



부하조정용 Na-S ESS용 전지 개발현황 및 전망



조남웅
포항산업과학연구원 대용량전지연구팀 수석연구원

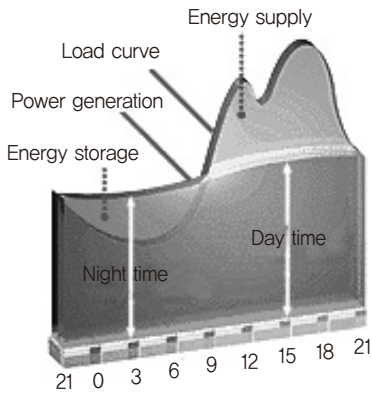
1. 개황

지난해에는 '전력 대란'이란 말이 어느 해 보다 많이 언급되었다. 지난 여름에 이어 겨울에도 원자력 발전소들이 잇달아 가동불능 상태에 빠짐과 동시에 강력한 한파마저 예상되면서, 겨울철 난방 수요 증가로 인한 전력 대란이 우려된 것이다. 발전소 증설로

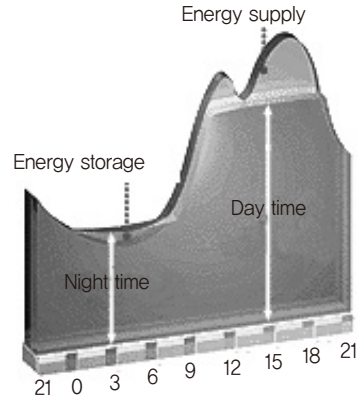
인한 공급이 현실적으로 한계가 있는 만큼, 전력 수요관리의 중요성이 더 한층 부각되고 있다.

전력 수요관리는 수요를 합리적으로 조절하여 부하율 향상을 통한 전력 수급 안정 및 원가 절감을 도모하는 동시에, 국가적인 에너지 자원의 효율성 향상을 목적으로 한다. 예를 들면, 전력 수요가 낮은 심야 전력을 저장하고 수요가 높은 주간 시간에 사용하는

◆ Load leveling



◆ Peak shaving



[그림 1] 전력수요관리 개념도

방안(load leveling 및 peak shaving) 등이 고려되며, 주·야간 전력부하의 격차를 줄일 수 있는 부하관리 기기로 에너지저장시스템(Energy Storage System, ESS)을 통한 스마트그리드(Smart grid)의 운용이 적극 고려되고 있다. 미국의 경우, 세계 최초로 ESS 설치를 의무화 하였으며, 설치건물에 대한 세금공제 혜택과 차별적 요금제도 등 정책적 지원을 아끼지 않고 있다. 일본 역시 스마트그리드를 적용한 스마트하우스를 본격적으로 내세우고 있다.

현행 전력 저장 시스템으로는 양수 발전기가 주로 이용되고 있으나, 공급 관리 및 시간과 장소의 제약을 받는다. 이를 해소하기 위해 2차 전지인 니켈 수소전지, 리튬이온전지, 나트륨 유향전지, 산화환원 반응전지(Redox Flow Battery) 등의 부하평준화용 축전기술이 연구되고 있다. 이 중에서도 나트륨 유향전지(NaS 전지)는 빠른 충·방전 응답특성, 경제성, 안정성 등이 좋고 장소 제약 없는 전력 저장장치이다. 이 장치는 비용 저감과 수만 kWh급 대용량에 적합하여 MW급 이상의 대규모 전력 수요처에 이용될 가능성이 높다.

2. 현황

NaS 전지는 용융 나트륨과 용융 유향을 각각 음극과 양극 활물질로 사용하며, 이온 전도성 전해질 및 분리막의 기능을 동시에 갖는 베타 알루미늄 고체 전해질로 이루어진 전지이다. 1966년 미국 Ford사의 J.T. Kummer와 N. Weber가 베타 알루미늄을 전해질로 사용하는 NaS 전지의 개념을 처음으로 발표하였다. 1975년 미국 DOE는 ERDA와 전기자동차 및 전력저장용 전지기술 개발을 착수하여 Ford, GE, Dow Chemical 등이 전력부하 평준화, 전기자동차용 NaS 전지개발을 진행하였다. 1981년 100kWh급 실험용 전지를 개발하여 2년간 460회 가동한 것으로 알려졌다. 1990년대에는 독일 ABB사, 캐나다 ABS사와 함께 NaS 전지 제조공장 설립을 추진하였다. 미국에서는 2002년부터 DOE/EPRI 프로그램에 AEP, ABB 등이 참여하고 2006년과 2008년에 각각 일본 NGK의 NaS 전지를 도입하여 부하 조정 목적으로 실증 테스트를 수행 중이다.

영국의 국영 철도회사(British Rail)는 1970년대 중반부터 NaS전지를 개발하기 시작했으며, 1980년

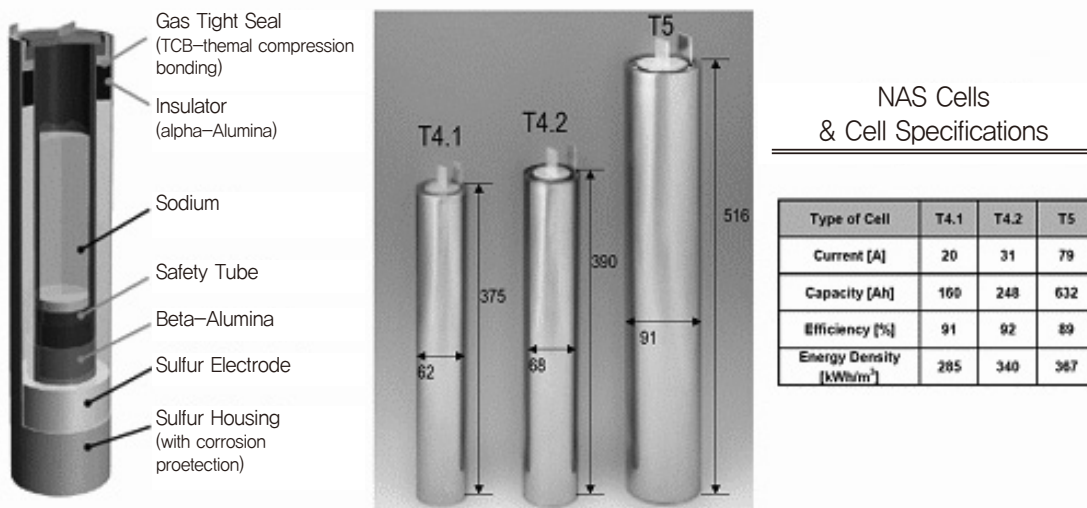
대 초 모든 기술을 Chloride Silent Power Ltd. (CSPL)사에 넘겨주었다. CSPL사는 미국의 연구기관과 공동으로 기술개발을 추진하였으며 각국에 다양한 특허를 출원하였다.

독일의 Asea Brown Boveri(ABB)사는 1970년대 부터 NaS 전지를 개발하였으며, Ford사 및 BMW사 등과 합작을 통해 pilot plant 설비 건설 등을 추진하였다. 일본은 동경전력(TEPCO)과 NASTECH사를 세워 개발을 진행하였으며 추후 NGK와 TEPCO가 협력하여 NaS 전지를 개발하였다.

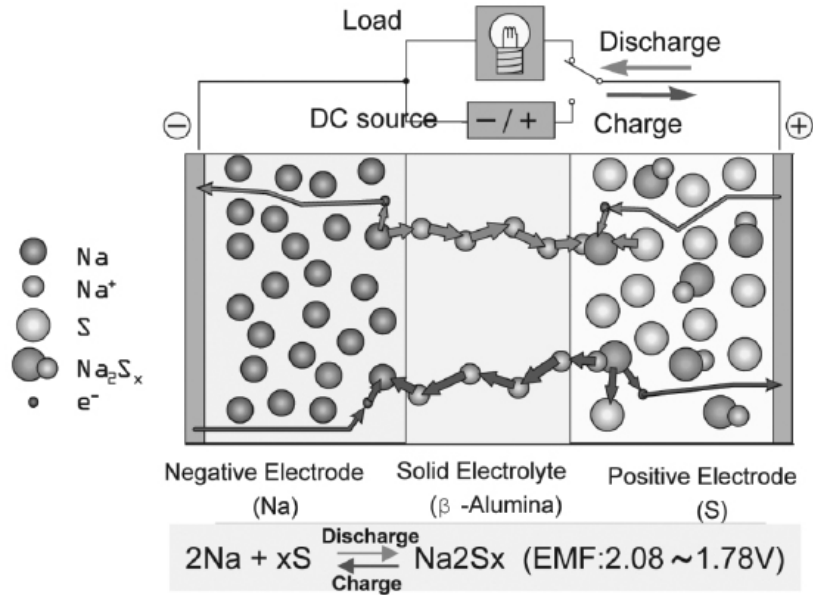
일본에서는 양수 발전 대체 및 부하 관리를 하고자 1983년 NEDO 프로그램의 일환으로 TEPCO에서 NaS 전지 실용화 개발을 시작하였으며, 독일의 BASF AG, ABB 등과 함께 협력하였다. 일본의 NGK사는 원래 세라믹 전문 제조회사였으며 초기 NaS 전지에 참여하게 된 배경도 세라믹 고체 전해질의 개발이었다. YUASA도 Moonlight 프로젝트에 참여하여 NGK사와 별도로 NaS 단전지를 개발하고 있었으나, 추후 기술을 NGK로 이전하여 고체전해질로부터 단전지, 모듈까지 제작하는 형태로 확장하였다.

이후 1kW급 초기 개발, 10kW급 개발, 50kW급 상용화 전략모델 개발(1992년)까지 약 20여 년간 개발을 수행하였다. 2002년에 TEPCO와 NGK가 공동으로 NaS 전지의 상용화에 성공하였고, 2007년과 2013년 생산능력을 확장함과 동시에 독보적인 기술력을 바탕으로 세계 ESS 시장을 독점하고 있다. 2006년 6월까지 일본 내 NaS 전지 시스템은 90개소에 설치되었고 축전용량은 130MW에 달했다. 또한 일본 내 90여 개소의 NaS 전지 운용을 비롯하여 2009년 중동 아부다비 수리 전력청에서 발주한 개발비 100억 엔 이상의 50MW급 NaS 전지 등 세계 각지에 활용처가 확대되고 있다. 생산된 용량은 2008년 90MW에서 2013년 150MW로 증가 추세에 있다.

중국에서는 과학기술부와 자연과학기금의 지원을 받아 SICCAS(상해규산염연구소)에서 1980년부터 NaS 전지에 대한 연구가 진행되고 있다. 1992년 50kW급 전지의 실증시험을 하였고 1996년 단전지의 출력 및 용량을 종래의 전지에 비하여 2.5배로 대형화했으며 2003년 양산 공장을 설립하였다. 2010년 5월에는 100kW/800kWh의 ESS를 제작하여 2010 상하



[그림 2] 일본 NGK의 NaS 전지 구조와 사양

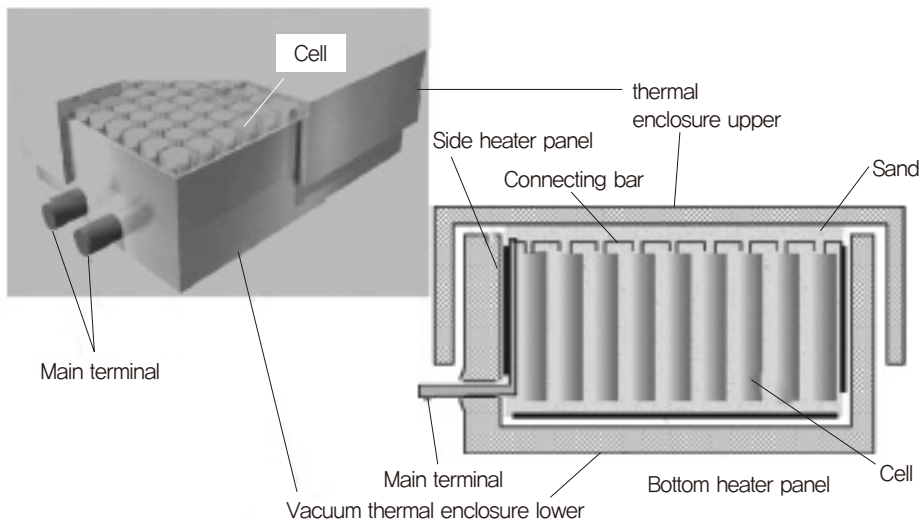


[그림 3] NaS 전지의 기본 원리

이 EXPO에서 시험운행을 하였다. 최근 상해전기, SICCAS의 합작으로 상해전지(SE SSE)를 설립했고 MW급 NaS 전지 시스템 개발을 진행 중이다.

NGK에서 상용화된 NaS 단전지는 원통형으로, 중

심에 Na극(-), β-alumina관(전해질), 유황극(+) 순서로 구성되어 있다. 방전 시 Na이 전자를 내놓으며 이온화 된 후 β-alumina를 통해 양극으로 이동해 S 및 음극으로부터 방출된 전자와 반응하여 Na₂S_x로, 충전 시 양극의 이온이 음극으로 이동하여 전자를 받



[그림 4] 전력수요관리 개념도

아 Na로 돌아가는 전지이다. β-alumina관 내부에 안전관을 설치하여, 단전지의 이상 전류나 β-alumina 세라믹스 파손 시 내부 온도 상승을 방지하도록 설계 되어있다.

NaS 전지는 작동 중 활물질이 액상으로 유지되고, 고체 전해질의 고이온 전도성을 발현하기 위해 약 300~350°의 온도를 유지한다. 초기 운전 시에는 전기 히터로 승온하지만, 충방전 시에는 전지에서 발생하는 자체 발열로 보온이 가능하다. 모듈은 과전류 방지를 위한 차단 시스템을 고려한 자체 방폭 구조로 설계되었다. 그리고, 단전지를 모듈화함으로써 대용량 시스템을 구현한다. NGK사의 상용 모델을 예로 들면, 50kW급 모듈은 320개의 단전지로 구성되어 출력 52.6kW, 용량 380kWh를 가지며 무게는 3.4t이다. 전지모듈은 단전지 하나하나가 모두 균일하지 않으므로 개개의 전지를 계속제어 하면서 모듈을 제어할 수 있어야 한다. 이때 열 손실을 줄이기 위한 단열과 셀 반응을 위한 온도제어 등 효율적인 열관리가 중요하다. 1MW 출력의 전력저장시스템을 구축하기 위해서는 이와 같은 전지모듈을 20set 단위로 조합한다.

3. 전망

NaS 전지는 대용량 전지로서 지금까지 실용화된 이차전지 중 에너지밀도가 760Wh/kg으로 가장 높으며 현재 보급화되어 있는 저장장치의 3~5배 정도의 전력저장밀도를 갖는 우수한 성능을 보유하고 있다. NaS 전지는 가역반응으로서 활물질이 소모되는 반응이 없으므로, 이론적으로는 수명이 무한하며 별도의 정비프로그램이 필요하지 않다. 15년 동안 4,500회 이상 충·방전 사이클이 가능할 만큼 수명이 길며 불규칙한 충·방전에도 성능의 저하가 없고 환경변화에 영향을 받지 않는 장기 신뢰성을 갖는다. 그리고 MW급 전력을 수 시간 동안 이산화탄소 등의 가스배출 없이 방전할 수 있으며 완전 밀봉상태에서 장시간 사용하는 환경친화성 전력저장기술로서 그린 에너지 산업과의 동반성장이 가능하다.

또한 NaS 전지는 대용량 전력저장 장치 가운데 경제성 및 신뢰성이 가장 우수한 전지시스템이다. 주재료인 나트륨 및 유황이 자연계에 대량으로 존재하여 고갈의 우려가 없으므로 원가에서 차지하는 재료비의 비중이 매우 낮은 반면, 연구개발과 생산설비 투

타 전지 대비 NaS전지의 장점

구분		NaS	Lead Acid	Lithium ion	Ni-H
Continuous Discharge Duration with rated output (hour)		6	2	3	2
Expected lifetime (as standard condition, year)		15	3-5	10	7
Size	1MW	1	1	1	1
	MWh(1MWx6h)	1	3 times	2 times	3 times
Weight	1MW	1	2 times	1	2 times
	MWh(1MWx6h)	1	6 times	2 times	6 times
Price	MWh	1	1	5 times	3 times
	MWhx15years	1	3to5 times	8 times	6 times
Notes	Self Discharge	No	Yes	Yes	Yes
	Memory Effect	No	No	No	Yes

자 및 마케팅 비용 등이 원가의 큰 몫을 차지하므로 기술개발과 대량생산을 통한 가격절감이 가능하다. 또한 펌프나 밸브와 같은 가동부품이 필요 없어 보수가 용이하며, 저가 소재 부품사용 및 발전단가가 싼 전력비중의 확대, 양산 용량의 증설을 통한 발전 단가 인하가 가능한 전지이다. 또한 가장 가격이 저렴한 것으로 알려진 납축전지와 유사한 수준의 가격까지 낮출 수 있다고 평가된다(현재 350\$/kWh → 2030년 140\$/kWh).

일본의 NGK사는 NaS 전지의 공급 요청이 생산능력을 초과함에 따라 2007년과 2013년 생산 능력을 확장하였다. 또한 세계적으로도 친환경 녹색성장, CO₂ 저감, 스마트그리드에 대한 필요성으로 NaS 전지가 급격한 성장세를 나타낼 것으로 전망된다. 현재로서는 유일한 NaS 전지 생산업체인 NGK에서 세계

시장을 독점할 것으로 보이며 제반 전력산업 환경을 감안할 때 향후 시장전망은 밝은 것으로 평가되고 있다. Nanomarket에서 예측하고 있는 스마트그리드 분야에서의 중대형 배터리 시장은 2010년 4,500억에서 2016년 10조 원 수준으로 20배 이상 성장할 전망이다. 이중 NaS 전지의 시장규모는 1조 8천억 원 정도로 예상하고 있다.

RIST는 NaS 전지의 기술 장벽인 장수명화, 고출력화를 넘어서기 위해 신소재 연구 및 개발 역량을 결집하고 있으며 현재 한국에너지기술평가원의 에너지기술개발 사업으로 대용량 전력저장용 Na-base 전지 시스템을 개발 중이다(120W/600Wh급 단전지 및 10kWh급 전력저장 시스템). 현재는 NaS 전지 ESS 시장을 세계적으로 NGK가 장악하고 있지만 혁신적이며 지속적인 개발을 통한, 우리의 제품이 세계 시장에서 각광받기를 기대한다. 