

2. 동력공학 특집기사

디젤엔진 및 축계 진동에 대한 규정 및 진동계측

Evaluation Criteria and Measurement Methods Revised of Vibration on the Diesel Engines and Propulsion Shafting



이 돈 출
Don-Chool Lee

- 목포해양대학교 교수
- 본 학회 편집이사
- (사)한국소음·진동공학회 편집위원
- CIMAC WG14(축계) 위원
- E-mail : ldcvib@mmu.ac.kr



이 운 호
Woon-Ho Lee

- 한국선급 기관담당
- 한국내연기관협회의
- E-mail : whlee@krs.co.kr

1. 머리말

본 글은 선박의 추진기관과 발전기관, 육상 발전소 등의 설계에 있어 디젤엔진과 관련된 부품의 진동 허용기준과 이를 계측하는 방법에 관해서 간략하게 기술한 것이다. 진동 기준과 계측방법은 주로 IACS(국제선급연합회), 주요 선급, ISO 규격, 엔진 제작사, CIMAC(국제연소기관회의) WG14 자료 그리고 필자들의 지난 20여년간의 경험을 토대로 작성하였다. 또한 이 글은 가능한한 객관적인 관점에서 기술하려고 노력하였지만, 일부 디젤엔진 및 축계의 제작사와 이를 사용하는 선주사 또는 조선소간의 입장에 따라 견해가 서로 다를 수 있다고 생각한다.

2. 진동의 허용 기준

공개된 자료는 주로 참고문헌의 그림과 표를 이용하였고, 비공개된 자료는 경향이나 수치만

을 간략하게 기술하였다. 본문에서 별도로 언급하지 않은 경우 변위, 속도 및 가속도는 편 진폭(zero to peak)을 기준한다.

2.1 엔진본체진동

엔진본체 진동에 대한 허용 값은 엔진 제작사의 기준을 적용하는 것이 바람직하며, 저속 2행정 디젤엔진에 대하여 MAN B&W사는 그림 1과 같이 25.0~50.0 mm/s, Wartsila Switzerland사는 38.0 mm/s를 권장하고 있다. DNV(노르웨이 선급)는 대구경 엔진에 대하여 표 1과 같이 권장 값과 손상 예상 값으로 구분하여 제시하고 있고, LR(영국 선급)의 권장 값은 그림 3과 같다. 저속 2행정 디젤엔진의 육상 발전소는 그림 2와 같이 ISO 8528-9에 규정된 값이 있지만 앞에서 언급한 엔진제작사의 기준보다 높다. 아무튼 이 기준은 현실성이 약간 떨어져 있지만 엔진 제작자와 사용자간의 계약에 사용되는 공식적인 허용기준이다. 필자들의 경험에 의하면 저속 2행정엔진의 경우 엔진부품의

피로한도를 고려하면 실린더 직경 700 mm를 기준으로 이보다 큰 엔진은 이들 권장 값보다 약간 작게, 이보다 작은 엔진은 권장 값보다 약간 크게 설정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한 진동방향과 진동모드를 동시에 고려하여 엔진 전후 방향의 L-모드 진동과 엔진 횡방향의 H-모드 진동 및 X-모드 진동 순으로 엔진부품과 선체진동에 영향력이 클 것으로 생각된다.

4행정 중·고속 엔진의 엔진본체 진동은 제작사의 자체 규정 값 대신 앞에서 언급한 ISO 8528-9 규정을 이용하고 있다. DNV의 발전기에 대한 진동 권장 값은 표 2. 중속 엔진은 표3과 같고, LR은 저속, 중·고속엔진 구분 없이 그림 3과 같다. 필자들의 경험에 의하면 엔진지지 방법으로 고정지지(rigid)를 한 경우의 진동허용 기준값은 이러한 규정들보다 약간 강화하고, 탄성지지(resilient mount)를 한 경우는 이보다 약간 관대하게 취급하는 것이 바람직하다.

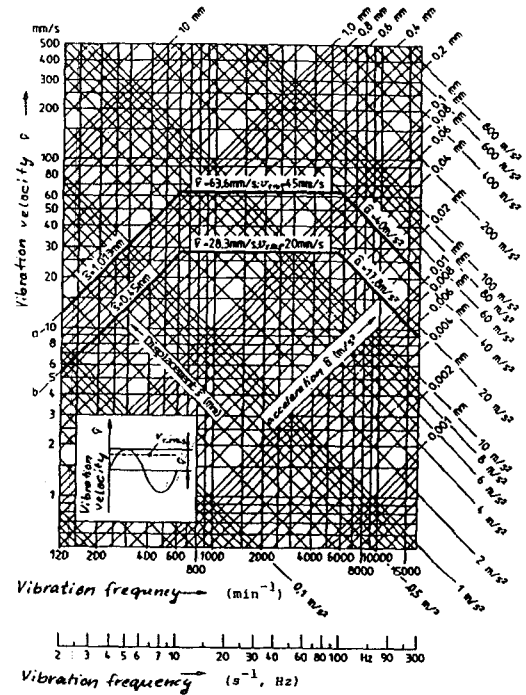


그림 2 왕복동 기관의 진동 허용 값(ISO 8528-9).

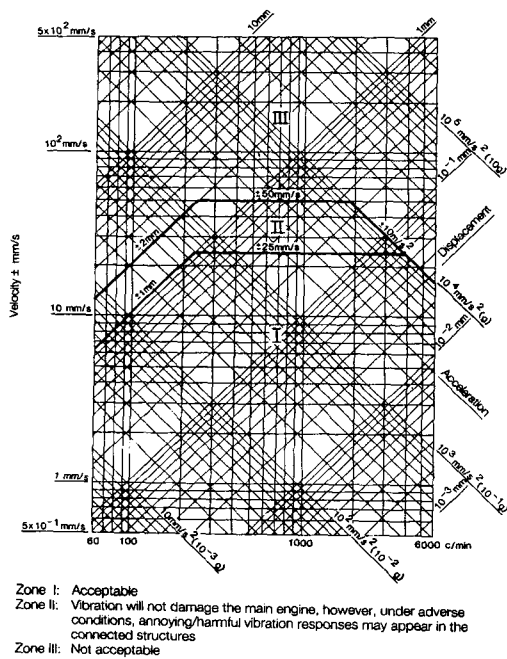


그림 1 저속 2 행정 디젤엔진의 진동 권장 값 (MAN B&W).

표 1 대구경 엔진의 권장 진동 값 (DNV).

구 분	저 속	
권장 값 (좌우방향)	속 도	1.0mm(1~2.4Hz)
	변 위	15mm/s(2.4~100Hz)
손상예상 값 (좌우방향)	속 도	2.0mm(1~2.4Hz)
	가속도	30mm/s²(2.4~53.1Hz)
권장 값 (상하, 전후방향)	속 도	0.5mm(1~2.4Hz)
	변 위	8mm/s(2.4~100Hz)
손상예상 값 (상하, 전후방향)	속 도	1.0mm(1~2.4Hz)
	저 속	15mm/s(2.4~100Hz)

표 2 디젤엔진구동 발전기의 권장 진동 값(DNV).

구 분	저 속	
권장 값	변 위	0.5mm(1~3.2Hz)
	속 도	10mm/s(3.2~100Hz)
손상예상 값	변 위	1.0mm(1~3.2Hz)
	속 도	20mm/s(3.2~79.6Hz)
	가속도	10³mm/s²(79.6~100Hz)

표 3 중속 엔진의 권장 진동 값 (DNV).

구 분	저 속	
권장 값	변 위	0.5mm(1~4.8Hz)
	속 도	15mm/s(4.8~100Hz)
손상예상 값	변 위	1.0mm(1~4.8Hz)
	속 도	30mm/s(4.8~100Hz)
	가속도	10 ⁴ mm/s ² (53.1~100Hz)

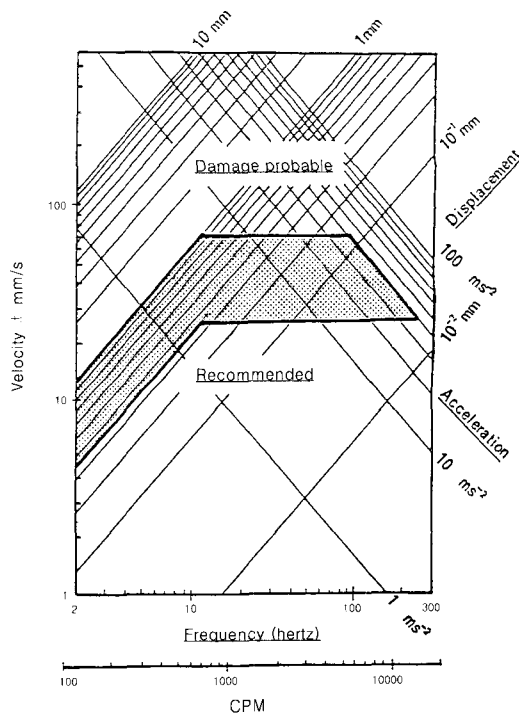


그림 3 왕복동 기관의 권장 진동 값(LR).

2.2 비틀림 진동

비틀림 진동 허용 값은 IACS UR 기준이 적합하며 축계부분은 UR M48, 크랭크축은 UR M53의 규정에 따른다. 그러나 각 선급간의 규정이 약간씩 달라 주요선급 및 엔진 제작사를 중심으로 한 CIMAC WG14에서 통일 작업을 하고 있으며 잠정 합의된 내용들을 위주로 언급하고자 한다. 이외에 ISO 3046-5 규정이 있지만 아주 포괄적으로 기술하고 있어 이를 설계기준으로 적용하기에는 어려움이 많다. IACS UR M48에서 축의 허용 응력은 식(1)~(2)와 같다.

$$\tau_1 = \pm \frac{\sigma_n + 160}{18} \cdot C_K \cdot C_D \cdot (3 - 2\lambda^2) \quad (1)$$

for $\lambda \leq 0.9$

$$\tau_1 = \pm \frac{\sigma_n + 160}{18} \cdot C_K \cdot C_D \cdot 1.38 \quad (2)$$

for $0.9 < \lambda \leq 1.05$

τ_1 : 연속운전구역에서 허용 비틀림 진동 응력 [N/mm²]

σ_n : 축의 최대허용인장강도 [N/mm²]

C_K : 축의 종류 및 형상에 관한 계수

C_D : 축 지름에 관한 계수 (= 0.35 + 0.93 ^{n₀})

d : 축 직경 [mm]

λ : 속도비 [= n/n₀]

n : 사용회전수 [min⁻¹]

n_0 : 정격회전수 [min⁻¹]

2.2.1 부가응력에 대한 허용값 및 최대인장강도

비틀림 진동에 의한 부가응력의 허용 값은 차수 개념이 아니고 합성응력으로 IACS UR M48을 따르고 있으며, ABS(미국 선급)만 유일하게 단일 차수에 대해서 1.5배까지 허용하고 있다. 최대허용인장강도는 표4와 같다.

표 4 중간 및 프로펠러축의 최대 허용 인장강도.

Class	① UTSmax for inter shaft ② UTSmax for propeller shaft
ABS-96	① : 800, ② : 600
BV-96	① : 800, ② : 800
CCS-96	① : 800, ② : 600
DNV-96	① : 600, ② : 600
GL-97	① : 600, ② : 600
KR-01	① : 800, ② : 600
LR-96	① : 800, ② : 600
NK-96	① : 800, ② : 600
RINA-97	① : 600, ② : 600
WG 14	① : 800, ② : 600 [N/mm ²]

실제 사용할 수 있는 축 재료는 규격인장강도 값이 800 N/mm²을 넘지 않아야 하며 부가응력의 허용 값을 계산할 때 인정할 수 있는 최대허용인장강도 값으로 중간축은 800 N/mm², 프로펠러축은 600 N/mm²으로 현행 UR의 규정과 동일하게 작년 말 CIMAC WG 14회의에서 잠정 합의되었다. 크랭크축의 허용 값은 IACS UR M53에 엔진 설계시 허용 변동 비틀림 응력

값을 제시하도록 규정되어 있으며, CIMAC 내에 별도 위원회[WG4-Crankshaft Dimensions]에서 검토 작업이 진행되고 있다.

2.2.2 프로펠러축 'C_k계수'

표 5와 같이 GL(독일 선급)과 NK(일본 선급)가 IACS UR M48과 다르며 CIMAC WG 14 회의에서 GL이 IACS와 동일하게 개정하겠다는 의견을 제시하였고, 일본 측에서 반대가 없어 0.55로 잠정합의 되었다.

표 5 프로펠러축의 'C_k' 계수.

Class	'C _k ' factor for propeller shaft (keyless propeller hub)
ABS-96	0.55
BV-96	0.55
CCS-96	0.55
DNV-96	0.55
GL-97	0.5
KR-01	0.55
LR-96	0.55
NK-96	0.554
RINA-97	0.55
WG 14	0.55

2.2.3 연속운전금지구역

표 6과 같이 DNV와 GL에서는 연속운전금지 구역을 정하지 않고 피로에 대한 누적을 검토하도록 하고 있지만, 작년 CIMAC WG 14에서 IACS 안 대로 통일하였다. 다만 DNV 요구에 의해 컨트롤 시스템에서 회전수 'Pick-up' 오차를 연속운전금지구역에 가산하는 것으로 잠정합의하였다. 최근 한 연구 보고서에 의하면 저속 2행정 엔진을 탑재한 선박에서 이 오차가 축계절손 사고에 크게 기여한 사례가 있었다.

표 6 연속운전금지구역.

Class	Rules for width of barred speed range
ABS-96	yes
BV-96	yes
CCS-96	yes
DNV-96	no
GL-97	no
KR-01	yes
LR-96	yes
NK-96	yes
RINA-97	yes
WG14	IACS UR M48

2.2.4 PTO 발전기의 전기적인 각 변위

표 7과 같이 LR와 GL에서 이를 규제하고 있으며, 필자들은 해기사 및 선박근무 종사들을 위하여 필요하다고 생각한다. 필자들의 경험에 의하면 LR의 경우 현행 규정 변경 전에 2.5 Deg.로 규제하여 특정 엔진에서 이를 준수하기 어려운 적이 있었다. 아무튼 프리커링(flickering)으로부터 선박 근무자들의 눈을 보호할 수 있을 것으로 생각한다. 이는 축발전기에 대한 규정이지만 비상발전기를 제외한 일반 선내 모든 발전기까지 확대 적용해야 한다. 또한 비틀림 진동 각을 계측하여 전기적인 각으로 환산할 필요가 있다.

표 7 발전기 회전자 각 변위.

Class	Limit for rotor angular deviation (Electric deg.)no
ABS-96	no
BV-96	no
CCS-96	2.5
DNV-96	no
GL-97	5.0
KR-01	no
LR-96	3.5
NK-96	no
RINA-97	3.5
WG 14	by guidance of generator manufacturer

2.2.5 착화실패 시 비틀림 진동 계산

착화실패시 비틀림 진동 계산은 필수적이며 지난해 CIMAC WG14회의에서 실린더 내 압축공기와 연료차단상태에서 계산을 수행하도록 명문화하였다. 또한 최근 들어 크랭크 배치각이 불균등하게 설계되고 있고 단위 실린더당 엔진출력이 증가하고 있다. 따라서 필자들은 불균등한 부하에 대한 이론계산 및 계측이 필요하다고 인정하고 있지만, 디젤엔진 제작사를 제외한 일반 조선소에서 이에 대한 계산을 수행하는데 약간의 어려움이 뒤따를 것으로 본다. 비틀림 진동 계산을 위한 기본 자료들은 디젤엔진 제작사에서 제공하여야 하며, 모델링은 필요이상으로 복잡하지 않으면서 현실적인 범위 내에 있어야 한다.

표 8 착화실패 및 부하 불균등계산.

Class	① Rules for small cyl. output imbalance(normal condition) ② Calculation requested for misfiring condition
ABS-96	no
BV-96	no
CCS-96	2.5
DNV-96	no
GL-97	5.0
KR-01	no
LR-96	3.5
NK-96	no
RINA-97	3.5
WG 14	by guidance of generator manufacturer

2.2.6 위험회전수에서 축의 피로누적

DNV에서 2001년 새로운 규제를 마련하여 이를 제한하고 있다. 아무튼 위험 회전수에서 피로누적에 대한 규정은 바람직하지만 선박특성상 이를 정량적으로 평가하고 규제하는 것이 어려운 과제로 남아 있다.

표 9 위험회전수에서 피로누적에 대한 제한.

Class	Limitation for number of cycles in critical speed
ABS-96	no
BV-96	no
CCS-96	no
DNV-96	yes
GL-97	no
KR-01	no
LR-96	no
NK-96	no
RINA-97	no
WG 14	no

2.2.7 가변피치 프로펠러(CPP)

축계 사고의 빈도가 가장 높은 것이 CPP이며 이를 규제하고 있는 선급은 GL과 DNV(3.8의 피로누적과 'Scantling'에서 명시)다. GL 규정은 DNV 규정보다는 약간 완화된 것으로 바람직하다. 그리고 프로펠러의 피치각이 영이 될 때 엔진부하는 적게 걸리지만 프로펠러 감쇠를 기대할 수 없어 비틀림 진동이 가장 크게 된다.

Class	Rules for CPP-installation (pitch minimum)
ABS-96	no
BV-96	no
CCS-96	yes
DNV-96	no
GL-97	yes
KR-01	no
LR-96	no
NK-96	no
RINA-97	no
WG 14	yes, as GL

2.2.8 기어의 진동토크

기어 설계에 있어 적어도 채터링(Chattering)과 햄머링(Hammering)은 일어나지 않도록 해야 한다. 미 해군의 경우도 정상토크의 25%로 제한하고 있다. 그리고 이 규정이 확정되면 저속 2행정만 해당되는 것이 아니고 감속기를 적용하고 있는 4행정 디젤엔진을 주기관으로 하는 중, 소형 선박에 까지 확대적용 될 것으로 예상된다.

표 9 위험회전수에서 피로누적에 대한 제한.

Class	① Torsional torque in gear, normal+misfiring, loaded branch ② Torsional torque in gear, normal, unloaded branch ③ Torsional torque in gear,misfiring, unloaded branch
ABS-96	①, ②, ③ : no
BV-96	①, ②, ③ : no
CCS-96	① : 33% TI, ②, ③ : no
DNV-96	① : 35% TI, ② : 10% TI, ③ : 15% TI
GL-97	① : 30% TI, ② : 20% TI ③ : 20% TI
KR-01	①, ②, ③ : TO
LR-96	①, ②, ③ : 1.33 * TI-TO
NK-96	①, ②, ③ : TO
RINA-97	①, ②, ③ : TO
WG 14	Later on discussion TI : Layout nominal torque TO : Nominal torque

2.3 종진동

LR은 저속 2행정 디젤엔진 크랭크축의 종진동과 관련하여 계산과 계측결과를 제출하도록 하고 있다. 문제는 계산과 계측이 서로 불일치하는 경우가 많고 항상 종진동 맴퍼가 작동하므로 엔진에는 문제가 되지 않으므로 공식적으로 제출은 불필요하다고 생각한다. 따라서 CIMAC WG 14 회의에서 새로 개발된 엔진에서만 계산 및 계측을 수행하는 것으로 잠정 합의되었다. 진동허용수준은 엔진 제작사의 기준을 따르는 것이 바람직하며 표 13은 실린더 지름 600mm MC 엔진의 종진동 허용진폭의 한 예로 합성 진폭 기준이다.

표 12 종진동 계산.

Class	Axial vibration calculation required
ABS-96	yes
BV-96	yes
CCS-96	yes
DNV-96	maybe
GL-97	no
KR-01	no
LR-96	yes
NK-96	no
RINA-97	maybe
WG 14	No general requirement

표 13 L, S60MC 엔진의 종진동 허용진폭(mm).

Cyl. No.	4	5	6	7	8
L60MC	1.08	1.35	1.62	1.89	2.16
S60MC	1.47	1.85	2.21	2.58	2.94

2.4 축의 횡진동

축의 횡진동 기준은 회전속도가 낮기 때문에 일률적으로 규정하기가 매우 어렵다. 따라서 ISO 2954보다는 표 14와 같이 DNV가 권장하는 진동 수준이 보다 현실적이다.

표 14 스텐튜브를 포함한 축 베어링 하우징의 권장 진동 값(DNV).

구 분	저 속
권장 값	변위 0.4mm(1~2.0Hz)
	속도 5mm/s(2.0~100Hz)
손상예상 값	변위 0.8mm(1~2.0Hz)
	속도 10mm/s(2.0~100Hz)

2.5 기어 진동

기어의 소음·진동과 관련하여 소음부분은 ISO 8579-1에 명기되어 있으며 기어제작 정도에 따라 소음 수준이 달라질 수 있다. 진동부분은 ISO 8579-2로 소음과 함께 제조공장기준으로 되어있다. 그러나 진동부분은 현장까지 연장해서 적용하더라도 큰 문제가 없을 것으로 생각한다. 그림 4는 축 변위에 대한 평가기준으로 사용목적에 따라 분류할 수 있으며 일반 산업기계는 DR80을 적용하는 것이 바람직하다. 그림 5는 기어하우징의 평가기준으로 축 변위 계측이 곤란할 경우 간접적인 방법으로 하우징의 구조진동을 계측하여 평가할 수 있다. 그림 6은 진동평가에 대한 분류로 A는 해군관련 장비, B는 3600 rpm 이상 고속회전기계, C는 산업기계 및 일반상선 그리고 D는 분쇄기(mill) 등에 적용할 수 있다.

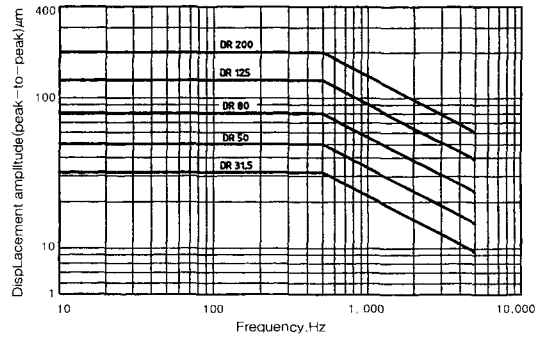


그림 4 축 변위 진동에 대한 평가기준 (ISO 8579-2).

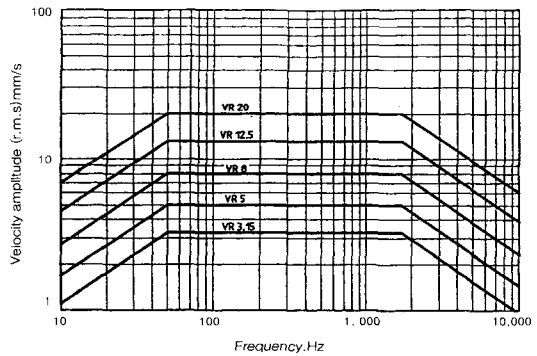


그림 5 하우징 진동에 대한 평가기준 (ISO 8579-2).

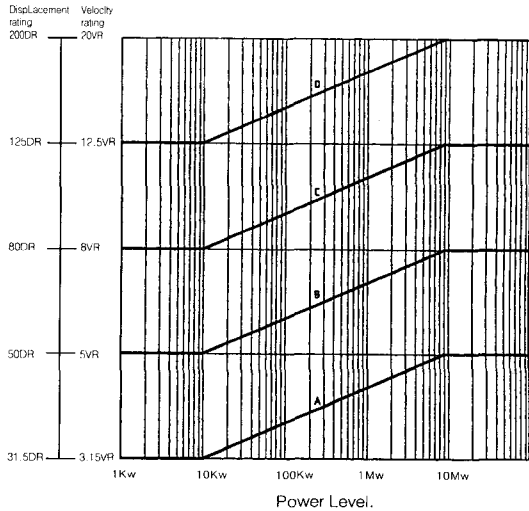


그림 6 진동평가에 분류기준(ISO 8579-2).

3. 진동 계측

진동 계측의 주 목적은 ① 초기 설계시 예상했던 진동 양상과 진동 수준을 계측을 통하여 확인하고 진동으로부터 디젤엔진 및 축계를 보호하는데 있다. ② 선박의 특성상 안전과 신뢰성을 확보하기 위하여 계측을 통하여 검사 또는 승인 기관으로부터 품질에 대한 인증서를 취득하는데 있다. ③ 초기 진동의 특성을 확인하여 기계 상태의 감시 및 수리보수에 이용된다.

3.1 엔진본체진동

계측장비는 주파수분석기, 가속도 센서 증폭기, 그리고 레코더 등이 필요하며 규격은 ISO, IEC 등 국제적인 규격 안에 있는 제품을 사용해야 한다. 엔진의 회전수는 이를 고정 또는 조정할 수 있는 범위 내에서 하여야 하며 회전수를 단계적으로 올리거나 내리면서 수행하여야 한다. 계측시간은 LR의 경우 엔진회전수를 고정하고 30초 이상평균값을 취하도록 하고 있다.

계측위치는 주기관의 경우 그림 7과 같이 ISO 10816-1에 명시되어 있는데 4행정 엔진은 이 위치가 적합하나, 저속 2행정 엔진은 상하는 베드 플레이트, A 칼럼, 실린더 블록으로 나누어

서 그리고 상하 전후, 좌우 세 방향 모두 계측하는 것이 바람직하다. 발전기 엔진의 경우 그림 8과 같이 ISO8528-9에 명시되어 있으며 주기관과 동일한 방법으로 계측하면 된다.

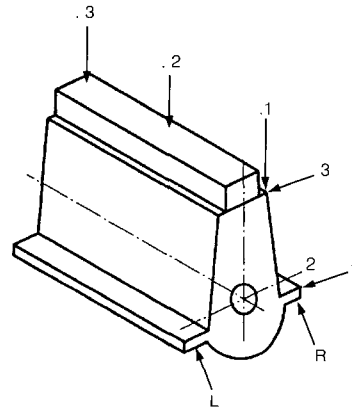


그림 7 왕복동 엔진의 진동 계측 위치 (ISO 10816-1).

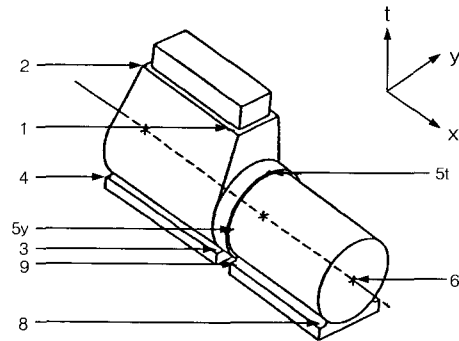


그림 8 발전기 엔진의 진동 계측 위치 (ISO 8528-9).

3.2 비틀림 진동

비틀림 진동계측은 회전축의 부가응력과 각속도 변동을 계측하는 두 가지 방법이 있다. 전자는 그림 9와 같이 축에 스트레인 게이지를 부착한 원격측정장치를 이용하여 응력을 직접 계측하므로 계산과 계측결과를 간접적으로 환산할 필요가 없어 편리하다. 따라서 저속 2행정 디젤엔진에서 7실린더 이하는 응력이 가장 큰 중간축에서 계측해야하므로 이 방법이 적합하

다. 그러나 8실린더 이상 엔진은 크랭크축에서 응력을 계측해야 하므로 안전과 장비설치 등의 어려운 문제가 많다. 또한 4행정 엔진에서 발전기의 경우 중간축에 장비를 설치할 수 있는 공간이 부족하여 어려움이 많다. 그리고 4행정 디젤엔진과 감속기어 및 탄성 커플링을 갖는 축계에서는 중간축으로 전달되는 부가응력이 매우 작기 때문에 중간축에서 응력을 계측하는 방법은 무의미할 경우가 많다. 각속도 변동을 측정하는 방법으로 여러 가지 방법이 있다. 가장 저렴한 방법으로는 축의 선단에 엔코더(encoder) 또는 그림 10과 플라이휠에 갭 센서를 설치하여 받은 신호를 A/D보드를 이용하여 각 펄스간의 속도를 일반 PC에서 연산할 수 있다. 이것이 복잡할 경우 이 신호를 F-V 변환기에 통과시켜 속도변동신호를 취득할 수 있는데 필자들의 경험에 의하면 시중에 나온 많은 장비 중 일본 O사의 계측기는 엔진의 회전수와 관계없이 폭넓게 사용할 수 있었다. 이외에 도플러 효과를 이용한 레이저 토손메타는 현장에서 편리하게 사용할 수 있는 이점이 있지만 고가인 것이 단점이다. 이러한 형식의 장비는 B사와 P사 것이 사용되고 있는데 이 중 독일 P사 제품은 부피와 중량이 커서 운반하기에 불편한 단점은 있지만, 급격한 회전수변동에도 무난하게 이용할 수 있다.

각속도 변동을 계측할 경우 기본적으로 진동계산서가 필요하며 계산상 진폭과 계측된 진폭을 상대 비교하여 축의 부가응력을 환산하게 된다. ISO 3046-5에서는 부가응력과 각속도변동 계측방법 모두 허용하고 있으며 현장여건과 사용목적에 따라 계측방법을 선택할 수 있다.

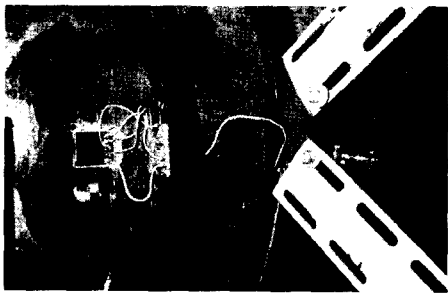


그림 9 원결측정장치 시스템의 성치 사진 (HBM사).

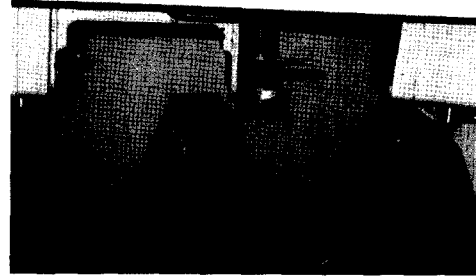


그림 10 플라이휠에 설치된 갭 센서 (AEC사).

3.3 기타 진동

저속 2행정 엔진에서 종진동 계측은 중 댐퍼의 성능을 확인하기 위하여 필요하며 크랭크축 선단에서 계측을 하게 된다. 그러나 7실린더 이하의 엔진에서는 비틀림 진동의 공진점에서 추력변동에 의한 종진동과 순수한 종진동을 구분하기 위하여 중간축 베어링과 동시에 계측하는 것이 바람직하며 센서는 비접촉식 와전류 타입이 주로 이용된다. 축계 횡진동의 계측위치는 그림 11~12와 같이 ISO 10816-1에 명시되어 있다. 이외에 일반 회전 기계 및 각종 보조장치들의 계측방법과 계측기술은 잘 알려져 있고 분량이 많은 관계로 본 글에서 생략하였으며 관련 ISO 규격과 참고문헌을 참조하기 바랍니다.

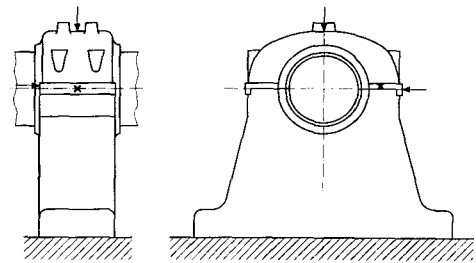


그림 11 베어링 대의 계측점 [ISO10816-1].

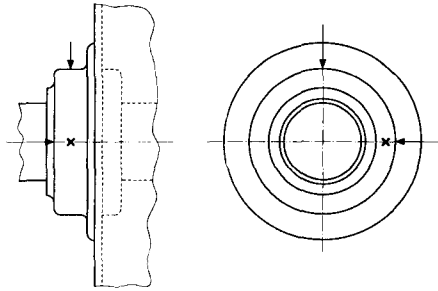


그림 12 하우징 타입의 베어링 계측점
[ISO10816-1].

4. 맺음말

디젤엔진과 축계진동의 설계기준은 선박의 신뢰성과 안전성에 매우 중요하며 이 기준에 따라 설계할 경우 사고를 미연에 방지할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 동력기관에 대하여는 진동계측을 시행하고 진동의 양상과 진동수준을 확인하여 신뢰성과 안전성을 확보할 수 있는 운전 및 수리보수의 지침으로 사용하는 것이 바람직할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] 한국선급, 선박 진동·소음 제어지침, 1997.
- [2] 한국선급, 선급 및 강선규칙 5편과 동 적용지침, 2001
- [3] 양보석, "선박용 회전기계의 진동평가규격", 한국박용기관학회지, 제25권3호, 2001, Pp513~539
- [4] 이돈출, "CIMAC(국제연소기관회의) WG 14회의를 다녀와서", 한국박용기관학회지, 제26권4호, 2002, Pp401~407
- [5] IACS "Permissible limits of stresses due to torsional vibrations for intermediate, thrust and propeller shafts.", IACS UR M48, 1983.
- [6] IACS "Calculation of crankshafts for I.C. engines.", IACS UR M53, 1986.
- [7] CIMAC, "Standard Method for the Determination of the Structureborne Noise from engines", Paper No.14, 1994.
- [8] LR, "Guidance notes on acceptable vibration levels and their measurement".
- [9] ISO Standard, "Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery - Requirements for instruments for measuring vibration severity", ISO 2954 [KS B 0141]
- [10] ISO Standard, "Reciprocating internal combustion engines - Performance - Part 5 : torsional vibrations.", ISO 3046-5
- [11] ISO Standard, "Acceptance code for gears - Part 1 : Determination of airborne sound power levels emitted by gear units.", ISO 8579-1
- [12] ISO Standard, "Acceptance code for gears - Part 2 : Determination of mechanical vibrations of gear units during acceptance testing.", ISO 8579-2
- [13] ISO Standard, "Mechanical vibration- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts : Part 1 : General guidelines", ISO 10816-1
- [14] ISO Standard, "Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts: Part3 : Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ", ISO 10816-3.
- [15] ISO Standard, "Mechanical vibration- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts: Part6 : Reciprocating machines with power ratings above 100 kW", ISO 10816-6
- [16] J. Jenser J. Farrer, A.Bossert, "Standard equipment for measuring torsion and axial vibrations", New Sulzer Diesel, 1996
- [17] MIL Standard, "Mechanical vibrations of shipboard equipment(Type I - Environmental and Type II - Internally excited)", MIL-STD-167-1
- [18] MIL Standard, "Mechanical vibrations of shipboard equipment(Reciprocating machinery and propulsion system and shafting) Types III IV and V", MIL-STD-167-2