

원자력발전소 비상 디젤 엔진 고찰

박 정 현

한전기공(주) 원자력처 RCM추진반 과장



운전 방법적 관점의 고찰

국내 원자력발전소의 비상 디젤 발전기는 대부분 선박용으로 제작된 4행정 V-Type 트렁크 피스톤형 엔진이 사용되고 있다. 직립형인 L-Type 엔진은 사용되지 않고 있으며 중속 중형 엔진 또는 고속 중형 엔진이 주로 사용되고 있다.

일반적으로 중형·대형 엔진에서 회전수가 300~900RPM에 속하는 엔진을 중속이라고 하며, 그보다 적으면 저속, 크면 고속 엔진으로 분류

한다.

설치된 방법으로 보면 Single 형식과 Tandem 형식이 사용되고 있다.

고리 2호기에 Tandem형으로 설치된 비상 디젤 발전기 엔진만이 선박용이 아닌 철도 기관차용 엔진으로 사용되는 2행정 고속 중형 엔진으로서 타 원자력발전소와는 다른 엔진이다.

Tandem형 엔진은 발전기를 가운데 두고 엔진을 양쪽에 두어 축으로 일직선으로 연결한 엔진으로서, 운전 중 두 엔진 간의 부하 불균형이 발생할 수 있는 근본적인 결점이 있다. 즉 쉽게 생각해서 몸통은 하나인데 머리는 두 개인 기형의 뱀과 비슷하다고 보면 된다.

선박용 대형 대출력 엔진이 등장하기 이전인 70년대에 대형 선박에서도 Tandem 형식으로 주추진 엔진을 사용하는 경우가 있었다.

그러나 그 당시에 부하 불균형의 문제점 발생으로 인하여 그러한 엔진을 제거하고 스팀 터빈 기관으로 주추진 기관을 재설치하여 운전하는 선박이 많았다.

최근에 건설되는 국내 원자력발전소에 주로 설치되는 비상 디젤 발전기용 SEMT PIELSTIC 엔진은 70년대 이전에 상선에서 추진용 엔진으로 많이 사용되었던 엔진이다.

이 형식의 엔진은 V가닥 필스틱'이라는 애칭으로 선박 기관사들 사이에 널리 알려진 엔진이다.

이 엔진의 특징은 연료 펌프의 연료 토출량을 조정하는 연료랙이 각 펌프를 연결하여 일체로 되어 있어 개별 연료 펌프의 토출량 조정이 엔진 운전 중에는 조정하기가 어려운 특징이 있다. 배기 밸브의 정비는 밸브 케이지를 Assembly로 교체할 수 있도록 되어 있어 정비하기에 편리하다.

70년대 이후는 저질 연료유를 연료로 사용하는 데에 유리한 2행정 대형 저속 엔진에 의해 선박 주추진 엔진에서는 점차 밀려나서 현재는 이 엔진도 일부의 상선과 군함·여객선 등에서만 사용되고 있는 실정이다.

전기를 생산하는 발전기의 크기 면에서는 엔진의 속도가 느리면 동일한 주파수를 발생하기 위하여 발전기의

극수가 많아져야 하므로 발전기 크기가 크게 될 수밖에 없다.

원자력발전소 비상 디젤 발전기는 비상 사태 발생시 10초 이내에 긴급 기동하여 정격 주파수에 도달하고 50초 이내에 비상 전원 부하 투입이 완료되어야 하므로 2행정 대형 저속 엔진보다는 4행정 중속 중형 엔진이 비상 디젤 발전기로 적절하다고 할 수 있다.

선박의 추진용 엔진의 경우에는 긴급 사태 발생의 경우를 제외하고는 급속하게 엔진을 기동할 필요성이 없으며, 운전하기 전에 충분한 엔진 터닝을 하고 그에 더하여 Air Blow를 필히 시행한 후에 저속으로 기동하여 회전을 천천히 상승하여 사용 회전에 도달하게 한다.

이와는 반대로 원자력발전소의 비상 디젤 엔진은 운전하기 전에 엔진 터닝 및 Air Blow 과정이 없이 바로 급속 기동을 수행한다.

따라서 엔진 기동시에는 실린더 내부의 마모율이나 열적 변형이 선박용 엔진보다 더욱 많이 발생할 것으로 추정된다.

이러한 이유로 원자력발전소의 비상 디젤 발전기에서도 실제 원자력발전소의 비상 사태 발생의 경우가 아닌 때 월간 점검의 경우에는 엔진 보호 차원에서 터닝이나 Air Blow 등을 엔진 기동하기 전에 1회 이상 시행하는 것을 고려해 볼 필요성이 있다.

물론 이러한 형태의 엔진 보호를

위한 기동 전 절차를 쉽게 수행하려면 비상 디젤 엔진을 제작 설치시 전기 모터 구동 터닝 장치를 필수적으로 부착하고 각 실린더 헤드에는 터닝시 압축되는 공기를 대기로 방출하는 Indicator Cock(Test Cock)을 갖추어야 한다.

Air Blow를 수행하려면 Air Blow를 시행하는 동안 엔진에 연료가 주입되지 않게 이를 차단하는 설비 및 Governor Actuator의 Booster Air를 차단하여 연료량을 움직이지 않게 정지시키는 설비가 별도로 필요하다. 이 경우에도 물론 Indicator Cock이 필요하다.

디젤 엔진에서 Indicator Cock(Test Cock)의 역할은 이것 외에도 엔진 운전 중 실린더 내부의 연소 상태를 확인하기 위해서 필요하며, 각 실린더 간의 폭발(동력) 행정시 발생하는 힘의 크기로 볼 수 있는 최고 폭발 압력(Pmax)측정을 위해 필수적으로 필요한 설비이다.

선박에서의 추진 엔진 및 디젤 발전기의 경우는 엔진 보호 차원에서 이러한 시스템이 잘 갖추어져 있다. 엔진 기동 전 터닝 및 Air Blow는 엔진의 기동시 발생하는 중요 부품 파손 사고 예방을 위해서도 대단히 중요한 절차임에는 틀림이 없다.

기동 전에 엔진의 충분한 예열 및 예운환은 선박용 엔진이나 비상 디젤 발전기용 엔진 모두에 필요한 것이다.

엔진을 연구하는 전문가의 의견에

따르면 1회의 급속 기동 및 급격한 부하 분담은 저속으로 기동하여 부하 분담을 천천히 할 때보다도 약 40배의 마모율이 엔진 내부에서 발생한다고 한다.

정비적 관점의 고찰

원자력발전소의 정비 주기는 발전소 핵연료 교체 주기에 의존하기 때문에 비상 디젤 발전기의 정비도 이 기간에 집중적으로 이루어진다.

각 원자력발전소마다 비상 디젤 발전기의 제작사 및 형식이 다르므로 정비 방법도 엔진 형식에 맞추어 약간씩 다를 수밖에 없다.

원자력발전소에서 비상용으로 사용되는 디젤 엔진은 연속 운전 시간이 짧고 월간 정기 시험 시간과 계획 예방 정비 후 18개월 주기 시험 기간 외에는 대부분 비상 기동을 위한 대기 상태로 있다.

그렇지만 제작사에서는 원자력발전소의 이러한 운전 조건을 고려하여 정비 주기를 권고하지 않고 있는데, 이것은 중·대형 디젤 엔진의 사용 주체가 대부분이 선박이기 때문이다. 물론 원자력발전소의 비상 디젤 엔진도 연속 운전을 위하여 설계된 선박용 엔진이 그대로 사용되고 있다.

따라서 엔진 제작사는 Instruction Manual을 원자력발전소에 제공할 때 선박용으로 제작된 매뉴얼을 적절히 수정 없이 그대로 원자력발전소

소유자에게 제공하기 때문에 실제 원자력발전소 비상 디젤 발전기의 운전·정비에 적절한 지침서를 찾아보기가 쉽지 않다.

현재 대부분의 원자력발전소에서 비상 디젤 발전기 정비 주기는 피스톤이나 실린더 헤드·실린더 라이너·피스톤링·커넥팅로드·흡·배기 밸브·Roker Arm Ass'y 등 엔진 내부의 주요 부품에 대한 분해·점검 주기가 10년으로 설정되어 있다.

그러나 실제 현장에서는 모든 실린더가 10년 내에 분해 점검 되도록 하기 위하여 핵연료 재장전 1주기부터 매 계획 예방 정비시 마다 2~4개씩 분할하여 실린더를 분해 점검하고 있다.

이것은 미리부터 작업량을 줄이지 않으면 10년차 계획 예방 정비시에는 엔진 한 트레인에 허용된 작업 기간·투입 인력·작업량 등이 많아져서 현장 여건상 엔진의 모든 실린더를 한 번에 분해·점검하기가 어렵기 때문인 것으로 현장의 정비 여건을 고려한 것이다.

이러한 정비 방법은 계획 예방 정비 기간 동안에 한 대의 비상 디젤 발전기를 정비할 수 있는 제한된 작업 기간·인력·자재 수급 등의 실제 여건을 고려하여 현장에서 할 수 있는 최선의 방법이라고 생각할 수도 있다.

그러나 엔진의 연속 운전 시간적인 면에서 고려해 볼 때 비상 디젤 엔진 내부 주요 부품의 정비 주기를 15년 이상으로 더 길게 연장해도 무방한

것으로 판정된다.

운전 시간적인 면에서 대부분의 제작사가 엔진 중요 부품 분해 정비 주기를 연속 운전 10,000시간을 기준 시간으로 하고 있으며, 최근 제작되는 엔진은 재질의 품질 등급 향상으로 그 이상의 시간으로 연장하고 있다.

원자력발전소 비상 디젤 엔진의 피스톤 링 마모율이나 실린더 라이너의 마모율에 관한 연구된 자료는 없으나 디젤 발전소에서 중요 부품 마모율에 관하여 연구된 자료에 의하면, 피스톤 링의 마모율은 연속 운전 1,000시간당 0.01mm가 표준이며 실린더 라이너 내부벽의 마모율은 0.1mm가 표준으로 되어 있다.

따라서 연속 운전 1,000시간에서의 중형·대형 디젤 엔진의 피스톤 링이나 실린더 라이너의 마모율은 엔진 운전 전에 지장을 줄 수 있는 마모량이 아니다.

원자력발전소의 비상 디젤 발전기의 엔진은 연속 운전 시간을 1년에 약 80시간으로 계산할 때 10년이 경과되어야 800시간에 도달하게 된다.

따라서 정비의 주관점을 엔진 내부의 피스톤·실린더 라이너의 발출이나 메인 베어링 분해 점검 등의 엔진 본체 내부 부품의 분해·정비보다는 오히려 24시간 대기를 위해 작동되는 엔진 예열 계통·윤활유 계통·연료유 계통·시동 공기 계통·가버너·기동 시퀀스 계통 등 발전소 비상시 엔진 긴급 기동 실패 유발이나 짧은

시간 동안 비상 부하를 담당하는 운전 전에 영향을 줄 수 있는 부계통 기기 정비에 더 주안점을 두는 것이 바람직할 것으로 판정된다.

부계통 구성의 특징

1. 시동용 공기 계통

원자력발전소 비상 디젤 발전기 기동 계통의 고장은 비상 디젤 발전기의 긴급 기동 요구시 엔진의 기동 실패를 초래하여 발전소 비상 사태 발생시 신속히 대응할 수 없게 할 가능성이 있으므로 엔진 기동 계통은 대단히 중요하다.

국내 원자력발전소의 비상 디젤 발전기에는 대부분 엔진 한 대당 두 대의 왕복동 공기 압축기가 설치되어 있어서 공기 압축기 한 대가 고장나더라도 나머지 한 대가 기동하여 공기 저장 탱크를 충전할 수 있도록 신뢰성을 고려하여 설계되어 있다.

일부 원자력발전소 비상 디젤 발전기를 제외하고는 압축 공기를 공기 분배기(Air Distributor)를 거쳐 실린더 헤드 위에 위치한 Air Starting Valve를 통하여 실린더의 폭발 순서에 따라 피스톤을 하부로 강제로 밀어서 크랭크 축을 회전하게 하여 엔진을 기동하는 방법, 즉 압축 공기 기동 방식을 채택하고 있다.

디젤 엔진을 기동하는 방식에는 전기 모터 기동 방식, 공기 모터 기동 방식, 압축 공기 기동 방식 등이 있으

나 중형·대형 디젤 엔진은 대부분 압축 공기 기동 방식을 이용한다.

국내 대부분의 원자력발전소 비상 디젤 엔진 기동용 공기 저장 탱크는 Stainless Steel로 제작하여 탱크 하부에 저장되는 수분에 의해서 부식되어 저장 탱크의 두께가 얇아지는 현상이 나타나지 않도록 설계·제작되어 있다.

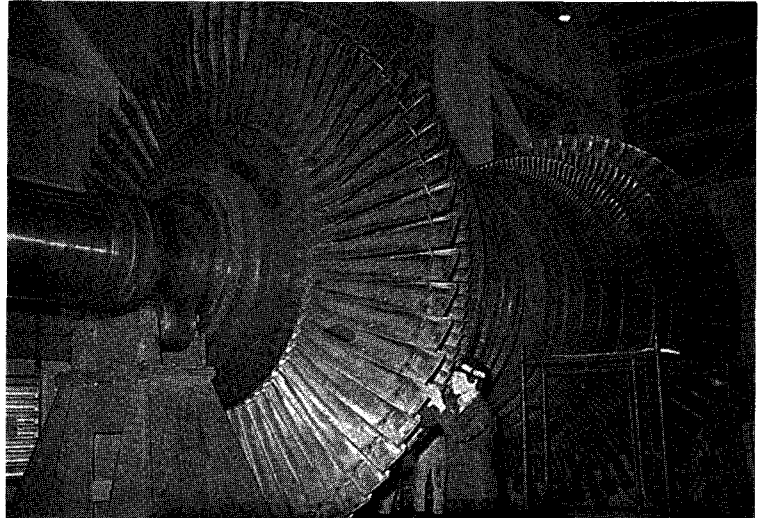
그러나 공기 압축기에서 저장 탱크로 조금씩 넘어오는 오일 성분이나 수분이 저장 탱크에 축적되므로 주기적으로 드레인할 필요가 있다. 일부 발전소에는 저장 탱크 하부에 자동 드레인 트랩이 설치되어 있어서 탱크 하부에 수분이 축적되면 자동적으로 드레인 되는 경우도 있다.

비상 디젤 발전기 기동 공기 라인 계통에 과압에 대응하는 Rupture Disc(파열판)나 Back Fire에 의한 기동 공기 저장 탱크 폭발 방지를 위한 Flame Arrest(화염 차단기)를 설치한 원자력발전소는 현재는 없으나 차기에는 설치를 고려할 필요성이 있다고 판단된다.

2. 연료유 계통

국내 원자력발전소 비상 디젤 발전기 엔진의 연료유로는 품질이 양호한 경유를 사용한다.

연료유 계통은 엔진 연속 운전 7일간 사용 가능한 용량의 연료유 저장 탱크(Fuel Oil Storage), 연료유 이송 펌프(Fuel Oil Transfer Pump),



원전 터빈 정지 점검. 원자력발전소에서 비상용으로 사용되는 디젤 엔진은 연속 운전 시간이 짧고 월간 정기 시험 시간과 계획 예방 정비 후 18개월 주기 시험 기간 외에는 대부분 비상 기동을 위한 대기 상태로 있다.

연료 일일 탱크(Fuel Oil Day Tank)로 구성되어 있으며, 운전중 일일 공급 탱크(Day Tank)의 연료가 소모되면 자동적으로 연료 이송 펌프가 운전되어 저장 탱크의 연료가 일일 공급 탱크로 이송되도록 되어 있다.

연속 운전하는 내연 발전소나 선박 엔진 연료유 시스템에서 볼 수 있는 수분 제거 및 찌꺼기를 제거하기 위한 고속 대용량의 모터 구동 청정기(Purifier)가 설치되어 있는 곳은 없다.

비상 디젤 발전기는 연속 운전하는 엔진이 아니므로 비용 효과적인 측면에서 볼 때 연료유 청정기를 별도로 설치할 필요성은 없다고 판단된다.

경유는 등유(석유) 다음의 낮은 등급의 기름이며, 통상 Diesel Fuel Oil(A 중유)로 불려진다. 경유는 일반적인

로 고속 디젤 기관의 연료유로 많이 사용되므로 그 발화성(Ignition Quality)이 중요하다. 인화점은 60°C~90°C, 비중은 0.860~0.887 정도이다.

연료유를 오랫동안 저장 탱크에 보관하게 되면 저장 탱크의 Vent Line을 통하여 대기중의 수분이 응결해서 연료유중에 혼입하기도 하고 저장 탱크 내부와 외부의 온도 변화(차이)에 의하여 탱크 내부에 수분이 응결하여 생기게 된다. 또한 연료유중에 포함되어 있던 찌꺼기·슬러지(Sludge)가 탱크 하부에 침전하게 된다.

이러한 수분과 찌꺼기를 주기적으로 배출해야 하며, 탱크 하부의 찌꺼기를 포함한 연료유를 주기적으로 샘플 분석할 필요가 있다.

찌꺼기 중에서 엔진 운전시 가장 치명적인 영향을 주는 것이 미생물

번식에 의한 슬러지이다.

이 미생물질 슬러지는 디젤 엔진 연료유뿐만 아니라 항공기에 사용되는 제트유에도 번식하여 그 균사가 항공기 연료관이나 연료 분사 노즐을 폐쇄하여 제트기의 엔진 고장을 유발하여 추락 사고를 일으킨다는 것은 수년 전에 밝혀졌다. 그러나 선박 또는 육상에서 사용하는 디젤 연료유 중에서 경유(A중유)에 번식하는 미생물의 장해는 최근에 와서 밝혀졌다.

연료유 중의 곰팡이는 주로 포자가 발아해서 균사로 발육하고 이들이 응집해서 균사체로 된다. 이들 균사는 나뉘어지면서 가지를 치고 그 가지의 선단에 포자를 양성시켜서 번식한다.

균사는 열에 대하여 약하므로 100°C로 수시간 가열하면 사멸되나 포자는 내열성이라 120°C까지 가열하여도 죽지 않는 것이 있다.

경유(A중유)는 높은 온도로 가열하기가 곤란하므로 한번 곰팡이가 번식하기 시작하면 연료유 탱크를 화학약품 청소하고 새 연료유로 교체하여 저장 탱크를 채우는 일 외에는 뚜렷한 대책이 없다.

또한 새로운 연료유로 탱크를 채웠어도 이전의 곰팡이 포자가 하나라도 남아 있으면 다시 급격히 번식하여 연료유를 사용 불가능하게 하므로 주의해야 한다.

내연 발전소나 대형 선박용에 연료유로 사용되는 저질유인 중유(Bunker C Oil : Heavy Fuel Oil

이라고도 함)는 엔진 입구에서 가열 히터를 이용, 120°C~130°C로 가열하여 사용하므로 균사가 죽게 되어 우려할 필요는 없다.

또한 모터 구동에 의해 고속으로 회전하는 연료유 퓨리파이어(오일 청정기)를 이용하여 저장 탱크의 중유를 계속하여 80°C~90°C로 가열 청정, 순환시키므로 곰팡이 균사가 번식하기 힘든 구조로 되어 있다.

이와는 대조적으로 경유는 인화점이 낮으므로 높은 온도로 가열하기가 곤란하다. 경유를 사용하는 원자력발전소 EDG 연료유 저장 탱크에서도 적절한 조건만 제공되면 곰팡이가 번식할 가능성은 있으므로 이런 조건을 사전에 차단할 필요가 있다.

연료유 중에 서식하는 곰팡이의 영양원은 연료중의 탄소와 수소 등이고 산소는 연료유 중에 포함된 수분과 탄산 가스에서 공급받는다.

이 연료유 곰팡이의 최적 생활 환경은 pH 4~6, 온도 20°C~40°C이므로 약산성의 디젤 연료유 중에 잘 번식함을 알 수 있다.

따라서 연료유 저장 탱크의 하부에 침전되는 수분은 주기적으로 드레인하여 제거할 필요가 있으며, 저장 탱크의 연료유 pH 변화 여부를 점검할 필요가 있다.

저장 탱크의 연료유에서 곰팡이가 한번 기생하기 시작하면 기름과 물의 경계면에서 발육하기 시작해서 온도·수분 등이 적당하면 단시간에 크

게 번식하고 큰 덩어리의 슬러지로 급속히 성장된다.

이 슬러지는 엔진 운전중 연료 분사 계통에 장애를 초래하여 엔진 Hunting 유발, 실린더간 배기 가스 온도 편차를 발생하게 하기도 하고 연료유 필터를 순식간에 폐쇄해서 디젤 엔진을 정지시킨다.

또한 정상적으로 잘 운전되던 엔진이 순간적인 연료유 압력 저하로 갑자기 정지하여 엔진 담당자가 그 원인 파악에 당황하도록 하기도 한다.

또 디젤 연료유에서 발육하는 미생물에는 곰팡이 이외에 박테리아도 있으나 아직 이로 인한 영향은 확실하게 밝혀지지 않았다.

디젤 연료유에 곰팡이가 침입하는 경로는 정확히 밝혀지지는 않았지만 곰팡이 포자가 대기의 공기중에 떠다니다가 육상의 대형 저장 탱크에 설치된 Air Vent Pipe를 통하여 침입하여 곰팡이 포자가 발아·번식해서 저장 탱크를 오염시키며 여기서 오염된 연료유가 디젤 엔진 소유자에게 배달되는 것으로 추정하고 있다.

최근에는 이 곰팡이 생성을 저지하기 위해 억제제인 Destol-F와 같은 화학 약제를 첨가해서 곰팡이의 생육을 억제하기도 한다.

이러한 이유로 비상 디젤 발전기 연료유도 주기적으로 저장 탱크 하부에서 샘플을 취하여 pH·수분·미생물질 슬러지의 함량 유무 검사를 할 필요가 있다.

3. 윤활유 계통

국내 각 원자력발전소 비상 디젤 발전기의 윤활유 계통은 엔진의 형식에 따라 각각의 특징을 갖고 있으므로 개략적으로 간단히 설명하기로 한다.

엔진 윤활유는 역할에 따라 동일한 엔진에서도 명칭을 다르게 부르기도 한다. 메인 베어링과 커넥팅로드 베어링·캠샤프트 베어링·기어트레인 등을 윤활시키는 윤활유를 시스템 오일(System Oil)이라고 하며, 로커암 베어링 및 실린더 헤드 상부의 부속 기기만을 별도로 윤활하기 위해서 별도의 윤활유 탱크와 순환 펌프 필터로 구성된 윤활유 시스템을 로커암 오일(Rocker Arm Oil)이라고 부르기도 한다. 또한 터보차저의 베어링 윤활 방식도 엔진의 시스템 오일을 사용하는 형식과 자체 윤활(Self Lubrication) 하는 형식으로 구분된다.

국내 원자력발전소의 비상 디젤 엔진의 윤활 형식은 제작사에 따라서 각각 여러 가지 형식이 사용되고 있으므로 여기서는 각 윤활 형식의 특징만 간략히 설명한다.

일반적으로 실린더 오일이라는 명칭은 2행정 대형 저속 엔진에서만 사용되는 용어이며 4행정 트렁크형 엔진에서는 사용하지 않는다.

엔진의 시스템 오일만으로 메인 베어링 및 캠축 베어링·터보차저 베어링과 로커암 베어링 모두를 윤활하는 형식의 엔진에서는 윤활유의 오염이 빠르게 된다.

그 이유는 엔진 운전중 실린더 내부에서 형성된 연소 가스의 일부가 흡·배기 밸브의 스템을 따라 실린더 헤드 상부로 누설하여 윤활유를 오염시키기 때문이다.

또한 터보차저는 20,000RPM 정도의 고속 회전체이므로 베어링이 윤활유의 품질에 영향을 많이 받게 되어 이런 형식의 엔진에서는 윤활유 화학 성분에 주의를 하여야 한다.

엔진의 시스템 오일과 별도로 구별되어 로커암 오일 시스템이 구성되어 있는 엔진은 시스템 오일보다 일반적으로 빨리 엔진 연소 가스에 의해서 오염되는 로커암 오일만 교체하면 엔진 윤활유의 상태를 항상 깨끗한 상태로 유지할 수 있는 장점이 있다.

또한 자체 윤활 형식의 터보차저를 채택한 엔진이라면 터보차저 베어링 윤활유를 별도의 고급유인 터빈유를 사용함으로써 터보차저 베어링의 수명을 장기간 유지할 수 있는 장점이 있다.

최근에는 운전 및 정비의 용이성으로 인하여 거의 모든 엔진 제작사가 자체 윤활 형식(Self Lubrication Type)의 터보차저를 사용하고 있으며, 엔진 시스템 오일로서 터보차저 베어링을 윤활하는 플레인(Plain)형식 베어링은 구형 엔진에서나 간혹 볼 수 있다.

국내의 오래된 원자력발전소 비상 디젤 발전기에서도 터보차저가 플레인 베어링 형식으로 제작되어 있고

엔진 시스템 오일로 터보차저 베어링을 윤활하는 형식의 구형 엔진을 볼 수 있으나 선박에서는 20여년 전부터 대부분 볼 베어링 형식의 자체 윤활 터보차저가 설치되어 사용되고 있다.

4. 냉각수 계통

국내 원자력발전소 비상 디젤 엔진의 자켓 냉각수 계통은 엔진의 제작사에 따라서 약간의 차이가 있으나 대부분 유사하다.

다만 울진 1·2호기, 영광 3·4호기에 설치된 SACM 엔진에서만 HT(고온) 냉각수·LT(저온) 냉각수로 구분되어 있으며, 모든 비상 디젤 엔진의 온도 제어 시스템이 Power Element를 이용하여 냉각수를 Cooler로 보내거나 By Pass시키는 원리는 거의 비슷하다.

선박에서 사용하는 Pid 제어에 의해 조정되는 콘트롤 밸브 형식을 이용, 냉각수 온도를 조절하는 형식의 비상 디젤 엔진은 없다.

엔진 냉각수로는 탈이온화된 물이나 증류수를 냉각수로 사용해야 하며, 계통 내에서 부식이나 냉각수 순환에 의한 주요 부품의 침식·화학작용이 일어나는지를 감시하기 위하여 주기적으로 냉각수 화학 성분 분석이 필요하다.

이는 엔진의 냉각수 계통은 완전 밀폐 순환식으로 구성되어 있는 것이 아니고 운전중 온도의 변화를 흡수하고 계통 내 용존 산소(공기) 배출을

하기 위해 팽창 탱크 상부에 Vent Line이 설치되어 냉각수가 대기 공기와 접촉하는 개방식으로 구성되어 있기 때문이다.

엔진 냉각수 계통에 있어서 부식의 가장 큰 요인은 용해염(Cl^{-1} 이온)이다.

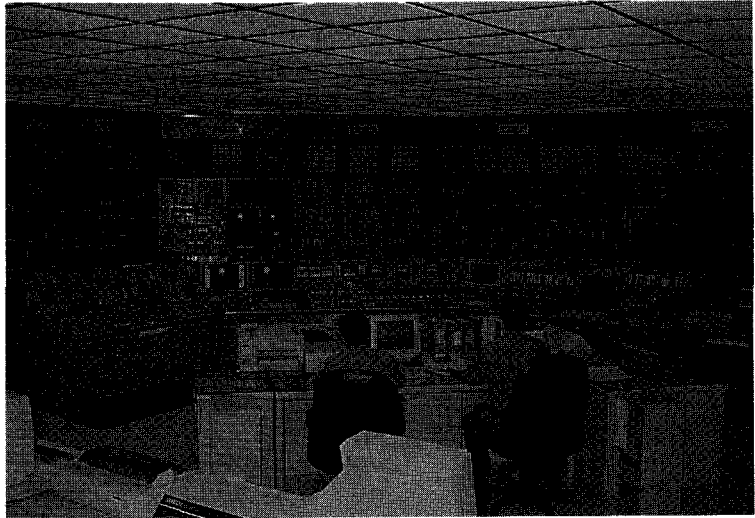
이 용해염 이온은 냉각수 관리시만 아니라 엔진 윤활유 관리시에도 주의해서 관찰해야 한다.

그리고 부식성을 결정하는 요인은 pH가 · 전기 전도율 · M-base Value · 암모니아기이다.

칼슘이나 마그네슘 성분은 실린더 헤드 · 라이너 등의 고온 냉각 부위에 스케일링 형성으로 냉각을 방해하여 엔진 크랙파손을 유발하는 원인이 되고 결과적으로 엔진의 정비 주기 및 수명을 단축시킨다.

엔진 냉각수 중의 SiO_2 · Mn · Fe 등의 요소도 스케일을 형성하는 주요 인이며 암모니아 생성물은 냉각 기관에 부식을 유발하므로 주의를 요한다.

처음 엔진에 고 · 저온 냉각수를 보충할 때 엔진 냉각수로 이온 성분이 철저히 제거된 Demi Water를 사용하더라도 냉각수 계통은 엔진이 운전되어 온도가 상승하면 부피가 증가하고 온도가 낮아지면 부피가 줄어들게 되며, 줄어든 만큼의 부피에 해당하는 대기 공기의 양이 냉각수 계통의 호흡기와 같은 역할을 하는 Vent Line을 통하여 팽창 탱크 내부로 들어오게 되므로, 개방된 팽창 탱크의



원전 주재어실. 현재 대부분의 원자력발전소에서의 비상 디젤 발전기 정비 주기는 피스톤이나 실린더 헤드 · 실린더 라이너 · 피스톤링 · 커넥팅로드 · 흡 · 배기 밸브 · Roker Arm Ass'y 등 엔진 내부의 주요 부품에 대한 분해 · 점검 주기가 10년으로 설정되어 있다.

Vent Line으로 대기중의 염분이나 미량의 화학 성분 · 먼지 등이 침입할 수 있다.

또한 계통을 순환하는 냉각수 유속에 의한 펌프, 파이프 라인 등의 침식에 의해서 내부에 도금한 성분이 벗겨져서 냉각수에 섞이게 되고 각종 금속 성분(불순물)이 발생될 수 있다.

그러므로 초기에 엔진 냉각수 보충시 탈이온화된 순수 혹은 증류수를 보충하였다고 해서 엔진 냉각수 화학 성분 · 침전물 존재 여부를 계속하여 감시하지 않는다면 엔진의 양호한 관리 측면에서 바람직하지 않은 방법이다.

예측 정비를 위한 최적의 방법은 엔진 냉각수 수질, 윤활유 화학 성분 분석, 마모 입자의 존재 여부를 파악하는 것이기 때문이다.

특히 원자력발전소의 위치가 해안

가에 위치하고 있으므로 해수 증발시 대기중에 섞인 염분 성분이 고 · 저온 냉각수 팽창 탱크의 Vent Line을 통하여 EDG 엔진 자켓 냉각수에 섞여 들어왔는지를 주기적으로 감시할 필요가 있다.

5. 엔진 본체

국내의 모든 원자력발전소의 비상 디젤 엔진은 V-Type 트렁크 피스톤 형식의 엔진이 사용되고 있으며, 엔진 내부의 커넥팅 로드 조립 형식에서 엔진 제작사마다 특징이 있다.

커넥팅 로드의 형태가 마스터 로드와 슬레이브 로드로 두 피스톤이 V 형태를 이루며 조립되어 커넥팅 로드 대단부가 일체로 큰 형태를 이루어 하나의 크랭크 핀에 조립되어 있는 엔진과 V 형태로 되어 있지만, 크랭

크 편에 마주보는 피스톤의 커넥팅 로드의 대단부가 각각 별도로 독립적으로 조립된 형식의 엔진이 사용되고 있다.

전자에 속하는 비상 디젤 엔진들은 영광 1·2호기, 고리 3·4호기의 Cooper사 엔진 및 울진 1·2호기, 영광 3·4호기의 SACM 엔진이고, 후자에 속하는 엔진들은 월성 1·2·3·4호기의 예비 발전기 및 울진 3·4호기의 비상 디젤 발전기인 SEMT PIELSTIC 엔진이다.

국내 원자력발전소에서 사용되는 비상 디젤 발전기 중에서도 SEMT PIELSTIC 엔진은 선박용 엔진에서 처럼 Indicator Cock(Test Cock)이나 Cylinder Head Safety Valve를 갖추고 있어 운전중 Pmax 측정이나 실린더 헤드 내부의 순간적인 이상 과압 형성에 대응할 수 있도록 제작되었다.

4. 성능 감시 시스템

국내에서는 울진 원자력 3·4호기 비상 디젤 발전기부터 성능 감시 시스템이 적용되고 있다.

점점 변수의 일부는 On-Line으로, 일부는 Off-Line으로 입력되어 상호 비교함으로써 엔진의 상태 감시를 쉽게 할 수 있게 설비가 갖추어져 있다.

디젤 엔진 성능 감시 시스템은 그 필요성에 의해서 점차 많이 사용될 것으로 판단되며 앞으로 다양한 방법으로 연구·개발되어 발전할 것으로

예상된다.

최근에는 엔진 실린더 헤드 내부에 초음파 감지기(센서)를 부착하여 운전중 실린더 내부에서 연료가 연소 폭발하는 폭발음이 음파 감지 센서에 전달하는 신호의 크기를 압력으로 계산 환산하여 실린더 내부의 운전중 최고 폭발 압력(Pmax)을 On-Line으로 측정하는 연구가 선진국의 엔진 제작사에서 경쟁적으로 진행되고 있다.

이 방법이 성공할 경우에는 운전중 엔진 담당자가 예측 정비를 위해 주기적으로 최고 폭발 압력 측정기를 실린더의 Indicator Cock에 연결하여 각 실린더별 최고 폭발 압력을 일일이 측정해야 하는 불편한 작업을 하지 않아도 될 것이고, 이 기술을 중형 및 대형 디젤 엔진 뿐만 아니라 운전중 규칙적인 소음을 발생하는 여러 기기의 성능 감시를 On-Line으로 할 수 있을 것으로 추정되며, 운전중인 기기의 상태 변화 및 이상 유무를 사전에 감지할 수 있어 예측 정비 방법에 일대 혁신을 가져올 것으로 판단된다.

결론

원자력발전소의 비상 디젤 엔진이나 선박용으로 사용되는 디젤 엔진은 동일한 종류이지만 단지 엔진이 어디에 설치되어 어떤 기능으로 사용되는 가에서 차이가 있을 뿐이다. 따라서 기본적인 엔진 정비 방법이나 관리

방법에서는 큰 차이가 있을 수 없다.

디젤 엔진으로만 비교한다면 원자력발전소에 설치되어 있는 비상 디젤 발전기 엔진에 적용되는 기술보다는 선박 주추진 엔진에서 적용되는 기술의 개발 및 실제 응용 속도가 더 앞서고 있다. 그 이유는 중형·대형 디젤 엔진의 사용 주체가 선박인 것도 있지만 신기술의 순환 주기가 선박이 더 짧은 이유도 있다.

선박용으로 제작된 중형 및 대형 디젤 엔진은 자동차에 사용되는 소형 엔진과는 달라서 한번 설치된 후에 그 부계통의 구조를 변경하는 것이 쉽지 않은 일이므로 그러한 엔진을 내연 발전소나 육상용 비상 디젤 발전기로 설치할 경우는 여러 엔진 제작사가 제시하는 저렴한 가격보다는, 비용이 더 필요하다더라도 엔진에 부속된 각종 안전 설비, 중요 부품의 내구성, 제작시 사용된 재질, 정비의 용이성, 운전의 편리성, 성능 감시(진단) 시스템의 구축 여부 등을 잘 고려하여 적절한 디젤 엔진을 선택하여야 할 것으로 판단된다.

컴퓨터를 이용한 중형 및 대형 디젤 엔진의 성능 감시 시스템 및 자기진단 프로그램은 80년대 중반부터 선박(상선)의 주추진 엔진에서는 점차 실용화되기 시작했으나, 최근에 비로소 국내 원자력발전소 비상 디젤 발전기에 이 기술이 응용되기 시작하고 있으며, 응용 분야가 점차 타산업 분야로 확대될 것으로 판단된다. ☞