

내연기관의 손해 예방

김 동 일
(위험관리부 과장)

다양한 분야에서 원동기로 사용되고 있는 디젤 기관은 세계 어느 곳이나 눈에 띄게 많다. 이는 디젤 기관이 신뢰성, 견고성 및 효율성 등에서 우수하기 때문이다. 디젤 기관에는 2사이클과 4사이클의 것이 있으며 각각 트렁크 피스톤형과 크로스 헤드형의 것이 있다. 그러나 일반적으로는 4사이클 기관은 트렁크 피스톤형이고, 대형 2사이클 기관은 크로스 헤드형이다.

디젤 기관은 대개 입형 실린더로 설계되어 있다. 차량 또는 케도 차량용으로는 Under Floor Engine이라고 하는 횡형 디젤 기관이 사용되고 있으나 이 타입의 결점은 큰 바닥 면적을 필요로 하고 또, 한쪽 방향으로 편중된 마모가 생긴다.

다음에 나타내는 손해 사례 및 주의 사항은 보험 회사가 가지고 있는 손해 사례를 통하여 얻은 지식과 경험을 기초로 한 것이다. 이와 같은 사례에 관한 지식은 반복되는 결함과 손해를 방지하기 위한 것이다. 경험에 의하면 손해 사례의 대다수는 예방이 가능한 것이었다. 설계 결함, 제작 결함, 조립 결함과 부적합한 재료의 사용, 잘못된 조작 혹은 불충분한 보수 등이 모두 손해의 원인이 되고 있다.

1. 손해의 통계

통계 분석 결과와 그의 간단한 설명으로서 손해 건수의 비율과 전형적인 손해 발생 개소에 대한 개요를 나타내고자 한다. 손해 사례와 손해 방지에 관한 사항은 2

장에서 설명하기로 한다.

여기에 나타나는 통계적 데이터는 1975년부터 1982년에 걸쳐 발생한 디젤 기관과 가스 기관의 손해 676건을 기초로 한 것이다. 여기에서의 분석 대상은 사고의 원인과 경과가 명백한 것으로서 원인 불명의 손해 사례는 제외되었다.

〈표1〉은 내연 기관의 사용 분야와 사용 방법에 따라 분류한 손해 원인의 조사 결과이다. 토공 기계에 사용된 디젤 기관의 손해 351건을 예로 들면 이 종류의 기계에 사용되고 있는 엔진이 여타 선박 혹은 철도 차량의 것에 비하여 보험 가입 건수가 많은 것이지만 손해율이 높다는 것은 아니므로 이의 비교는 의미가 없음을 밝혀 둔다.

보험에 가입되어 있는 건설 현장용의 차량은 주로 덤프 트럭, 트럭 믹서와 이동식 콘크리트 펌프 등이다.

〈표2〉는 내연 기관이 주로 손해를 입은 부품별로 정리한 것이다. 이 표에서 주의하여야 할 것은 분석의 대상이 되는 거의 전부가 복수의 부품이 손해를 입었으며, 또 이들 부품은 최초로 손해가 발생한 것뿐만이 아님을 밝힌다.

〈표2〉는 전체의 손해 사례 가운데 50%가 엔진의 운동 부분

〈표1〉 내연 기관에서 발생한 손해의 사용 분야별 분류

| 사용분야 | 건수 | 비율(%) | 사용분야 | 건수 | 비율(%) |
|----------|-----|-------|--------|-----|-------|
| 토공 기계 | 351 | 51.9 | 철도 차량 | 32 | 4.8 |
| 발전 설비 | 95 | 14.0 | 압축기·펌프 | 18 | 2.7 |
| 선박 | 67 | 9.9 | 기타 | 14 | 2.1 |
| 건설 현장 차량 | 54 | 8.0 | 합 계 | 676 | 100 |
| 포크 리프트 | 45 | 6.6 | | | |

〈표2〉 주요 손해 발생 개소

| 손해 발생 개소 | 건수 | 비율(%) | 손해 발생 개소 | 건수 | 비율(%) |
|-------------------------|-----|-------|---------------|-------|-------|
| Piston & Connecting Rod | 316 | 24.1 | Cylinder Head | 100 | 7.6 |
| Crank Shaft | 217 | 16.5 | Timing Gear | 76 | 5.8 |
| Cylinder Liner | 211 | 16.1 | 기타 | 71 | 5.4 |
| Bearing | 195 | 14.9 | 합 계 | 1,312 | 100 |
| Housing | 126 | 9.6 | | | |

(표3) 손해의 1차 원인

| 손해의 1차 원인 | 건수 | 비율(%) | 손해의 1차 원인 | 건수 | 비율(%) |
|----------------|-----|-------|----------------|-----|-------|
| ■ 제품 결함 | 146 | 21.6 | ■ 운전 결함 | 445 | 65.8 |
| - 설계 결함 | 39 | 5.8 | - 보수 불량 | 270 | 39.9 |
| - 조립 결함 | 37 | 5.6 | - 잘못된 조작 | 175 | 25.9 |
| - 재료 결함 | 28 | 4.1 | ■ 외래 요인 | 85 | 12.6 |
| - 부적절한 수리, 오버홀 | 22 | 3.2 | - 이물질 | 44 | 6.5 |
| - 제품 결함 | 20 | 2.9 | - 종업원의 과과 행위 등 | 41 | 6.1 |

(표4) 손해 발생시의 부대 상황

| 손해의 2차 원인 | 비율(%) | 손해의 2차 원인 | 비율(%) |
|-----------|-------|---------------|-------|
| 윤활유 부족 | 31.6 | 유류 드레인 장치의 고장 | 5.6 |
| 냉각수 부족 | 26.1 | 연소 공기 입구의 고장 | 4.4 |
| 물의 침투 | 13.2 | 성애 | 3.5 |
| 이완 | 6.3 | 기타 | 9.3 |

(Piston, Connecting Rod, Crank Shaft) 및 Cylinder Liner의 손해임을 나타내고 있다.

Crank Case의 손해는 피스톤의 소부(燒付)의 결과로서 예를 들면, 과손된 Connecting Rod와 그 밖의 이완된 부품이 케이싱의 벽을 뚫는 경우에 자주 발생한다.

〈표3〉은 손해의 1차 원인의 개요이다. 이 표는 제품 결함, 운전 결함 및 외래 요인에 의한 것으로 분류된 1차 원인을 나타내고 있다. 설계 결함이 제품 결함의 대부분을 차지하고 있고, 조립 결함과 재료 결함에 의한 손해가 그 다음의 순이다.

운전 결함의 원인이 되는 보수 불량과 잘못된 조작은 과거 수년간에 걸쳐 다소 감소하여 가고 있지만 약 66%라고 하는 이 수치는 대단히 높은 것이다.

보험 회사의 입장으로 보면 이와 같은 사실에서 결론을 낼 수 있는 것은 운전 요원 및 보수 요원의 지식 혹은 문제에 대응하는 방법에 아직 개선의 여지가 있는

것은 아닌가 라고 말할 것이다.

최종적으로 손해를 일으킨 부대 상황을 〈표4〉에 나타낸다.

전체 손해 사례 가운데 약 1/3은 윤활유 부족이 손해의 2차 원인 즉, 손해의 1차 원인의 결과였다. 윤활유 부족과 냉각수 부족의 양자를 더하면 손해 원인의 50% 이상의 비율이 된다. 손해 원인의 40%를 점유하는 것으로 〈표3〉에 나타내고 있는 부정확 또는 부적당한 보수는 주로 오일과 냉각수 레벨의 체크가 불규칙적이었기 때문에 생긴 것이다. 동시에 과도한 윤활유 소비와 냉각수 소비의 원인이 반드시 조사되어 있지 않은 것을 나타내고 있다.

2. 제품 결함에 의한 손해 예방

가. 계획과 설계

계획 단계에서 장래의 사용 목적에 필요한 제반 조건과 구상을 확실히 적합하게 해두면 기본적인 결함과 그 결과로 발생하는 손해의 방지가 가능하다. 즉, 노상 주

행 차량, 선박 혹은 철도 차량용 장치 기계(발전기·펌프 등)의 구동용, 단속적으로 사용되는 기계(건설 기계·굴삭 기계 등)의 구동용 등의 사용 분야에 따라 위의 주요 조건 및 2차적 조건을 고려해야 하고 더불어 엔진 설계 최적화의 조사 연구를 실시하는 것이 필요하다.

문제점이나 영향 요인에 관한 정보를 고려하여 결정하여야 할 조건을 열거하면 다음과 같다.

① Space의 필요 조건(길이, 높이, 접근성)

② 중량

③ 엔진의 타입(Trunk Piston형 혹은 Cross Head형; Trunk Piston형의 엔진에 중질유를 사용하는 것은 윤활유를 선정하여 윤활유 관리를 검토하는데 있어 고려하여야 한다.)

④ 사용 방법(단시간 사용, 연속 사용, Peak Load 사용 여부)

⑤ 사용 조건(가동률, 적응성, 과부하 용량)

⑥ 작동 방식(과급형 및 무과급형의 2사이클 혹은 4사이클; 2사이클 기관은 보다 큰 열용력이 발생하기 때문에 고가인 냉각 시스템을 필요로 한다.)

⑦ 조속기(調速機)의 형식과 작동(다른 억제 대상, 예를 들면 선박용 기관-회전 속도, 건설 기계-Torque, 발전기-일정 회전 속도, 회전 변동도)

⑧ 냉각 방식(수냉, 공냉)

⑨ 환경 조건(기상 조건, 응축수, 동결 위험, 고도, 대기압, 과급, 장소, Dust Filter, 공기세정 장치, 방식)

⑩ 보수(인원, 자동화, 용장성, 수리의 용이성, 점검 정비)

⑪ 환경 보호(소음 방지와 배출 가스의 억제)

다수의 손해 사례에서 얻은 경험에 의하면 구조의 Weak Point가 있을 때 자주 파괴되는 일이다. Cylinder Head와 Piston은 큰 동응력(動應力)과 열응력을 받는 기계 부품이다. 설계자가 국부적인 재료 집중을 최소한으로 억제하여야 할 이유가 그것이다. 왜냐하면 이와 같은 집중이 생긴 경우에는 불충분한 냉각과 억제할 수 없는 재료의 열팽창 때문에 좋지 않은 결과를 초래하기 때문이다.

냉각실 내의 흐름을 적절한 상태로 하는 것을 설계 단계에서 특히 고려할 필요가 있다. 이 점이 불비하면 Cavitation을 일으키고, 냉각되어 있는 기계 부품에 손해를 발생시킬 수 있다.

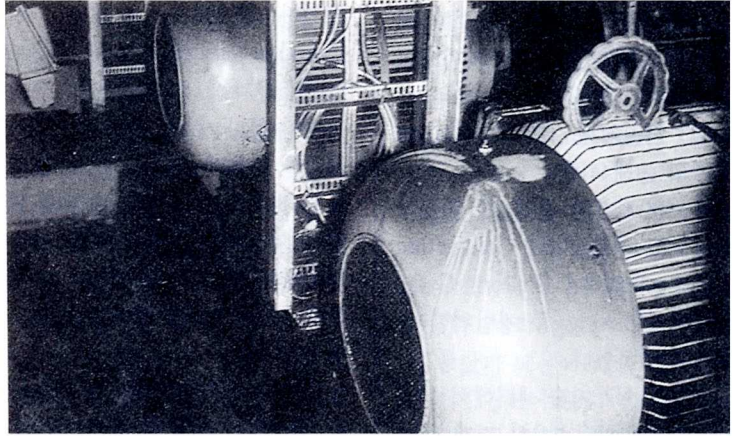
또 고정 부품 및 가동 부품의 어느 것도 그 단면적에 급격한 변화가 있으면 손해가 발생한다. 코너부의 라운드 반경은 DIN 250에 준거하여 정하여야 한다.

기타의 예방 대책은 표준화되어 있으나 위험 개소의 회피 혹은 이경(異徑, Taper) 부품을 사용하는 일이다.

설계자가 고려하여야 할 중요한 점은 보수를 필요로 하는 모든 장소에 접근할 수 있도록 하는 것이다. 접근 방법이 없으면 보수 작업이 생략될 우려가 있기 때문이다.

(1) 발전용 디젤 기관의 손해 사례

고도가 2,500m를 넘는 케이블카의 정상부의 역에 디젤 기관



(370kW, 1,500rpm)이 1기 설치되었다. 이 엔진은 공사 기간중은 산상 호텔과 공사중인 역에 전력을 공급하고, 공사 완성 후 전력 회사로부터의 송전이 될 때부터는 비상용 발전 장치로 사용하도록 되어 있었다.

570시간이 채 안되는 운전 후 엔진은 동절기에 피스톤의 소부에 의하여 심한 1차 손해가 발생하여 광범위한 2차 손해를 일으켰다. 4개의 피스톤과 이것과 연결되어 있는 Connecting Rod가 완전히 파손되었다.

엔진의 Housing은 수개소에서 파손되어 교환하여야만 했다.

Crank Shaft의 손상을 연삭으로 제거하고, 각 부분을 체크한 후 재사용하였다. 손해 원인을 조사한 결과 다음과 같은 것을 알게 되었다.

즉, 정상부의 역에서는 때때로 주위 온도가 대단히 낮아지는 것을 고려하여 메이커는 냉각수 및 윤활유의 전기식 예열기를 엔진에 부착하였다. 그러나 공사 기간중 발전에 사용할 수 있는 설비는 이 엔진뿐으로서, 예열기용으로 사용

할 수 있는 기타의 전원이 없기 때문에 엔진의 운전이 정지하고 있을 때에는 예열이 전혀 될 수 없었다. 긴 시간의 운전 정지 기간 후 엔진을 기동할 때 냉각수와 윤활유는 모두 실외 온도까지 내려가 있다.

사용자(User)의 설명에 의하면 엔진은 (급기)압축기의 중간 냉각기가 동결된 상태에서 기동되었다. 계획 단계의 중대한 실수 때문에 이 손해의 수리를 위하여 48,000마르크가 소요되었다. 예로, 축전지 혹은 유가열기 등의 별도 에너지원을 사용한 엔진 예열의 필요성이 간과되었다.

(2) 선박 추진용 디젤 기관의 손해 사례

내해 항로 선박 추진용 250kW 디젤 기관에서 Cam Shaft 고정용 6각 볼트가 이완되었다. 여러 개의 밸브가 열린채 Cam Shaft가 돌연 정지하였기 때문에 모든 피스톤에 손해가 발생하였다. 그 결과 Cylinder Liner와 주 베어링 및 Connecting Rod의 베어링에도 손해가 발생하였다. 손해를 조사한 결과 설계시에 나사 고정 장

차 부품을 부착하지 않은 것이 나타났다. 수리비는 25,000마르크였다.

(3) 항공기용 Piston Engine의 손해 사례

약 400시간의 운전 후 항공기용 Piston Engine의 Connecting Rod가 파손되어 Piston, Cylinder 및 Housing 등 광범위한 손해가 발생하였다.

ALLIANZ 기술 센터에서 Connecting Rod를 조사한 결과 Connecting Rod는 동용력 때문에 파손된 것이 밝혀졌고, 재료의 단면적인 가장 작은 곳에서 파단되었는데 Connecting Rod 내부 구멍의 크롬 퇴적 장소로부터 발생하여 있었다. 이와 같은 크롬 퇴적물(저온 용접)은 강성(剛性)이 불충분하기 때문에 베어링과 Connecting Rod와의 사이에 생긴 상대적인 움직임에 의해 일어난 것으로 추측된다.

나. 제작과 조립

단면적인 변화가 있는 부분에서, 표면에 지정되어 있는 코너부의 라운딩을 작게 하는 것은 금물이다. 단면적에 변화가 있는 부분의 표면 다듬질은 공구 자국, 미끄럼 홈, 패인 곳 등이 조금이라도 있으면 국부적인 응력 집중을 발생하여 균열의 발생과 피로에 의한 파괴를 초래하게 되므로 특히 주의가 필요하다.

담금질을 포함하여 부적절한 열처리도 가공 부품에 응력을 유발하여 균열 또는 파단의 원인이 되는 일이다. 이런 종류의 결함은 주로 Crank Shaft에서 볼 수 있다. 주로 부품에서는 주물사의

제거가 중요하다. 이것은 특히 Cylinder Head와 같은 중공부(中空部)가 있는 부품에서 유의하여야 한다. 이들 잔존 주물사가 배관을 막히게 하기도 하고, 열전도를 방해하는데 따라 손해의 원인이 되는 일이다. 이와 같은 경우에는 마모가 증대하여 그 때문에 내용 연수가 짧아지는 것도 예상된다.

손해를 받은 엔진을 재 기동하는 경우에는 기동에 앞서 냉각수 회로와 유배관의 물과 기름을 제거한 후에 철저한 청소가 필요하다. 그 후 새로운 (혹은 청정화한) 물과 기름의 적정량을 엔진에 재 충전하여야 한다.

엔진은 운전중의 진동으로 부품을 파손시키는 일이다. 예를 들면 Housing에 고정되어 있는 배관과 링크 기구 등의 경우가 그것이다. 따라서 배관의 취부는 세심한 주의를 기울여 설계함과 동시에 정기적인 점검을 소홀히 하여서는 안된다.

불순물과 같은 재료 결함 및 단조 결함은 부품을 가공하기에 앞서, 또는 적어도 부착하기 전에 비파괴 검사 방법 즉, 초음파·방사선·염료 침투 혹은 자분(磁粉)의 각 검사 방법에 따라 검출할 수 있다. 이런 결함은 주로 엔진의 Casing, Crank Shaft, Connecting Rod, Rock Arm과 Valve 등에서 볼 수 있다.

조립 과정에서는 가끔 부품의 취부를 빠뜨리기도 하고 혹은 바른 위치에 취부하지 않는 일이다. 이런 실수의 발생을 방지하기 위하여 조립 작업원의 훈련 강화,

체크리스트가 포함된 자세한 조립 설명서가 유용하다.

정밀 볼트 (DIN 2510)나 기타 중요한 볼트는 바르게 조정된 Torque렌치를 사용하여 조립하여야 한다. 소요 Torque는 메이커의 조립 설명서에 명시된 바에 따른다.

그 밖의 손해 원인 중의 하나로 볼트나 너트 등에 사용하는 고정용 부품을 여러 차례 반복하여 사용하는 일을 들 수 있다. 특히 고정핀, 와사와 같은 부품의 사용은 1회에 한하여야 한다. 분해한 후 이와 같은 부품은 항상 신품과 교체하여야 한다.

엔진에 들어간 이물질(용접 비드, 기름 결레 조각, 형검, 너트와 같은 것)에 의해 손해가 발생하는 일이 자주 있다.

부품의 공동부(예를 들면 Crank Case, Cylinder Head, Pipe 등)은 단기 전에 육안으로 이물질의 유무를 확인하는 일이 아주 중요하다. 직접 접할 수 없는 부분은 내시경(Borescope)을 사용할 수 있다. 또 엔진의 내부를 청소하여 이러한 이물질을 제거하는 데는 Fluxing Oil의 사용이 효과적이다.

손해 사례

토공 기계에 탑재되어 있는 200kW 디젤 기관에서 약 5,000시간 운전한 후에 갑자기 큰 소음이 발생하였다. 즉시 조사한 결과 Cylinder Liner의 하부 Sealing의 패인 부분에 균열이 발견되었다. 균열은 약 270°의 호를 그리고 있고, 한쪽으로 경사로 내려가면서 가장자리로 이어져 있었다. 확실하게 알 수 있는 4개의 흠집

이 Liner 상에 표시되고, 균열부에서는 하나로 되어 있는 것과 같이 각기 90° 정도 어긋난 위치에 있었다. 균열부를 절개하여 조사한 결과 균열은 Liner의 내면에서는 표면보다 깊게 되어 있는 것을 알 수 있었다. 이것은 진동에 의해 발생한 균열이 내부에서 외부로 성장한 것을 의미하고 있다. 균열이 시작된 부분의 반대측 Cylinder Liner에서도 패인 곳에서 초기의 균열이 있었다. Liner에 발생한 원주 방향의 균열의 가장자리가 피스톤의 손해를 일으켰다. 손해 상황에서 판단하면 Cylinder Liner의 부적절한 취부로 인하여 어긋남이 생긴 것으로 결론 지을 수 있다. 지지부의 응력이 증대하여 재료의 피로 한도를 넘어 균열이 생긴 것이다.

3. 운전 결함에 의한 손해 예방상의 주의 사항

원활한 운전으로 손해의 발생을 예방하기 위하여서는 운전원에게 충분한 교육을 실시하는 것이 중요하다. 이 점에 관하여서는 보통 때는 행하여지지 않는 운전 조건도 Simulate하여 보는 것이 필요하다. 취급 설명서는 운전원에게 전달되어야 한다.

유체에 의한 충격을 피하기 위하여서는 특히 장기간 운전을 정지한 이후에는 Indicator의 Cock를 열어 디젤 기관을 Turning할 필요가 있다. 소형 엔진의 경우에는 이를 위해 감압 Cock를 열거나, 감압 Cock가 없는 경우에는 분사 밸브를 개방한다.

기동된 후에는 될 수 있으면 운

동 부분과 엔진의 온도 상승을 균일하게 하기 위하여 엔진의 부하를 서서히 올리는 것이 필요하다.

운전중에는 압력과 온도를 정기적으로 체크하여야 한다. 고온의 엔진은 열충격에 의한 균열이 발생할 우려가 있기 때문에 압축 공기를 사용하여 기동시켜야 한다.

운전 상태는 압축 압력과 연소압, 입구 가스 온도, 성능 곡선 및 배기압과 배기 가스 분석 등에 의해 모니터할 수 있다.

이와 같은 데이터의 비교 검토에 의하여 고장이나 손해의 검지가 용이하게 된다.

광범위한 기술의 축적이 없어도 숙련된 작업원은 초기에 다음과 같은 결함을 알아낼 수 있다.

① Knock Noise는 점화 시기의 빠름 또는 지연, 과도한 베어링 틈새, 오일 공급이 안된 운전과 피스톤의 소부 등에 의해 일어나는 것이다. 단동 2사이클 기관의 경우에는 베어링 틈새가 커도 베어링의 압력이 변하지 않기 때문에 노킹은 일어나지 않는다.

② 농연(濃煙)의 배기 가스는 불완전 연소(특히 CO의 형성)를 나타내고, 배기 덕트 내에서 발화하는 일이 있다.

③ 과급기관(過級機關)에서는, 배기 가스 온도의 상승은 과급기용 중간 냉각기에 오일이 퇴적하여 일어난다. 이것과는 별개로 배기 가스 온도의 상승은 연료 분사 계통의 부품, 배기 밸브 및 제어 계통이 불량한 것을 나타내는 것이다.

손해 사례

200시간이 안되는 운전후에 내

해 항로에 사용되고 있는 선박의 디젤 기관의 Crank Shaft가 제2주베어링의 후부에서 굴절되었다. 또 몇개의 Crank Shaft Seal에 표면 균열이 있거나 파손되었다. Crank Shaft를 조사한 결과 진동에 의한 굽힘 응력이 Crank Shaft의 파단을 가져온 것으로 나타났다. 제작 결함은 전혀 나타나지 않았기 때문에 배 밑바닥에 볼트로 고정되어 있던 Crank Case에 작용한 외력이 균열의 원인이 되었다고 생각할 수 밖에 없었다.

비상용 발전장치의 운전상의 특징

비상용 발전 장치의 운전 모드가 다른 엔진의 경우와 기본적으로 다르게 되어있는 점은 다음과 같다.

- 테스트 운전과 테스트 운전 사이의 운전 휴지 시간이 길다.
- 테스트 운전 즉시 부하를 건다.
- 운전 시간이 짧다.
- 구형의 장치에는 냉각수 예열기가 없다.

따라서 비상용 발전 장치를 새롭게 설계할 경우에는 냉각수와 더불어 윤활유의 예열기를 설치하는 것이 절대 필요하다. 이것은 특히 옥외에 설치하는 장치 혹은 난방이 없는 장소에 설치되는 때에 적합하다. 기존의 장치에도 될 수 있으면 예열기를 추가 설치토록 한다. 특히 비상용 발전 장치는 급속히 회전을 올려 즉시 부하를 걸기 때문에 피스톤과 실린더 라이너 간의 틈이 작게 되고, 그 결과 피스톤의 소부를 발생시켜 고장을 잘 일으킨다. 경험에 의하면 많은 경우에 매 주간의 테스트 운전시 처음에는 비상용 발전 장치를 천천히 작동 온도로 접근해 가서 실제의 테스트 운전 자체를 목적으로 한 기동을 하기 전에 엔진을 정지시키는 것이 유리한 방법이라고 나타났다. (계속)