

소형선박 운용자의 냉각수 관리에 관한 고찰

김 영 운†
(한국해양수산연수원)

A Study on the Management of Engine Coolant in Small Fishing Vessels

Young-Un KIM†
(Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology)

Abstract

Majority of marine accidents that occur on fishing vessels are engine accidents. This comprises more than 26 % of the total annual fishing vessel marine accident cases. Large numbers of engine accidents happen in the cooling water system, which are mostly caused by negligence on regular check-up and repair. Notably, small-sized ships have higher engine accidents occurrence rate compared to medium-and large-sized ships. Based on the Report of the Korea Ship Safety Technology Authority, engine accident cases reached 3,032 out of the total 3,081 cases.

This study researches on the differences between the small-sized ship pilot, an operator of a vessel engine of less than 200 tons, and a 6th level marine engineer, in terms of the relationship between management forms and what causes the marine accidents in association with the cooling water system. It also studies and analyzes the differences in frequency of the accident occurrence between the two groups. χ^2 qualification was imposed through the SPSS statistical analysis program and it got qualified at the significance level of 5%. The research shall be utilized as one of the base line data for the reduction of marine accidents.

Key words : Marine accident, Cooling water system, small-sized ship pilot, 6th level marine engineer, Coolant

I. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

어선에서 발생하는 해양사고 중 많은 부분을 차지하는 것이 기관 손상사고로서 최근 3년간 어선 전체 해양사고의 26.1% 를 차지하고 있다.[선박안전기술공단 2015.8. 자료]

기관 손상사고 중에서 많은 부분이 냉각수 계통에서 발생하고 있는데 사고의 대부분은 냉각장치 주기적인 정비·점검 소홀로 발생한다.

특히 소형 선박은 중·대형 선박에 비해 기관의

손상사고 비율이 높는데 선박안전기술공단의 최근 자료에 따르면 2012~2014년까지 3년간의 전체 기관손상 사고 971척 중 어선에서는 90.0%, 비 어선에서는 10.0%가 발생하였다. 특히 소형 어선 총톤수 100톤 미만에서 발생한 기관손상 사고는 어선 전체 사고 3,081척 중 약 98%인 3,032척에서 발생하였다. 자료에 따르면 2014년에서 2015년 상반기에 발생한 주요 사고 154건 중 냉각장치 관련 사고는 50건으로 나타나 기관 손상 사고의 32.5%를 차지하였다.

소형 선박의 엔진은 오늘날 대부분 유압클러치

† Corresponding author : 010-3198-9369, paranajisai@naver.com

감속역전기를 가진 회전수 2,000 rpm 전·후의 고속 엔진이 주류를 이루고 있다. 이러한 엔진은 일반 육상의 상용 차량과 거의 같은 구조를 이루고 있으며 라디에이터, 조속기 및 동력전달장치의 일부 품목을 해상용으로 개조하여 사용하고 있다. 이와 같이 육상용 차량과 구조가 같은 소형 선박의 엔진은 선체를 전·후진 신속히 추진해야 하며 또 주기관의 동력을 갑판 위로 전달하여 그물을 감아올리는 사이드 드럼의 설치 등 더욱 가혹한 조건이 부가되므로 엔진에 무리한 힘이 더해져 기관사고의 발생이 잦다.

소형 선박에서 기관사고가 발생되면 기관운용자가 직접 해상에서 엔진을 분해·수리한다는 것은 전문 기술이 부족한 상태에서 매우 어려운 일정이므로 대부분의 분해·수리 작업은 육상의 정비 공장에 맡겨지게 된다.

해상에서의 기관 손상사고는 육상과 달리 해상 환경에 따라 인명 사고와 선박의 조난 등 매우 위험한 상황까지 직면할 수 있어 기관 손상사고를 예방하기 위한 지식과 기술이 더욱 절실히 요구된다. 그러나 소형 선박의 추진 기관은 중·대형 기관과 달리 기관을 보호하기 위한 여러 가지 안전장치의 설치가 부족하다. 일반적으로 주기관 속도계, 배터리 전압계, 냉각수 온도계, 윤활유 압력계, 감속역전기의 유압계 등의 계기로 감시되고 있을 정도이다. 또한 소형 어선의 어로 특성상 선박기관 운용자라도 기관실을 비워두고 갑판 또는 조타실에서 어로 작업 등을 해야 하므로 기관 고장 발생의 예측 또는 예방이 불충분하여 기관의 운전 정지 등 최악의 상태에서 기관고장을 인지하는 경우가 많다.

기관면허 소지자가 승선하지 않아도 되는 25톤 미만의 소형 어선에서는 기관운용자 즉, 선장이 선박의 운용에 대부분 시간을 할애하고 기관의 운전 특성에 대한 이해가 부족한 상태에서 무리한 엔진 사용과 장거리 조업 및 평상시 정비·점검이 소홀한 것이 해양사고의 원인으로 지적되고 있다. 한편 연안 수역을 항행구역으로 하는 총톤

수 200톤 미만의 선박에는 6급 기관사 이상의 해기사 면허를 가진 자가 선박직원으로서 기관장의 업무를 전문적으로 수행해야 하며 소형선박조종사보다 한 단계 높은 기관에 관한 지식과 기술을 요구하고 있다.

본 연구는 소형선박조종사와 6급기관사의 두 집단 간에 냉각수 장치와 관련하여 기관의 관리 형태가 해양사고를 일으키는 관계에 어떠한 차이가 있는지를 알아보고자 하였고 해양사고의 발생 빈도에 관해 두 집단 간에 유의미한 차이가 있는지를 조사 분석하였다. SPSS 통계분석 프로그램을 이용하여 χ^2 검정을 실시하였으며, 유의수준 5%에서 검정하였다. 본 연구는 해양사고 저감을 위한 하나의 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 연구 내용

본 연구를 위해 다음과 같은 연구 내용들을 설정하였다.

첫째, 국내·외 관련 자료와 해양안전심판원의 재결서를 기준으로 주로 고속기관을 사용하는 100톤 미만의 소형어선의 해난사고 중 냉각수 계통 관련 사고의 발생 현황을 조사 분석한다.

둘째, 소형선박조종사와 6급기관사들의 기관의 관리 형태를 분석하여 이것이 해난사고와 어떠한 연관성이 있는지 조사 연구한다.

셋째, 소형선박조종사와 6급기관사 간에는 해난사고 발생 빈도 및 관리 형태에서 유의미한 차이가 있는지를 통계분석 프로그램을 이용하여 조사한다.

넷째, 분석된 결과를 토대로 선원 재교육의 개선 방향을 고찰하고자 한다.

II. 실태조사 대상 및 인적사항

1. 조사 대상

조사대상은 선박직원법 규정에 따라 소형선박조종사 면허와 6급기관사 면허를 취득하고자 한

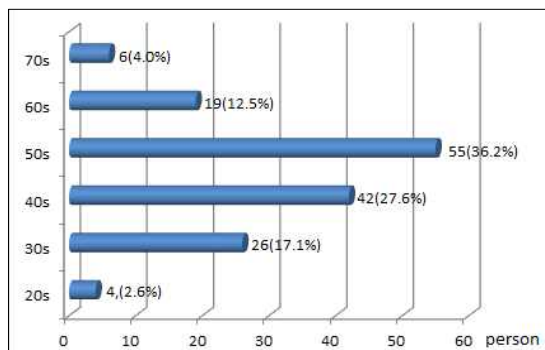
는 자를 대상으로 하였다. 2톤 이상의 선박에서 4년 이상의 승무 경력이 있는 사람으로서 소형선박조종사 자격을 취득하려는 자와 5톤 이상의 선박에서 4년 이상의 승무 경력이 있는 사람으로서 6급기관사 면허를 취득하려는 자를 대상으로 총 184명을 조사하였다. 설문조사에 응하였어도 설문 문항 중 여러 곳 누락하였거나 문항을 잘 이해하지 못한 설문지는 제외하여 최종 소형선박조종사 교육생 98명과 6급기관사 교육생 54명의 총 152명의 응답자의 설문을 본 연구에 이용하였다.

조사기간은 2015년도 1~9월 한국해양수산연수원 본원의 교육 시에 설문지를 배부 실시하였다.

2. 조사 대상자의 인적 사항

가. 연령

전체 응답자 152명에 대한 연령별 분포 상황을 보면 50대가 55명(36.2%)으로 가장 많았으며 이어서 40대 42명(27.6%), 30대 26명(17.1%) 등의 순으로 나타났다.

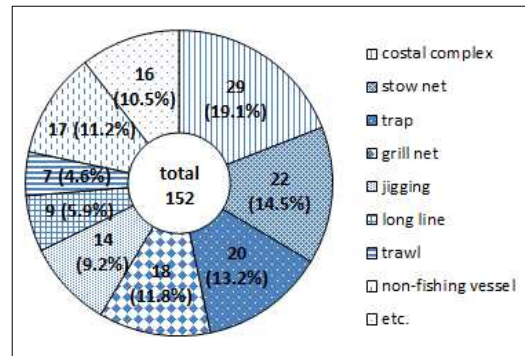


[Fig. 1] Age Groups

나. 선박의 종류

[Fig. 2]는 현재 승무하고 있거나 최근까지 종사했던 선박의 종류를 나타낸다. 두 가지 이상의 어법을 사용하는 경우 가장 어획이 활발한 한가지의 어법을 선택하도록 하였다. 어선의 종류별로는 연안복합 29명(19.1%)을 비롯하여 안강망 22명(14.5%), 통발 20명(13.2%), 자망 18명(11.8%),

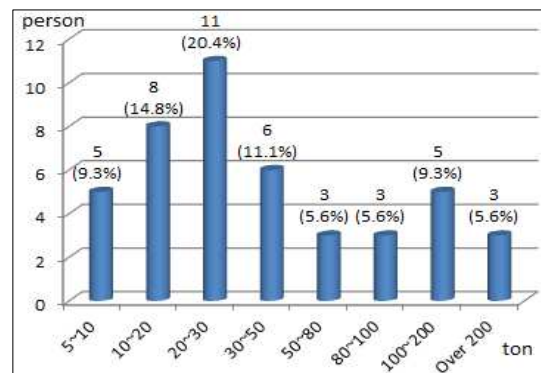
채낚기 14명(9.2%), 연승 9명(5.9%), 트롤 7명(4.6%) 등이었고 비어선으로서 유어선, 여객선, 탱커 등의 선박을 합하여 17명(11.2%), 기타 어선 16명(10.5%) 등으로 나타났다.



[Fig. 2] Kinds of Vessels

다. 배의 톤수

6급기관사가 현재 또는 최근 종사했던 선박의 크기는 어느 정도인지를 조사하였다. 5톤~10톤 미만의 선박에 종사한 응답자가 5명(9.3%), 10톤~20톤 미만 8명(14.8%), 20톤~30톤 미만 11명(20.4%), 30톤~50톤 미만 6명(11.1%), 50톤~80톤 미만 3명(5.6%), 80톤~100톤 미만 3명(5.6%), 100톤~200톤 미만 5명(9.3%), 200톤 이상 3명(5.6%)으로 나타나 5톤 이상의 다양한 크기의 선박에서 승무한 경험을 가지고 있었음을 알 수 있었다.



[Fig. 3] Tonnage of Vessel

Ⅲ. 조사 결과 및 고찰

1. 소형선박 냉각수 계통 조사

가. 청수 간접 냉각

냉각 청수는 냉각수 펌프에 의해 연속적으로 운반되면서 실린더와 실린더헤드를 지나 배기매니폴드와 같이 기관의 과열 부분을 냉각시키고 청수탱크에 저장된다. 가열되어진 냉각 청수는 열교환기를 겸한 청수탱크에서 차가운 해수에 의해 냉각된다. 이러한 방식은 옛날의 소형선박에 사용하던 실린더 해수 냉각방식에 비해 고온 냉각이 가능하고 라이너와 실린더 헤드 등에서 스케일 부착이나 해수에 의한 부식을 방지할 수 있고 또 열손실이 작으므로 오늘날 소형 고속기관에는 대부분 이 방식을 사용하고 있다.

킹스톤콕에서 해수 필터를 거쳐 냉각수 펌프로 흡입된 해수는 청수탱크 이외에도 공기냉각기와 엔진 및 역전감속기의 오일냉각기를 거쳐 선외로 방출된다. 소형어선 엔진에 널리 사용되는 해수 펌프는 고무 임펠러를 내장하여 마모가 잦고 균열 및 파손이 자주 발생하므로 적어도 3개월에 한 번씩 펌프 커버를 열어 이상 유무를 점검해야 한다. 냉각수계통 사고 중에서도 이 부분이 가장 많은 사고가 발생하며 앞서 나타난 선박안전기술공단 자료에 따르면 50척 중 28척(56%)에서 임펠러 손상으로 인한 해난사고가 발생하였다. 따라서 선내에 예비품을 한 개 이상 반드시 비치해두어 고장 시에 즉각 교환할 수 있어야 한다.

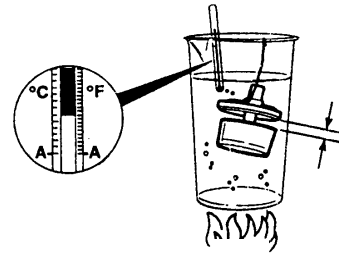
나. 자동온도조절장치(서모스탯)

소형어선 기관의 냉각수 계통에는 자동차의 엔진에서처럼 자동온도조절장치를 설치하여 기관의 냉각수 순환 온도를 일정하게 조정하고 있다. 엔진이 시동되어 냉각수 온도가 일정한 온도로 상승하기 시작하면 서모스탯은 서서히 열리고, 설정 온도로 올라간 후에는 냉각수의 전량이 냉각기 측으로 통과하여 기관 운전 중에는 냉각수 온도를 엔진취급설명서의 규정에서 정한 온도로

유지시킨다.

이 장치의 작동 점검은 [Fig. 4]와 같이 물속에 담아 온도계를 넣어 가열시키면서 적정 온도에서 밸브가 정상적으로 작동하는지를 확인하여 본다.

서모스탯의 작동 불량은 냉각수 온도에 이상을 일으켜 엔진이 과열하게 된다. 냉각수가 과열되었을 경우 곧바로 청수 탱크에 찬물을 주입하면 냉각수 계통 부품의 균열, 파손 등이 생기므로 절대로 하지 말아야 하며 이 경우, 클러치를 떼고 기관의 속도를 서서히 줄이면서 냉각수 온도를 얼마간 낮춘 뒤 기관을 정지시켜야 한다. 또, 냉각수 온도가 높아졌을 때에는 과열 경보가 울려 미리 고장에 쉽게 대처할 수 있으나, 냉각수 온도가 너무 낮은 상태에서 엔진을 오랫동안 사용하는 것도 좋지 않다.



[Fig. 4] Performance Test of Thermostat

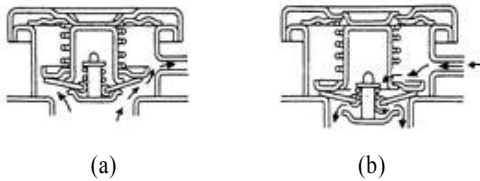
이는 저온부식을 발생시켜 라이너나 피스톤 링의 과대 마모를 가져오게 하여 윤활유 소비량이 많아지고, 또 부식이 심해져 라이너나 링의 교환 시기를 빨리 앞당기게 하여 엔진 정비 기간을 단축시키므로 장시간 이러한 상태로 운전하는 것은 좋지 않다. 그러나 최근의 전자제어엔진에서는 저속 및 저부하에서도 장기간 운전이 가능하게 되었다.

다. 가압캡

기관의 청수 계통에는 청수탱크에 가압캡이 붙어 있다. 가압캡은 냉각수의 보급과 냉각수 계통 내의 압력 조절을 행한다. 청수탱크 내의 압력이 규정 이하일 때에는 가압캡 내부의 압력밸브 및 진공밸브가 밸브스프링에 의해 각각 시트에 밀착

하여 탱크 내의 기밀을 유지시킨다.

[Fig. 5] (a)와 같이 냉각수 온도가 상승하여 탱크 내의 압력이 규정 압력(0.6 ~ 0.9kgf/cm²)이상으로 상승하면 압력밸브가 열리고 반대로 냉각수가 차가우면 부압(負壓)이 되어 (b)와 같이 진공밸브가 열려 외기(外氣)를 도입한다.



[Fig. 5] Operation of Press. and Vacuum V/V

라. 보호 아연

두 금속인 철(Fe)과 구리(Cu)가 해수 중에 있으면 전위차가 발생하여 전류가 흘러 철은 부식된다. 이때 부식되는 철보다 더 전위가 낮은 아연을 철 쪽에 접근시켜 주면 철의 부식을 방지할 수가 있다. 엔진에서는 해수에 접촉하는 부분인 윤활유냉각기, 청수탱크, 공기냉각기 등에 보호아연이 사용되고 있다.

해수는 전해액의 역할을 갖고 있지만 해역 오염의 정도에 따라서 부식 속도가 달라진다. 해수 오염이 심한 항내에 장시간 출입하는 경우에는 부식 작용이 심하므로 아연의 소모가 빨라지게 된다. 장기간 교환하지 않은 채 운항을 계속하면 부식으로 해수가 기관실로 흘러들어 기관실이 침수되는 경우도 있다.

마. 부동액

겨울에 냉각수가 어는 것을 방지하기 위해 사용하는 용액이다. 겨울에 냉각수의 온도가 빙점 이하로 내려가면 냉각 계통의 물이 얼어 체적의 약 9%가 팽창한다. 그러면 냉각수로 채워진 파이프나 실린더 등이 균열되거나 파열된다. 동결 방지를 위해서는 <Table 1>과 같이 엔진 사용 지역의 기온에 맞게 적정 농도로 물과 희석하여 사용한다.

부동액의 주원료는 동결 방지 작용을 하는 에틸렌글리콜 또는 프로필렌글리콜로서 부동액 전체 비율의 90~95%이다. 이 물질들은 비등점이 각각 197℃, 188℃에 이르므로 혼합 냉각수의 비등점을 상승시켜 준다. 농도가 너무 높으면 고부하시에 엔진 과열의 원인이 되며 또 물을 자주 보충하여 농도가 희박해지면 동결이나 성능 저하의 원인이 되므로 적당한 농도로 조절할 필요가 있다. 그 외에도 부동액에는 냉각수 계통 내부의 부식을 방지하는 방식제, 냉각효율을 높이는 소포제 등 기능을 높이는 성분이 포함되어 있다.

<Table 1> Recommended Antifreeze Concentration

| Ambient Temp.(°C) | -10 | -20 | -30 | -45 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Antifreeze Concentration (%) | 30 | 40 | 50 | 60 |

바. 첨가제

고속 엔진은 대부분 얇은 주철제 실린더 라이너를 사용하고 있는데 엔진 운전 중 캐비테이션이 발생하여 라이너 피팅을 발생시킨다.

폭발에 의한 피스톤의 수직 강하력과 연결봉의 경사 운동이 피스톤의 측압을 발생시키며 이때 실린더의 반대 측 냉각수에서는 압력이 부압이 되어 기포가 발생한다. 이 기포는 진공상태와 유사하며 라이너가 기포 쪽으로 다시 밀리는 순간 기포에 높은 충격압력이 가해져 파괴되면서 라이너의 피팅을 발생시키는 것이다. 피팅은 라이너의 세로 방향에 집중적으로 발생하는데 이것을 방지하게 되면 손상 부위는 침식과 부식이 가속화되어 결국에는 구멍이 라이너 벽을 관통하여 엔진을 정지시킨다. 또 냉각수가 윤활유 계통으로 혼입되어 엔진의 모든 회전부 및 운동부에 심각한 손상을 입히게 된다.

오늘날 대부분의 고속엔진에서는 냉각수에 액체, 고체, 분말 등 다양한 형태의 첨가제를 투입시켜줌으로서 주철제인 실린더 라이너의 금속면에 얇은 피막을 입혀 기포가 터지면서 충격력을

가해도 라이너 표면은 손상을 미치지 않는다.

2. 냉각수 계통 사고 유형 조사

시운전 당시의 기록이 있다면 더욱 좋지만 일상 운전 중에 각부의 냉각수 온도를 기록해 둔다. 만약 이상이 있을 시 이것과 비교해서 어떻게 다른지를 파악하여 그 원인을 생각해 봐야 한다. 냉각수 계통은 해수 온도의 변화에 따라 크게 영향을 받고 장시간 사용하면 냉각수 펌프의 성능 저하, 녹이나 스케일의 부착에 의한 열전도의 악화, 부식이나 이완, 균열 등에 의한 냉각수 누설, 기온 저하에 의한 동결이나 냉각수 순환이 멈춘 채 운전되어 발생하는 사고 등 넓은 범위에 걸쳐 기관 손상사고를 발생시킨다.

가. 냉각수의 과열 원인

냉각수의 과열 현상은 엔진의 과열로 이어지며 다음과 같은 원인을 들 수 있다.

(1) 조업해역 및 계절의 변화에 따른 해수 온도의 상승과 관계있고 기관실 환기가 부족하거나 특히 폭염이 내리쬐는 여름철 등에는 기관실 온도의 상승에 따른다.

(2) 과부하 운전을 하거나 봉인 해제에 의한 과부하, 프로펠러의 부하가 과대할 때 배기온도의 상승과 함께 냉각수가 과열된다.

(3) 킹스톤콕 주변에 이물질이 있어 해수 흡입구가 막혀 있거나 해수필터의 막힘, 냉각수펌프의 구동벨트가 끊어졌거나 구동벨트의 느슨함 또는 고무 임펠러의 마모나 파손에 따라 냉각수가 과열된다.

(4) 열교환기 해수측 튜브의 막힘과 스케일 부착 등에 따른 전열의 악화 및 청수 탱크내의 수위 저하를 들 수 있다.

(5) 오일쿨러 냉각수 튜브의 막힘 및 엔진 오일량 부족에 따른 주요 운동부 소착과 스커핑 발생에 따르는 윤활유 온도의 상승이 원인이 되기도 한다.

(6) 공기냉각기의 냉각수 통로의 막힘과 열전

도 악화에 따른 출력저하 및 서모스탯의 작동불량 등의 원인으로 냉각수가 과열된다.

나. 냉각수의 과열에 의한 기관 고장

이러한 냉각수의 과열에 따른 엔진에 나타나는 고장은 다음과 같다.

(1) 실린더헤드, 실린더라이너 등의 워터재킷면에 스케일 부착이 증가하여 열전도가 악화되어 균열이 생긴다.

(2) 피스톤, 라이너, 링, 배기밸브 등의 습동 간격이 작아져 팽창이나 소착 등을 야기한다.

(3) 연소불량이 되어 출력이 저하함과 동시에 검정연기가 나온다.

(4) 윤활유가 고온이 되어 유막이 끊어지고 냉각작용이 불충분하여 조기 산화한다.

(5) 실린더헤드, 실린더 등 살집이 두꺼운 부분이 복잡하게 변화하는 곳은 열팽창 차가 커서 변형이 발생한다.

다. 부식이나 균열에 의한 냉각수 누설

부식이나 균열에 의한 냉각수 누설의 원인은 다음과 같다.

(1) 실린더라이너 외주의 피팅

엔진 폭발에 의한 실린더라이너의 빠른 진동에 따른 캐비테이션 현상이 발생하기 쉽고 발견이 늦어지면 실린더 내에 냉각수가 누설하여 워터해머 사고가 일어난다. 냉각 청수에 첨가제를 혼입함으로써 기포의 발생을 억제시킬 수 있다.

(2) 실린더헤드의 균열

열팽창 과대로 실린더헤드가 변형되어 발생하므로 과부하운전이나 봉인 해제, 더욱이 과부하와 저속운전의 반복운전을 최대한 피하고 스케일의 부착 퇴적이 작도록 냉각수온도가 너무 높아지지 않도록 주의할 필요가 있다.

(3) 냉각 튜브의 막힘

열교환기, 공기냉각기 등의 해수 냉각 튜브에 먼지, 나무 조각 등의 이물질이 막히면 냉각능력이 저하해버리므로 해수여과기를 설치함과 동시에 정기적인 점검 청소를 행하는 것이 중요하다.

이물질에 의한 튜브내의 난류는 공식(孔食)의 원인이다.

(4) 해수 통로부의 부식

열교환기, 유냉각기, 공기냉각기 등의 해수 통로부에 진흙, 모래, 먼지 등이 퇴적함과 동시에 철제의 마개 등은 전식하므로 퇴적한 흙·모래·먼지 등의 이물질 청소를 정기적으로 행하고 방식아연봉의 점검 교환을 늦기 전에 행해주는 것이 예방차원에서 중요하다.

(5) 응축현상에 의한 녹 발생

습기가 많은 해역이나 계절 등에는 공기 중의 수분이 공기냉각기를 통과할 때 급속히 냉각되므로 응축해서 물이 된다. 염분을 포함한 응축수는 운전 중에는 연소실내에서 수증기가 되어 연소가스와 함께 대부분 배출되어 버리므로 문제는 없지만 함유 수분이 많아지면 응축수량이 증가해서 공기냉각기나 흡기관의 저부에 고여 운전 정지 후 실린더내로 유입하여 실린더라이너, 흡기밸브 등의 표면에 부착하여 녹이 생길 수가 있다.

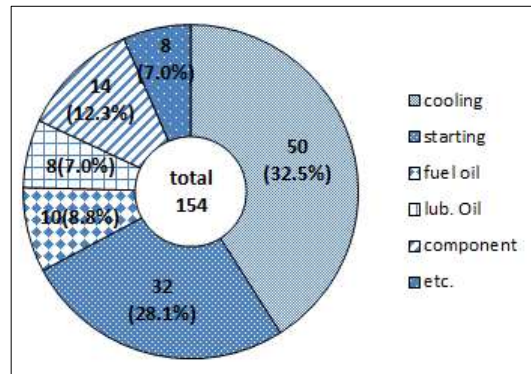
이와 같은 응축현상에 의한 발청을 방지하기 위해 공기냉각기나 흡기관에는 드레인콕이 설치되어 있고 응축현상 발생의 우려가 있을 때는 드레인콕을 개방하여 배수하는 것이 사고 예방을 위해 중요하다. 응축현상은 공기냉각기 외에 배기집합관, 실린더헤드, 소음기 등에서도 연소가스에 포함된 수증기가 냉각되어 응축하기 때문에 발생할 수가 있고 특히 냉각수온이 낮은 경우에 생기기 쉬우므로 킹스톤콕 등을 죄어 수온을 높이는 것이 중요하다.

3. 냉각수 계통 해난사고 조사

해상에서의 소형선박이 냉각수 계통의 고장으로 인한 기관손상 사고가 어느 정도 발생하였는가를 국내·외 자료와 문헌을 통해 조사하였다.

먼저 선박안전기술공단의 최신 자료를 기준으로 주로 100톤 미만의 선박에서 2014년~2015년 상반기까지의 주요 기관손상 사고를 보면 [Fig.

6]에서와 같이 냉각수 계통의 사고는 154척 중 50척(32.5%)으로 나타나 가장 많은 기관손상사고를 차지하였다. 다음으로 시동장치 32건(28.1%), 연료유계통 10건(8.8%), 윤활유계통 8건(7.0%), 기관 주요부위 사고 14척(12.3%), 기타 8건(7.0%) 등으로 나타났다. 기관손상 사고는 주요 부위인 크랭크, 피스톤 등의 자체결함사고 보다 보조 부위인 냉각수·윤활유·연료유계통 관리 부주의에 의한 사고가 대부분인 것으로 나타났다.



[Fig. 6] Type of M/E Troubles

또한 선박안전기술공단에서 오래전 발행한 「소형어선의 기관 사용실태에 대한 개선방안 조사연구(2007.12)」에 따르면 어선의 주기관 손상 사고에 대해 분석을 내놓았는데 2003년부터 2006년까지 4년간 어선의 주기관에서 발생한 약 400척의 어선 자료를 이용하여 계통별 사고원인을 나타내었다. 자료에 따르면 냉각수 계통에서 발생한 기관손상사고가 전체의 15.8%를 나타내어 동력전달장치와 함께 주기관에서 가장 높은 기관 사고율을 나타내고 있다. 또 일본의 어선보험중앙회에서 발행한 「20톤 미만 동력어선 기관사고 방지 매뉴얼」에 따르면 2005년부터 2007년까지 3년간 총톤수 20톤 미만 어선의 기관사고의 발생 요인을 분석한 바에 따르면 냉각수 부족 및 냉각수 계통의 고장이 전체 기관사고 건수 28,498건 중 7,855건 발생하여 전체의 27.6%를 차지하고 있다.

해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률에는 냉각수 계통 고장으로 인하여 선박을 조종할 수 없게 된 사고도 해양사고로 분류된다. 해상에서는 기관고장이 발생하면 기관고장으로만 끝나지 아니하고 황천, 또는 타선박과 충돌, 전복, 좌초 등으로 연결되어 선체, 기관 손상은 물론, 선원들의 생명까지 위협받는 극한 위험에 처해지기 쉽다. 그런데 실제 해상에서 냉각수 계통의 고장이 발생하여 운항이 불가능해서 해양안전 경비선 등 타 선박으로 예인되거나 비상조치를 취하여 항해하여 들어온다 하더라도 해양안전심판원에 해양사고로 분류되지 않는 경우가 더 많다. 본 연구에서 실제 운항 중 또는 조업 중 냉각수 장치에서 이상이 발생하여 예인되거나 조업이 중단된 경우를 조사하였다. 소형선박조종사 98명중 45명(45.9%), 6급기관사 54명중 22명(40.7%)이 냉각수 계통에서 운항 사고의 경험을 가진 것으로 조사되었다. 이것은 해양안전심판원의 냉각수 계통 사고의 발생 통계보다 실제로는 더 많이 발생하고 있음을 나타내며 해난사고를 감소하려면 냉각수 계통에서 기관고장에 의한 사고 중 냉각수 계통이 원인인 사고를 감소시키는 것이 중요함을 말해 준다.

4. 냉각수 관리 실태 설문조사

가. 기관 취급설명서의 열람 여부

기관손상사고를 예방하기 위한 냉각수 계통의 철저한 관리와 점검을 위해 소형선박운용자가 가장 먼저 필요로 하는 것은 운용하고 있는 기관의 취급설명서를 필독하고 이를 잘 이행하고 있는 것이다. 소형선박조종사반 응답자 98명 중 ‘현재 운용하고 있는 기관의 취급설명서를 읽어보았다’가 30명(30.6%), ‘읽어보지 못하였다’가 68명(69.4%)으로 나타났다. 매뉴얼을 한 번도 보지 않고 기관을 운용하고 자가 2배 이상 많은 것이다.

한편 6급기관사반 응답자 54명 중 ‘읽어보았다’가 31명(57.4%), 읽어보지 못하였다가 23명

(42.6%)으로 나타났다. 소형선박조종사반의 응답자에 비하여 필독한 사람이 26.8% 높게 나타났다. 해상에서 6급 기관사 역시 기관실에만 머물지 않고 어로 작업에 동원되는 실정이지만 기관 사고의 책임이 전적으로 6급기관사에게 주어지는 만큼 기관 운용의 책임을 그만큼 많이 지고 있다는 반증으로 보아진다. SPSS 통계프로그램을 이용하여 χ^2 검정을 해본 결과 p 값=0.001 <유의수준 $\alpha=0.05$ 로 나타났다. 두 집단 간에는 엔진취급설명서의 열람에서 유의차가 있었다. <Table 2>는 분석 결과를 나타낸 표이다. 분류의 S는 소형선박조종사 그룹, E는 6급기관사 그룹을 나타낸다.

<Table 2> Operator Manual Reading Status

| Cla. | Operator Manual | | Total | $\chi^2(p)$ |
|------|-----------------|-----------|----------|-------------|
| | read | unread | | |
| S | 30(30.6%) | 68(69.4%) | 98(100%) | .001 |
| E | 31(57.4%) | 23(42.6%) | 54(100%) | |

$p < .05$

나. 부동액 혼입

겨울철이나 한냉지에서 냉각수 동결방지 처리제로서 부동액은 언제 사용해야 하는지를 조사하였다. 부동액은 동파 방지 이외에도 비등점 상승, 스케일 발생 방지 등의 다목적으로 우리나라에서 겨울철뿐만 아니라 4계절에 걸쳐 일정량을 투입해주도록 기관취급설명서에는 이를 지시하고 있다. 기관관리자가 부동액의 사용 계절에 대하여 바르게 이해하고 있는지를 조사하였다. 소형선박조종사반 응답자 98명 중 4계절 내내 넣어야 한다가 57명(58.2%), 겨울철에만 넣어도 된다 30명(30.6%)으로 나타났다.

한편 6급기관사반 응답자 54명 중 4계절 내내 넣어야 한다가 37명(68.5%), ‘겨울철에만 넣어도 된다’ 11명(20.4%)으로 나타났다. 소형선박조종사반의 응답자에 비하여 6급기관사반 응답자가 4계절에 넣어야 한다는 인식이 10.3% 높게 나타났다. χ^2 검정 결과 p 값=0.580 > 유의수준 $\alpha=0.05$ 로 나타나 두 집단 간에는 유의차는 없었다.

부동액의 투입비율은 지역적 특성에 따라 달라 지는데 응답자 전체 총 152명 중 물과 부동액의 6:4 투입 비율이 가장 많은 49명(32.2%), 이어서 7:3 비율이 43명(28.3%), 8:2의 비율 37명(24.3%), 5:5의 비율 11명(7.2%) 등으로 조사되었다.

<Table 3> Addition of Antifreeze in Water

| Cla. | Antifreeze | | Total | $\chi^2(p)$ |
|------|------------|------------|-----------|-------------|
| | Winter | All season | | |
| S | 30(30.6%) | 57(58.2%) | 87(88.8%) | .580 |
| E | 11(20.4%) | 37(68.5%) | 48(88.9%) | |

p<.05

다. 첨가제의 혼입

기관 운전 중 진동에 의해 실린더라이너의 냉각수 측에서 발생하는 캐비테이션의 영향으로 실린더라이너 외주에 국부적으로 피팅이 생기므로 이를 방지하게 위해 냉각수에 첨가제를 넣음으로써 이러한 피해를 저감시킬 수 있다.

첨가제는 기포과피력을 저감하고 또 부동태 피막을 형성하여 금속표면을 보호한다. 최근에는 환경 독성이 적고 3,000시간 이상 사용해도 첨가제 잔존율이 거의 100%에 가까운 진일보된 첨가제가 개발되어 세계적으로 널리 사용되고 있다.

기관운용자의 첨가제 인식도에 대하여 조사하였다. 소형선박조종사반 응답자 98명 중 ‘첨가제를 투입하고 있다’가 9명(9.2%), 투입하지 않는다. 89명(90.8%)으로 나타났다. 한편 6급기관사반 응답자는 ‘첨가제를 투입하고 있다’ 24명(44.4%), ‘투입하지 않는다’ 30명(55.6%)으로 나타났다. 소형선박조종사반의 응답자는 첨가제의 투입 인식이 매우 낮게 나타났다. 또 첨가제가 실린더라이너 외주의 피팅을 방지하기 위해서 투입하고 있다는 것을 소형선박조종사 5명(5.1%), 6급기관사 10명(18.5%)만이 알고 있어 첨가제 사용 목적을 제대로 이해하지 못하고 있음을 알 수 있었다.

이것은 선원의 재교육을 통해 바르게 인식시킬 필요성이 충분하였다.

<Table 4> Mixing of Coolant Addictive

| Cla. | Addictive | | Total | $\chi^2(p)$ |
|------|-----------|-----------|----------|-------------|
| | Added | Not added | | |
| S | 9(9.2%) | 89(90.8%) | 98(100%) | .000 |
| E | 24(44.4%) | 30(55.6%) | 54(100%) | |

p<.05

라. 냉각수 관계의 일상점검

선외 배출 해수량이 적을 때나 기관의 과열 현상이 나타나면 엔진을 정지시켜 점검하는 것이 중요하다. 청수탱크와 보조탱크의 수위 확인을 운항 전은 물론 매일 점검하고 운항 시에는 냉각해수의 토출구를 항시 육안으로 점검하여 기관의 과열을 사전 예방하려는 노력을 기울여야 한다.

<Table 5>는 냉각수계통 각 부위별 일상점검 실태를 조사하여 나타낸 표이다. 또 A는 ‘엔진 시동 전·후에 걸쳐 반드시 이상유무를 점검한다’, B는 ‘가끔씩 점검한다’, C는 ‘전혀 점검하고 있지 않다’에 응답한 인원수를 나타내고 있다. 3가지의 대표적 일상점검 사항 중 두 집단 모두 엔진 시동 전·후 청수탱크의 수위 점검 비율이 가장 높게 나타났는데 6급기관사의 79.6% (43명)와 소형선박조종사의 65.3%(64명)가 엔진 시동 전·후에 걸쳐 청수탱크의 수위를 확인하는 것으로 나타나 가장 점검을 많이 하는 부분인 것으로 나타났으며 χ^2 검정 결과 $p값 = 0.160 >$ 유의수준 $\alpha = 0.05$ 로 나타나 두 집단 간에는 차가 있다고는 할 수 없다. 킹스톤콕의 이물질 확인 및 선외토출구의 냉각해수의 확인 등 매일 점검 항목에서는 두 집단

<Table 5> Daily Inspection Check Point for M/E

| Inspection Item | Check Point | Class | Control Status | | | $\chi^2(p)$ |
|-----------------|---------------|-------|----------------|----|----|-------------|
| | | | A | B | C | |
| Kingstone Cock | Vinyl, Debris | S | 27 | 63 | 8 | .160 |
| | | E | 25 | 25 | 4 | |
| F.W. Tank | Water Level | S | 64 | 30 | 4 | .062 |
| | | E | 43 | 9 | 2 | |
| S.W. Delivery | Flow | S | 39 | 42 | 17 | .101 |
| | | E | 31 | 15 | 8 | |

p<.05

간에는 유의차가 나타나지 아니하였다.

마. 냉각수관계의 정기점검

비닐, 각종 이물질 등에 의한 해수필터의 막힘이나 해수펌프의 임펠러 파손은 큰 사고로 이어질 수 있다. 또한 청수쿨러 등 해수 통로의 입구에 이물질이 막히면 청수의 냉각 불량으로 온도가 상승하여 피스톤과 실린더라이너의 소착 등의 중대한 사고로 이어질 수 있으므로 정기점검은 꼭 필요하다. <Table 6>은 부위별 정기점검 실태를 조사하여 나타낸 표로 A는 '이상발생 사전 점검한다' B는 '이상발생시 점검한다' C는 '전혀 점검하지 않는다'에 응답한 인원수를 각각 나타낸 것이다. χ^2 검정 결과 해수필터의 점검 부분과 해수펌프의 임펠러 점검 부분에서는 유의차가 나타났으며 청수쿨러의 이물질 사전 점검은 유의차가 없었음을 확인하였다.

<Table 6> Periodic Inspection Check Point for M/E

| Inspection Item | Check Point | Class | Control Status | | | $\chi^2(p)$ |
|------------------|---------------|-------|----------------|----|----|-------------|
| | | | A | B | C | |
| S.W. Filter | Vinyl, Debris | S | 15 | 68 | 15 | .003 |
| | | E | 21 | 24 | 9 | |
| S.W PP" Impeller | Damage | S | 23 | 46 | 29 | .020 |
| | | E | 24 | 21 | 9 | |
| F.W. Cooler | Scale, Debris | S | 33 | 49 | 15 | .539 |
| | | E | 24 | 23 | 7 | |

p<.05

입 목적을 잘 알지 못하는 기관운용자가 많았고 특히 소형선박조종사의 경우 90% 이상이 첨가제를 사용하지 않거나 첨가제의 목적과 관리하는 방법을 거의 알지 못한 상태인 것으로 나타났다.

셋째, 운항 중 매일 일상 점검하는 킹스톤콕의 이물질 확인과 청수탱크의 수위 확인 및 냉각해수의 선외 토출 유량 확인에서는 소형선박조종사와 6급해기사 집단 간에는 유의차가 없었다.

즉, 기관의 손상사고와 가장 직결되는 엔진 부위의 점검의 기관관리 형태에서는 유의한 차이가 나타나지 못하였다. 그러나 전혀 점검을 하지 않는 기관운용자가 많아 언제나 사고의 위험은 진행되고 있었음을 알 수 있었다. 해수 토출량 확인의 경우 전체의 16.5%가 전혀 점검 인식을 하지 못하고 있었다.

넷째, 해수 펌프의 고무 임펠러 및 해수필터는 주기적인 점검으로 기관사고 발생을 예방할 수 있으나 소형선박조종사와 6급해기사 간에는 유의차가 나타났다. 즉, 소형선박조종사는 기관의 운용보다 선박의 운용과 여로에 치중한 나머지 기관손상사고를 많이 발생함을 알 수 있었다.

다섯째, 소형선박조종사와 6급해기사의 일부 기관관리 부분에 달리 인식되고 있는 부분 기관사고의 원인을 교육에 적극 반영함으로써 기관고장으로 인한 해난사고를 저감할 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 요약 및 결론

소형선박 운용자의 냉각수 관리에 관한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 소형 선박의 냉각수 계통의 기관손상사고는 전체 기관손상사고에서 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 사고의 원인은 기관의 특성을 제대로 이해하지 못한 채 운용하고 있었으며 또한 기관의 매일 또는 정기적인 정비·점검이 소홀한 것이 원인으로 나타났다.

둘째, 냉각수 관리에서 부동액과 첨가제의 투

References

Bae, S. J. and Seo, M. S.(2002). The Study on the Analysis of Marine Accidents and Preventive Measures. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 14(2), 149~160.

Jeon, Y. W. · Lee, Y. W. and Park, M. K.(2013). A Study on the Collision between Fishing Vessel and non Fishing Vessel using Questionnaire Analysis, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 25(3), 716~723.

Jung, C. H. · Park, Y. S. · Kim, J. S. and Kim, S.

- W.(2012) A Study on the Cause Analysis for the Capsizing Accident in Fishing Vessels. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 24(1), 1~8.
- Kim, M. S. · Lee, J. M.. · Kim, J. W. · Kang, I. K.. and Kim, D. S.(2007) A Study on the Corrosion Loss of Zink Anodes of the Underwater Shell Plate. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 19(1), 129~136.
- Kim, S. J. · Kim, W. S. and Lee Y. W.(2013). Telecommunication System Construction to minimize the Casualty of Fisher in the coastal Fishing Boat. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 25(3), 580~585.
- Korean Maritime Safety Tribunal(2014). Report for an Analysis of Current Status of Marine Accident. Korea Ship Safety Technology Authority. Aug. 2015.
- Yoshimura, K.(2012). A Human Factors Analysis of Marine Accidents Based on Marine Accident Inquiry Reports, National Maritime Research Institute 12(3), 27~33.
-
- Received : 12 October, 2015
 - Revised : 29 October, 2015
 - Accepted : 05 November, 2015