

디젤발전기 엔진 운전상태 분석 및 평가방법에 대한 연구 Analysis and Evaluation Study on Diesel Generator Engine Operation Signature

박종혁 · 최광희 · 이상국

J. H. Park, K. H. Choi and S. G. Lee

(접수일 : 2009년 5월 14일, 수정일 : 2009년 8월 17일, 채택확정 : 2009년 9월 17일)

Key Words : Standby Diesel Generator(예비디젤발전기), Peak Firing Pressure(실린더 최고압력), Exhaust Temperature(배기온도), Engine Signature Analysis(엔진상태분석), Nuclear Power Plant(원자력발전소)

Abstract : The purpose of this paper is to provide technical background, techniques and actual diesel engine signature analysis evaluation result. Engine signature analysis(ESA) is a process for monitoring the material condition of diesel engine using external sensors, eliminating the need to periodically disassemble the engine. ESA is also used to balanced the engine. Engine balancing is the process of tuning the engine so that all cylinders carry equal load. ESA is a useful tool to non-intrusively determine the operability and performance and assessment of the material condition of internal component of a diesel engine.

1. 서 론

원자력발전소의 안전성을 확보하기 위해 사용되는 비상교류전력계통은 단일고장 시에도 안전기능을 수행할 수 있도록 충분한 독립성, 다중성 및 시험성 등을 확보하도록 설계기준을 정하여 운영중이다.

이러한 비상 교류전력계통은 발전소 운전중 발전소 외부로부터 공급하도록 되어있는 소외 교류전원이 공급되지 않는 사건이 발생할 경우 짧은 시간 내에 발전소 안전운전에 영향을 미치는 안전관련 부하에 전력을 공급할 수 있도록 모선에 디젤발전기가 설치되어 있다. 그러나 소외 교류전원 상실과 동시에 디젤발전기마저 운전불능인 정전사고가 발생할 경우 원자력발전소내의 교류전원이 완전히 상실되는 소내정전(station blackout)사고가 발생하게 되어 적절한 시간 내에 비상전원이 복구되지 않으면 발전소를 안전하게 정지시킬 수 없게 된다. 이러한 원자력발전소 정전사고가 발생할 경우 원자로 노심 손상사고로 진전될 가능성이 크며, 발전소내 정전사고 발생가능성을 줄이는 가장 중요한 척도는 디젤

발전기의 신뢰도를 높게 유지하여 항상 운전이 가능 하도록 유지·관리하여야 한다^{1~4)}. 따라서 디젤 발전기들이 언제든지 정상적으로 작동할 수 있는 여부를 파악할 수 있도록 엔진상태를 감시하고 진단하는 기술이 필요하게 되었다¹⁾. 이러한 디젤엔진 진단기술은 엔진의 연소과정에서 일어나는 동적특성을 파악하여 엔진의 성능상태를 감시하고 이상상태를 예측하는 기술로써 고장징후가 있는 엔진실린더의 경우 트랜드 분석을 통해 예방정비 차원의 정비를 수행하도록 함으로써 계획예방정비를 효과적으로 수행할 수 있게 된다^{1~4)}.

본 논문에서는 월성원자력발전소에서 운영중인 예비디젤발전기 엔진을 대상으로 한 엔진 운전상태 신호분석에 관한 연구로써, 엔진의 성능을 감시하고 평가하기 위해 엔진의 내부에서 발생하는 각종신호인 엔진내부 폭발압력과 엔진의 흡기 배기밸브의 정상적인 작동상태, 엔진의 진동상태 및 엔진의 크랭크축 각도 등을 측정하는 각종 신호취득과 이러한 신호들을 분석하여 엔진의 건전성상태를 분석하였다. 이러한 분석결과를 이용하여 운전 중인 엔진의 운전상태를 정확히 파악함으로써 엔진실린더가 균일한 파워를 발생하도록 엔진밸런싱을 수행하고 이를 통해 경제적인 연료소비는 물론 엔진의 진동을 감소시키고 최적의 운전상태를 유지시킬 수 있

박종혁(책임저자) : 한전 전력연구원 원자력발전연구소
E-mail : sunmin@kepri.re.kr, Tel : 042-865-5499
최광희, 이상국 : 한전 전력연구원 원자력발전연구소

도록 하는데 있다.

2. 엔진상태 측정

2.1 엔진상태 감시 항목

엔진의 운전성능 상태를 측정하기 위해서는 엔진의 내부 성능을 측정하여야 하며 엔진상태를 감시하기 위한 가장 중요한 성능변수로는 엔진 내부 폭발압력, 엔진 흡기 및 배기밸브의 정상적인 작동상태, 엔진의 진동상태 및 엔진의 크랭크축 각도 등이 있다. 이러한 엔진상태를 감시하기 위해서는 감지센서를 설치하고 이를 통해 신호데이터를 수집 분석하여야 한다.

2.2 엔진상태 신호측정 장비

월성원자력발전소 예비디젤발전기의 운전상태를 측정하기 위해 사용된 신호측정 장비는 Fig. 1에 나타난 미국 Dynalco사에서 개발한 엔진상태 분석 장비인 RECIP-TRAP 9269(모델명 RT9260)를 사용하였다. 이 엔진상태 분석 장비는 최대 5개 채널을 이용하여 데이터를 측정할 수 있는 장비로서, 한 개의 채널은 엔진 크랭크축 포지션을 기준으로 삼고 다른 4개의 채널들은 각각 실린더 압력, 진동, 온도 및 초음파 신호들을 측정할 수 있도록 되어 있다. 이러한 입력데이터들은 엔진상태 분석기에 장착된 모니터를 통해 실시간으로 데이터를 확인할 수 있도록 화면창에서 볼 수 있도록 되어 있다.

엔진상태 분석 장비에 장착되는 신호측정 센서로는 압력 전송기(Fig. 2), 진동 가속도계(Fig. 3), 초음파 전송기(Fig. 4), 온도측정기 및 크랭크축 위치 측정기 등이 사용된다.

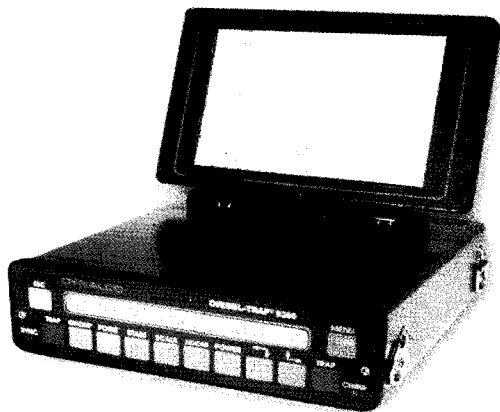


Fig. 1 Engine analyzer

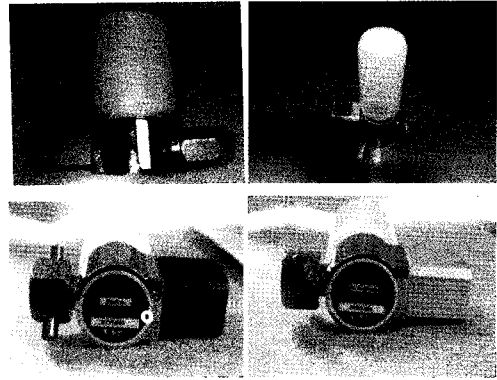


Fig. 2 Pressure transducer

압력 전송기는 엔진 실린더 내부의 압력을 측정하는데 사용되는 계측기로서 엔진의 형태에 따라 DC 타입과 AC 타입의 두 가지 모델이 사용된다. 즉 DC 타입 전송기는 파란색으로, EPD (0~1250 psig) 또는 EPH(0~5000 psig)형 엔진에 사용된다. 월성 3,4호기 비상디젤발전기는 EPH형으로서 DC 타입 전송기를 사용하였다. 흰색의 AC 타입 전송기는 EPA(0~2000 psig)형 엔진에 사용된다.

엔진의 진동상태를 측정하는 진동 가속도계는 2가지 크기로 구성되어있으며 측정부위에 부착하기 쉽도록 자석식으로 제작되어 있다. 이 진동가속도계는 엔진실린더에서 발생하는 진동을 전압신호로 바꾸어 주는 약 27 kHz의 공진 주파수를 가지며, 신호를 측정하기 위한 가속계 설치 위치는 각 엔진실린더 상부 및 연료주입펌프 상단 헤드부위이며 초음파 신호측정과 같이 측정한다.

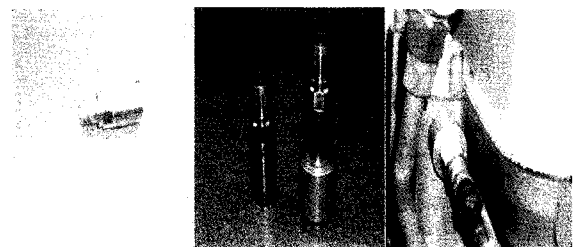


Fig. 3 Vibration accelerometers



Fig. 4 Ultrasonic transducers

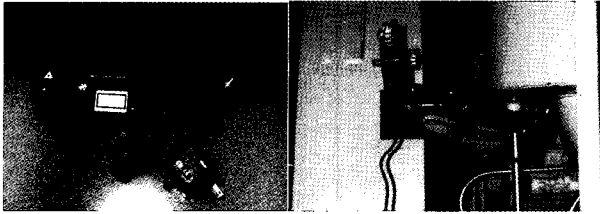


Fig. 5 Optical eye mounted on articulated arm

초음파 전송기는 연료 또는 배기가스의 누설과 관련된 고주파 신호를 측정하는데 사용된다. 진동 가속계와는 달리 주변잡음을 제거하기 위하여 고무 재질의 팁(tip)을 측정부위에 밀착시켜 측정한다. 초음파 및 진동 전송기는 2-pin의 케이블을 사용하고, DC 압력 전송기는 6-pin을 사용한다.

디젤엔진 연소시 실린더 내부 압력, 진동, 초음파 신호 등은 크랭크축 위치의 함수로 기록된다. 크랭크축 위치는 크랭크축으로부터 신호를 받아 결정된다. 크랭크축기준위치를 정하기 위해 Fig. 5와 같은 레이저 광학 픽업(laser optical pickup)을 사용하였으며, 크랭크축에 반사테이프를 기준점에 부착하여 한 회전당 한번(once per turn)의 펄스를 발생시키는 장치를 이용하여 크랭크축 위치를 측정한다. 또한 엔진상부 표면 온도를 측정하고자 할 때는 적외선 온도 측정기를 사용하여 측정한다.

2.3 엔진상태 신호 측정방법

엔진의 운전 상태를 측정하기 위한 각종 성능 값은 Dynalco사에서 제작한 엔진 상태 신호측정 및 분석장비(RECIP-TRAP 9260)를 사용하여 측정하였으며 측정구성도는 Fig. 6과 같다. 엔진상태 분석장비의 내부에는 취득한 엔진 운전상태 신호를 분석할 수 있는 분석용 software인 RTwin이 설치되어 있다.

Fig. 7은 엔진상태 분석 장비에서 취득한 데이터 그래프를 보여준다. 엔진상태 신호분석 장비인 RECIP-TRAP 9260과 RTwin을 이용하여 엔진상태를 진단하기 위해서는 먼저 진단대상인 엔진배열 route 및 각 실린더의 test point 정보를 분석용 소프트웨어에서 엔진상태 분석기에 저장(load)하는데, 이러한 엔진 설계데이터를 설정(set up)하기 위한 입력절차 및 항목은 다음과 같다.

- 1) 엔진 타입, 엔진 행정, 플라이 휠 회전 방향
- 2) test pint data setting 및 취득할 test point data 선정: 압력(월성3,4호기: EPH), 진동(VT4), 초음파(ULT) 및 채널 선택

3) 엔진 형상 데이터 : 크랭크 각도의 기준 실린더의 상사점(TDC)대비 Lag 기준값을 설정한다. 기준 실린더의 각도는 zero이고, 나머지 실린더는 0°에서 720° 값을 갖는다.

4) 측정 사이클 횟수는 압력은 PFP(peak firing pressure 최고 폭발압력)측정을 위해 100회, 진동 및 다른 신호들은 각각 20회씩 측정한다.

Table 1은 월성3, 4호기 예비디젤발전기에 대한 엔진 좌우 실린더별 폭발순서 및 크랭크 각도와 각종 입력변수를 나타낸다.

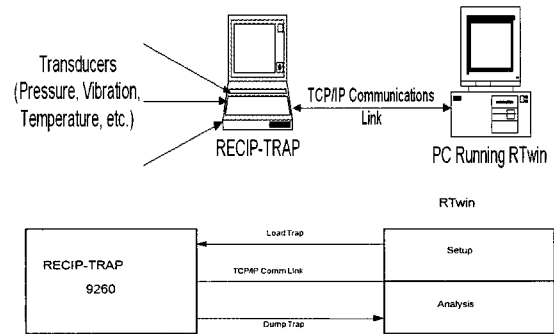


Fig. 6 Block diagram of engine analyzer and engine analyzer software

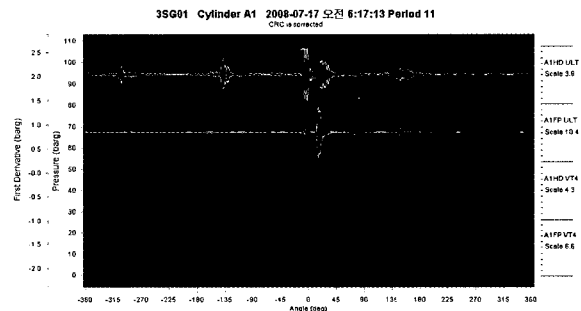


Fig. 7 Data graph of engine analyzer

Table 1 Engine cylinder explosion order of wolsong 3,4 standby diesel generator

Cyl	Angle	Cyl	Angle
A1	0	A1	0
A2	540	B1	45
A3	270	A5	90
A4	450	B5	135
A5	90	A7	180
A6	630	B7	225
A7	180	A3	270
A8	360	B3	315
B1	405	A8	360
B2	225	B8	405
B3	675	A4	450
B4	135	B4	495
B5	495	A2	540
B6	315	B2	585
B7	585	A6	630
B8	45	B6	675

Table 2 RTwin engine input data of wolsong 3,4 standby diesel generator

Parameter	Value
Strokes per cycle	4
Vee angle	45°
Displacement (liter)	57.821
Bore (mm)	400
Stroke (mm)	460
Connecting rod length (mm)	950
Compression ratio	Unknown
Exhaust valve closure input value for RT9260	50°17' after TDC 410.28
Intake valve closure Input value for RT9260	40°20' after BDC 580.33
Fuel injection timing input value for RT9260	13 before TDC 707
Exhaust valve opening input value for RT9260	60°17' before BDC 119.72
Intake valve opening input value for RT9260	55°17' before TDC 304.72

Table 2에 나타난 것과 같은 엔진 설계데이터가 엔진상태 신호분석기에 입력이 되면 2.2항에서 기술한 엔진 상태측정 장비를 이용하여 다음과 같이 각 엔진실린더별로 데이터를 취득한다. 엔진 상태 측정 은 디젤발전기가 기동되기 전에 크랭크 축 위치지시 센서를 먼저 설치 한 후 디젤발전기가 기동되고 나면 크랭크 축 위치 지시계의 동작 상태를 확인한다. 그리고 실린더 내부 압력신호 등 각 엔진상태 신호들은 디젤엔진 출력이 전출력에서 안정되었을 때 측정하며 전체 측정시간은 약 1시간에서 2시간 이 소요되며 세부 측정방법은 다음과 같다.

1) 크랭크 축 위치 신호 취득

먼저 엔진 A-1 실린더의 상사점을 확인한 후 이를 기준점으로 잡고 크랭크축에 반사테이프 부착한 후 마운팅암을 이용하여 속도지시계를 설치하고 레이저빔을 발생시켜 반사테이프에서 나오는 빛과 일치시킨다. 레이저 픽업(laser pick up)을 통해 데이터를 받는 방법은 엔진분석기 연결 케이블이 필요 없는 Beta-Link 방법과 엔진분석기와 연결케이블이 필요한 TM5D 방법중 하나를 택하여 측정한다.

2) 압력 전송기를 이용하여 실린더 내부압력 측정

6-pin케이블을 사용하여 RECIP-TRAP 9260과 압력 전송기를 연결시킨 후 각 엔진 실린더에 설치된 Indicator 밸브를 통해 1~2초간 불활성 가스를 배출시켜 압력을 측정한다. 압력을 측정하기 위해 각 실린더로 이동하는 동안 압력 전송기에 압력이

제로 수준으로 떨어지는 것을 확인한 후 측정한다.

3) 진동 및 초음파 신호 측정

2-pin케이블을 사용하여 진동 및 초음파 신호 측정 센서를 RECIP-TRAP 9260과 연결시킨다. 신호 측정 위치는 엔진 실린더 상부 및 연료 분사펌프 (fuel injection pump) 상단 부위를 각각 측정하며 진동은 센서 VT4를, 초음파는 ULT-200 전송기를 사용하며 동시에 측정한다.

4) 연료 분사펌프 고압관(fuel injection pump-highn pressure pipe) 부위 온도는 온도 측정기를 이용하여 측정한다.

5) 상기 항목을 측정하여 각 엔진별 성능을 비교 분석하기 위해서는 각 엔진의 배기가스 온도와 연료량 위치를 측정하는 것이 바람직하다.

3. 엔진 운전상태 시험 및 분석

월성원자력 3,4호기 예비디젤발전기의 엔진 신호 분석을 위해 엔진 2대에 대한 데이터를 측정하였다. 측정대상 디젤엔진은 Hanjung-Pielstic 모델인 PC2.5 16기통 디젤엔진 3SG01과 4SG02에 대한 엔진 운전상태 신호를 시험 분석하였다. 엔진성능을 측정하기 위해서는 엔진 내부의 폭발 압력과 크랭크 각도와와의 연속적 데이터를 수집하였으며, 초음파 신호의 분석을 통해서는 다음과 같은 엔진 성능에 크게 영향을 미치는 주요 변수들을 파악하였다⁵⁾.

- Exhaust valve 닫힘각
- Intake valve 닫힘각
- 연료분사 시작
- 연소시작
- 배기가스 배출
- 기능 저하(누출, 금속간의 접촉)

3.1 엔진 시험데이터 측정

월성 3호기 SDG01 디젤발전기 엔진에 대한 신호 분석을 위해 수집된 엔진 신호분석 데이터의 종류로는 실린더 압력, 각각의 실린더에 대한 크랭크사프트 위치별 2개의 고주파진동 신호 및 2개의 초음파 신호 등이다. 엔진연소 상태 및 엔진 신호에 대한 측정결과 및 실린더 압력신호 데이터는 기준 엔진에 설치된 밸브를 이용하여 기록하였다. 16기통 엔진의 경우 최고 점화압력은 10.65 bar에 걸쳐 있었다. 이러한 압력범위는 엔진평균압력 83.5 bar의

약 12.8%에 해당하는 것으로 Hanjung-Pielstic사 엔진의 제한치인 6.9 bar(100 psi)를 초과하는 수준이었다.

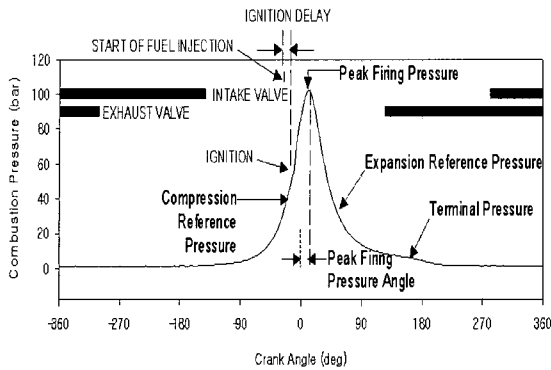


Fig. 8 Engine pressure versus crank angle

최고 점화압력이 나타나는 점화각도는 상사점을 지난 후 평균 9.9도 범위에서 전체 엔진에 걸쳐 3도 범위 내로 측정되었다. 각 실린더의 엔진출력은 실린더별로 최고 36.9% 차이를 나타내었다. 이 수치는 제작사가 제시한 목표치를 15% 초과하는 것이다. 배출가스 온도는 30℃ 분포를 가지고 있었다. 이러한 배출가스 수치는 제작사가 제시한 권고값인 70℃(126°F)를 만족하고 있었다. 월성 SDG 3SG01에 대한 연소시험 요약 데이터는 Table 3과 같다.

월성4호기 SDG 4SG02에 대한 엔진 신호분석 데이터는 상기 월성3호기 방법과 동일하게 수행하였으며 엔진연소 상태 및 엔진 신호에 대한 측정 결과 16기통 엔진의 경우 최고 점화압력은 6.06 bar에 걸쳐 있었다. 이러한 압력범위는 엔진평균압력 77.4 bar의 약 7.8%에 해당하는 것으로 Hanjung-Pielstic사 엔진의 제한치인 6.9 bar(100 psi)를 만족하였다.

Table 3 Wolsong SDG3 3SG01 combustion data

Parameter	Date Recorded	Recommended Goal	Recommended Limit
Mean Effective Pressure			
Engine Average (bar)	10.39		
Spread (%)	36.9%	≤ 10% ¹	≤ 15% ¹
Peak Firing Pressure			
Engine Average (bar)	83.53		
Spread (bar)	10.65	≤ 6.9 ²	≤ 10.3 ³
Spread (%)	12.8		
Peak Firing Pressure Angle			
Engine Average (°ATDC)	9.9	10-14 ¹	10-14 ¹
Spread (°)	3.0	≤ 1.5 ¹	≤ 2 ¹
Exhaust Temperature			
Spread (°C)	30	≤ 70 ²	≤ 83 ³

Notes: 1 MPR-recommended goal or limit
2 Pielstick alert value from engine technical manual
3 Pielstick limit from engine technical manual

Table 4 Wolsong SDG4 4SG02 combustion data

Parameter	Date Recorded	Recommended Goal	Recommended Limit
Mean Effective Pressure			
Engine Average (bar)	8.99		
Spread (%)	21.2	≤ 10% ¹	≤ 15% ¹
Peak Firing Pressure			
Engine Average (bar)	77.43		
Spread (bar)	6.06	≤ 6.9 ²	≤ 10.3 ³
Spread (%)	7.8		
Peak Firing Pressure Angle			
Engine Average (°ATDC)	9.3	10-14 ¹	10-14 ¹
Spread (°)	4.0	≤ 1.5 ¹	≤ 2 ¹
Exhaust Temperature			
Spread (°C)	35	≤ 70 ²	≤ 83 ³

Notes: 1 MPR-recommended goal or limit
2 Pielstick alert value from engine technical manual
3 Pielstick limit from engine technical manual

최고 점화압력이 나타나는 점화각도는 상사점을 지난 후 평균 9.3도 범위에서 전체 엔진에 걸쳐 4도 범위 내로 측정되었다. 각 실린더의 엔진출력이 엔진별로 최고 21.2% 차이를 나타내었다. 이 수치는 제작사가 제시한 목표치를 15% 초과하는 것이다. 배출가스 온도는 35℃ 분포를 가지고 있다. 이러한 배출가스 수치는 제작사가 제시한 권고값인 70℃(126°F)를 만족하고 있다. 월성 SDG 4SG02에 대한 연소시험 요약 데이터는 Table 4와 같다.

3.2 엔진 시험데이터 평가

월성원전 3호기 예비디젤발전기 3SG01 시험데이터 평가결과는 Fig. 9와 같으며, 연료 분사량 조절 및 밸브 분사시기 점검을 통하여 엔진출력 균형, 최고 점화압력을 유지하기 위한 점화각도 분포 및 배기가스 온도, 제작사 권고치를 유지하기 위한 연료 렉 위치 등을 개선시킬 수 있는 것으로 나타났다. 엔진 실린더 진동 및 초음파 신호들은 흡기밸브와 배기밸브가 닫히는 타이밍 및 연료분사 상태를 구분하는데 이용되었으며 분석결과 대부분의 배기밸브 닫힘을 나타내는 지시는 상사점(TDC)을 지난 후 정상적인 타이밍 각도인 60도 이전 15도(그래프 상 -300도)에서 발생하였으며, 대부분의 흡입밸브 닫힘은 상사점(그래프 상 -135도)전 정상적인 타이밍 각도인 135도 이전 20도에서 발생하였으나 이러한 값은 Hanjung-Pielstic사 엔진 PC2.5의 고유한 특성이므로 문제를 발생하지 않는다. 따라서 엔진의 평균 타이밍에서 ± 5도 이상을 벗어난 실린더에 대해서는 실린더 간극을 측정하는 것이 바람직하나 월성3호기 SDG 3SG01의 경우 총 밸브 닫힘 타이밍 분포는 단지 7도에 불과하여 별도작업이 불필요하였다.

또한 월성원전 4호기 예비디젤발전기 4SG02 시험데이터 평가 결과는 Fig. 10과 같으며, 대부분의 배기밸브 닫힘을 나타내는 지시는 상사점(TDC)을 지난 후 정상적인 타이밍 각도인 60도 이전 15도(그래프 상 -300도)에서 발생하였으며, 대부분의 흡입밸브 닫힘은 상사점전 정상적인 타이밍 각도인 135도 이전 20도(그래프 상 -135도)에서 발생하였으나 이러한 값은 필스틱 엔진 PC2.5의 고유한 특성이므로 문제를 발생하지 않는다. 따라서 엔진의 평균 타이밍에서 ± 5 도 이상을 벗어난 실린더에 대해서는 실린더 간극을 측정할 필요가 있으나 SDG 4SG02의 경우 총 밸브 닫힘 타이밍 분포는 단지 5도에 불과하여 별도작업이 불필요하였다.

월성3,4호기 예비디젤발전기 성능데이터 분석결과 엔진의 평균 허용범위보다 높게 나타난 시험데이터가 일부 나타났다. 이러한 평균 허용범위를 벗어난 수치들에 대한 교정은 항상 필요한 것은 아니며 계획예방정비 또는 즉각적인 정비작업을 의미하지 않는다. 즉 진단 및 분석결과 엔진자체는 가동시간과 분석결과를 고려할 때 기계적으로는 정상적인 상태이나 각 엔진의 출력 밸런스를 개선하기 위해서는 연료타이밍의 조절이나 연료 랙 위치(fuel rack position)의 조절이 필요함을 나타내었다.

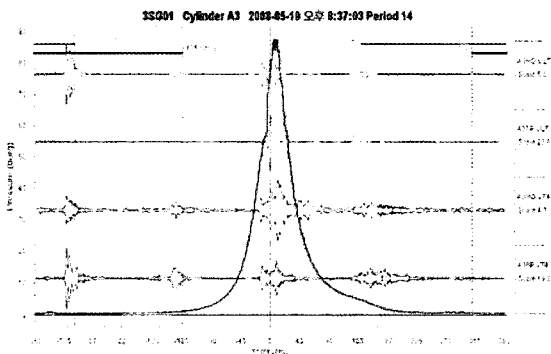


Fig. 9 Cylinder B1 signature(3SG01)

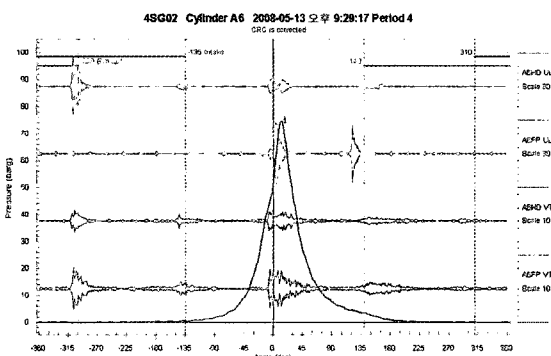


Fig. 10 Cylinder A6 signature(4SG02)

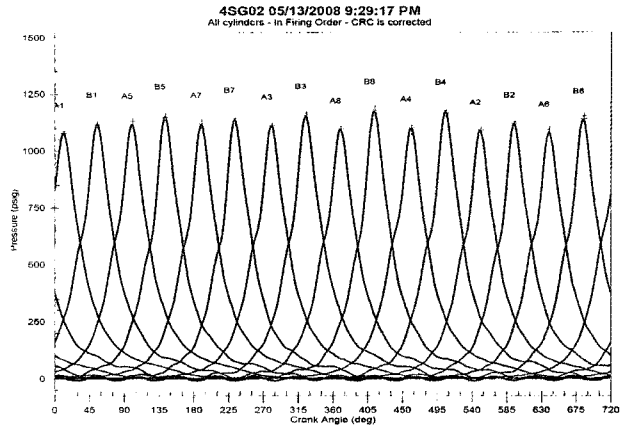


Fig. 11 Cylinder pressure signature(4SG02)

4. 결 론

본 논문에서는 원자력발전소 외부전원 상실시 발전소를 안전하게 운영하기 위해 필요한 최소한의 소내 교류전력을 공급하는 예비디젤발전기의 엔진 운전상태를 분석하고 성능을 진단하는 방법에 대한 연구가 월성3,4호기 예비디젤발전기 2대를 대상으로 수행되었다. 이러한 엔진 운전상태 시험 및 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 대부분의 배기밸브가 닫히는 지점은 정상적인 타이밍인 상사점(top dead center)을 지난 후 60°보다 15° 빠른 지점에서 발생하고, 흡입밸브가 닫히는 지점을 정상적인 타이밍보다 20° 빠른 지점에서 발생하나 이러한 사항은 Hanjung-Pielstic사 엔진의 고유한 특성이므로 문제를 발생하지 않으나, 엔진실린더의 평균 타이밍에서 $\pm 5^\circ$ 이상을 벗어난 실린더에 대해서는 밸브간극을 조절하는 바람직하다.

2) 엔진진단 분석결과 평균허용 범위를 벗어난 A, B 계열의 파워 언밸런스현상은 연료타이밍 조절과 연료분사량을 조절할 수 있는 연료 랙 위치(fuel rack position) 조절을 통해 해소될 수 있음을 확인하였다.

이러한 결과들은 디젤엔진에 대한 건전성을 입증하여 주기적인 디젤엔진 분해정비 작업을 감소시키고 엔진의 밸런스를 향상시킴으로써 엔진의 건전성을 높일 수 있게 되었다. 따라서 향후에는 기존에 설치되어있는 월성3,4호기 예비디젤발전기는 물론 비상디젤발전기에 대한 엔진건전성 분석 및 평가에 본 연구결과를 확대 적용할 경우 원자력발전소의 안전성 제고는 물론 디젤발전기의 건전성향상에도 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국수력원자력(주)와 한전 전력연구원의 협약연구과제로 수행되었으며 이를 위해 협력해주신 한국수력원자력(주)의 관련자 분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. H. Park et al., 2007, "Selection and Analysis of Operating Parameters for Condition Monitoring of Emergency Diesel Generator at Nuclear Power Plant", The Korea Society for Power System Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 3~8.
2. 최광희 외 6인, 2008, "월성3,4호기 예비디젤발전기 이상상태 감시 및 진단기술 개발", 한국수력원자력(주) 연구개발 중간보고서, pp. 231~247.
3. K. H. Choi et al., 2009, "Application study of Condition Monitoring Technology for Emergency Diesel Generator at Nuclear Power Plant", The Korea Society for Power System Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 53~58.
4. 최광희 외 14인, 2009, "월성3,4호기 예비디젤발전기 이상상태 감시 및 진단기술 개발", 한국수력원자력(주) 연구개발 최종보고서, pp. 345~364.
5. Mark O'Connell, Mark Staley, James Wiggin, 2009, "Diesel Engine Signature Analysis Technology Transfer Report", pp 31~58.