

근거리 도서간 통합전력공급에 유효한 해저케이블 포설 방안 결정 알고리즘

김미영^{1*}, 노대석², 문국현³, 서인용³

¹호원대학교 전기소방학부, ²한국기술교육대학교 전기전자통신공학부, ³한전 경제경영연구원

Algorithm Deciding Offshore Cable Layout Valid for Integrated Power Supply Between Adjacent Islands

Mi-Young Kim^{1*}, Dae-Seok Rho², Guk-Hyun Moon³, In-Yong Seo³

¹Dept. of Electrical Engineering, Howon University

²Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology & Education

³Economy & Management Research Institute, KEPCO

요약 자가발전 도서는 내연발전 혹은 PV 발전을 이용하여 전력을 공급하고 있는데, 해양환경에 의한 문제점(경년열화, 염해), 환경오염(매연, 소음, 분진) 및 발전비용(설치비, 유지관리비) 상승 등 전력공급 효율성에 대한 문제점이 대두되고 있다. 한편에서 전력공급을 담당하고 있는 65개 자가발전 도서지역의 2016년 원가회수율은 27%에 불과하며 원가의 73%에 달하는 결손액이 발생되고 있다. 이들 도서지역에서 발생한 결손액의 현황을 보면, 발전분야에서 발생하는 비용은 전체의 91% 정도를 차지하고 있고 운영비용인 변동비(연료비)와 고정비(지급수수료, 수선유지비, 기타비용) 중에서 고정비가 차지하는 비율은 60% 정도이다. 즉, 도서지역 발전효율을 향상시키고 운영체계를 효율화시키는 최적 전력공급방안을 마련하여 운영 결손액을 줄일 필요가 있다. 그러므로 거리상 가까운 여러 개의 도서 발전설비를 한 곳으로 통합하고, 인근 도서지역 간 전력공급에 해저케이블을 이용하면 연료 수송 및 설비 유지관리의 간격화를 도모할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 통합운영 경제성 평가를 통하여, 내연발전 및 PV 발전으로 운영되고 있는 근거리 도서간 통합운영에 유효한 해저케이블 포설 방안(1회선, 2회선, 1회선 루프)을 결정하는 알고리즘을 제시한다. 또한, 제안한 알고리즘을 바탕으로 자가발전도서의 독립운전방식과 비교 분석한 결과, 근거리이며 내연발전으로 운영되나 최대부하가 작은 2개 혹은 3개 도서에 있어서 도서간 통합운영이 경제적인 전력공급방안임을 확인하였다.

Abstract Islands are supplied with power from diesel generation or from photovoltaic power generation, and problems with offshore environmental impacts (age deterioration, salt pollution), environmental pollution (exhaust gas, noise, dust) and power generation costs (installation, maintenance) have increasingly emerged. In 2016, the cost recovery rate was only 27%, and deficits reached 73% on 65 islands managed by KEPCO. In terms of deficits, the costs incurred in the power generation sector accounted for 91%, with the ratio of fixed costs at about 60%. Analysis suggests that operating costs can be reduced with an optimal power supply system that improves power generation efficiency and makes operating systems more efficient. Therefore, it is possible to simplify fuel transportation and facility maintenance, because one island integrates the power plants of remote islands, and offshore cable is used to supply power to the other islands. From the economic evaluations in this paper, an algorithm deciding offshore cable layout validity for an integrated power supply between adjacent islands is presented. Simulation results based on the proposed algorithm confirmed that an integrated power supply is economical for existing stand-alone operations on islands having diesel generation, low peak power, and near distances.

Keywords : Adjacent islands, Diesel generation, Integrated power supply, Offshore cable, Photovoltaic power generation

본 논문은 한국전력공사의 “도서간 해저케이블을 통한 통합운영 경제성 분석 연구”과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Mi-Young Kim(Howon Univ.)

Tel: +82-63-450-7535 email: mykim2017@howon.ac.kr

Received January 4, 2018

Revised January 18, 2018

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

1. 서론

전력산업기반조성사업 시행계획에 포함되어 있는 농어촌 전기공급사업은 전기의 보편적 공급과 도서자가발전시설의 운영 결손비를 지원하여 농어촌지역의 전력공급 안정화 및 생활환경 개선을 목적으로 시행되고 있다 [1]. 본 사업에서는 지방자치단체 및 전기사업자가 운영하는 도서자가발전시설에 대한 운영 결손비(운영비용-운영수입)를 지원하고 있는데, 2017년 계획된 금액은 1,171억원에 달한다[1]. 특히 한전에서 전력공급을 담당하고 있는 65개 자가발전 도서지역의 2016년 원가회수율(판매단가/판매원가)은 27%에 불과하며 원가의 73%에 달하는 결손액(도서자가발전설비 운영비용-전기판매수입)이 발생하고 있다[2]. 이러한 원가 결손액을 발생시키는 도서지역에 대한 전력공급방안을 마련하기 위하여 다양한 연구가 수행되어 왔는데, 내연발전 도서의 지역적 특성 및 전력수요를 고려한 최적 전력공급방식이 검토되었고[3], 자가발전 63개 도서를 대상으로 유가 전망을 고려한 시나리오별 해저케이블 1회선 포설에 따른 공급단가 감소율이 검토되었다[4]. 더욱이 최근에는 자가발전 도서지역의 신재생에너지 도입에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 연구 [5]에서는 안정성 측면에서 기존 디젤발전과 태양광·풍력 접목 기준을 검토하고 경제성 측면에서 디젤발전과 신재생원의 경제성을 비교하였으며, 울릉도를 대상으로 신재생에너지 자원현황 및 발전소 운영실적, 전력수요시설 개발 계획에 기반한 복합전력시스템 구성방안이 연구되었다[6]. 도서지역 발전 효율을 향상시키고 운영체계를 효율화시키는 최적 전력공급방안을 마련하여 운영 결손액을 줄일 필요가 있다.

즉, 거리상 가까운 여러 개의 독립운전 도서지역 발전설비를 한 곳으로 통합하고 인근 도서지역 간 전력공급에 해저케이블을 이용하면 연료 수송 및 설비 유지관리의 간격화를 도모할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 해저케이블을 통한 근거리 도서의 자가발전 통합운영에 대한 비용요소를 제시하고, 통합운영 전/후의 경제성 평가를 수행하여, 통합운영에 따른 편익 및 유효성이 확보되는 도서를 결정하는 알고리즘을 제시한다.

2. 도서지역 독립운전의 운영상 문제점

도서지역 발전설비는 해양환경 영향으로 발전설비 경년열화 및 염해문제가 다수 발생하고 있으며, 상용발전기 성능 유지를 위하여 주 2회 정도 시동을 걸어주어야 하므로 발전 이외의 연료 소비가 발생하고 있다. 또한 도서지역 발전설비는 정기적인 연료주입이 필요한데, PV 발전소의 경우 연 1~2회, 내연발전소는 평균 3개월에 1회 정도 주입받고 있어 연료 수송비가 주기적으로 발생하고 있다. 송유관을 통한 연료 수송으로 해양오염 발생 우려가 있으므로, 해양오염방지설비를 반드시 구비하여야 하고 건물 누수 등 유지보수 어려움이 발생되고 있다. 한편, 2016년 도서지역에서 발생한 결손액의 현황을 보면, 전체 비용(발전분야, 배전+판매 분야) 중 발전분야에서 발생하는 비용은 전체의 91% 정도를 차지하고 있다. 또한, 도서지역 일반비용은 변동비(연료비)와 고정비(지급수수료, 수선유지비, 기타비용)로 구성되는데, 용역을 제공받고 그 대가를 지급하는 지급수수료가 차지하는 비중은 45% 정도이다. 실제 한전 사업소 표준정원 산정기준에 따르면, 내연발전소의 최소 운영인력은 6명이고 PV 발전소는 2명이다.

즉, 발전설비가 다수 도서지역에 분산 배치될수록 설비관리 및 운영비용 측면에서 불리하게 되며, 근거리 도시간 통합운용을 통해 고정비를 감소시키는 것이 한전 결손액을 줄이는데 필수적임을 알 수 있다.

3. 통합운영 경제성 분석을 위한 비용요소

도서지역의 안전한 전력공급을 위해서 내연발전 혹은 PV(photovoltaic) 발전이 사용되고 있는데, 내연발전소는 발전기 및 주변압기 등으로 구성되고 PV 발전소는 PV 패널, PCS(power conditioning system), 축전지, 비상용발전기(일사량 부족시 사용)로 구성되어 있다. 도서발전설비 통합운영의 경제성 분석을 위한 비용요소는 설비 투자비, 변동비(연료비), 고정비(지급수수료, 수선유지비, 기타비용)로 구성되며, 이에 대한 상세사항은 다음과 같다.

3.1 설비 투자비

설비 투자비는 신설비와 철거비의 합산을 말하는데, 내연발전소의 설비 투자비는 내연발전기, 주변압기에서

발생되고, PV 발전소의 설비 투자비는 PV 패널, PCS, 축전지, 비상용발전기에서 발생한다. 그러나 근거리 도서간 발전설비 통합운영시 해저케이블 포설로 인하여, 통합하는 도서에서는 부하 통합으로 인한 발전설비 및 해저케이블 관련(해저케이블, 배전선로, 주상변압기, 배전용 개폐기) 투자비, 통합되는 도서에서는 발전설비 및 발전소 철거비, 이동형발전기 및 해저케이블 관련 투자비(배전선로, 주상변압기, 배전용 개폐기)가 발생한다. 도서지역 발전설비 투자비는 기본적으로 설비용량에 단가를 적용하는데, 해저케이블에는 km 당 단가를 적용한다.

3.2 변동비

변동비인 연료비는 내연발전소의 내연발전기 및 PV 발전소의 비상용발전기에서 발생하는데, 연료소비량(L/kWh)에 연료비 소비원가(천원/L)를 적용하여 산정한다. 통합하는 도서에서는 발전설비 증가로 변동비가 증가하나, 통합되는 도서에서는 발전설비가 철거되므로 변동비는 감소하게 된다. 내연발전기 및 비상용발전기의 연료소비량은 발전소 운전형태에 따라 다르므로, 연료소비 실적의 평균치를 반영한다. 또한, 연료비 소비원가(천원/L)는 유가변동에 민감하게 반응하므로, 도서별 소비원가에 IEA 저유가 증가율을 반영하여 산정한다[7].

3.3 고정비

도서 발전설비의 고정비로 수선유지비, 기타비용, 지급수수료를 고려하는데, 통합하는 도서에서는 발전설비 증가 및 순환점검을 위하여 운영인력이 증가하나, 통합되는 도서에서는 발전설비가 철거되므로 운영인력이 배치되지 않게 된다. 수선유지비와 기타비용은 도서 운영 상황에 따라 다르므로, 수선유지비 및 기타비용의 실적 중 최대 및 최소값을 제외한 평균치를 설비용량에 적용하고, 발전소 운영에 따라 비용이 결정되므로 물가상승률은 반영하지 않는다. 한편, 지급수수료는 65개 도서를 대상으로 한 연간 1인당 지급수수료 평균값을 계산하고, 도서 인력계획 및 물가상승률을 적용하여 산정한다.

4. 통합운영에 유효한 해저케이블 포설방안 결정 알고리즘

근거리 도서 통합운영에 대한 경제성을 평가하기 위해서는 우선적으로 해저케이블 내용연한 동안(30년)의

도서 수요 증가에 따른 발전설비계획 및 운영인력계획이 수립되어야 한다. 이들 계획은 해저케이블 포설 방안 및 도서간 통합운영 방안에 따라 좌우되는데, 본 논문에서는 4.1의 해저케이블 포설 방안 및 4.2의 5개 통합운영 방안을 고려한다.

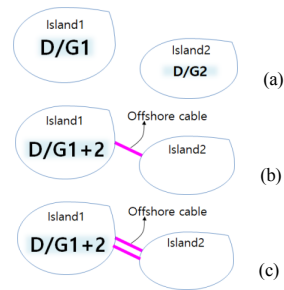


Fig. 1. Layouts of offshore cable between two islands (a) Islanding operation, (b) Integrated operation by single line, (c) Integrated operation by two lines

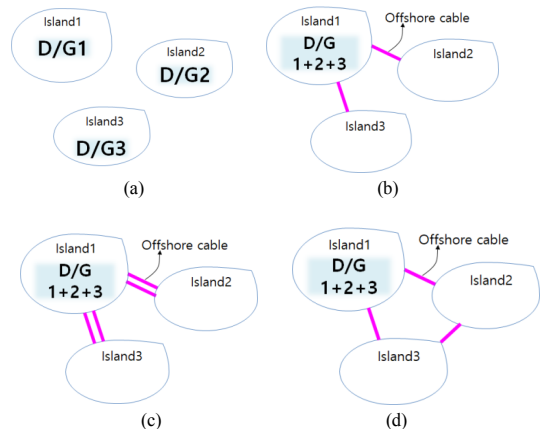


Fig. 2. Layouts of offshore cable between three islands (a) Islanding operation, (b) Integrated operation by single line, (c) Integrated operation by two lines, (d) Integrated operation by looped single line

4.1 해저케이블 포설 방안

도서지역의 전력공급 신뢰성 확보 측면에서, 다음의 특성을 가지는 3가지 해저케이블 포설 방안을 고려한다. 2개 도서간 통합운영에 대해서는 Fig.1과 같이 1회선 및 2회선 포설 방안을 고려하고 3개 도서간 통합운영에 대

해서는 Fig.2의 1회선 루프 포설 방안을 추가하여 경제성을 평가한다.

- 해저케이블 1회선을 포설하는 경우는 해저케이블 단선 등의 비상시 전력공급의 신뢰성을 확보하기 위하여 비상용발전기를 설치한다.
- 해저케이블 2회선을 포설하는 경우는 해저케이블 회선을 상당히 이격시켜 해저케이블 1회선 단선시에도 전력을 원활히 공급할 수 있다.
- 마지막으로, 근거리 3개 도서를 대상으로 해저케이블 1회선을 루프 포설하는 경우는 도서간 해저케이블이 단선되어도 다른 도서를 통해 전력공급의 신뢰성을 확보할 수 있다.

4.2 도서 발전설비 통합운영 방안

4.2.1 내연발전 도서간 통합운영(2개 도서)

해저케이블 1회선 및 2회선 포설 방법에 따른 내연발전소 간 통합운영을 위한 설비(①~④) 및 운영인력(⑤, ⑥)은 다음을 고려하여 계획된다.

- ① 최대부하가 큰 도서로 통합한다.
- ② 통합하는 도서의 내연 발전설비 용량은 모든 도서의 전력을 공급하기에 충분하여야 한다.
- ③ 해저케이블 1회선 포설시, 통합되는 도서는 발전설비를 철거하는 대신, 최대부하만큼 이동형발전기를 설치하고 비상시 유조차를 배치한다.
- ④ 해저케이블 2회선 포설시 비상 대응이 가능하므로, 통합되는 도서에 이동형발전기는 설치되지 않고 발전소 전체가 철거된다.
- ⑤ 해저케이블 1회선 포설시, 통합하는 도서의 운영인력은 통합되는 도서의 비상주 순환점검을 위하여 1인을 추가한다.
- ⑥ 해저케이블 2회선 포설시, 통합하는 도서의 운영인력은 변동되지 않는다. 왜냐면 통합되는 도서에는 어떠한 발전설비도 존재하지 않아 점검 인력이 필요 없기 때문이다.

4.2.2 내연발전 도서와 PV 발전 도서의 통합운영 (2개 도서)

내연발전소와 PV 발전소 통합운영의 설비 및 운영인력 계획은 다음에 의해서 산정되는데, 신재생 에너지를 확대하는 최근 경향에 부합하기 위하여 PV 발전기는 철거되지 않는다.

- ① 내연발전으로 운영되는 도서로 통합한다.
- ② 4.2.1의 ②와 동일하다.
- ③ 해저케이블 1회선 포설시, 통합되는 도서는 PV 발전설비를 잔존시키고, 비상용발전기를 철거하는 대신 필요시 이동형발전기를 배치한다.
- ④ 해저케이블 2회선 포설시 비상 대응이 가능하므로, 통합되는 도서의 PV 발전설비는 잔존되거나 비상용발전기는 철거된다.
- ⑤ 4.2.1의 ⑤와 동일하다.
- ⑥ 4.2.1의 ⑥과 동일하다.

4.2.3 PV 발전 도서간 통합운영(2개 도서)

PV 발전소 간 통합운영을 위한 설비 및 운영인력 계획은 다음 사항을 고려하여 산정된다.

- ① 4.2.1의 ①과 동일하다.
- ② 각 도서의 PV 발전설비 용량은 각 도서의 최대부하를 충족하고, 통합하는 도서의 비상발전기는 모든 도서의 전력을 공급하도록 확충되어야 한다.
- ③ 4.2.2의 ③과 동일하다.
- ④ 4.2.2의 ④와 동일하다.
- ⑤ 4.2.1의 ⑤와 동일하다.
- ⑥ 4.2.1의 ⑥과 동일하다.

4.2.4 내연발전소 도서간 통합운영(3개 도서)

해저케이블 1회선, 2회선, 1회선 루프 포설에 따른 내연발전소 간 통합운영의 경제성을 평가하기 위한 설비 및 운영인력 계획은 다음을 고려한다.

- ① 4.2.1의 ①과 동일하다.
- ② 4.2.1의 ②와 동일하다.
- ③ 해저케이블 1회선 포설시, 통합되는 도서는 발전설비를 철거하는 대신 최대부하만큼 이동형발전기를 각 도서에 설치하고 비상시 유조차를 배치한다.
- ④ 해저케이블 2회선 및 루프 포설시 비상 대응이 가능하므로, 통합되는 도서는 발전소 전체를 철거한다.
- ⑤ 해저케이블 1회선 포설시, 통합하는 도서의 운영인력은 통합되는 각 도서의 비상주 순환점검을 위하여 2인을 추가한다.
- ⑥ 해저케이블 2회선 및 1회선 루프 포설시, 통합되는 도서에 어떠한 발전설비도 존재하지 않아 점검 인력이 필요 없으므로, 통합하는 도서의 운영인력은 변동되지 않는다.

4.2.5 PV 발전 도서간 통합운영(3개 도서)

해저케이블 포설 방안에 따른 PV 발전소 간 통합운영을 위한 설비 계획 및 운영인력 계획은 다음을 고려하여 산정된다.

- ① 4.2.1의 ①과 동일하다.
- ② 4.2.3의 ②와 동일하다.
- ③ 해저케이블 1회선 포설시, 통합되는 도서는 PV 발전설비를 잔존시키고 비상용발전기를 철거하는 대신, 필요시 이동형발전기를 각 도서에 배치한다.
- ④ 해저케이블 2회선 및 1회선 루트 포설시 비상 대응이 가능하므로, 통합되는 도서는 PV 발전설비를 잔존시키고 비상용발전기를 철거한다.
- ⑤ 4.2.4의 ⑤와 동일하다.
- ⑥ 4.2.4의 ⑥과 동일하다.

4.3 해저케이블 포설 방안 결정 알고리즘

해저케이블 포설 방안 및 도서 통합운영방안을 고려한 통합운영이 유효한 도서 결정 절차는 Fig.3과 같다. 우선, 경제성 평가를 위한 기준값(단가, 물가상승률, 가중치 등) 및 설비 및 운영인력 계획 기준(내용연수, 한전 사업소 표준정원 산정기준)을 설정한다. 다음으로 수요 증가를 전망하기 위해서 단기수요는 관련 데이터를 이용한 추세 및 회귀분석을 통해 예측하고, 장기수요는 제7차 전력수급기본계획의 최대전력 연평균 증가율을 통해서 예측한다. 예측된 수요에 설비 및 운영인력 계획 기준을 적용하여 발전설비를 계획하고 이에 따른 운영인력 계획

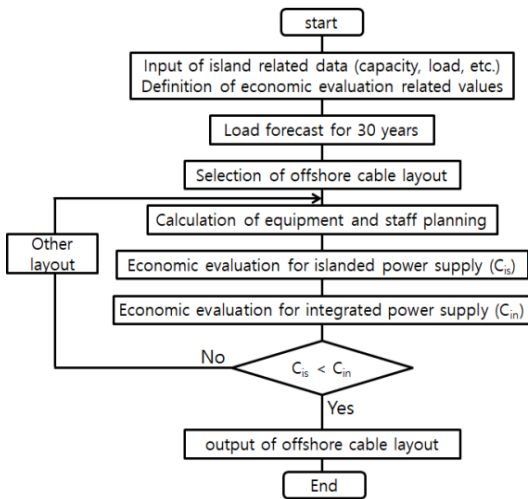


Fig. 3. Economic evaluation algorithm

을 수립한다. 마지막으로, 이들 설비 및 인력계획을 구축하기 위한 투자비용(IC), 연료비용(FC), 운영비용(OC)을 합산하여, 식 (1)과 같이 현재가치로 환산한 후의 총비용으로 경제성을 평가한다. 또한, 발전설비의 내용년수 이전에 경제성 평가가 종료되어 잔존가액이 남을 경우, 이를 경제성 분석에 반영한다.

$$\text{총비용의 현재가치} = \sum_{y=1}^n \frac{IC_y + FC_y + OC_y}{(1+r)^y} \quad (1)$$

여기서, y : 연도, n : 분석기간, r : 할인율

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

내연발전으로 운영되는 11개 도서 및 PV 발전으로 운영되는 7개 도서를 대상으로, 해저케이블 포설 방안 및 통합운영 방안에 따른 경제성을 평가한다.

5.1 경제성 평가 조건

내연발전소 및 PV 발전소의 통합운영 경제성 평가를 위해 설정된 기준값 및 설비 및 운영인력 계획 기준은 다음과 같으며, 대상 도서별 발전설비 용량은 Table 1과 같다.

- 할인율 : 5.5%
- 평가기간 : 30년
- 물가상승률 : '14~'20(2.63%), '21~'25(2.59%), '26~'30(2.43%), '31~'35(2.19%), '36~'40(1.92%), '41~'45 (1.77%) [8]
- 도서지역 공사 가중치 : 15%

Table 1. Generating system capacity of each island

Island	Capacity(kW)	Island	Capacity(kW)
D/G1	2,900	PV1	95
D/G2	240	PV2	45
D/G3	450	PV3	45
D/G4	400	PV4	35
D/G5	300	PV5	60
D/G6	260	PV6	45
D/G7	1,600	PV7	60
D/G8	240		
D/G9	160		
D/G10	240		
D/G11	240		

- 철거비는 설치비의 50%를 반영
- 발전기와 주변압기와 같이 여러 대를 동시에 건설하는 경우, 설치비/철거비에 대해서는 대수에 따라 서로 다른 가중치를 적용한다. 1대(1), 2대(2), 3대(2.7), 4대(3.5), 5대(4.2)
- 서로 다른 용량을 동시 설치/철거하는 경우는 설치비 및 철거비의 평균치에 가중치를 적용한다.

한편, 설비예비율, 내용연수, 사용 가능한 설비 용량 등을 고려하여 발전설비를 계획한다.

- 5년 이내에 추가 건설을 최대한 억제하기 위해, 적정 설비예비율을 초과할 수 있도록 허용하며, 설비예비율이 부족하면 발전기 수명이 남아 있더라도 오래된 발전기부터 증설한다.
- 주변압기의 설비예비율은 기준 설비예비율 5% 이하인 경우 주변압기를 증설한다.
- 디젤발전기 내용연수는 저속의 경우 25년, 중속의 경우 20년, 고속의 경우 15년을 적용한다.
- 기타 설비의 내용연수는 해저케이블, 주변압기, 이동형발전기, 배전선로, 주상변압기는 30년, PV 발전, 배전용개폐기는 20년으로 상정한다.
- 발전기 용량별 종류는 발전기 대수가 3대 이하이면 2종류까지 허용하고 발전기 대수가 4대 이상이면 3종류까지 허용한다.
- 발전기 2대 이상 동시 신설시, 최소한 2대 이상은 동일 용량으로 결정한다.
- 주변압기는 최소 2대 이상이어야 하며, 최대 4대(1대는 예비)까지 허용한다.
- 주변압기는 내연발전기 증설시 동시에 증설한다.

해저케이블 비용 관련해서는 포설 거리가 대단히 중요한데, 본 논문에서는 해저케이블 공사비를 최소로 하기 위하여 해저케이블 해상부 거리를 전기실이 아닌 각 도서의 배전선로와 배전선로를 연결하는 것으로 상정한다. 해저케이블 육상부 거리는 간조와 만조 사이에 드러나는 섬의 연안지역으로 각 도서마다 평균 200m를 적용한다. 이에 근거하여 산정된 대상도서별 해저케이블 거리는 Table 2와 같다.

5.2 내연발전 도서간 통합운영(2개 도서)

해저케이블 1회선 및 2회선 포설을 통한 내연발전소간 통합운영에 대한 경제성 평가 결과는 Table 3과 같다.

Table 2. Lengths of offshore cable and distribution line

Integrated islands	Length(km)				Total
	Offshore cable		Distribution line		
	Offshore section	Shore section	Island1	Island2	
D/G1-D/G2	3.50	0.40	0.8	0.40	5.10
D/G3-D/G4	1.10	0.40	0.04	0.05	1.59
D/G5-D/G6	1.50	0.40	0.59	0.03	2.52
D/G7-D/G4	3.90	0.40	0.01	0.02	4.33
D/G8-D/G9	2.00	0.40	0.19	0.32	2.91
D/G10-PV1	4.50	0.40	0.05	0.11	5.06
D/G11-PV7	1.00	0.40	0.01	0.08	1.49
PV2-PV3	0.50	0.20	0.01	0.02	0.73
PV2-PV4	3.50	0.40	0.01	0.04	3.95
PV5-PV6	3.70	0.40	0.02	0.02	4.14
D/G7-D/G3	4.10	0.40	0.12	0.09	4.71
D/G7-D/G4	3.90	0.40	0.01	0.02	4.33
PV2-PV3	0.50	0.20	0.01	0.02	0.73
PV2-PV4	3.50	0.40	0.01	0.04	3.95
D/G7-D/G3	4.10	0.40	0.12	0.09	4.71
D/G3-D/G4	1.10	0.40	0.04	0.05	1.59
D/G7-D/G4	3.90	0.40	0.01	0.02	4.33
PV2-PV3	0.50	0.20	0.01	0.02	0.73
PV3-PV4	3.40	0.40	0.02	0.30	4.12
PV2-PV4	3.50	0.40	0.01	0.04	3.95

Table 3. Economic evaluation results for integrated operation between two islands with diesel generations(unit : 100 million won)

Island	Islanding operation	Integrated operation		Cost variation	
		Single line	Two lines	Single line	Two lines
D/G1	808.0	917.7	980.3		
D/G2	135.1	2.1	10.3	-23.3	47.5
D/G3	261.9	370.2	383.7		
D/G4	158.3	3.5	17.9	-46.5	-18.6
D/G5	179.5	257.9	279.5		
D/G6	137.7	2.1	7.9	-57.2	-29.8
D/G7	320.2	481.9	552.7		
D/G4	158.3	3.5	17.9	6.9	92.1
D/G8	128.9	212.0	243.8		
D/G9	124.9	1.3	9.0	-40.5	-1.0

설비 투자비 면에서, 통합하는 도서는 수요증가 및 도서 통합으로 인한 발전설비 증설, 해저케이블 포설로 인하여 상당히 증가하지만, 통합되는 도서에서는 발전설비 철거비나 이동형발전기 설치비가 발생한다. 연료비 측면에서, 통합하는 도서는 통합운영에 따른 발전설비 증설로 인하여 연료비가 약간 증가하지만, 통합되는 도서에

서는 발전설비 철거로 인하여 연료비는 발생하지 않는다. 또한 고정비 측면에서, 통합하는 도서는 순환점검을 위한 운영인력 1명 증가로 인하여 소폭 증가하나, 통합되는 도서의 지급수수료는 전혀 발생하지 않는다. 그러므로 해저케이블을 통한 근거리 통합운영으로 인하여 설비 투자비나 연료비가 증가하여도 지급수수료가 상당히 감소하게 되면 편익을 확보할 수 있다. 그러나 지급수수료 감소에도 불구하고 해저케이블 2회선 포설시에는 해저케이블 포설 비용이 상당하므로, 편익이 많이 발생하지는 않는다. 따라서, 도서간 거리가 상당히 근거리라면, 해저케이블 비용 발생 및 지급수수료 감소로 인해 통합운영의 경제성을 확보할 수 있다.

5.3 내연발전 도서와 PV 발전 도서의 통합운영(2개 도서)

Table 4는 내연발전소와 PV 발전소의 통합운영에 대한 경제성 평가 결과를 나타낸다. 통합하는 도서의 설비 투자비는 내연발전기 및 해저케이블 관련 비용으로 상당히 증가하고, 연료비는 통합되는 도서만큼 증가하게 된다. 또한 통합되는 도서(PV 발전)의 운영인력 감소가 2명이므로 지급수수료 감소는 내연발전 도서간 통합운영에 비해 상당히 적다. 그러므로 도서간 거리가 상당히 근거리가 아닌 이상 내연발전 및 PV 발전의 통합운영으로 편익을 기대하기 어렵다.

5.4 PV 발전 도서간 통합운영(2개 도서)

해저케이블 1회선 및 2회선 포설을 통한 PV 발전소간 통합운영에 대한 경제성 평가 결과는 Table 5와 같다. 통합하는 도서의 총 투자비용은 해저케이블 및 비상용발전기 관련 비용으로 상당히 증가하고, 연료비는 통합되는 도서만큼 증가하게 된다. 또한 통합되는 도서(PV 발전)의 운영인력 감소가 2명에 불과하므로 지급수수료 감소는 상당히 적다. 그러므로 도서간 거리가 상당히 근거리가 아닌 이상 PV 발전 도서간 통합운영으로 편익을 기대하기는 어렵다.

5.5 1회선 루프 포설에 따른 통합운영

내연발전으로 운영되거나 PV 발전으로 운영되는 3개 도서의 통합운영에 대한 경제성 평가 결과는 Table 6과 같다. 해저케이블 1회선, 2회선 및 1회선 루프 포설에 대한 경제성을 평가해 본 결과, 해저케이블 1회선 루프 포

설에 의한 설비 투자비는 1회선 포설에 비해서는 증가하나, 2회선 포설에 비해서는 감소한다. 그러나 지급수수료는 해저케이블 포설 방안에 따라 거의 변동되지 않으므로, 도서간 통합운영 비용은 1회선 포설, 1회선 루프 포설, 2회선 포설 순으로 증가한다. 특히 도서 통합운영으로 인해서 지급수수료가 상당히 감소하는 내연발전 도서의 통합에 해저케이블 루프 운전을 적용하는 것이 더욱 유효함을 알 수 있다.

Table 4. Economic evaluation results for integrated operation between two islands operated by diesel and PV generations(unit : 100 million won)

Island	Islanding operation	Integrated operation		Cost variation	
		Single line	Two lines	Single line	Two lines
D/G10	255.9	392.1	475.2	94.6	184.5
PV1	44.6	3.0	9.8		
D/G11	129.9	189.6	201.0	15.7	36.5
PV7	47.7	3.7	13.1		

Table 5. Economic evaluation results for integrated operation between two islands operated by PV generations(unit : 100 million won)

Island	Islanding operation	Integrated operation		Cost variation	
		Single line	Two lines	Single line	Two lines
PV2	41.3	76.2	73.3	-4.2	2.0
PV3	40.7	1.6	10.7		
PV2	41.3	139.1	201.6	61.8	132.4
PV4	36.8	0.8	8.9		
PV5	43.5	147.4	214.1	64.0	139.5
PV6	40.9	1.0	9.8		

Table 6. Economic evaluation results for integrated operation between three islands(unit : 100 million won)

Island	Islanding operation	Integrated operation		
		Single line	Two lines	Looped single line
D/G7	320.2	667.3	812.8	663.3
D/G3	261.9	6.2	11.3	11.3
D/G4	158.3	3.5	17.9	17.9
PV2	41.3	174.0	233.7	217.2
PV3	40.7	1.6	10.7	10.7
PV4	36.8	0.8	8.9	9.0

6. 결론

도서지역 발전효율을 향상시키고 운영체계를 효율화시키는 최적 전력공급방안을 마련하여 운영 결손액을 줄일 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서는 근거리 도서의 자가발전 통합운영에 대한 비용요소를 제시하고, 통합운영 전/후의 경제성 평가를 수행하여 통합운영에 유효한 해저케이블 포설 방안을 결정하였다.

해저케이블 비용이 발생하여도 통합되는 도서의 지급수수료가 감소하므로 근거리 도서간 통합운영에 따른 경제성을 확보할 수 있다. 해저케이블 1회선에 의한 2개 도서 통합운영의 비용은 독립운전에 비하여, -18~79% 정도 변동되며, 일반적으로 내연발전소 2개 혹은 3개를 통합하는 경우와 근거리 PV 발전소 간을 통합하는 경우 편익이 발생한다. 반면, 해저케이블 2회선 및 1회선 루프에 의한 통합운영에 따른 편익이 발생하는 경우는 내연발전 도서를 통합하는 경우이다. 독립운전에 비하여, 해저케이블 2회선에 의한 2개 도서 통합운영의 비용은 -9~169% 정도 변동되며, 해저케이블 1회선 루프에 의한 3개 도서 통합운영의 비용은 -6~99% 정도 변동된다.

즉, 근거리이며 내연발전으로 운영되거나 최대부하가 작은 2개 도서 혹은 3개 도서에 있어서 도서간 통합운영이 경제적인 전력공급방안임을 알 수 있었다.

References

- [1] Electric Power Public Tasks Evaluation & Planning Center, 2017 action plan, http://www.etep.or.kr/home/busi_info/budget/pBudgetView.jsp.
- [2] 2016 the full cost account for power plant of KEPCO managed islands, http://home.kepco.co.kr/kepco/IF/ntcob/list.do?pageIndex=1&boardSeq=0&boardCd=BRD_000290&menuCd=FN250201&pamScrpSeq=0&gbn=&categoryCdGroup=&sparFiled1ContentGroup=21015752&searchCondition=title&searchKeyword=.
- [3] Korea Polytechnic University, "A Study on Optimal Implementation of Power Supply in Islands", 2011.
- [4] KEPCO Management Research Institute, "A Study on Economic Electric Power Supply Method for Remote Islands", KIEE summer conference, 2010.
- [5] Korea Electric Power Corporation, "A Study on Standards of Renewable Energy for Remote Island", 2012.
- [6] Minho Baek and Suduk Kim, "A Pre-feasibility Study on the Promotion of Hybrid Power System in Ulleung Island", Korean Soc. Miner. Energy Resour. Eng, vol. 53, no. 1, 2016.

[7] IEA World Energy Outlook 2015.

[8] National Assembly Budget Office, "2014-2060 Long-term Fiscal Projection"

김 미 영(Mi-Young Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2008년 12월 : 일본 북해도대학 시스템공학과 (공학박사)
- 2009년 8월 ~ 2014년 12월 : 한국 선급 책임연구원
- 2017년 3월 ~ 현재 : 호원대학교 전기소방학부 교수

<관심분야>

전력계통, 풍력 전기설비, 분산전원 계통연계

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



- 1987년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술 교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석

문 국 현(Guk-Hyun Moon)

[정회원]



- 2013년 8월 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 (공학박사)
- 2013년 9월 ~ 2014년 10월 : 한국 과학기술기획평가원 부연구위원
- 2014년 11월 ~ 현재 : 한국전력공사 경제경영연구원 선임연구원

<관심분야>

설비전략, 전력기술

서 인 용(In-Yong Seo)

[정회원]



- 1989년 8월 : 부산대학교 전기전자 공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 : 미국 BROWN 대학교 응용수학과 (이학석사)
- 2003년 5월 : 미국 BROWN 대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1990년 1월 ~ 2012년 12월 : 한전 전력연구원 책임연구원
- 2013년 1월 ~ 현재 : 한전 경제경영연구원 수석연구원

<관심분야>

에너지신산업, 전력경제