자가발전도서 발전설비 성능최적화 및 수명관리

서상일
한전 도서전력팀장

1. 개 황

도서지역의 전력산업은 내륙의 주전력 계통으로부터 독립 운영되고 있으며, 발전, 배전, 판매가 통합 운영되고 있다. 보통 지자체는 전문기술 부족으로 발전소를 장기적으로 운영하기 힘들고 전기품질을 최상으로 유지하는데 어려움이 있어 지자체와 한전 양 기관의 협의 하에 운영 · 관리 권한을 한전에 넘기고 있다.

또한, 지자체 및 주민자치로 운영되는 발전소도 전문적인 운전 및 유지보수와 관련한 기술을 확보하기가 곤란하여 한전에서 연 2회 이상 기술지원을 수행하고 있다.

[표 1] 도서지역 발전현황

구 분	한 전	지자체	주민자치	합 계
도서수(개)	62	23	42	127
인구수(명)	42,789	2990	741	46,520
가구수(가구)	21,345	1,640	276	23,261
고객호수(호)	29,048	1,618	270	30,936
설비용량(kW)	83,545	7,472	4,287	95,304

※출처 : 도서전력사업 및 자가발전도서 현황(2012년 전기저널)

도서지역의 발전은 초기에 대부분 외산 제작 디젤엔진이 설치 · 운영되었다. 대표적인 울릉도내연발전소, 진도내연발전소, 성산포내연발전소의 경우도 1956년 국제연합한국부흥위원단 원조자금으로 도입된 미국 유니온社의 100kW, 250kW와 이후 일본 얀마社 및 다이하쓰社의 디젤엔진이 설치되었다.

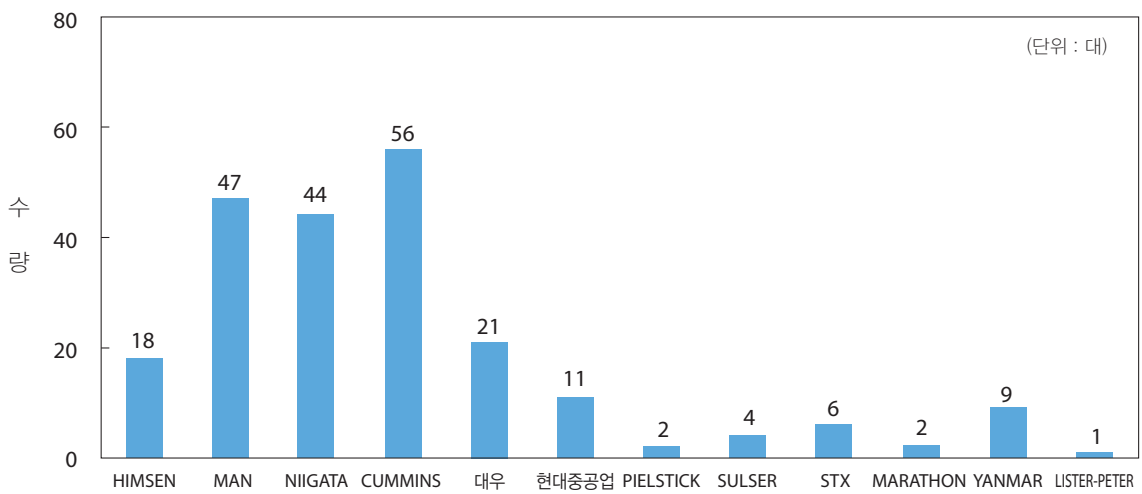
1980년대에 들어 한국중공업에 의해 제작된 국산 디젤엔진이 적용되기 시작하였다. 이후 현대중공업, 두산엔진, STX엔진 등에서 해외 디젤엔진 제작업체의 라이선스를 도입하여 OEM으로 국내에서 제작 · 설치하였다.

최근에는 국산화 개발에 성공하여 설계, 제작 및 서비스를 수행하고 있다. 특히 현대중공업의 독자 디젤엔진 브랜드인 힘센(HiMSEN)의 경우 다수의 국내 수주 선박에 제공되고 있을 뿐 아니라 발전용 디젤엔진 및 패키지형 발전소로도 제작되어 판매되고 있다.

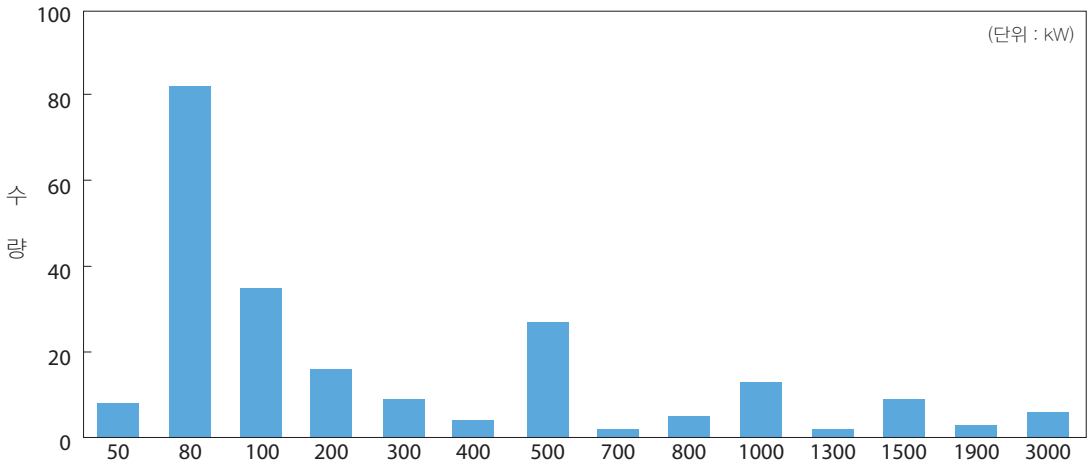
2. 도서 발전설비

도서지역의 경우 전력수요가 상대적으로 많지 않아 내륙의 원자력발전이나 기력발전과 같이 대용량 발전소의 건설 및 운영이 어렵다. 결국 일부 태양광발전 · 수력발전과 대부분의 디젤엔진 구동 내연발전에 의존하고 있어 발전원가가 매우 높다.

발전용 디젤엔진의 경우 대용량의 출력이 필요하여 중속(1,000rpm 이하) 2행정을 적용한 1.5MW 이



[그림 1] 도서 내연발전 제작회사 현황



[그림 2] 도서지역 발전기 용량

상의 모델이 주로 적용되었다. 반면 상대적으로 저출력을 요구하는 선박의 발전기관 및 일반 산업발전용 디젤엔진은 고속(1,000rpm 이상) 4행정을 적용한 200kW에서 1.5MW급에 해당한다.

초기 제작된 발전용 디젤엔진의 경우 효율이 20% 후반에서 30% 대에 분포하였다. 그러나 내연기관과 관련한 많은 기술 발전으로 그 효율은 꾸준히 증가하였다. 특히 대용량 디젤엔진은 용량이 커질수록 효율이 함께 증가하는 경향이 있다. 근래에 제작되고 있는 대형 디젤엔진의 경우 효율이 약 40% 중 · 후반대에 이르고 있다.

특히 터보차저(Turbo Charger)와 함께 가스복합발전과 같이 연소가스를 이용하여 증기를 발생시키고 증기터빈을 연결하는 디젤엔진 복합발전시스템을 구성할 경우 최대 54% 대에 도달할 수도 있다. 그러나 기계설비의 특성상 디젤엔진의 사용기간 경과에 따른 설비의 노후화로 인해 디젤엔진의 효율은 감소하게 된다.

발전용 디젤엔진은 약 200여개의 부품으로 구성되어 있다. 구성품 중 엔진블럭 및 크랭크축과 같은 주요 대형 부품은 시간 경과에 따른 손상이 거의 발생하지 않는다. 반면, 피스톤링, 실린더 라이너와 같은 작동부 및 연료노즐과 같은 연결부는 계속 사용에 따른 마모에 의해 정기적인 교체가 필요하다.

엔진의 각 부품은 분해 및 조립이 가능하므로 고장 시 해당 부품의 교체를 통해 계속 운영이 가능하다. 즉, 계속적인 소모성 부품의 정비 및 교체 시 발전용 디젤엔진의 수명은 연장될 수 있다.

통상 디젤엔진 제작사에서는 부품별 표준 정비주기를 제시하며, 일상적인 소모성 부품의 교체 및 정상적 유지보수 수행 시 평균 수명을 20년으로 예상한다. 그러나, 사용 중인 디젤엔진의 단종 시 정비부품에 대한 수요가 줄게 되고 이에 따라 해당부품의 조달이 매우 어렵게 된다. 또한, 정비부품의 가격 결정권이 수요자 중심에서 공급자 중심으로 바뀌게 됨에 따라 조달 가격은 급격하게 증가하는 경향을 나타낸다.

발전용 디젤엔진은 주요 부품의 손상 정도가 미미하고, 소모성 부품의 경우 예방정비 및 고장부품의 교체를 통해 기대수명 이상으로 운전될 수 있으나, 정비부품의 조달가격이 급격히 상승한다.

또한, 운전시간 경과에 따라 효율이 저하되고, 신규 모델의 효율은 계속적으로 개선되고 있으므로 노후설비의 계속 운영 시 신규 모델의 도입을 통한 운영시보다 소요 유류비는 증가하게 된다. 즉, 발전용

[표 2] 디젤엔진 고빈도 고장부품

고장빈도 순위	품 목	교체비용 비율	고장 원인
1	실린더 블록 및 헤드	4.2%	동작부 마모
2	연료분사펌프	4.2%	저급유 사용
3	실린더라이너	2.5%	동작부 마모
4	흡기밸브	0.8%	이물질 유입
5	배기밸브	0.8%	이물질 유입
6	연료분사노즐	0.6%	저급유 사용
7	피스톤 및 링	5.8%	동작부 마모
8	크랭크축	16.7%	저급유 사용
9	과급기	0.5%	필터류 과대오염

디젤엔진의 교체 여부를 판단하기 위해서는 계속 사용에 따른 정비부품의 조달가격 및 디젤엔진의 발전효율을 통한 경제성 평가가 적절한 것으로 판단된다.

3. 장기운영설비 현황

운전기간이 20년에 도달한 위도와 비안도 발전소에 설치된 디젤발전기를 대상으로 운전현황을 검토해 보았다. 위도 내연발전소는 중형 노후설비(1~3호기, 450kW, 1993년), 중형 신규설비(4호기, 500kW, 2002년) 및 대형 신규설비(5호기, 1,000kW, 2003년)가 운영 중이며, 비안도는 3기의 소형설비(80kW, 1994년)가 운전 중에 있다.

위도 1~3호기 및 비안도 1~3호기 디젤엔진의 호기별 주요 정비이력 및 TM(Trouble Memo) 발행 내역을 조사하였다. 설비의 노후화에 따른 이상 징후 발생 부품의 수량 증가, 교체부품의 수량 증가와 같은 특이성 또는 경향성은 파악되지 않았으며, 일반적인 디젤엔진의 부품 고장 빈도와는 다소 차이가 있었다. 각 발전소에 확인된 다 빈도 고장부품은 다음과 같다.

비안도 내연발전소는 호기별 연료사용량 정보 확인이 불가능하나, 1~3호기가 동일모델이고 동일시점에 설치되어 있기 때문에 전체 발전소의 특성을 통해 개별 설비의 내용을 추정할 수 있다. 비안도 내연

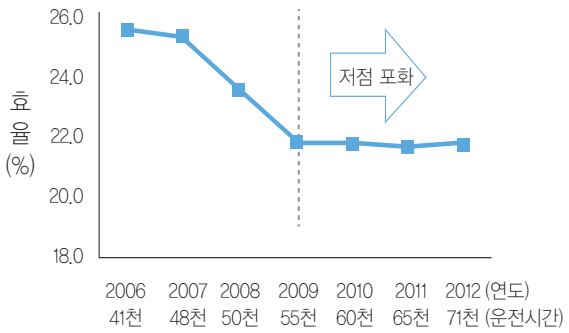
[표 3] 위도/비안도 디젤엔진 부품고장 빈도

고장빈도 순위	품 목
1	피스톤 및 링
2	연료분사노즐
3	실린더라이너
4	실린더헤드
5	커넥팅로드
6	흡기밸브
7	연료분사펌프
8	과급기

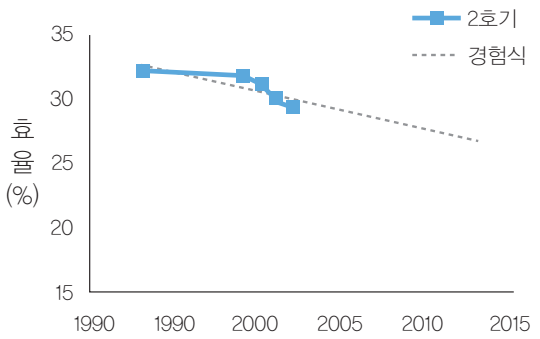
발전소 전체의 발전효율을 분석한 결과, 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보인 후 2009년부터 큰 변화가 없었다.

비안도 내연 발전소는 1994년에 설치되어 준공 후 약 15년, 5만5,000시간 운전 후 발전효율이 저점 포화됨을 확인하였다. 이때의 효율은 초기 발전효율인 26% 대비 약 5%p 감소한 21%임을 알 수 있다.

위도 내연발전소 2호기의 경우 과거 일시적으로 유량계를 이용하여 호기별 연료사용량을 기록한 자료를 확보하여 해당 내용을 분석해 2호기의 개별효율을 산정하였다. 1993년 설치 당시 인수 성능검사보고서를 통해 확인 된 초기 설치 시 효율 32.3%와 1999년 31.7%에서 2002년 29.4%로 감소한 효율을



[그림 3] 비안도 내연발전 평균 발전 효율



[그림 4] 위도 내연발전 2호기 발전 효율

바탕으로 경험식을 추정한 결과, 2013년 위도 2호기의 발전효율은 26%에 이를 것으로 예상 되었다.

이는 초기 효율 32.3% 대비 6.3%p 감소한 수치이다. 초기 효율 대비 약 20% 감소할 것으로 예상되는 시점을 상기의 경험식을 통해 역산하면 2011년이며, 그 당시의 누적 운전시간은 5만5,000시간이다. 이를 통해 500kW급 디젤엔진은 설치 후 18년, 5만5,000시간 경과 시 초기 효율 대비 약 20% 가량 발전효율이 감소할 것으로 예상된다.

4. 도서발전설비 상태지표

도서지역 발전설비의 노후 상태는 운전기간 등의 사용성, 발전효율 등의 내구성, 정비비용 등의 경제성 측면으로 표현이 가능하다. 발전설비의 노후화를 정량적으로 표현하기 위해 도서발전소의 운영경험을 토대로 발전설비의 항목별 노후 상태를 나타내는 요소를 지표변수로, 그리고 각 지표변수를 이용하여 설비의 현재 상태를 정량적으로 나타낸 값의 합을 상태점수로 정의하였다.

운전기간이 장기화됨에 따라 설비의 노후화가 진전되는 특성이 있으므로 사용성은 운전기간을 통해 나타낼 수 있다. 설비의 계속 사용에 따라 초기 인수시험 시에 측정된 수준 대비 발전효율은 감소하고, 윤활유 소모량은 증가한다.

그리고 설비의 마모 또는 결함 진행 등으로 인해 중고장의 발생빈도가 증가하게 되므로, 이러한 요소들을 내구성 지표변수로 사용할 수 있다. 또한, 설비가 단종되거나, 자재조달 소요기간이 장기화 될수록 정비부품조달을 위한 비용이 증가하므로 설비 단종여부, 자재 조달소요기간 및 경상자재비, 돌발복구비, 예방정비 등의 정비비용을 이용하여 설비 정비적 측면의 경제성 표현이 가능하다.

따라서 장기사용 설비의 상태지표를 표 4와 같이 나타낼 수 있으며 이를 통하여 교체시점을 평가하는 것도 가능하다.

[표 4] 도서발전설비 노후상태 지표변수 및 상태점수

노후상태 (상태점수)	사용성	+	내구성	+	경제성
	운전기간		발전효율 윤활유소모율 중고장발생건		설비단종여부 자재조달기간 정비비요