

# 정비프로그램 평가 및 해외사례 분석을 통한 비상디젤엔진의 신뢰성 향상방안

## The Proposal for Reliability Improvement of Emergency Diesel Engines through the Evaluation of the Maintenance Program and Overseas Cases for their Applications.

조권희 · 정현종 · 안수길

K. H. Cho, H. J. Jeong and S. K. Ahn

**Key Words:** EDG(비상디젤발전기), NPP(원자력발전소), NRC(미국원자력규제위원회), Reliability(신뢰성), Surveillance Test(감시시험), Predictive Maintenance(예측정비)

**Abstract:** The failure frequency of the Emergency Diesel Generator(EDG) at Nuclear Power Plants(NPPs) is not so much lower than that of the Marine engines, whereas the running hours of the diesel engine at NPPs is much less than those of the engines for commercial service. The primary factor results from the severe surveillance test requirements such as fast start, large number of starting test, fast load-run, high load running, etc. The other factor comes from the excessive maintenance based on the engine maker's instruction manual that did not incorporate the peculiar characteristics of the diesel engines at NPPs. In this paper, the present preventive maintenance program on the basis of the Pielstick diesel engines was reviewed for the purpose of securing the reliability of the emergency diesel generator at NPPs and the ways for its improvement were presented by referring to the overseas cases for their applications.

### 1. 서 론

비상디젤발전기는 현대 산업정보시대에 다양한 분야에서 요구되는 시스템으로 선박용, 아파트용, 호텔용, 공장용, 군수용 원전용 등 여러 분야에 사용되고 있다. 특히 원전용 비상디젤발전기는 (발전)소내·소외 교류전원 상실시 짧은 시간 내에 안전관련 설비에 전력을 공급해야 하는 특수성 때문에 그 기동성과 성능이 특별히 요구되고 있다. 선박용 엔진을 그대로 사용하고 있는 원전용 비상디젤엔진은 그 특성상 수명기간의 대부분이 대기상태에 있고 상태파악과 성능보장을 위해 주기적인 시험운전을 행하고 있다. 그러나 시험방법이 선박용 엔진에 비해 매우 가

혹하기 때문에 운전시간이 극히 짧음에도 불구하고 여러 가지 치명적인 고장을 유발하게 된다. 또한 엔진제작자가 제공하는 정비지침서는 대부분 이러한 원전용 디젤엔진의 운전특성을 반영하지 않고 있다.

1980년대 초반 미국원전에서 크랭크축이 부러지는 등의 대형 엔진고장 사례<sup>1)</sup>가 발생하기 시작하자 엔진 제작자들의 권고를 믿지 못하게 된 원전사업자들이 스스로 최적정비개념을 세우기 시작하였다<sup>2)</sup>. 이들이 제시한 방향들이 합리적인 것이었기 때문에 원자력규제위원회(NRC)에서는 이들을 수용하여, 기존의 운전규정과 정비규정들이 수정되기에 이르렀다. 그러나 시험운전에 대한 완화규정이 발효되었음에도 불구하고 미국의 원전사업자들도 그 규정의 이행에는 소극적이었다. 예를 들면, 2000년 11월 Seabrook 발전소의 대형 엔진사고의 원인분석 결과를 보면, 급속기동 규정이 저속기동(slow start)으로 인가되었음에도 불구하고 그 완화된 규정을 받아들이지 않고 있었다가 사고 후에야 저속기동을 하기로(Governor 교체 필요), 18개월 내력시험을 반복할 때는 대기상태

---

접수일 : 2004년 3월 15일  
조권희(책임저자) : 한국해양대학교 기관시스템공학부  
E-mail : khcho@mail.hhu.ac.kr, Tel : 051-410-4252  
정현종 : 전력연구원 원자력연구실  
안수길 : 부경대학교 기계공학부

로부터 시동되는 요구조건을 없애기로 또 매 18개월마다 110%부하로 시험하는 조건을 제거하는 것으로 개정을 도모하고 있다<sup>3)</sup>.

한국의 경우, 현장에서 또는 정비담당자들에 의해 대기통 엔진의 잦은 정비와 그 정비에 기인한 고장 등의 비효율성, 비경제성이 제기되어 왔으나 이들의 요구를 수용할 만한 이론적인 근거나 정량적인 평가가 어려웠기 때문에 관행에 따를 수밖에 없었다. 엔진의 성능악화를 초래하는 첫 번째 인자는 운전시간에 따른 열화문제이다. 운전시간이 그리 많지 않은 엔진에 대해 막연한 걱정으로 과잉정비를 계속해온 세계 각국의 원전사업자들이 미국의 사업자들을 선두로 기관의 상태 또는 성능에 기반을 둔 정비체제로 변화하고 있다<sup>4)</sup>.

상선용 엔진의 경우, 추진기관에는 과도한 정비인력 소요 문제로 인해 여객선 등 특수용도의 선박을 제외하고는 원전용 엔진과 같은 4행정 대기통 디젤 엔진을 대부분 도입하고 있지 않다. 부품들을 일일이 들어내어 검사하는 4행정 대기통엔진에 대한 기존의 상태확인도 너무 많은 경비가 들뿐만 아니라 복구과정에서 인적실수로 인한 2차 고장을 필히 유발하게 된다. 그러나 엔진에 대한 상태감시를 게을리 할 수는 없다. 더구나 원전용 엔진의 경우, 엔진 최대출력의 85-90% 또는 그 이하만을 운전하고 기동 및 부하투입을 열평형에 맞추어 가면서 천천히 하는 상선용과는 다르게 급속기동, 급속부하투입, 과부하운전의 약조건에서 운전되기 때문에 엔진의 주요 부품에 대한 상태감시는 필수적이다.

본 논문은 위 문제점을 보완하고 신뢰성 있는 운전을 확보하기 위해서 Pielstick 엔진을 중심으로 기존의 정비절차를 검토하고, 이를 보완하여 개선 방향을 도출하였으며, 그 일환으로 미국과 일본에서 도입하기 시작한 최신 예측정비기술을 검토하고 국내 원전에의 적용 방안에 대해 검토하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 디젤엔진의 정비프로그램 분석

#### 2.1.1. 선박용 엔진

선박용 엔진의 경우 주·보조기관 모두 사용시간을 기준하여 정비프로그램을 수립하며, 정비주기를 좌우하는 인자들로써 사용 연료유와 부하형태이다. 부하형태로는 운전부하정도, 부하의 변동성, 또는 저부하에서의 장기간 운전 등이다. 원전용 기관에서 고

려하는 시동횟수는 무시할 수 있다. 선박용의 경우, 운전조건이 대부분 연속최대출력의 90%이하인 점, 많은 정비인원과 정비시간을 가질 수 없는 조건을 만족시키기 위해 주요 운동부품의 정비기간이 12,000시간에 육박하고 있으며 20,000시간을 목표로 하고 있다. 실제로 초 저질유를 사용하는 대부분의 엔진에서 8,000시간 무 개방운전이 이루어지고 있다<sup>5)</sup>. 선박의 운전시간은 년 250-300일(6000-7200시간) 정도로 1년을 주기로 주요 운동부를 정비하고 있으며, 선급의 계속검사 프로그램과 병행 실시하고 있다. 선박용의 경우 90% 이내의 부하에서 운전되고, 부하의 가감을 Load Program(Load-up/Load-down)을 작동시켜 열평형에 맞추면서 서서히 가감하는 엔진의 운전형태로 높은 신뢰성을 보장하는데 반해, 원전용의 경우 운전시간이 비교할 수 없도록 짧음에도 불구하고 급속기동, 단시간 운전, 많은 시동횟수, 급속부하투입, 고부하운전 등의 스트레스 요인으로 인하여 신뢰성이 떨어지고 있다.

#### 2.1.2 원전용 비상디젤엔진

원전용 비상디젤엔진은 대부분 엔진이 비상시 기동될 수 있음을 확인하기 위한 정기시험 때 운전되며, 운전시간은 연간 100시간 미만이다. 정기시험운전시간은 약 1시간으로 운전시간에 비해 기동 횟수가 상업용 엔진보다 매우 많다. 그리고 엔진이 원활히 기동되고 기동으로 인한 마모를 줄이기 위하여 대기상태에서는 자켓 냉각수와 윤활유를 38℃~77℃로 유지한다.

원전용 비상디젤엔진 공급시 엔진 제작자는 산업용 엔진의 운전경험을 바탕으로 원전용 정비지침서를 만들었으며 원전용 비상디젤엔진의 예상운전시간을 고려하지 않고 정비주기를 정하였다. 그 결과 매년 엔진을 분해하는 경우 100시간 미만으로 운전한 후 부속품을 교체하는 결과를 초래할 수가 있다. 이는 부속품들이 길들은 바로 직후나 길들이기 기간에 교체됨으로 인하여 정비로 기인한 고장과 초기 고장으로 인한 비상디젤엔진의 신뢰도 저하의 요인으로 작용한다.

최근 들어 국내 원전용 비상디젤엔진으로 채택하고 있는 Pielstick PC-25 엔진의 경우 가장 최근에 건설된 원전의 비상디젤발전기 정비지침서에도 선박용 엔진 즉 연속운전모드에 따른 운전시간을 기준으로 예방정비주기를 제시하고 있다. 이 기준은 연속최대출력(MCR)의 90% 즉 상용출력(NCR)으로 운전하

는 엔진을 기준으로 한 것이어서 원전용 비상디젤엔진에 적용하기에 적합하지 않으며, 선박용 엔진에 합당한 것이다. 제작자가 제공한 정비지침서와 별도로 엔진공급자(HSD)가 제공한 비상디젤엔진 정비지침서는 미국의 Cooper-Bessemer Owner's Group (CBOG)의 연구결과를 수용하여 R4/RV4엔진에 대해 개발한 정비프로그램인 SIM #402를 Pielstick PC2-5엔진에 맞게 개조한 것으로 선박용 엔진을 기준으로 작성된 기존의 제작자 지침서를 원전에 맞도록 개정된 정비프로그램이다.

선박용 엔진의 경우, 제작자나 모델을 불문하고 운전 시간에 따른 정비계획과 주기가 정형화되었다고 볼 수 있다. 즉 조약 저질 연료유를 사용할 지라도 어떠한 운전조건만 지켜주면 재료의 내구성과 합치해 10,000시간 정도의 무 개방 운전이 가능함을 보여주고 있다. 지켜야할 운전 조건이란 상용출력(최대출력의 85-90%)이내의 운전, 최대출력 40%에서 상용출력까지의 부하점진증가 프로그램에 따른 저속부하가중(저출력엔진 : 1분/rpm, 대 출력엔진 : 3-5분/rpm), slow-start 시행 등이다<sup>7)</sup>.

Table 1 Equivalent running hours per starting for wear and stress

	water		T < 30 °C	30 < T < 45 °C	45 < T < 60 °C	60 < T < 80 °C
	oil					
Diesel oil	T < 30 °C		30 h	20 h	10 h	2 h
	30 < T < 45 °C		25 h	15 h	5 h	0.5 h
Heavy fuel oil	T < 30 °C		to forbid	to forbid	to forbid	to forbid
	30 < T < 45 °C		to forbid	50 h	20 h	5 h

### 2.1.3 디젤엔진 정비프로그램 효과성

일반적으로 엔진의 정비주기는 실질적으로 엔진의 이용도에 따라 다르며, 정비스케줄은 엔진사용자가 적용한 운전조건과 정비조건에 달려있다. 정비조건 인자인 엔진의 마모는 다음과 같은 인자들에 의해 달라진다.

- 엔진에 사용되는 연료유와 윤활유
- 운전조건 : 최대부하에서의 운전시간, 시동 횟수 등
- 작동유체 온도, 발전소상태에 따라 공기와 윤활유 필터의 적용 여부 등

매번의 엔진기동은 엔진의 부품(링, 라이너 등)에 마모와 스트레스를 가하게 되므로 원전용 비상디젤엔진의 정비계획을 수립할 때는 엔진의 기동횟수가 반드시 고려되어야 한다. 1회 기동시 받을 수 있는 마모와 스트레스 정도를 운전시간으로 환산한 실험결과는 Table 1<sup>6)</sup>과 같으며 냉각수 및 윤활유 온도에 따른 마모와 스트레스는 특히 다음의 인자에 의해 영향을 받는다.

- 기동전까지의 휴지시간
- 정상운전 중에 유지되는 값과 난기 상태의 냉각수와 윤활유 온도의 값
- 사용되는 연료 : 경유, A중유 또는 C중유

운전시간이 1년에 100시간 미만인 원전용 엔진의 마모에 관련된 가장 큰 인자는 시동횟수, 시동방법(급속기동), 부하투입 방법(급속가중), 고부하운전이다. 이 중 정량적으로 평가되고 있는 것은 전술한 시동횟수가 마모에 미치는 정도이다. 급속부하가중과 고부하운전이 디젤엔진에 치명적인 손상을 가하고 있지만 제작자에 의한 자신 있는 처방을 기대할 수 없는 현실이다.

위와 같이 고부하 운전, 급속부하투입에 따른 주요 운동부의 마모손상에 의한 부품의 성능저하는 순식간에 올수도 있지만 누적되어 나타나는 것이 일반적이므로 이 성능저하에 대한 평가가 개방검사와 병행하여 최신장비를 사용한 비접촉(비방해)에 의한 검사기술의 적용이 요구된다.

### 2.2 디젤엔진에 적용되고 있는 예측정비 기법

디젤엔진의 상태와 성능을 평가하기 위한 여러 가지의 예측정비 기술이 개발되어 활용되고 있다<sup>8)</sup>. 엔진 분석(Engine signature analysis)은 실린더 압력, 실린더 진동, 고압 연료 펌프와 연료 분사기에 의해 발생되는 초음파 등을 포함한 실린더 변수와 크랭크 각 간의 다양한 측정요소를 포함한다. 이러한 각각의 측정요소를 신호(signature)라 칭하며 두 가지 방법으로 분석된다. 첫 번째는 실린더 내의 어떤 이벤트(흡배기밸브의 닫힘, 연료토출밸브의 열림 등)의 크기

Table 2 ESA Measurements

Engine Performance Parameter	Engine Signature	Engine Condition Monitored
Peak Firing Pressure	P-θ	Engine balance, combustion performance
Peak Firing Pressure Angle	P-θ	Engine balance, combustion performance, fuel injection performance
Expansion Reference Pressure	P-θ	Combustion performance, fuel injection performance
Terminal Pressure	P-θ	Exhaust flow pathway is open, proper function of exhaust valve opening
Compression Reference Pressure	P-θ	Cylinder pressure compression performance, ring sealing, valve sealing
Indicated Horse Power	P-V	Engine balance
Indicated Mean Effective Pressure	Log P - Log V	Engine balance
Compression Coefficient	Log P - Log V	Ring sealing, valve sealing, compression ratio
Start of Combustion	dP-dθ	Combustion performance, fuel injection timing
Maximum Pressure Rise Rate	dP-dθ	Detonation, fuel injection timing
Maximum Heat Release Rate	Heat Release Rate	Combustion performance, fuel injection performance

와 타이밍을 기록하고 엔진 내 다른 실린더의 신호와 비교하는 것이다. 두 번째는 각각의 실린더에 의해 생산되는 출력과 열발생율을 계산하는데 쓰이는 연소신호이다. 이러한 정보는 모든 실린더 내부 구성요소의 정확한 상태를 진단하는데 사용된다. 엔진 신호별 감시되는 엔진 상태를 Table 2에 도시하였다.

화학분석(Chemistry sampling and testing)은 엔진의 건전성(마멸입자, 화학적 요소)뿐 아니라 유체의 상태(산화, 연료유 희석, 전알칼리가 등)를 평가하기 위해 주기적으로 디젤엔진에 사용되는 유체를 분석하는 것이다<sup>9)10)</sup>. 그 외 배기가스 분석(Emissions monitoring), 적외선 열영상 분석(thermography), 내시경 또는 비디오 탐촉자를 이용한 엔진 내부검사, 엔진 운전변수 경향분석, 엔진 또는 구성요소의 주기적인 시험 등이 있으며, 상기의 진단기술로 검출 가능한 고장모드 또는 열화메커니즘은 Table 3과 같다.

### 2.3 비상디젤엔진의 신뢰성 향상방안

#### 2.3.1 시험방법 개선

##### 1) 급속가속(fast-start)

국내 원전의 경우 일부를 제외하고는 모든 디젤엔진 가동 시, 정격 속도까지 10초 이내에 가속한다. 엔진은 한 달여 간 쉬고 있었기 때문에 실린더 라이너에 남아 있는 윤활유는 대부분 빠져 버려, 피스톤

의 첫 행정이 윤활유가 매우 부족한 상태로 운전된다. 거기다 엔진기동 기간에 연료 랙은 전부하 위치에 옮겨가고, 이에 따른 미연 연료는 엔진 정지시에 실린더라이너에 조금 남아있는 윤활유의 얇은 막을 저하시킨다. 또한 엔진 기동기간 중 과도하게 분사된 연료는 피스톤 크라운과 피스톤링의 상부에 카본 부착물을 형성하여, 이것이 라이너를 연마시켜 윤을 내게 함으로써 윤활유가 실린더 벽에 부착하는 것을 어렵게 하고 있다. 또한 디젤엔진의 급속기동은 연소실의 고온 때문에 피스톤 크라운을 급격히 가열하게 된다. 이 열의 대부분은 피스톤의 스커트부로 전달되어 그것을 팽창시키게 된다. 그러나 실린더 라이너 온도는 비교적 안정적이고 냉각수 온도보다 약간 높은 상태다. 이에 따라 윤활이 부족한 상태에서 피스톤 크라운, 피스톤 스커트 그리고 실린더 라이너 간의 그 온도차이는 급속-급속 접촉을 야기하여 마모를 가속시킨다. US NRC는 이러한 문제점을 인식하고 Reg. Guide 1.9 Rev.3을 통하여 월간시험 시에 제작사의 권고에 따라 저속기동(slow start)을 할 수 있도록 하고 급속기동 시험은 6개월 주기로 수행토록 하였다. 그러나 한국형 표준원전 이후로 채택하고 있는 Pielstick 엔진의 제어시스템은 저속기동이 불가능한 전기식 제어기로 Woodward DD-1000을 사용하고 있다. 따라서 비상디젤발전기에 저속기동을 하

Table 3 Failure modes detected by diagnostic techniques

Diesel Engine Element Monitored	Failure Mode or Degradation Mechanism	Diagnostic Detection Method
Pistons and Cylinder Liners	Scuffing of liner by piston	Vibration analysis, lube oil analysis
Pistons and Cylinder Liners	Cracked pistons	Vibration analysis
Piston Rings	Excessive blowby	Ultrasound analysis, crankcase manometer
Intake/Exhaust Valves	Burned or eroded seats	Ultrasound analysis
Intake/Exhaust Valves	Excessive seating noise	Vibration analysis
Intake/Exhaust Valves	Incorrect closing/opening time	Vibration analysis
Piston Wrist Pin and Bushing	Excessive bushing/bearing wear	Vibration analysis
Connecting Rod Bearing	Excessive bearing wear	Vibration analysis
Crankshaft Main Bearing	Excessive bearing wear	Vibration analysis
Fuel Injection Pump Metering Rod	Off-design pump settings	Trending of fuel metering rod position
Turbocharger	Internal wear of bearing or rubbing of blades	Spin down time
Lube Oil	Fuel oil or water dilution	Lube oil analysis
Lube Oil	Extensive or rapid metal wear	Lube oil analysis
Lube Oil	Inadequate oil viscosity, base number, etc.	Lube oil analysis
Governor	Excessive wear particles in actuator	Lube oil analysis
Cooling Water	Excessive corrosion products	Cooling water analysis
Cooling Water	Inadequate cooling water chemistry control	Cooling water analysis
Fuel Injection Pumps	Overheating	Thermography
Governor	Overheating of hydraulic actuator	Thermography
Engine Exhaust Gas	Off-design engine performance	Trending of installed thermocouple data

기 위해서는 디젤엔진 조속장치의 설비개선이 선행되어야 한다.

## 2) 급속부하투입(fast-loading)

급속부하투입은 1분 내에 정격출력 100%부하를 투입하는 시험이다. 이 시험은 엔진 부품들이 온도 평형에 도달하는 데 충분한 시간을 갖지 못함으로 인한 부가적인 스트레스를 가하게 된다. US NRC는 급속부하투입의 문제점을 인식하고 18개월 주기로 수행하는 소외전원상실 시험을 제외한 모든 시험시 디젤발전기 열응력과 마모를 최소화하기 위하여 제작사의 권고에 따라 서서히 출력을 증감·발할 수 있도록 규제요건을 개정하였다. Fig. 1은 Pielstick PC2-5 엔진 매뉴얼<sup>14)</sup>에서 제시하는 부하투입 절차이다.

## 3) 고출력 운전

엔진에 치명적인 손상을 가하고 있는 마진시험(margin test)인 110%운전은 엔진제작의 적정성을 평가하는 시험으로 선박용의 경우 주기관은 생략, 발전기관은 30분 이내로 탄생기에 한번 실시하고 있다. 미국의 원자력규제위원회(USNRC)의 규제지침서인 Reg. Guide 1.9 rev.3에서도 디젤엔진의 용량을 사고시 투입되는 투입부하의 총합이 연속정격출력을 초과하지 않게 설계토록 규정하고 있다. 이는 비상시에도 비상디젤엔진에 110%의 부하가 투입되는 경우는 없음을 반증하는 것이다. 참고로 엔진 제작자들은 해상용의 경우 최대출력의 118%정도의 강도마진을 설계기준으로 하기 때문에 매주기마다 2시간의 110%로 운전하는 것은 매우 불합리한 운전이라 볼 수 있다. 그리고 이 시험운전 모델을 처음 도입한 미국에서는 이제 110% 과부하 시험운전의 폐해를 인지하

## Loading & Unloading Process

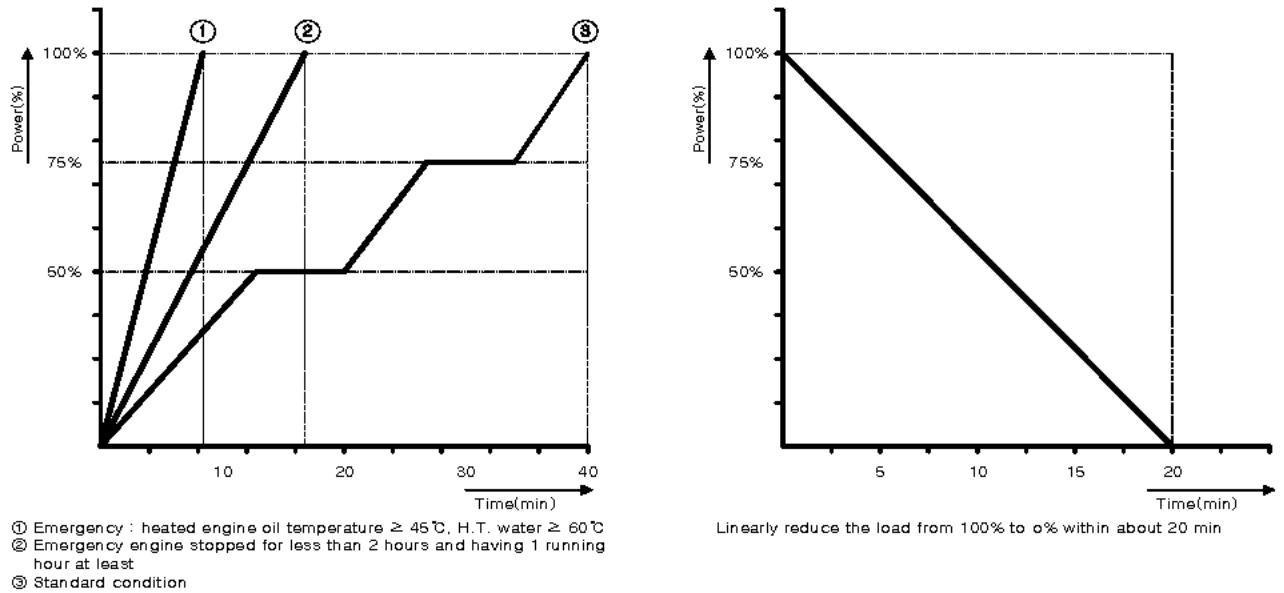


Fig. 1 Loading & unloading process

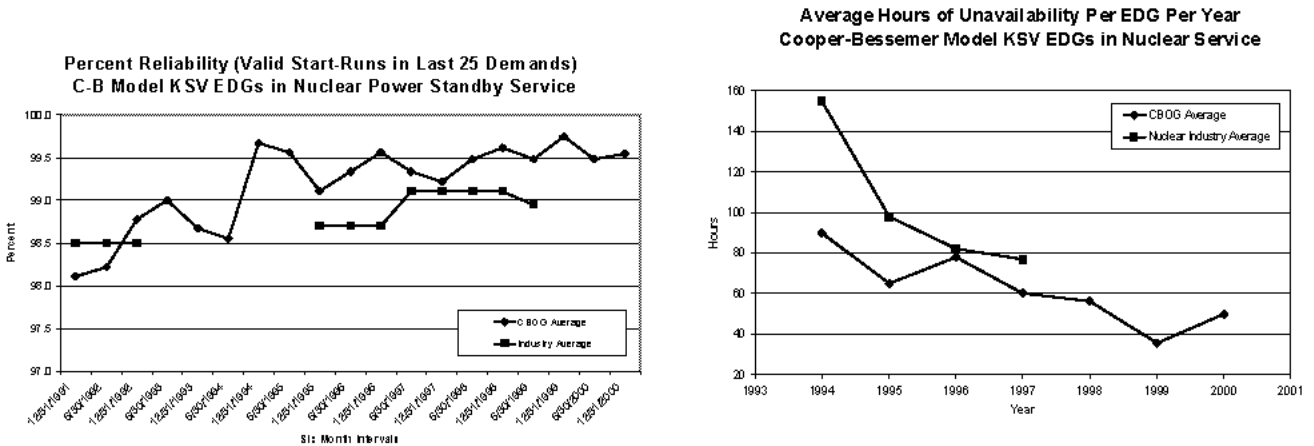


Fig. 2 Reliability of EDGs in US

고 폐지하려고 한다<sup>3)</sup>. 한국에서도 그간의 운전경험 자료를 기초로 검토되어야 할 사항이다. 그러나 110% 운전이 반드시 고려되어야 한다면 현행처럼 운전의 초반부에 할 것이 아니라, 100%부하로 충분히 운전되고 난 후반부에 실시하여야 한다. 원전용 비상디젤엔진을 제외하고, 최대출력의 90% 이상에서의 운전 경험은 실무에서 아무도 갖고 있지 않기 때문에 제작자에 의한 100% 운전 보증은 신뢰성에 대한 검토가 필요하다.

### 2.3.2 예측정비 기술 도입

예측진단기술은 설비의 신뢰도 향상과 동시에 정비비용을 절감하기 위한 방편으로 널리 활용되고 있다. Fig. 2와 Fig. 3은 미국의 사례로 비상디젤발전기에 예측진단기술이 적용된 1994년 이후의 비상디젤발전기의 신뢰도가 향상되고 비가용 시간 (unavailable time)은 줄어드는 것을 나타낸다. 그리고 엔진 당 연간 50만 불 정도의 정비비용 절감 효과가 있는 것으로 보고 되고 있다<sup>9)</sup>.

국내 원전의 경우 전술한 예측정비기술 중 엔진

분석기술을 제외한 상태분석기술은 대부분 디젤엔진 또는 타 주요설비에 적용하고 있는 기술들로 보여진다. 따라서 원전용 비상디젤엔진의 중요성을 고려하고 정비에 대한 과중한 부담을 덜기 위한 방법으로 아래와 같이 예측정비기술 도입을 위한 접근방법을 제시한다.

- 예측정비 기술의 이행을 반영한 제작자 정비지침서 개정
- 제작사 권고사항에 따라 18개월마다 검사 (inspection)를 수행토록 되어 있는 운영 기술지침서 점검요구사항 삭제
- 발전소 정비절차서 개정
- 예측정비 수행

### 3. 결 론

오늘날 까지 동일한 엔진이 운전모드가 전혀 다른 선박용과 원전용에 공급되고 있고, 제작자는 연속운전모드에 따른 동일한 정비주기를 제시하고 있다. 한편 원전사업자들은 운전시간이 연간 100시간 미만인 원전용 비상디젤발전기에 대해 제작자가 제시하는 방법의 불합리성을 인지하고 여러 가지 개선방법을 시도하고 있다. 초창기에는 부품의 성능저하상태를 18개월 간격으로 직접 분해점검 확인하였으며, 그 후 그 기간을 5년 주기로 연장하고, 10년 주기도 권고하고 있다. 그러나 여기에는 진보된 엔진진단기술이 필수적으로 뒷받침되어야 한다. 미국 일본의 경우 최신 예측기법을 이용한 정비방법 즉 엔진진단기술을 이용하여 엔진의 가용성은 높이고 정비정비를 낮추는 최적정비가 도입되고 있다.

한국에서도 이러한 기술의 도입이 성숙되었다고 보여지나, 이들 정비기법에 충실하기 위해서는 먼저 엔진의 열화를 촉진하는 시험방법이 개선되어야한다. 즉 급속기동을 저속기동으로 완화하고 소외전원상실 시험을 제외한 모든 시험시 제작사의 권고에 따른 저속 출력증감을 허용하고 또한 110% 과부하운전을 지양해야 한다. 그리고 미국, 일본 등에서 비상디젤 엔진에 적용하여 그 효과가 입증된 예측정비 기술을 적용하기 위하여 접근방법에서 제시한 절차 즉 제작자 정비지침서 개정, 18개월마다 검사를 수행토록 되어 있는 운영 기술지침서 점검요구사항 삭제 그리고 발전소 정비절차서를 개정하여 예측정비 수행의 기반을 조성해야 하며, 이를 위해서는 원자력발전소 경영진의 전폭적인 지원과 학계의 이해가 필요하다.

### 참고문헌

1. C. Berlinger, E. Murphy, 1986, "Safety Evaluation Report related to the Operability and Reliability of Emergency Diesel Generators Manufactured by Transamerica Delaval, Inc.", NUREG-1216, p.1-1.
2. Pacific Northwest Laboratory, Operated for the U.S. Department of Energy by Battelle Memorial Institute, 1985, "Review Transamerica Delaval Inc. Diesel Owner's Group Engine Requalification Program" Technical Evaluation Report, PNL-5718, p.1
3. Seabrook Station LER 00-008-00 for Emergency Diesel Generator Failure Surveillance Testing, December 29, 2000, pp.1~11
4. Joint Emergency Diesel Generator Owner's Group Conference, The Nuclear Power Industry's, "Reduction of Outage related Maintenance", June, 2000
5. MAN B&W, "Instructions for 50-98MC Type Engines 부품 상세 및 보수 유지편", 1998 Sulzer, "Maintenance Manual for Sulzer Diesel Engine Marine", 1995
6. Instruction Manual for HSD S.E.M.T. Pielstick Diesel Engine(울진5,6호기), Type PC 2-5, Maintenance, General, p. 2-1
7. Autochief-4, "Bridge Control System" Non-control Automation, Load Program
8. Electric Power Research Institute, September 1997, "Diesel Engine Analysis Guide", EPRI TR-107135
9. 11th International Conference on Nuclear Engineering, Tokyo, Japan, April 20-23, 2003, Implementation of Condition-based Maintenance at the Japan Atomic Power Company, ICONE 11-36595
10. SACM Diesel, "Diesel Engines Instruction Manual for KEPCO", 1993, Maintenance, pp. 33~ 41
11. Instruction Manual for HSD S.E.M.T. Pielstick Diesel Engine(울진5,6호기), Type PC 2-5, Operation, Chapter 1, p. 7/30