

에너지 저장기술의 최적 서비스 선정 방법

이지현^{1)*} · 제갈성¹⁾ · 김현실¹⁾ · 맹종호²⁾

¹⁾신재생에너지연구소, 한전 전력연구원, 대전, 34056

²⁾송변전연구소, 한전 전력연구원, 대전, 34056

Optimal ES (Energy Storage) Service Selection Method

Ji Hyun Lee^{1)*} · Seong Jegal¹⁾ · Hyunshil Kim¹⁾ · JongHo Maeng²⁾

¹⁾New & Renewable Energy Laboratory, KEPCO Research Institute, Daejeon, 34056, Korea

²⁾Power Transmission Laboratory, KEPCO Research Institute, Daejeon, 34056, Korea

Received April 15, 2023; Revised May 8, 2023; Accepted May 10, 2023

ABSTRACT: The expanding significance of energy storage (ES) technology is increasing the acceptability of power systems by augmenting renewable energy supply. To deploy such ES technologies, we must select the optimal technology that meets the requirements of the system and confirm the technical and economic feasibility of the business model based on it. Herein, we propose a method and tool for selecting the optimal ES technology and service suitable for meeting the requirements of the system, based on its performance characteristics. The method described in this study can be used to discover and apply various ES technologies and develop business models with excellent economic feasibility.

Key words: Energy Storage System, Optimal Service selection, NaS Battery, VRFB, LiB

1. 서론

재생에너지 보급 확대에 따른 변동성 및 간헐성 증가로 전력 공급 안정성 향상을 위한 에너지 저장 기술에 대한 수요가 증가하고 있다. 관련하여 국내 ESS 시장은 '18년 4.8 GWh 수준에서 '30년 30 GWh 이상으로 확대가 전망된다¹⁾. ESS (Energy Service System)의 서비스별 활용현황은 '18년 기준 피크감축, 재생에너지 연계 목적의 ESS 활용이 전체 비중의 약 97%를 차지하며¹⁾ '30년에는 그리드 활용 용도의 대용량 ESS가 신규설비의 대부분을 차지할 것으로 전망된다²⁾. ESS의 격상 및 보급 확대 목표에 따라 다양한 기술개발과 함께 기술·경제적으로 타당성이 높은 활용방안 수립이 요구된다(Fig. 1 참조). 그러나 현재 ES (Energy storage) 기술의 대규모 보급에는 다양한 어려움이 존재한다. 주요 사항으로 ESS 운영을 위해 기존 전력계통 및 에너지시스템과 밀접한 연계가 요구됨에 따라 전체 시스템 설계 및 운영의 복잡성이 증가하며 종래 에너지 기술에 비해 설치 및 운영을 위한 투자비 및 기술력이 요구된다. 또한 프로젝트 개발을 위한 자금 조달 측면에서도 ESS 시스템 설치 및 운영에는 많은

초기 비용이 들어가며, 투자 수익률이 불확실하므로 자금 조달이 쉽지 않은 상황이다. 이러한 어려움에도 불구하고 ESS는 향후 탄소중립 달성을 위한 필수 기술로서 지속적인 기술개발과 적극적인 사업화 노력이 필요하다.

전 세계적으로 진행되는 기술개발에 따라 주요 ES 기술의 예상 설치비는 급격하게 감소하고 있다. 이중 납축전지(Lead-acid battery)는 타 기술 대비 가장 낮은 비용을 보이며 다른 기술도 급격한 비용감소를 통해 Lead-acid battery 기술과 유사한 비용 잠재력을 확보 중이다. 특히 리튬이온 배터리 기술의 연평균 비용 감소율은 15% 이상으로 이는 전체 ESS 기술 중 가장 빠른 수준에 해당한다³⁾.

상기 제시된 주요 ES 기술 중, 현재 그리드(Grid) 및 유틸리티(Utility)용으로 가장 많은 보급이 이루어진 것은 전기화학적 ES 기술로 볼 수 있으며 대표적인 기술은 다음과 같다.

1) 리튬이온 전지(Lithium-ion Battery): 전 세계 배터리 시장의 90% 이상을 차지하는 대표적인 ES 기술로 '21년 기준 누적 설치 용량은 3 GW/4.2 GWh 수준이다⁴⁾. 출력 특성, 에너지 밀도 및 반응시간 등 성능이 우수하여 주로 단주기 고출력이 요구되는 주파수 조정 ESS에 주로 사용되나 최근에는 피크 출력 감소 및 에너지 차익거래 분야로의 활용이 확대되고 있

*Corresponding author: jihyun.lee@kepc.co.kr

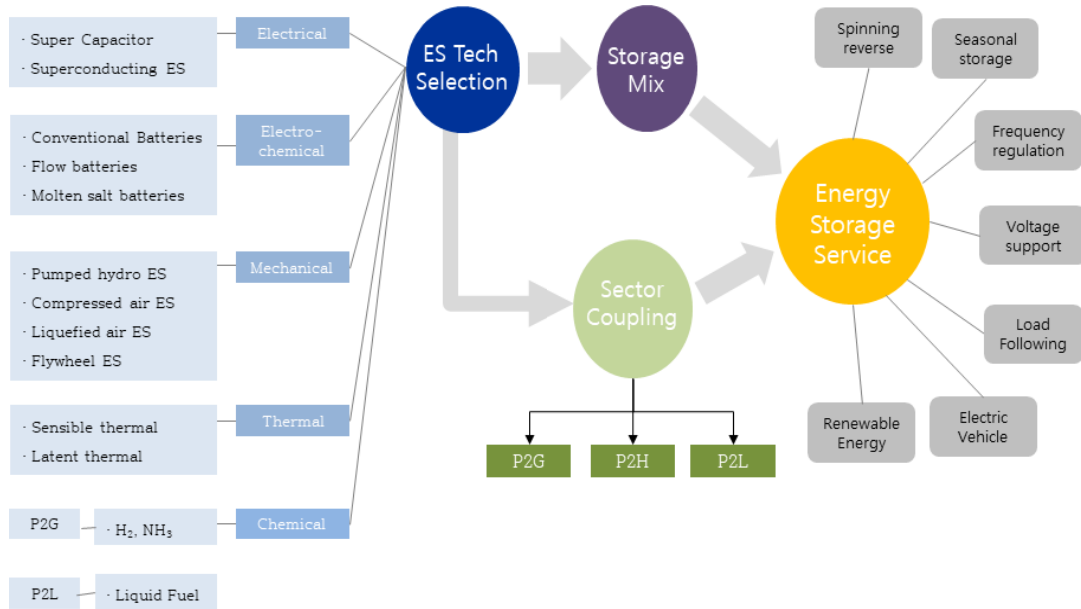


Fig. 1. Overview of ES Technology & Application

다⁵⁾. 양극 활물질에 따라 LCO (Lithium Cobalt Oxide), NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide), NCA (Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide), LFP (Lithium Iron Phosphate), LMO (Lithium Manganese Oxide) 및 LTO (Lithium Titanate Oxide) battery 등이 개발 중이며 원통형/파우치형/각형 등 다양한 형태로 제작될 수 있다. 리튬, 니켈 등 희유금속 사용으로 가격이 비싸며, 화재 안전성이 떨어진다.

- 2) 바나듐 레독스 흐름전지(Vanadium Redox Flow Battery, VRFB): 상온에서 작동하고 수용액을 사용하여 발화 및 폭발성이 낮아 다른 전지에 비해 안전성이 매우 우수하고 수백 kW~수 MW의 대용량 중·장주기 기술로 적합하다. 사이클 수명에 제한이 거의 없으며 상대적으로 저렴한 재료를 사용한다. 그러나 다른 시스템에 비해 상대적으로 출력, 에너지 밀도 및 효율이 낮은 것으로 평가받는다⁵⁾.
- 3) 나트륨 황 전지(Natrium Sulfur, NaS Battery): 글로벌 그리드 연계 ES 기술의 17%를 차지한다⁴⁾. 주요 실증사례로 아부다비(UAE)는 108 MW / 648 MWh의 규모의 NaS 시스템을 운영 중이며 단계상 “성숙(Mature)” 단계로 평가받는다. LIB와 비교하여 짧은 시간에 고출력은 어려우나, 낮은 출력으로 장시간을 사용하기에는 우수하고, 에너지 밀도가 높으며 저가 소재(나트륨 & 황) 활용 및 화재 위험성이 낮다. 그러나 전지의 반응을 위한 고체 전해질(β -alumina)의 이온 전도를 위해 고온(300~350°C)에서의 운전이 필요하다⁵⁾.
- 4) 니켈 소금전지(Na-NiCl₂ Battery, ZEBRA): 나트륨 황 전지와 유사한 용융염 전지로 분류된다. 나트륨 황 전지가 양극에 용융 황(S)가 적용된 반면, 니켈 소금전지는 양극에 황 대신 염화나트륨(NaCl)을 사용해 폭발을 방지하고 저가 소재 사

용 및 에너지 효율이 높은 장점이 있다. 그러나 타 기술 대비 기술성숙도가 낮다⁵⁾.

제시된 바와 같이, 일부 전기화학적 ES 기술은 이미 그리드(Grid)에 대규모 용량이 설치되어 운영 중이며, 이와 별도로 기존 LiB의 한계를 극복하기 위한 다양한 기술들이 제안되어 개발 중이다. 이에 따라 다양한 성능 특성과 기술성숙도를 갖는 기술을 모니터링하고 우선순위를 평가함으로써 기술, 경제적으로 최적의 ES 기술을 발굴하고 활용할 수 있는 방법론 개발의 중요성이 증가하고 있다. 이에 따라, 본 논문에서는 저자의 선행 연구⁶⁾를 바탕으로 상기 제시된 주요 전기화학적 ES 기술에 대해 문헌상에 제시된 주요 성능치 및 비용 데이터를 참조하여 BTM (Behind the Meter) 활용을 위한 기술 우선순위를 제시하고, 선정된 기술에 대해 최적 활용방안을 제시하는 방법론 및 이에 기반한 사례 연구 결과를 제시한다.

2. 최적 ES 기술 및 서비스 선정

ES 기술이 계통에 제공하는 서비스는 피크부하 저감, 차익거래 및 보조 용량 제공 등 매우 다양하다. 또한 전력 시장 정책에 따라 시장 규모와 편익이 상이하므로 체계화된 ESS 서비스 선정기준과 방법론을 바탕으로 ESS의 효율과 시스템 안정성을 극대화할 수 있는 최적의 ES 기술과 서비스를 선정하는 것이 매우 중요하다. 관련하여 본 논문에서 제시하는 최적 ES 기술 및 서비스 선정 알고리즘에 대한 세부 사항은 다음과 같다.

2.1 ES 기술 선정

최적ES 기술 선정의 기본 흐름은 전력계통 최소 요구조건과 기술 특성치DB를 바탕으로 2단계에 걸친 후보 기술 선별 및 이후 선별된 기술을 대상으로 한 점수화를 통해 진행된다. 1차 스크리닝 단계로, 신규 ESS 설비가 설치될 그리드 위치를 기준으로 현재 전력계통 요구조건에 적합한 ES 기술을 식별한다. 그리드 위치를 기준으로 한 ES 기술 1차 기술 선별 후 기술의 핵심 성능 데이터를 바탕으로 2차 기술 선별(Screening)을 진행하고, 이어 후보 ESS 기술별 적합도 우선순위를 정량적으로 평가(Scoring)한다. 최종 후보 ESS 기술별 적합도는 ESS 서비스 적합성(Service), 설치 타당성(Location), 투자비 타당성(Cost) 및 기술성숙도(Maturity)의 4가지 항목으로 구분하여 평가한다. 후보 기술 스크리닝 및 배점 산식과 관련한 주요 사항은 Table 1 과 같다.

2.2 ESS 서비스 선정

상기 제시된 방법으로 선정된 ES 기술에 대해, 서비스 특성 및 경제성을 고려한 ES 서비스 우선순위를 선정한다. 주요 흐름은 앞서 제시된 최적ES 기술 선정과 유사하게 전력계통 최소 요구조건과 ES 기술의 특성치 DB를 바탕으로 2단계에 걸친 후보 서비스 선별 및 이후 선별된 서비스를 대상으로 기술성 및 경제

성에 대한 점수화를 통해 진행된다(Fig. 2 참조).

단계별 세부 내용은 다음과 같다. 1차 스크리닝 단계로, 신규 ESS 설비가 설치될 그리드 위치를 기준으로 현재 전력계통 요구조건에 적합한 ESS 서비스를 선별한다. 예를 들어 대규모 부지가 요구되는 압축공기저장, 양수발전 기술은 지리적 제약이 있으므로 FTM 또는 배전단 서비스 제공으로의 활용은 어렵다. 그리드 위치를 기준으로 한 1차 ESS 서비스 선별 후, ES 기술의 고유 반응시간(response time) 특성치를 활용하여 서비스를 선별한다. 예를 들어 반응시간이 수분 이상인 CAES (Compressed Air Energy Storage) 또는 LAES (Liquefied Air Energy Storage) 기술의 경우, 짧은 반응시간이 요구되는 F/R, Black start 용으로는 활용이 어렵다. 1차 스크리닝이 된 서비스를 바탕으로 이어 ① 서비스별 잠재 편익 ② 해당 서비스의 시장 규모를 분석함으로써 기술·경제성 측면에서 유리한 ESS 서비스를 발굴한다.

최적 ES 서비스 선별 방법은 상기 제시된 DB화된 기술별 고유특성 항목치와 전력계통 최소 요구조건을 상호 비교하여 최종 후보 ES 서비스 선별을 위한 기준으로 활용한다. 예를 들어 검토 대상 ES 기술 방전 지속시간(Discharge duration time)이 해당 서비스 요구조건 이상이면 해당 서비스는 해당 ES 기술이 공급할 수 있는 후보 서비스로 분류한다. 상기 방법을 통해 그리드 위치 조건 및 ESS 서비스 요구 사항을 만족하는 서비스를 평

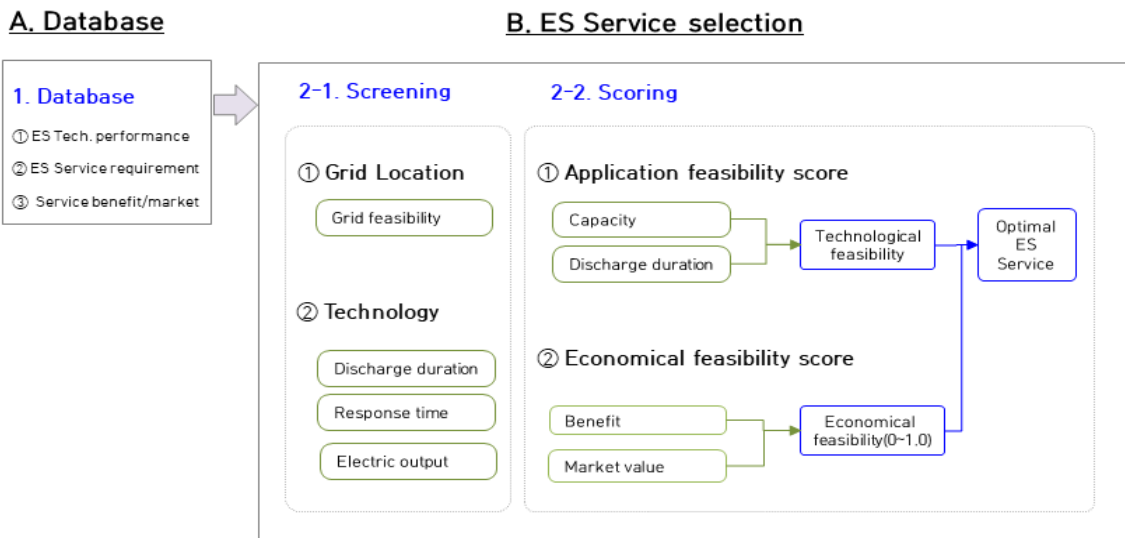


Fig. 2. ES service selection algorithm

Table 1. ES technology selection algorithm⁶⁾

| Parts | Component | Results | Parts | Component | Score |
|-------------------------|--|---------------|----------|--|-------|
| Grid location | · Location feasibility | True or False | Service | · Application feasibility · discharge duration, cycle life, round trip efficiency | 0~1.0 |
| ESS Service requirement | · Discharge duration time (DDT) · DDT _{DB} ≥ DDT _{User} | | Location | · Grid application feasibility | |
| | · Response time(RT) · RT _{DB} ≤ RT _{User} | | Cost | · Capital cost · Power service (\$/kW) · Energy service (\$/kWh) | |
| | · Electricity output (Power or Energy) | | Maturity | · Technology Readiness level | |

a. ES technology screening

b. ES technology scoring

가하여 계통 최소 요구조건을 만족할 수 있는 후보 ESS 서비스를 선별한다(Table 2 참조). 상기 방법을 통해 그리드/ESS 서비스 최소 요구조건을 만족하는 ESS 서비스를 선별 후, 이어 후보 ESS 서비스별 적합도 우선순위를 정량적으로 평가한다. 최종 후보 ESS 서비스별 적합도는 ES 기술 적합성(Feasibility), Service 편익(Benefit) 및 서비스별 시장 규모(Market value)의 3가지 항목으로 구분하여 평가한다. 해당 데이터에 대한 세부 사항은 이후 분석사항을 참조한다. 상기 평가항목에 대해 Table 2에 제시된 바와 같이 0에서 1.0 범위 내에서 정량화 후 이를 바탕으로 최종 점수를 산정하여 해당 ESS 기술에 적합한 서비스의 우선순위를 제시한다.

2.3 Database : ES 서비스 요구조건 & 편익

상기 최적 ESS 서비스 선정을 위한 핵심 DB는 앞서 제시된

바와 같이 ESS 서비스 요구조건과 ESS 서비스별 편익 DB로 구분하여 볼 수 있으며 세부 사항은 다음과 같다.

2.3.1 ESS Service 요구조건

미국 Sandia 국립연구소의 보고서에 따르면 ES 기술이 제공하는 서비스는 크게 1. 대용량 서비스 2. 보조서비스 3. 송전망 서비스 4. 배전망 서비스 5. 수용가 에너지관리 서비스로 구분되며 각각에 대한 특성을 고려하여 총 18개 서비스로 구분하여 볼 수 있다⁷⁾. 서비스별 편익에 대한 세부 설명은 본 논문의 범위를 벗어나므로 생략한다.

본 연구에서 ESS Service DB는 ESS가 전력계통에 제공할 수 있는 다양한 서비스에 있어 그리드 위치, 최소 반응시간 및 ESS 설비의 최종 출력 형태 데이터를 포함한다. 관련하여, 본 연구에서 분석을 위해 활용된 ESS Service DB는 다음의 Table 3

Table 2. ES service selection criteria

| Parts | Component | Results | Parts | Component | Score |
|-------------------------|--|---------------|-----------------------|---|-------|
| Grid location | · Location feasibility | True or False | Service Feasibility | Discharge duration | 0~1.0 |
| ESS Service requirement | · Discharge duration time (DDT) - DDT_DB ≥ DDT_User | | Service Benefit | Service benefit (USD/kW, 10 years) | |
| | · Response time (RT) - RT_DB ≤ RT_User | | Market value | Service market potential (MW, 10 years) | |
| | · Electricity output (Power or Energy) | | | | |
| a. ES service screening | | | b. ES service scoring | | |

Table 3. ESS service requirement⁸⁾

| Application name | Grid location | | | | min. response time |
|--|---------------|------------|--------------|--------------|--------------------|
| | Residential | Industrial | Distribution | Transmission | |
| 1. Bulk Energy Services | | | | | |
| Energy arbitrage (electricity markets) | X | X | O | O | hrs |
| Electric supply capacity | X | X | O | O | hrs |
| 2. Ancillary Services | | | | | |
| Regulation | X | X | O | O | sec |
| Operating reserve (Spinning) | X | X | O | O | sec |
| Operating reserve (Non-Spinning) | X | X | O | O | sec |
| Operating reserve (supplementary) | X | X | O | O | sec |
| Voltage support | X | X | O | X | sec |
| Black start | X | X | O | O | min |
| Other Related Uses | O | O | O | O | sec~hrs |
| 3. Transmission Infrastructure Services | | | | | |
| Transmission upgrade deferral | X | X | O | O | min |
| Transmission congestion relief | X | X | O | O | min |
| 4. Distribution Infrastructure Services | | | | | |
| Distribution upgrade deferral | X | X | O | X | min |
| Voltage support | X | X | O | X | sec |
| 5. Customer Energy Management Services | | | | | |
| Power quality | O | O | O | X | ms |
| Power Reliability | X | X | O | O | sec |
| Retail TOU energy charges | O | O | X | X | min |
| Demand charge management | O | O | X | X | min |

과 같이 에너지 차익거래 및 피크 요금 저감 등 총 18개에 해당한다. 해당 DB는 Sandia 국립연구소에서 개발하여 공개한 DB를 참조하였다.

2.3.2 ESS Service 편익

앞서 제시된 바와 같이 ESS 서비스의 편익을 위해 ① 서비스 별 제공 가능한 편익 ② 해당 서비스의 시장 규모를 분석함으로써 기술·경제성 측면에서 유리한 ESS 서비스를 발굴한다. 관련하여 본 논문에서 ESS 서비스 편익 산정을 위해 미국 Sandia 국립연구소의 보고서를 참조하였으며⁸⁾ 주요 사항은 Table 4와 같다. 제시된 주요 항목 중 Service 편익과 시장 규모는 북미 전력 시장을 바탕으로 산정된 데이터를 활용하였다⁸⁾.

3. 사례 분석

앞서 제시된 알고리즘 및 DB를 바탕으로 대표적인 전기화학 적 ES 기술인 LiB-NMC (Lithium-ion nickel-manganese-cobalt), NaS Battery (Sodium Sulfur), VRFB (Vanadium Redox Flow Battery), ZEBRA Battery (Na-NiCl₂ Battery)를 대상으로 현장 활용을 위한 우선 적용 기술을 제시하고 선정된 기술에 대한 최적 활용방안을 제시한다. 이때 활용대상 그리드의(Grid) 위치는 분석의 편이를 위해 BTM (Behind the Meter)으로 한정하였다.

3.1 대상 기술

본 논문의 분석 대상 기술 및 핵심 성능치는 Table 5와 같다. 해당 데이터는 Denmark Energy Agency에서 제공하는 주요 DB⁵⁾ 및 후보 ES 기술의 grid 적용 위치에 따른 feasibility score는 Sandia NRL에서 제공하는 data를 참조하였다⁷⁾.

Table 4에 제시된 바와 같이 VRFB는 LiB-NMC에 비해 Round trip efficiency는 낮으나 cycle life가 길고 투자비용이 높으며, ZEBRA battery는 VRFB에 비해 효율이 우수하나 방전 지속시간이 짧고, 기술성숙도가 낮다. 반면 NaS Battery는 대체로 비용 및 기술성숙도 측면에서 LiB-NMC를 제외한 후보 기술 대비 우수한 성능 특성을 보인다. 상기 주요 기술 성능치를 바탕으로 주거용 BTM (Case #1) 및 상업/산업용 BTM (Case #2) 적용을 위한 ES 기술 우선순위를 분석하였으며 세부 사항은 다음과 같다.

3.2 기술 우선순위 선정

3.2.1 Case #1 : 주거용 BTM

주거용 BTM 에너지 저장을 위해 본 논문에서 제시하는 알고리즘을 활용한 ES 기술 우선순위를 분석하였다. 분석을 위한 주요 가정으로, ES 시스템 규모는 주거용 목적을 고려하여 10 kW 급으로 하였으며 방전 지속시간(Discharge duration time)은 3 hr 이내, 해당 서비스는 실시간 에너지 소매 비용 관리(retail TOU (Time of Use) energy charges management)로 설정하였다. 분

Table 4. ESS service benefit & market estimates⁸⁾

| Application name | Service Benefit_expected_average (\$/kW) | Service market (MW, 10 years, U.S. Case) |
|--|--|--|
| Energy arbitrage (electricity markets) | 550 | 18,417 |
| Electric supply capacity | 535 | 18,417 |
| Peak shaving | 40 | 36,834 |
| Renewable energy time shift | 30 | 36,834 |
| Frequency regulation | 30 | 1,012 |
| Operating reserve (non-spinning) | 20 | 5,896 |
| Operating reserve (spinning) | 40 | 5,896 |
| Operating reserve (supplementary) | 20 | 5,896 |
| Voltage support | 400 | 9,029 |
| Black start | 0 | 0 |
| Ramp support | 20 | 0 |
| Transmission upgrade deferral | 584 | 4,986 |
| Transmission congestion relief | 86 | 36,834 |
| Stability damping control | 0 | 0 |
| Distribution upgrade deferral | 584 | 4,986 |
| Voltage regulation | 1,043 | 9,029 |
| Reliability | 669 | 9,029 |
| Resilience (back-up power) | NA | NA |
| Power quality | 669 | 9,029 |
| Retail TOU energy charges | 1,226 | 64,228 |
| Demand charge management | 582 | 32,111 |

Table 5. Comparison of various ES technologies

| Storage technology | | Lithium-NMC Battery (LiB-NMC) | Vanadium Redox Flow Battery (VRFB) | Sodium Sulfur (NaS) | Na-NiCl ₂ Battery (ZEBRA) |
|-----------------------------|-------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Capital Cost (US\$/kW) | | 467 | 648 | 400 | 454 |
| Round trip efficiency (%) | | 95 | 78 | 83 | 87 |
| Cycle life | | 5,600 | >10,000 | 5,600 | 4,500 |
| Response time | | < ms | < ms | < ms | < ms |
| Discharge duration time (h) | | 8 | 8 | 8 | 3 |
| Technology Maturity (0~1.0) | | 1.0 | 0.7 | 0.7 | 0.4 |
| Feasibility score (0~1.0) | Residential | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 |
| | Industrial | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 1.0 |
| Reference | | (5), (7) | (5), (7) | (5), (7) | (5), (7) |

석은 앞서 제시된 대로 해당 기술에 적합한 서비스에 대한 스크리닝과 이후 적용할 수 있는 서비스별 우선순위 분석을 통해 진행된다.

상기 조건 하에서, 주거용 BTM 활용을 대상으로 한 기술 우선순위 분석 결과는 다음의 Fig. 3과 같다. 일차적으로 기술 적용 타당성에 대한 분석결과 LiB-NMC 및 Na-NiCl₂ Battery는 해당 서비스(실시간 에너지 소매 비용 관리) 활용이 가능하나, VRFB 및 Na-S Battery는 주거용 BTM으로는 타당하지 않은 것으로 분석되었다. 이는 VRFB의 경우 타 기술 대비 에너지 밀도 등이 낮고(VRFB: ~30 Wh/L⁹), NaS의 경우에도 배터리 초기 구동을 위한 온도제어, 고 반응성을 갖는 전극 물질 사용 및 다양한 안전 이슈 등에 따라 주거용으로는 적합하지 않기 때문이다. 이에 따라 결론적으로 주거용-BTM 목적에 적절한 기술로는 LiB-NMC 및 Na-NiCl₂ battery 기술로 분석되었으며 특히 기술성숙도 및 타당성 측면에서 LiB-NMC 기술이 검토 대상 기술 중 우선순위가 높다.

3.2.2 Case #2 : 상업/산업용 BTM

다음으로 상업/산업용 BTM 에너지 저장 기술 우선순위 분석 결과는 다음과 같다(Fig. 4 참조). 시스템 규모는 활용 목적을 고려하여 100 kW급으로 하였으며 방전 지속시간(Discharge duration time)은 3 hr 이내, 해당 서비스는 Case #1과 동일하게 실시간 소매요금 관리로 설정하였다. 분석 결과 본 활용의 경우 앞서 case #1의 주거용 ES 사례와 달리 에너지 밀도에 의한 부지의 제약이 크지 않기 때문에 검토 대상 기술이 모두 적용이 가능하다. 다만 앞서 제시된 기술 특성 및 투자비 타당성 등에 따라 기술의 우선순위에서 차별화가 발생한다.

Fig. 4에 제시된 바와 같이 상업/산업용 BTM의 경우 우선순위가 가장 높은 기술은 LiB-NMC이며 이어 NaS battery, VRFB 및 Na-NiCl₂ battery 순이다. 구체적으로는 NaS battery의 경우 LiB-NMC를 제외하면 기술성숙도는 VRFB와 유사하나 계통 적용 타당성이 높은 것으로 분석되었다. 이는 VRFB의 상대적

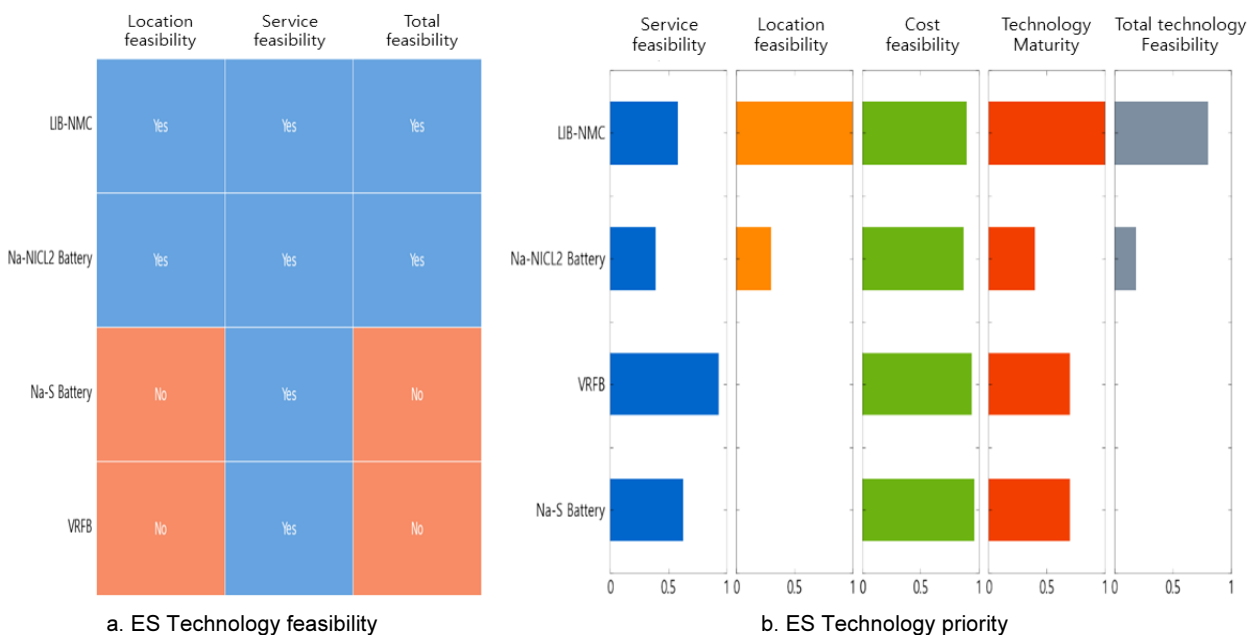


Fig. 3. ES technology feasibility : Case #1

으로 낮은 에너지 밀도에 기인한다. Na-NiCl₂ Battery의 경우, 계통 적용 타당성 및 투자비 등은 타 기술 대비 우수하나 현 지점에서 기술성숙도가 가장 낮은 것으로 평가되어 우선순위가 가장 낮은 것으로 분석되었다. 다만 본 분석을 통해 향후 Na-NiCl₂ Battery의 기술 잠재성을 확인할 수 있다.

3.3 최적 ESS 서비스 선정

이어, 특정 ES 기술에 대한 최적 ESS 서비스 우선순위를 분석하였다. 앞선 Case #2에서 상업/산업용 BTM 활용을 위한 LiB-NMC 및 NaS battery의 우선순위가 확인되었다. 이중 LiB-NMC 기술의 경우 이미 높은 기술성숙도에 따라 국내외에서 다

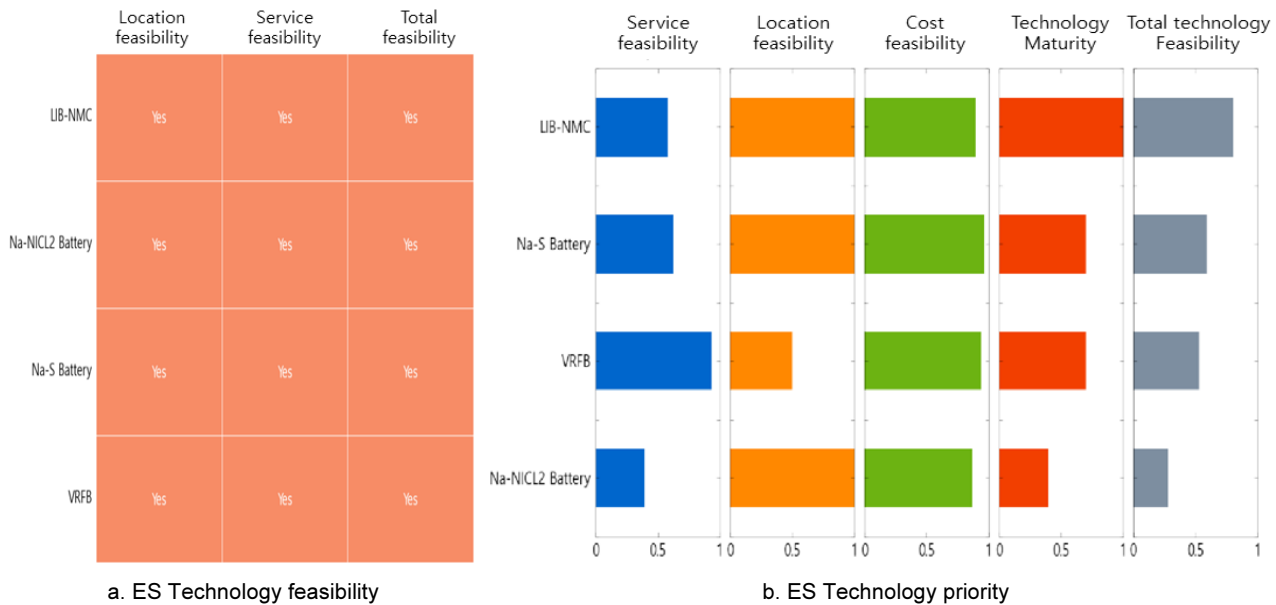


Fig. 4. ES technology feasibility : Case #2

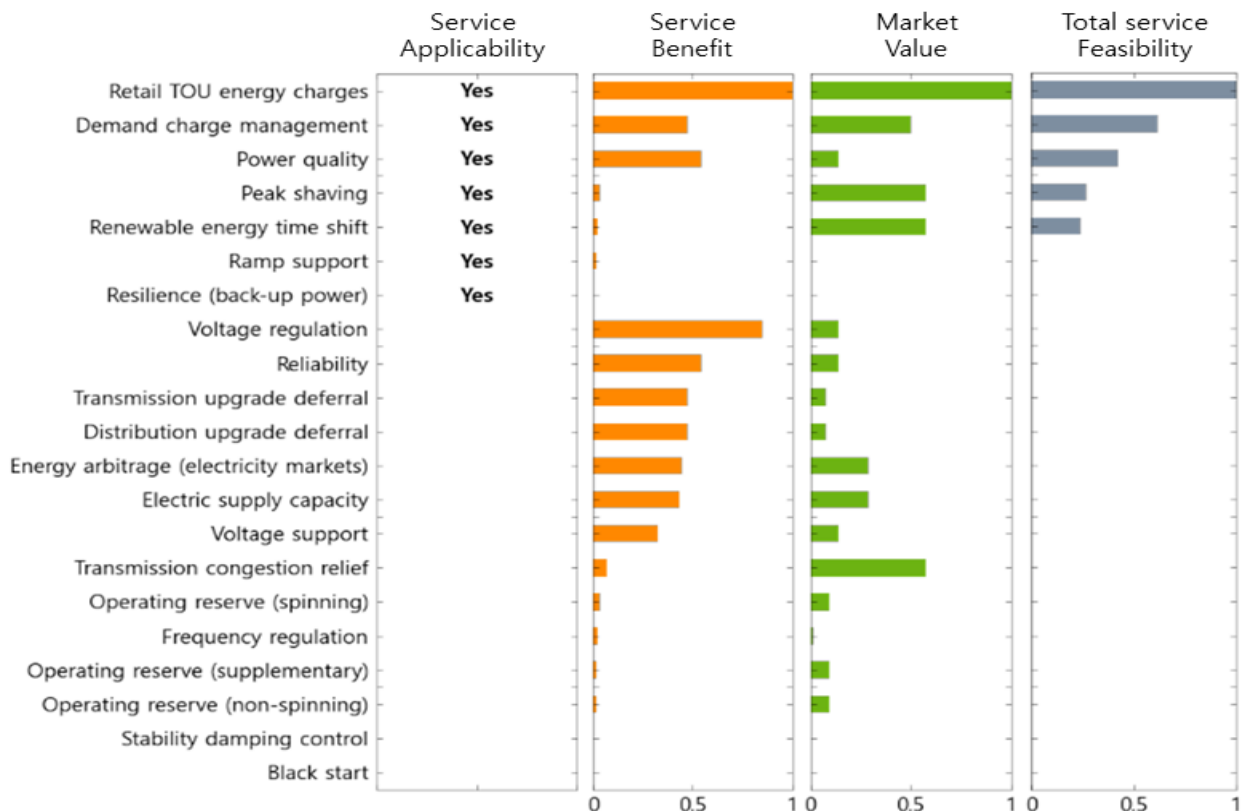


Fig. 5. ESS service feasibility : NaS Battery case

양한 활용이 이루어지고 있음에 따라 본 분석에서는 현재까지 국내 대규모 적용 사례가 많지 않은 NaS battery 기술에 대해 최적 ESS 서비스 방안을 분석하였다. 상기 분석은 앞서 제시된 대로 서비스별 편익을 통한 타당성, 서비스별 시장 규모(Table 4 참조)를 바탕으로 산출된 우선순위 분석을 통해 진행된다. 분석 결과, 상업/산업용 BTM 분야에서 NaS Battery의 ESS 활용 우선순위는 실시간 에너지 소매 비용 관리(Retail TOU energy charges), 기본 요금관리(Demand Charge management), 전력 품질 향상(Power Quality) 및 최고수요 감축(Peak shaving) 순으로 분석되었다(Fig. 5 참조). 관련하여 NaS Battery 기술 공급사(BASF)는 자사의 NaS Battery (NASR[®])의 BTM 측 주요 활용 분야로 Peak shaving, TOU Shift, Back-up power & resilience 향상을 제시하고 있어 본 연구에서 도출된 내용과 유사함을 확인할 수 있다¹⁰⁾.

4. 결론

본 연구는 보조서비스, 송배전망 및 수용가 등 다양한 그리드의 요구조건을 바탕으로 ESS 기술의 최적 활용방안을 선정하는 알고리즘 및 방법론을 제시한다. 이를 위해 대표적인 전기화학 적 ESS 장치(LiB-NMC, NaS, VRFB 및 Na-NiCl₂ Battery)의 핵심적인 기술 특성치를 바탕으로 BTM 적용을 위한 기술별 우선 순위 선정 및 최적 활용방안을 분석하였다. 분석결과 주거용 BTM의 경우 LiB-NMC 및 Na-NiCl₂ Battery 기술이 가능한 것으로 분석되었으며 상업/산업용 BTM의 경우 기술 우선순위는 LiB-NMC, NaS Battery, VRFB 및 Na-NiCl₂ Battery 순으로 분석되었다. 이어서 NaS Battery 기술을 대상으로 한 최적 ESS 서비스 분석결과, 실시간 에너지 소매 비용 관리(Retail TOU energy charges), 기본 요금관리(Demand Charge management) 순으로 해당 서비스 활용에 타당성이 있음을 확인하였다.

5. 시사점

본 논문에서 제시하는 알고리즘 및 방법론은 다양한 ESS 기술 간의 상호 비교 및 초기 단계(early stage) 기술개발에 있어 잠재 활용방안 및 사업화 모델 발굴에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 다만 본 연구는 북미, 유럽 전력 시장 기반의 문헌 데이터를 활용한 연구로써, 추후 실제 활용을 위해서는 실제 시장 환경 데이터 기반의 면밀한 분석이 요구된다. 특히 대규모 ESS 프로젝트가 진행 중인 북미 ESS 시장의 경우 ESS 사업자가 각 ISO (Independent System operator)에서 규정한 참여 모델을 바탕으로 에너지 시장뿐만 아니라 보조 서비스 시장에 동시에 참여할 수 있으나 우리나라는 보조서비스 시장(주파수제어, 전압제어 및 자체 기동 등)을 규제시장으로 운영하고 있으므로 큰 이익을 얻기 힘든 상황이다. 또한 국내 전력시장 가격은 CBP (Cost

based Bidding Pool) 제도에 의해 비용평가위원회에서 정해진 변동비 기준으로 결정되게 되며 실시간 시장이 도입되지 않아서 시간별 전력시장 가격 차이가 크지 않아 차익거래로 인한 수익 또한 크게 기대하기 힘든 상황이다.

그러나 최근 우리나라도 탄소배출 감축을 위한 재생에너지와 분산전원의 시장참여 확대, 계통운영과 전력시장 괴리 해소, 전력계통 유연성 강화를 위한 예비력 확보 등을 위해 전력시장 전반에 대한 제도 개편이 이루어지고 있으며 특히, 2023년 10월을 목표로 제주도 대상(1) 실시간 시장 도입(2) 예비력 시장 도입(3) 재생에너지 입찰제도 도입을 포함하는 “전력시장 제도 개편 시범사업”을 준비 중임에 따라¹¹⁾ 재생에너지 연계 ESS 비즈니스 모델 수립을 위한 면밀한 준비가 필요하다.

후 기

본 논문은 2022년도 한국전력공사의 지원을 받아 수행한 연구과제 성과물입니다(과제 번호: R22EA10).

References

1. KEMRI Power economics Review, “Economic review of energy storage system by application,” 2019-18 (2019).
2. SNE Research, “Global ESS Market Outlook (2019-2030)” (2020).
3. O. Schmidt, A. Hawkes, A. Gambhir & I. Staffell, “The future cost of electrical energy storage based on experience rates,” *Nature. Energy*, 2, 17110 (2017).
4. E3 ANALYTICS, 2022, “10-Point Plant to Scale-up Energy Storage in South East Europe”.
5. ENERGINET, Danish Energy Agency, “Technology data for energy storage,” 0002 (2019).
6. Seong, Jegarl, Ji Hyun Lee, Hyunshil Kim, Jeseok Shin, Jihun Lim, “Technology Selection Method for Optimal Energy Storage,” *New & Renewable Energy*, 19(1), 31-40 (2023).
7. Abbas A. Akhil, Georganne Huff, Aileen B. Currier, Benjamin C. Kaun, Dan M. Rastler, Stella Bingqing Chen, Andrew L. Cotter, Dale T. Bradshaw, and William D. Gaunt, “DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA,” Sandia National Laboratories (2013).
8. SANDIA REPORT, SAND2010-0815, “Energy Storage for the Electricity Grid: Benefits and Market Potential Assessment Guide - A Study for the DOE Energy Storage Systems Program” (2010).
9. SANDIA National Laboratories, “ES-Select - An Energy Storage Selection Tool”.
10. BASF New Business GmbH, Accessed 12, April 2023, <https://www.basf.com>.
11. 김진이, “재생에너지 입찰제도와 향후 전력시장” (2022).