

죽도 무인자동화 에너지 자립섬 실증 사례

양석현, 정세형, 양대기, 김민국, 오성진
데스틴파워 주식회사

A case study of Automated Energy Independence Island for Juk-do

Seok hyun Yang, Se hyung Jung, Dae ki Yang, Min kook Kim, Seong Jin Oh
Destin Power, Inc.

ABSTRACT

섬이나 고립된 지역들은 디젤 발전기를 이용하여 전력 공급을 해왔다. 발전소와 송배전설비 증설에 대한 경제적 문제와 사회적 갈등이 심하기 때문이다. 최근 이러한 비용, 사회 그리고 환경 문제로 인해 에너지 자립섬에 대한 관심이 증가하고 있다. 에너지 자립섬이란, 태양광, 풍력 등 신재생에너지와 배터리를 이용해 필요한 에너지를 스스로 생산하고 사용하는 섬을 말한다. 따라서 디젤 발전기 화석연료 사용량과 유지보수 비용을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 상위제어기에 해당하는 EMS(Energy Management System)를 이용해 디젤 발전기, 태양광 PCS(Power Conversion System)와 에너지저장장치(Energy Storage System: ESS)의 유기적인 운영으로 높은 에너지 자립률을 달성한 사례를 소개하고자 한다.

1. 서 론

우리나라 유인섬이나 고립된 지역들의 전력 공급은 대체로 디젤 발전기에 의존해왔다. 디젤 발전기는 소음과 진동이 심할 뿐 아니라 무엇보다 화석연료 사용으로 환경오염을 일으키는 단점이 있다. 그리고 엔진이 노후화되면서 전력품질도 떨어지게 된다. 부하 급변 시에 출력 전압의 크기와 주파수 난조가 발생 할 수 있다. 이는 민감한 부하의 정전이나 고장이 생길 수 있으며 조명기구가 깜박이는 플리커 현상이 나타나게 되기도 한다.

최근 정부에서 독립형 마이크로그리드(에너지 자립섬) 사업을 비롯하여 적극적인 신재생에너지 보급 정책을 지속적으로 확대하는 중이다. 화석연료가 아닌 신재생에너지를 활용하는 발전소를 건설하여 에너지 자립화를 이루려는 노력이 계속되고 있다. 다양한 신재생에너지 중에서 태양광발전은 설비 유지보수 부담이 적고 시장 수요 잠재력이 높아서 가장 주목을 받고 있는 에너지이다. 이러한 태양광발전 시스템을 화석연료 사용량을 줄이기 위한 목적으로 설치할 수 있다. 태양광발전은 광전효과를 이용해 태양으로부터 오는 빛에너지를 전기에너지로 변환하여 부하에 전력을 공급한다. 일사량에 민감한 태양광발전은 해가 지거나 날씨가 좋지 않으면 발전량이 감소하게 된다. 반대로 낮 시간에 과도한 태양광발전은 잉여전력을 발생시킨다. 이렇게 남은 전력이 디젤 발전기로 유입되면 고장을 유발하게 된다. 이러한 문제를 방지하고 유연한 전력관리를 위해 에너지저장장치(ESS)를 추가할 수 있다. ESS는 잉여전력을 배

터리에 저장할 수 있고 태양광발전량이 부족할 때 저장해 두었던 에너지를 방전해 부하를 공급한다. 예외 상황이 발생하지 않는다면 태양광발전과 ESS만을 이용해 부하 공급이 가능하게 된다. 따라서 디젤 발전기를 사용하지 않는 에너지 자립이 가능하다.

본 논문에서는 죽도 무인자동화 에너지 자립섬 실증 사례를 소개하고자 한다. 이 시스템은 디젤 발전기와 태양광 PCS 그리고 ESS로 구성된다. 태양광 PCS는 발전된 전력을 부하에 공급하고 잉여 에너지는 ESS를 통해 배터리에 저장한다. ESS는 디젤 발전기 대신 전압원으로 동작하여 높은 전력품질을 제공할 수 있다. 또한 불평형과 비선형 부하 조건에서도 우수한 전압 성능을 보여준다. 두 대의 ESS는 평소 Droop 운영을 통해 병렬로 동작한다. 한 대가 고장이 나더라도 나머지 한 대가 끊임없이 부하를 공급 할 수 있어 높은 신뢰성을 갖는다. 디젤 발전기가 동작할 때는 태양광발전량 부족으로 인해 배터리에 저장된 에너지가 부하를 공급하기에 충분하지 못할 때 이다. 배터리의 충전량은 SOC(State of Charge)로 나타낸다. 배터리의 SOC가 부족한 경우 ESS는 유·무효 전력제어 운전 모드로 동작하여 계통의 전력품질 개선을 한다.

위 시스템은 EMS를 통해 제어된다. 삼마도, 상마도, 풍도 등 몇몇 섬은 디젤 발전기와 EMS간에 연동체계를 구축하지 않아 관리자가 디젤 발전기를 수동으로 동작시켜야 한다. 그러므로 배터리 SOC를 수시로 확인해야 하며 디젤 발전기 투입이 늦으면 정전사고가 발생할 수도 있다. 배터리 SOC가 충분한 상황에서도 디젤 발전기로 전환하는 경우도 잦다. 하지만 본 시스템은 자연재해나 시스템고장과 같은 비상상황을 제외하고 사람이 조작하지 않는다. EMS의 알고리즘에 따라 자동으로 동작한다. 따라서 디젤 발전기와 태양광 PCS 그리고 ESS가 유기적으로 동작하여 높은 에너지 자립률을 달성하였다.

2. 죽도 무인자동화 에너지 자립섬

2.1 현장 소개

죽도(竹島)는 충청남도 홍성군 남당항에서 약 3.7km 떨어진 지점에 위치한다. 면적 158,640m²에 홍성군 유일의 유인도로 31가구, 70여명의 주민이 거주하고 있는 작은 섬이다. 섬 주위에 대나무가 많이 자생하고 있어 죽도라 불린다. 100kW급 디젤 발전기 3기를 교대로 운영하고 있다. 1일 평균 사용전력은 560kWh, 시간 평균 전력 사용량은 23kW이다. 해수담수화 시설이 가동 중일 때 최대전력 60kW가 발생한다.

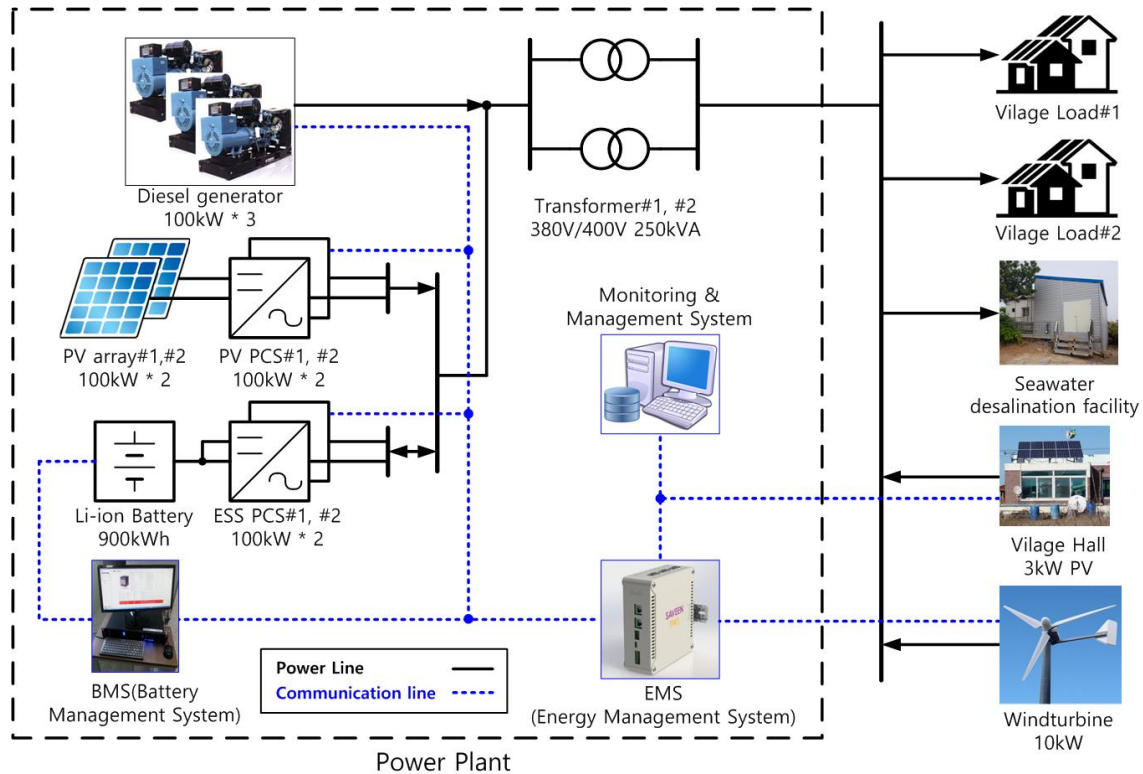


그림 1 죽도 에너지 자립섬 구성도
 Fig. 1 Illustration of the Juk-do energy independence island configuration.

그림 1은 죽도 에너지 자립섬의 전체 구성도이다. 발전소에는 기존 마을 전력수요를 담당하던 100kW급 디젤 발전기 3대가 있다. 100kW급 태양광 PCS 두 대, 900kWh급 리튬이온 배터리와 충·방전을 담당하는 100kW급 ESS용 PCS 두 대가 새로 추가 되었다. 배터리는 BMS(Battery Management System)에 의해 관리 된다. 두 대의 ESS용 PCS와 배터리는 DC 공통으로 구성되어 있다. 에너지 자립섬을 종합적으로 운영하는 장치인 EMS는 데이터를 수집하고 시스템을 제어한다. 발전소 외부 신재생에너지원으로는 10kW급 풍력 발전기와 마을회관에 설치된 3kW급 태양광 PCS가 운영 중이다. 마을은 두 개의 구역으로 구분 되고 해수 담수화 설비는 바닷물을 생활용수로 처리해준다. 풍력 발전기와 마을회관의 태양광 PCS를 제외한 모든 전력 설비는 EMS에 의해 제어 된다.

2.2 죽도 에너지 자립섬 운전 모드

그림 2는 죽도 에너지 자립섬의 운전 모드를 나타낸다. 총 다섯 가지 운전 모드로 동작하고 배터리 SOC와 태양광발전 상태에 따라 달라진다. 먼저 Case 0은 주야간에 관계없이 ESS만 동작한다. 주간에 Case 0로 동작한다면 부하가 적고 태양광발전량이 충분하여 배터리 충전이 완료된 상태이다. 태양광발전을 제한함으로써 과충전을 막을 수 있다. 야간에 Case 0로 동작하는 경우는 배터리 SOC가 부하를 공급하기에 충분한 상태이다. 주간에 Case 0로 운전 중 배터리 SOC가 최대값보다 낮아지면 Case 1로 동작한다. 이때 태양광 PCS의 출력은 부하로 공급되고 잉여전력은 ESS를 통해 배터리에 저장된다. 태양광발전량이 부하보다 적은 경우 ESS가 부족한 전력을 부담한다. Case 2는 주간에 배터리 SOC가 부족해 ESS와 태양광 PCS 그리고 디젤 발전기가 모두 동작하는 상태이다. 디젤 발

전기와 태양광발전으로 부하를 공급하고 배터리를 충전한다. 배터리 SOC가 설정값만큼 도달하면 Case 1으로 이동하고 디젤 발전기는 정지한다. Case 3은 야간에 배터리 SOC가 부족한 경우이다. 더 이상 배터리로 부하를 공급할 수 없기 때문에 디젤 발전기를 동작시킨다. 디젤 발전기는 부하를 공급하며 배터리를 충전한다. 배터리 SOC가 설정값만큼 도달하면 ESS가 부하를 공급하고 디젤 발전기는 동작을 멈추게 된다. Case 4는 비상운전 모드로 관리자가 디젤 발전기를 수동 조작하는 경우이다.

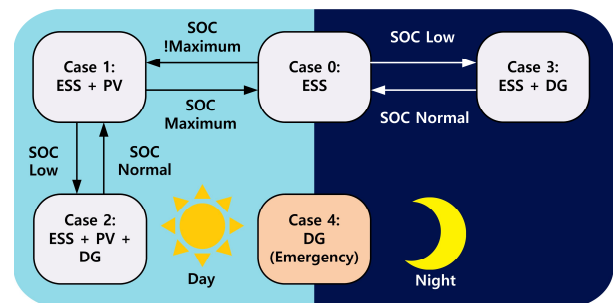


그림 2 죽도 에너지 자립섬 운전 모드
 Fig. 2 Operating mode of the Juk-do energy independence island

2.3 EMS(Energy Management System)

상위제어기에 해당하는 EMS는 에너지 자립섬을 종합적으로 관리하는 장치로써 안정성과 신뢰성이 무엇보다 중요하다. 그리고 각 전력설비를 효율적으로 관리함으로써 경제성을 향상시킨다. 신뢰성은 이중화(Redundancy)를 통해 확보하였다. 즉, 동

작 중이던 EMS가 고장이 나더라도 예비 EMS로 대체가 가능하다.

상위제어기 프로세서로 TI AM3359를 이용한다. ARM Cortex A8 프로세서에 기반한 프로세서로 최대 1GHz의 클럭 성능을 갖고 있으며 주변장치 확장 성능이 우수하다. 주요 주변장치로는 10/100/1000Mbps 이더넷, UART, CAN 통신, USB 2.0, GPIO 그리고 12bit ADC 등이 있다. EMS의 자세한 사양은 아래 표 1과 같다.

표 1 EMS 사양
Table 1 Specification of the EMS

Item	Specification
Processor	TI AM3359 ARM Processor
Operating system	Embedded Linux from TI
Communication	LAN(10/100/1000 Mbps) Modbus TCP / DNP3.0 / IEC61850
	Isolated RS232 Modbus RTU
	Isolated RS485 Modbus RTU
	Isolated CAN USB 2.0
Input voltage / Power consumption	DC 24Vdc / 10W
Dimension(W*D*H) / Weight	58 * 163 * 168mm / 1kg
Cooling	Air
Ambient temperature / Humidity	10 ~ 50℃ / 0 ~ 95%(Non condensing)
Standard	EN 61000 6 2, EN 61000 6 4, EN 61000 3 3, EN 61000 3 12

2.4 태양광 PCS

태양광 PCS는 태양전지로부터 발전된 직류 전력을 교류 전력으로 변환하는 장치이다. 최대 전력점 추종(MPPT, Maximum Power Point Tracking) 기능으로 태양전지로부터 최대 전력을 얻는다. 발전 된 전력은 마을 부하를 공급에 사용되고 잉여전력은 배터리에 저장된다.

2.5 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)

ESS는 전력계통 또는 신재생에너지에서 발전된 전력을 저장하였다가 필요한 시기에 방전하여 에너지 이용효율을 향상시키는 장치이다. 보통 주파수 조정(Frequency regulation), 첨두 부하 저감(Peak shaving), 부하 평준화(Load leveling), 신재생 에너지 출력 안정화 그리고 비상전원 목적으로 사용된다.

본 시스템의 ESS는 디젤 발전기 대신 주전압원으로 동작한다. 기계적인 디젤 발전기와 달리 반도체소자를 이용한 전력변환장치로써 전력품질이 우수하다. 신뢰성을 높이기 위해 두 대가 사용되었다. 한 대가 고장이 발생하면 나머지 한 대가 끊임 없이 부하를 부담한다. 상시 Droop 운전을 통해 오차율 1% 이하의 부하 분담 성능을 달성하였다. 불평형과 비선형 부하 조건에서도 우수한 전압 품질을 제공한다. 배터리 SOC가 부족하여 디젤 발전기와 연계되어 운전할 경우 계통 전력품질을 향상시킨다.

3. 에너지 자립률 성능

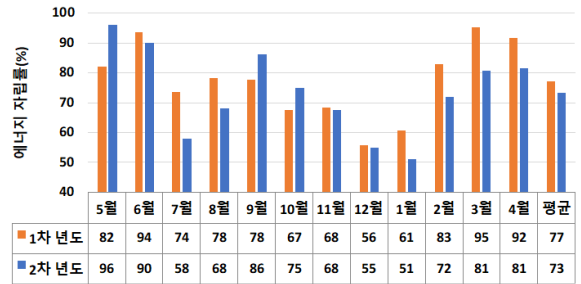


그림 3 죽도 에너지 자립섬의 에너지 자립률
Fig. 3 Energy independence rate of Juk-do energy independence island

$$\text{에너지 자립률} = \frac{\text{신재생에너지 발전량}}{\text{신재생에너지 발전량} + \text{디젤 발전량}} \times 100\%$$

그림 3은 죽도 에너지 자립섬의 2년간 에너지 자립률을 나타낸다. 데이터는 2016년 5월부터 기록되었다. 2차 년도에 해당하는 2017년 5월에 96%로 최고 에너지 자립률을 달성하였다. 연평균 에너지 자립률은 1차 년도 77%, 2차 년도 73%로 나타났다. 신재생에너지 발전량은 유사하나 부하의 증가로 에너지 자립률이 감소하였다. 연간 최대 163일, 연속으로는 17일 동안 디젤 발전기가 동작하지 않았다. 7~8월에는 고온으로 태양광 모듈의 효율이 감소했고 10~2월에는 태양의 고도가 낮아 일사량 부족으로 낮은 에너지 자립률을 보이고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 충남 홍성군의 죽도 무인자동화 에너지 자립섬 실증 사례를 소개 하였다. 기존 에너지 자립섬과 달리 디젤 발전기까지 EMS를 통해 자동 제어하기 때문에 사람이 별도로 조작할 필요가 없다. 태양광 PCS 그리고 ESS와 함께 유기적인 운영으로 높은 에너지 자립률을 달성하였다. 최고 월 96%, 연평균 77%의 에너지 자립률 결과를 얻었다. 디젤 발전기 가동시간이 줄어 섬주민들이 매연과 소음으로부터 해방되었으며 연간 8천 만 원의 유류비를 절감할 것으로 예상된다. EMS와 ESS의 이중화를 통해 시스템의 높은 신뢰성을 달성하였다. 본 사례는 신재생에너지와 디젤 발전기를 자동연계 운전하는 전력기술과 IT기술이 접합된 에너지 자립섬 표준모델로 자리 잡을 것이다.

이 논문은 충청남도 신재생에너지 융복합사업의 연구결과로 작성되었습니다.

참고 문헌

[1] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. de Vicufia, M. Castilla, "Hierarchical Control of Droop Controlled AC and DC Microgrids A General Approach Toward Standardization", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 1, pp. 158-172, 2011.