

### 영광 3,4호기 비상디젤발전기 최적 정비 방안 수립

하체웅, 한성흠, 임우상, 황재욱, 김한욱  
한국수력원자력(주)

## Emergency Diesel Generator Optimal Maintenance Plan Establishment for Youngkwang 3 & 4 Nuclear Power Plant

C. W. Ha, S. H. Han, W. S. Lim, J. O. Hwang, H. M. Kim  
Korea Hydro & Nuclear Power Co.

### 3. EDG 정비방안 수립 및 평가

#### 1. 서 론

영광 3,4호기 EDG(Emergency Diesel Generator)는 프랑스 Wärtsilä사에서 제작하여 공급하였으며, 발전기 양측에 20기통의 디젤엔진이 각 1대씩 설치된 Tandem 방식으로 타 원전 EDG에 비해 엔진 수량이 많고 이중 냉각수 계통으로 복잡한 구조로 되어있으면서도 1994년 3호기 발전소 운용허가 이후 현재까지 철저한 예방 점검과 정비를 통하여 설계 성능을 유지하고 있다.[1]

엔진 메인 베어링(EDG당 24개 엔진 베어링 설치) 중 1개라도 이상이 발생되면 EDG에 주요 부품인 크랭크샤프트, 커넥팅로드, 피스톤 등의 손상에 직접적인 영향을 줄 수 있고, EDG 제작사의 지침서 상에 엔진 메인 베어링은 15년 마다 점검하도록 되어있으며, EDG 시험특성상 급속한 부하작용, 이물질 유입 그리고 부적절한 윤활유 공급 등으로 인하여 베어링 손상이 발생할 수 있어 철저한 점검과 정비가 필요하다.[7]

그러나 영광 3,4호기 EDG는 엔진 하부에 설치되어 있는 점검구(manhole)가 작아 엔진 메인 베어링과 주요 부품을 점검하기 위한 인원 출입이 곤란하며, 경상 및 계획 예방정비 시에도 엔진 메인 베어링과 크랭크샤프트의 분해점검은 물론 외관상 점검도 불가능한 구조로 되어있다.

이에 따라 본 연구를 통해서 엔진 분해정비 시행 상 예견되는 현안 해결을 위한 구체적인 방안 마련에 착수하였고, 정비 비용과 품질을 유지하면서 정비가 기간 등을 고려한 영광 3,4호기 EDG 최적 정비 방안을 도출하였다.

#### 2. 제작사의 정비방안

영광 3,4호기 EDG 정비를 위해 방한한 제작사(Wärtsilä) 기술진은 EDG 엔진 분해 정비 관련 발전소 현장진단 및 정비방안으로 다음과 같은 사항을 권고하였다.

- 엔진 메인 베어링과 크랭크샤프트 축 계열 정비를 위해서는 엔진의 인양 및 Turn-over가 요구되나 현장 여건상 곤란하여 취외 후 정비를 권고
- 한정된 정규 O/H 정비기간 내에 엔진의 완전 분해정비가 어렵다는 점을 고려하여 예비용 엔진의 구입 권고
- 제작사는 외주 완전 분해정비를 가정하여 막대한 예상 비용을 제시
  - 1회 블록 정비 비용 : 약 225억원(예비용 엔진 1set 구입비용 및 운송비용 포함)
  - 40년 수명기간 동안 매 15년 주기 엔진 완전 분해정비 비용 : 약 332 억원

상기 기술된 제작사(Wärtsilä France)의 권고사항 이행을 위해서는 막대한 정비비용(초기 1회 약 225억원) 및 장기간(6개월 이상)이 소요되고 추가로 예비 엔진 및 시험설비 확보(구매)가 필요하며, 제작사의 완전 분해정비 범주 Re-qualification 수준이므로 엔진 주요부품에 대한 교체범위가 대폭 증가되어 제작사에서 제시한 정비비용보다 훨씬 증가할 가능성을 배제할 수 없다. 또한 엔진 완전 분해정비 관련 국내 정비기술 자립이 어렵고, 차후 제작사에 정비를 계속 의존해야 할 뿐만 아니라 독점정비 폐해도 우려되는 문제점이 발생한다.

영광 3,4호기 EDG 최적운용 방안 수립 달성을 위해서 EDG 관련 해외 고장 및 정비 사례 조사, 국내외 정비기술(방법) 및 동종 엔진 정비실적(경험) 등을 분석하여 수립된 엔진 정비 방안에는 국내 업체에 의한 엔진 인양 부분정비 방안과 Wärtsilä측 또는 자체정비에 의한 엔진 완전 분해정비 방안이 있으며, 취외 정비를 위해서는 예비용 SACM 엔진의 구매가 선행되어야만 한다. 이러한 현안들을 고려하여 다음과 같은 5가지 정비 방안을 도출하여 각 방안에 대해 장·단점과 비용을 면밀히 비교 분석하였다.

- 엔진 인양 부분정비 방안(제 1안)
- 엔진 완전 분해정비 방안(제 2안)
  - Wärtsilä France 외주 정비(2-1)
  - 전문 업체를 통한 외주 정비(2-2)
  - 자체정비에 의한 취외 정비(2-3)
- AAC DG를 EDG로 대체 정비방안(제 3안)
- EDG 1대 신설 및 대체 후 엔진 부분정비 방안(제 4안)
- 타 기종 신규엔진으로 전면 교체 방안(제 5안)

#### 3.1 정비 방안별 기술 적합성 평가

운용 방안별 기술 적합성을 평가하기 위하여 각 대안별 정비 품질 및 신뢰도 유지, 비용 최적화, 국내 정비기술 자립화 및 정비기간 최적화를 기준으로 기술 적합성을 평가하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

##### 가. 제 1안

- 1) 정비품질 및 기기 신뢰도 확보가 가능
- 2) 시운전 시 경험하였던 엔진 진동, Governor Control 등에 대한 재발 가능성이 타 정비방안에 비해 낮음
- 3) 정비 소요기간이 약 15일로 예상되므로, 공정 최적화를 통하여 기존 O/H 기간 중 정비수행이 가능

##### 나. 제 2안

- 1) 영광 2발전소 증장기 정비계획에 반영된 정비항목(52항목)에 엔진 축계열 정비항목이 추가된 형태로서 기기 정비 신뢰도는 매우 높은 방안임
- 2) 현장 설치 후 시운전에 대한 신뢰도가 현저히 낮아 엔진 교체 및 시운전 기간이 약 9일~27일이 소요됨

##### 다. 제 3안

AAC DG를 EDG로 대체하여 정비할 경우 대체 모드 적용 기간이 충분히 확보될 수만 있다면 발전소 정기 O/H 기간에 구매 받지 않고, 엔진 인양 부분정비 방식 적용 시 요구되는 정비기간을 추가로 확보할 수 있다는 장점은 있으나 규제기관의 “가동원전 소내 정전사고” 대처에 대한 신뢰도 요구수준과 규제 동향을 고려할 때 대체모드 승인을 취득하기는 불가능할 것으로 분석됨

##### 라. 제 4안

AAC DG를 EDG로 대체하여 부분 정비하는 방안과 비교 시 규제기관의 대체모드 유권해석 승인을 요하지 않고도 충분한 정

비기간 확보, 별도의 정비동/정비설비와 시험동/설비 확충 불필요 등 장점은 있으나 EDG 1대 신설에 따른 부지 확보, 건물 신축, EDG 구매 등에 문제와 비용이 수반되고 중복투자라는 문제 제기 가능성이 있음

나. 제 5안

소내에 상당한 규모의 신설 부지 확보, 막대한 기기 구매 및 건물 신축 비용 수반, 장기간 소요 등 문제와 중복투자라는 문제 제기 시 대응논리 부재 등을 고려할 때 채택하기 어려운 방안으로 분석됨

### 3.2 정비 방안별 안전성 평가

가. 제 1안

발전소 안전성에 영향은 없으나 협소공간에서 엔진 인양 등에 많은 인력이 투입되므로 기기 및 인원 안전에 유의가 요망됨

나. 제 2안

발전소 안전성에 영향은 없으나 엔진 취외 이동 과정에서 기기 및 인원 안전에 유의가 요망됨

다. 제 3안

AAC DG 운전불능에 따른 명시된 기술지침서 제한사항은 없으나 모든 소내정전 사고 발생 가능성에 대비한 설비이고 4개호기에 영향을 미치게 되므로 소내 전원 신뢰도 분석을 통해 AAC 운전불능이 소내 전원 유용성에 미치는 안전성 영향 평가가 이루어져야 할 것으로 판단됨

라. 제 4, 5안

발전소 안전성에 영향은 없음

### 3.3 정비 방안별 경제성 평가

각 운용 방안별 경제성을 평가하기 위해서 각 방안의 구매비용, 정비비용, 인건비용 등을 산정하여 표 1에 나타내었다.

<표 1> EDG 정비방안별 비교 분석

구분	장 점	단 점	비 용	
제 1안	○ 정비신뢰도 우수 ○ 비상 또는 긴급정비 수요 발생 시 대처용이 ○ 별도의 정비설비와 시험동/설비확충 불요	○ 제한된 O/H 기간 중 수행을 위한 정비공정 최적화 방안 필요	18 억원	
제 2안	2-1	○ 정비신뢰도 우수 ○ 별도의 정비동/설비, 시험동/설비 확충 불요	○ 비상 또는 긴급 정비수요 발생시 대처 곤란 ○ 완전한 국내 정비기술 자립곤란 ○ 정비비용 및 기간 과다	75.8 억원
	2-2	○ 정비신뢰도 우수 ○ 국내 정비기술자립 용이 ○ 비상 또는 긴급 정비수요 발생 시 대처용이	○ 과다한 초기 투자비 소요 (별도의 정비동/설비와 시험동/설비 확충 필요) ○ 장기간 정비기간 소요	175.9 억원
	2-3	○ 정비신뢰도 우수 ○ 별도의 정비동/설비, 시험동/설비 확충 불요	○ 정비비용 및 기간 과다 ○ 비상 또는 긴급 정비수요 발생시 대처 곤란 ○ 국내 정비기술 자립 곤란 ○ 운송비용 추가부담 및 운송위험도 증가	81 억원
제 3안	○ 별도의 정비동/설비와 시험동/설비확충 불요 ○ 비상 또는 긴급정비 수요 발생 시 대처용이 ○ 국내 정비기술자립 용이 ○ 비용 저렴	○ 규제기관의 승인취득 불가 ○ 대체모드 적용 승인 가능 시에도 제한된 O/H기간 내에 정비기간 확보 불가 ○ 정비품질 확보를 위한 품질활동 강화 및 정비 인력 훈련 필요	18 억원	
제 4안	○ 비상 또는 긴급정비 수요 발생 시 대처용이 ○ 비상 대체전원 확보로 기술지침서 요건 충족상태에서 충분한 정비기간 확보 가능 ○ 국내 정비기술 자립용이 ○ 별도의 정비동/설비와 시험동/설비확충 불요	○ 별도의 부지 확보 및 건물 신축 부담 ○ 장기간 소요 ○ 중복투자 문제제기 시 대응 곤란 ○ 초기 투자비용 과다	148 억원	
제 5안	○ 정비비용 및 15년 주기 1회 이상 엔진 완전 분해 정비 불요 ○ 비상시 또는 긴급정비 수요 발생 시 대처용이	○ 중복투자 문제제기 시 대응 곤란 ○ 별도의 부지확보 및 건물신축 부담 ○ 시운전 및 계통 연계 등 절대 공기 부족 ○ 초기 투자비용 막대	590 억원	

## 4. 정비방안별 평가 결과

영광 3,4 EDG 최적 정비 방안 설정을 위해 각 정비 방안별 기술적합성, 안전성 및 경제성을 평가 하였다. 그리고 각 평가 요소별로 중요도에 따른 평가 비중을 반영하여 표 2에 정비 방안별 평가 결과를 제시하였다. 평가 결과를 토대로 영광 3,4호기 EDG의 엔진 메인 베어링과 주요 부품을 점검 및 정비에 대한 운용 방안으로 제 1안인 “엔진 인양 부분정비 방안” 그리고 제 2안인 “엔진 완전 분해정비 방안” 중 “전문 업체를 통한 외주 정비”를 적정 정비 방안으로 도출하였다.

<표 2> 정비 방안별 평가 결과

적용 지표	제 1안	제 2안			제 3안	제 4안	제 5안
		2-1	2-2	2-3			
정비품질 / 신뢰도	4	4	4	3	1	2	3
정비기간	3 <sup>1)</sup>	1	2	2	3 <sup>1)</sup>	2 <sup>2)</sup>	1
적용 가능성	4	2	3	3	0	2	0
비용	3	1	2	1	3	2	1
합계	14	8	11	9	7	8	5

참고) ○ 매우 우수(매우 저렴) : 4, 우수(저렴) : 3 보통 : 2 미흡(또는 과다) : 1

○ 적용 곤란으로 평가 시 평가에서 제외

○ <sup>1)</sup> 발전소 정기O/H 공정에 과도한 지장을 초래하지 않는 정비기간 산출

○ <sup>2)</sup> 순수 정비기간 만 고려

## 5. 결 론

영광 3,4 EDG의 엔진 메인 베어링 정비를 최적화하기 위하여 국내·외 EDG 고장 사례 조사, 운용 규제 지침 분석, 정비 이력, 정비 절차서 분석, 엔진 인양 정비 사례, 엔진 인양 방법 절차 수립 및 정비 업체 현장 실사 등 운용방안에 대한 조사 분석 과 비교 분석을 통하여 정비 기간을 단축하면서 정비 비용을 최소화하는 정비 방안을 크게 5가지로 선정할 수 있었고 5가지 운용 방안 분석 결과를 바탕으로 영광 3,4호기 EDG의 엔진 메인 베어링과 주요 부품을 점검 및 정비에 대한 운용방안으로 “엔진 인양 부분 정비 방안” 그리고 “엔진 완전 분해정비 방안”을 적정 정비방안으로 도출하였다.

이 두 가지 방안 중에서 면밀한 정비 계획 수립, 신뢰도, 기술 적합성, 경제성 그리고 정비기간을 고려할 때 “엔진 인양 부분정비 방안”을 영광 3,4호기 EDG 최적 정비 방안으로 선정할 수 있으며, 상대적으로 O/H 공정의 제약을 덜 받는 AAC DG를 선행 정비하여 정비기술을 축적함으로써 EDG 정비 시 정비기간 단축 및 정비 공정 최적화를 이루는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한수원(주), “영광 3,4호기 FSAR”
- [2] NUMARC 93-01, “Industry Guide for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants” Rev. 1, Nuclear Management and Resource Council, 1993.
- [3] USNRC, “Generic Aging Lessons Learned(GALL) Report”, 2001.
- [4] USNRC, NUREG-1705, “Safety Evaluation Report Related to the License Renewal of Calvert Cliffs Nuclear Power Plant”, 1999.
- [5] 조권희 외, “국의 원전 고장사례 분석을 통한 국내 비상디젤 엔진계통 신뢰도개선 연구”, 한국원자력학회, 2004.
- [6] USNRC, “Information Notice Related to Emergency Diesel Generators”, 1986~2002.
- [7] 한수원(주), “영광 3,4호기 기술정산서”, 1996~2005.