



함정용 감속기어의 상태 점검을 위한 진동 기준 연구

이가향·김덕주·전수홍·김용훈·황수하·하성철
국방기술품질원

A Study on Vibration Criteria for Status Evaluation of the Reduction Gear for Naval Vessels

Gahyang Lee·Deokjoo Kim·Soohong Jeon·Yonghoon Kim·Suha Hwang·Sungchul Ha
Defense Agency for Technology and Quality

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In this paper, the purpose of a study is to evaluate the vibration characteristics of the reduction gear for mounting naval vessels and to present new vibration standards based on it. The reduction gear is one of the core propulsion systems of naval vessels, and vibration generated by high-speed rotation according to various conditions in the marine environment affects the performance, durability, and crew safety of the ship. However, the existing classification standards do not clearly present specific vibration standards for reduction gears for naval vessels-mounted reduction gears, and overall research on vibration characteristics is also insufficient. To solve this problem, this study first identified the applicability of the current standards by comparing and analyzing major domestic and foreign classification standards. Subsequently, the vibration data of the reduction gear generated by naval vessels were collected and compared with the existing classification criteria to identify the vibration characteristics. In addition, a new vibration standard for the reduction gear was presented. Through this, it is expected to play an important role in securing the shaft integrity of naval vessels and maintaining the long-term performance of the reduction gear.

Keywords : Reduction gear(감속기어), Vibration(진동), Vibration criteria(진동 기준)

1. 서론

함정은 해상에서의 복잡한 환경과 작전 조건을 고려하여 임무를 수행하기 위한 추진 시스템을 요구한다. 이 중에서도 감속기어는 함정의 추진 시스템에서 핵심적인 역할을 하며 추진력의 전달뿐만 아니라 축의 건전성을 확보하는 데 중요한 요소로 작용한다. 감속기어는 고속 회전하는 기계 부품으로서 다양한 외부적 요인 및 기계적 부하에 민감하게 반응한다. 특히 감속기어의 진동은 축계 시스템의 안정성을 저하시킬뿐만 아니라 장기적으로는 기계적 고장이나 함의 가동률 향상에 영향을 미치고 승조원의 임무 수행에 영향을 초래할 수 있다.

현재까지 한국 해군의 함정설계/건조기준(Korean Navy, 2022)의 진동 적용 기준에는 추진축계에 대한 허용기준을 명시하고 있지만 왕복동 기관 및 축계 비틀림 진동과 종진동에 대해 국한되어 있다. 특히 함정용 감속기어 상태평가에 대한 진동 기준은 충분히 정립되지 않은 상황이며 기존의 선급 기준(ABS, 2021)도 주로 상선이나 상용 기계 시스템에 대한 기준에 중점을 두고 있

다. 이는 함정 특유의 운용 환경과 구조적 요구 사항과 함정의 실제 운용에서 발생할 수 있는 진동 문제를 충분히 고려하지 못하는 경우가 많다. 따라서 함정에 탑재되는 감속기어의 진동 특성을 파악하고 이를 기반으로 함정의 특수한 운용 환경에 적합한 진동 기준을 마련하는 것이 필요하다.

본 논문은 함정에 탑재된 감속기어의 상태 진단을 위한 진동 기준을 제시하기 위해 주요 선급 및 표준에서 적용하는 기준들을 비교하고 함정 특성에 맞는 진동 기준을 제안하고자 한다. 또한 운용 함정의 감속기어에서 실측한 진동 데이터를 국외 주요 선급의 진동 기준값과 비교해 실제 함정에서의 적용 가능성을 검토한다. 그리고 실제 함정에 적용할 수 있는 감속기어의 진동 기준을 제안한다.

본 연구의 주요 내용은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 국외 주요 선급 및 국제 표준의 진동 기준을 비교하여 특징을 살펴본다. 이를 바탕으로 함정의 안전하고 효율적인 운용을 위한 구체적인 진동 기준을 제안한다. 둘째, 실제 함정에서 측정한 감속기어의 진동 데이터를 기반으로 진동 수준을 비교한다.

2. 감속기어 진동 허용기준 현황

2.1 한국 해군의 진동 허용기준 현황

한국 해군에서는 함정설계/건조기준에서 감속기어와 관련된 진동 기준을 제시한다. 함정설계/건조기준은 MIL-STD-167-2(SHIP) (1974)를 기반으로 추진축계에 작용하는 힘-변위 관계를 분석한다. 비틀림 진동 기준의 경우에는 기어 축에서 비틀림 진동 응력은 극한 인장 강도/25(강철)이내이고, 기어(치차)를 가로 지르는 진동토크는 구동토크의 75% 또는 최대부하토크의 25% 중 작은 값 등으로 제시한다. 종진동 기준의 경우에는 Fig. 1 및 Table 1 과 같이 기어(치차)에서 종방향 변동추력에 의한 진동 응력, 주 추진 계통의 종방향 초과진동 변위로 제시하고 있다. 횡진동의 경우에는 추진축계가 횡방향으로 공진 현상이 없어야 한다고 제시한다. 그리고 축계 진동의 일부(하위) 항목인 하우징 받침대에서 진동을 측정하여 평가한다.

그러나 감속기어 받침대의 진동 측정 결과는 축의 분당회전수 (revolutions per minute), 치차물림 주파수(gear mesh frequency), 기어축 정렬불량(misalignment), 불평형 질량(mass unbalance) 등 감속기어 내부에서 발생하는 동적 하중이 베어링 지지구조와 기저에 적절히 전달되고 작동 간극이 유지되는지에 대한 확인이 필요하다.

따라서 감속기어의 개발 단계 평가 뿐만 아니라 운용 단계에서도 지속적으로 진동 상태를 점검할 수 있는 진동 기준값 마련이 필요하며, 감속기어의 상태를 점검할 수 있는 진동 기준값을 제시하는 것이 필요하다.

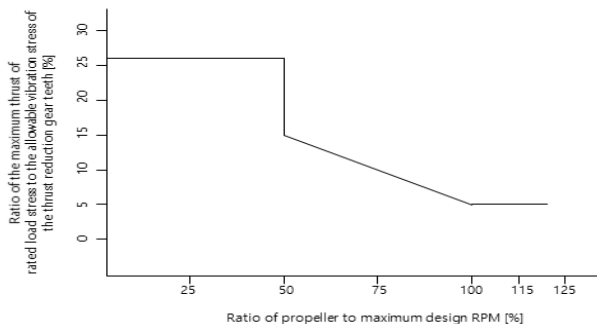


Fig. 1 Stress limit of gear difference due to longitudinal fluctuation thrust (Korean Navy, 2022)

Table 1 Vibration limit for gear (Korean Navy, 2022)

Frequency Range(Hz)	Vibration Limits(mm)
4 ~ 15	0.762 ± 0.1524
16 ~ 25	0.508 ± 0.1016
26 ~ 33	0.254 ± 0.0508
34 ~ 40	0.127 ± 0.0254
41 ~ 50	0.0762 - 0.0254

Table 2 Vibration limit for gear of ABS, DNV (ABS, 2021; DNV, 2021)

Velocity
4 - 1 000Hz
7mm/s
To be measured in any direction on the foundation and on the input shaft bearing

2.2 국외 주요 선급의 진동 허용기준 현황

미국 선급회사인 ABS(America Bureau of Shipping)의 Vibration of Machinery Equipment and Related Structures 및 노르웨이·독일 선급회사인 DNV(Det Norske Veritas·Germanischer Lloyd)의 Rules for classification of ships의 Vibration Class에서는 Table 2와 같이 감속기어의 기준치에 대해 제시한다. 감속기어의 용량 및 특성의 구분 없이 감속기어 베어링의 모든 방향에서 4~1000Hz까지의 전 주파수 대역에서 진동 속도의 RMS (Root Mean Square) 값을 활용하여 동일한 기준값인 VR 7.0을 적용한다.

영국 선급회사인 LR(Lloyd's Register)에서는 Ship Vibration and Noise의 Guidance Notes에서 기어류를 회전기계로 분류하여 출력에 따라 기계의 등급을 분류하여 진동 속도값을 활용하여 진동 기준치를 제시한다. 또한 Fig. 2와 같이 진동의 수준에 따라 Good, Satisfactory, Unsatisfactory, Excessive로 구분하여 상태를 판단한다. Good은 탑재된 장비의 전형적인 진동 수준을 의미하고, Satisfactory의 경우 장기적 운용 관점에서 만족스러운 진동 수준을 의미하고, Unsatisfactory의 경우 장기적 운용 관점에서 불만족스러운 진동 수준을 의미하며, 수리가 가능할 때까지

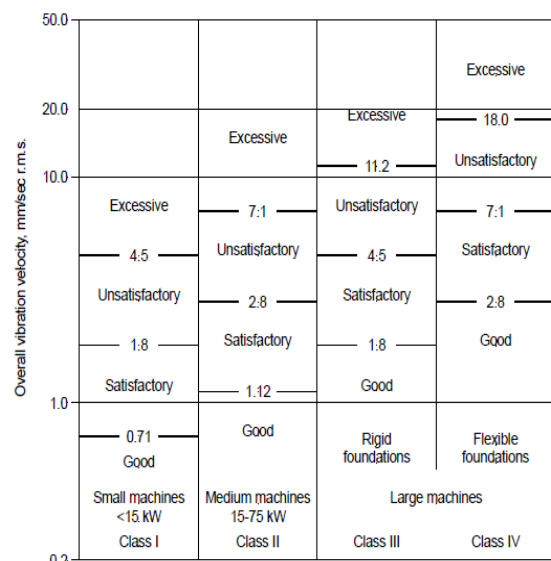


Fig. 2 Rotating machinery assessment (LR(Lloyd's Register), 2006)

제한된 기간을 설정하여 운용하여야 하며, Excessive의 경우, 기계의 손상이 의심되는 진동 수준임을 의미한다.

2.3 ISO 20816-9 기준

국제표준 ISO 20816-9 (Mechanical Vibration – Measurement and Evaluation of Machine Vibration – Part 9. Gear Units)은 감속기어가 개별적으로 덮혀 있거나 밀폐된 상태에서 비틀림 진동을 제외한 기계적 진동을 결정하고 분류하기 위한 요구 사항들을 제안한다. 감속기어의 정격 출력은 10kW ~ 100MW이며, 정격 회전 속도가 30~12,000rpm(0.5 ~ 200Hz)인 감속기어에 적용된다. 그리고 감속기어의 용도에 따라 특수목적, 일반목적 등으로 세분화하고 출력에 따라 세분화하여 진동 등급을 분류하는 것을 권고한다. 또한 하우징 및 축 진동을 측정하는 방법과 진동 크기를 결정하기 위한 계측 유형, 측정 방법 및 시험 절차를 규정하고 수용 가능한 진동 등급들이 포함되어 있다. 감속기어의 진동을 평가하기 위한 측정 위치는 기어 장치의 입력 축 베어링과 장치 내부 축 베어링, 기어장치의 케이싱, 축 변위와 하우징 속도를 동시에 측정하거나 베어링 틈새가 작은 경우에는 하우징 속도만 측정하도록 제시되어 있으며 측정 주파수는 축 변위에서는 2 ~ 500Hz, 하우징 속도는 10~2,000Hz, 하우징 가속도는 10 ~ 5,000Hz로 명시되어 있다. 기어장치의 동적 하중이 베어링의 지지구조와 기저에 적절히 전달되고 작동 간극이 유지되는지를 평가하기 위해 기어장치를 최대 축 출력과 용도, 기어의 형태에 따라 Table 3과 같이 4개의 등급으로 분류하여 평가 기준을 적용하는 것을 예시로 제안한다. 또한, 기어 장치 하우징 측정점의 종방향과 수직방향에 대해서도 장비의 운용 상태를 분류하여 Fig. 3과 같이 속력 등급 선도로 평가 기준을 적용하는 것을 제안한다.

3. 감속기어 진동 기준 연구

3.1 국제 표준 적용 가능성 검토

기준에 적용하는 진동 등급(rating)들이 다양하고 폭넓은 주파수 대역에서 합리적인 기준을 설정할 수 있는 국제표준 ISO 20816-9를 참조하여 개발 함정의 감속기어 진동 적용기준을 마련하고, 이를 토대로 운용 함정의 진동 상태를 점검 및 모니터링하고자 한다.

현재 운용 중인 함정을 추진방식에 따라 분류하고, 감속기어 개당 출력을 10MW 기준으로 구분하여 ISO 20816-9 표준을 참조하면 함정 설계/건조 기준을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 계측 요구 사항

3.2.1 측정 항목 및 위치

ISO 20816-9에 따르면 감속기어 진동 측정은 '베어링 하우징

Table 3 Classification of Typical Types of Gear Units (ISO 20816-9, 2016)

Class	Sub-class	Examples of Gear Units	Power	DR	VR	AR
I	a)	Special-purpose, enclosed, precision single or double helical one or two stage speed increasers and reducers of parallel shaft design.	Any	31.5	3.15	50.0
	b)	Industrial, marine, etc.	Low High	31.5 50.0	3.15 5.0	b b
II	a)	General-purpose, enclosed, single or multi-stage gear units incorporating parallel shaft, helical and right-angle spiral bevel gears.	Any	50.0	5.0	80.0
	b)	High-speed (over 3 600 r/min) Industrial, marine etc.	Low High	50.0 80.0	5.0 8.0	b b
III	a)	General-purpose, enclosed, single or two-stage reduction gear units incorporating epicyclic (planetary) gears.	Any	80.0	8.0	125.0
	b)	Industrial, marine, etc.	Low High	80.0 125.0	8.0 12.5	b b
IV	a)	General-purpose enclosed, single or multi-stage straight cut reduction gear units, e.g. calendars, extruders, etc.	Any	125.0	20.0	125.0
	b)	Mill, etc. Industrial, marine, etc.	Low High	125.0 200.0	12.5 20.0	b b

a See Fig. A.3

b No information available at this time

DR= displacement rating, VR = Velocity rating, AR = acceleration rating (see Annex A)

진동(속도 또는 가속도) 또는 '축 진동(변위)' 측정 방식으로 구분한다. '축 진동(변위)' 측정 방식이 상세한 측정 결과를 획득하는데 유리한 면이 있지만 500Hz 이내의 대역에서만 유효하므로 그 외의 경우에는 대부분 '베어링 하우징 진동' 측정 방식이 선호된다. 함정 감속기어의 경우, 볼 베어링 등 구름 요소를 적용하고 있고, 500Hz 이상의 고주파 영역에도 중요한 신호들이 존재한다. 따라서 베어링 하우징 진동 측정 방식이 적합할 것으로 판단된다. 또한, 측정 장비 측면에서 '축 진동' 측정 방식은 비접촉식 변위계(proximity sensor)를 별도로 운용해야 하지만, '베어링 하우징 진동' 측정 방식은 가속도계(accelerometer)를 사용하여도 충분히 측정할 수 있다. 측정 업무의 범용성을 고려할 때, 하우징 진동

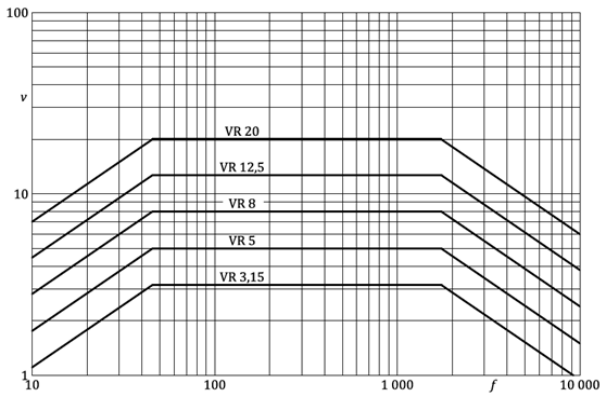


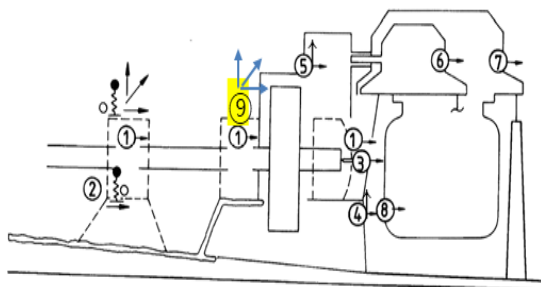
Fig. 3 Speed rating diagram for housing vibration f frequency, Hz RMS vibration velocity, mm/s: VR velocity rating number (ISO 20816-9, 2016)

측정 방식도 가능할 것으로 판단된다. 본 논문에서 제시하는 기준에서는 감속기어 축 베어링 하우징에서 가속도를 측정하여 속도 진동값(VR)으로 평가하고자 한다.

3.2.2 진동 측정 위치

현재 적용되는 기준에는 축 중심선 위 아래의 감속기어 하우징 최상부와 받침대 최상부에서 각각 진동을 측정하도록 되어 있다. 이런 경우에는 감속기어의 정렬 불량(misalignment), 질량 불균형(mass unbalance) 그리고 치차물림 주파수(gear mesh frequency)에 의한 내부 결함들과 관련된 진동 요인들은 확인이 불가능하므로 Fig. 4에서 보는 바와 같이 감속기어 입력 또는 출력 축에 연결된 베어링 하우징 부분에서 진동 신호를 측정할 필요가 있다. 여기서 추력 베어링과 기어 장치가 일체형인 경우에는 ⑨번 위치로 대체하여 추력 베어링 하우징 진동을 측정할 수 있다.

측정은 최대 3개의 직교 방향에서 수행되어야 하며 그중 2개는 기어의 회전축에 수직인 평면에 놓인다. 베어링의 하중 영역을 알고 있는 경우 이 방향에서 반경 방향으로 측정하는 것이 좋



① Thrust bearing housing
④ Gear unit housing pedestal top under shaft centerline
⑤ Gear unit housing pedestal top of shaft centerline
⑨ Top of reduction gear shaft bearing housing(New)
Fig. 4 Measurement point of gear drive shaft system (ISO 20816-9, 2016)

다. 그렇지 않은 경우에는 선호되는 방향으로 수평, 수직 및 축 방향을 설정한다.

3.3 측정값에 대한 주파수 스펙트럼 정의

축 베어링 하우징 진동은 본 절에서 명시된 주파수 범위에 걸쳐 광대역 가속도 또는 속도를 측정할 수 있는 장비를 사용하여야 한다. 계측기는 가장 낮은 축 회전 속도의 절반부터 가장 높은 치차물림 주파수의 최소 3.5배까지 측정할 수 있어야 한다. 본 논문에서 제시한 기준은 하우징 가속도 주파수 측정 범위는 1~6400Hz이며 속도 주파수 평가 범위는 4~5000Hz로 한다. 저주파 시작점(4Hz)에 관하여 ISO20816-9의 경우에는 주변 환경이나 구조적 진동에 의한 영향이 진동 데이터를 왜곡할 수 있는 부분을 고려해서 최소 주파수를 10Hz로 설정한 것으로 보인다. 하지만 해상 운용 환경에서 적용하는 ABS, DNV社の 기준값(4Hz)을 준용하는 것이 바람직하다고 판단하였다. 변환기와 계측기를 모두 포함하는 측정 계측 시스템은 전체 작동 주파수 범위에 걸쳐 판독값의 $\pm 10\%$ 허용 오차 내에서 진동 크기를 표시할 수 있어야 한다. 측정 시 선호되는 가속도 단위는 m/s^2 이고 속력은 mm/s이며 변위는 μm 이고 측정결과 분석 시 각각의 물리량 표시 방법은 Table 4와 같다.

Table 4 Units of measurement

Physical	Unit
Frequency	Hz
Displacement (peak-to-peak)	μm
Velocity(rms)	mm/s
Acceleration(peak)	m/s^2

3.4 진동 등급 설정

진동 등급은 속력의 RMS(Root Mean Square) 값을 기준으로 Table 5와 같이 VR 3.15, VR 5.0, VR 8.0, VR 12.5, VR 20 등으로 나눈다. 이 배열은 진동에너지의 등급간 비율이 약 2.5배되는 값들이며 필요한 경우 비율을 1.25배 단위로 다르게 하여 진동 등급을 세분화 할 수 있다.

해군 함정용 감속기어는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 감속기어 개당 출력 10MW까지 VR 5.0으로, 50MW까지는 VR 8.0으로 구분하여 기준을 설정한다. 이 기준은 현재 운용함정에서 사용되는 감속기어의 개당 출력을 고려하고 ABS, DNV 선급에서 제시하는 단일 기준값인 VR 7.0를 참조했을 때 적절한 등급 분류이다.

주파수 대역 4~5000Hz 구간의 속력 기준 선도에 대하여 Fig. 6에서 보는 바와 같이 설정한다. 저주파 대역의 경우 DR 50과 VR 5.0이 일치하는 주파수 대역이 약 45Hz이고 그 절점 이하에

Table 5 Classification of vibration ratings based on the RMS(Root Mean Square) value of velocity

Grade (VR)	Kinetic Energy (VR2)	Inter grade energy ratio
20.0	400.0	—
12.5	156.3	2.56
8.0	64.0	2.44
5.0	25.0	2.56
3.15	9.9	2.52

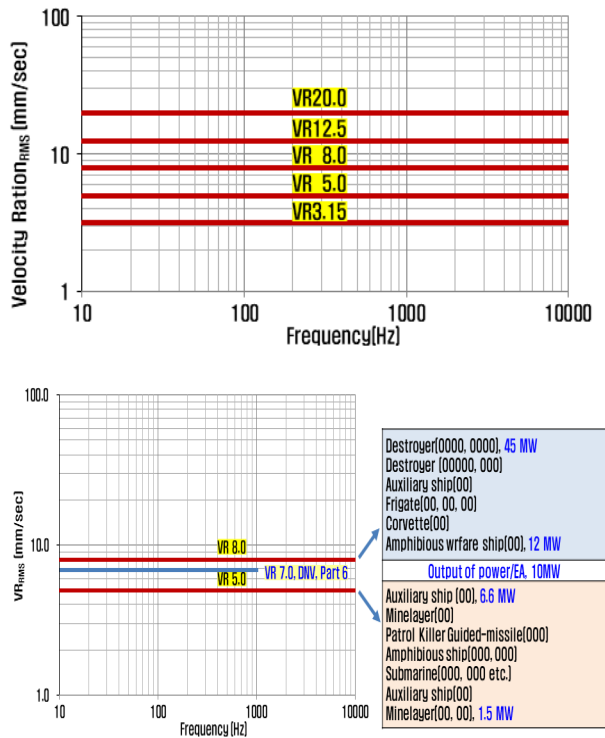


Fig. 5 Velocity rating classification

서는 14dB/decade의 기울기를 갖는 것으로 규정한다. 고주파 대역은 AR 50과 VR 5.0이 일치하는 주파수 대역과 감속기어 치차 물림 주파수 등을 고려하여 1125Hz를 절점으로 하고 그 절점 이상에서는 14dB/decade의 기울기를 갖는 것으로 규정한다. 즉, 45~1125Hz 사이에서는 일정 속력 등급을 갖고 나머지 구간에서는 14dB/decade 비율로 증가하거나 감소하는 직선이 된다.

3.5 감속기어 운용 중 진동 상태 분류

운용 중인 함정의 감속기어 진동을 측정하면 지정된 정격 속도 및 부하 범위의 정상상태(steady state) 작동 조건에서 정상적인 상태의 작은 변화만을 볼 수도 있고 심각한 결함으로 인한 수리나 정비가 요구되는 수준을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제시하는 기준에서는 감속기어의 개당 출력이 10MW 초과 시 Fig. 7과 같이 진동 등급을 VR 8.0으로 규정하고 주변 경계를 4개의 구역

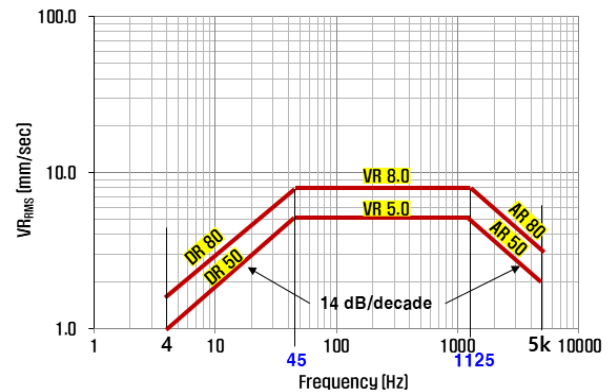


Fig. 6 Classification of the VR_{rms} by frequency

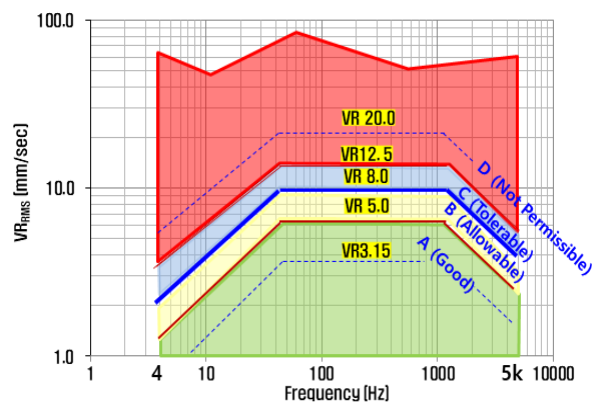


Fig. 7 Classification of four levels of vibration during deceleration gear operation(If prescribed VR 8.0)

Table 6 State classification of measured vibration values according to reduction gear grade

Measured vibration values of platform of naval vessels		
Displacement μm (p-p)	Velocity mm/s (RMS(Root Mean Square))	Acceleration m/s^2 (p)
DR 20	VR 2.0	AR 20
DR 31.5	VR 3.15	AR 31.5
DR 50	VR 5.0	AR 50
DR 80	VR 8.0	AR 80
DR 125	VR 12.5	AR 125
DR 200	VR 20.0	AR 200
DR 500	VR 50.0	AR 500
DR 800	VR 80.0	AR 800
DR 1250	VR 125.0	AR 1250

으로 나누어 기계의 진동에 대한 정성적 평가에 따른 조치를 위한 지침을 제공할 수 있다. 전 구간을 진동 속도 RMS를 기준으로 진동 수준을 비교한다. 구역 A는 새로 시운전된 감속기어들의 진동 상태를 나타낸다. 구역 B는 일반적으로 무제한 사용이 가능한 진동 상태를 나타낸다. 구역 C는 일반적으로 장기간 연속 운용에 만족스럽지 못한 것으로 간주된다. 감속기어는 교정 조치를 위한

적절한 시기가 도래할 때까지 이 조건에서 제한된 기간 동안 운용할 수 있다. 구역 D는 감속기어에 손상을 줄 만큼 심각한 진동 상태이다.

또한 추후 감속기어에 대한 더 많은 경험이 축적되면 해군 함정 감속기어의 출력 외에 기어 종류(평기어, 헬리컬기어 등)나 장착 방식(탄성 또는 고체 마운트) 또는 함정의 최대 속력 등을 고려하여 본 기준 개정(안)을 Table 6과 같이 적용할 수 있다.

4. 함정 측정 데이터를 활용한 감속기어 진동 수준 비교

4.1 국외 주요 선급회사의 진동 기준 적용

2절에서 언급한 바와 같이 국외 주요 선급회사 중 ABS, DNV社の 감속기어 진동 적용 기준에 따라 MOO급 등 9척의 운용함정에서 측정한 데이터값과 비교해 보았다. 진동 데이터는 PCB

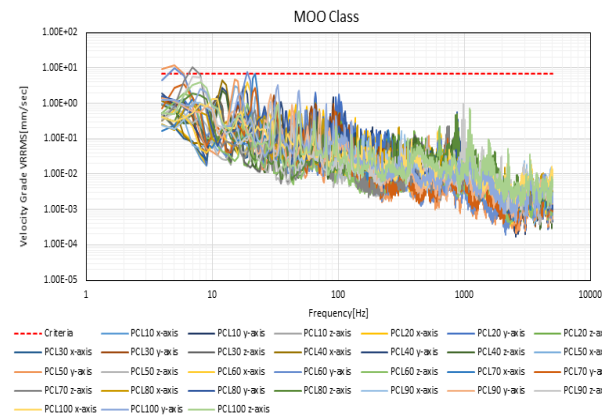


Fig. 8 Comparison of ABS, DNV criteria and vibration values of MOO Class

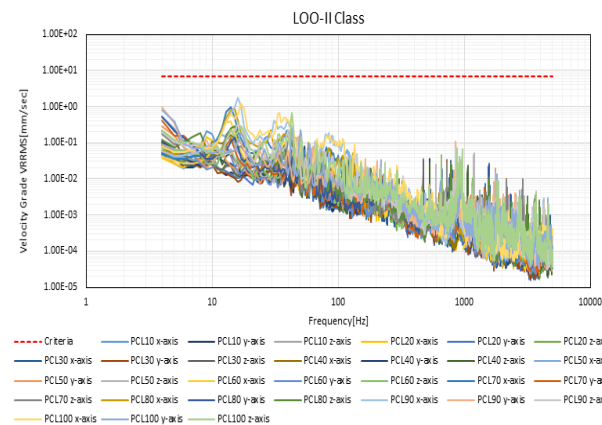


Fig. 9 Comparison of ABS, DNV criteria and vibration values of LOO-II Class

Piezotronics사의 3축 가속도 센서인 356A43과 B&K 사의 데이터 수집장치인 Type 3053B-12/0 장비를 사용하여 획득했다.

진동은 감속기어 축베어링 하우징 상부에서 계측하였으며 1~6400Hz 범위의 협대역 주파수 가속도 스펙트럼을 측정했다.

선급 규정에서는 안정적인 주행조건에서 허용되는 모든 작동 조건과 부하에서 기준이 적용된다고 명시되어 있다. 이에 따라

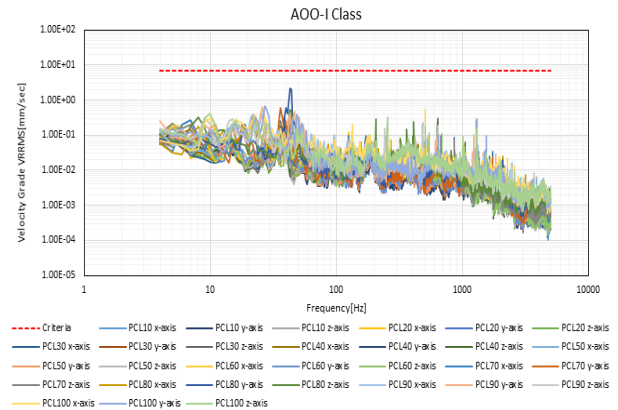


Fig. 10 Comparison of ABS, DNV criteria and vibration values of AOO-I Class

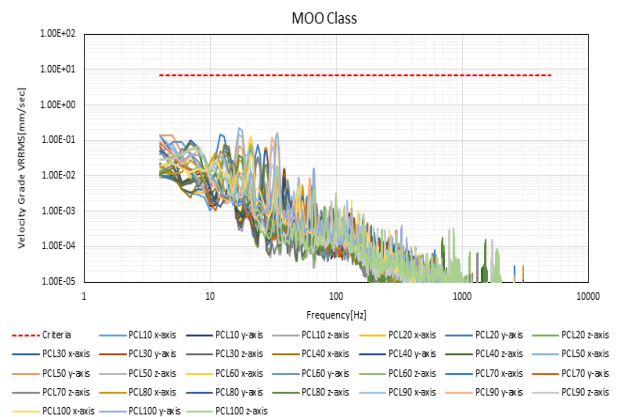


Fig. 11 Comparison of ABS, DNV criteria and vibration values of MOO Class



Fig. 12 Comparison of ABS, DNV criteria and vibration values of AOO-II Class

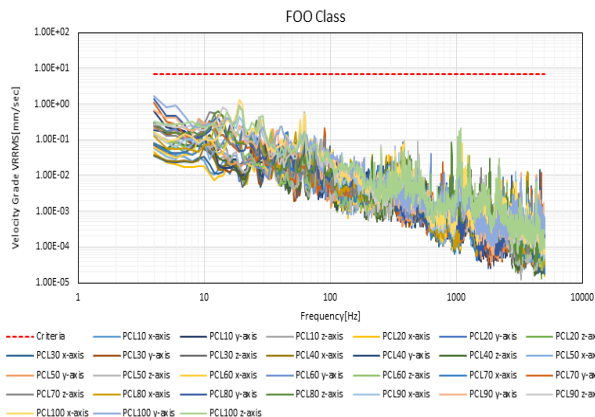


Fig. 13 Comparison of ABS, DNV criteria and vibration values of FOO Class

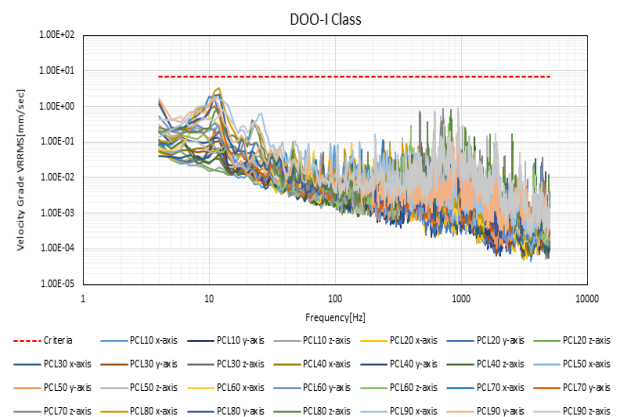


Fig. 16 Comparison of ABS, DNV criteria and vibration values of DOO-I Class

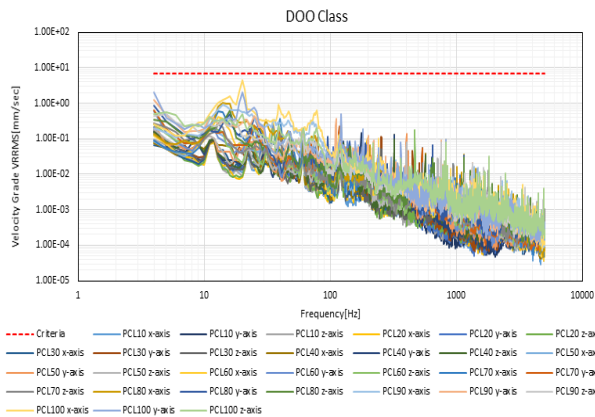


Fig. 14 Comparison of ABS, DNV criteria and vibration values of DOO Class

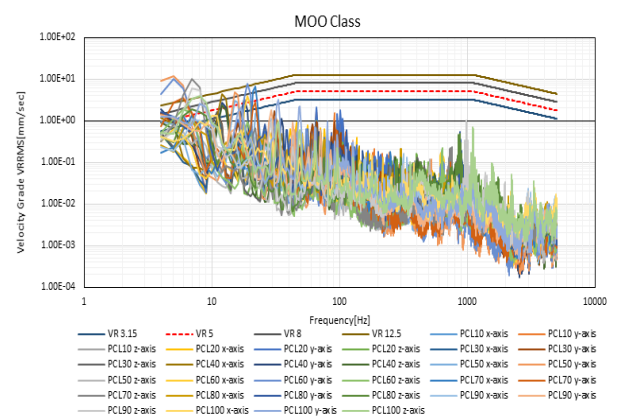


Fig. 17 Comparison of proposal criteria and vibration values of MOO Class (VR 5)

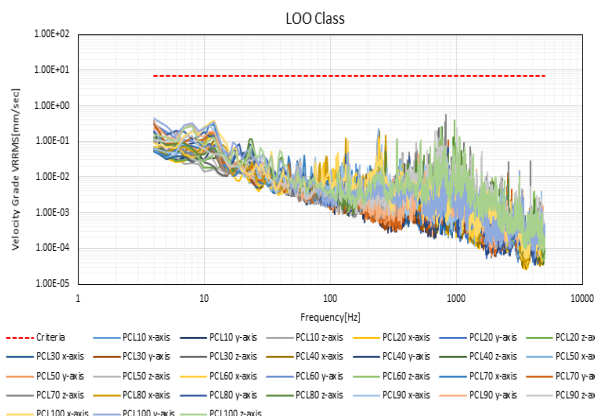


Fig. 15 Comparison of ABS, DNV criteria and vibration values of LOO Class

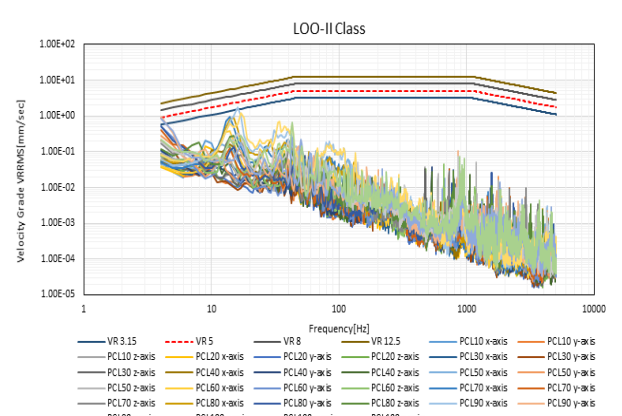


Fig. 18 Comparison of proposal criteria and vibration values of LOO-II Class (VR 5)

MOO급 함정 등 9척의 함정에 대해 최소 속력부터 최대 운항 가능 속력까지 PCL 별로 측정했다. 계측 결과에 대해 Figs. 8~16에서 보는 바와 같이 세로축을 진동 속도의 RMS, 가로 축을 주파수 대역으로 확인했다. 결론적으로 대부분의 함정에서 진동 수준을 만족하는 것으로 보이나, 일부 주행조건에서는 진동 수준을

초과하는 것으로 나타났다.

선급에서 감속기어에 대해 제시하는 기준은 감속기어의 용량이나 용도의 구분 없이 대다수 일괄로 적용하고 있다. 따라서 모든 주파수에서 동일한 값을 적용함에 따라 저주파 및 고주파 대역에서 과도한 진동을 허용한다고 볼 수 있다.

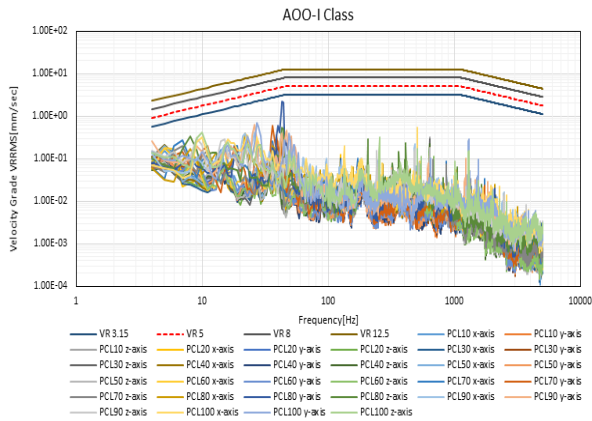


Fig. 19 Comparison of proposal criteria and vibration values of AOO-I Class (VR 5)

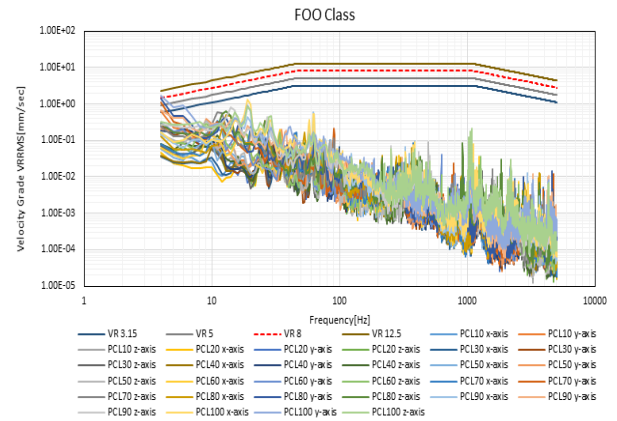


Fig. 22 Comparison of proposal criteria and vibration values of FOO Class (VR 8)

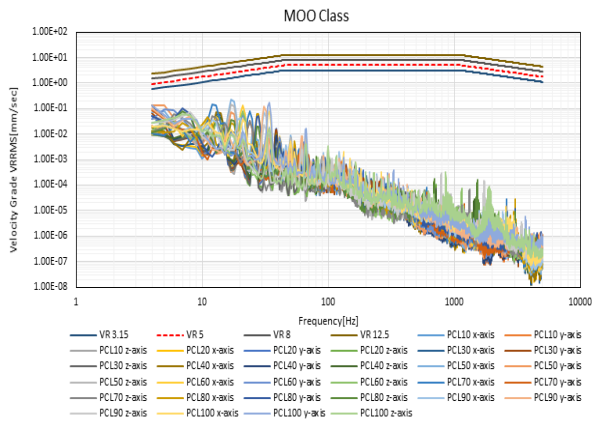


Fig. 20 Comparison of proposal criteria and vibration values of MOO Class (VR 5)

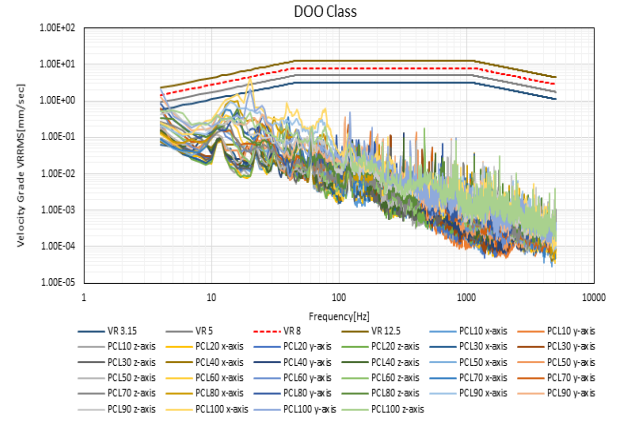


Fig. 23 Comparison of proposal criteria and vibration values of DOO Class (VR 8)

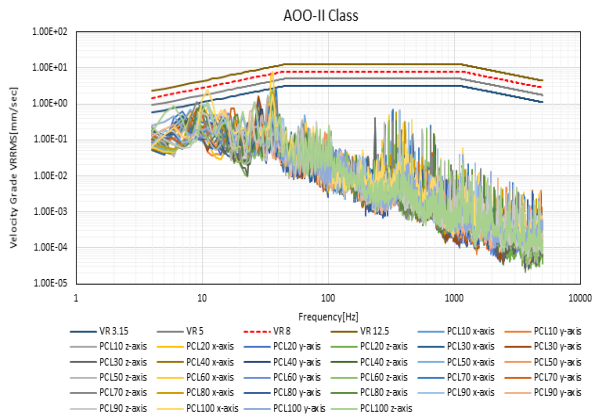


Fig. 21 Comparison of proposal criteria and vibration values of AOO-II Class (VR 8)

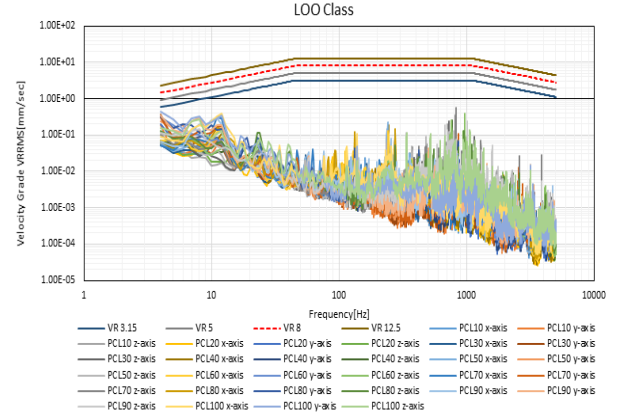


Fig. 24 Comparison of proposal criteria and vibration values of LOO Class (VR 8)

4.2 감속기어 진동 허용기준 제시(안) 적용

3절에서 언급한 바와 같이 본 연구에서 제시하는 감속기어의 진동 허용기준을 적용하여 MOO급 등 9척의 운용함정에서 계속한 데이터값과 비교해 보았다. 진동 데이터는 4.1절에 사용된 데

이터와 동일한 데이터를 사용하여 분석했다.

1~6400Hz 범위의 현대역 주파수 가속도 스펙트럼을 계측하고, 4~5000Hz 범위에서 속력 스펙트럼으로 변환하여 제안하고자 하는 진동기준과 비교했다. 감속기어의 용량에 따라 주파수 범위, 진동 등급을 설정하여 진동 상태를 표기했다. Figs. 17~20은 감속기어의 개당 출력이 10MW 이하인 함정이고, Figs.



Fig. 25 Comparison of proposal criteria and vibration values of DOO-I Class (VR 8)

21~25는 감속기어의 개당 출력이 10MW 초과인 함정임에 따라 기준치를 상이하게 적용했다.

AOO-II급의 경우 Fig. 12에서는 PCL 60에서 단순 기준치 초과를 의미하나 Fig. 21에서는 감속기어가 특정 조건에서 제한적으로 사용 가능함을 알 수 있다. 이 외에도 Fig. 12에서는 기준치에 따라 충족임을 알 수 있으나 Fig. 21에서는 진동 수준이 위치한 구역에 따라 감속기어 상태가 양호하여 신규 장비의 수준임 등 세분화하여 평가할 수 있다.

측정 결과를 통해 전반적으로 저주파 대역에서 진동 속력이 크게 나타난다는 사실을 확인할 수 있으므로 본 연구에서 제안하는 저주파 대역의 기준선도를 적용하면 감속기어 운용 간 상태관리에 도움이 될 것으로 판단된다.

5. 결 론

감속기어는 추진축계의 핵심적인 기계요소로서 지속적으로 진동 상태에 대해 모니터링을 하는 것이 필요하다. 해군에서는 함정에 적용되는 감속기어 진동을 판단하기 위해 “해군 함정 설계/건조 기준”을 참고한다. 국외 선급의 경우 기어의 용량 및 특성 구분없이 모든 감속기어를 대상으로 일괄 적용하고 전체 주파수 대역에서도 일정한 값을 적용하고 있으며 감속기어 축회전 주파수 또는 치차물림주파수 등을 포함하는 저주파 및 고주파 대역에서 오히려 진동 수준을 과도하게 허용하는 경향이 있다. 따라서 본 논문에서는 기어 용량, 주파수 대역, 기어 상태 구분 등을 설정하고 있는 국제표준 ISO20816-9를 참조하여 해군 함정의 감속기어 상태를 판단하기 위한 합리적인 진동 기준을 제안한다. 또한 운용 함정의 감속기어에서 계측한 진동 데이터를 비교하여 적용 가능성을 확인하였다.

본 논문을 바탕으로 함정에 적용되는 감속기어의 진동 기준을 수립하는데 도움이 되길 희망하며, 감속기어의 상태 진단을 위한 진동 특성을 파악하는 자료가 되길 희망한다.

References

- ABS(America Bureau of Shipping), 2021, Vibration of Machinery Equipment and Related Structures
- DNV(Det Norske Veritas-Germanischer Lloyd), 2021, Rules for classification of ships, Vibration Class
- ISO 20816-9, 2016, Mechanical Vibration – Measurement and Evaluation of Machine Vibration – Part 9. Gear Units
- Korean Navy, 2022, 5th Revision of 「Naval Ship Design/Construction Standards」, Criteria for Ship Vibration
- LR(Lloyd's Register), 2006, Ship Vibration and Noise, Guidance Notes
- MIL-STD-167-2, 1974, Mechanical Vibrations of Shipboard Equipment.

