

선박용 디젤 엔진의 종합 진동 모니터링 시스템 개발을 위한 실험적인 연구

An Experimental Study for Integrated Vibration Monitoring System Development in Marine Diesel Engine

이돈출† · 주기세* · 남택근* · 김상환**

D. C. Lee, K. S. Joo, T. K. Nam and S. H. Kim

Key Words : Integrated Vibration Monitoring System(종합 진동 모니터링 시스템), Marine Diesel Engine(선박용 디젤 엔진),

ABSTRACT

Diesel engines have been widely used in ships and power plants because of its higher thermal efficiency, mobility and durability compared to other prime movers. Though these merits, diesel engine including main components are sometimes vibrated due to higher combustion pressure in cylinders. Especially torsional, axial and structural vibrations in propulsion shafting may be severely manifested by the malfunction of torsional and axial dampers and misfiring and unbalanced load in cylinder. The structural vibration of main body and turbocharger core hole are also occurred by the loosen top bracing and excess wear-out or failure of turbocharger's bearings. The marine diesel engine should be safely designed from these vibrations. This paper introduces experimental methods to develop the prototype of integrated vibration monitoring system for marine diesel engine.

1. 서론

선박용 디젤엔진은 열효율이 높고 기동력, 내구성이 우수하여 대부분의 선박에서 추진 및 발전용으로 사용하고 있다. 이러한 장점에도 불구하고 열효율을 높이고 고출력을 얻기 위하여 최대연소압력과 평균유효압력증가로 진동의 기진력은 증가한 반면, 제작비용을 줄이기 위하여 엔진구조와 축계의 전체적인 강도를 증가시키는 것은 사실상 기대하기 어렵다.^(1~4)

방진대책으로 중진동 댐퍼를 모든 엔진에 적용하고 있고, 비틀림진동 댐퍼는 추진축계 비틀림진동 특성에 따라 선별하여 적용하고 있다. 그리고 엔진의 구조진동을 줄이기 위하여 톱 브레이싱도 엔진의 회전수에 따라 On-off 기능을 갖도록 유연하게 적용하고 있다. 또한 초대형 컨테이너선에 적용되는 주 기관으로 10만 마력 이상의 고출력 엔진이 등장하면서 과급기를 한 주기관에 4대까지 적용하고 있고 이중 한 대만 고장이 나도 선속 저하로 정기적인 풀(full) 서비스를 할 수 없게 된다.

선박에서는 이러한 구성품의 중요성에 따라 비틀림, 중, 과급기 및 엔진구조진동에 대한 진동모니터링 장치를 별도로 설치 운영하고 있다. 따라서 현재 분리하여 적용하고 있는 모니터링 시스템 대신 종합적 진동 모니터링 시스템을 구축하는 것이 가격, 관리 및 수리보수 차원에서 보다 효율적일뿐 아니라 선박의 안전을 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구에서는 이러한 선박용 디젤엔진에 적합한 종합적인 진동 모니터링시스템 개발을 위하여 현장경험을 중심으로 효율적인 시스템 구축과 함께 알고리즘 및 적응성을 검토하였다.

2. 선박 및 육상 디젤 발전소 적응성 검토

2.1 비틀림진동의 모니터링

비틀림진동의 상시 모니터링 시스템은 오스트리아에 있는 튜닝댐퍼를 전문으로 제작 공급해오던 가이스링거(Geislinger)사가⁽⁵⁻⁶⁾ 1990년 초 처음으로 개발하여 소개하였으며, 국내에서는 이 댐퍼가 적용된 선박을 중심으로 현재도 서비스 중에 있다. 모니터링을 위한 부품에 대한 일반 배치도는 Fig. 1에 보이며 비틀림진동 댐퍼의 내, 외륜

† 교신저자; 목포해양대학교 해사계열
E-mail : ldcvib@mmu.ac.kr
Tel: (061)240-7089, Fax: (061)240-7282

* 목포해양대학교 해사계열

** 시그날위저드

에 갭 센서를 설치하고 이 신호를 마이크로 프로세스 내에서 처리하여 엔진의 회전속도 변동을 구하고 적분하여 이를 각 변위로 변환하여 디스플레이 한다. 이 댐퍼를 적용한 엔진에서 댐퍼 내부로 공급되는 오일라인에 문제가 발생하면 댐퍼의 감쇠가 현저하게 저하되어 크랭크축의 비틀림 응력이 댐퍼설치 전보다 현저하게 증가하게 되고 축 절손과 같은 대형사고로 이어질 수 있다. 따라서 Fig. 2와 같이 엔진의 회전수 변화에 따라 이론 및 계측 값을 중심으로 세팅(Setting)을 하고 이 값을 벗어나면 경보와 함께 각 변위 값을 알려준다. 추가적인 기능으로 실린더 내 착화 실패, 실린더간의 부하의 불균등 등도 감지할 수 있어 다용도로 사용할 수 있다.⁽⁷⁾ 본 연구에서는 비틀림진동 모니터링을 선박의 추가적인 공사 없이 기존 설비를 이용하기 위하여 Fig. 3과 같이 터닝(또는 플라이)휠에 갭(또는 자기식) 센서를 설치하고 다른 진동신호와 같이 처리하기 위하여 별도로 F-V(주파수-전압) 변환기를 이용 각속도 변동과 엔진 회전수를 동시에 얻었다.⁽⁸⁾

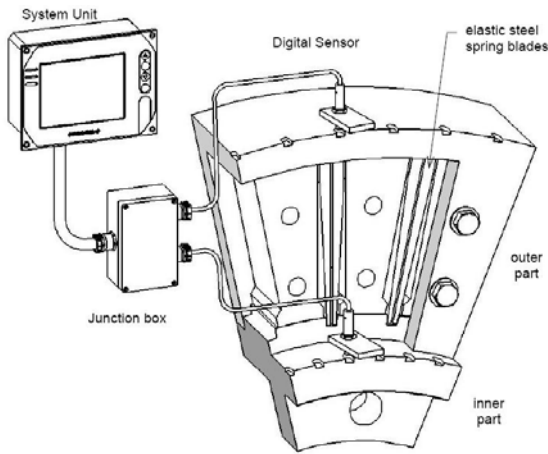


Fig. 1 General arrangement of components for Geislinger monitoring system

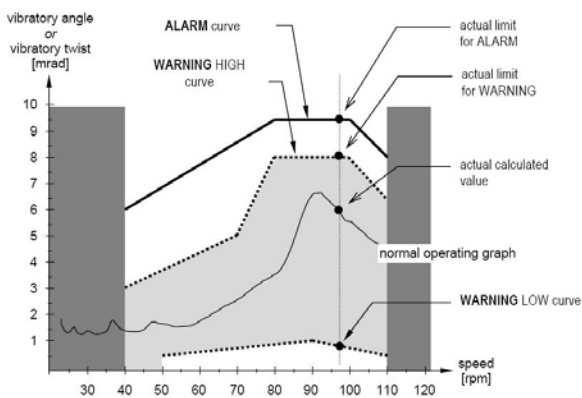


Fig. 2 Alarm definition of torsional vibration for two stroke low speed diesel engine



Fig. 3 Gap sensor for torsional vibration monitoring at turning wheel

2.2 종진동

저속 2행정 디젤엔진에서 종진동은 매우 중요하며 특히 5, 6 실린더 엔진에서 종진동 댐퍼의 성능이 저하되면 크랭크축에서 발생하는 추력 변동력에 의해서 선박 거주구역 상부의 전후진동이 심하게 일어난다. 더 나아가 기능이 현저하게 저하되면 베어링 및 엔진부품들의 마모 증가, 실링오일의 누설 및 크랭크축의 절손과 같은 매우 위험스러운 상황에 처하게 된다. 따라서 각 선급에서는 5, 6실린더 엔진에 대하여 이러한 대형 사고를 방지하기 위하여 Fig. 4와 같이 종진동 모니터링 시스템(AVM)을 표준으로 부착하도록 하고 있다. 그리고 종진동이 클 경우 엔진컨트롤 시스템과 연결되어 자동적으로 엔진회전수를 낮추도록 설계되어 있다. 이 모니터링 장치는 갭 센서를 크랭크축 선단에 부착하고 주파수분석 기능 없이 피크 값에 의존해서 진동을 판단하고 있다. 따라서 종진동의 경향분석을 위하여 AVM 내 진동 신호를 종합적인 진동모니터링에 연결하여 사용할 수 있다.

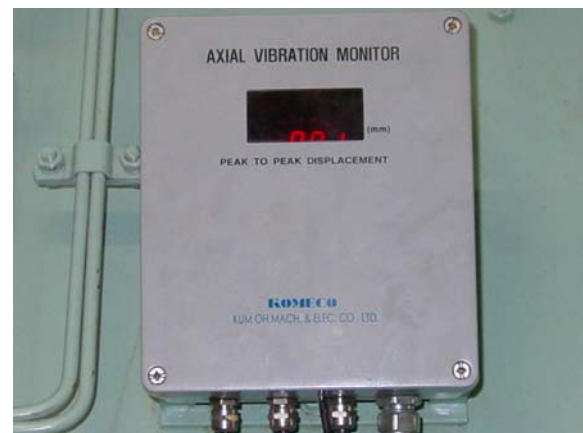


Fig. 4 Axial vibration monitoring system for two stroke low speed diesel engine

2.3 엔진구조진동

저속 2행정 엔진 본체의 구조진동 모니터링은 거의 제외되어 왔다. 이는 엔진을 지지하고 있는 구조가 매우 견고하여 대부분 초기 해상운전 시 진동을 측정하여 설계에 대한 타당성을 확인하고, 서비스 중에는 진동의 양상이 크게 바뀌지 않기 때문이었다. 그러나 Fig. 5와 같이 유압식 브레이싱과 기계식 브레이싱이 적용된 일부 선박에서 이들이 정상적으로 작동하지 않으면 진동이 증가한다. 이때 11실린더 엔진과 같은 특정 엔진에서는 엔진본체의 과도한 구조진동에 의해서 최대회전수까지 엔진을 운전하지 못할 경우도 발생할 수 있다.

발전기 엔진은 Fig. 6과 같이 대부분 탄성지지가 설치되어 있어 엔진의 지지구조는 유연하다. 따라서 엔진 구조진동은 외부 기진력에 민감하여 진동을 모니터링하기에 적합하다. 따라서 엔진을 지지하고 있는 탄성지지의 배치결함, 노화현상, 실린더 연소상태로는 실린더의 착화실패와 실린더 간의 불균등한 부하 등에 의한 진동의 변화를 감지할 수 있다.



Fig. 5 Hydraulic top bracing for two stroke low speed diesel engine

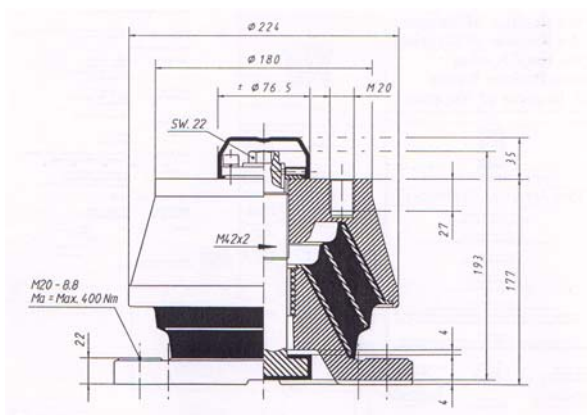


Fig. 6 Resilient mount for four stroke diesel engine

따라서 주기관과 발전기의 전반적인 상태를 확인하기 위하여 구조진동모니터링이 필요하며 비정상적인 비틀림 진동과 종진동도 엔진의 구조진동 모니터링을 통하여 확인할 수 있다.

2.4 과급기의 진동 모니터링

디젤엔진에서 과급기는 중요한 부품중의 하나로 고장이 날 경우 엔진의 회전수를 낮추어 운전할 수는 있지만 정기적인 라인서비스를 하는 컨테이너선의 경우 규정된 속도를 유지하지 못하므로 영업적인 차원에서 치명적이라고 할 수 있다. 과급기는 사고의 정도에 따라 약간의 차이는 있지만 예비품을 확보하더라도 사고에 의해서 과급기를 교체하는 시간은 보통 1개월 정도 소요된다. 결국 1개월 동안 선박을 운항하지 못할 경우 막대한 손실을 예상할 수 있다.

과급기의 진동 모니터링은 두 가지 방법이 있는데 직접 회전로터에 갭 센서를 설치하여 변위를 확인하는 방법으로 신뢰성이 높지만 과도한 설치비용과 관리에 따른 어려움이 많다. 간접적인 방법으로는 Fig. 7과 같이 터빈과 공기를 압축하는 송풍기(Blower)의 중심 위치인 코어홀(Core hole)에 속도 또는 가속도 센서를 부착하여 구조진동을 모니터링하여 시간 경과에 따라 진동 경향(trend) 관리 한다.

저자들의 경험에 의하면 과급기의 대형 사고는 대부분 추력을 받는 방향의 부품들의 문제로 인하여 발생하는 사례가 많았다. 따라서 저자들은 Fig. 8과 같이 송풍기의 추력방향으로 센서를 하나 더 배치할 것을 추천한다. Fig. 9는 대형 컨테이너선의 주기관 과급기 3대 중 송풍기 사이트에 실링이 잘 안된 한 대의 과급기에서 진동을 측정한 스펙트럼으로 과급기 회전로터의 3배수 진동이 심함을 알 수 있다.⁽⁹⁾



Fig. 7 Vibration measurement at core hole of turbocharger for two stroke low speed diesel engine



Fig. 8 Vibration measurement at blower side of turbocharger for two stroke low speed diesel engine

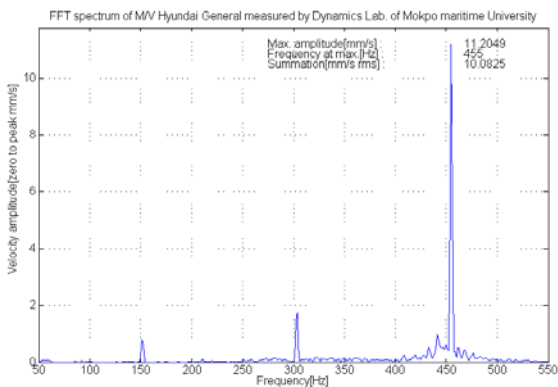


Fig. 9 Vibration measurement result at blower side of turbocharger for two stroke low speed diesel engine

3. 종합적인 진동모니터링 시스템 구축

3.1 시스템 구축

초대형 컨테이너선을 진동모니터링하기 위하여 주기관(엔진출력 11만 5천만력급)은 비틀림진동, 종진동, 엔진구조진동(4 points), 4대의 과급기에 각각 전후, 좌우방향으로 속도센서를 배치하면 필요한 모니터링은 총 16개소이다. 발전기는 대부분 4대로(발전 총 용량은 약 15,000kW)로 구성되어 있으며 각 엔진마다 비틀림, 엔진구조진동(좌우방향), 과급기(전후, 좌우)에 각각 4점으로 총 16개소의 모니터링이 필요하다.

본 연구에서는 A/D 보드로 NI사 cDAQ-9172 새시와 4채널 슬롯(slot)을 이용하여 최대 32채널까지 모니터링할 수 있도록 하였다. A/D 보드의 구성은 Fig. 10과 같으며 실시간 진동모니터링을 위한 전용 보드는 아니지만 사용상 제약점은 거의 없었다. 다만 각 채널사이에 위상차는 있었지만 주, 보조기관의 최대회전수가 모두 800rpm 이하로 프로그램을 실행해본 결과 큰 문제점은 없었다.

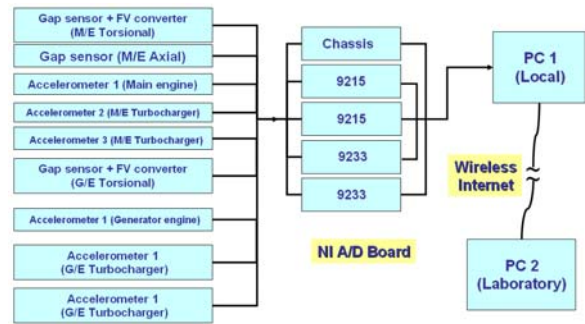


Fig. 10 A/D board of National instrument Co. for vibration monitoring

3.2 C 언어를 이용한 자체 소프트웨어 개발

엔진 상태 모니터링 시스템은 Fig. 11에 보이며 화면상에서 4채널을 볼 수 있도록 디자인하였다. 기능에 집중하다보니 전문적인 Web 설계자와⁽¹⁰⁾ 같이 매끄럽게 되지 않고 미숙한 점이 많아 점점 더 개선해 나갈 예정이다.

Fig.12는 엔진회전수 픽업과 함께 주파수 분석결과로 적분기능을 갖도록 하였으며 과급기 진동은 회전로터의 회전수에 적합하게 밴드 필터를 사용하여 엔진구조진동의 성분은 제거하였다. 특히 자체 프로그램이다 보니 시스템에 대한 신뢰성을 완벽하게 확보하지 못하여 이 부분도 개선하기 위하여 현재 새로운 로직을 개발 중이다.

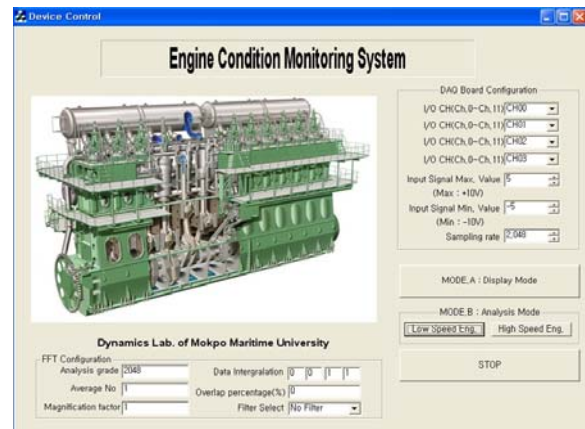


Fig. 11 Engine condition monitoring system for marine diesel engine using C language

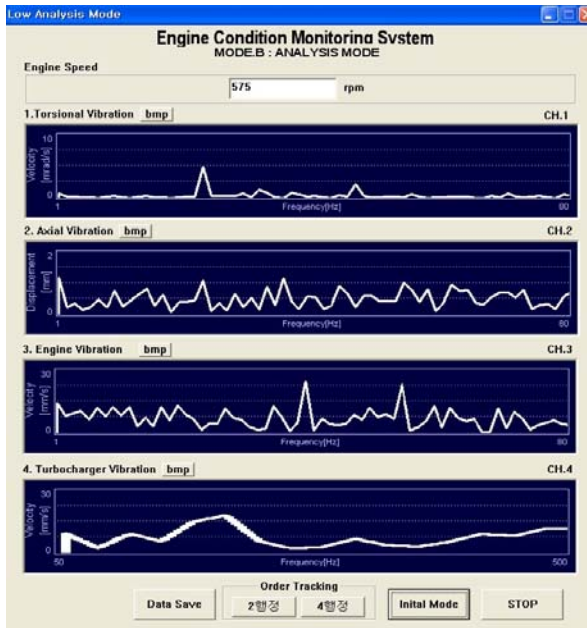


Fig. 12 FFT analysis results for various vibrations of marine diesel engine using C language

3.3 LabVIEW를 이용한 소프트웨어 개발

3.2에서 시스템의 불안정성을 개선하기 위한 대안 중의 하나로 미국 NI사에서 개발하여 널리 사용되고 있는 LabVIEW 8.2를⁽¹¹⁾ 이용하였다. 프로그램은 NI사에서 제공한 아이콘 이외에 내부에 자체 프로그램을 삽입하여 작성하였으며 프로그램에 대한 흐름도는 Fig.13에 보인다. 기본적인 디스플레이 기능과 주파수 분석은 Fig. 14와 같으며 시간 및 주파수분석을 기본으로 하여 차수분석 등을 할 수 있도록 하였다. 디젤엔진의 운전조건과 유사한 진동모니터링 실험을 수행하기 위하여 Fig. 15에 보인바와 같이 자체 제작한 토크 및 마력 측정 장치를 이용하였다. 엔진회전수와 비틀림 진동은 일본 오노소카사의 MP981과 FV1300, 종진동 계측은 미국 Micro Measurement사의 선형변위센서(Linear displacement sensor) 모델 HS25를 이용하여 NI 9215에 연결하였다. 그리고 PCB사 ICP 타입의 두 개의 가속도 센서를 증폭기 없이 NI9233에 직접 연결하여 진동 신호를 디지털 신호로 변환하였다. 감시기능을 갖도록 하기 위하여 사용자가 일정한 주기로 데이터를 수집할 수 있도록 하였으며 Fig. 16은 2분 간격으로 수집한 데이터를 보인다. 이때 실험장치에서 D/C모터를 조정하여 회전수를 30rpm씩 증가시키면서 실험을 수행하였으며 축의 중방향 변위를 Fig. 17에 보이며 가장 큰 피크는 회전수에 대한 3차성분이다. 이 방법은 신뢰성이 높아 바로 현장에 적용할 수 있는 것으로 판단된다.

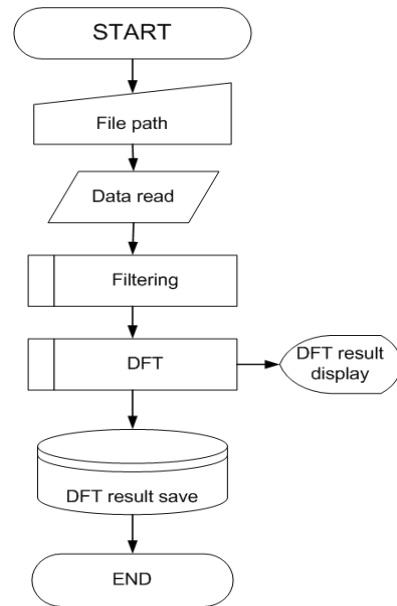


Fig. 13 Flowchart for data analysis of vibration monitoring for marine diesel engine

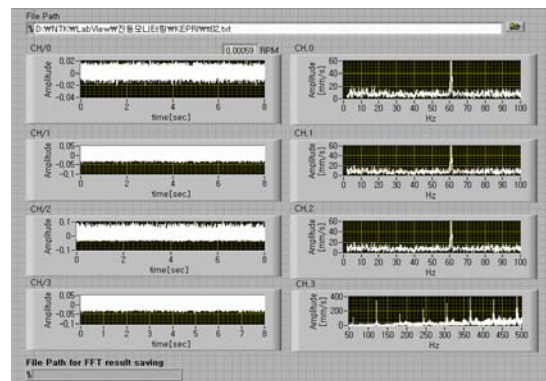


Fig. 14 FFT analysis results for various vibrations of marine diesel engine using NI LabVIEW

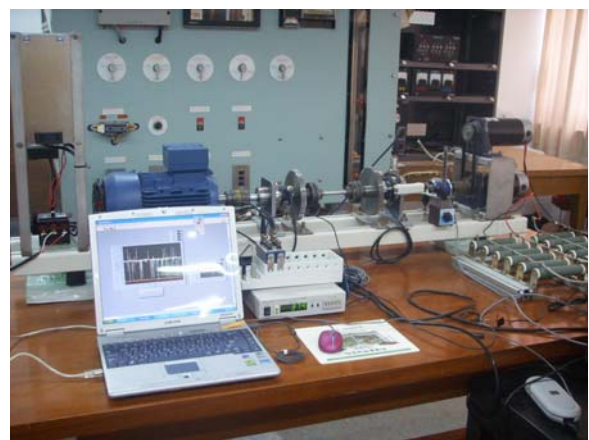


Fig. 15 Vibration monitoring system at torque and power measuring kit

200709081514	1,564KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081516	1,564KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081518	1,565KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081520	1,565KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081522	1,565KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081524	1,566KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081526	1,566KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081528	1,567KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081530	1,568KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081532	1,569KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081534	1,569KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081536	1,569KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081538	1,572KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...
200709081540	1,573KB	텍스트 문서	2007-09-08 오후 ...

Fig. 16 Vibration monitoring results at torque and power measuring kit

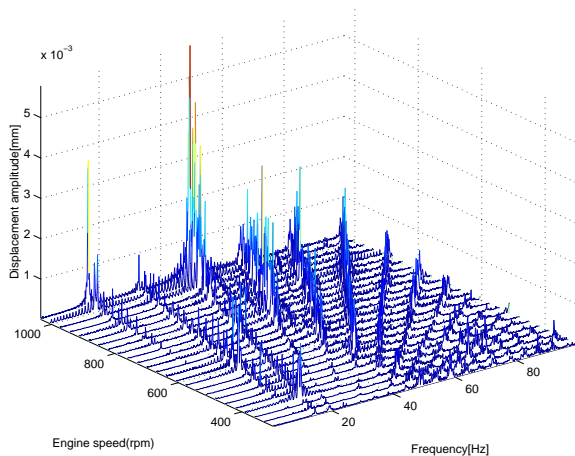


Fig. 17 Waterfall results by vibration monitoring system at torque and power measuring kit

4. 결 론

본 연구를 통해서 저렴하고 신뢰성이 높은 선박 디젤엔진에 적용할 수 있는 종합적인 진동 모니터링 시스템의 개발 가능성을 검토하였다. 완벽한 상품화 및 현장 적용성을 확보하기 위하여 현재 적합한 해운사와 선박을 검토 중에 있으며 지금까지 개발된 시스템을 정리 요약하면 다음과 같다.

- 1) 종합적인 진동 모니터링 시스템에 대한 소프트웨어를 C언어로 자체 개발하였으며 일반 상품화된 제품과 비교하여 큰 차이점은 없었다. 다만 시스템에 대한 안정성이 확보되지 않아 계속 체크해 나가고 있으며 이를 개선할 예정이다.
- 2) 시스템의 안정성을 확보하기 위한 대안 중의 하나로 LabVIEW로 작성된 프로그램을 적용한 결과 시스템의 안정성을 확보할 수 있었고 데이터의 취득이 쉬워 상시 모니터링을 하는데 편리하였다. 이 시스템은 지금도 바로 현장에 투입 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

최종 목표는 C언어를 이용 자체 프로그램을 완벽하게 구현하는 것이며, 현재 계속 이 개발 작업을 진행 중

에 있으며 상품화 할 예정이다.

참 고 문 헌

- (1) Thomas S. Knudsen, 2007, "Design of the new two stroke engines from MAN Diesel A/S", CIMAC(International council on combustion engines) Congress 2007 Vienna.
- (2) Klaus Heim, 2007, "Latest developments of Wartsila low-speed engines to meet current and future customer demands", CIMAC Congress 2007 Vienna.
- (3) Hironori Sakabe, Yohei Yamazaki, 2007, "The latest developments and technologies of the UE engines", CIMAC Congress 2007 Vienna.
- (4) 전효중·이돈출, 2005, 선박용 디젤엔진 및 가스터빈, 동명사.
- (5) Geislinger GmbH, 2006, "Geislinger monitoring", Monitoring_2006.pdf.
- (6) Geislinger GmbH, 2006, "Geislinger Damper", Damper_2006.pdf.
- (7) 이돈출·김상환·장석기, 2001, "디젤엔진의 비틀림진동 모니터링 시스템 개발을 위한 실험적 연구", 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 640~646.
- (8) 이돈출·남택근·유영훈, 2007, "남제주 디젤엔진 진동 규명 실험 및 데이터베이스 구축", 목포해양대학교 산학협력단.
- (9) Dynamics Lab. of Mokpo Maritime University, 2004, "The Vibration measurement of main engine turbo-chargers for Marine Vessel Hyundai General", Document No. MDL-04091.
- (10) 양보석, 2006, 기계설비의 상태 감시 및 진단, 인터비전.
- (11) 광두영, 2007, 컴퓨터 기반의 제어와 계측 LabVIEW(한글판), Ohm사.