

'99 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

영광 2발전소 비상디젤엔진 주요부품의 분해점검주기 적합성 평가

Evaluation of Emergency diesel engine overhaul intervals

정현종, 최광희, 김영호
한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

박정현
한전기공주식회사
경기도 성남시 분당구 금곡동 196

요약

원자력발전소에서 사용하는 비상디젤엔진은 발전소 정상운전 중에는 대기상태로 있으며, 연간 운전시간은 약 50시간 정도이다. 이 운전시간의 대부분은 규제요건에 따라 수행하는 주기적인 시험운전이므로 기동횟수에 비해 연속운전시간이 매우 적다. 그러나 디젤엔진 제작자는 대부분 원자력발전소용 엔진의 정비지침을 연속 운전되는 엔진에 대한 경험을 근거로 작성한다. 이 지침대로 정비를 수행할 경우 엔진 주요부품이 길들어지는 동안 또는 길들여진 직후에 교체되는 결과를 초래할 수 있으며, 이는 부적절한 정비로 인한 고장과 초기고장의 원인이 될 수도 있다. 따라서 운전경험, 제작사에서 제공한 정비지침, 타 발전소의 정비프로그램, 선박용 디젤엔진의 정비방법 등을 토대로 영광 2발전소 비상디젤엔진 주요부품 분해, 점검(교체)주기의 적합성 여부를 평가하였다. 그 결과 현재의 분해, 점검(교체) 주기는 약 2배정도 연장이 가능한 것으로 나타났다.

Absrract

Emergency diesel engines in nuclear service are normally maintained in standby condition and usually operate about 50 hours per year. These hours of operation are usually accumulated during periodic testing. Since the ratio of run time to number of starts for engines in nuclear standby service is much higher than that for engines in commercial service. However, when engines were sold for use in nuclear power plants, the engines vendors developed maintenance recommendations for nuclear standby engines based on their experience with engines in base-load operation. When these maintenance intervals were developed, the fixed-time intervals were typically adopted without regard to the number of engine operating hours anticipated during the intervals. Thus, components were regularly replaced just following or during break-in. Reliability was therefore challenged by maintenance-induced and infant mortality failure. In this paper reviewed overhaul intervals of YGN unit 3&4's emergency diesel engines based on operating history, vendor manual, and other plants and marin engines' maintenance programs. Result of the study, those intervals could be extended by two times.

1.0 서론

원자력발전소 비상디젤발전기(EDG: Emergency Diesel Generator)는 소외 교류전원 상실시 제한된 시간 내에 정격속도에 도달하여 안전관련 설비에 전원을 공급함으로써 원자력발전소를 안전정지 상태로 유지하기 위한 비상전력을 공급하는 설비이다. 따라서 EDG는 높은 신뢰도를 확보하기 위해 설계단계에서부터 엄격한 규제요건을 따르도록 하고 있으며, 발전소 운전기간 중에는 운영기술지침서(Technical Specification)의 점검 요구사항(Surveillance Requirements)에 따라 정기적인 점검을 수행토록 규정하고 있다.

원자력발전소에서 사용하는 비상디젤엔진은 발전소 정상운전 중에는 대기(Stand-by)상태로 있으며, 연간 운전시간은 약 50시간 정도이다. 이 운전시간의 대부분은 발전소 안전정지에 필요한 정상전원이 상실되는 사건이 발생할 경우 정상적으로 운전됨을 입증하기 위해 규제요건에 따라 수행하는 주기적인 시험운전이다. 또한 발전소 정상운전 중에는 원활한 엔진 기동과 마모(wear)를 감소시키기 위하여 자켓 냉각수와 윤활유계통을 100°F~170°F의 Keep-Warm Temperature로 대기(Stand-by)상태를 유지한다. 이것은 운전시간이 평균 약 1시간 정도이고, 원전 EDG는 기동횟수에 비하여 운전시간이 일반 산업용 디젤엔진에 비해 훨씬 적기 때문이다.

디젤엔진 제작자의 대부분은 원자력발전소용 엔진의 정비지침을 연속 운전되는 엔진에 대한 경험을 근거로 작성한다. 이 지침대로 정비를 수행할 경우 엔진 주요부품이 길들어지는 동안 또는 길들여진 직후에 교체되는 결과를 초래할 수 있으며, 이는 부적절한 정비로 인한 고장(Maintenance-induced failure)과 초기고장(Infant mortality failure)의 원인이 될 수도 있다. 따라서 영광 2발전소 비상디젤엔진 주요부품 분해, 점검(교체)주기의 적합성 여부를 운전경험, 제작사에서 제공한 정비지침, 타 발전소의 정비프로그램, 선박용 디젤엔진의 정비방법 등을 토대로 평가하였다.

2.0 정비주기 적합성 평가

2.1 비상디젤엔진 정비지침

2.1.1 영광 2발전소 정비프로그램

영광 2발전소 비상디젤엔진 정비프로그램에는 피스톤, 실린더 헤드, 실린더 라이너, 피스톤 링, 커넥팅로드, 흡/배기 밸브, Rocker Arm Assembly 등 엔진 주요부품의 분해점검 주기가 10년으로 설정되어 있다. 그러나 40개의 실린더를 10년 동안 모두 점검하기 위하여 핵연료 재 장전 1주기부터 매 계획 예방정비 때마다 4개씩 분해, 점검하고 있는 실정이다. 이것은 미리부터 작업량을 줄이지 않으면 10년차 계획 예방정비 때 작업량이 많아 한 트레인에 허용된 작업기간에 40개의 엔진 실린더를 모두 분해 점검하기가 어렵기 때문인 것으로 현장의 정비 여건을 고려한 것이다. 이러한 방법은 계획 예방정비 기간동안 비상디젤엔진 정비에 할당된 제한된 시간과 인력 등 현장 여건을 고려하여 정한 최선의 방법으로 생각할 수 있다. 그러나 10년 차의 계획 예방정비 작업량을 줄이기 위해 매 계획 예방정비 때마다 4개의 실린더를 분해 점검하는 것은 막 길들여진 최적의 상태인 새 부품을 분해점검 함으로서 오히려 부적절한 정비로 인한 고장 및 초기고장으로 인한 비상디젤엔진의 신뢰도 저하요인으로 작용할 수 있다.

2.1.2 SACM사의 디젤엔진 정비지침

영광 2발전소 EDG는 SACM사에서 제작한 UD45V20S5D형식이며 3350KW, 1200RPM엔진이다. 한 엔진당 20개의 실린더로 구성되어 있고 실린더 Bore 240mm, Stroke 220mm의 4행정 V-Type 엔진이다. 또한 영광 2발전소 EDG는 가운데 발전기가 위치하고 두 대의 엔진을 직렬로 배

열하여 커플링으로 연결한 Tandem형 디젤발전기이며, 산업계에서 널리 사용되는 엔진과 형태를 달리한다. SACM사에서 엔진공급 시 제공한 Instruction manual¹⁾에서는 다음과 같이 엔진 주요부품을 5년 주기로 교체할 것을 권고하고 있다.

- Exchange cylinder head(실린더 헤드 교체)
- Exchange reciprocating assembly(왕복동 조립체 교체)
- Exchange liner(실린더 라이너 교체)

SACM사가 정한 정비주기는 EDG가 연간 30 Rapid start(급속기동), 70 Soft start(저속기동), 100 running hours in continuous rated power or less의 조건으로 운전되는 것을 가정하고 설정하였다. 그리고 연간 점검, 정비항목은 매년 또는 100회 기동주기(70 Slow, 30 Rapid Starts)로 수행할 것을 권고하고 있다. 이는 원전에 사용하는 EDG는 기동횟수에 비해 운전시간이 일반 산업용에 비해 훨씬 적으므로 기동횟수에 초점을 두고 정비주기를 설정한 것으로 해석할 수 있다.

2.1.3 주요 선박용 디젤엔진 제작자별 엔진 정비방법

대부분의 디젤엔진 제작자는 실린더 헤드, 피스톤, 커넥팅로드, 실린더라이너, 크랭크축 등 엔진 주요부품의 분해점검 또는 교체주기를 연속운전시간을 기준으로 권고하고 있다. 실제 Yanmar, MAN B&W, Wartsila 등의 엔진제작사의 권고주기를 비교해 보면 첨부 [표 1]에서 보듯이 실린더 헤드, 피스톤, 커넥팅로드, 실린더라이너 등의 엔진 주요부품의 분해점검 또는 교체주기가 연속운전시간을 기준하여 8,000~18,000시간임을 알 수 있다. 또한 선박용 엔진의 경우는 각 제작사에서 자사 제품의 우월성을 강조하기 위해 엔진 운전중 특별한 이상징후가 없을 경우에는 제작사별로 경쟁적으로 연속운전 10,000시간 이상 운전 후 분해할 것을 권고하는 것이 최근의 추세이다.

[표.1] 엔진 제작자별 엔진부품 정비방법 및 주기^{2),3),4),5)}

부품명	Yanmar엔진(S185L)		Wartsila엔진(WASA22)		B&W 엔진	
	업무내용	주기(H)	업무 내용	주기(H)	업무 내용	주기(H)
실린더 헤드	· 연소실내의 카본 축적을 제거 · 배기 밸브 시트래핑 · 배기 밸브 스프링 점검 · 배기 밸브 회전 상태 점검 · 실린더헤드 흡배기 밸브 · Filter 분해 점검 · 흡배기 밸브 작동 타이밍 점검	8,000-10,000 8,000-10,000 10,000 운전중 매일 4,000-5,000 10,000	· 실린더헤드 분해 청소 · 흡배기 밸브 분해 · 청소/흡배기밸브 래핑 · 밸브 ROTOR 점검 · 밸브 가이드 O-ring 교체	8,000-12,000 8,000-12,000 10,000 8,000-12,000 8,000-12,000	· 실린더헤드 완전 분해 점검 · 아치밸브점검 · 흡배기 밸브 점검 · 밸브기어 간극 점검 및 조절	18,000 6,000 18,000 3,000
Connecting rod	· 커넥팅로드 볼트 점검 · 커넥팅로드 분해점검 · 커넥팅로드 볼트교체	8,000-10,000 8,000-10,000 20,000	· 커넥팅로드 대단부 베어링 · 커넥팅로드 대단부 내경 · 커넥팅로드 대단부 내경 · 커넥팅로드 대단부 내경 · 커넥팅로드 대단부 내경 · 커넥팅로드 대단부 내경 · 커넥팅로드 대단부 내경	8,000-12,000 8,000-12,000 8,000-12,000 8,000-12,000 8,000-12,000 8,000-12,000	· 커넥팅로드 분해점검 · 커넥팅로드 나사 재조임 · 커넥팅로드 점검	18,000 6,000 12,000
Piston	· 피스톤링 링홈, 피스톤 외경, 핀 · 머탈 점검 · 피스톤 분해, 점검	8,000-10,000 8,000-10,000 8,000-10,000			· 피스톤 일반점검 · 피스톤 완전 분해점검	12,000 18,000
Liner	· 실린더라이너 분해청소 · 실린더라이너 내경수정 · 냉각수 자켓부위 청소	8,000-10,000 8,000-10,000 8,000-10,000	· 실린더라이너 · 내경수정(라이너 혼닝) · 실린더라이너 O-ring 점검 · 냉각수 자켓부위 점검, 청소	8,000-12,000 8,000-12,000 8,000-12,000 8,000-10,000	· 실린더라이너 검사 · 냉각표면 검사	18,000 12,000
크랭크 축	· 저널 외경 측정 · 크랭크핀 머탈 점검 · 크랭크축 디플렉션 측정 · 메인 베어링 점검 · 메인 베어링 플랜트 볼트 점검	8,000-10,000 8,000-10,000 8,000-10,000 8,000-10,000 8,000-10,000	· 진동 밸브 분해점검 · 크랭크축 닳음 점검	24,000 48,000	· 주 베어링 검사 · 주 베어링 너트 재 조임 · 크랭크 축 디플렉션 측정 · 가이드 베어링의 Thrust Ring 검사 · Counterweights의 나사 재 조임 · 크랭크 축의 기어월 너트 재 조임	6,000 6,000 6,000 12,000 6,000 18,000
캠축	· 연동 캠 배기 캠 점검 · 연동 캠 배기 캠 타이밍틀리 · 캠축면 점검 · Tappet & Guide 분해 청소	4,000-5,000 4,000-5,000 8,000-10,000	· 캠샤프트 Driving Gear · 캠축	8,000-12,000	· 캠축기어월, 볼트 연결부 · 검사 · 캠축의 접촉면 검사 · 캠축 베어링 검사 · 캠축 조립상태 점검 · 도플러 가이드 검사	6,000 6,000 18,000 필요시 6,000

2.1.4. 영광 1발/고리 2발 정비프로그램

고리 2발전소와 영광 1발전소의 비상디젤엔진은 Cooper-Enterprise사에서 제작한 DRSV-16-4 모델로 16개의 실린더로 구성되어 있고, 실린더 Bore 431.8mm, Stroke 533.4mm의 4행정 V-Type 엔진이다. 원자력발전소용 비상디젤엔진을 비교적 많이 공급한 회사인 Cooper-Enterprise사는 자회사의 모델별로 "Preventive Maintenance Program(PMP) for Nuclear Standby Application"⁶⁾을 Service Information Memo로 발간하고, 주기적으로 Update하여 원전사업자에게 제공하고 있다. 이 회사에서 최근에 제공한 PMP에 의하면 실린더 헤드, 피스톤, 실린더라이너, 커넥팅로드, 등의 엔진 주요부품을 10년 주기로 25%씩 분해점검 하여 원전의 수명인 40년 동안 모두 분해점검하기를 권고하고 있다. 이는 원전 수명기간 동안 엔진 주요부품을 1회 분해, 점검토록 권고하는 것이며, 영광 2발전소 비상디젤엔진 주요부품의 분해점검 주기인 10년의 4배에 해당하는 주기이다.

2.2 영광 2발전소 비상디젤엔진 분해정비 주기 적합성 평가

2.2.1 잠재적인 기동횟수 및 운전시간 평가

원자력발전소 EDG는 소외 교류전원 상실시 안전관련 설비에 전원을 공급함으로써 원자력발전소를 안전정지 상태로 유지하기 위한 비상전력을 공급하는 설비이며, 발전소 정상운전 중에는 대기(Stand-by)상태를 유지한다. 이러한 설비의 특성상 비상디젤엔진이 운전될 수 있는 상황은 정기시험을 위한 운전, 소외 교류전원 상실 및 안전주입신호에 의한 자동운전 및 정비결과를 확인하기 위한 성능시험으로서 대부분을 차지하는 것은 정기시험을 위한 운전이다. 이와 같은 상황을 고려하여 핵연료 재 장전주기(18개월로 가정) 별로 잠재적인 기동횟수 및 운전시간을 정기시험 프로그램과 과거의 운전경험 데이터를 토대로 산출하면 다음과 같다.

2.2.1.1 정기시험을 위한 기동횟수 및 운전시간 평가

규제요건에 따라 수행하는 정기시험은 크게 발전소 정상운전 중에 수행하는 월간 기동시험과 발전소 정지기간(핵연료 재 장전기간) 중에 수행하는 18개월 시험으로 구분된다. 월간 정기시험은 EDG의 운전 가능성을 주기적으로 입증하기 위한 시험이며, 18개월 시험은 EDG 본래 기능의 수행능력을 종합적으로 입증하는 시험이다. 이들 시험을 위한 기동횟수 및 운전시간은 [표. 2]와 같다.

[표. 2] 엔진 시험기동 횟수 및 운전시간

시험방법		기동횟수(회)	운전시간(hr)	비고
월간 기동시험	저속기동	13	1.5hr/회×13 = 19.5hr	
	급속기동	3	1.5hr/회×3 = 4.5hr	
18개월 시험	급속기동	5	24hr+α(2hr) = 26hr	
합계		21	50	

2.2.1.2 정기시험 이외의 기동횟수 및 운전시간 평가

정비결과를 확인하기 위한 성능시험, 오 신호에 의한 비상기동 등은 운전시간이 짧고, 실제신호에 의한 비상운전 경험이 없으므로 정기시험 이외의 운전시간은 별도로 조사, 산출할 필요가 없다. 따라서 충분한 여유를 두어 핵연료 재 장전주기 당 운전시간을 5시간으로 가정하였다. 핵연

료 재 장전주기(R)당 기동횟수는 영광 2발전소 경험데이터를 조사한 결과 [표. 3]와 같이 5.5회/R(67회/220월×18월/R)로 나타났다.

[표. 3] 기타 운전예 의한 엔진 기동횟수

EDG	자료 수집기간		총 기동횟수	정비 확인시험 횟수	비상기동 횟수	
	기간	개월			오신호	실제신호
3A	'94.9~'99.9	61	83	13	0	0
3B	'94.8~'99.5	58	92	25	1	0
4A	'95.5~'99.7	51	74	8	0	0
4B	'95.5~'99.6	50	71	10	0	0
합계		220	320	66	1	0

2.2.2 기동횟수에 근거한 정비주기 적합성 평가

영광 2발전소 정기시험 프로그램과 운전경험을 근거로 산출한 EDG의 잠재적인 기동횟수는 [표. 2], [표. 3]과 같이 핵연료 재 장전주기(R)당 26.5(21+5.5)회인 것으로 나타났다. 이는 SACM사에서 제공한 Instruction Manual에서 가정한 잠재적인 기동횟수(100회/년)보다 훨씬 적은 수치이다. 따라서 영광 2발전소 비상디젤엔진 제작자인 SACM사가 연간 100회의 엔진 기동을 가정하고 권고한 엔진 주요부품의 교체주기는 다음과 같이 20R(Refueling cycle)주기로 조정할 수 있다.

$$\cdot 100\text{회/년} \times 5\text{년} \times R/26.5\text{회} = 18.8R \approx 20R(\text{Refueling cycle})$$

2.2.3 운전시간에 근거한 정비주기 적합성 평가

원자력발전소 EDG는 위에서 산출한 결과와 같이 핵연료 재 장전주기인 18개월 동안 약 55시간 정도 운전되며, 원자력발전소의 수명기간인 40년 동안의 누적 운전시간은 약 2,000시간 정도이다. 그리고 SACM사의 Manual에서 예상하는 영광 2발전소 비상디젤엔진 실린더라이너의 마모율(Normal and thrust wear)은 평균 "0.002~0.005mm/1,000시간 연속운전"이다.¹⁾ 일반적으로 4사이클 트렁크피스톤 형식의 기관을 1,000시간 연속 운전하면 실린더라이너는 약 0.1mm정도 마모²⁾되며, 소형 디젤엔진의 실린더 허용 마모한계는 실린더 지름의 약 0.5%³⁾인 것으로 알려져 있다. 그리고 MAN B&W의 경험자료⁴⁾에 의하면 피스톤 링 중에서 가장 빨리 마모가 일어나는 1번 피스톤 링과 실린더라이너는 1,000시간 연속운전 하면 0.01mm정도 마모되며, 실린더라이너와 피스톤 링의 마모율은 거의 일치한다. 선박용 엔진의 경험자료(MAN B&W)에서 나타난 실린더라이너의 마모율 보다 SACM사에서 예측하는 마모율이 훨씬 적은 이유는 사용한 재질이나 제작기술이 비슷하지만, [표. 4]와 같이 원자력발전소 비상디젤엔진이 선박용 엔진에 비해 사용 연료, 연소용 공기, 냉각수 등 여러 가지 측면에서 훨씬 좋은 환경에서 운전되기 때문인 것으로 판단된다.

Yanmar, MAN B&W, Wartsila 등 대부분의 선박용 디젤엔진 제작자는 디젤엔진 주요부품의 분해점검 또는 교체주기를 [표. 1]과 같이 연속운전 시간을 기준으로 8,000~18,000시간으로 정하고 있다. 엔진 분해, 점검(교체) 주기를 결정하는 주요 Factor인 피스톤 링과 실린더라이너의 마모율 측면에서 볼 때, 수명기간 동안 누적 운전시간이 2000시간 정도인 비상디젤엔진은 연속운전 시간만을 고려할 경우 수명기간 동안 피스톤 링, 실린더라이너 등의 엔진 주요부품을 분해, 점검(교체)하지 않아도 되며, 일정한 주기로 분해, 점검(교체)하는 것 보다 엔진 주요부품의 비정상적인 마모를 예방하기 위한 엔진관리와 엔진의 이상을 조기에 감지하기 위한 주요변수의 추이(Trend)를 분석하여 이상 징후가 발생할 경우 분해, 점검(교체)하는 것이 효과적일 것으로 평가된다.

[표. 4] 원전 EDG와 선박용 엔진의 운전환경 비교

운전 조건	원자력 발전소 EDG	선박용 엔진
흡입 공기	깨끗한 공기	대기중에 섞인 염분 흡입, 높은 습도
진동	엔진운전에 영향을 주는 주변의 진동 없음	선체 진동, 프로펠러에서 추진력에 의한 진동
연료유	고품질의 경유	저질유인 Bunker-C유
엔진 자켓 냉각수	순수	해수를 담수화하여 사용
엔진 기동 조건	운전시간에 비해 비교적 많은 기동횟수	입, 출항 시 rpm 수시 변경 및 가혹한 조건이며 엔진 기동 횟수가 많음
연속 운전시간	적음,	많음,
연료/윤활유 청정	별도의 설비 없음	대용량 모터구동고속회전 청정기를 이용 주기적으로 수행
Air Blow 및 엔진 Turning	거의 안함	엔진기동 전 수행 장기정지 시 2-3일 간격으로 엔진 Turning
연소퇴적물 축적량	적음	많음

2.3 평가결과

영광 2발전소 비상디젤엔진 주요부품의 분해, 점검(교체)주기의 적합성을 기동횟수와 연속운전 시간 측면을 고려하여 평가하였다. 기동횟수를 근거로 평가한 결과 점검프로그램 및 운전이력 데이터를 통해 구한 연간 기동횟수를 가지고 SACM사에서 제공한 Manual에서 제시한 정비주기를 적용하면 분해, 점검(교체) 주기는 20 R(Refueling cycle)이 적합한 것으로 평가되었다. 그리고 연속운전 시간만 고려할 경우는 원자력발전소 수명기간 동안 분해점검을 하지 않아도 되는 것으로 평가되었다. 물론 이것은 주요 부품의 정상적인 마모만을 고려하여 평가한 결과이므로 비정상적인 마모를 예방하기 위한 엔진관리와 이를 조기에 감지하기 위한 주요변수의 추이분석이 필요하다. 따라서 엔진 주요부품의 비정상적인 마모현상 발생여부를 주기적으로 점검하고 추이분석 활동을 병행한다면, 현재 10R 주기로 수행하고 있는 분해, 점검(교체)을 20R로 연장할 수 있을 것으로 판단된다

3.0 엔진관리

3.1 Turning 및 Air Blowing

대기상태를 유지하는 동안 실린더라이너와 피스톤링 틈새의 윤활유가 엔진 Sump로 흘러내려 윤활유 막이 파손될 수 있으며, 이 상태에서 엔진을 기동하면 주요부품이 손상될 수 있다. 따라서 엔진 기동전 Turning 또는 Air Blowing을 하여 실린더라이너와 피스톤링 틈새를 양호한 윤활 상태를 유지한 후 엔진을 기동함으로써 피스톤 링, 실린더라이너 등의 주요부품의 비정상적인 마모를 최소화하여 엔진의 수명을 연장할 수 있다.

3.2 윤활유 관리

정상적인 운전상태에서 엔진본체 내부의 주요부품 마모, 파손의 대부분은 부적절한 윤활유 관리에서 기인하며, 메인 베어링이나 커넥팅 로드 베어링의 손상 사고의 50%는 윤활유 내부에 포

함된 이물질이 그 원인으로 작용한다⁷⁾. 따라서 주기적인 윤활유 화학성분 및 마모입자 분석이 필요하다. 윤활유 화학분석 결과는 제작자가 권고한 제한치 이내로 윤활유를 관리하고, 추이(Trend) 분석을 통해 윤활유의 손상원인을 찾는 데 이용할 수 있으며, 마모입자 분석결과는 [표. 5]와 같이 피스톤 링, 실린더라이너, 커넥팅로드, 베어링 등 엔진 주요부품의 비정상적인 마모증상을 예측, 진단하고 감시하는데 활용된다.

[표. 5] 마모입자 분석결과의 평가⁸⁾

분석결과	증상
<ul style="list-style-type: none"> · Iron : 25~40ppm per 100hours of operation · Molybden : 10~15ppm per 100hours of operation · Copper : 25~30ppm per 100hours of operation 	피스톤링 및 실린더라이너의 비정상적인 마모
<ul style="list-style-type: none"> · Iron : 40ppm per 100hours of operation · Molybden : 30ppm per 100hours of operation · Copper : 30ppm per 100hours of operation · Aluminium : 25ppm per 100hours of operation 	심각한 실린더 손상(고착 위험)
<ul style="list-style-type: none"> · Copper : 55ppm per 100hours of operation · Lead : 55ppm per 100hours of operation · Tin : 10ppm per 100hours of operation 	커넥팅로드 및 메인 베어링

영광 2발 비상디젤엔진의 메인 베어링은 분해하기가 쉽지 않은 구조로 되어 있다. 이는 엔진이 설치된 상태에서는 작업공간이 극히 좁을 뿐 아니라 메인 베어링을 지지하는 Bearing Cap이 하부에서 크랭크축을 밀어 올려서 지지하는 구조로 되어있기 때문이다. 그러므로 메인 베어링이 손상될 경우 현장에서 교체가 불가능할 수도 있다. 따라서 메인 베어링 비정상적인 마모 또는 손상의 원인인 윤활유 속의 수분, 마모입자, 화학성분 변질, 등을 미연에 예방하기 위하여 윤활유 화학성분 및 마모입자 분석은 중요하다.

3.3 냉각수 관리

엔진 냉각수의 수질관리는 실린더라이너 Seal part, Coolers, 엔진 자켓 블록, 터보차저 케이싱 등의 부식에 영향을 주며, 실린더라이너 Seal이나 Air Inter Cooler 부품의 손상으로 냉각수가 엔진 윤활유로 혼입될 경우 디젤엔진 주요부품의 손상을 초래할 수 있다. 따라서 엔진 관리 측면에서 냉각수 관리는 중요하다. 따라서 주기적인 냉각수 화학성분(PH, 부식억제제 농도, 염도)을 분석함이 바람직하다.

3.4 주요 운전변수의 추이분석(Trending)

원자력발전소 EDG 월간기동시험은 엔진과 발전기 계통의 "health check"이다. 이 시험 중 변수 점검을 통해서 엔진의 상태를 확인할 수 있으며, 점검 변수의 추이를 분석하면 장기적인 엔진 노화상태를 감지할 수 있다. [표. 6]는 IEEE Std 387-1995에서 추천한 엔진관련 감시 및 추이분석 변수와 용도이며, 이러한 변수들의 추이분석을 위하여 자동화된 데이터 수집관리와 처리를 하는 영광 2발전소 비상디젤발전기 성능감시시스템이 개발되었다.¹⁵⁾

[표. 6] 엔진관련 감시 및 추이분석 변수 및 용도⁹⁾

계통	변수	용도	비고
냉각계통	냉각수 온도, 압력	· 엔진 운전가능성 · 열교환기 막힘 및 성능확인 · 각종 냉각기 막힘 검출 · 높은 엔진부하로 DT증가	
윤활계통	윤활유 온도, 압력	· 엔진 운전가능성 · 필터막힘 검출 · 조절밸브 및 엔진 마모원인 분석 · 부적절한 점성 · 열교환기 막힘 검출	
배기계통	각 실린더별 배기가스 온도	· Fuel injector 성능감시 · Rocker-arms 손상, Rings마모, 밸브문제 검출 · 실린더간 출력 균형	
기타	· 크랭크케이스 진공 또는 압력	· 과도한 링 Blow-by 검출 · Ejector 고장 검출	
	· 윤활유 첨가량	· 엔진 운전과 링 마모 감시	
	· 윤활유 분석(분기)	· 마모입자 검출 · 연료유에 의한 희석 감시 · 냉각수 쉐어링의 건전성 확인	
	· 냉각수 분석(분기)	· 부식생성물 검출 · 냉각수의 적합한 화학성분 확인 · 엔진 냉각수 자켓 크랙누설 파악	

5. 결론

디젤엔진 주요부품의 분해, 점검주기를 연속운전 시간 측면에서 선박용 디젤엔진과 비교 평가한 결과 영광 2발전소 비상디젤엔진은 원자력발전소 수명기간 동안 연속 운전시간이 선박용 디젤엔진 분해, 점검(교체)주기의 20% 정도이고, 선박용 엔진에 비해 훨씬 좋은 환경에서 운전되므로 연속운전 시간만을 고려할 경우 수명기간 동안 분해점검을 하지 않아도 되며, 분해점검 보다는 엔진 주요부품의 비정상적인 마모를 예방하기 위한 엔진관리와 엔진의 이상을 조기에 감지하기 위한 주요변수의 추이분석이 중요하다. 그리고 영광 2발전소 비상디젤엔진의 기동횟수를 근거로 SACM사에서 제공한 Manual에서 제시한 정비주기를 적용하면 분해, 점검(교체) 주기는 20R이 된다. 따라서 냉각수 수질분석, 윤활유 성분분석 및 주요 운전변수의 감시를 통하여 엔진 주요부품의 비정상적인 마모현상 발생여부를 주기적으로 점검하고 추이분석 활동을 병행한다면, 현재 10R 주기로 수행하고 있는 분해, 점검(교체)을 20R로 연장할 수 있을 것으로 판단된다

참고문헌

1. SACM Diesel 엔진 Instruction Manual,
2. MAN B&W 엔진 Maintenance Program, MAN B&W
3. 50-98MC Type Engines을 위한 Instruction manual, MAN B&W, '97, 12
4. S185(L) Type Yanmar 엔진 정비 프로그램, Yanmar '82, 7
5. VASA 22 Type Wartsila 엔진 정비 프로그램, Wartsila,
6. Preventive Maintenance Program for Nuclear Standby Application, Cooper-Enterprise
7. 선박용 주 기관의 최근 동향, 해기사 협회지 논문, 한국해양대 전효중
8. 최신 디젤엔진, 집문당, 김재영 외, 1989.1
9. IEEE Std 387-1995, IEEE Standard Criteria for Diesel-Generator Units Applied as Standby Power Supplies for Nuclear Power Generating Stations, 1995.12
10. MAN B&W SERVICE LETTER, (1968년-1997년)
11. Diesel Engineering Handbook, KARL W. STINSON,ME 저
12. 탠덤형 비상디젤발전기의 제어성능분석, 원자력학회 '98추계학술대회, '98.10
13. Diesel Engine Analysis Guideline(TR-107135), EPRI, '96, 12
14. MAN B&W Technical Specification V48/60 Four-Stroke Marine Main Diesel Engine('97.11.01)
15. 원자력발전소 비상디젤발전기의 성능감시시스템 개발, 원자력학회 '99춘계학술대회, '99.5