



# 전기 에너지 저장의 기술 및 경제적 이득

## Technical and Financial Benefits of Electrical Energy Storage

IEEE EPEC(Electric Power and Energy Conference) 회의에서 발표된 논문을 2회에 걸쳐 소개합니다. IEEE EPEC(Electric Power and Energy Conference)는 IEEE Power and Energy Society 주관으로 열리는 학회로 캐나다에서 열리는 전력 및 에너지 분야에서 가장 규모가 큰 학회 중의 하나입니다.

발표논문 가운데 현재 이슈가 되고 있는 주요 논문 두 편('전력망 송전용량 증가를 위한 직렬콘덴서', '전기에너지 저장기술')을 나누어 연재합니다. <박만동 대한전기협회 KEPIC처 전기계측팀장>

Rolf Gruenbaum IEEE Senior member

Jon Rasmussen IEEE member

Chun Li

**요약** 전통적으로, 전력망의 규모는 최대 수요에 따라 결정된다. 이것은 많은 양의 전기를 저장하는 것은 기술적 및 경제적으로 실현 불가능하기 때문이다. 따라서 결과적으로 현재 사용하지 않는 거대한 용량의 전력망 이용이 가능하다. 이러한 비사용전력망의 이용이 가능하다면, 동일한 전력망으로 더 많은 에너지를 전송할 수 있어서 전력망 증강을 위한 투자를 연기하거나 생략 할 수 있다. 이를 위해서는 전기수요를 적기에 변경, 더 정확하게는, 전력 전송을 적시에 변경하는 것이 가능하여야한다. 원리적으로, 이것은 (분산되어 있는) 전기 저장을 전력망에 통합하면 가능하다. 본 논문은 전력 그리드를 위한 에너지 저장 기술에 관한 현재 지식상태를 요약하고자 한다. 가능하다면, 폭 넓은 이용과 관련된 핵심적인 특징들을 강조하는 체계적인 방법으로 에너지저장 기술 및 적용 등을 비교하여, 에너지 저장 기술 및 적용 범위에 관심이 있는 정책 입안자를 위한 참고자료로 제공하기 위함이다.

### 1. 개 황

에너지 저장 기술은 전력 그리드를 개선하고 신재생 전기 생산을 성장 시킬 수 있는 큰 가능성을 가지고 있다. 전력 시스템에서, 이 기술의 장래성은 전력 조류의 최적화와

풍력이나 태양광 발전에 의한 가변전원을 지원하는 그리드의 효율성과 신뢰성 증대 가능성에 달려있다. 그러나 전력 시스템은 규제 완화의 결과로 운용 요건에서 급격한 변화를 겪고 있다. 전기 부하의 지속적 증대와 대규모로 상호 연결된 전력망에서의 고광역 전력전송에 의해 전력시스템 운용은

복잡하고 안전성이 떨어지게 된다. 발전과 송전설비는 경제, 환경, 기술, 그리고 정부 규제 제약으로 인해 이러한 새로운 요구를 충족만큼 성장하지 못했다. 동시에, 전기 부하의 증대로 전원의 품질이 중요한 문제로 부각되었다. 이러한 도전에 직면한 전력 시스템 엔지니어는 더 유연하고, 제어 가능한 방법으로 시스템을 운용할 수 있도록 하는 해결책을 추구한다.

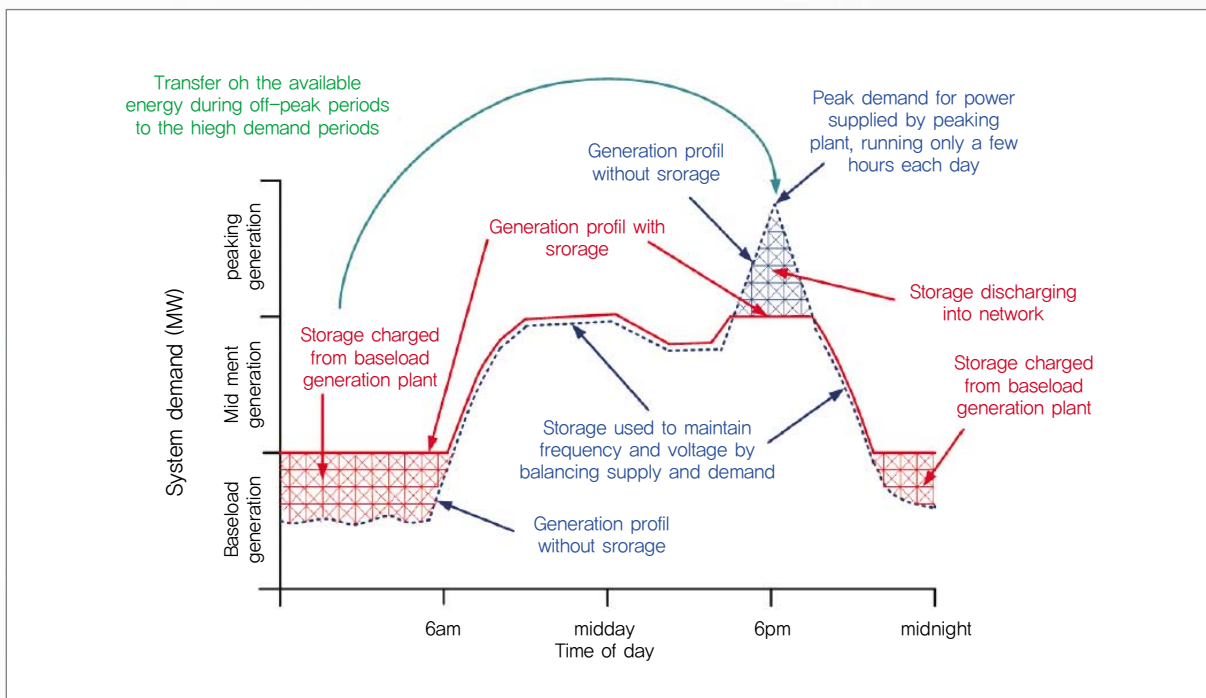
전력 시스템 외란이 발생하면, 동기 발전기가 시스템이 안정을 유지하기에 충분할 만큼 항상 신속하게 반응할 수는 없다. 만약 고속의 유효전력 또는 무효전력 제어가 가능하면, 외란 동안에 부하 차단 또는 발전기 탈락을 피할 수 있을 것이다. 고속의 무효전력제어는 교류송전계통 장치로 제어가 가능하다. 드문 경우, 이러한 장치는 또한 동일 선로나 어떤 경우에는 동일한 변전소의 인접한 선로로부터 유입하는 유효전력을 컨버터 내에서 전력 순환시켜 고속의 유효전력을 제어하는 수단으로 제공될 수 있다. 그러나 더 좋은 해결책은 전력 순환을 통해 시스템에

충격을 주지 않고 유효전력을 신속하게 변화시킬 수 있는 능력을 구비하도록 하는 것이다.

이것이 에너지 저장 기술이 시스템 신뢰도와 전력 품질을 유지하는 데 가장 중요한 역할을 할 수 있는 방법이다. 이상적인 해결책은 빠른 감쇠 진동, 급격한 부하변동에 대한 대응, 송전 또는 배전 정전 기간 중의 부하 공급, 빠른 무효전력 제어로 부하 전압 프로파일 수정, 그리고 정상 속도에서 발전기가 시스템 부하와 균형을 맞출 수 있도록 하는 수단을 구비하는 것이다. 주문형 전원 장치는 배전 시스템에 대해 전류 차단 또는 전압조정 기능을 수행하기 위해 전력 컨버터를 사용한다.

## II. 전기 에너지 저장의 정의

전기 에너지 저장(EES)이란 전력망에서 필요시 전기 에너지로 다시 변환을 위해 저장할 수 있는 형태의 전기 에너지로 변환하는 과정을 말한다.



[그림 1] 에너지 저장의 기본 개념



이러한 과정으로 수요가 적고 발전 비용이 낮은 시점이나 간헐적인 에너지원으로부터 전기를 생산하여, 수요가 높고 발전 비용이 높은 시점이나 다른 발전 방법을 이용할 수 없을 때 전기를 사용할 수 있다(그림 1 참조).

EES는 휴대용 장치, 수송용 차량 그리고 고정 에너지원을 포함하는 많은 적용분야가 있다. 이 논문은 발전소, 송배전망, 분산 에너지 원, 신재생 에너지 그리고 지역 산업 및 상업 고객과 같은 고정형 EES 시스템에 초점을 둔다.

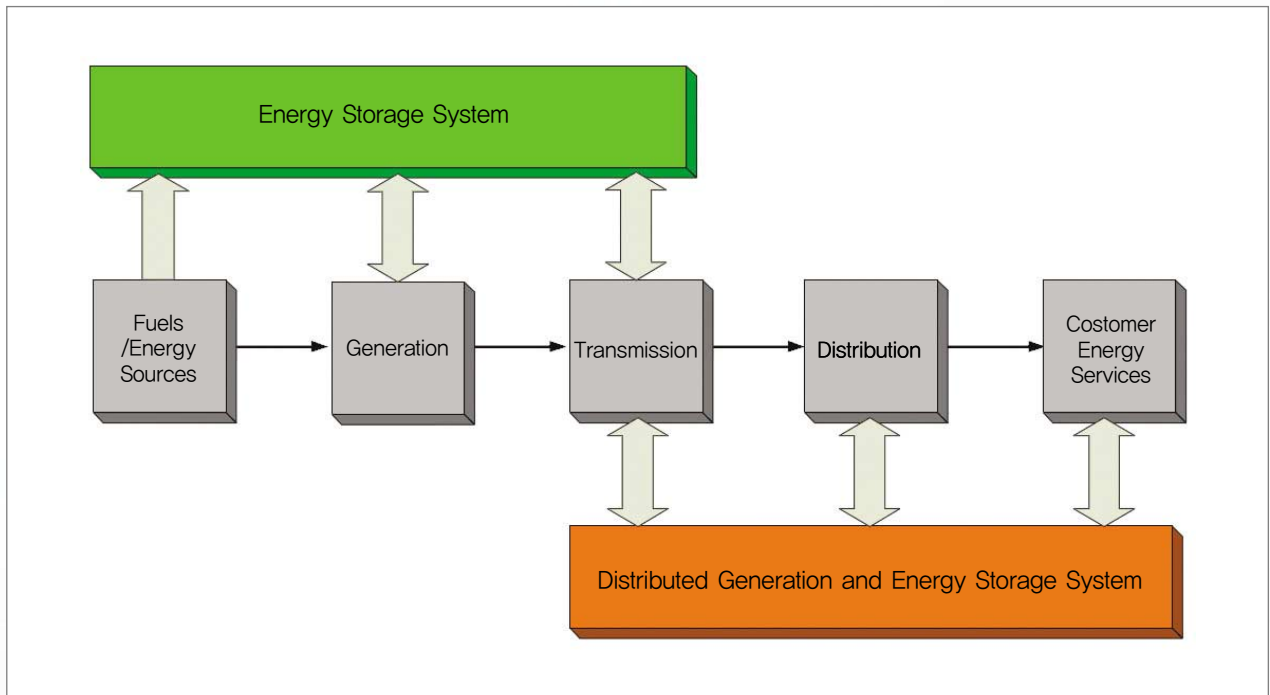
### III. 에너지 저장 시스템의 역할

전기 저장 시스템 비용을 획기적으로 줄이는 방법은 전력 시스템의 설계와 운용에서 혁신적인 변화를 가져올 수 있다. 첨두부하 문제를 줄일 수 있고, 전기 안정성을 개선할 수 있으며 전력 품질 외란을 제거할 수 있다. 실제로, 이용 가능한 전력을 좀 더 효율적으로 관리하면 에너지 저장은

전력 공급 그리드에서 유연성 있는 다기능적인 역할을 한다. 발전 시스템과 신재생 에너지의 변환을 조합시켜 에너지 저장 시스템(ESS)을 통해 실시간으로 생산과 소비의 균형을 맞추고 그리드의 관리와 신뢰도를 향상 시킨다.

나아가, ESS는 에너지 시스템에서 신재생 자원의 통합을 용이하게 하고, 에너지의 보급률을 증대시키며 주파수와 전압을 더 양호하게 제어하여 공급된 에너지의 품질을 향상시킨다. 저장장치는 발전소, 송전 시스템의 지원, 배전 시스템의 여러 지점, 특정 가전기기 및 계량기의 소비자 측의 장비에 적용할 수 있다.

첨두부하를 줄이고 첨두부하 기간 동안에만 운전하는 추가의 화력 발전소를 없애는 데에 ESS를 이용할 수 있고 발전소의 기능을 영구적으로 더 양호하게 활용하고 그린 하우스 가스 (GHG)의 배출을 현저하게 감소시킬 수 있다. 최신형 전력 전자(전력 전자는 종종 에너지 저장 시스템과 전기 그리드간의 인터페이스이다)와 조합된 에너지 저장



[그림 2] 에너지 저장소를 갖춘 새로운 전기 가치 사슬

시스템은 큰 기술적 역할을 하고 많은 재정적 이익을 가져온다. 이들 중 일부를 다음 절에 요약한다. 그림 2는 에너지 저장 시스템(ESS)의 통합으로 새로운 전기적 가치 사슬이 어떻게 변하고 있는지를 보여준다.

그리고 정보 기술의 발전은 많은 새로운 저장기술을 출현하게 하였다.; 이러한 새로운 기술은 더 넓은 규모로 전체 비용을 상당히 줄일 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

#### IV. 에너지 저장 기술의 개요

ESS는 여러 가지 형태로 나타난다. 일부 기술은 수십 년 동안 존재해 왔고 (배터리, 양수), 따라서 전기 에너지 저장의 개념은 새로운 것이 아니다. 재료, 전자, 화학

ESS는 기계적, 열적 및 화학적 저장을 포함한 다양한 범주를 아우를 수 있다. 이러한 넓은 범주의 각각은 비용과 성능을 측정하기 위한 고유의 매개변수를 가진다.

이 절에서는 현재 이용 가능하거나 개발 중인 기술 일부를 기술 한다. 이것은 현존하거나 가능한 ESS 기술을 망라한 목록은 아니다. 표 1에 ESS의 기술적 특성을 요약했다.

[표 1] ESS의 기술 특성 비교

Technology	Power rating (MW)		Discharge time	Capital costs (\$/kW)		O&M costs (\$/kW-year)		Round trip efficiency(%)		Deployment time
	Min	Max		Min	Max	Min	Max			
SMES	0,1	10	Ms to 8s	200	500	10	25	80	90	<100msec
Flywheels	0	10	Ms to 40min	250	450	20	30	90	95	10 to 20msec
Capacitor	0	0,05	Ms to 60min	200	500	-	-	60	75	
Supercapacitor	0	0,3	Ms to 60min	100	500	10	15	90	100	10 to 20msec
Batt-ZEBRA	0	0,3	Second to hours	150	300	-	-	85	90	10 to 20msec
Batt-NaS	0,05	50	Second to hours	600	3000	10	50	75	90	10 to 20msec
Batt-Lead acid	0	20	Second to hours	300	800	5	20	70	80	10 to 20msec
Batt-NiCd	0	40	Second to hours	500	1500	15	30	60	70	10 to 20msec
Flow-ZnBr	0,05	2	Second to 10hours	600	2500	55	80	65	75	11 to 20msec
Flow-VRB	0,03	7	Second to 10hours	600	2500	55	80	65	75	12 to 20msec
Flow-PSB	1	15	Second to 10hours	600	2500	25	55	75	90	13 to 20msec
Metal-air	0	0,01	Second to 24h+	100	250	10	40	60	70	-
Fuel cells	0	50	Second to 24h+	-	-	-	-	-	-	1sec
Batt-Li-ion	0	0,1	Minutes to hours	1200	4000	20	60	85	100	10 to 20msec
AL-TES	0	5	1h to 8hours	-	-	-	-	40	60	-
CES	0,1	300	1h to 8hours	200	300	-	-	40	50	-
Solar fuel	0	10	1h to 24h+	-	-	-	-	20	30	-
HT-TES	0	60	1h to 24h+	-	-	-	-	30	60	-
CAES	5	300	1h to 24h+	400	1350	10	25	70	80	5 to 12msec
PHS	100	5000	1h to 24h+	600	2000	10	15	70	85	1 to 3msec

### A. 양수

양수저장(PHES)장치는 해발고도가 낮은 저수지에서 높은 저수지로 물을 펴 올리기 위해 수요가 적은 시간대에 생산된 저가의 전기를 사용한다. 기존의 수력 발전소와 유사하게, 물은 낮은 저수지로 다시 흘러가는 동안에 터빈을 돌려서 전기를 생산한다. PHES를 100~1000 MW 용량의 큰 규모로 건설할 수 있고 장시간(4에서 10시간)에 걸쳐 방출시킬 수 있다.

### B. 압축 공기

압축 공기 에너지 저장(CAES) 설비는 저장소에 공기를 압축하기 위해 전기를 사용한다. 고압 공기는 지하에서 방출되고 천연 가스 화력 터빈의 전력 공급에 보조로 사용된다. 압축 공기로 터빈이 아주 적은 천연 가스를 사용하여 전기를 생산할 수 있도록 한다. 압축 공기를 다공질 암반 구조물, 고갈된 천연 가스/석유 지역 및 소금 구조물의 동굴을 포함하여 다양한 형태의 지하 저장소에 저장할 수 있다.

### C. 배터리

황화소듐(NaS), 리튬 이온 및 유동형 전지를 포함하여, 대용량 재충전 배터리의 여러 다른 형태를 ESS에 사용할 수 있다. 배터리는 에너지 저장 적용의 범위를 넓힐 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 전기 저장을 위한 배터리 시스템(BES)은 예를 들어 자동차의 배터리에 이용된 동일한 원리를 이용하지만, 규모는 더 크고 더 높은 전원으로 구성된다. 축전지 기반 ESS는 휴대가 가능하고 BES는 알려진 기술이기 때문에, 설비 산업은 이 장치에 일반적으로 익숙하다.

### D. 열에너지 저장

열에너지 저장(TEs)의 유형에는 태양열 발전소와 최종 사용 TES에 적용 가능한 두 가지 형식이 있다. 태양열 발전소의 TES는 낮의 흐린 기간 동안에 원활한 출력이 가능하도록 하고 해가 진 이후에 1~10시간 동안의 전력

생산 시간을 늘리기 위해 태양열 발전소에 의한 집열의 형태로 태양 에너지를 축적하는 합성 오일 또는 용융염으로 구성된다. 최종 사용 TES는 지하 대수층의 냉운, 물 또는 얼음 탱크, 또는 다른 물질을 이용하여 전기를 축적하고 이 에너지를 이용하여 필요시 건물 난방 또는 에어컨 시스템의 전기 소비를 줄인다.

### E. 플라이휠

기존의 플라이휠은 금속 샤프트에서 회전하는 거대한 디스크의 운동 에너지처럼 에너지를 축적한다. 축적된 에너지를 플라이휠로부터 회수하기 위한 절차는 회전 디스크 제동에 의한 발전기처럼 모터 구동과는 반대이다. 축적된 에너지의 양은 회전 선속도와 디스크 무게에 의존한다. 짧은 방전 시간 플라이휠은 전압과 주파수 안정화에 적합한 반면, 장시간 플라이휠은 부하 변동 감쇠에 적합할 수 있다.

### F. 울트라캐패시터

울트라캐패시터는 절연체로 분리된 두 개의 마주보는 충전 금속판으로 구성된 전기 장치이다. 울트라캐패시터는 금속판에 전하 축적을 증가시켜 에너지를 축적하고 전하가 금속판에 의해 방출될 때 에너지를 방전한다. 일반적으로, 캐패시터는 순간적 정전시간 동안의 보조 전력 공급과 같이 단시간 적용에 적합하다. 개량 캐패시터는 전압 및 주파수 안정화에 유용하다.

### G. 초전도 자기 에너지 저장

초전도 자기 에너지 저장(SMES)은 전선을 통한 전류 흐름의 증가 또는 감소로 에너지를 축적하고 방출하는 많은 초전도 전선이 감긴 코일로 구성된다. 에너지는 권선 전류 증가 또는 감소로 인덕터의 자기장으로부터 추가되거나 추출된다. 정상 상태에서, 초전도 권선은 에너지 손실이 없고 에너지는 무기한으로 적은 손실로 축적될 수 있다. SMES의 주요 부품은 동작부분이 없어서 고 신뢰도와 낮은 유지보수율을 나타낸다. 그러나 초전도체는 에너지



손실이 있고 동작 부품이 있는 냉동 시스템이 필요하다. 전력은 다른 기술보다 적은 전력 손실로 짧은 시간동안에 고출력으로 거의 순간적으로 방전될 수 있다.

## V. 에너지 저장 구성품

기술에 대한 논의를 하기 전에, 에너지 저장 장치 내부 구성품에 대해 간단히 설명한다. 모든 에너지 저장 시설은 세 개의 주요 구성품으로 이루어진다. 저장 매체, 전력 변환 시스템(PCS) 그리고 보조기기.

### A. 저장 매체

저장 매체는 저장 장치 내부에 전기적 위치에너지를 유지하는 ‘에너지 저장소’이다. 기계적(PHES), 화학적(BES) 그리고 전기적(SMES) 위치에너지까지 다양하다.

### B. 전력 변환 시스템(PCS)

예를 들면 PHES와 CAES 같은 기계적 저장 장치를 제외한 모든 저장 장치의 경우, 교류(AC)에서 직류(DC) 및 그 반대로 변환하는 것이 필요하다. 따라서 PCS는 에너지 저장 장치가 충전(AC에서 DC로)되는 동안에 정류기처럼 그리고 장치가 방전(DC에서 AC로)할 때 인버터처럼 작동하는 것이 필요하다. PCS는 저장 장치에 손상이 가지 않도록 변환 동안에 전력을 조절한다.

각 저장 장치가 충전, 저장 그리고 방전하는 동안에 서로 달리 운용되기 때문에 개별 저장 시스템에 대한 PCS의 주문 제작은 에너지 저장 시설 개선의 주요 근원 중 하나로 간주된다. PCS는 보통 전체 저장 시설의 33%에서 50%의 비용을 차지한다. 예를 들면, 3~10,000kW 범위의 적은 규모의 발전 기술 같은 분산 에너지원에서는 성장의 한계 때문에 PCS 개발이 느리다.

### C. 보조기기(BOP)

다음과 같은 장치들이 있다.

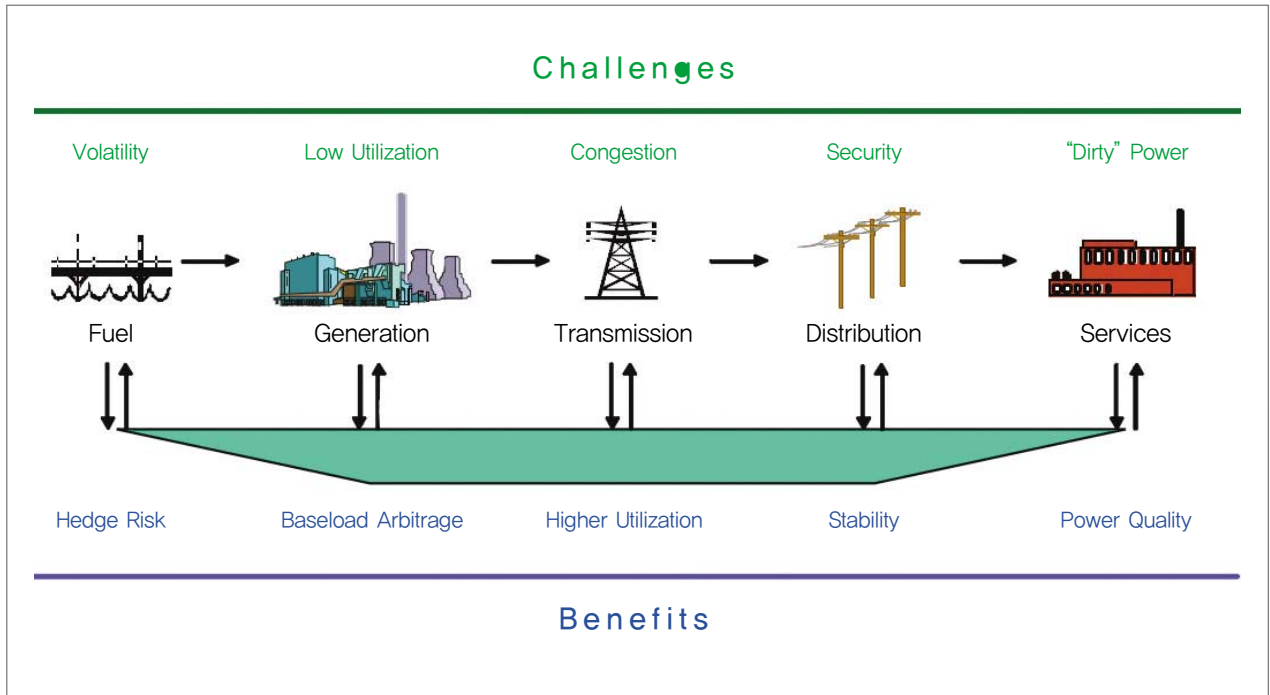
- 장비를 격납하는데 사용되는 장치
- 저장 시설의 환경을 제어하는 장치
- PCS와 전력 그리드간의 전기적 연결 장치

각 시설의 다양한 요건 때문에 에너지 저장 장치에서 가장 비용이 변동적인 구성품이다. 일반적으로 BOP는 전기적 상호연결, 서지 보호 장치, 저장 매체 지지 랙, 시설 보호소 그리고 환경 제어 시스템을 포함한다. 보조기기는 보호 외함, 난방/환기/공조 (HVAC), 그리고 유지정비/보조 장치와 같은 구조적, 기계적 장비를 포함한다. 다른 BOP 기능은 기초, 구조 (필요시), 전기 보호 및 안전 장비, 계량 장비, 데이터 모니터링 장비, 그리고 통신과 제어 장비를 포함한다. 시설 부지, 인허가, 프로젝트 관리 및 교육 같은 기타 비용도 여기서 고려될 수 있다.

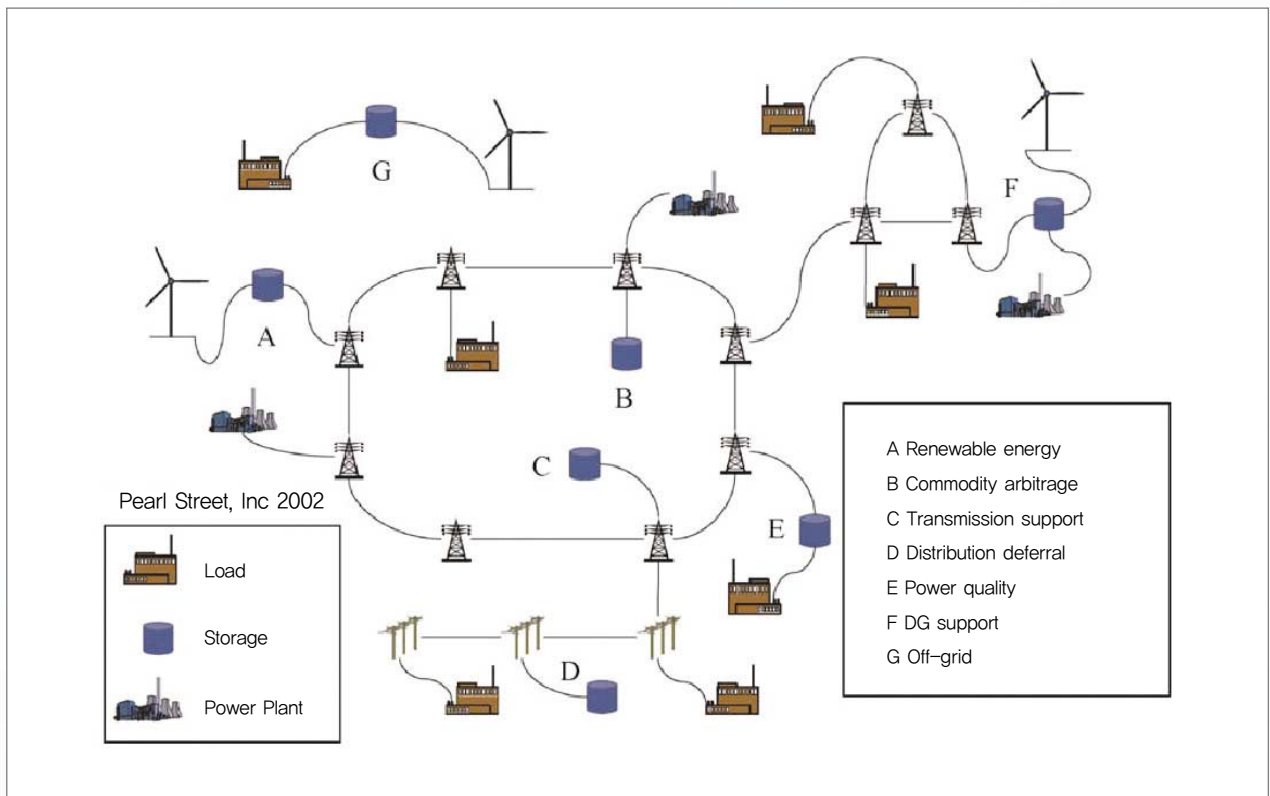
## VI. 에너지 저장 시스템의 적용과 기술적 이득

전통적인 전기 가치 사슬은 그림 3과 같이 연료/에너지원, 발전, 송전, 배전과 고객 측 에너지 서비스의 다섯 개 링크로 구성되어 있는 것으로 인식되어왔다. 필요한 시기와 장소에 전력을 공급함으로써 EES는 기존의 세그먼트 통합과 더 많은 대응 시장을 창출하여 ‘여섯 번째 링크’가 되기 일보 직전이다.

그림 4는 발전-그리드 시스템으로의 저장된 에너지 통합을 나타낸다. EES의 잠재적 적용은 수 없이 많고 다양하며 큰 규모의 발전 및 송전 관련 시스템에서부터 배전망과 ‘계량기 이후부분’ 이라도 고객/최종 사용자 지역에 주로 관련된 전체 범위가 포함될 수 있음을 알 수 있다. 일부 중요한 적용이 참고문헌[2], [14~19]에 요약되어 있고 다음 절에서 설명된다.



[그림 3] 전기 가치 사슬에 따른 ESS의 이득



[그림 4] 그리드로의 에너지 저장 적용

### A. 발전

- **일용 저장:** 낮 동안의 첨두 수요 시간대의 사용을 위해 야간에 생산된 에너지를 대량 축적. 두 시간대의 생산 가격의 차이 거래를 가능하게 하고 발전, 송전 및 배전 시스템에 대해 더 균일한 부하율 유지를 가능하게 한다.
- **비상 서비스:** 비상 예비용은 전력 시설이 작동하지 않는 경우 고객 요구시 전력을 제공하는 전력량이다. 운전예비는 운전하지 않는 장기 예비시간이 10분 이상인 경우 즉각적으로 준비된다. 운전예비는 에너지 생산이 아직 이루어지지 않는 기간 동안에 유효 전력을 생산하기 위해 사용될 수 있는 발전 용량으로 정의된다.
- **지역 제어:** 전력사업자 간에 계획되지 않은 전력 전송을 방지.
- **그리드 주파수 지원:** 그리드 주파수 지원은 갑작스런 큰 부하/발전 불균형을 줄여서 규칙적이거나 불규칙적인 그리드 상태 동안에 시스템의 60Hz(초당 사이클)에 대해 주파수 평형 상태를 유지하기 위하여 전기 배전 그리드에 공급된 유효전력을 의미한다. 시스템 전기 부하의 크고 빠른 변화는 발전기와 고객의 전기 장비에 손상을 줄 수 있다.
- **자체기동(Black-Start):** 이것은 송전 시스템을 가압하여 다른 설비를 기동시키고 그리드와의 동기화를 맞추기 위해 자체 기동능력이 있는 장치를 말한다.

### B. 송전과 배전

- **시스템 안정성:** 시스템 붕괴를 방지하기 위해 송전 선로상의 모든 시스템 구성품이 서로 동기 운전하도록 유지하는 능력.

- **그리드 위상각 안정성:** 그리드 위상각 안정성은 유효 전력의 주입과 흡수에 의한 전력 진동(급속 사건에 의한) 감소를 의미한다.
- **그리드 전압 지원:** 그리드 전압 지원은 모든 전력 선로의 각 종단 간 전압을 허용 가능한 범위 내로 유지하기 위해 전기 배전 그리드에 공급된 전력을 의미한다. 여기에는 발전기에서 생산된 “유효” 에너지와 발생된 무효 전력량 사이의 교환이 포함된다.
- **자산투자 연기:** 기존의 시설을 보완하여 수년간 활용할 수 없는 추가 설비에 대한 투자를 연기하여 자본을 절약한다.

### C. 에너지 서비스

- **에너지 관리 (부하 평준화 / 첨두부하절감):** 부하 평준화는 전력 수요를 차단하거나, 저장을 위해 첨두 부하가 아닌 기간 동안에 에너지의 생산과 첨두부하 수요 기간 동안에 사용하기 위해 일부 부하를 재조정하는 것이다. 반면에 첨두부하 절감은 첨두부하 기간 동안에 전기 사용을 줄이거나 첨두부하 수요 시간에서 첨두부하가 아닌 기간으로 전기 사용을 이동시키는 것이다. 이 전략은 고객들이 하루 중 어떤 시간에서 다른 시간으로 에너지 수요를 이동하여 최대부하를 절감할 수 있도록 해준다. 이것은 사용 시간(수요) 요금을 줄이는데 주로 사용된다.
- **불평형 부하 보상:** 이것은 4선 인버터와의 조합과 불평형 부하를 공급하기 위해 각 상에 개별적으로 전력을 주입 및 흡수시킨다.
- **전력 품질 개선:** 이는 기본적으로 전압과 전류의 크기와 형상 변화에 관련되어 있으며, 고조파, 역률, 과도현상, 플리커, 새그 및 팽창, 스파이크 등을 포함하여 서로 다른 문제를 야기한다. 분산 에너지 저장



시스템(DESS)은 이러한 문제들을 완화시킬 수 있고 전기 “파형”에 다른 부차적인 진동 또는 외란 없이 고객에게 전기 서비스를 제공할 수 있다.

- **전력 신뢰도:** 전체 가동 시간에 대한 전력 전송 차단 (완전 전원상실 뿐만이 아니라 문턱 값 초과를 포함 할 수 있다)의 백분율/비율로 표현될 수 있다. DESS는 전력 중단에 ‘우선’ 하여 고객(UPS)에게 신뢰할 수 있는 전기 서비스 공급을 하도록 도움을 줄 수 있다. 에너지 관리 저장장치와 연결되었다면 원격 전원 운전이 가능하다.

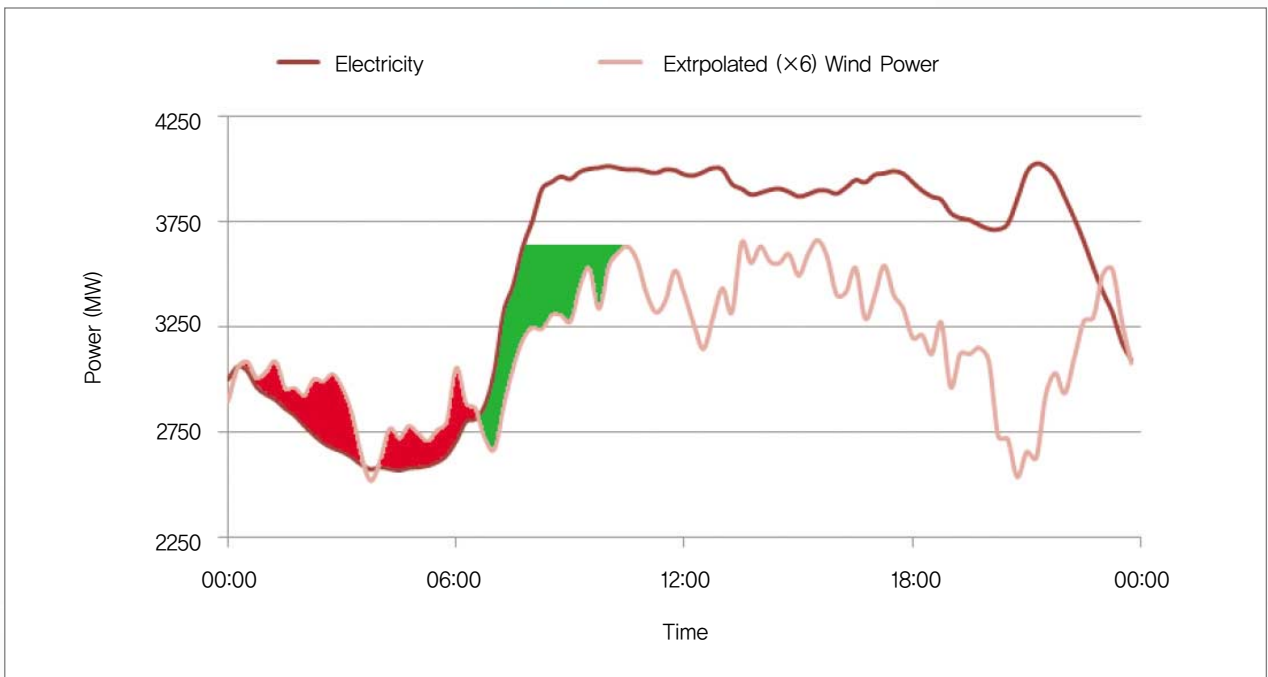
#### D. 간헐적인 신재생 에너지원의 통합 지원

신재생 에너지의 개발과 사용은 지난 몇 년 동안에 급속하게 성장하였다. 다음 20~30년 동안에 모든 지속 가능한 에너지 시스템은 전통적인 자원의 합리적인 사용과 더 많은 신재생 에너지의 사용을 기반으로 해야 할 것이다. 신재생 에너지원으로부터의 분산된 전기 생산을 통해

환경 파괴를 더 작게 하면서 소비자에게 더 많은 전력을 공급한다. 그러나 이러한 자원의 예측할 수 없는 특성은 최적의 시스템 운영을 위한 네트워크 설비 및 사용규정을 필요로 한다.

그러나 신재생 에너지원은 두 가지 문제점이 있다. 첫째, 많은 잠재적 발전소 부지가 부하 중심지에서 멀리 위치해 있다. 비록 풍력 에너지 발전 시설을 1년 이내에 건설할 수 있지만, 이 새로운 전력원을 시장으로 가져가기 위해서는 새로운 송전 시설을 반드시 건설해야한다. 이러한 송전 설비를 건설하는데 7년 까지 소요될 수 있기 때문에, 긴 지연 시간 기간으로 풍력 발전 시스템의 한계가 나타날 수 있다. 많은 발전소의 경우 이로 인해 기존의 고객에게 전력을 송전하지 못할 수도 있으나, 중요한 성장 중인 시장인 단독 그리드 시장에는 개방되어 있다.

두 번째 문제는 신재생 자원은 수요와는 별개로 변동을 거듭한다. 따라서 그리드에 접속할 수 있는 대부분의



[그림 5] 아일랜드 전기그리드에서의 에너지 저장을 사용한 외삼(x6) 풍력 발전의 통합

전력은 수요가 적을 때 생산된다. 피크가 아닐 때에 신재생 자원으로부터 전력을 저장하여 피크 동안에 방출시키는 방법으로, 에너지저장장치는 가치가 적은 불시 전력을 계획적인 가치가 큰 제품으로 변환할 수 있다.

에너지 판매를 넘어서, 시장으로의 확실한 급전 능력을 통해 신재생 에너지원을 시장에 비상용으로 또한 판매가 가능하다.

이러한 능력은, 경제성 있는 신재생 자원을 개발하게 한다. - 신재생자원의 가치를 증가시킴으로써 보조금의 수준을 더 이상 보조금이 아니라 환경적 신뢰 관점에서 신재생자원의 환경적 가치와 동등하게 되는 수준까지 낮출 수 있다.

● 주파수 및 동기 운전 예비 지원

그리드가 풍력 발전을 상당히 많이 공유하는 경우, 갑작스런 바람의 패턴 이동으로 인한 풍력 발전 출력의 간헐성과 가변성에 의해 발전과 부하 사이에 큰 불균형을 이루게 하여 결과적으로 그리드 주파수의 이동을 초래한다. 그러한 불균형은 송전 수준에서 회전보호로 보통 조절된다. 그러나 대부분의 전통적 해결책과 관련된 에너지를 방출시키지 않고 에너지 저장을 통해 그러한 불평형에 즉각적으로 대응 할 수 있다.

● 송전 단축 감소

풍력 발전은 흔히 송전과 배전 시스템 공급이 빈약한 원거리 지역에 위치한다. 결과적으로, 가끔 풍력 발전 사업자는 생산 감소를 요청받는데, 이로 인해 손실에너지 생산 기회를 놓치는 결과가 되거나 또는 시스템 사업자의 송전 능력을 확장하기 위한 투자가 요구된다. 풍력 발전소가 가까이에 위치한 EES 유닛은 과잉 에너지를 축적할 수 있고 따라서 송전 시스템이 정체되지 않을 때 송전할 수 있도록 한다.

● 시간 이동

풍력 터빈은 급전이 불가능한 자원으로 여겨진다. EES로 수요가 적은 기간 동안에 생산된 에너지를 축적하고 수요가 많은 기간 동안에 송전하기 위해 사용할 수 있다(그림 5). 풍력 발전에 적용할 때, 이 적용은 급전을 위해 더 잘 제어할 수 있도록 풍력 프로파일을 변경하기 때문에 가끔 '강화와 형성'으로 불린다.

● 예측 대비

풍력 에너지에서 오차의 완화(부족분)는 요청 송전을 위해 시장 입찰에 응하고, 따라서 현물 가격의 불안정을 줄일 수 있으며 이러한 불안정에 소비자의 위험 노출을 완화한다.

● 변동 억제

풍력 발전 주파수 변동을 억제하여 안정화 할 수 있다 (출력의 짧은 기간 변동하는 동안의 에너지 흡수와 방전).

## VII. 에너지 저장 시스템의 경제적 이득

에너지 저장 이득의 자세한 분석이 시장 분석과 함께 이루어졌으며, 다음은 일부 주요 내용이다:

● 비용 절감 또는 대량 에너지 중개 거래 수입 증가

중개 거래는 저장소에 충전하기 위해 수요가 적은 기간 동안에 구매 가능한 저가의 전기를 구매하여, 후에 전기 값이 비쌀 때 저가에너지가 사용되거나 또는 판매될 수 있다.

● 비용 회피 또는 중앙 발전 용량의 수입 증가

전기 공급 용량의 여유가 없는 지역의 경우, a) 구입 및 새로운 발전소의 설치 그리고/또는 b) 대규모 전기 시장에서 발전소 '대여' 등의 필요성을 상쇄하기 위해 에너지 저장을 사용할 수 있다.

● 비용 회피 또는 보조 서비스의 수입 증가

에너지 저장이 여러 유형의 보조 서비스를 제공할 수 있다는 것은 잘 알려져 있다. 요컨대, 지역 그리드 운영을 유지하기 위해 이용되는 지원 서비스라고 불리는 것들이다. 두 가지 친숙한 것들이 운전예비 및 부하추종이다.

● 비용 회피 또는 송전 접속/정체에 대한 수입 증가

에너지 전송을 증가시키고 전압 레벨을 안정화하는 능력을 유틸리티에 부여하여 에너지 저장을 사용하며 T&D 시스템의 성능 개선이 가능하다. 게다가, 에너지 저장을 사용하기 때문에 송전 접속/정체 비용부담을 회피할 수 있다.

● 수요자 요금 절감

그리드가 수요가 높은 시간 동안에(피크 전기 수요 기간) 전기 최종 사용자의 전기 그리드 사용을 감소시키기 위해 에너지 저장을 사용하면 수요자 요금 절감은 가능하다.

● 신뢰도 관련 경제적 손실 감소

에너지 저장으로 정전과 관련된 경제적 손실을 줄인다. 이러한 이득은 최종 사용자에게 한정적으로 상업 및 산업 고객에게 해당되고 주로 정전이 중간 정도에서 상당한 손실이 야기되는 이들에게 해당된다.

● 전력 품질 관련 경제적 손실 감소

에너지 저장이 전력 품질 이상과 관련된 경제적 손실을 줄인다. 중요한 전력 품질 이상은 부하 중단의 원인 그리고 /또는 전기 사용 장비의 손상 그리고 저장을 사용하면 방지할 수 있는 부정적 효과 등이다.

● 신재생 에너지원으로부터의 수입 증가

신재생자원으로 생산된 전기의 시간 이동을 위해 저장 장치를 사용할 수 있다. 에너지는 전력에 대한 수요와

가격이 낮을 때 축적되고, 따라서 (a) 전력에 대한 수요와 가격이 높을 때와 (b) 간헐적인 신재생 발전의 출력이 낮을 때 에너지를 사용할 수 있다.

앞에 나열된 기능은 전력 전자와 조합된 에너지 저장이 미래 전기 공급 시스템에서 큰 영향을 가질 것이라는 것을 보여준다. 이것이 모든 계획과 실행 전략이 신속한 통합 과정을 가지기 위해 분산 에너지원(DER)과 조합된 ESS의 실시간 제어 및 운전 기능과 연관되어야 하는 이유이다.

## VIII. 결론

전기 응용에서 에너지 저장의 잠재력을 이해하는 것은 여러 가지 요인에 의해 복잡하다. 첫 번째는 저장기술은 상용가능하거나 개발 중이거나 또는 연구 중에 있는 광범위한 기술로서, 기술적으로 다양하기 때문에, 기본성능, 가격 및 서로 다른 에너지 저장 옵션들에 대한 동등한 장점들을 균형 있게 이해하기 어렵다.

두 번째는 각각 다른 운전 요구사항들을 가진 다양한 에너지 저장 응용 기술이다. 어떤 저장 기술은 어떤 적용에 다른 것 보다 더 적합할 수 있다.

끝으로 에너지 저장 기술의 확산에 영향을 미치는 시장 구조와 경제 규제에 대한 여러 가지 측면이 있다. 종합해 보면, 이러한 요인들은 에너지 저장기술 개발이 도전적 연구개발 포트폴리오가 되게 한다.

저장 기술의 개선 필요성에 대해 일반적으로 합치된 의견이 있는 한, 다른 분야를 넘어 개선을 위한 여러 가지 가능한 길이 있다. KEA

## 참고문헌

- [1] P. Ribeiro, B. Jhonson, M. Crow, A. Arsoy, Y. Liu, "Energy Storage Systems for Advanced Power Applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 89, No. 12, December 2001.
- [2] Baker JN, Collinson A. Electrical energy storage at the turn of the millennium. Power Eng J 1999;6:107~12.
- [3] Walawalkar R, Apt J, Mancini R. Economics of electric energy storage for energy arbitrage and regulation. Energy Policy 2007;5:2558~68.
- [4] Mclarnon FR, Cairns EJ. Energy storage. Ann Rev Energy 1989;14:241~71.
- [5] Energy Storage Association, www.electricitystorage.org
- [6] Dobie WC. Electrical energy storage. Power Eng J 1998; 12:177~81.
- [7] Ibrahim H., A. Ilinca, R. Younès, J. Perron, T. Basbous, "Study of a Hybrid Wind-Diesel System with Compressed Air Energy Storage", IEEE Canada, EPC2007, Montreal, Canada, October 25~26, 2007.
- [8] Alaa Mohd, Egon Ortjohann, Andreas Schmelter, Nedzad Hamsic, Danny Morton. Challenges in integrating distributed Energy storage systems into future smart grid. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, June 30 - July 2, 2008.
- [9] H. Ibrahim, A. Ilinca, J. Perron, "Solutions actuelles pour une meilleure gestion et intégration de la ressource éolienne". CSME/SCGM Forum 2008 at Ottawa. The Canadian Society for Mechanical Engineering, 5-8 Juin 2008
- [10] David Connolly. A Review of Energy Storage Technologies For the integration of fluctuating renewable energy. Ph.D. project, University of Limerick, October 2010.
- [11] Baxter, R., Energy Storage - A Nontechnical Guide, PennWell Corporation, Oklahoma, 2006.
- [12] Energy Storage Systems, Sandia National Laboratories, 14th October 2007.
- [13] Gonzalez, A., ÓGallachóir, B., McKeogh, E. & Lynch, K. Study of Electricity Storage Technologies and Their Potential to Address Wind Energy Intermittency in Ireland. Sustainable Energy Ireland, 2004.
- [14] Makansi J, Abboud J. Energy storage: the missing link in the electricity value chain-An ESC White Paper. Energy storage Council 2002; p. 1-23.
- [15] Linden S. Bulk energy storage potential in the USA, current developments and future prospects. Energy 2006; 31:3446~57.
- [16] Dti Report. Status of electrical energy storage systems. DG/DTI/00050/00/00, URN NUMBER 04/1878, UK Department of Trade and Industry; 2004, p. 1~24.
- [17] Australian Greenhouse Office. Advanced electricity storage technologies programme. ISBN: 1 921120 37 1, Australian Greenhouse Office; 2005, p. 1?35.
- [18] Moore T, Douglas J. Energy storage, big opportunities on a smaller scale. EPRI J 2006; Spring Issue, p. 16~23.
- [19] Mears D. EPRI-DOE storage handbook-storage for wind resources. In: Annual peer review meeting of DOE energy storage systems research, Washington DC, USA, Nov. 10?11, 2004, p. 1~18.
- [20] Y. Rebours, D. Kirschen. "What is spinning reserve?", The University of Manchester, Sept 2005.
- [21] Haisheng Chen, Thang Ngoc Cong, Wei Yang, Chunqing Tan, Yongliang Li, Yulong Ding. Progress in electrical energy storage system: A critical review. Progress in Natural Science. July 2008.
- [22] Market Analysis of Emerging Electric Energy Storage Systems. National Energy Technology Laboratory. DOE/NETL-2008/1330. July 31, 2008
- [23] James M. Eyer, Joseph J. Iannucci, Garth P. Corey. "Energy Storage Benefits and Market Analysis Handbook, "Sandia National Laboratories REPORT, SAND2004-6177, December 2004.