



선박 추진 시스템과 선박의 진동 및 상태 감시 시스템

이돈출*, 유정대**

(*목포해양대학교 기관시스템공학부, **현대중공업 엔진·기계사업본부)

1. 머리말

선박 추진 시스템에서 진동 감시 시스템은 자주 일어나는 사고는 아니었지만 주기관인 디젤엔진의 과급기 손상으로 인한 운항 손실을 방지할 목적으로 과급기에 처음 적용되기 시작하였다.

1970년대 두 차례 오일 쇼크 이후 1980년대 초부터 초장행정 디젤엔진이 개발되었으며, 이 엔진은 크랭크축의 종진동 공진점이 엔진의 상용 회전수 안에 존재하여 종진동댐퍼의 적용이 요청되었다. 종진동댐퍼의 작동여부를 확인하기 위해서 단순한 기계적인 톨 대신에 종진동 감시 시스템이(AVM : axial vibration monitoring)이 개발되어 적용되었다.

또한 디젤엔진은 비출력을 늘리고 열효율을 개선하기 위하여 실린더 최대폭발압력과 평균유효압력을 꾸준히 증가시켰다. 증가된 비틀림진동의 제어를 위하여 튜닝 비틀림댐퍼의 수요가 증가하였으며, 댐퍼의 기능이 저하될 경우 예상되는 크랭크축 절손과 같은 대형사고를 회피하기 위해 진동 감시 시스템이 개발되었다. 튜닝댐퍼 업체인 오스트리아 가이슬링거(Geislinger)사에서 1990년 초 상용화에 착수한 GMS(Geislinger Monitoring System) 시스템이 대표적인 감시 시스템이다.

최근 핀란드 바르질라(Wartsila)사는 자사에서

제작하는 스러스터, 선미관, 감속기어 및 축계에 종합적인 진동 감시 시스템을 개발하여 적용하고 있으며, 이원연료 50DF 엔진에는 노킹을 감시하는 시스템을 적용하고 있다.

선박 분야에서는 LNG(천연액화가스) 운반선에 선수에서의 조파에 의한 응력 또는 가속도와 액화화물의 슬로싱(sloshing)으로 인한 선체의 응력 변화를 감시하는 장치들이 개발되어 적용되고 있다. 그리고 선박의 주요 보조기계 및 장비류에도 진동 감시 시스템이 적용되고 있지만 대부분 온라인보다는 진동 엔지니어의 정기적인 방문에 의한 오프라인 측정에 의존하고 있다. 또한 선박은 근해 밖에서는 데이터 송신을 위성에 의존해야 하기 때문에, 통합적인 정보 축적 및 송신보다는 개별적으로 운전 시스템에 연결하여 과도한 진동이 발생할 경우 경보와 함께 운전을 제어하는 시스템이 주로 사용되고 있다.

이 글은 선박의 추진 시스템과 선박에 현재 운용되는 진동 및 상태 감시 시스템을 소개하고 향후 개발 방향을 전망해 본다.

2. 선박 추진 시스템의 감시

2.1 비틀림진동 감시 시스템

선박 추진 시스템에서 비틀림진동 감시 시스템은 튜닝댐퍼를 장착한 경우에 주로 적용된다. 튜

* E-mail : ldcvib@mmu.ac.kr / Tel : (061) 240-7219

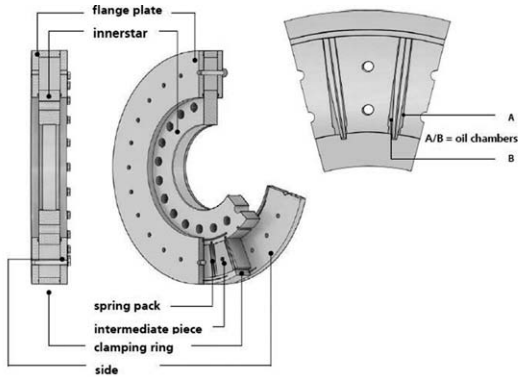


그림 1 가이슬링거 댐퍼의 구조도

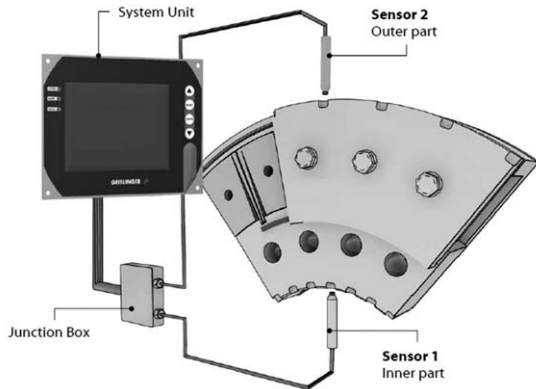


그림 2 가이슬링거사의 GMS 일반 배치도

닝댐퍼는 그림 1과 같이 댐퍼내부에 오일이 공급된다. 오일 공급이 중단되거나 양 실린더의 유압저하 등으로 감쇠력이 떨어질 경우 댐퍼 설치 전보다 비틀림진동이 급격히 증가하여 크랭크축의 손상을 초래할 수 있다.

초기에는 오일을 공급하는 관 끝에 압력센서를 설치하여 유압을 확인하여 튜닝댐퍼의 상태를 감시하는 시스템을 사용하였다. 하지만 이 시스템은 댐퍼 주변장치의 손상이 발생한 경우 튜닝댐퍼 내부에 공급되는 압력을 체크할 수 없다는 단점을 보였다.

가이슬링거사에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 GMS를 개발하였으며 간략한 구성은 그림 2에 보인다. 댐퍼의 내륜과 외륜에 등간격의 홈을 파고 와전류를 이용한 근접센서로부터 높

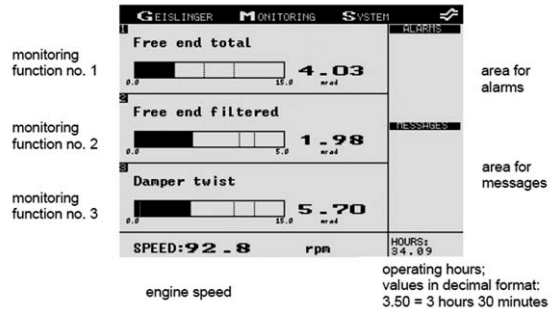


그림 3 GMS의 각속도 표시 화면

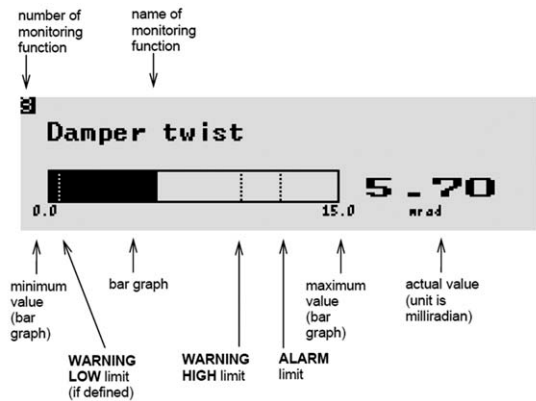


그림 4 GMS의 기능과 알람 설정

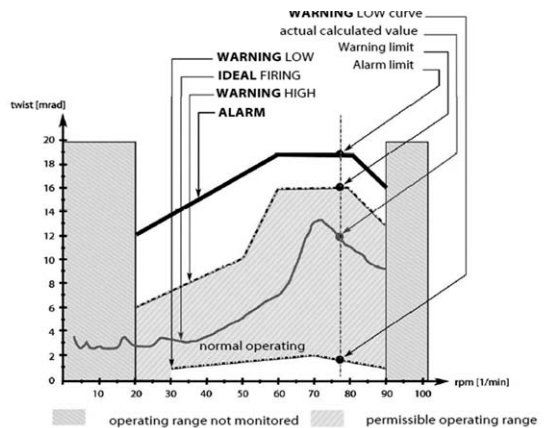


그림 5 엔진회전수에 따른 비틀림각의 알람 설정 값

은 샘플링의 전압신호를 받는다. 홈과 홈 사이의 시간차에서 각속도를 구할 수 있으며, 또한 이를 적분하여 비틀림각을 구할 수 있다. 그림 3에서와 같이 관심 대상인 주공진차수를 분석하여 모

니터에 보여주며, 디젤엔진의 착화실패 등의 감시를 위해 전체적인(overall) 값도 감시할 수 있다. 그림 4는 GMS의 감시 중 기능 3(monitors function no. 3)을 알람 설정값과 함께 상세히 보여준다. 알람은 상한값과 하한값을 함께 설정할 수 있으며, 비틀림진동값은 그림 5에 보인 바와 같이 엔진회전수에 따라 변동하므로 알람값도 엔진회전수에 따라 상이하게 설정해 주어야 한다.

GMS와 동일한 개념을 적용하여 탄성커플링과 점성댐퍼의 감시도 가능하다. 근접센서의 신호를 주파수-전압(F-V) 변환기를 통한다면 샘플링 속도를 낮추어 다른 진동과 함께 통합적인 상태 감시를 편리하게 수행할 수 있다.

2.2 종진동 감시

선박의 추진효율을 극대화하기 위해 프로펠러의 회전속도를 낮추는 것이 일반적이며 최근 대형 유조선의 최대 회전속도는 65 rpm까지 낮아졌다. 또한 저속 2행정 디젤엔진은 출력을 상승하고자 초장행정을 적용하고 실린더 폭발압력을 지속적으로 증가시켰다. 이로 인하여 축계 종진동 공진점이 회전속도 내에 존재하고 진동 기진력이 상승하여 종진동 댐퍼를 필수적으로 설치하게 되었다.

저속 2행정 디젤엔진에서 종진동 댐퍼가 작동하지 않거나 감쇠 성능이 저하되면, 크랭크축에 굽힘응력이 증가하여 크랭크축 및 베어링에 손상을 초래하고, 이때 발생하는 변동력은 선체로 전달되어 선박 상부구조물의 과도한 진동을 유발할 수 있다. 따라서 축계 종진동을 정기적으로 측정하여 종진동 댐퍼의 성능을 확인해야 하며 AVM(axial vibration monitor)을 설치하여 감시하기도 한다.

종진동 댐퍼의 전체적인 구조는 그림 6에 보이며, 우측상단에 AVM의 주 패널을 보인다. 종진동 댐퍼는 좌측 빗금친 부분의 주 베어링 지지대, 중앙 빗금친 부분의 베어링 지지대에 설치된 오일 실린더 및 가운데 하얀 부분의 크랭크축과 일체로 제작된 유압 피스톤 등으로 구성된다. 원 안

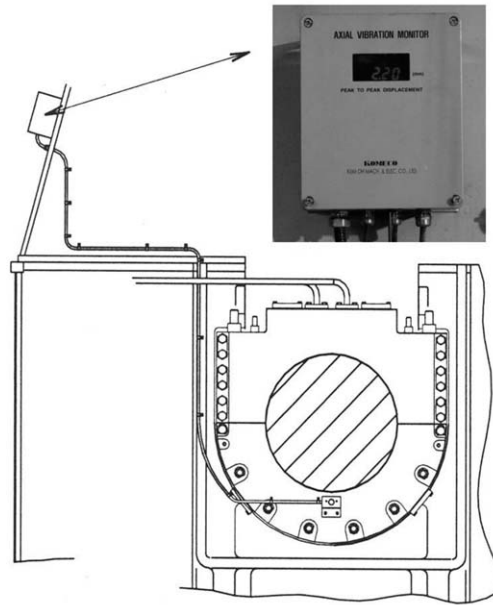


그림 6 종진동댐퍼와 AVM

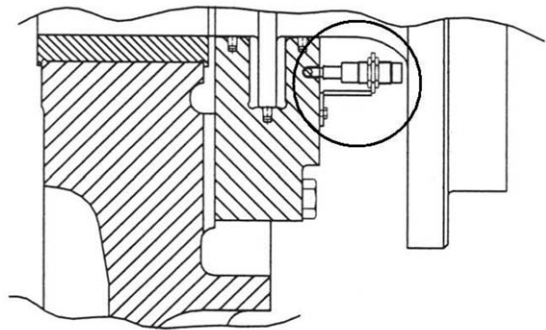


그림 7 크랭크축 선단 플랜지와 갭 센서

에 보이는 근접센서가 크랭크축의 선단 플랜지와와의 상대 변위를 측정하여 축계 종진동을 감시하게 된다.

2.3 과급기 진동 감시

선박 디젤엔진에서 과급기의 주요부품인 회전체는 엔진과 유사한 수명을 보이며 가격이 비싸므로 본선에서 과급기 전체를 예비품으로 확보하기는 것은 현실적으로 어렵다. 저자의 경험상 예비품이 확보되어도 수리를 위하여 상당한 시

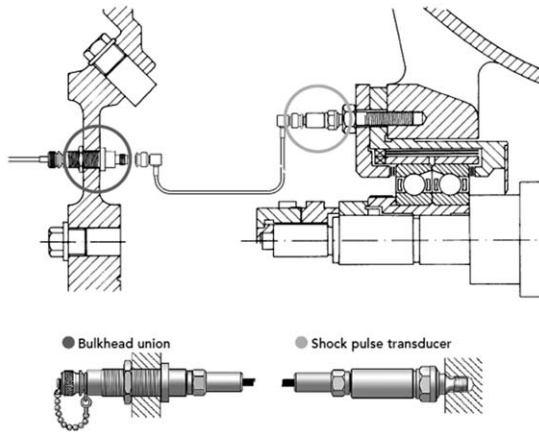


그림 8 SPM Instrument AB사의 과급기 진동 감시용 변환기 외관

표 1 과급기를 위한 알람 설정 값

과급기 크기	고주파진동 (주파수 범위)	최대 허용값 <i>f</i> : 주파수(Hz), <i>v</i> : 속도 진폭(mm/s r.m.s.)		
		B1 (만족)	B2 (불만족, 계획에 의한 수리가 필요)	B3 (운전 금지)
VTR354	$100 < f < 1000$	$v < 3$	$3 \leq v < 7$	$7 \leq v$
VTR454	$100 < f < 1000$	$v < 4$	$4 \leq v < 10$	$10 \leq v$

간이 걸린다. 과급기를 정상적으로 사용할 수 없을 경우 안전을 고려하여 디젤엔진의 저속운전만 임시로 가능하며, 이때 발생하는 선박의 운항 손실이 크고 특히 컨테이너선과 같이 정기적인 서비스선박의 경우 그 손실이 더욱 커질 수 있다.

이러한 과급기의 진동을 감시하기 위하여 스웨덴의 SPM Instrument AB.사에서는 그림 8과 같이 과급기 베어링을 중심으로 진동을 감시 한다. 여기서 받은 진동신호는 온라인 감시 시스템인 LeonovaTM 에서 볼 수 있다. 그림 9는 바르질라사에서 Z40S 엔진의 과급기에 설치한 과급기용 진동 감시 변환기로, 고온에 견딜 수 있고 케이블은 선박의 특성상 견고한 구조로 되어 있다. 과급기를 위한 알람 설정 값은 표 1과 같으며, 엔진 구조물에서 과급기로 전달되는 100 Hz 이하의 진

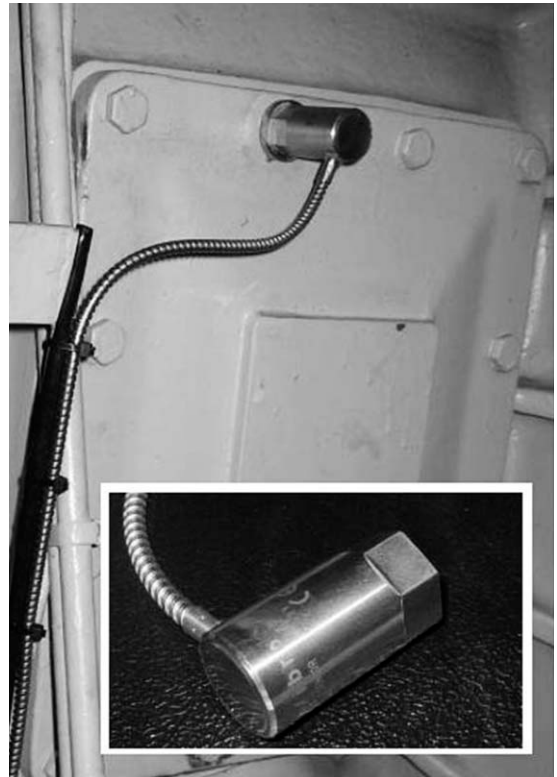


그림 9 바르질라 Z40S엔진의 과급기에 설치된 진동 변환기 및 외관

동은 무시하고 과급기 회전속도에 관련된 100~1000 Hz의 진동은 실효치(r.m.s.)로 사용되며 주로 회전수의 1~3배수 차수성분만을 검토하게 된다.

2.3 통합형 진동 감시 시스템

선박에는 독립적인 감시 시스템들이 적용되고, 이들은 엔진운전 시스템과 연결되어 과도한 진동이 발생되면 엔진회전수를 안전영역까지 자동으로 조정하는 시스템을 사용하며, 통합형 진동 감시 시스템을 적용한 사례는 희박하다. 하지만 최근 심해에서 유전개발이 활발해지면서 고가의 해양구조물이 건조되고 있으며, 이러한 해양구조물은 해저 작업을 위해서 스터스터와 같은 전기추진시스템에 의해 동적인 위치를 잡고 있다.

따라서 추진장치의 중요성이 부각되면서 시스

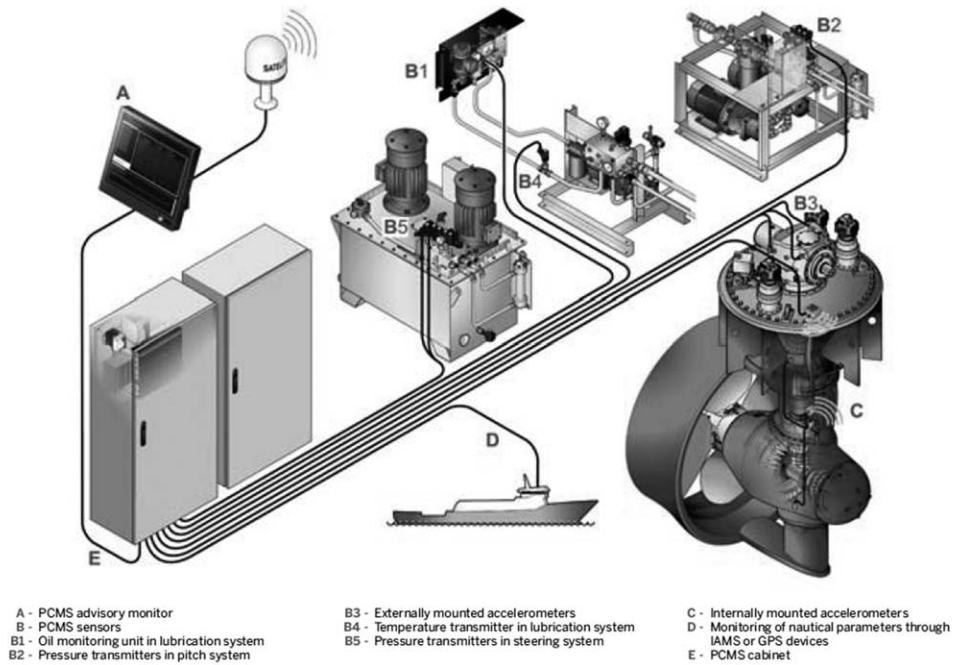


그림 10 바르질라사에서 개발한 스러스터 시스템의 진동 및 상태감시 시스템

템 전체의 진동 감시가 필요하며, 그림 10은 바르질라사에서 개발한 통합형 진동 감시 시스템을 보인다. 물론 일반 선박에도 적용이 가능하지만, 감속기가 적용된 일반 디젤엔진 추진 및 전기추진 선박에 초점을 두고 적용되고 있다.

3. 선체구조 진동 및 응력 감시

주기관의 기진력에 의한 선체의 글로벌 진동은 화물 적재상태에 따라 진동의 크기와 고유진동수가 조금 바뀔 수는 있으나 제한적이며, 따라서 선체의 중요 위치에서의 연속적인 진동 감시는 기술적으로 큰 의미를 부여하지는 않는다.

그림 11은 핀란드 Rouvari OY사가 개발하여 적용한 응력 및 진동 감시 시스템으로, 선수와 선미 등에서 빙 하중을 포함한 해상에서 선박 운동에 의한 선체의 피로파손을 예측하고 방지할 수 있다. 센서의 위치는 선박 중심 상부에서 광센서를 이용하여 화물적재 또는 선박의 주기적인 운동에 따른 응력이 감시되며, 선체에 과도한 응력이

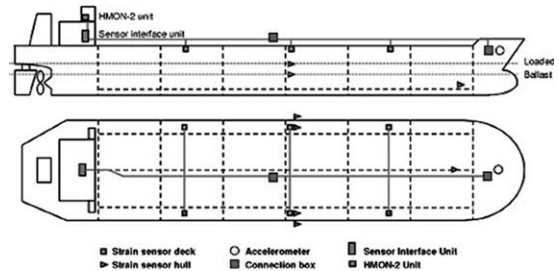


그림 11 선박의 가속도 및 응력 상태감시 시스템의 센서 위치

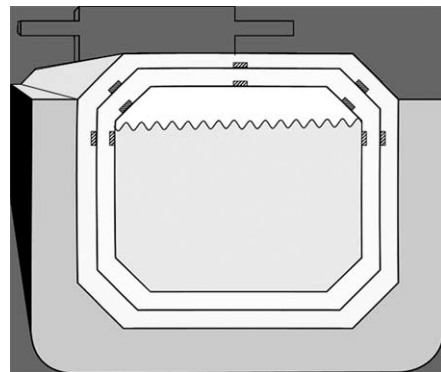


그림 12 LNG선에서 응력 측정용 광센서

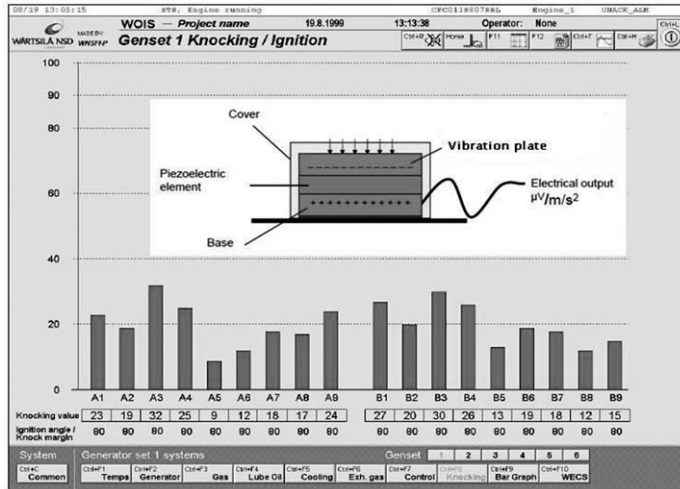


그림 13 바르질라-현대 50DF엔진에서 노킹 감시용 센서와 모니터

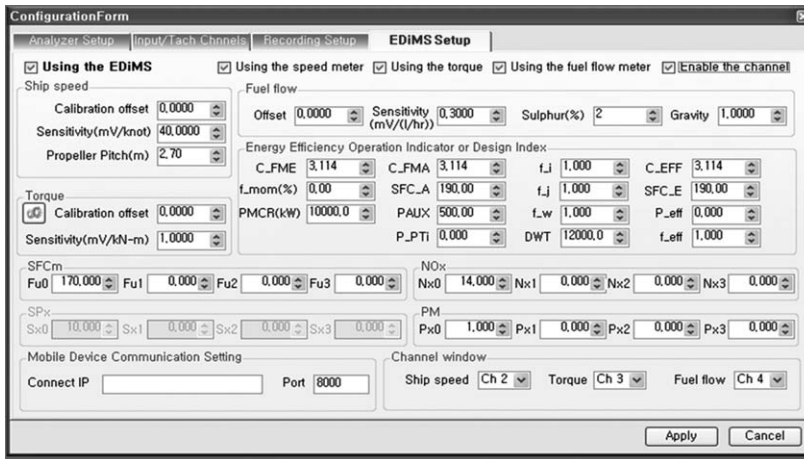


그림 14 목포해양대 RIS사업단에서 개발한 에너지효율 운전지표 감시 시스템의 입력 메뉴

걸릴 경우 경보음을 울리게 된다. 그림 12는 LNG 선박에서 액화화물이 선박운동에 따라 슬로싱하면서 발생하는 응력변화를 감지하기 위한 센서의 위치로 관련 S/W와 모니터를 통해서 볼 수 있다.

4. 진동과 융합된 다기능 상태 감시

천연가스와 마린디젤유를 겸용할 수 있는 이원 연료엔진은 LNG 운반선의 전기추진 시스템에서 발전용 엔진으로 사용되고 있다. 이 엔진은 액

화 화물에서 발생하는 BOG(boil-off gas)를 연료로 사용하여 선박 운항비용을 최소화할 수 있다. 이 이원연료 엔진은 흡기와 가스연료가 적절하게 혼합된 상태에서 1% 정도의 파일럿(pilot) 오일을 분사하여 연소를 하는데, 연소상태는 엔진의 성능과 부품에 크게 영향을 미치게 된다.

따라서 항상 연소상태를 감지할 수 있도록 진동센서를 이용한 노킹(knocking) 감시 시스템이 적용되고 있다. 그림 13의 상부는 센서를 그리고 하부는 각 실린더에서 감지된 진동의 수준을 기초로 한 값을 모니터에 보여주고 있다. 특히 노킹

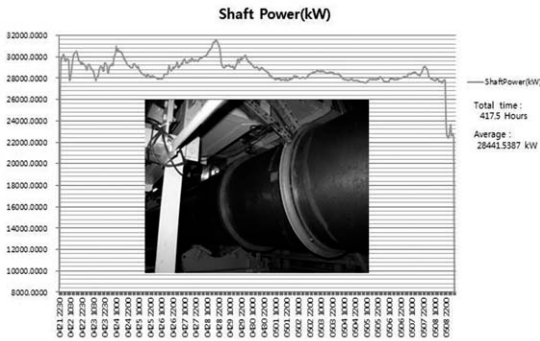


그림 15 컨테이너선에서 측정된 축 동력 결과(가오슝항에서 파나마 운하 구간)

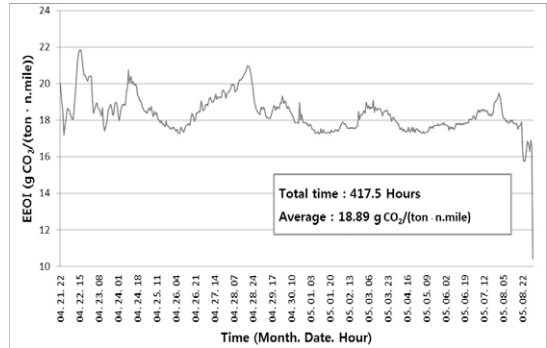


그림 16 컨테이너선에서 측정된 에너지효율 운전지표(가오슝항에서 파나마 운하 구간)

이 발생하면 폭발음과 함께 실린더에서 급격한 진동이 일어나 실린더 라이너의 이상마모와 수명단축을 초래하므로 이를 회피해야 한다.

최근 유가상승으로 인하여 선박 운항에서 연료비가 차지하는 비중은 총비용의 약 70%까지 점유하고 있다. 선박의 효율적인 운항은 매우 중요한 과제로 회사의 생사와 함께 미래가 달려 있다.

따라서 선박에너지효율 설계지수(EEDI) 또는 운전지표(EEOI)의 감시가 중요하며, 목포해양대학교 녹색해양기자재 RIS 사업단에서는 자체적으로 개발한 기존 진동 감시 시스템(EVAMOS)을 기반으로 선박 에너지효율지수 감시 시스템을 개발 완료하여 실용화하였다. 이 시스템은 미국 NI사의 보급형 H/W와 EVAMOS을 기반으로 그림 14와 같이 추가 메뉴를 확장하고, 원격 측정 시스템으로부터 축 동력, DGPS로부터 선속, 선박의 슬립 및 유량계로부터 연료소모량을 실시간으로 감시하여 내부 연산프로그램에서 EEOI 값을 계산하고 모니터에 보여주며 저장할 수 있다.

그림 15는 이 시스템을 적용한 대형 컨테이너 선박에서 한 항차의 축 동력에 대한 감시 결과로써 평균 출력은 28,841 kW 임을 확인할 수 있다. 이 자료들을 종합하여 단위화물의 1 해상마일 운반하는데 발생한 이산화탄소 배출량은 그림 16

에 보이며, 이는 선박 운항효율의 지표이며 운항 루트 개선과 함께 선박의 상태 등 회사 경영 자료로 활용할 수 있다.

5. 맺음말

이 글에서는 선박 추진 시스템과 선박 및 해양 구조물에서 적용되는 진동 및 상태 감시 시스템과 기술적인 응용 사례들을 소개하였다.

선박의 경우 특정 진동에 대한 감시 시스템의 적용은 보편화되었으나, 통합적 진동 감시 시스템은 인증절차가 복잡하고 선박의 특성에 기인하여 현재까지 적용 실적이 많지 않다. 하지만 선박과 해양구조물에서 추진 시스템과 관련된 각종 기자재의 예기치 못한 문제 발생에 따른 운항 손실비용을 줄이고자 복합적인 진동 및 상태 감시 시스템의 적용은 점차 증가할 것으로 판단된다.

또한 선박의 건조 및 시운전 과정에서 충분한 계측으로 검증을 수행하고, 이러한 자료를 기반으로 진동 또는 상태 감시를 통해서 경향을 관리하는 것이 무엇보다 중요하다고 볼 수 있다. **KSNVE**