

## 원자력발전소 Tandem 형 비상디젤발전기의 최적 정비 방안 연구

한성흠, 임우상, 하체웅  
한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

### A study on the overhaul method for a Tandem type EDG on Nuclear Power Plant

Sung-heum Han, Woo-Sang Lim, Che-Wung Ha  
Nuclear Engineering & Technology Institute, Korea Hydro & Nuclear Power Co.

**Abstract** - An Emergency Diesel Generator (EDG) manufactured by a French company Wartsila SACM, is a tandem type engine, consisted of two 10 cylindere diesel engines on each side. Manual provided by the manufacturer states that engine bearing requires inspection every 15 years. However, it is difficult for an inspector to access through a manhole located in the lower compartment of engine. Furthermore, during a routine or scheduled maintenance, it is not possible to disassemble main engine bearing and crank shaft, and perform inspection. Two methodologies are suggested here to resolve the problem. One method is to lift the engine and partially perform the maintenance service, and the other method is to disassemble the engine completely and to perform maintenance service by the manufacturer. Pros and cons of two methodologies were thoroughly compared.

- 흡/배기계통 : 이물질 유입으로 과급기 손상 등
- 여자기 및 전압조절장치계통 : opening coil 열화 소손 등

#### 2.3 EDG 증장기 운영상의 현안

제작사 지침서상 엔진 베어링은 15년 마다 점검하도록 규정되어 있으며, 매월 EDG 속기동 시험 시 급속한 초기 부하작용으로 엔진에 무리를 가할 수 있어서 엔진 메인 베어링에 대한 점검과 정비가 요구되고 있다. 또한 EDG 당 24개가 설치된 엔진 베어링 중 1개라도 이상 발생 시 엔진 운전이 곤란한 점 등을 고려하여 철저한 정비가 요구되며 엔진 점검구(Menhole)가 너무 작아(사진 1 참조) 하부 안쪽으로 출입할 수 있는 점검구가 없애 정상 및 계획예방정비 시에도 베어링 분해점검과 외관점검도 할 수 없는 구조로 되어 있다. 제작사 지침서상 베어링을 교체하기 위해서는 엔진 본체를 제외한 모든 설비 즉, 터보차지, 실린더 헤드, 연료펌프 등을 제거 후 엔진 본체를 인양하여 180°상하 회전(그림 1 참조)하도록 되어 있어 베어링 정비를 위해 장기간이 소요되므로 발전소 운영상 어려운 문제가 예상된다.

#### 1. 서 론

프랑스 Wartsila SACM사에서 제작한 비상디젤발전기(EDG)는 발전기 양측에 10기통의 디젤엔진이 각 1대씩 설치된 tandem 방식으로타 형식의 EDG에 비해 엔진 수량이 많고 이중 냉각수 계통으로 복잡한 구조로 되어있으면서 제작사의 지침서상 엔진 베어링은 15년 마다 점검하도록 되어 있으나 엔진 하부의 설치되어있는 점검구(manhole)로는 인원 출입이 곤란하며, 정상 및 계획예방정비 시에도 메인 엔진 베어링과 크랭크 샤프트의 분해점검이 불가능한 구조로 되어있다. 이를 해결하기위한 방안으로 엔진 정비 방안으로 국내 업체에 의한 엔진 인양 부분정비 방안과 제작사인 Wartsila사에 의한 엔진 완전 분해정비 방안을 최종 도출하여 각 방안에 대해 장단점과 비용을 면밀히 비교 분석하였다. 또한 EDG의 엔진 완전분해 정비 품질과 신뢰도를 유지하되 비용의 최적화와 관련 국내 정비기술력 고도화 및 자립화 그리고 발전소 계획예방정비 기간을 고려한 정비기간 최적화에 중점을 두었다

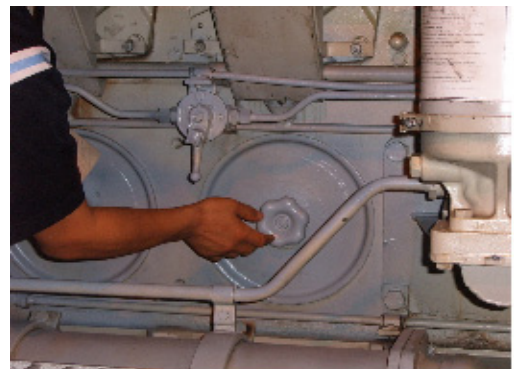
#### 2. 본 론

##### 2.1 . 비상디젤발전기 관련 규제요건(기술기준)

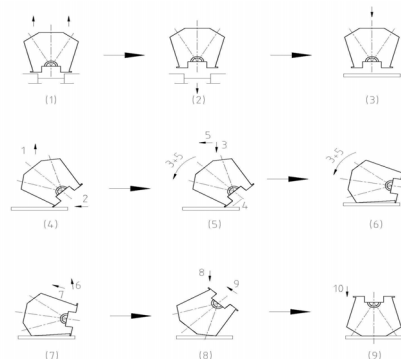
원자력발전소 전력계통은 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 (GDC) 2, 4, 5, 17, 18 및 50의 기준을 만족해야 하며 EDG와 대 체교류전원에 관한사항은 10 CFR 50.63(모든 교류전원의 상실), NUMARC 87-00 (rev.1), Reg. Guide 1.155(소내 정전), Reg. Guide 1.9(전력계통의 검사 및 시험)를 만족하여야 하고 그 외 시험에 관한 사항은 IEEE Standard 387에 규정되어 있다

##### 2.2 EDG 주요 계통별 기기들의 고장 유형

- 디젤엔진계통 : 실린더 균열로 크랭크 축 손상 등
- 발전기계통 : 전기 조속기 지연으로 발전기 출력 지연 등
- 연료유계통 : 분사펌프의 플런저 마모로 배기관 과열 등
- 윤활유계통 : 윤활유 저장탱크 유위 저하 및 윤활유 온도 상승 등
- 냉각수계통 : 냉각팬 벨트 손상으로 냉각수 온도 상승 등
- 기동공기계통 : 이물질의 기동공기 제어 밸브 유입으로 손상 등



<사진 1> 엔진 크랭크 케이스 내부 점검구



<그림 1> 엔진 turn-over 방법 및 절차

## 2.4 엔진 정비 관련 제작사 권고사항

원전 EDG는 정기적으로 급속 기동, 급속 부하증발 시험이 행해지므로 엔진베어링의 마모 가능성이 크며 소외전원 상실을 대비하여 기기의 높은 신뢰도 유지가 요구된다는 의견이 제시되었으며, SACM 엔진의 경우 매 15년 주기로 엔진을 over turning 하는 방식으로 공장에서 overhaul을 하여야 하며, 특히 엔진 신뢰도에 중요한 영향을 미치는 엔진 main bearing과 crankshaft damper에 대해서는 철저한 overhaul 이 실시되어야 한다고 권고하였다. 엔진정비 관련 방법은 엔진을 드러내어 공장에서 정비하는 취의 후 완전분해정비 방법을 제시 하였으며, 개략적으로 산정된 정비기간은 약 75일을 제시하였다.

## 2.5 제작사에 의한 외주 정비 추진 시 현안

엔진 제작사가 제시한 엔진 1세트 완전 분해정비 비용이 막대하며 예비용 엔진으로 교체 설치 후 기존 엔진을 취외해야 하므로 예비용 엔진 1세트의 구매가 필수적이다. 엔진 취외 후 운송, 완전 분해 정비, 정비 후 성능시험 및 엔진 반입 등에 약 6개월 이상의 장기간이 소요된다. 또한 정비 대상 엔진의 해상 또는 육상으로의 장거리 운송에 따른 비용 수반 및 운송과정에서 돌발변수 발생 시 운송 위험이 커지며 대처가 곤란하다.

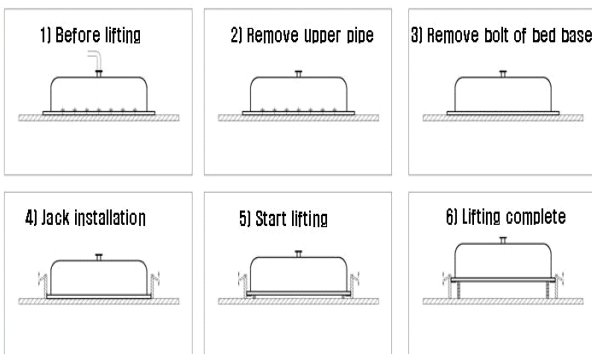
엔진 제작사가 제시한 엔진 완전 분해정비 범주가 re-qualification 수준이므로 엔진 주요 부품에 대한 교체범위가 대폭 증가되어 정비비용이 상당히 증가할 가능성이 있으며 엔진에 대한 완전 분해정비 관련 국내 정비 기술자람이 어려우며 계속 의존성이 증가되고 독점정비 폐해가 우려된다. 또한 EDG 운전 중 비상 또는 긴급 정비수요 발생 시 효과적인 대응이 어렵다.

## 2.6 엔진 인양에 의한 최적정비방안 검토

엔진 상부를 지면과 1m 정도 인양을 하면 엔진의 turn-over 없이 별다른 장애를 받지 않고 정비를 수행할 수 있음을 검토하였다

### 2.6.1 엔진 인양정비 작업 주요공정

- 엔진인양 크레인 보강 또는 체인 블록 보강
- 엔진 상부 부대설비 및 인양 간섭 배관/지지대 제거
- 엔진 실린더 블록 등 제거 가능한 내장품
- 엔진 bed base bolt를 해제 하여 엔진 base와 본체를 분리
- 엔진을 조금씩 서서히 인양하면서 엔진 본체 하부에 각목 등으로 받침대 설치
- 인양이 완료되면 엔진을 받침대 위에 내려놓고 크랭크샤프트 하부 몇 군데에 다소 느슨하게 크랭크샤프트 받침대 설치
- 첫 번째 점검 대상 메인 베어링 고정 너트를 풀고 회전 방지용 lock nut 또는 locking key를 풀어 하부 main bearing을 취외점검 및 정비
- 상부 메인 베어링은 베어링 먼 상부 주위에 wire를 둘러 내려 누르면서 크랭크샤프트의 반경방향으로 하부 측으로 돌려 취외하여 점검 및 정비
- 상하부 베어링을 제자리에 안착시킨 후 회전방지용 lock nut 또는 locking key를 적절한 torque로 조임 실시
- 메인 베어링 고정 너트를 적절한 torque 값으로 조임 실시
- 이후 순차적으로 메인 베어링을 취외 점검 및 조립



<그림 2> EDG 인양 작업 공정

### 2.6.2 엔진 인양 작업 전 주의 사항

- 작업은 중량물인 엔진 블록 그리고 크랭크샤프트 취외 작업

이므로 안전 우선

- 작업 책임자가 본 작업 지침서를 이해한 후 작업자에게 사전 교육 실시
- 초기 작업에 필요한 자재가 설계 도면과 일치하는 지 확인하고, 일치하지 않으면 설계 담당자와 필히 협의 후 작업 착수
- 필요 자재 중에 30kg 이상일 때는 반드시 크레인 및 전용 공구를 이용하여 취급하고 주요 자재 및 공구는 샤클 및 리프팅 장치 이용
- 작업전 모든 공구 및 지그류 등의 안전성 여부를 사전에 점검하고 작업자들에게 안전 교육을 실시 후 작업 추진

### 2.5.3 엔진인양 필요자재

- jack-up용 스페셜 지그 및 공구
  - 작키: 10 ton 이상
  - support beam
  - pad support plate
  - 엔진 support beam
  - shim support
  - block support
- 크랭크샤프트 분해/조립/방출/인입 시
  - 크랭크샤프트 받침대 및 레일
  - 작키 : 하중 10ton 이상
  - 슬라이딩 롤러
  - support
  - 크랭크샤프트 인양 지그(일반적인 리프팅용)

### 2.6.4 엔진 인양 정비 방안 기술 적합성 평가

엔진 정비에 엔진을 취외하여 turn-over 시켜 완전분해 정비하는 제작사 방식과는 다르게 발전소 정기점검 시 점검 및 정비가 어려운 정비 품목에 대하여 엔진을 인양하여 부분적으로 정비하는 방식으로서 예비용 엔진의 구매가 불필요하며, 별도의 정비동/정비설비와 성능 시험동/시험설비 확충 불필요하다, 또한 취외하여 turn-over 시켜 완전 분해 정비하는 방식 보다 인적 위험이 적고 정비 비용과 정비기간에 많은 이점을 가지고 있다. 하지만 발전소 정기점검 기간 내에 적절한 정비기간 확보 부담을 가지고 있으며, 검사 및 품질 보증 분야 등에서 요구 수준까지의 정비 신뢰도 확보 문제 등 추후 검토되어야 할 사항이 있다.

### 2.7 엔진 주요부품 국산화 및 Life Time 검토

일부 계장계통과 조속기 제어계통을 제외한 전 품목의 국산화가 가능하며 Wartsila 사 엔진을 비롯한 모든 형식의 엔진 부품 국산화율은 약 90% 를 달성하고 있다. 또한 엔진 메인 베어링의 사양과 형식 및 운전조건에 따라 조금씩 다르지만 통상 20,000시간 running time 이상의 life time을 보증하고 있다.

## 3. 결 론

Tandem 형 EDG 도 발전소 정기 계획예방정비 시 엔진 본체의 인양이나 이동이 없이는 불가능한 정비를 제외하고는 부품교체를 포함한 정비가 이루어지고 있다. 따라서 제한된 계획예방정비 공기를 감안하여 베어링점검 등 정비가 어려운 품목에 한하여 엔진을 인양하여 부분적으로 정비하는 방식을 채택하여 검토하였다. 이는 예비용 엔진과 별도의 정비 및 성능시험 설비 확충이 불필요 하는 등 비용과 기간 등에 많은 이점이 있으나 발전소 정기 계획예방정비 기간 내에 소정의 정비기간 확보 문제, 검사 및 품질보증 분야 등에서의 정비신뢰도 확보 문제 등 보다 면밀한 검토가 필요할 것이다.

### [참고문헌]

- [1] 한수원(주), 영광 3,4호기 최종안전성분석보고서 (FSAR)
- [2] 영광 3,4호기 비상디젤발전기 최적정비방안 검토보고서 2007. 9