



Received: 2019/07/01
Revised: 2019/07/05
Accepted: 2019/07/12
Published: 2019/07/29

***Corresponding Author:**

Donghoon Kim

E-mail: brandon.kim.navy@gmail.com

Abstract

정비전략은 고장장비에 대해서만 실시하던 고장정비에서 예방정비로 발전하였다. 이후 다양한 물리정보와 센서로 확보된 데이터를 분석하여 필요시에 정비를 수행하는 예지정비로 발전 중이다. 이를 바탕으로 대한민국 해군의 미래정비 전략은 기존 예방정비와 예지정비를 혼용하여 적용하는 신뢰도 중심정비로 변모될 것으로 예상된다. 본 연구를 통해 ***급 **함에 대한 장비 진동치 기반 예지정비의 적용가능성을 탐색해 보고 이후 발전방향을 제안하기 위해 과거 수년간 측정된 진동 수치를 기반으로 예지정비 적용가능성 및 발전방향에 대한 연구를 실시하였다. 연쇄곡선 근사를 통해 기간(월)과 진동수치 간의 실험식 도출 후, 예지정비의 핵심인 잔존유효수명을 예측할 수 있었다. 이후 향상된 진동수치 자동저장체계를 이용하여 수집된 자료를 통해 보다 더 신뢰성 있는 예지정비를 수행할 수 있을 것이다.

The strategy of maintenance was improved from the Break-down maintenance strategy, which is only for broken-down equipment, to the Preventive maintenance strategy. The Proactive maintenance strategy involves doing maintenance when data and sensors indicate it is needed, rather than after the equipment has broken down. The ROK Navy may want to adopt the Reliability centered maintenance strategy, which combines the Preventive and Proactive maintenance strategies. By this study, I suggested the applicability of the Proactive maintenance and its future with the vibration data analysis of the ***class **ship. Then, the remaining useful life of the ship was calculated with empirical equations for concatenate curve fitting. In the future, more reliable proactive maintenance will be possible using the improved automatic vibration data recording system.

Keywords

Corrective Maintenance(고장정비),
Preventive Maintenance(예방정비),
Predictive/Proactive/Condition-based
Maintenance(예지정비),
Reliability Centered Maintenance(신뢰도 중심정비),
Vibration Data Analysis(진동데이터 분석)

장비 진동데이터 분석을 통한 ***급 **함 예지정비 적용가능성 및 발전방향에 관한 연구

A Study on Applicability and Development Strategy of Predictive Maintenance into ** Ship with Equipment Vibration Data Analysis

김동훈*, 홍순국, 최경억, 신성균, 김효철, 김종환

대한민국 해군

Donghoon Kim*, Sunguk Hong, Gyeongyeok Choi, Seonggyun Shin, Hyochul Kim, Jonghwan Kim

Republic of Korea Navy

1. 서론

장비에 대하여 수행하는 정비전략은 과거 고장이 발생한 장비에 대하여 실시하는 고장정비(corrective maintenance)에서 고장 간 평균 시간(MTBF: Mean Time Between Failure)이나 평균 고장 시간(MTTF: Mean Time To Failure), 평균 수리시간(MTTR: Mean Time To Repair) 등을 기준으로 실시하는 예방정비(preventive maintenance)로 발전하였다. 이후 다양한 물리정보(압력, 온도, 진동, 소음 등)와 연계된 센서를 이용한 장비 정보 취득체계를 이용한 빅 데이터를 분석하여 필요시에 정비를 수행하는 예지정비(predictive, proactive, condition-based maintenance)로 발전 중이다[1]. 이를 바탕으로 대한민국 해군의 미래정비 전략은 기존 예방정비와 예지정비를 혼용하여 적용하는 신뢰도 중심정비(reliability centered maintenance)가 주축이 될 것으로 예상된다[1].

신뢰도 중심정비는 장비고장의 형태, 영향, 경제성, 작전평가에 따라 정비 전략 적용대상 장비를 구분하여 정비를 수행하는 것이다. 대한민국의 해상 안보를 책임지고 있는 해군의 경우에 임무중요도 고려 장비정비에 대한 경제성이나 효율성보다 예상하지 못한 정비기간부여(casualty report) 등으로 인한 작전손실을 미연에 방지하기 위해 현재의 정비전략을 뛰어넘는 신뢰도 중심정비 하선제적예지정비의 적용이 반드시 필요하다. 본 연구를 통

해 ***급 **함을 비롯한 여러 해군함정에 대한 장비 진동치 기반 예지정비의 적용가능성을 탐색해 보고 이후 발전방향을 제안하고자 한다.

2. 진동데이터 분석을 통한 예지정비 적용

예지정비의 기본적인 수행단계는 데이터 취득 및 처리 (data acquisition, data processing), 상태 확인 및 진단(condition assessment, diagnostic), 예지(prognostics), 결심 지원 및 유지관리(decision support, action), 피드백(feedback) 순으로 진행된다[2]. 데이터 취득 및 처리단계에서는 다양한 센서를 이용한 물리정보를 취득하고 장비유지 관련 특징을 추출하고, 상태확인 및 진단단계에서는 장비상태에 대한 정상 또는 비정상 여부 판단 후, 비정상 시 관련 부위에 대한 식별 및 심각성을 판단한다. 예지단계에서는 잔존유효수명(remaining useful life), 즉 해당 물리정보에 대한 위험수준(functional failure)까지 남은 시간을 예측한다. 결심지원 및 유지관리 단계에서는 예지단계 결과를 바탕으로 해당 장비에 대한 수리부속을 사전에 확보하거나 정비계획의 수립이 이루어진다. 마지막으로 피드백 단계를 통하여 전체 예지정비 수행 사이클을 개선 및 발전시킨다[2].

이러한 예지정비 수행단계를 실제 **** **함의 ****장비에 다음과 같이 적용하였다. 첫 번째로, 데이터 취득 및 처리로 2005년부터 2019년까지 14년간의 **함에 대한 진동 측정 자료를 분석하였다. 두 번째로, 상태 확인 및 진단단계에서는

*** 정비요원의 해당 장비 현장진단으로 이루어졌으며, 세 번째 예지단계에서는 분석된 진동 측정 자료를 기반을 잔존유효수명을 예측했다. 잔존유효수명에 대한 예측에는 위험수준과 잠재적 진동수치(potential failure)에 대한 분석이 필수적이다. 진동수치 위험수준은 과거 14년간 진동 측정 자료와 이 기간 중 수행한 긴급정비지원(고장정비)에 대한 *** 자체 정비지시서를 Fig. 1과 같이 검토 및 분석하여 Table 1과 같은 위험수준을 설정하였다. Fig. 1에서는 14년간 진동 측정 데이터를 시간(월)과 진동수치로 나타냈다. 적색 음영으로 표현된 부분은 ***급 **함 긴급수리를 지원한 시기이다. 이 분석 결과는 이후 긴급정비를 지원할 때 추가로 갱신되어야 한다.

Table 1. Functional failure level of the target equipment

구분	공급1단		배출2단	
	함미	함수	함미	함수
위험수준[dB]	90.47	87.70	89.02	89.53

잠재적 진동수치는 Figs. 2, 3와 같이 진동 측정 자료를 이용하여 단위 기간별 진동 증가폭을 분석하였다. 해당 장비에 대한 정비완료 후 기간(월)에 따른 진동수치 증가량을 알 수 있다.

Figs. 4, 5에서는 같이 단위 기간별로 곡선근사(individual curve fitting)를 적용하였다. 다양한 분포의 지수곡선 형태의 곡선근사를 나타내고 있다.

마지막으로 Figs. 6, 7과 같이 연쇄곡선근사(concatenate

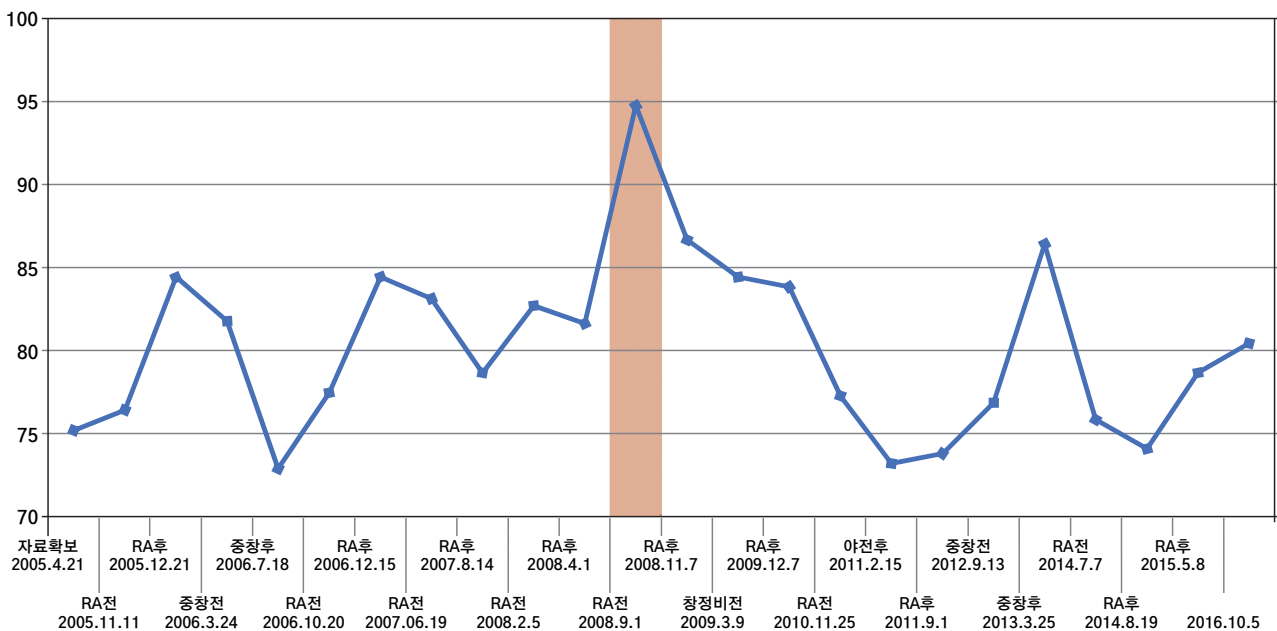


Fig. 1. Analysis of vibration data as a function of time and corrective maintenance history

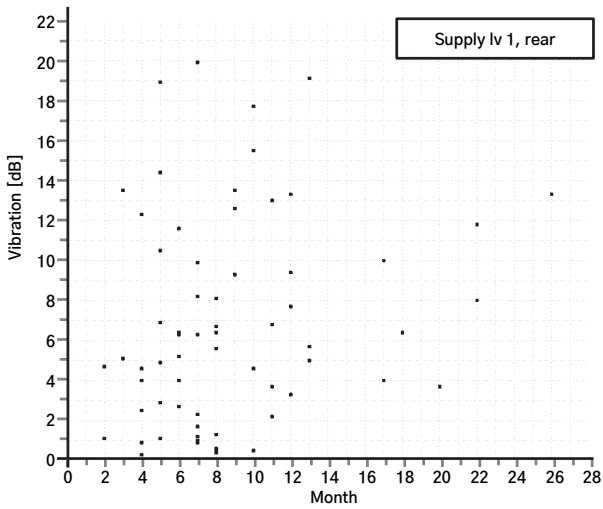


Fig. 2. Individual vibration increase per month with supply level 1 from the rear

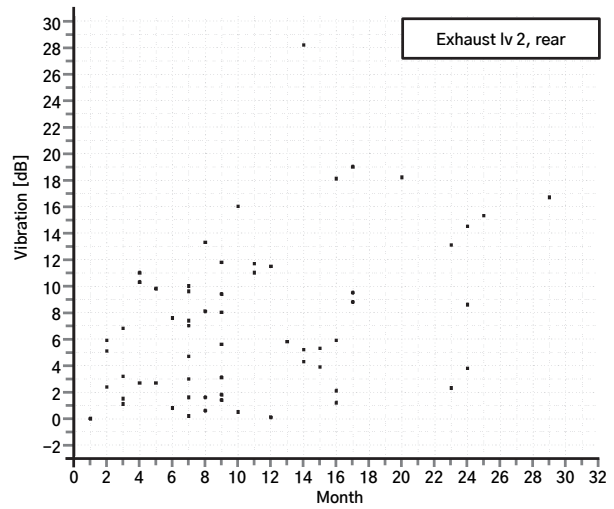


Fig. 3. Individual vibration increase per month with exhaust level 2 from the rear

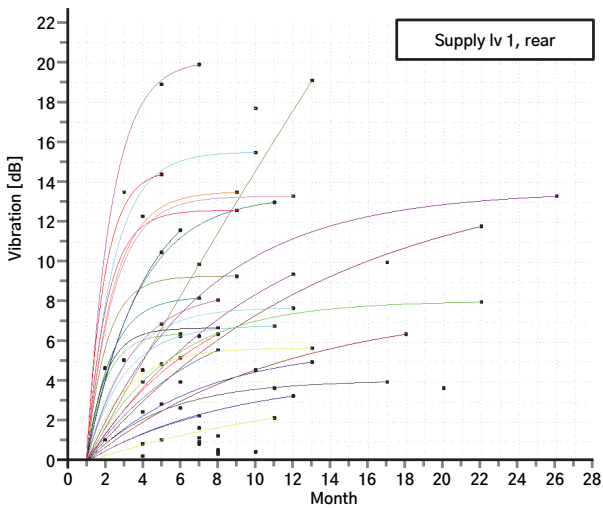


Fig. 4. Curve fitting of individual vibration increase per month with supply level 1 from the rear

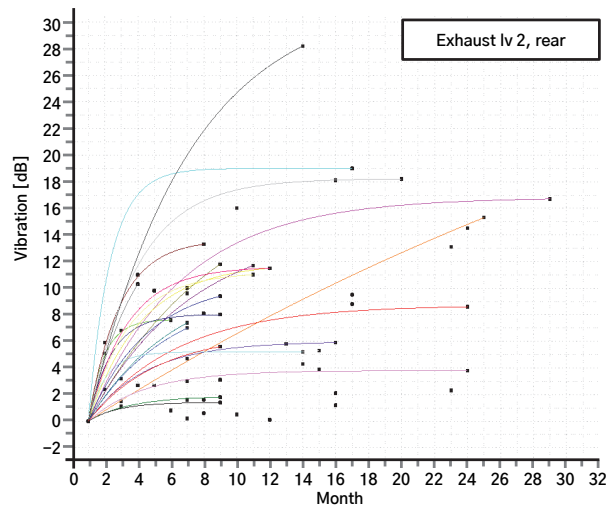


Fig. 5. Curve fitting of individual vibration increase per month with supply level 1 from the rear

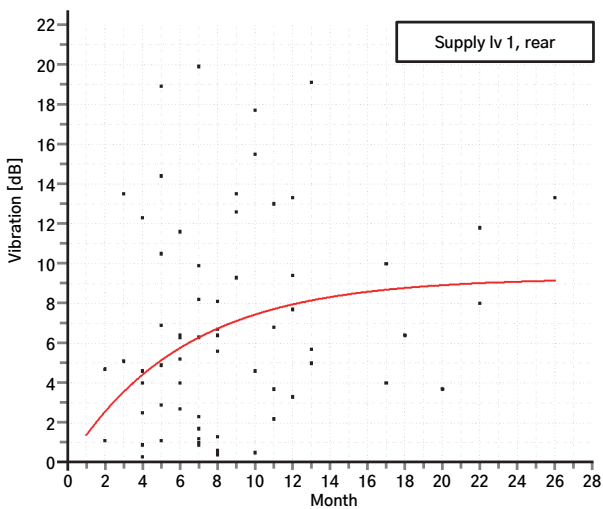


Fig. 6. Concatenate curve fitting of total vibration increase per month

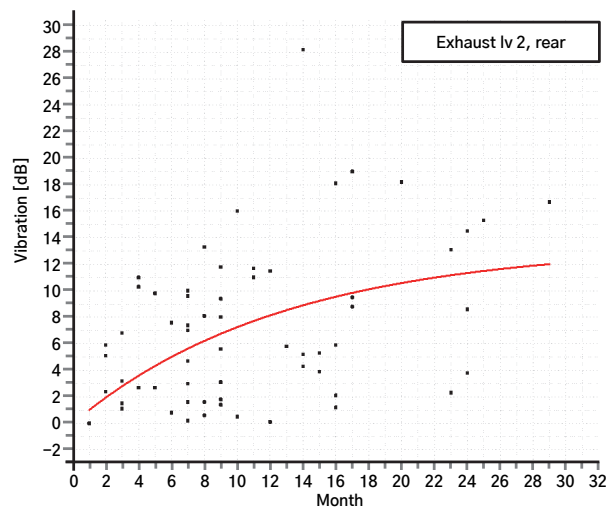


Fig. 7. Concatenate curve fitting of total vibration increase per month

curve fitting)를 통해 식(1) 및 Table 2과 같은 최종 경험식 (empirical equation/box Lucas mode)을 도출하였다.

$$y = a(1 - e^{-bx}) \tag{1}$$

Table 2. Empirical equation coefficient as a function of time and the vibration increase

구분	공급1단		배출2단	
	함미	함수	함미	함수
a	9.28	16.50	13.41	11.20
b	0.16	0.06	0.08	0.19

위험수준과 잠재적 진동수치 분석결과를 기초로 ***급 **함 ****장비에 대한 잔존유효수명을 다음 Table 3과 같이 분석하였다.

Table 3. Remaining useful life of the target equipment

구분	*함	**함
최종 진동측정 수치 [dB]	77.4 (2018년 9월)	81.7 (2018년 7월)
현재 진동수치 예상	83.65	88.78
잔존유효수명	22개월	7개월

Table 3의 *함은 18. 9월에 진동을 측정하였고, 식(1) 적용 시, 현재 83.65 dB의 진동치를 예상할 수 있다. 또한 이 함정이 진동위험수준에 도달하는데 걸리는 기간, 즉 잔존유효수명은 22개월이다. 같은 방법으로 **함은 현재 88.78 dB의 진동을 예상할 수 있고, 잔존유효수명은 7개월을 예상할 수 있다.

마지막으로 결심지원 및 유지관리 단계에서는 **함정 대상으로 관련 장비에 대한 수리부속이나 정비대체장비를 사전 준비하고, 5개월 이후 진동측정을 추가로 실시하여 위험 진동수준에 도달할 가능성이 증가할 때 정비를 수행한다.

급 **함의 *장비에 대한 예지정비 적용가능성과 효과성은 입증되었다고 판단되지만 연구과정에서 다음과 개선 및 발전방향이 식별되었다. 먼저 휴대용 진동측정장비를 사용하여 수작업으로 해당 장비에 대한 진동을 측정하는 과정에서 오차가 발생할 가능성이 크고 단순히 균직정비 전.후에 국한하여 측정함에 따라 14년 동안 누적되었음에도 불구하고 측정데이터의 양이 부족했다. 그 결과로 실험식의 R-square 값이 0.67에 머물고, 각 계수에 대한 오차가 8%를 보이게 되었다. 또한, 대상 장비에 대하여 단순 진동의 크기 (scalar)만을 측정했기 때문에 세부 진동현상에 대한 분석에

필요한 진동 방향성(vector) 측정이 필요하다. 즉, 현 진동 측정 방식에 실시간 진동수치가 자동 저장되고 진동의 방향성을 측정할 수 있는 기능의 보완이 필요하다.

개선 및 발전방향에 대한 향후 추진계획은 다음과 같다. Figs. 8, 9와 같은 성능이 보완된 같은 진동측정 및 자동저장 장비(시제품)를 구성하여 시범 적용 중이다. 현재 *함 해당 장비에 적용하여 방향성을 가진 진동수치를 5초 간격으로 임무수행중 지속적으로 저장 중이다. 이러한 향상된 진동측정 결과를 이용하여 더욱 신뢰도 있는 잔존유효수명 분석으로 예지정비를 수행할 수 있을 것이다.



Fig. 8. Sensor of the vibration monitoring and data saving system



Fig. 9. Gateway and node of the vibration monitoring and data saving system

장비 진동 자동저장체계 및 진동 분석을 통하여 예지정비의 효용성이 입증되었을 경우 해당 분야 사업반영으로 대상 함정 및 대상장비를 확대할 것이다. 진동 분석결과에 대한 내용을 대한민국 해군이 수행하고 있는 표준정비항목 내용에 반영하여 승조원의 수리신청이 없어도 정비를 진행할 수 있는 체계적 기반을 만들 예정이다.

3. 결론

**** **함의 ****장비에 대하여 과거 수년간 측정된 진동 수치를 기반으로 예지정비 적용가능성 및 발전방향에 대한 연구를 실시하였다. 연쇄곡선 근사를 통해 기간(월)과 진동 수치 간의 실험식 도출 후, 잔존유효수명을 예측할 수 있었다. 이후 진동수치 자동저장체계를에서 수집된 자료를 통해 보다 더 신뢰성 있는 예지정비를 수행할 것을 기대한다.

감사의 글

14년간 관련 장비의 진동을 묵묵히 측정해 주신 대한민국 해군 *** 요원들의 희생과 노력에 진심으로 감사드립니다. 또한 이러한 연구를 허락해 주신 해군 함정기관병과예하선 후배 장교님들께 감사의 말씀을 전합니다.

참고문헌

- [1] Sethiya, S. K. "Condition based maintenance (CBM)." Secy. to CME/WCR/JBP, 2006.
- [2] Javed, K., Gouriveau, R., Zerhouni, N., and Nectoux, P. "Enabling health monitoring approach based on vibration data for accurate prognostics." IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015. 62(1), 647-656.