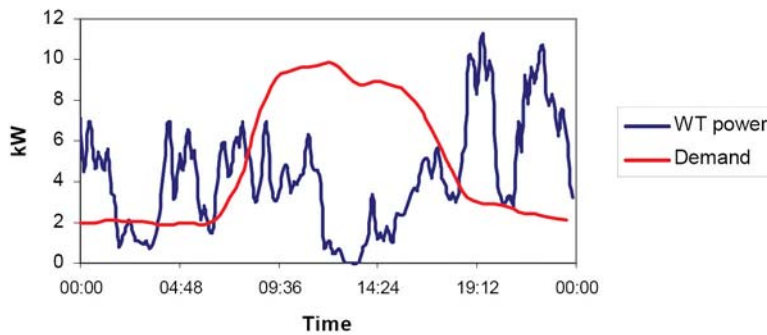


그림 2. 일일 전력수요 패턴과 소형 풍력발전 패턴

2. 전력저장방법의 비교 (수소저장 vs. 압축공기저장)

2003 부시가 수소연료 이니셔티브를 발표하면서 앞으로 모든 에너지원이 수소로 변환 후 저장, 이송되어 연료 전지로 발전을 하고 자동차를 움직이는 수소경제 시나리오가 제시되었다. 마땅한 에너지 저장수단이 없는 상황에서 수소는 'Energy Carrier'로서 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대되었지만, 최근 수소경제에 대한 보고서와 IEA에서 발표한 Energy Technology Perspectives 2006 보고서에서도 2050년까지 수소경제에 대해서 낙관적이지 않은 것이 사실이다.

수소경제에 대해 의문을 제시하는 가장 큰 이유는 에너지 효율과 경제성 측면이다. 수소는 자연계에서 가장 풍부한 원소지만 독립적으로 존재하지 않고 대부분 다른 원소와 화합물 형태로 존재하기 때문에 물이나 화석연료로부터 수소를 분리하기 위해서는 에너지가 필요하고 수소저장, 이송, 연료전지 등 여러 단계를 거치면서 많은 에너지 손실이 발생하게 된다. 풍력이나 태양광과 같은 신재생 에너지로부터 수소를 생산할 경우 현재 전기분해 효율은 74% 정도이며 압축효율을 90%, 연료전지 효율을 60%로 가정하면 전력의 40% 정도의 에너지만 최종적으로

이용할 수 있다. 석탄으로부터 수소를 분리할 경우에도 수소 전환 효율은 70% 정도이며, 압축효율과 연료전지 효율을 고려하면 최종 효율은 40%가 되지 않기 때문에 최신 석탄발전기술의 효율인 50%~60%보다 낮다고 할 수 있다. 물을 고온 열분해하는 제4세대 원자로인 경우 수소 전환 효율은 50%이며, 압축효율과 연료전지 효율은 고려하면 최종효율은 27% 정도로서 증기터빈에 의한 원자력발전 효율 30%~40%보다 낮다고 할 수 있다^[2]. 기존 에너지로부터 수소를 생산하는 방식은 에너지 효율 측면에서 많은 손실이 발생하기 때문에 수소를 값싸게 대량으로 생산할 수 있는 획기적인 기술이 출현하지 않는 한 더욱 많은 에너지 소비를 의미하게 된다. 뿐만 아니라 수소 경제 건설을 위한 인프라 구축에는 막대한 비용이 소요되기 때문에 최근에는 수소경제에 대한 회의론과 향후 에너지경제에서 수소는 제한적인 역할을 할 것이라는 전망이 나오고 있다.

현재 풍력과 같은 신재생 에너지의 보급이 증가하면서 전력저장의 필요성이 증가하고 있는 가운데 표 1^[1]에서 보는 바와 같이 배터리, 양수발전, 압축공기 저장 등 다른 전력저장 방법은 에너지 효율이 75%~85%로서 수소를 이용한 전력저장에 비해 효율이 높기 때문에 여러 가지 전력 저장기술들이 개발되고 있지만 현재 기술로서는 압축공기 저장(CAES) 발전, 특히 최근에는 소규모의 분산형 압축공기 저장(Micro-CAES) 발전이 가장 가능성이 높게 고려되고 있다.(그림 4, 그림 5)

CAES는 가스터빈 발전에 필요한 압축공기를 야간이나 off-peak 시간에 저렴한 전기로 미리 압축해서 저장하였다가 주간에 활용하는 것으로 전력 저장과 발전의 하이브리드 기술이라고 할 수 있다. 따라서 다른 전력저장 방법과 저장효율을 직접적으로 비교할 수는 없으며, 일반적으로 CAES의 저장효율은 야간에 투입된 전력량에 대한 주간에 연료소비에 의한 발전(일반적인 가스터빈 발전 효율 적용)량을 제한 순 발전량의 비로 정의된다.

$$\text{저장효율} = \{ \text{발전전력량} - \text{연료(주간)} \times \text{발전효율} \} / \text{전력량(야간)} = (P - Q \times \eta) / E$$

저장효율 계산에 필요한 경쟁전원의 발전효율 η 은 최신의 가스터빈 발전 효율(34%)을 적용하고 있다.^[14] 그림 6과 그림 7은 각각 동일한 연료공급 100과 압축일 56을 가정할 때 일반적인 가스터빈 발전과 CAES 발전을 비교한 것으로서 일반적인 가스터빈에 비해 CAES 발전의 경우 압축공기의 냉각에 의한 에너지 손실로 인해 동일한 압축일과 연료공급에 대해 팽창일이 90에서 76으로 감소하여 발전효율은 감소한다고 할 수 있다. 그러나 보통 가스터빈에서는 터빈축 출력의 1/2~2/3의 동력이 압축기의 구동에 사용되지만 CAES시스템에서는 미리 압축된 공기를 이용하기 때문에 터빈축 발전이 완전히 발전기 출력이 되어 보통 가스 터빈 발전에 비교하여 2~3배의 발전출력을 얻는 것이 가능하다. 그림 7에서와 같이 추가의 발전출력 42(=76-34)가 바로 공기를 압축·저장하기 위해 소모된 압축일 56에 의한 전력저장 효과로서 저장효율은 약 75%(=42/56)으로 계산된다.

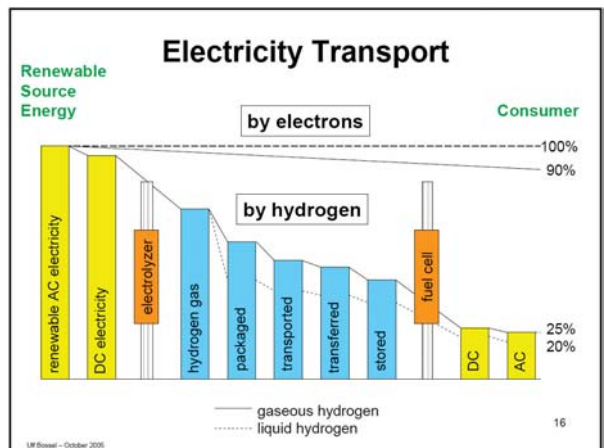


그림 3. 전력 직접 이송과 수소에 의한 전력이송 비교^[7]

표 1. 전력 저장 기술 비교

Type	Energy Density (MJ/m ³)	Lifetime (years)	Lifetime (cycles)	Energy Efficiency(%)	Technology Status
Electric Potential					
Lithium Ion Battery	594	10	800	85	Developing
NaS Battery	800	10	2,500	75	Developing
Flow Batteries (VRS, PSB, ZnBr)	120	30	N/A	80	Developing
Mechanical					
Compressed Air at 300 bar (CAES)	74	20	N/A	75	Mature
Pumped Hydro @ 500 m elevation	5.4	50	N/A	75	Mature
Hydrogen					
H ₂ 350 bar Tanks	3,000	N/A	N/A	47	Mature
H ₂ 700 bar Tanks	5,010	N/A	N/A	45	Mature
H ₂ in Geologic Formations	N/A	N/A	N/A	47	Developing
H ₂ 350 bar Tanks w/10% CHP	3,000	N/A	N/A	51	Developing
H ₂ 350 bar Tanks w/25% CHP	3,000	N/A	N/A	57	Developing
H ₂ 350 bar Tanks w/50% CHP	3,000	N/A	N/A	66	Developing

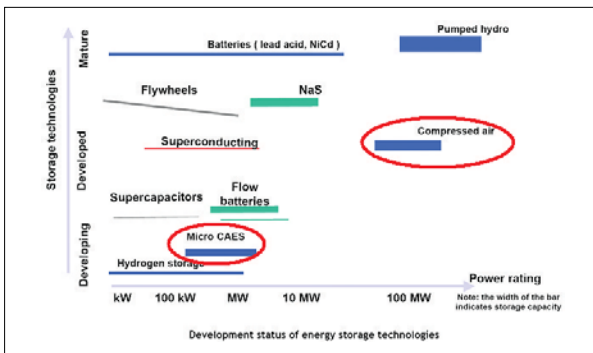


그림 4. 전력 저장 기술 개발 단계

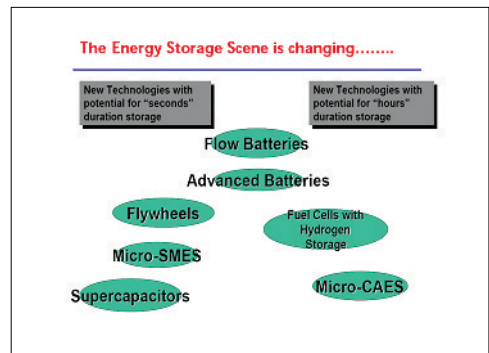


그림 5. 전력 저장 기술 발전 동향

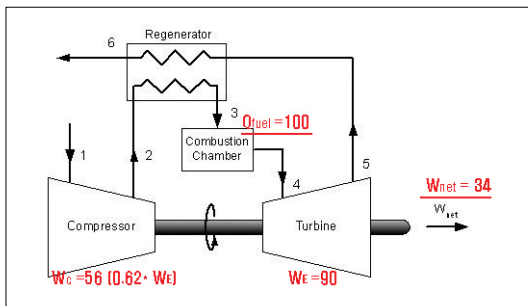


그림 6. 일반적인 가스터빈 발전

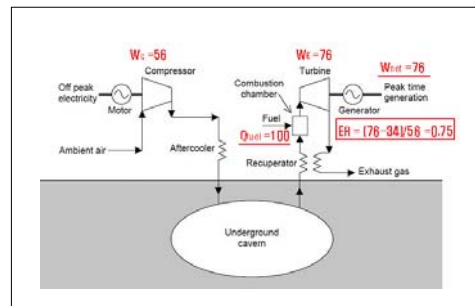


그림 7. 압축공기 전력 저장 발전

3. 압축공기 전력저장 발전의 기술개발 동향

압축공기 저장 발전은 1978년 독일의 Huntorf 발전소에 290MW의 플랜트가 사용화되고 나서, 각국에서 그 연구개발이 진행되었다. 이탈리아에서는 25MW의 시범플랜트가 1984년에 운전되고, 미국에는 알라바마주의 매킨토시에서 110MW의 상용플랜트가 1991년 6월에 운전을 시작하였다. 일본에서는 북해도 사천성의 탄광적지에서 3.5MW의 파이로트 플랜트 건설계획이 1990년부터 시작되었다. CAES 발전은 압축과 팽창을 시간적으로 분리함으로써 보통 가스터빈과 비교하여 2~3배의 발전출력을 얻음으로써 설비의 건설단가를 대폭적으로 저감할 수 있지만, 추가비용으로 압축공기의 저장비용이 큰 비율을 차지하기 때문에 CAES의 경제성은 저장설비를 어떻게 저렴하게 건설할 수 있는가에 달려있다고 할 수 있다. 지금까지 대형 CAES 플랜트의 경우 대부분 자연적으로 기밀성이 확보되는 지하 암염층, 배사대수층 등을 이용하고 있으며, 이외에도 탄광이나 폐광, 폐터널 등을 이용하는 방법도 있다.

CAES 발전은 보통 가스터빈과는 달리 압력비가 매우 높아 일단으로 단열압축시에는 압축시 공기의 온도가 매우 높아지기 때문에 (압력비가 50일 경우 600°C 이상이 됨) 압축 후 저장과정에서 에너지 손실이 크게 발생하게 된다. 따라서 그림 9와 같이 압축시에는 중간냉각을 위해 다단으로 압축하고 팽창시에는 재열을 위해 다단으로 팽창하는 것이 일반적이다. 고압 압축에 의한 에너지 손실을 줄이기 위한 또 하나의 방법으로 최근 유럽에서는 ALSTORM, MAN TURBO 등 9개 기관이 참여하여 그림 10과 같이 압축시 고온의 열을 단열 열저장조에 저장하였다가 팽창시에는 연료를 사용하지 않고 저장된 압축열을 재활용하는 AA-CAES(Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage) Project가 진행되고 있다.^[5]

최근에는 입지조건이 매우 까다롭고 제한적인 대규모 CAES와는 달리 수요지에 가깝게 인공의 압축공기 저장조를 설치한 소규모 Micro-CAES에 대한 관심이 집중되고 있으며, 기술개발 보급시에는 향후 에너지 시스템에 큰 영향을 미칠 것으로 기대되고 있다. Micro-CAES의 경우 압축과정에서 발생하는 많은 열을 축열하여 난방용으로 활용할 수 있어 에너지 이용효율을 크게 향상시킬 수 있다. 압축과 팽창이 분리된 마이크로 가스터빈과 같은 기술을 활용할 수 있을 것으로 기대되지만, 압력비가 매우 높기 때문에 현재의 마이크로 터빈을 그대로 사용할 수는 없고 용도에 맞게 새롭게 설계 제작되어야만 한다.

최근 RWE Innogy 사에서는 그림 11과 같이 기존 가스엔진으로부터 압축과 팽창이 분리된 ‘Isoengine’을 개발하였으며, 압축시 실린더내로 물을 분사하여 등온과정에 가까운 압축을 실현하고 재생기에 의한 폐열회수로 엔진효율을 획기적으로 향상시켜 이를 압축공기 전력저장 발전시스템에 적용할 수 있다고 발표하였다.^[6]

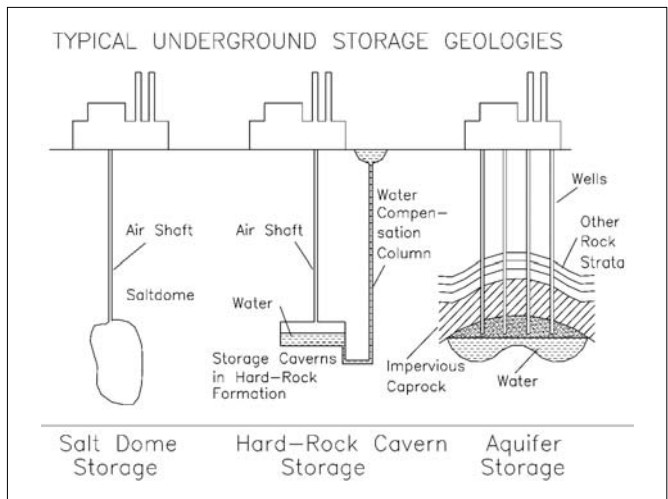


그림 8. 자연적인 지반구조를 이용한 압축공기 저장

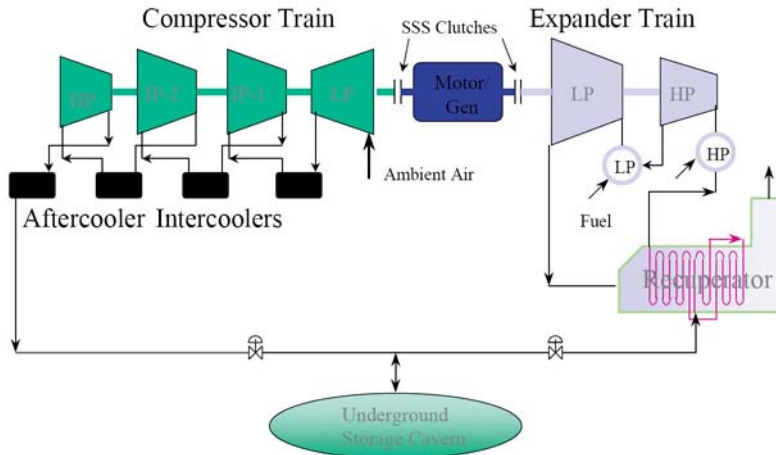


그림 9. 다단 압축/팽창 CAES 발전시스템

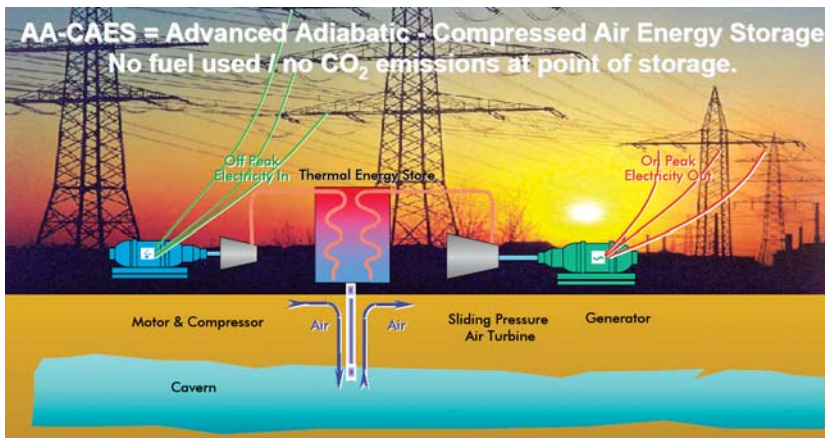


그림 10. Advanced Adiabatic - CAES 발전시스템^[5]

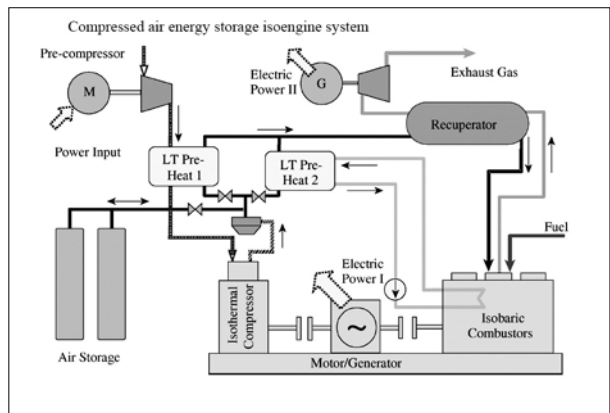
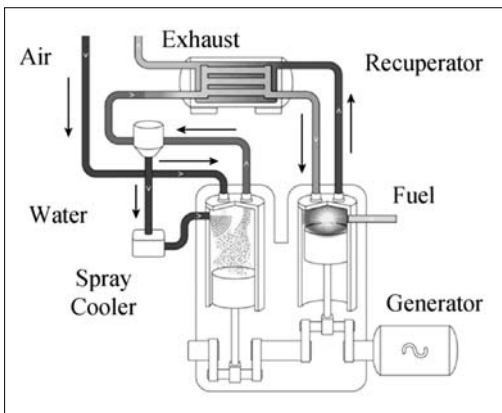


그림 11. RWE Innogy사의 Isoengine과 CAES 적용시스템^[6]

4. 분산형 압축공기 에너지 저장 (Micro-CAES) 발전 기술

그림 12는 분산형 압축공기 에너지 저장 발전의 에너지 이용을 나타낸 것으로, 압축시 발생하는 상당한 열을 축열하여 난방열로 이용할 수 있는 장점이 있다. 이때 발생하는 압축열은 이론적으로는 저장전력(압축동력)에 상당하며 90%를 회수할 경우 Micro-CAES 시스템은 저장 전력의 75%를 회수하고 저장 전력의 90%에 상당하는 난방열을 이용할 수 있는 가장 효율적인 전력저장 방법이 될 수 있다. 다시 말하자면 공기 압축·저장을 통해 현재 사용되고 있는 심야 축열 난방에 상당하는 열만큼을 난방열로 이용하면서 저장 전력의 75%를 주간에 활용할 수 있게 된다. 이러한 에너지 이용효율은 언뜻 보면 열역학 제 1법칙인 에너지 보존법칙을 위반하는 것처럼 보이지만, 그림 16과 같이 열역학 제 2법칙을 고려한 엑서지(Exergy) 분석을 통해 공기 압축과정을 분석하면 적은 일(Exg, Exergy)로 많은 열을 얻을 수 있는 열펌프와 같은 과정이라는 것을 알 수 있다.

그러나 Micro-CAES의 경우 에너지 효율 향상을 위해서는 대규모 CAES와 같이 압축시 중간냉각을 위해 다단 압축을 하고 팽창시 재열을 위해 다단 팽창을 할 필요성이 있다. 표 2에서 보는 바와 같이 압축/팽창시 기계효율을 90%, 재생기 효율을 95%로 가정하고 압력비 50일 경우, 1단 단열 압축/팽창시와 2단 단열 압축/팽창시를 비교해 보면 1단 압축시에는 상온(T1=20℃)의 공기가 압축후 온도(T2)는 623℃가 되고 단위공기량당 압축일(Wc)은

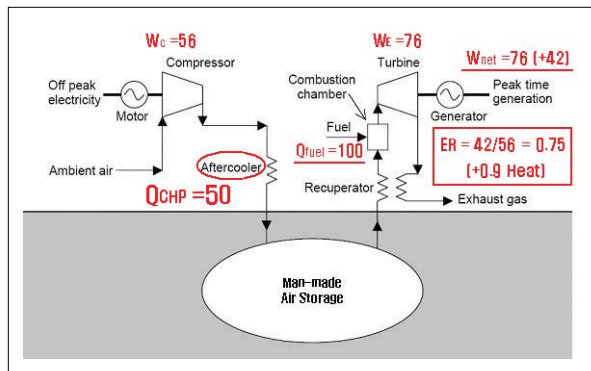


그림 12. 분산형 압축공기 전력저장 발전 시스템의 에너지 이용

표 2. CAES 발전시스템에서 단열 압축/팽창시와 등온 압축/팽창시의 성능 비교

Polytropic Exponent	Stage Comp./Exp.	P2/P1 (P4/P3)	T1 T2 (°C)	T3 T4 (°C)	Wc (kJ/kg)	We (kJ/kg)	Qout (kJ/kg)	T.E (%)	ER (Elec. Recovery)	HR (Heat Recovery)
n=1.4 (Adiabatic)	1Stage Comp./Exp.	50	20 623	700 45	673	592	607	-12.8	0.54	0.90
	2Stage Comp./Exp.	7.1	20 239	700 283	490	753	454	31.0	0.93	0.93
n=1.05 (Near Isotherm)	1Stage Comp./Exp.	50	20 80	700 535	402	897	388	48.4	1.34	0.96
	2Stage Comp./Exp.	7.1	20 49	700 613	375	940	375	51.8	1.47	0.98

Mechanical Efficiency of compression/Expansion = 0.90,

Efficiency of Recuperator = 0.95

673kJ/kg이 되며, 중간냉각을 위해 2단 압축시(압력비 7.1)에는 압축후 공기의 온도(T2)가 239℃로 낮아지고 압축일(Wc)은 490kJ/kg로 감소하게 된다. 50bar의 압축공기를 700℃로 가열후 1단 팽창시에는 팽창일(We)이 592kJ/kg이 되며 재열을 위해 2단 팽창시에는 팽창일(We)이 753kJ/kg로 증가하게 된다. 앞서 정의된 저장효율(ER)을 비교해보면 1단 압축/팽창시에는 54%이지만 중간냉각과 재열을 위한 2단 압축/팽창시에는 93%로 증가하게 되어 탁월한 효율향상효과를 얻을 수 있다. 압축/팽창 단수가 증가할수록 에너지 효율은 더욱 향상되지만 장치구성이 복잡해지고 이에 따른 설비비용은 증가하게 된다.

한국기계연구원에서는 전열면적이 넓고 열전달 특성이 좋은 스크롤기(그림 13)의 특성을 이용하여 압축시 효과적으로 냉각, 팽창시 효과적으로 가열함으로써 중간냉각과 재열을 위한 다단 압축/팽창을 필요로 하지 않는 에릭슨(Ericsson) 사이클 적용 Micro-CAES에 대한 특허를 출원하고 선행연구 중에 있다. 압축시 효과적인 냉각을 위해서는 스크롤 압축기를 냉각수로 냉각하는 방법도 사용될 수 있지만 그림 15와 같이 2유체에 적합한 스크롤 기기의 특성을 이용해서 압축기입구에 물을 분사하여 압축시 공기의 열을 흡수하고 압축후 Separator로 물을 분리하는 방법도 사용될 수 있다. 마찬가지로 팽창시에는 효과적인 가열을 위해서 그림 14와 같이 스크롤 팽창기 외부를 균일하게 가열하는 방법도 사용될 수 있고 온도가 높지 않은 경우(200℃~400℃) 그림 15와 같이 끓는점이 높은 고온의 열매체유를 팽창기입구에 직접 분사하여 팽창시 온도가 강하하는 공기를 데워주고 팽창후 Separator로 열매체유를 분리하는 방법도 사용될 수 있다.

표 2에서 보는 바와 같이 등온과정에 가까운 압축/팽창시(폴리트로픽 지수 $n=1.05$)에는 1단 압축/팽창만으로도 2단의 단열 압축/팽창시보다 높은 에너지 효율을 얻을 수 있기 때문에 다단 압축/팽창의 필요성이 없어 장치구성이 간단해지고 설비비용을 절감할 수 있는 장점이 있다. 그림 16, 그림 17은 각각 이러한 에릭슨 사이클을 적용한 Micro-CAES 시스템에서 저장된 압축공기를 가열하지 않고 팽창시키는 경우와 연료를 연소시켜 압축공기를 가열하는 경우 에너지 밀도를 나타낸 것이다. 팽창시 압축공기를 가열하지 않는 경우에는 팽창공기의 온도강하로 냉열을 얻을 수 있는 장점이 있지만, 저장된 압축공기로부터 많은 동력(약 3배 정도)을 얻기 위해서는 압축공기를 가열할 필요성이 있다.

그림 17과 같이 Micro-CAES의 경우 에릭슨 사이클을 적용하여 에너지 효율을 향상시킴으로써 50bar, 1m³의 공기로부터 15.5kWh의 동력을 얻을 수 있어 분산형 전력저장 장치로서 충분히 가능성이 있는 에너지 밀도를 확보할 수 있다.

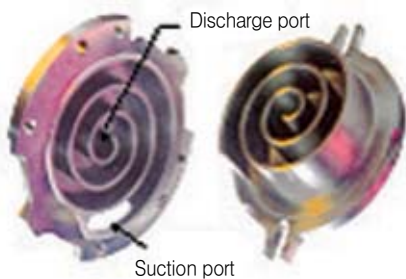


그림 13. 스크롤 압축기

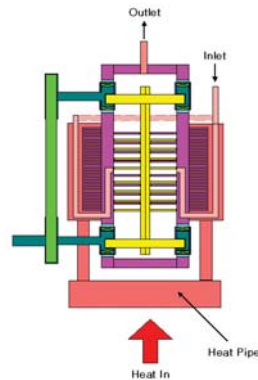


그림 14. 가열식 스크롤 압축기

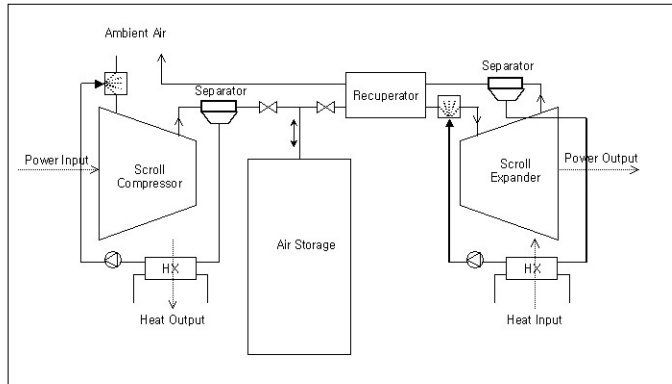


그림 15. 액분사식 에릭슨 사이클 CAES 발전시스템

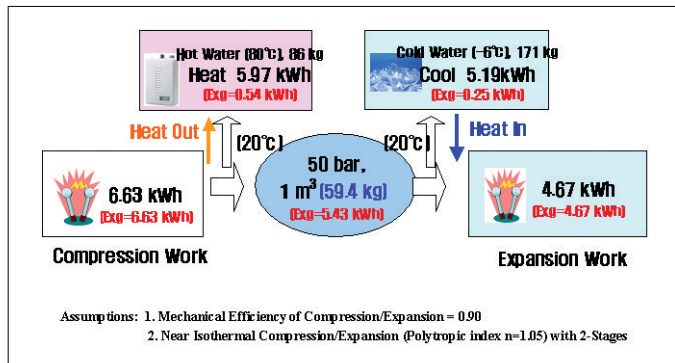


그림 16. 에릭슨 사이클 적용 Micro-CAES 발전의 에너지 전환 (무연료)

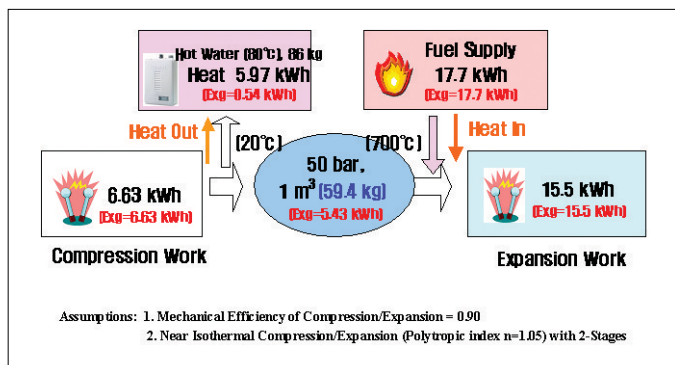


그림 17. 에릭슨 사이클 적용 Micro-CAES 발전의 에너지 전환 (연료공급)

5. 응용분야 : 압축공기식 무정전전원장치(UPS)

잉여전력을 저장해서 첨두 발전을 담당하게 하는 Micro-CAES은 아직 연구개발단계에 있지만, 최근 정전시 전원공급을 위한 압축공기식 무정전전원장치(UPS)는 이미 기술개발이 완료되어 새로운 UPS기술로 주목받고 있

다. 현재 UPS의 대부분을 차지하고 있는 배터리는 시간이 지남에 따라 성능저하가 발생하고 수명이 짧을 뿐만 아니라 폐기시 유독성의 환경폐기물을 발생한다. 또한 배터리는 적정한 온도조건에서만 정상적으로 작동되며 시간이 지남에 따라 어느 정도 성능저하가 되었는지 쉽게 확인할 수 없어 신뢰성 확보에도 어려움이 있다. 이러한 기존 배터리의 문제점을 해결하기 위해 세계 최초로 Flywheel을 이용한 UPS를 개발한 미국의 Active Power사에서는 최근 좀더 장시간 전력을 공급할 수 있는 UPS로서 그림 18과 같은 압축공기식 UPS를 개발 발표했다. 300bar로 저장된 압축공기를 열저장조(Thermal Storage)로 가열후 터빈을 이용해 전력을 발생하며 정상운전까지 몇초 간의 지연시간이 있기 때문에 작은 Flywheel을 이용하여 Bridging Power를 공급하고 있다. 열저장조는 전기히터로 가열된 통기성의 메탈을 단열재로 감싸고 있는 구조로서 저장된 압축공기로부터 보다 많은 전력을 생산하기 위한 장치이다.^[4] 스크롤 팽창기를 이용한 가정용 열병합 발전시스템을 개발하고 있는 영국의 Energetix Group에서는 터빈이 아닌 스크롤 팽창기를 이용한 압축공기식 무정전전원장치를 개발 중에 있다.

한국기계연구원에서는 그림 19와 같이 새로운 열매체분사식 압축공기 UPS시스템에 대한 아이디어를 특허출원하고 시스템 개발을 추진 중에 있다. 열저장조로서 고온의 열매체유를 전기히터로 가열후 단열 저장하고 운전시 스크롤 팽창기 입구에 열매체유를 분사하여 팽창시 압축공기에 열을 공급하고 팽창후에는 Separator를 통해 열매체유를 분리하여 순환시키는 방식이다. 일반적인 단열팽창과는 달리 분사된 열매체유에 의해 등온팽창에 가까운 팽창이 가능하며 팽창후 공기의 열을 재생기를 이용해 회수하여 상온의 압축공기를 가열함으로써 기존 방법에 비해 저장된 압축공기로부터 50%이상 많은 전력을 얻을 수가 있다. 또한 열매체를 이용한 열저장조는 Active Power사의 통기성 메탈 열저장조에 비해 단위부피당 열저장능력이 뛰어나 컴팩트하면서도 구조가 단순해 제작이 용이하기 때문에 경제성 측면에서도 유리하다고 할 수 있다.

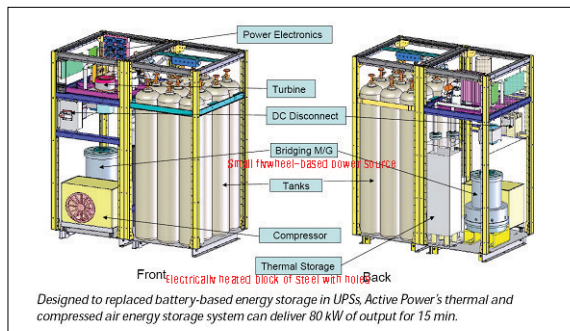


그림 18. 축열 & 압축공기식 UPS 시스템 (Active Power 사)

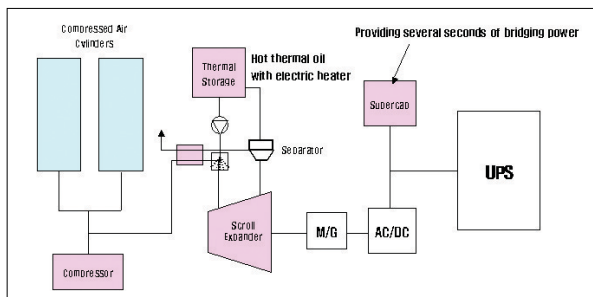


그림 19. 열매체 분사식 압축공기 UPS 시스템 (KIMM)

6. 결 론

심야의 잉여전력을 저장하기 위한 노력은 이전부터 있어왔지만 현재 양수발전이외에는 대용량으로 전력을 저장할 수 있는 방법은 사용되고 있지 않다. 또한 최근 풍력 등 신재생 에너지의 보급이 확대되면서 발전의 간헐성을 해결하기 위한 에너지 저장의 필요성이 더욱 커지고 있다. 수소경제가 제시되면서 미래에는 수소가 'Energy Carrier'로서 전력저장의 역할을 담당할 것으로 기대되었지만, 최근에는 에너지 효율과 경제성 측면에서 수소는 매우 제한적인 역할을 할 것이라는 전망이 나오고 있다.

이에 대한 대안으로 압축공기를 이용한 전력저장(CAES)에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히 최근에는 입지 조건이 매우 제한적인 기존 대규모 CAES와는 달리 소규모의 분산형 압축공기 전력저장(Micro-CAES) 발전에 관심이 집중되고 있다. Micro-CAES의 경우 공기 압축·저장 과정에서 발생하는 압축열(저장전력량에 상당)을 난방열로 부가적으로 이용할 수 있어 가장 에너지 이용 효율이 높은 전력저장 방법이 될 수 있다. 향후 발전은 수요처에 가까운 분산형 열병합 발전과 신재생 에너지 발전의 보급 확대와 더불어 전력 IT기술이 도입되면서 모든 발전과 송·배전, 수용가가 온라인상에 연결될 것으로 전망되기 때문에 전체 전력 네트워크를 효율적으로 운영하기 위한 전력저장의 필요성이 매우 크다고 할 있다. Micro-CAES는 수용가에 가깝게 설치되어 전력저장과 열병합 발전 기능을 동시에 수행함으로써 미래 전력 네트워크에 매우 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

현재 선진국에서는 Micro-CAES에 대한 관심이 점점 높아지고는 있지만 아직까지 본격적인 시스템개발은 진행되고 있지 않다. Micro-CAES의 경우 일반 가스터빈보다 압력비가 높아 현재 마이크로 가스터빈 기술을 그대로 적용하기에는 어려움이 있고 효율 향상을 위해서는 대형 CAES 플랜트와 같이 다단 압축/팽창이 필요하지만 경제성확보를 위해서는 가능한 장치구성이 단순해야만 하는 어려움이 있다고 할 수 있다. 한국기계연구원에서는 전열면적이 넓고 열전달 특성이 우수한 스크롤기기의 특성을 이용한 등온 압축/팽창의 에릭슨 사이클 적용 Micro-CAES에 대한 원천특허를 확보하고 개발을 추진 중에 있다. 압축공기 전력저장 기술은 부하관리를 위한 전력저장 뿐만 아니라 정전시 전원을 공급하는 무정전전원장치(UPS)의 새로운 기술로도 주목을 받고 있으며 국내에서도 관련기술 개발에 많은 관심과 노력을 기울여야 할 것으로 생각된다.

❁ 참고 문헌

- [1] Christopher Schaber, Patrick Mazza and Roel Hammerschlag, "Utility-scale storage of renewable energy", The Electricity Journal, 21-29, 2004.
- [2] Roel Hammerschlag, Patrick Mazza, "Questioning hydrogen", Energy Policy 33, 2039-2043, 2005.
- [3] EA Technology, "Review of electrical energy storage technologies and systems and of their potential for the UK", DTI Report, URN Number 04/1876, 2004.
- [4] John R. Sears, "Thermal and compressed-air storage(TACAS): The next generation of energy storage technology", Active Power, available online at <http://www.activepower.com/files/whitepapers/TACASWhitePaper.pdf>
- [5] Chris Bullough, Christoph Gatzert, Christoph Jakiel, Martin Koller, Andreas Nowi, and Stefan Zunft,

- “Advanced adiabatic compressed air energy storage for the integration of wind energy”, EWEC 2004, Proceedings of the European Wind Energy Conference, 2004.
- [6] Claus Linnemann and Mike W. Coney, “The isoengine: realization of a high-efficiency power cycle based on isothermal compression”, Int. J. Energy Technology and Policy, Vol. 3, Nos. 1/2, 2005.
- [7] Ulf Bossel, “On the way to a sustainable energy future”, Intelec '05 at Berlin, 2005.
- [8] Dale T. Bradshaw, “Pumped hydroelectric storage (PHS) and compressed air energy storage (CAES)”, IEEE PES Summer Meeting, 2000.
- [9] Anthony Price, “Energy storage: a solution in network operation?”, Distributech 2000 Meeting.
- [10] TENI Services Limited, “An appraisal of new and renewable generation technologies as transmission upgrade alternatives”, NZ Electricity Commission, 2005.
- [11] Australian Greenhouse Office, “Advanced electricity storage technologies programme, energy storage technologies: a review paper”, Australian Government, 2005.
- [12] Ridge Energy Storage & Grid Services L.P., “The economic impact of CAES on wind in TX, OK and NM”, Texas State Energy Conservation Office, 2005.
- [13] J. Kondoh, I. Ishii, H. Yamaguchi, A. Murata, K. Ontai, K. Sakuta, N. Higuchi, S. Sekine, M. Kamimoto, “Electrical energy storage systems for energy networks”, Energy Conversion & Management, Vol. 41, 1863-1874, 2000.
- [14] 김재철, “압축공기를 이용한 전력 저장 기술”, KISTI 기술동향분석보고서, 2003.
- [15] 배재근, “첨단에너지 환경기술”, pp. 224-231, 도서출판 아진, 2005.



김 영 민

· 한국기계연구원 미래기술연구부 선임연구원
· 관심분야 : 신 사이클 에너지시스템
압축공기 전력저장 발전, 열병합 발전
· E-mail : ymkim@kimm.re.kr



신 동 길

· 한국기계연구원 미래기술연구부 선임연구원
· 관심분야 : 신 사이클 에너지시스템
다열 매연여과장치
· E-mail : sdk@kimm.re.kr



Daniel Favrat

· 스위스 로잔연방공대(EPFL) 교수, Industrial Energy Systems Laboratory
· 관심분야 : 에너지시스템, 분산형 열병합 발전
ORC, 가스엔진, 연료전지, 히트펌프
· E-mail : daniel.favrat@epfl.ch