

# 빙해운항선박 지침 개정(안)

(개발검토 : 외부의견 조회용)

2024. 01



## 기관규칙개발팀

## - 주 요 개 정 내 용 -

(1) 2024.07.01일자 시행사항 (건조 계약일 기준)

- IACS UR I3 (Rev.2 Jan 2023 Complete Revision)을 반영하여 극지등급 선박의 기관 요건을 전면 개정함.

## <개정안>

# 제 2 장 극지운항선박

## 제 3 절 극지등급 선박의 기관 요건 (2024)

### 301. 적용

1. 이 절의 규정은 선박과 선원의 안전을 위하여 필수적인 주추진장치, 조타장치, 비상 및 보조 장치에 적용한다.
2. 선박의 운항조건은 1절에 정의된 바에 따른다.
3. 이 절은 기본적인 개방수역(open water)을 항해하는 선박에 적용되는 요건에서 추가되는 사항을 다룬다.

### 302. 제출도면 및 시스템 설계

#### 1. 제출도면

- (1) 선박의 빙등급과 다른 경우, 의도하는 환경운항조건 및 기관장치에 대하여 요구되는 빙 보강의 상세
- (2) 주추진, 조타, 비상 및 보기에 대한 상세 도면 및 설명, 필수적인 주추진 부하 제어 기능에 대한 정보. 설명에는 운 전제한이 포함되어야 한다.
- (3) 결빙, 빙 및 눈의 축적으로 인한 문제를 방지하기 위하여 주, 비상 및 보조 장치를 어디에 배치하고 어떻게 보호할 것인지에 대한 자세한 설명, 의도하는 환경조건에서 운전하기 위한 능력의 근거에 대한 설명
- (4) 이 절의 요건에 적합하다는 것을 나타내는 계산결과 및 문서

#### 2. 시스템 설계

- (1) 결빙에 의하여 손상을 받는 시스템은 드레인을 배출할 수 있어야 한다.
- (2) PC1부터 PC5까지의 빙등급을 가지는 선박은 가변피치의 피치제어기구를 포함하여 프로펠러가 손상된 경우에도 충분히 선박을 운항할 수 있는 수단을 갖추어야 한다. 충분한 선박 운항이라 함은 선박이 수리를 수행할 수 있는 안전한 피난처(안전한 위치)에 도달할 수 있어야 함을 의미한다. 이는 바다에서 임시 수리를 하거나 또는 도움이 가능하다고 가정할 때 예인을 통해 달성할 수 있다. 다만 이는 승인 조건으로 이어져야 한다.
- (3) 끼인 프로펠러를 역방향으로 돌려 풀 수 있는 수단이 제공되어야 한다. 이는 단방향 회전을 위한 추진장치에도 가능해야 한다.
- (4) 프로펠러는 하 빙흡수선(LIWL)에서 완전히 잠겨야 한다.

### 303. 재료

재료는 승인된 연성 재질이어야 한다. 페라이트계 구상흑연주철은 볼트 이외의 부품에 사용할 수 있다. 구상흑연주철의 경우 시험 온도에서 10 J의 평균흡수에너지 값은 아래에 정의된 샤르피 V-노치 충격시험 요구사항과 동등한 것으로 간주된다.

#### 1. 해수에 노출되는 재료

프로펠러 날개, 프로펠러 허브 및 구조된 스러스터 본체와 같이 해수에 노출되는 재료는 선급 및 강선규칙 2편 1장 2절에 따른 시험편에서 15% 이상의 연신율을 가져야 한다. 청동 및 오스테나이트강 이외의 재료에 대해서는 샤르피 V-노치 충격시험을 하여야 한다. 시험은 -10°C에서 3개의 시험편에 대하여 수행되어야 하며 평균흡수에너지 값은 20 J 이상이어야 한다. 다만, 빙등급 부호가 있는 선박에 적용가능한 선급 및 강선규칙 2편 1장 505. 또는 601.의 샤르피 V 충격시험 요건은 이 절이 적용되는 선박에도 적용되어야 한다.

#### 2. 해수 온도에 노출되는 재료

청동 및 오스테나이트강 이외의 재료에 대해서는 샤르피 V-노치 충격시험을 하여야 한다. 시험은 -10°C에서 3개의 시험편에 대하여 수행되어야 하며 평균흡수에너지 값은 20 J 이상이어야 한다. 다만, 빙등급 부호가 있는 선박에 적용 가능한 선급 및 강선규칙 2편 1장 601.의 샤르피 V-노치 충격시험 요건은 이 절이 적용되는 선박에도 적용되어야 한다. 이 요건은 날개 볼트, 피치제어기구, 축 볼트, 프로펠러축, 스트럿-포드 연결 볼트 등과 같은 구성품에 적용한다. 이 요건은 베어링 및 기어 톱니 등과 같이 표면 경화된 구성품 또는 해수냉각장치(열교환기, 관, 밸브, 관부착품 등)에는 적용하지 않는다. 해수 온도에 노출된 구조적 경계의 정의는 2절 그림 2.6을 참고한다.

#### 3. 낮은 대기 온도에 노출되는 재료

노출된 기계 및 거치대의 재료는 강 또는 기타 승인된 연성 재질이어야 한다. 최저 설계온도보다 10°C 낮은 온도에

서 3번의 샤르피 V-노치 충격시험으로부터 평균흡수에너지 값이 20 J 이상이어야 한다. 샤르피 V-노치 충격시험은 청동이나 오스테나이트강에는 요구되지 않는다. 이 요건은 베어링 및 기어 톱니 등과 같이 표면 경화된 구성품에는 적용하지 않는다. 대기온도에 노출된 구조적 경계의 정의는 2절 그림 2.6을 참고한다.

### 304. 기호

#### 1. 기호의 정의

$c$	: 날개(blade) 단면의 현(chord) 길이 (m).
$c_{0.7}$	: 프로펠러 반지름 0.7R에서 날개 단면의 현 길이 (m).
CP	: 가변피치.
$D$	: 프로펠러의 지름 (m).
$d$	: 프로펠러 허브의 바깥지름 (프로펠러 평면에서) (m).
$d_{pin}$	: 전단 핀의 지름 (mm).
$D_{limit}$	: 프로펠러 지름의 제한 값 (m).
EAR	: 날개의 전개면적비.
$F_b$	: 선박사용수명 중 발생하는 최대 후방향 날개 힘(음의 부호) (kN).
$F_{ex}$	: 소성 굽힘을 통한 날개 손실에 따른 날개의 극한하중 (kN).
$F_f$	: 선박사용수명 중 발생하는 최대 전방향 날개 힘(양의 부호) (kN).
$F_{ice}$	: 빙하중 (kN).
$(F_{ice})_{max}$	: 선박사용수명 중 발생하는 최대 빙하중 (kN).
FP	: 고정피치.
$h_0$	: 하 빙흡수선으로부터 프로펠러 중심선의 깊이 (m).
$H_{ice}$	: 프로펠러 하중 정의를 위한 빙블록의 치수 (m).
$I$	: 고려 중인 구성품의 기관측에 있는 모든 부품의 등가질량관성모멘트 (kgm <sup>2</sup> ).
$I_t$	: 전체 추진장치의 등가질량관성모멘트 (kgm <sup>2</sup> ).
$k$	: Weibull 분포에 대한 형상계수.
LIWL	: 하 빙흡수선 (m).
$m$	: S-N 선도의 기울기.
$M_{BL}$	: 날개의 굽힘모멘트 (kN·m).
MCR	: 연속최대출력.
$N$	: 빙하중 사이클 수
$n$	: 프로펠러 회전 속도 (rev./s).
$n_n$	: 자유운전상태에서 연속최대출력 시의 공칭 프로펠러 회전 속도(rev./s).
$N_{class}$	: 빙등급 별 프로펠러 회전 당 기준 빙충격 사이클 수
$N_{ice}$	: 선박사용수명 중 발생하는 프로펠러 날개 상의 총 빙하중 사이클수.
$N_R$	: 등가피로응력에 대한 기준 하중 사이클수 (10 <sup>8</sup> 사이클).
$N_Q$	: 빙 분쇄 과정 동안 프로펠러의 회전수.
$P_{0.7}$	: 반지름 0.7R에서의 프로펠러 피치 (m).
$P_{0.7n}$	: 자유운전상태에서 연속최대출력 시, 반지름 0.7R에서의 프로펠러 피치 (m).
$P_{0.7b}$	: 볼러드 상태(bollard condition)에서 연속최대출력 시, 반지름 0.7R에서의 프로펠러 피치 (m).
PCD	: 피치원 지름.
$Q(\varphi)$	: 토크 (kN·m).
$Q_{Amax}$	: 시뮬레이션 결과 최대 응답 토크 진폭 (kN·m).
$Q_{emax}$	: 최대 기관 토크 (kN·m).
$Q_F(\varphi)$	: 주파수영역 계산을 위한 빙토크 기진 (kN·m).
$Q_{fr}$	: 피치제어기구에서의 마찰토크; 스핀들토크의 감소 (kN·m).
$Q_{max}$	: 프로펠러와 빙의 상호작용으로 인한 프로펠러상의 최대토크 (kN·m).
$Q_{motor}$	: 전기모터의 피크 토크 (kN·m).

$Q_n$	: 자유운전상태에서 연속최대출력 시의 공칭토크 (kN·m).
$Q_r(t)$	: 프로펠러 축계에서의 응답토크 (kN·m).
$Q_{peak}$	: 응답토크 $Q_r$ 의 최대값 (kN·m).
$Q_{smax}$	: 선박사용수명 중 발생하는 날개의 최대 스핀들토크 (kN·m).
$Q_{sex}$	: 날개 파괴 하중 $F_{ex}$ 에 상응하는 최대 스핀들토크 (kN·m).
$Q_{vib}$	: 개방수역 주파수영역 비틀림진동계산에서 얻어진 고려하는 부품의 진동 토크 (kN·m).
$R$	: 프로펠러의 반지름 (m).
$S$	: 안전계수
$S_{fat}$	: 피로에 대한 안전계수
$S_{ice}$	: 날개 빙하중에 대한 빙강도 지수
$r$	: 날개 단면 반지름 (m).
$T$	: 블라드 상태에서의 동유체 프로펠러 추력 (kN).
$T_b$	: 선박사용수명 중 발생하는 최대 후방향 프로펠러 빙추력 (kN).
$T_f$	: 선박사용수명 중 발생하는 최대 전방향 프로펠러 빙추력 (kN).
$T_n$	: 자유운전상태에서 연속최대출력 시의 프로펠러 추력 (kN).
$T_r$	: 축계에서의 최대응답추력 (kN).
$T_{kmax}$	: 플렉시블 커플링의 최대 토크 용량 (kN·m).
$T_{kmax2}$	: $N=1$ 하중 사이클에서의 $T_{kmax}$ (kN·m).
$T_{kmax1}$	: $N=5 \times 10^4$ 하중 사이클에서의 $T_{kmax}$ (kN·m).
$T_{kv}$	: $N=10^6$ 하중 사이클에서의 진동 토크 진폭 (kN·m).
$\Delta T_{kmax}$	: $N=5 \times 10^4$ 하중 사이클에서 $T_{kmax}$ 의 최대 범위 (kN·m).
$t$	: 최대 날개 단면 두께 (m).
$Z$	: 프로펠러 날개의 수.
$Z_{pin}$	: 전단 핀의 수.
$\alpha_i$	: 회전각으로 표시된 프로펠러 날개와 빙의 상호작용 지속시간 (deg).
$\gamma_\varepsilon$	: 피로경감계수; 분산 효과 및 시험편 크기 효과
$\gamma_\nu$	: 피로경감계수; 변동 진폭 하중 효과.
$\gamma_m$	: 피로경감계수; 평균 응력 효과.
$\rho$	: 최대 응력 진폭을 $10^8$ 응력 사이클에 대한 등가피로응력에 연관시키는 피로경감계수.
$\sigma_{0.2}$	: 재료의 0.2% 소성 변형률에서의 항복강도 (MPa).
$\sigma_{exp}$	: 해수에서 $10^8$ 사이클에서 파괴되는 날개 재료의 평균 피로강도 (MPa).
$\sigma_{fat}$	: $10^8$ 응력 사이클에 대한 등가 피로 빙하중 응력 진폭 (MPa).
$\sigma_{fl}$	: 날개 재료에 대한 특성피로강도 (MPa).
$\sigma_{ref1}$	: 기준응력 $\sigma_{ref1} = 0.6 \cdot \sigma_{0.2} + 0.4 \cdot \sigma_u$ (MPa).
$\sigma_{ref2}$	: 기준응력 $\sigma_{ref2} = 0.7 \cdot \sigma_u$ 또는 $\sigma_{ref2} = 0.6 \cdot \sigma_{0.2} + 0.4 \cdot \sigma_u$ 중 작은 값 (MPa).
$\sigma_{st}$	: $F_b$ 또는 $F_f$ 로 인한 응력 중 최대응력 (MPa).
$\sigma_u$	: 날개 재료의 규격최소인장강도 (MPa).
$(\sigma_{ice})_{bmax}$	: 최대 후방향 프로펠러 빙하중으로 인한 주응력(MPa).
$(\sigma_{ice})_{fmax}$	: 최대 전방향 프로펠러 빙하중으로 인한 주응력(MPa).
$(\sigma_{ice})_{Amax}$	: 고려되는 날개 위치에서의 최대 빙하중 응력 진폭 (MPa).
$\sigma_{mean}$	: 평균 응력 (MPa).
$(\sigma_{ice})_A(N)$	: 날개 응력 진폭 분포 (MPa).

## 2. 하중의 정의

하중의 정의는 표 2.10에 따른다.

표 2.10 하중의 정의

	정의	설계 과정에서 하중의 사용
$F_b$	날개 상의 동유체 하중을 포함하여, 프로펠러와 빙의 상호 작용으로 인하여 한 개의 프로펠러 날개 상에 선박사용수명 중 발생하는 최대 후방향 힘. 힘의 방향은 0.7R 코드선에서 수직. 그림 2.9 참고.	프로펠러 날개의 강도계산을 위한 설계 힘
$F_f$	날개 상의 동유체 하중을 포함하여, 프로펠러와 빙의 상호 작용으로 인하여 프로펠러 날개 상에 선박사용수명 중 발생하는 최대 전방향 힘. 힘의 방향은 0.7R 코드선에서 수직.	프로펠러 날개의 강도계산을 위한 설계 힘
$Q_{smax}$	날개 상의 동유체 하중을 포함하여, 프로펠러와 빙의 상호 작용으로 인하여 프로펠러 날개 상에 선박사용수명 중 발생하는 최대 스핀들토크.	프로펠러 하중이 날개의 전연 또는 팁 영역에 분포된 압력으로 작용하기 때문에 프로펠러의 강도 설계 시, 스핀들토크는 자동적으로 고려된다.
$T_b$	프로펠러와 빙의 상호작용으로 인하여 프로펠러(모든 날개) 상에 선박사용수명 중 발생하는 최대 추력. 추력의 방향은 프로펠러 축방향이고 그 힘은 동유체 추력과 반대이다.	응답추력 $T_r$ 을 추정하는데 사용된다. $T_b$ 는 축방향 진동 계산을 위한 기진(excitation)의 추정치로서 사용될 수 있다. 다만, 규칙에서는 축방향 진동의 계산은 요구하지 않는다.
$T_f$	프로펠러와 빙의 상호작용으로 인하여 프로펠러(모든 날개) 상에 선박사용수명 중 발생하는 최대 추력. 그 추력의 방향은 프로펠러 축방향이고 동유체 추력의 방향으로 작용한다.	응답추력 $T_r$ 을 추정하는데 사용된다. $T_f$ 는 축방향 진동 계산을 위한 기진(excitation)의 추정치로서 사용될 수 있다. 다만, 규칙에서는 축방향 진동의 계산은 요구하지 않는다.
$Q_{max}$	날개 상의 동유체 하중을 포함하여, 한 개의 프로펠러 날개 상에서 프로펠러와 빙의 상호작용으로 인한 최대 빙유도토크	추진축계의 응답토크 $Q_r$ 의 추정치로서 그리고 비틀림 진동계산을 위한 기진으로 사용된다.
$F_{ex}$	소성굽힘을 통한 날개 손실로부터 발생하는 날개의 극한하중. 루트부에 소성 힌지를 일으켜서 그 날개 전체의 파괴를 일으키는데 필요한 힘이다. 그 힘은 0.8R에서 작용한다.	날개 파괴 하중은 날개 볼트, 피치제어기구, 프로펠러축, 프로펠러축 베어링, 추력베어링의 치수를 정하는데 사용된다. 그 목적은 전체 프로펠러 날개의 파괴가 다른 구성품의 손상을 일으키지 않는 것을 보증하기 위한 것이다.
$Q_{sex}$	날개 파괴 하중으로부터 발생하는 최대 스핀들토크	피치제어기구에 대하여 피라미드 강도 원칙을 확인하는데 사용된다.
$Q_r$	빙 기진(비틀림진동) 및 프로펠러 동유체 평균 토크에 대한 축계의 동적거동을 고려한 프로펠러 축계에서의 최대 응답 토크	프로펠러 축계 구성품에 대한 설계 토크
$T_r$	빙 기진(축방향 진동) 및 프로펠러 동유체 평균 추력에 대한 축계의 동적거동을 고려한 축계에서의 최대 응답 추력	프로펠러 축계 구성품에 대한 설계 추력

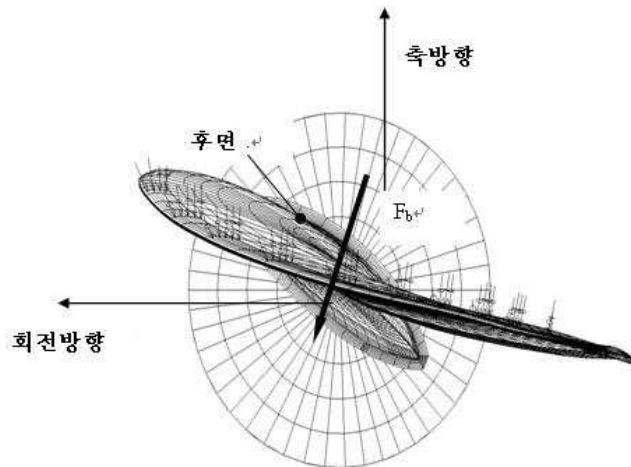


그림 2.9 반지름 0.7R에서 코드선의 수직으로 작용하는 후방향 날개 힘의 방향.  
(전연에서 빙접촉 압력은 작은 화살표로 나타냄)

### 305. 설계 빙하중

#### 1. 일반

- (1) 이 규정은 가변피치 또는 고정피치 날개를 갖는 선박의 선미에 위치한 개방식 프로펠러 및 덕트식 프로펠러에 적용한다. 선수에 설치된 프로펠러에 대한 빙하중은 특별히 고려되어야 한다. 주어진 하중은 해당하는 경우 회전 방향 변경으로 인한 하중을 포함하여 정상 운전조건에서 전체 선박의 사용수명 동안에 예상되는 단일 발생 최대값이다. 이들 하중은 정지된 프로펠러가 빙 속에서 끌리는 것과 같이 설계 범위를 벗어나는 운전조건에 대하여는 적용하지 않는다.
- (2) 이 규정은 기어 동력전달장치 또는 통합된 전동기(즉, 기어식 또는 포드 추진기)를 가지는 선회식 및 고정식 스러스터에 대한 프로펠러와 빙의 상호작용으로 인한 하중에 대해서도 다룬다. 다만, 이 규정의 하중 모델에는 회전된 선회식 스러스터의 측면(반경 방향)으로부터 프로펠러에 빙이 들어갈 때의 프로펠러와 빙의 상호작용으로 인한 하중 또는 당기는 프로펠러의 프로펠러 허브에 빙블록이 충돌할 때의 하중이 포함되지 않는다.
- (3) 스러스터 몸체에서의 빙충격으로 인한 빙하중은 사례별로 추정해야 한다. 다만 이 절에는 포함하지 않는다.
- (4) 3항에 주어진 하중은 빙 상호작용 동안 빙 유도 하중 및 동유체 하중(달리 명시되지 않는 한)을 포함한 총 하중이며 달리 명시되지 않는 한 별도로 적용되어야 하고 구성품의 강도 계산용으로만 사용하여야 한다.
- (5)  $F_b$ 는 프로펠러가 전진방향으로 회전하면서 빙블록을 분쇄하는 동안 프로펠러 날개를 후방으로 굽히려는 선박 사용수명 중 경험하는 최대 힘을 말한다.  $F_f$ 는 프로펠러가 전진방향으로 회전하면서 빙블록을 분쇄하는 동안 프로펠러 날개를 전방으로 굽히려는 선박 사용수명 중 경험하는 최대 힘을 말한다.  $F_b$ 와  $F_f$ 는 서로 다른 프로펠러와 빙의 상호작용 현상에서 비롯되며 동시에 작용하지 않는다. 따라서  $F_b$ 와  $F_f$ 는 별도로 적용되어야 한다.

#### 2. 빙등급 계수

고려되는 설계 빙블록의 치수는  $H_{ice} \times 2H_{ice} \times 3H_{ice}$ 이다. 프로펠러 빙하중의 산정에는 설계 빙블록 및 빙강도 지수 ( $S_{ice}$ )가 사용된다. 아래 표 2.11에서 각 빙등급에 대한  $H_{ice}$  및  $S_{ice}$ 를 정의한다.

표 2.11 빙등급 계수

빙등급	$H_{ice}$ [m]	$S_{ice}$ [-]
PC1	4.0	1.2
PC2	3.5	1.1
PC3	3.0	1.1
PC4	2.5	1.1
PC5	2.0	1.1
PC6	1.75	1
PC7	1.5	1

### 3. 프로펠러 빙 상호작용 하중

(1) 개방식 프로펠러에 대한 최대 후방향 날개 힘  $F_b$

$$D < D_{limit} \text{인 경우, } F_b = 27 \cdot S_{ice} \cdot [nD]^{0.7} \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right]^{0.3} \cdot D^2 \text{ (kN)}$$

$$D \geq D_{limit} \text{인 경우, } F_b = 23 \cdot S_{ice} \cdot [nD]^{0.7} \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right]^{0.3} \cdot [H_{ice}]^{1.4} \cdot D \text{ (kN)}$$

$D_{limit}$  : 다음 식에 따른다.

$$D_{limit} = 0.85 \cdot [H_{ice}]^{1.4} \text{ (m)}$$

$n$  : 가변피치프로펠러의 공칭회전속도(개방수역 자유운전상태에서 연속최대출력 시) 및 고정피치프로펠러(구동기관 형식에 관계없이)에 대한 공칭회전속도(자유운전상태에서 연속최대출력 시)의 85%를 말한다. (rps)

추가적으로 “Icebreaker” 부호를 받은 선박의 경우 상기에 명시된 후방향 날개 힘  $F_b$ 에 1.1을 곱하여야 한다.

(2) 개방식 프로펠러에 대한 최대 전방향 날개 힘  $F_f$

$$D < D_{limit} \text{인 경우, } F_f = 250 \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right] \cdot D^2 \text{ (kN)}$$

$$D \geq D_{limit} \text{인 경우, } F_f = 500 \cdot \left[ \frac{1}{(1 - \frac{d}{D})} \right] \cdot H_{ice} \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right] \cdot D \text{ (kN)}$$

$D_{limit}$  : 다음 식에 따른다.

$$D_{limit} = \left[ \frac{2}{(1 - \frac{d}{D})} \right] \cdot H_{ice} \text{ (m)}$$

(3) 개방식 프로펠러 날개에서의 하중 영역

가변피치 프로펠러 및 고정피치 프로펠러에 대하여 부록 2의 표 2.1에 주어진 하중 상태 1 ~ 하중 상태 4를 고려하여야 한다. 역전하는 프로펠러에 대한 날개의 빙하중을 구하기 위하여, 역회전이 가능한 프로펠러에 대한 하중 상태 5 또한 고려하여야 한다.

(4) 덕트식 프로펠러에서의 최대 후방향 날개 빙하중  $F_b$

$$D < D_{limit} \text{인 경우, } F_b = 9.5 \cdot S_{ice} \cdot [nD]^{0.7} \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right]^{0.3} \cdot D^2 \quad (\text{kN})$$

$$D \geq D_{limit} \text{인 경우, } F_b = 66 \cdot S_{ice} \cdot [nD]^{0.7} \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right]^{0.3} \cdot [H_{ice}]^{1.4} \cdot D^{0.6} \quad (\text{kN})$$

$D_{limit}$  : 다음 식에 따른다.

$$D_{limit} = 4 \cdot H_{ice}$$

$n$ 은 (1)호와 같이 구한다.

추가적으로 “Icebreaker” 부호를 받은 선박의 경우 상기의 후방향 날개 힘  $F_b$ 에 계수 1.1를 곱하여야 한다.

(5) 덕트식 프로펠러에 대한 최대 전방향 날개 빙하중  $F_f$

$$D \leq D_{limit} \text{인 경우, } F_f = 250 \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right] \cdot D^2 \quad (\text{kN})$$

$$D > D_{limit} \text{인 경우, } F_f = 500 \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right] \cdot D \cdot \frac{1}{\left[ 1 - \frac{d}{D} \right]} \cdot H_{ice} \quad (\text{kN})$$

$D_{limit}$  : 다음 식에 따른다.

$$D_{limit} = \frac{2}{\left[ 1 - \frac{d}{D} \right]} \cdot H_{ice} \quad (\text{m})$$

(6) 덕트식 프로펠러 날개에서의 하중 영역

모든 프로펠러에 대하여 부록 2의 표 2.2에 주어진 하중 상태 1 및 하중 상태 3을 고려하여야 한다. 역전하는 프로펠러에 대한 날개의 빙하중을 구하기 위하여, 역회전이 가능한 프로펠러에 대한 하중 상태 5 또한 고려하여야 한다.

(7) 개방식 및 덕트식 프로펠러에서의 최대 날개 스피들토크  $Q_{smax}$

날개 부착 축 주위의 스피들토크  $Q_{smax}$ 는 부록 2의 표 2.1, 표 2.2와 같이 적용된 최대 후방향 날개 힘  $F_b$  및 최대 전방향 날개 힘  $F_f$  모두에 대하여 결정되어야 한다. 상기 방법의 스피들토크가 아래 식에 의하여 주어진 디폴트 값보다 작은 경우, 아래 디폴트값을 사용하여야 한다.

$$\text{디폴트 값 } Q_{smax} = 0.25 \cdot F \cdot c_{0.7} \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$F$  :  $F_b$  또는  $F_f$ 의 절대값 중 큰 값으로 한다.

날개 파괴 스피들토크  $Q_{sex}$ 는 아래 4항에 정의된다.

(8) 날개 하중에 의한 하중분포

날개의 피로설계를 위하여 그림 2.10에 주어진 것과 같이 Weibull-type 분포( $F_{ice}$ 가  $(F_{ice})_{max}$ 를 초과할 가능성)가 사용된다.

$$P\left(\frac{F_{ice}}{(F_{ice})_{max}} \geq \frac{F}{(F_{ice})_{max}}\right) = e^{\left(-\left(\frac{F}{(F_{ice})_{max}}\right)^k \cdot \ln(N_{ice})\right)}$$

여기서,

$k$  : 스펙트럼의 형상계수

$N_{ice}$  : 스펙트럼에서 하중 사이클 수((9)호 참고)

$F_{ice}$  : 날개 상의 빙하중에 대한 임의 변수,  $0 \leq F_{ice} \leq (F_{ice})_{max}$

이로 인해 날개 응력 진폭 분포가 발생한다.

$$(\sigma_{ice})_A(N) = (\sigma_{ice})_{Amax} \cdot \left(1 - \frac{\log(N)}{\log(N_{ice})}\right)^{\frac{1}{k}}$$

여기서,

$$(\sigma_{ice})_{Amax} = \frac{(\sigma_{ice})_{fmax} - (\sigma_{ice})_{bmax}}{2}$$

개방식 프로펠러 날개의 빙하중 분포에는 형상계수  $k = 0.75$ 가 사용되고 덕트식 프로펠러 날개의 빙하중 분포에는 형상계수  $k = 1.0$ 이 사용된다.

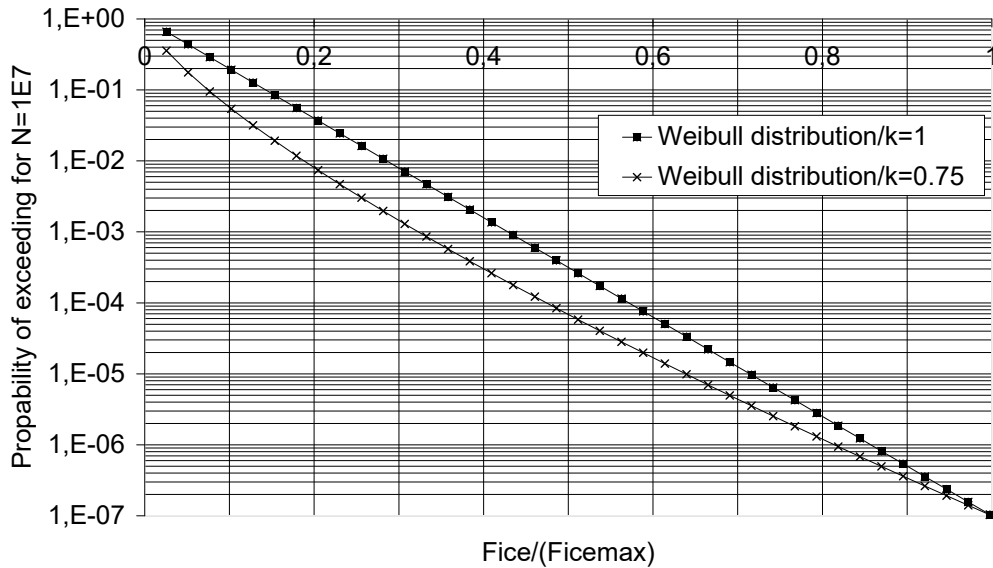


그림 2.10 피로설계에 사용되는 Weibull-type 분포( $F_{ice}$ 가  $(F_{ice})_{max}$ 를 넘을 가능성)

#### (9) 빙하중의 사이클 수

날개 당 하중 스펙트럼에서 하중 사이클 수  $N_{ice}$ 는 다음 식에 따라 결정된다.

$$N_{ice} = k_1 \cdot k_2 \cdot N_{class} \cdot n,$$

여기서,

$N_{class}$  : 각 빙등급에 대한 프로펠러 회전 당 기준 빙충격 사이클 수(표 2.12 참고)

표 2.12 빙충격 사이클 수

빙등급	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
$N_{class}$	$21 \times 10^6$	$17 \times 10^6$	$15 \times 10^6$	$13 \times 10^6$	$11 \times 10^6$	$9 \times 10^6$	$6 \times 10^6$

$$\begin{aligned} k_1 &= 1 && \text{중심에 위치한 프로펠러인 경우} \\ &= 2 && \text{선측에 위치한 프로펠러인 경우} \end{aligned}$$

= 3                  당기는 프로펠러(중심 및 선측)인 경우

$k_2 = 0.8 - f$	$f < 0$ 인 경우,
$= 0.8 - 0.4 \cdot f$	$0 \leq f \leq 1$ 인 경우
$= 0.6 - 0.2 \cdot f$	$1 < f \leq 2.5$ 인 경우
$= 0.1$	$f > 2.5$ 인 경우

여기서 잠김 함수  $f$ 는 다음과 같다.

$$f = \frac{h_0 - H_{ice}}{D/2} - 1$$

### $h_0$ 를 모를 경우 $h_0 = D/2$

추가적으로 “Icebreaker” 부호를 받은 선박의 경우 상기에 명시된 하중 사이클 수  $N_{ice}$ 에 계수 3을 곱하여야 한다. 모든 프로펠러 날개의 프로펠러와 빙의 상호작용으로 인해 하중을 받는 구성품의 경우 하중 사이클 수  $N_{ice}$ 는 프로펠러 날개의 수( $Z$ )를 곱하여야 한다.

#### 4. 개방식 및 덕트식 프로펠러에 대한 날개 파괴 하중

(1) 굽힘 하중  $F_{ex}$

소성굽힘을 통해 날개 파괴되는 데 필요한 최소 하중을 말한다. 이는 극한하중이 가장 약한 방향으로 0.8R에 작용한다고 가정하고 아래식을 사용하여 날개 루트부에서 0.5R까지 날개 반경을 따라 반복적으로 계산해야 한다. 날개 파괴 하중은 다음과 같다.

$$F_{ex} = \frac{0.3 \cdot c \cdot t^2 \cdot \sigma_{refl}}{0.8 \cdot D - 2 \cdot r} 10^3 \quad (\text{kN})$$

여기서,

$$\underline{\sigma_{ref1} = 0.6 \cdot \sigma_{0.2} + 0.4 \cdot \sigma_u}$$

$\sigma_u$ (도면에 명시된 규격최소인장강도) 및  $\sigma_{0.2}$ (도면에 명시된 규격최소항복강도 또는 0.2% 항복강도)는 날개 재료에 대한 대표적인 값이다.

$c$ ,  $t$  및  $r$ ([1장 605.의 그림 1.11 참고](#))은 전형적으로 날개 프로파일이 시작되는 필릿 종단에 위치한 루트 필릿 외부의 가장 약한 단면에서의 실제 현 길이, 최대 두께, 날개의 원통형 루트 단면의 반지름을 각각 말한다.

우리 선급은 실제 날개의 비선형 소성 재료 거동을 반영하는 적절한 응력해석을 통한 파괴 하중 계산의 대체수단을 인정할 수 있다. 날개는 프로펠러 지름  $D$ 의 10%를 초과하여 끝단이 휘어졌을 경우 파괴된 것으로 간주한다.

(2) 스핀들토크  $Q_{ser}$

0.8R에 작용하는 날개 파괴 하중으로 인한 최대 스프링토크가 결정되어야 한다. 날개 파괴로 인한 하중은 전형적으로 프로펠러 중심으로부터 전연 및 후연의 가장자리로 갈수록 감소한다. 날개 회전 중심으로부터 특정 거리에서 최대 스프링토크가 일어난다. 최대 스프링토크는 적절한 응력해석 또는 다음의 식으로부터 계산되어야 한다.

$$Q_{sex} = \max(C_{LE0.8}; 0.8 \cdot C_{TE0.8}) \cdot C_{spex} \cdot F_{ex} \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

여기서,

$$C_{sper} = C_{sp} \cdot C_{fex} = 0.7 \cdot (1 - (4 \cdot \frac{EAR}{Z})^3)$$

$C_{sp}$  : 스핀들암에 고려되어야 할 무차원 파라미터

$C_{fex}$  : 최대 스핀들토크 위치에서의 날개 파괴 하중의 감소에 고려되어야 할 무차원 파라미터

$C_{spex}$ 가 0.3 미만일 경우  $C_{spex}$ 는 0.3의 값을 가져야 한다.

$C_{LE0.8}$  : 0.8R에서의 현 길이 중 전연부

$C_{TE0.8}$  : 0.8R에서의 현 길이 중 후연부

다음 그림 2.11은 전체 현 길이에 걸친 날개 파괴 하중에 따른 스피들토크를 나타낸다.

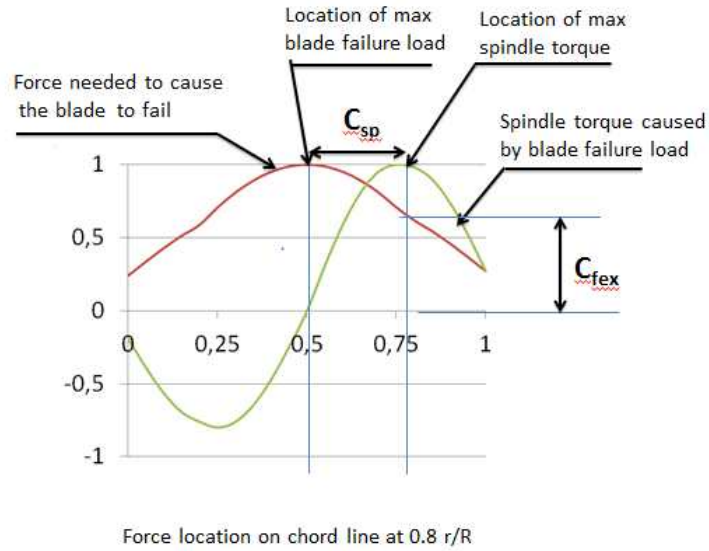


그림 2.11 하중이 0.8 R 현 상의 다른 위치에 작용할 경우 날개 파괴 하중 및 관련 스피들토크

##### 5. 개방식 및 덕트식 프로펠러에 작용하는 축방향 설계 하중

(1) 개방식 및 덕트식 프로펠러에 작용하는 프로펠러 상의 최대 빙추력  $T_f$  및  $T_b$

최대 전방향 및 후방향 빙추력은 다음 식에 주어진 바와 같다.

$$T_f = 1.1 \cdot F_f \quad (\text{kN})$$

$$T_b = 1.1 \cdot F_b \quad (\text{kN})$$

다만 이 절 내의 하중 모델에는 빙블록이 당기는 프로펠러의 허브에 부딪히는 프로펠러와 빙의 상호작용 하중은 포함되지 않는다.

(2) 개방식 및 덕트식 프로펠러에서 추진축계로 전달되는 설계 추력

추진축계에서 설계 추력은 다음 식에 따라 계산되어야 한다. 양방향에 대한 설계 하중은 전방향 및 후방향 하중 중 큰 값을 취한다. 계수 2.2 및 1.5는 축방향 진동으로 인한 동적배율을 고려한 것이다.

$$\text{전방향의 경우 } T_r = T + 2.2 \cdot T_f \quad (\text{kN})$$

$$\text{후방향의 경우 } T_r = 1.5 \cdot T_b \quad (\text{kN})$$

동유체 볼러드 추력  $T$ 가 주어지지 않은 경우,  $T$ 는 다음 표 2.13에 따른다.

표 2.13 볼러드 추력 값에 대한 가이드라인

프로펠러 형식	$T$
가변피치(CP) 프로펠러(개방식)	$1.25 \cdot T_n$
가변피치(CP) 프로펠러(덕트식)	$1.1 \cdot T_n$
터빈 또는 전기모터에 의해 구동되는 고정피치(FP) 프로펠러	$T_n$
왕복동 내연기관에 의해 구동되는 고정피치(FP) 프로펠러(개방식)	$0.85 \cdot T_n$
왕복동 내연기관에 의해 구동되는 고정피치(FP) 프로펠러(덕트식)	$0.75 \cdot T_n$
여기서, $T_n$ 은 개방수역 자유운전상태에서 연속최대출력 시의 공칭 프로펠러 추력	

당기는 형식 프로펠러의 경우 프로펠러 허브에서의 상호작용 하중을 추가하여 우리 선급에 의해 특별히 고려되어야 한다.

#### 6. 개방식 및 덕트식 프로펠러에 작용하는 비틀림 설계 하중

(1) 개방식 프로펠러에 대한 프로펠러 설계 빙토크  $Q_{\max}$

$Q_{\max}$ 는 빙과 프로펠러의 상호작용으로 인한 프로펠러의 최대 토크를 말한다.

$$D < D_{limit} \text{ 인 경우, } Q_{\max} = k_{open} \cdot \left[1 - \frac{d}{D}\right] \cdot \left[\frac{P_{0.7}}{D}\right]^{0.16} \cdot [nD]^{0.17} \cdot D^3 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

여기서,

$$k_{open} = 14.7 \quad \text{PC1} \sim \text{PC5의 경우}$$

$$k_{open} = 10.9 \quad \text{PC6} \sim \text{PC7의 경우}$$

$$D \geq D_{limit} \text{ 인 경우, } Q_{\max} = 1.9 \cdot k_{open} \cdot \left[1 - \frac{d}{D}\right] \cdot [H_{ice}]^{1.1} \cdot \left[\frac{P_{0.7}}{D}\right]^{0.16} \cdot [nD]^{0.17} \cdot D^{1.9} \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

여기서,

$$D_{limit} = 1.8 \cdot H_{ice} \quad (\text{m})$$

$n$  : 볼러드 상태에서 프로펠러 회전속도. 주어지지 않은 경우,  $n$ 은 다음 표 2.14와 같이 취한다.

표 2.14 비틀림 하중을 계산하기 위한 회전속도에 대한 가이드라인

프로펠러 형식	회전속도 $n$
가변피치(CP) 프로펠러	$n_n$
터빈 또는 전동기에 의해 구동되는 고정피치(FP) 프로펠러	$n_n$
왕복동 내연기관에 의해 구동되는 고정피치(FP) 프로펠러	$0.85 \cdot n_n$

가변피치(CP) 프로펠러의 경우 프로펠러 피치( $P_{0.7}$ )는 볼러드 상태에서의 연속최대출력에 상응하여야 한다. 주어지지 않은 경우, 프로펠러피치( $P_{0.7}$ )는  $0.7 \cdot P_{0.7n}$ 으로 구한다. 여기서,  $P_{0.7n}$ 은 자유운전상태에서 연속최대출력 시의 프로펠러 피치를 말한다.

(2) 덕트식 프로펠러에 대한 프로펠러 설계 빙토크  $Q_{\max}$

$$D < D_{limit} \text{ 인 경우, } Q_{\max} = k_{ducted} \cdot \left[1 - \frac{d}{D}\right] \cdot \left[\frac{P_{0.7}}{D}\right]^{0.16} \cdot [nD]^{0.17} \cdot D^3 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

여기서,

$$k_{ducted} = 10.4 \quad \text{PC1} \sim \text{PC5의 경우}$$

$$k_{ducted} = 7.7 \quad \text{PC6} \sim \text{PC7의 경우}$$

$$D \geq D_{limit} \text{ 인 경우, } Q_{\max} = 1.9 \cdot k_{ducted} \cdot \left[1 - \frac{d}{D}\right] \cdot [H_{ice}]^{1.1} \cdot \left[\frac{P_{0.7}}{D}\right]^{0.16} \cdot [nD]^{0.17} \cdot D^{1.9} \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

여기서,

$$D_{limit} = 1.8 \cdot H_{ice} \text{ (m)}$$

$n$  : (1)호와 같이 구한다.

가변피치(CP) 프로펠러의 경우 프로펠러 피치( $P_{0.7}$ )는 블러드 상태에서의 연속최대출력에 상응하여야 한다. 주어지지 않은 경우, 프로펠러피치( $P_{0.7}$ )는  $0.7 \cdot P_{0.7n}$ 으로 구한다. 여기서,  $P_{0.7n}$ 은 자유운전상태에서 연속최대출력 시의 프로펠러 피치를 말한다.

### (3) 개방식 및 덕트식 프로펠러에 대한 빙토크 기진

주어진 기진은 선박의 사용수명 동안 한번 경험할 수 있는 최대 토크를 평가하기 위하여 사용된다. 다음의 하중 사례는 프로펠러가 빙과 상호작용할 때 추진장치의 작동 하중 그리고 전체 시스템의 상응하는 반응을 반영하기 위한 것이다. 빙충격 및 시스템 응답은 개별 축계 구성품에 하중을 발생시킨다. 빙토크  $Q_{\max}$ 는 전체 속도 범위에서 일정한 값을 가지는 것으로 간주할 수 있다. 특정 축 속도를 고려하는 경우 관련 속도를 사용하여 관련  $Q_{\max}$ 를 계산할 수 있다.

시간영역으로 계산하는 경우 탄성 커플링이 없는 왕복동 내연기관장치는 빙에 대한 기관 기진에 대하여 가장 불리한 위상각에서 계산하여야 한다. 기관 점화 맥동이 계산에 포함되어야 하며 표준 정상상태 고조파(harmonics)가 사용될 수 있다. 빙하중과 가스하중 기진 사이의 위상각은 주파수영역 분석에서 고려할 필요가 없다. 착화실패도 고려할 필요가 없다.

날개 차수 공진이 연속최대회전수 바로 위에 있을 경우, 연속최대회전수의 105% 까지 계산이 수행되어야 한다. 7항에 주어진 계산 가이드라인을 참고한다.

#### (가) 시간영역 계산

축계 과도 동적해석(시간영역)을 위한 프로펠러의 빙토크 기진은 반 사인파 형태이며 날개에서 발생하는 날개 충격 시퀀스로 정의된다. 기진 진동수는 빙과의 상호작용 과정 동안 프로펠러 회전 속도를 따라야 한다. 단일 날개 빙충격에 의한 토크는 프로펠러 회전각의 함수로서 다음의 식으로 정의된다.

$\varphi$ 가 정수 회전에 더하여  $0^\circ$ 에서  $\alpha_i$ 까지 회전하는 경우,

$$Q(\varphi) = C_q \cdot Q_{\max} \cdot \sin(\varphi(180/\alpha_i))$$

$\varphi$ 가 정수 회전에 더하여  $\alpha_i$ 에서  $360^\circ$ 까지 회전하는 경우,

$$Q(\varphi) = 0$$

여기서,

$\varphi$  : 첫 충격이 일어났을 때를 시작으로 하는 회전각

$\alpha_i$  : 프로펠러 회전각에서 표현된 프로펠러 날개와 빙의 상호작용의 지속시간을 나타낸다.

변수  $C_q$  및  $\alpha_i$ 는 아래 표 2.15와 같다.

표 2.15 날개수에 따른 빙충격 확대 계수  $C_q$  및 지속시간 계수  $\alpha_i$

기진 토크	프로펠러와 빙의 상호작용	$C_q$	$\alpha_i$ [deg.]			
			$Z=3$	$Z=4$	$Z=5$	$Z=6$
기진 상태 1	단일 빙블록	0.75	90	90	72	60
기진 상태 2	단일 빙블록	1.0	135	135	135	135
기진 상태 3	두 개의 빙블록 (위상변이 $360^\circ/2 \cdot Z$ )	0.5	45	45	36	30
기진 상태 4	단일 빙블록	0.5	45	45	36	30

합계 빙토크는 위상 변이  $360^\circ/Z$ 를 고려한 단일 날개 토크의 합으로써 구한다.

빙을 분쇄하는 과정의 시작과 끝 단계(계산된 지속시간 이내)에서  $C_q$ 를 프로펠러 1회전 내에서 최대값까지 증가시키고 역으로 0까지 감소시키는 데에 선형램프함수가 사용되어야 한다. (부록2 그림 2.1에  $Z$  수에 따른 예를 참고한다.)

빙을 분쇄하는 과정 동안의 프로펠러 회전수  $N_Q$ 는 다음 식에 따른다.

$$N_Q = 2 \cdot H_{ice}$$

날개 차수 기진에 대한 충격의 수는  $Z \cdot N_Q$ 이다.

날개수에 따른 모든 기진 사례에 대한 예시는 부록 2 그림 2.1에 주어진다.

동적 시뮬레이션은 공진 진동 응답을 얻을 수 있도록 공칭 연속최대회전수, 블라드 상태 연속최대회전수 및 상기 모든 공진회전수(1차 기관 및 1차 날개 고조파)에서 시작하는 모든 기진 사례에 대하여 실시하여야 한다. 고정피치 프로펠러 장치에 대한 동적 시뮬레이션은 기관의 최대 가능 출력을 가정하여 상응하는 회전수를 가지는 블라드 풀 상태 또한 다루어야 한다.

주기관이 정체상태(stand still)까지 회전수가 떨어질 경우 기관이 의도하는 서비스 작업을 수행하기에 충분한 동력이 공급되지 않을 수 있음을 나타낸다. 하중의 고려를 위하여 회전수 저하 과정 동안의 최대 발생 토크가 적용되어야 한다. 이러한 경우 기진은 축 회전수를 따라야 한다.

#### (나) 주파수영역 계산

주파수영역 계산을 위하여 다음의 토크 기진이 사용될 수 있다. 기진은 시간영역 반 사인파 충격 시퀀스가 연속적인 것으로 가정하여 유도된다. 그리고 1차 날개 진동수 및 2차 날개 진동수에 대한 푸리에 급수 요소가 유도된다. 주파수영역 분석은 고려된 속도 범위에서 1차 날개 진동수 공진이 있는 경우 일반적으로 시간영역 시뮬레이션과 비교하여 보수적으로 간주된다.

$$Q_F(\varphi) = Q_{\max} \cdot (C_{q0} + C_{q1} \cdot \sin(Z \cdot E_0 \cdot \varphi + \alpha_1) + C_{q2} \cdot \sin(2 \cdot Z \cdot E_0 \cdot \varphi + \alpha_2)) \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$C_{q0}$  : 평균 토크 요소,

$C_{q1}$  : 1차 날개 진동수 기진 진폭

$C_{q2}$  : 2차 날개 진동수 기진 진폭

$\varphi$  : 회전각

$\alpha_1, \alpha_2$  : 기진 요소의 위상각

$E_0$  : 빙블럭의 접촉 수

상기 주파수 영역 기진 계산에 대한 계수는 표 2.16에 따른다.

표 2.16 단순화된 기진 토크 추정을 위한 계수

기진토크	$Z=3$					
	$C_{g0}$	$C_{g1}$	$\alpha_1$	$C_{g2}$	$\alpha_2$	$E_0$
기진 상태 1	0.375	0.375	-90	0	0	1
기진 상태 2	0.7	0.33	-90	0.05	-45	1
기진 상태 3	0.25	0.25	-90	0	0	2
기진 상태 4	0.2	0.25	0	0.05	-90	1
기진토크	$Z=4$					
	$C_{g0}$	$C_{g1}$	$\alpha_1$	$C_{g2}$	$\alpha_2$	$E_0$
기진 상태 1	0.45	0.36	-90	0.06	-90	1
기진 상태 2	0.9375	0	-90	0.0625	-90	1
기진 상태 3	0.25	0.251	-90	0	0	2
기진 상태 4	0.2	0.25	0	0.05	-90	1
기진토크	$Z=5$					
	$C_{g0}$	$C_{g1}$	$\alpha_1$	$C_{g2}$	$\alpha_2$	$E_0$
기진 상태 1	0.45	0.36	-90	0.06	-90	1
기진 상태 2	1.19	0.17	-90	0.02	-90	1
기진 상태 3	0.3	0.25	-90	0.048	-90	2
기진 상태 4	0.2	0.25	0	0.05	-90	1
기진토크	$Z=6$					
	$C_{g0}$	$C_{g1}$	$\alpha_1$	$C_{g2}$	$\alpha_2$	$E_0$
기진 상태 1	0.45	0.375	-90	0.05	-90	1
기진 상태 2	1.435	0.1	-90	0	0	1
기진 상태 3	0.3	0.25	-90	0.048	-90	2
기진 상태 4	0.2	0.25	0	0.05	-90	1

비틀림진동 응답은 모든 기진 상태에 대해서 계산되어야 한다. 가장 심각한 회전 속도에서 관련 기진 상태의 결과는 다음과 같은 방법으로 사용되어야 한다.

최고 응답 토크(시스템에서의 다양한 집중질량 사이)는 아래 피크 토크  $Q_{peak}$ 로 불린다.

충격 시퀀스 동안의 최대 토크 진폭은 최대 토크에서 최소 토크까지 범위의 반으로 결정되며  $Q_{Amax}$ 로 불린다.

$Q_{Amax}$ 의 설명은 그림 2.12에 주어지며 다음의 식으로 결정된다.

$$Q_{Amax} = \left( \frac{\max(Q_r(time)) - \min(Q_r(time))}{2} \right) \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

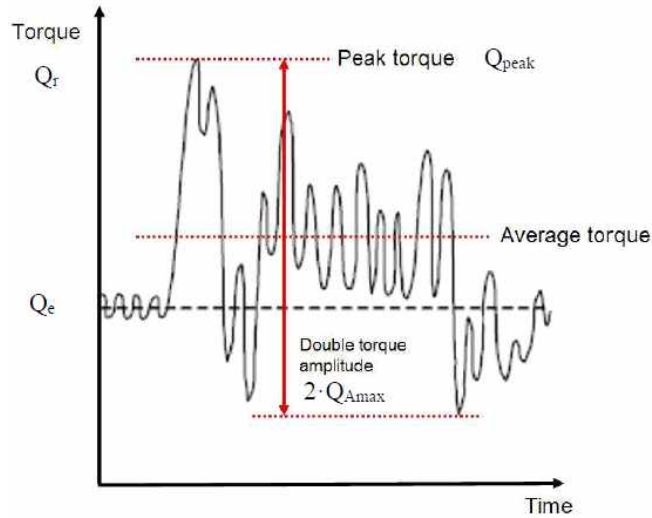


그림 2.12 측정된 다양한 토크 곡선에서의 해석 예

#### (4) 축계 설계 토크

(가) 볼러드 상태에서의 최대 운전회전수(표 2.14 참고)의 80%에서  $n_n$ 의 120%까지 범위 내에 1차 날개 진동수 비틀림 공진이 없는 경우 다음의 최대 응답 토크의 추정치는 프로펠러축의 설계 토크를 계산하는 데 사용할 수 있다.

플렉시블 커플링 없이 직접 연결된 2행정 왕복동 내연기관의 경우,

$$Q_r = Q_{emax} + Q_{vib} + Q_{max} \cdot \frac{I}{I_t} \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

기타 기관의 경우,

$$Q_r = Q_{emax} + Q_{max} \cdot \frac{I}{I_t} \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$I$  : 고려하는 구성품의 기관축에 있는 모든 부분의 등가질량관성모멘트

$I_t$  : 추진장치 전체의 등가질량관성모멘트

모든 토크 및 관성모멘트는 검토되는 구성품의 회전 속도로 감소되어야 한다. 최대 토크  $Q_{emax}$ 가 주어지지 않은 경우, 표 2.17의 값에 따른다.

표 2.17 최대 토크 결정에 대한 가이드 라인

프로펠러 형식	$Q_{emax}$
전동기에 의해 구동되는 고정피치 프로펠러 및 가변피치 프로펠러	$Q_{motor}$
전동기 이외의 원동기에 의해 구동되는 가변피치 프로펠러	$Q_n$
터빈에 의해 구동되는 고정피치 프로펠러	$Q_n$
왕복동 내연기관에 의해 구동되는 고정피치 프로펠러	$0.75 \cdot Q_n$
(비고)	
$Q_{motor}$ 는 전동기의 피크 토크이다.	

(나) 최대 운전회전수(볼러드 상태)의 80%에서  $n_n$ 의 120%까지 범위 내에 1차 날개 진동수 비틀림 공진이 있는 경

우 축 구성품의 설계토크( $Q_r$ )는 시간영역 또는 대체방안으로서 주파수영역에서 전체 추진계에 대한 동적 비틀림진동 해석의 방법으로 결정하여야 한다. 그런 다음 기관이 연속사용 금지범위의 유해한 운전을 피하도록 충분히 설계되었다고 가정한다.

## 7. 비틀림진동 계산에 대한 가이드라인

- (1) 비틀림진동 계산의 목적은 안전한 운전을 위한 치수를 결정하기 위해서 수명 기간 동안 개별 축계 구성품에 대한 비틀림 하중을 추정하기 위함이다. 모델은 감쇠를 포함하는 정상 집중질량 탄성 비틀림진동 모델(주파수 영역)에서 얻을 수 있다. 표준 고조파를 사용하여 가스하중을 고려할 수 있다. 실제 기관의 토크-회전 곡선이 적용된다.
- (2) 시간영역 해석의 경우 모델은 프로펠러에서의 빙 기진, 원동기가 제공하는 평균 토크, 프로펠러에서의 동유체 평균 토크 및 기타 관련 기진을 포함하여야 한다. 계산은 빙 기진과 원동기 기진 사이의 다양한 위상을 다루어야 한다. 이는 직접 구동 내연기관 추진계와 매우 관련이 있다.
- (3) 주파수영역 계산의 경우 하중은 반 사인파 하중 피크의 연속 시퀀스에 대한 푸리에 요소 해석으로서 추정되어야 한다. 기진에는 1차 및 2차 날개 진동수 요소가 사용되어야 한다. 계산은 관련된 전체 축 회전수 범위를 포함해야 한다. 관련 비틀림진동 공진에서 응답 분석은 개방수역(빙 기진이 없는) 및 빙 기진에 대해 각각 개별적으로 수행할 수 있다. 직접 연결된 기관의 경우 다음과 같은 중첩을 통하여 최대 토크를 얻을 수 있다.

$$Q_{peak} = Q_{emax} + Q_{opw} + Q_{ice}$$

여기서,

$Q_{emax}$  : 고려하는 회전속도에서의 최대 기관 토크

$Q_{opw}$  : 주파수 영역 분석에 의하여 결정되는 고려하는 축 회전수에서의 기관 기진의 최대 개방수역 응답

$Q_{ice}$  : 관련 축 회전수, 빙 기진 상태 1~ 상태 4에 대한 주파수 영역 분석을 사용하여 계산된 토크. 결과

적으로 빙 기진으로 인한 최대 응답 토크

## 306. 설계

### 1. 설계 원칙

- (1) 추진계는 강도 측면에서 피라미드 강도 원칙에 따라 설계되어야 한다. 이것은 프로펠러 날개의 손실로 인하여 다른 프로펠러 축계 구성품의 증대한 손상이 발생하지 않아야 함을 의미한다.
- (2) 추진계 구성품은 관련 안전마진으로 최대 및 피로 운전하중을 견디어야 한다. 하중은 축계정렬이나 기타 정상운전 상태의 계산에 고려될 필요가 없다.

### 2. 일반적인 피로설계

- (1) 설계 하중은 빙 기진 및 필요한 경우 날개 충격 시퀀스(305.의 6항 (3)호 (가) 참고)로서 설명되는 (축계) 동적 분석을 기반으로 하여야 한다. 축 응답 토크는 305.의 6항 (4)호에 따라 결정해야 한다.
- (2) 추진계 구성품은 아래에 정의된 선형탄성 마이너의 법칙을 이용하여 관련 하중을 고려할 때 누적 피로파괴가 발생하지 않도록 설계하여야 한다.

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_k}{N_k} \leq 1 \quad \text{or} \quad D = \sum_{j=1}^k \frac{n_j}{N_j} \leq 1$$

여기서,

$k$  : 응력수준의 수

$N_{1..k}$  : 개별 응력수준 등급의 파괴 시 하중 사이클 수

$n_{1..k}$  : 등급별 고려중인 상태에서의 누적 하중 사이클 수

$D$  : 마이너 손상 합계

응력 분포는 최소 10개의 응력 블록(하중의 10% 마다)을 갖는 주파수 하중 스펙트럼으로 나누어야 한다. 5개의 응력 블록을 사용한 계산은 너무 보수적인 것으로 알려져 있다. 최대 허용 하중은 프로펠러 날개의 경우  $\sigma_{ref2}$ 로 제한되고 모든 다른 구성품의 경우 항복강도로 제한된다. 하중 분포(스펙트럼)는 Weibull 분포에 따라야 한다.

### 3. 프로펠러 날개

- (1) 정적하중으로 인한 날개 응력 계산

날개 응력(등가응력 및 주응력)은 305.의 3항에 주어진 설계 하중에 대하여 계산되어야 한다. 모든 프로펠러 날개에 대한 최종 승인의 일부로서 응력 분석에 유한요소해석이 사용되어야 한다. 폰미세스 응력은  $\sigma_{st}$ 로 간주되며 (2)호의 식에 따른다.

대안으로, 최종 승인을 위하여 루트부( $r/R < 0.5$ )에서 모든 프로펠러에 대한 날개 응력을 추정하는데 다음 단순화된 식을 사용할 수 있다.

$$\sigma_{st} = C_1 \cdot \frac{M_{BL}}{100 \cdot ct^2} \quad (\text{MPa})$$

상수  $C_1$ 는  $\frac{\text{실제응력}}{\text{빔 방정식으로 구해진 응력}}$  으로 구한다.

실제 값을 이용할 수 없는 경우  $C_1$ 은 1.6으로 한다.

$$M_{BL} = (0.75 - r/R) \cdot R \cdot F \quad \text{반지름 비 } r/R < 0.5 \text{인 경우}$$

$F : F_b \text{와 } F_f \text{의 최대값 중 큰 것.}$

## (2) 정적 하중에 대한 허용 기준

계산된 날개 응력에 대하여 다음 기준이 충족되어야 한다.

$$\frac{\sigma_{ref2}}{\sigma_{st}} \geq 1.3$$

$\sigma_{st}$  : 설계 하중에 대하여 계산된 응력. 응력을 추정하는데 유한요소해석을 사용할 경우 폰미세스 응력이 사용되어야 한다.

## (3) 프로펠러 날개의 피로설계

### (가) 일반

S-N 선도에서 두 개의 기울기를 갖는 재료(그림 2.13 참고)에 대하여 다음 기준을 충족하는 경우 이 호에 따르는 피로 계산은 하지 않아도 된다.

$$\sigma_{exp} \geq B_1 \cdot \sigma_{ref2}^{B_2} \cdot \log(N_{ice})^{B_3}$$

개방식 및 덕트식 프로펠러에 대한 계수  $B_1$ ,  $B_2$  및  $B_3$ 는 다음 표 2.18에 주어진 것과 같다.

표 2.18 피로 계산의 면제를 확인하는 계수

	개방식 프로펠러	덕트식 프로펠러
$B_1$	0.00328	0.00223
$B_2$	1.0076	1.0071
$B_3$	2.101	2.471

상기 기준이 충족되지 않는 경우 아래에 정의된 피로 요구사항이 적용된다.

프로펠러 날개의 피로설계는 선박사용수명 중 추정된 하중 분포 및 날개 재료에 대한 S-N 선도를 기초로 한다. 예상된 하중 분포와 동일한 피로 손상을 일으키는 등가응력  $\sigma_{fat}$ 이 마이너의 법칙에 따라 계산되어야 하고 이 호에 주어진 피로에 대한 허용기준이 충족되어야 한다. 등가응력은  $10^8$ 사이클을 기준으로 한다.

피로 해석에 대한 선택된 다양한 하중 수준에서 날개 응력은 305.의 3항에 주어진 최대 하중에 대하여 계산된 응력에 비례하여야 한다. 피크 주응력  $\sigma_f$  및  $\sigma_b$ 는 유한요소해석을 사용하여  $F_f$  및  $F_b$ 로부터 결정된다. 피크 응력 범위  $\Delta\sigma_{max}$  및 최대 응력 진폭  $\sigma_{Amax}$ 는 하중 상태 1 및 3, 하중 상태 2 및 4에 기초하여 결정된다.

$$\Delta\sigma_{max} = 2 \cdot \sigma_{Amax} = |(\sigma_{ice})_{fmax}| + |(\sigma_{ice})_{bmax}|$$

후방향 하중에 대한 하중 스펙트럼은 보통 전방향 하중에 대한 하중 스펙트럼보다 낮은 사이클 수가 예상된다. 피로 해석에 이를 참작하는 것은 관련된 모든 불확실성을 고려할 때 불합리한 복잡성을 발생시킨다. 등가응력의 계산을 위하여 두가지 유형의 S-N 선도를 사용할 수 있다.

- 두개의 기울기를 갖는 S-N 선도 (기울기 4.5 및 10), 그림 2.13 참고.

- 단일 기울기 S-N 선도(그 기울기가 선택될 수 있다), 그림 2.14 참고.

S-N 선도의 유형은 날개의 재료특성에 상응하도록 선택하여야 한다. S-N 선도가 주어지지 않을 경우, 두 개의 기울기를 갖는 S-N 선도를 사용하여야 한다.

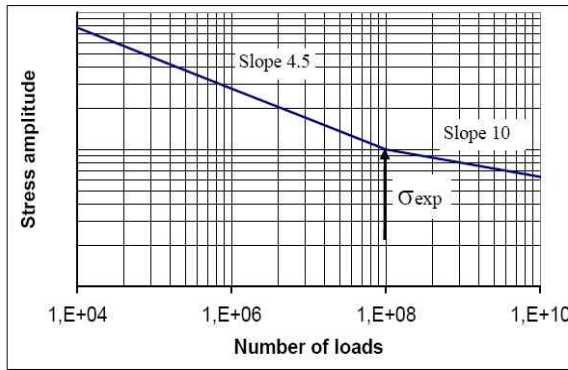


그림 2.13 두개의 기울기를 갖는 S-N 선도

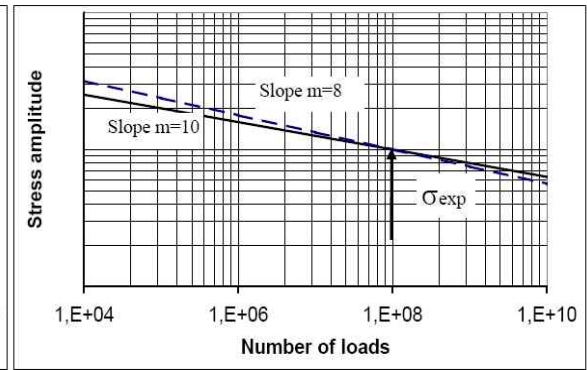


그림 2.14 단일 기울기 S-N 선도

#### (나) 등가피로응력

프로펠러 날개의 등가피로응력을 결정하는 보다 일반적인 방법은 5항에 설명되어 있으며 주응력은 마이너의 법칙을 사용하여 305.의 3항에 따라 고려된다. 하중 블록의 총 사이클 수  $n_{bl}$ 이  $n_{bl} > 100$ 인 경우 두 방법 모두 동일한 결과를 제공하므로 두 방법은 동등한 것으로 간주된다.

하중 분포와 동일한 피로 손상을 일으키는  $10^8$  응력 사이클에 대한 등가피로응력  $\sigma_{fat}$ 는 다음과 같다.

$$\sigma_{fat} = \rho \cdot (\sigma_{ice})_{max}$$

여기서,

$(\sigma_{ice})_{max}$  : 대상 위치에서 설계 전방향 및 후방향 날개 힘에 의해 발생하는 주응력 진폭의 평균 값, 다음 식에 따른다.

$$(\sigma_{ice})_{max} = 0.5 \cdot [(\sigma_{ice})_{fmax} - (\sigma_{ice})_{bmax}]$$

$(\sigma_{ice})_{fmax}$  : 전방향 하중으로 인한 주응력

$(\sigma_{ice})_{bmax}$  : 후방향 하중으로 인한 주응력

$(\sigma_{ice})_{max}$ 의 계산에 있어서,  $(\sigma_{ice})_{fmax}$  및  $(\sigma_{ice})_{bmax}$ 에 대하여 부록 2의 표 2.1, 표 2.2의 상태 1과 상태 3(또는 상태 2와 상태 4)이 쌍으로 고려된다. 상태 5는 피로 해석에서 제외한다.

두개의 기울기를 갖는 S-N 선도에서 매개변수  $\rho$ 의 계산

하중 사이클 수  $N_{ice}$ 가  $5 \cdot 10^6 \leq N_{ice} \leq 10^8$  범위 내에 있는 경우 매개변수  $\rho$ 를 결정하는 다음 식의 오차는 충분히 작다.

매개변수  $\rho$ 는 다음 회귀 공식에 따라 최대 빙하중을 빙하중 분포와 연관 시킨다.

$$\rho = C_1 \cdot (\sigma_{ice})_{max}^{C_2} \cdot \sigma_{fl}^{C_3} \cdot \log(N_{ice})^{C_4}$$

여기서,

$\sigma_{fl} = \gamma_{\epsilon 1} \cdot \gamma_{\epsilon 2} \cdot \gamma_{\nu} \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{exp}$ 는  $10^8$  사이클 수에서의 날개 재료의 피로강도를 말하며 (다)를 참고한다.

계수  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ , 및  $C_4$  는 표 2.19와 같다.

표 2.19 재료의 피로강도를 평가하기 위한 계수

	개방식 프로펠러	덕트식 프로펠러
$C_1$	0.000747	0.000534
$C_2$	0.0645	0.0533
$C_3$	- 0.0565	- 0.0459
$C_4$	2.22	2.584

단일 기울기 S-N 선도에서 매개변수  $\rho$ 의 계산

단일 기울기 S-N 선도를 갖는 재료의 경우(그림 2.14 참고), 매개변수  $\rho$ 는 다음 식에 따라 계산되어야 한다.

$$\rho = \left( G \cdot \frac{N_{ice}}{N_R} \right)^{1/m} (\ln(N_{ice}))^{-1/k}$$

여기서,

$k$  : Weibull-type 분포의 형상 계수.

$k = 1.0$  덕트식 프로펠러의 경우

$k = 0.75$  개방식 프로펠러의 경우

$N_R$  : 기준 하중 사이클 수( $10^8$ )

매개변수  $G$  값은 표 2.20에 주어진 것과 같다. 표 2.20에 주어진 것 이외의  $m/k$  비율에 대한  $G$  값을 계산하기 위하여 선형보간법을 사용할 수 있다.

표 2.20 여러 가지  $m/k$  비율에 대한 매개변수  $G$  값

$m/k$	$G$	$m/k$	$G$	$m/k$	$G$
3	6	5.5	287.9	8	40320
3.5	11.6	6	720	8.5	119292
4	24	6.5	1871	9	362880
4.5	52.3	7	5040	9.5	$1.133 \times 10^6$
5	120	7.5	14034	10	$3.623 \times 10^6$

(다) 피로의 허용 기준

날개의 모든 위치에서 등가피로응력  $\sigma_{fat}$ 은 다음 허용 기준에 충족되어야 한다.

$$\frac{\sigma_{fl}}{\sigma_{fat}} \geq 1.5$$

여기서,

$$\sigma_{fl} = \gamma_{\epsilon 1} \cdot \gamma_{\epsilon 2} \cdot \gamma_{\nu} \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{exp}$$

$\sigma_{fl}$  :  $10^8$  사이클 수에서의 날개 재료의 피로강도  
 $\gamma_{e1}$  : 분산에 의한 경감계수(단일 표준편차에 동등한)  
 $\gamma_{e2}$  : 시험편의 크기 효과에 대한 경감계수  
 기하학적 크기 계수  $\gamma_{e2}$ 는 다음과 같다.

$$\gamma_{e2} = 1 - a \cdot \ln\left(\frac{t}{0.025}\right)$$

여기서,

“a”는 표 2.21에 제시된 바와 같고 “t”는 고려되는 지점에서의 최대 날개 두께이다.

$\gamma_{\nu}$  : 변동 진폭 하중에 대한 경감계수  
 $\gamma_m$  : 평균 응력에 대한 경감계수  
 평균 응력 효과  $\gamma_m$ 는 다음과 같다.

$$\gamma_m = 1.0 - \left( \frac{1.4 \cdot \sigma_{mean}}{\sigma_u} \right)^{0.75}$$

$\sigma_{exp}$  : 해수에서  $10^8$  사이클에서 파괴되는 날개 재료의 평균 피로 강도

표 2.21의  $\sigma_{exp}$ 는  $10^7$  하중 사이클 수에서 50% 생존확률을 가지는 일정한 진폭 하중 피로 시험 결과로부터 정의되었으며  $10^8$  하중 사이클 수로 확장되었다.

우리 선급에 의해 승인된 조건 하에서 값이 결정된 경우 표 2.21에서 제시된 값 이외의 피로강도 값 및 보정계수를 사용할 수 있다.

실제 값을 이용할 수 없을 경우, 다음 값들을 경감계수로 사용하여야 한다.

$\gamma_{e1} = 0.85$ ,  $\gamma_{\nu} = 0.75$ , 및  $\gamma_m = 0.75$ .

S-N선도의 특성은 두 개의 기울기를 가지는 것을 기반으로 한다. 1000에서부터  $10^8$  하중 사이클 수까지는 첫 번째 기울기 4.5를 가지며  $10^8$  하중 사이클 이상에서는 두 번째 기울기 10을 가진다.

1회 또는 낮은 사이클 수에 대한 최대 허용응력은 정적 하중에 대하여  $S=1.3$ 인  $\sigma_{ref2}/S$ 로 제한한다.

피로강도  $\sigma_{fat}$ 는  $10^8$  하중 사이클 수에서의 피로 한계이다.

표 2.21 응력비 R=-1 및  $10^8$  하중 사이클 수에서 50% 생존확률을 가지는 서로 다른 재료에 대한 평균 피로강도  $\sigma_{exp}$

$10^8$ 하중 사이클 수에서 다양한 재료 유형에 대한 평균 피로강도 $\sigma_{exp}$			
청동 및 황동( $a=0.10$ )		스테인리스강( $a=0.05$ )	
Mn-청동계, CU1(고장력 황동)	84 MPa	페라이트계(12Cr 1Ni)	144 MPa <sup>(1)</sup>
Mn-Ni-청동계, CU2(고장력 황동)	84 MPa	마르텐사이트계((13Cr 4Ni/13Cr 6Ni)	156 MPa
Ni-Al-청동계, CU3	120 MPa	마르텐사이트계(16Cr 5Ni)	168 MPa
Mn-Al-청동계, CU4	113 MPa	오스테나이트계(19Cr 10Ni)	132 MPa
(비고)			
(1) 완전한 갈바닉 보호가 활성화된 경우 이 값을 적용할 수 있다. 그렇지 않은 경우 30 MPa를 감하여 적용한다.			

#### 4. 날개 볼트, 프로펠러 허브 및 피치 제어기구

##### (1) 일반

날개 볼트, 피치 제어기구, 프로펠러 보스 그리고 프로펠러축에 프로펠러 부착은 305.의 3항 및 306.의 3항에 정의된 최대 정적 및 피로 설계 하중(해당하는 경우)에 견딜 수 있도록 설계하여야 한다. 정적 하중 및 피로로 인한 항복에 대한 안전계수  $S$ 는 달리 명시되지 않은 경우 1.5 이상이어야 한다. 305.의 4항에서 정의된 프로펠러 날개 파괴로 인한 하중에 대한 안전계수  $S$ 는 1.0 이상이어야 한다.

국부적인 응력집중을 고려하여 적절히 계산된 응력이 항복강도 미만이거나 각 재료의  $\sigma_u$ 의 최대 70%인 경우 상세한 피로 해석이 요구되지 않는다. 다른 모든 경우에는 누적 피로에 대하여 구성품을 분석하여야 한다. 축 평가와 유사한 접근법이 적용될 수 있다. (5항 참고)

## (2) 날개 볼트

날개 볼트는 볼트 피치원 상 접선 방향, 또는 비원형 접합부의 경우 고려되는 루트부 단면에 평행한 기타 관련 축에 작용하는 다음의 굽힘모멘트를 견뎌야 한다.

$$M_{bolt} = S \cdot F_{ex} \left( 0.8 \frac{D}{2} - r_{bolt} \right) \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

여기서,

$r_{bolt}$  : 볼트 평면의 반지름 (m)

$S = 1.0$ , 안전계수

날개 볼트의 프리텐션은 305.의 3항에 정의된 최대 전방향 및 후방향 빙하중(개방식 및 덕트식 프로펠러 각각)이 적용되는 경우 맞물리는 표면 사이의 분리를 방지하기에 충분하여야 한다. 전통적인 배치의 경우 다음의 식을 적용한다.

$$d_{bb} = 41 \cdot \sqrt{\frac{F_{ex} \cdot (0.8D - d) \cdot S \cdot \alpha}{\sigma_{0.2} \cdot Z_{bb} \cdot PCD}} \quad (\text{mm})$$

여기서,

$\alpha = 1.6$  토크벌 조임의 경우

$= 1.3$  신장 유도 조임의 경우

$= 1.2$  회전각법 조임의 경우

$= 1.1$  기타 추가 방법에 의한 신장 조임의 경우

입증할 수 있는 경우 다른 계수가 사용될 수 있다.

$d_{bb}$  : 날개 볼트 나사산 주위에서의 유효 지름 (mm)

$Z_{bb}$  : 날개 볼트의 수

$S = 1.0$ , 안전계수

## (3) 피치제어 기구

날개 파괴로 인한 스핀들토크  $Q_{sex}$  (305.의 4항 (2)호 참고) 또는 빙 상호작용  $Q_{smax}$  (305.의 3항 (7)호 참고)으로 인한 스핀들토크 중 큰 쪽을 견딜 수 있도록 별도의 수단(예를 들면 다월핀)이 제공되어야 한다. 피치제어 기구의 다른 구성품은 최대 스핀들토크( $Q_{smax}$ ,  $Q_{sex}$ )에 의하여 손상이 없어야 한다. 추가 분석을 통하여 별도로 문서화되지 않은 경우 스핀들토크의 1/3은 마찰에 의하여 소비되는 것으로 가정한다.

날개와 날개 캐리어 사이에 장착된 핀의 지름  $d_{fp}$ 는 다음의 식을 사용하여 계산할 수 있다.

$$d_{fp} = 66 \cdot \sqrt{\frac{(Q_s - Q_{fr})}{PCD \cdot Z_{pin} \cdot \sigma_{0.2}}} \quad (\text{mm})$$

여기서,

$Q_s = \max(S \cdot Q_{smax}; S \cdot Q_{sex})$  (kN·m)

$S = 1.3$   $Q_{smax}$ 에 대하여

$S = 1.0$   $Q_{sex}$ 에 대하여

$$Q_{fr} = \text{접촉 표면 사이의 마찰} = 0.33 \cdot Q_S$$

마찰계수 = 0.15를 사용하여  $F_{ex}$ ,  $F_f$  또는  $F_b$  중 관련된 반력에 따라 계산된 대체  $Q_{fr}$ 를 인정할 수 있다.

작동 핀에서의 응력은 다음 식에 의하여 추정할 수 있다.

$$\sigma_{vMises} = \sqrt{\left( \frac{\left( F \cdot \frac{h_{pin}}{2} \right)^2}{\frac{\pi \cdot d_{pin}^3}{32}} \right) + 3 \cdot \left( \frac{F}{\frac{\pi}{4} d_{pin}^2} \right)^2} \quad (\text{MPa})$$

여기서,

$$F = \frac{Q_S - Q_{fr}}{l_m} \quad (\text{kN})$$

$l_m$  : 날개의 피치 중심과 핀 축 사이의 거리 (m)

$Q_{fr}$  :  $F_{ex}$ ,  $F_f$  또는  $F_b$  중 관련된 반력에 의해 발생하고 날개 팜에 작용하는 날개 베어링에서의 마찰 토크; 스핀들토크  $Q_S$ 의 1/3에 해당한다.

$h_{pin}$  : 작동 핀의 높이 (mm)

$d_{pin}$  : 작동 핀의 지름 (mm)

날개 파괴 스핀들 토크  $Q_{sex}$ 는 중대한 손상을 초래하여서는 아니된다. 하나의 날개에 작용하는 빙 스핀들토크를 고려하여 날개에서 서보시스템으로 스핀들토크를 전달하는 부품에 대하여 피로강도가 고려되어야 한다. 최대 진폭  $Q_{samax}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$Q_{samax} = \frac{Q_{sb} + Q_{sf}}{2} \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

여기서,

$Q_{sb}$  :  $|F_b|$ 로 인한 스핀들토크 (kN·m)

$Q_{sf}$  :  $|F_f|$ 로 인한 스핀들토크 (kN·m)

#### (4) 서보 압력

유압 작동부가 도출밸브에 의해 보호되지 않는 경우, 서보시스템의 설계압력은  $Q_{samax}$  또는  $Q_{sex}$ 에 의하여 발생되고 각 빙하중에 의하여 베어링에서 발생된 관련 마찰 손실에 의하여 감소된 압력을 가져야 한다. 설계압력은 어떠한 경우에도 도출밸브의 설정압력 이상이어야 한다.

#### 5. 추진계 구성품

305.의 4항에서 정의된 날개 파괴  $F_{ex}$ 로 인한 극한하중은 축방향 하중 및 굽힘 하중 요소를 결합하여 구성하여야 한다. 항복에 대한 안전계수는 모든 축계 구성품에 대하여 1.0 이상이어야 한다. 베어링, 커플링 및 플랜지와 같은 축 및 축계 구성품은 305.에 주어진 프로펠러와 빙의 상호작용에 의한 하중을 견디도록 설계되어야 한다. 이 절에 주어진 하중들은 축계정렬 계산에 사용하기 위한 것이 아니다. 누적 피로 계산은 마이너의 법칙에 따라 수행되어야 한다. 최대 응력이  $10^8$  하중 사이클 수에서 피로강도 미만인 경우 피로 계산이 필요하지 않다. 추진계의 토크 및 추력 진폭 분포(스펙트럼)은 다음 식과 같다(Weibull 지수  $k=1$ 이므로).

$$Q_A(N) = Q_{Amax} \cdot \left( 1 - \frac{\log(N)}{\log(Z \cdot N_{ice})} \right)$$

이는 그림 2.15의 예에서 설명된다.

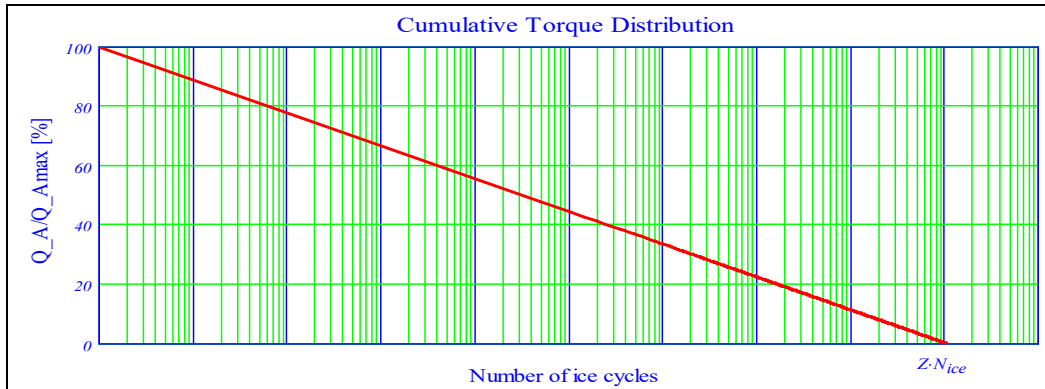


그림 2.15 누적 토크 분포

하중 스펙트럼에서의 하중 사이클 수는  $Z \cdot N_{ice}$ 로 정의된다.

Weibull 지수는 개방식 및 덕트식 프로펠러 토크와 굽힘 모두에 대해  $k=1.0$ 으로 간주해야 한다. 부하분포는 누적 부하 스펙트럼이며 마이너 합산법을 사용하는 경우 부하 스펙트럼은 최소 10개의 부하 블록으로 나누어야 한다. 보수적으로 계산하기 위하여 사용된 부하 스펙트럼은 100% 부하에 대한 사이클 수를 다음 단계(예를 들면 90% 부하) 이상의 사이클 수로 계산한다. 결과적으로, 사용된 응력 블록이 적을수록 계산된 안전 여유도 더 보수적이 된다.

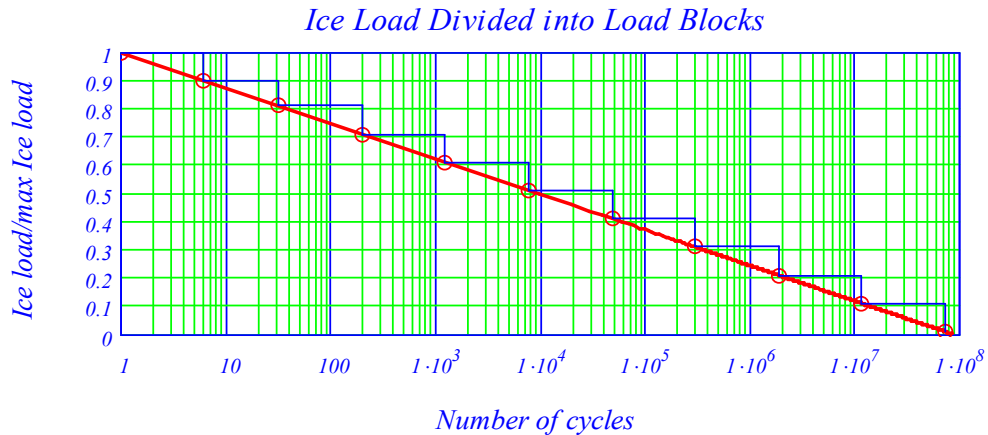


그림 2.16 축에 대한 빙하중 분포(스펙트럼)의 예 ( $k=1$ )

하중 스펙트럼은 Miner 합산법을 위해 하중 블록의 수  $n_{bl}$ 로 나눈다.

다음의 식은 각 하중 블록에 대한 사이클 수 계산에 사용될 수 있다.

$$n_i = N_{ice}^{1 - \left(1 - \frac{i}{n_{bl}}\right)^k} - \sum_{i=1}^i n_{i-1}$$

여기서,

$i$  : 단일 하중 블록

$n_{bl}$  : 하중 블록의 수

#### (1) 축에 대한 프로펠러의 부착

##### (가) 키 없는 부착부

마찰 용량( $0^\circ\text{C}$  에서)은 허용 허브 응력을 초과하지 않고 305.의 6항에서 결정된 최대 피크 토크  $Q_{peak}$ 에 2배 ( $S=2.0$ ) 이상이어야 한다.

요구 면압  $P_{oC}$ 는 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$P_{oC} = \frac{2 \cdot S \cdot Q_{peak}}{\pi \cdot \mu \cdot D_S^2 \cdot L \cdot 10^3} \quad (\text{MPa})$$

여기서,

$$\begin{aligned} \mu &= 0.15 && \text{강-강인 경우} \\ &= 0.13 && \text{강-청동인 경우} \end{aligned}$$

글리세린이 습식 부착에 사용되는 경우 상기 마찰계수는 0.04 만큼 증가할 수 있다.

$D_S$  : 테이퍼부의 중간 길이에서의 축 지름 (m)

$L$  : 테이퍼부의 유효 길이 (m)

#### (나) 키 부착

키에 의한 부착은 허용되지 않는다.

#### (다) 플랜지 부착

플랜지 두께는 계산상 후단 축 지름의 25% 이상이어야 한다. 볼트 헤드에 대한 자리파기와 같은 추가적인 응력 상승은 플랜지 두께가 적절히 증가하지 않는 한 플랜지 필릿을 방해하지 않아야 한다. 플랜지 필릿부 반지름은 계산상 축 지름의 10% 이상이어야 한다.

전단핀의 지름은 다음 식에 따라 계산해야 한다.

$$d_{pin} = 66 \cdot \sqrt{\frac{Q_{peak} \cdot S}{PCD \cdot Z_{pin} \cdot \sigma_{0.2}}} \quad (\text{mm})$$

여기서,

$Z_{pin}$  : 전단핀의 수

$S = 1.3$  안전계수

후방향 날개 파괴 하중  $F_{ex}$  (305.의 4항 참고)가 볼트의 항복을 일으키지 않도록 볼트를 설계하여야 한다. 다음의 식을 적용한다.

$$d_b = 41 \cdot \sqrt{\frac{F_{ex} \cdot \left(0.8 \cdot \frac{D}{PCD} + 1\right) \cdot \alpha}{\sigma_{0.2} \cdot Z_b}} \quad (\text{mm})$$

여기서,

$$\begin{aligned} \alpha &= 1.6 && \text{토크웍 조임의 경우} \\ &= 1.3 && \text{신장 유도 조임의 경우} \\ &= 1.2 && \text{회전각법 조임의 경우} \\ &= 1.1 && \text{기타 추가 방법에 의한 신장 조임의 경우} \end{aligned}$$

입증할 수 있는 경우 다른 계수가 사용될 수 있다.

$d_b$  : 플랜지 볼트 지름 (mm)

$Z_b$  : 플랜지 볼트의 수

#### (2) 프로펠러축

프로펠러축은 다음을 충족하도록 설계해야 한다.

(가) 축에 평행하게(전방향 또는 후방향) 작용하는 날개 파괴 하중  $F_{ex}$  (305.의 4항 참고)은 항복을 일으키지 않아야 한다. 굽힘 모멘트는 다른 하중과 결합될 필요는 없다. 선미관 베어링에 인접한 축의 지름  $d_p$ 은 다음 식 이상이어야 한다.

$$d_p = 160 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_{ex} \cdot D}{\sigma_{0.2} \cdot \left(1 - \frac{d_i^4}{d_p^4}\right)}} \quad (\text{mm})$$

여기서,

$d_p$  : 프로펠러축의 지름 (mm)

$d_i$  : 중공축의 경우 프로펠러축의 안지름 (mm)

선미관 베어링에서부터 전방으로의 축 지름은 실제 굽힘 모멘트의 직접 계산을 기반으로 하여 또는  $F_{ex}$ 에 의한 굽힘 모멘트가 다음 베어링에서 25%로 선형적으로 감소하고 세번 째 베어링에서 0으로 감소한다는 가정에 의해 감소될 수 있다. 최대 날개 하중  $F_b$  및  $F_f$ 으로 인한 굽힘은 결과로 초래되는 응력수준이 날개 파괴 하중으로 인한 응력보다 훨씬 낮기 때문에 무시된다.

- (나) 피크 토크  $Q_{peak}$ 에 의한 응력은 축의 구부러짐을 방지하기 위해서 평단면에서의 항복에 대해 안전계수  $S = 1.5$  이상 그리고 응력집중부에서  $S = 1.0$  이상을 가져야 한다.

평축의 최소 지름

$$d_p = 210 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_{peak} \cdot S}{\sigma_{0.2} \cdot \left(1 - \frac{d_i^4}{d_p^4}\right)}} \quad (\text{mm})$$

노치가 있는 축의 최소 지름

$$d_p = 210 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_{peak} \cdot S \cdot \alpha_t}{\sigma_{0.2} \cdot \left(1 - \frac{d_i^4}{d_p^4}\right)}} \quad (\text{mm})$$

여기서,

$\alpha_t$  : 비틀림에 대한 국부 응력집중계수

노치가 있는 축의 지름은 어떠한 경우에도 평축의 요구 지름 보다 작아서는 아니된다.

- (다) 피로에 대한 안전계수  $S_{fat} = 1.5$ 인 누적피로평가에는 해당 하중 사이클 수를 가지는 토크 진폭(305의 6항 (4)호 참고)을 사용하여야 한다. 높은 기관 기진 비틀림진동을 가지는 축계(예를 들면 2행정 내연기관이 직접연결된)의 경우 이 또한 고려하여야 한다.

- (라) 축 재료의 피로강도  $\sigma_F$  및  $\tau_F$  ( $3 \times 10^6$ )는 재료의 항복 또는 0.2% 항복강도를 기준으로 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$\sigma_F = 0.436 \cdot \sigma_{0.2} + 77 = \tau_F \cdot \sqrt{3} \quad (\text{MPa})$$

이는 연마된 작은 시편(노치가 없는)과 역응력에 유효하다. “VDEH 1983 Bericht Nr. ABF11 Berechnung von Wöhlerlinien für Bauteile aus Stahl”를 참조한다. 상기 피로강도, 노치계수(즉, 기하학적 응력집중계수 및 노치 민감도), 치수계수, 평균응력 영향을 기준으로 고사이클 피로를 평가한다.  $3 \times 10^6$  사이클에서 요구되는 1.6의 안전계수는  $10^9$  사이클에서 1.8으로 증가된다.  $10^4$  사이클로 대표되는 저사이클 피로는 항복 또는 인장 강도/  $\sqrt{3}$ 의 0.7 중 낮은 값을 기준으로 한다. 판정기준은 1.25의 안전계수를 사용한다. 상기에 주어진 저사이클 피로 및 고사이클 피로는 응력-사이클 도표에서 상부 및 하부 굴곡부를 나타낸다. 요구되는 안전계수가 이 값에 포함되어 있으므로 마이너의 합산이 인정된다.

### (3) 중간축

중간축은 (2)호 (나)부터 (라)까지를 충족하도록 설계되어야 한다.

#### (4) 축 연결부

##### (가) 키 없는 수축끼임맞춤 커플링

(1)호 (가)를 참고하며 안전계수  $S=1.8$ 이 적용되어야 한다.

##### (나) 키 부착

키에 의한 부작은 허용되지 않는다.

##### (다) 플랜지 부착

플랜지 두께는 계산상 축 지름의 20% 이상이어야 한다. 볼트 헤드에 대한 자리파기와 같은 추가적인 응력 상승은 플랜지 두께가 적절히 증가하지 않는 한 플랜지 필릿을 방해하지 않아야 한다. 플랜지 필릿부 반지름은 계산상 축 지름의 8% 이상이어야 한다. 림이 장착(가벼운 압입)된 볼트의 지름은 피크 토크가 1.9의 안전계수로 전달되도록 선정되어야 한다. 이는 초기응력의 원인이 된다. 핀은 항복에 대한 안전계수 1.5의 피크 토크를 전달하여야 한다 ((1)호 (다)의 전단핀 식 참고). 후방향 날개 파괴 하중(305의 4항 참고)이 항복을 일으키지 않도록 볼트를 설계하여야 한다.

##### (라) 스플라인 축

연결부 스플라인 축 연결부는 축방향 또는 굽힘 하중이 발생하지 않는 곳에 적용할 수 있다. 피크 토크  $Q_{peak}$ 로 인한 허용 접촉 및 전단응력에 대하여 안전계수  $S=1.5$ 를 적용한다.

#### (5) 기어 전달장치

##### (가) 축

기어 전달장치의 축은 중간축과 동일한 안전수준을 충족하여야 한다. 다만 관련된 경우 굽힘응력 및 비틀림응력이 결합(예를 들면, 정적하중에 대한 폰미세스에 의해)되어야 한다. 기어축의 부분에 대하여 충분한 톱니 접촉 패턴을 유지하기 위한 최대 허용 변형을 고려하여야 한다.

##### (나) 기어

(a) 기어는 다음 3가지의 판정기준을 만족하여야 한다.

- 이뿌리 응력
- 이뿌리면의 피팅
- 스커핑

상기 3가지의 기준에 더하여 표면하 피로를 고려가 필요할 수 있다.

(b) 모든 기준에 공통적으로 적용되는 것은 치폭에 걸친 하중 분포의 영향이다. 탄성 변형(기어 맞물림, 축 및 기어 몸체), 정확도 공차, 나선 수정, 베어링에서 작용위치(특히 다중입력 단일 출력 기어의 경우)와 같은 모든 관련 파라미터가 고려되어야 한다.

(c) 하중 스펙트럼(5항 참고)은 출력 휠에 대한 하중 사이클 수에 계수(휠과 맞물린 피니언 수/프로펠러 날개 수  $Z$ )를 곱하는 방식으로 적용될 수 있다. 고속에서 작동하는 피니언 및 휠의 경우 하중 사이클 수는 기어비를 곱하여 구한다. 피크 토크  $Q_{peak}$ 도 계산 중에 고려하여야 한다.

(d) 원통형 기어는 "방법 B"를 사용하는 경우, 국제표준 ISO 6336 시리즈(즉, ISO 6336-1:2019, ISO 6336-2:2019, ISO 6336-3:2019, ISO 6336-4:2019, ISO 6336-5:2016 및 ISO 6336-6:2019)를 기준으로 평가할 수 있다. 상기 언급한 ISO 6336과 동등한 것으로 우리 선급이 인정하는 표준의 경우 이를 적용할 수 있다.

(e) 베벨기어는 사용 실적이 있거나 우리 선급이 인정하는 방법이나 표준을 적절히 보정하여 적용할 수 있다.

(f) 이뿌리 안전성이 피크 토크, 토크 진폭(해당 평균 토크 포함) 뿐만 아니라 일반 하중(개방수역 자유 운전)에 대하여 누적 피로 해석의 방법으로 평가되어야 한다. 안전계수는 1.5 이상이어야 한다(ISO 6336 파트 1, 3, 6 및 선급 및 강선규칙 적용지침 5편 부록 5-4 참고).

(g) 피팅에 대한 안전성은 이뿌리 응력과 동일한 방법으로 평가되어야 한다. 다만 안전계수는 1.2 이상이어야 한다(ISO 6336-1:2019, ISO 6336-2:2019, ISO 6336-6:2019 및 선급 및 강선규칙 적용지침 5편 부록 5-4 참고).

(h) 피크 토크에 기반한 스커핑에 대한 안전성(플래쉬 온도법-ISO/TR 13989-1:2000 및 ISO/TR 13989-2:2000 참조)은 오일의 FZG 등급이 사양보다 한 단계 낮은 것으로 가정할 때 1.2 이상이어야 한다.

(i) 표면경화 기어의 이뿌리면 표면하 피로에 대한 안전성(접촉면에서 반대쪽 이뿌리로의 경사 파단)은 우리 선급이 인정하는 바에 따라 평가되어야 한다. (높은 과하중은 조기 파손으로 이어질 수 있는 표면하 피로균열을 유발할 수 있다는 점에 유의해야 한다. 해석을 대신하여 UT 검사 간격을 사용할 수 있다.)

##### (다) 베어링

(9)호를 참고한다.

(라) 기어휠 축 연결부

토크 용량은 80% 항복의 허용 허브 응력을 초과하지 않고 5항에서 결정된 최대 피크 토크  $Q_{peak}$ (고려하는 회 전속도에서)의 1.8배 이상이어야 한다.

(6) 클러치

클러치는 피크 토크  $Q_{peak}$  1.3배 이상의 정적 마찰 토크와 정적 마찰 토크 2/3 이상의 동적 마찰 토크를 가져야 한다. 고장(예를 들면 작동압력 손실) 후 클러치의 비상 작동은 합리적으로 짧은 시간 내에 가능해야 한다. 이것이 볼트의 설치에 의해 이루어지는 경우 기관을 돌려 모든 볼트에 접근할 수 있도록 볼트는 클러치의 기관측에 위치 하여야 한다.

(7) 탄성 커플링

피크 토크와 비틀림 제한에 도달하는 토크 사이에는 적어도 20%의 간격 여유가 있어야 한다.

$$Q_{peak} < 0.8 \cdot T_{kmax}(N=1) \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

최대 응답 토크  $Q_{peak}$  (그림 2.12 참고)와 최소 단일 하중 사이클( $N=1$ )에 대해 유효한 탄성커플링의 기계적 비틀 림 및/또는 허용 최대 토크에 도달하는 토크 사이에는 적어도 20%의 간격 여유가 있어야 한다.

설계 토크 수준  $Q_r(N=x)$  및  $Q_A(N=x)$ 에서 충분한 피로강도가 입증되어야 한다. 이는 Weibull 토크 분포(그 림 2.15와 유사)에서 보간법에 의해 입증될 수 있다.

$$\frac{Q_r(N=x)}{Q_r(N=1)} = 1 - \frac{\log(x)}{\log(Z \cdot N_{ice})}$$

각각,

$$\frac{Q_A(N=x)}{Q_A(N=1)} = 1 - \frac{\log(x)}{\log(Z \cdot N_{ice})}$$

여기서  $Q_r(N=1)$ 은  $Q_{peak}$ 에 상응하고  $Q_A(N=1)$ 는  $Q_{Amax}$ 에 상응한다.

$$Q_r(N=5 \cdot 10^4) \cdot S < T_{Kmax}(N=5 \cdot 10^4) \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

$$Q_r(N=1 \cdot 10^6) \cdot S < T_{KV} \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

$$Q_r(N=5 \cdot 10^4) \cdot S < \Delta T_{max}(N=5 \cdot 10^4) \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

$S$ 는 피로에 대한 일반적인 안전계수로 1.5와 같다.

아래 그림 2.17, 그림 2.18, 그림 2.19를 참고한다.

토크 진폭(또는 범위  $\Delta$ )는 피로 균열(즉, 허용 진동 토크를 초과하는)을 일으키지 않아야 한다. 허용 토크는  $T_{Kmax1}$  및  $\Delta T_{Kmax}$ 가  $5 \cdot 10^4$  사이클을 나타내고,  $T_{KV}$ 가  $10^6$  사이클을 나타내는 Weibull 토크 분포에서의 보 간법에 의해 결정될 수 있다. 아래 그림 2.17, 그림 2.18, 그림 2.19를 참고한다.

$$T_{Kmax1} \geq Q_r \quad 5 \cdot 10^4 \text{ 하중 사이클인 경우} \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

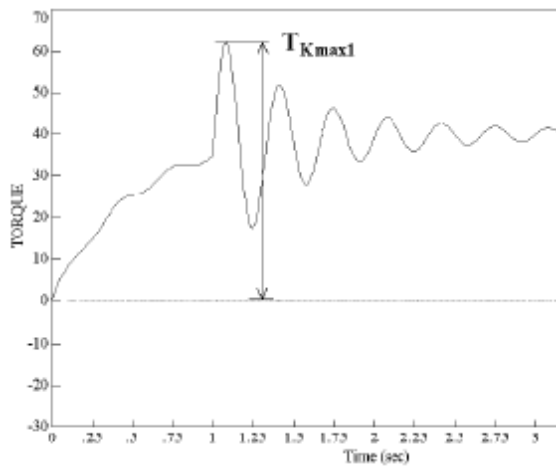


그림 2.17  $T_{Kmax1}$ 의 예

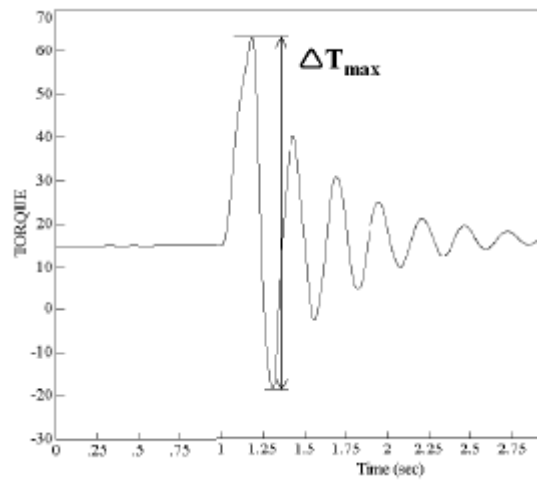


그림 2.18  $\Delta T_{Kmax}$ 의 예

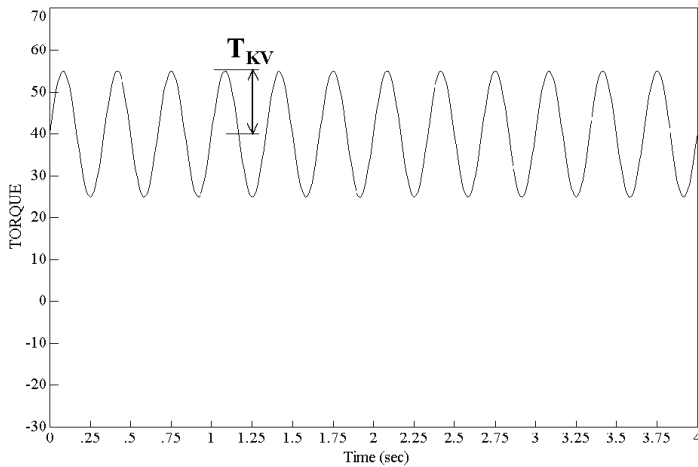


그림 2.19  $T_{KV}$ 의 예

#### (8) 크랭크축

기관을 비구동 전면부 끝단(주동력 출력부의 반대쪽)에서 관성이 큰 설비(예를 들면 플라이휠, 터닝휠 또는 PTO)에는 특별한 고려를 적용한다.

#### (9) 베어링

선미축 선미관 베어링과 그 다음 축계 베어링은 선박이 운항능력을 유지할 수 있도록 305.의 4항에 제시된  $F_{ex}$ 를 견뎌야 한다. 롤링 베어링은 ISO 281:2007에 따라 적어도 40000 시간의  $L_{10a}$  수명을 가져야 한다. 추력 베어링 및 그 하우징은 305.의 5항의 최대 응답 추력 그리고 305.의 4항의 날개 파괴 하중  $F_{ex}$ 로부터 발생하는 축방향 하중에 안전계수  $S=1.0$ 을 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 계산을 위하여  $F_{ex}$ 를 제외하고 축은 정격회전수에서 회전하는 것으로 가정한다. 당기는 프로펠러의 경우 프로펠러 허브에서 빙과 상호작용으로부터의 하중에 특별한 고려를 하여야 한다.

#### (10) 밀봉장치

밀봉장치는 오염물질의 유출을 방지하고 작동 온도에 적합해야 한다. 고장 조건 하에서 오염물질의 유출을 방지하기 위한 비상계획이 문서화되어야 한다. 설치된 밀봉장치는 의도한 용도에 적합해야 한다. 제조자는 유사한 용도 및/또는 시험 결과에서의 서비스 경험을 고려 대상으로 제공해야 한다.

## 6. 선회식 추진진기

- (1) 상기 요건에 추가하여 전통적인 프로펠러와 비교할 때 추진장치에 특이한 하중 사례가 있는 경우 특별한 고려가 필요하다. 하중 사례의 추정 은 스러스터가 특정 선박에서 작동하도록 의도된 방식을 반영하여야 한다. 이와 관련하여 예를 들면 당기는 프로펠러의 프로펠러 허브에서 빙블록의 충격으로 인하여 발생하는 하중을 고려해야 한다. 또한 흐름에 비스듬한 각도로 작동하는 스러스터로부터 발생하는 하중도 고려하여야 한다. 날개 하나가 손실될 경우에도 스러스터의 조타 메커니즘, 장치의 부착품 및 몸체는 손상 없이 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 날개 하나의 손실은 연구 대상 구성품에 최대 하중을 일으키는 프로펠러 날개 방향에 대하여 고려하여야 한다. 일반적으로 상-하 날개 방향은 스러스터 몸체에 최대 굽힘 하중이 위치한다.
- (2) 선회식 추진장치는 스러스터 몸체와 빙의 상호작용으로 인해 발생하는 예상 하중에 대해서도 설계되어야 한다. 스러스터 몸체는 선박이 전형적인 빙 운항 속도에 있을 때 305.의 2항에 주어진 최대 빙블록이 스러스터 몸체를 치는 경우 얻어지는 하중에 견뎌야 한다. 또한 빙상이 선박의 선체를 따라 미끄러지며 스러스터 본체에 압력을 가하는 설계 상황도 고려하여야 한다. 빙상의 두께는 305.의 2항에 정의된 대로 프로펠러에 들어가는 최대 빙블록 두께로부터 취해야 한다.

## 307. 원동기

### 1. 추진기관

기관은 볼러드 상태에서 시동이 가능하고 프로펠러를 작동시킬 수 있어야 한다. CP 프로펠러를 가지는 추진장치는 CP 시스템이 기계식 스톱퍼에 의해 제한되는 최대 피치인 경우에도 작동할 수 있어야 한다.

### 2. 시동장치

공기탱크의 용량은 역전식인 경우에는 12회 이상, 비역전식인 경우 6회 이상 도중에 보충하는 일이 없이 추진기관을 연속 시동을 제공하기에 충분하여야 한다. 공기탱크가 추진기관의 시동 이외의 다른 용도로도 사용되는 경우, 다른 용도로 사용되는데 필요한 충분한 용량을 추가적으로 가져야 한다. 공기압축기의 합계용량은 대기압 상태에서 최대 압력까지 적어도 1시간 이내에 공기탱크에 충전시키기에 충분하여야 한다. 다만, PC6에서 PC1까지의 극지등급 부호를 가지고 추진기관이 역전식인 선박의 경우 30분 이내에 충전할 수 있어야 한다.

### 3. 비상전원장치

극지운항 선박에 적용되는 대기온도에서 비상전원장치를 저온상태로부터 시동 준비를 할 수 있도록 가열설비를 갖추어야 한다. 비상전원장치에는 상기 언급된 설계온도에서 적어도 3번 연속하여 시동할 수 있는 용량의 저장에너지를 가진 시동장치를 설치하여야 한다. 시동을 위하여 독립된 이차 수단을 갖추지 않은 경우, 자동시동장치에 의하여 공급원이 고갈되지 않도록 저장에너지의 공급원을 보호하여야 한다. 수동으로 시동할 수 있다는 것을 효과적으로 증명할 수 없는 경우, 30분 이내에 추가로 3번의 시동을 할 수 있는 에너지의 이차 공급원을 제공하여야 한다.

## 308. 장비 결속 하중 가속도

1. 중요 장비 및 그 지지대는 다음에서 나타내고 있는 가속도에 적합하여야 한다. 가속도는 개별적으로 작용하는 것으로 고려하여야 한다.

### 2. 종방향 충격가속도 $a_1$

선체거터를 따라 임의의 지점에서 최대 종방향 충격가속도

$$a_1 = \left( \frac{F_{IB}}{\Delta} \right) \left\{ [1.1 \cdot \tan(\gamma + \phi)] + \left[ 7 \cdot \frac{H}{L} \right] \right\} \quad (\text{m/s}^2)$$

### 3. 수직가속도 $a_v$

선체거터를 따라 임의의 지점에서 합성 수직 충격가속도

$$a_v = 2.5 \cdot \left( \frac{F_{IB}}{\Delta} \right) F_X \quad (\text{m/s}^2)$$

$F_X$  : 다음에 따른다.

$F_X$  : 선수수선 --- 1.3

선체중양 --- 0.2

선미수선 --- 0.4  
 후진으로 쇄빙을 하는 선박의 선미수선 --- 1.3  
 각 지점 사이에서의 값은 선형보간법에 따른다.

#### 4. 횡방향 충격가속도 $a_t$

선체거더를 따라 임의의 지점에서 합성 횡방향 충격가속도

$$a_t = 3F_i \frac{F_X}{\Delta} \quad (\text{m/s}^2)$$

$F_X$  : 다음에 따른다.

$F_X$  : 선수수선 --- 1.5

선체중앙 --- 0.25

선미수선 --- 0.5

후진으로 쇄빙을 하는 선박의 선미수선 --- 1.5

각 지점 사이에서의 값은 선형보간법에 따른다.

$\phi$  : 선체외판과 빙 사이의 최대 마찰각 (deg). 일반적으로  $10^\circ$  로 한다.

$\gamma$  : 수선에서의 선수각 (deg).

$\Delta$  : 배수량.

$L$  : 수선간의 길이 (m).

$H$  : 수선과 고려하는 지점 사이의 거리 (m).

$F_{IB}$  : 209.의 2항에 규정된 수직충격력 .

$F_I$  : 209.의 3항에 규정된 빙각으로 유입되는 빙의 충격으로 인하여 선수부 외판에 수선방향으로 작용하는 힘의 합.

### 309. 보조장치

1. 빙 또는 눈이 유입되거나 축적됨으로 인하여 해로운 영향을 받지 않도록 기관장치를 보호하여야 한다. 연속적인 운전이 필요한 경우, 장치에 축적되어 있는 빙 또는 눈을 제거할 수 있는 수단을 갖추어야 한다.
2. 액체를 포함하고 있는 탱크에는 결빙으로 인한 손상을 방지할 수 있는 수단을 갖추어야 한다.
3. 벤트관, 흡입관 및 배출관과 관련 계통은 결빙 또는 빙 및 눈의 축적으로 인하여 계통이 막히는 것을 방지할 수 있도록 설계하여야 한다.

### 310. 해수흡입구 및 냉각수계통

1. 시체스트 흡입구를 포함하여 선박의 추진 및 안전에 중요한 기관장치용으로 사용되는 냉각수계통은 빙등급에 적용되는 환경조건에 적합하도록 설계되어야 한다.
2. PC1에서부터 PC5까지의 빙등급을 가지는 선박은 최소 2개의 시체스트를 아이스 박스 형식(가혹한 빙 상태에서 해수 흡입을 위한 시체스트)으로 배치하여야 한다. 각 아이스 박스에 대한 계산 용적은 선박에 설치된 합계출력의 750kW당 최소한  $1\text{m}^3$  이상이어야 한다. PC6 및 PC7의 경우 최소한 1개의 아이스 박스가 선체중심선 가까이에 위치하여야 한다.
3. 아이스 박스는 빙을 효과적으로 분리하고 공기를 배출할 수 있도록 설계되어야 합니다.
4. 해수 흡입밸브는 아이스 박스에 직접 부착되어야 하며, 전량형(full bore type)이어야 한다.
5. 아이스 박스 및 씨베이(sea bay)에는 벤트관을 설치하여야 하며, 선체외판에 직접 연결되는 차단밸브를 설치하여야 한다.
6. 흡수선 상방에 위치한 아이스 박스, 씨베이, 선체불이밸브 및 부착품의 결빙을 방지할 수 있는 수단을 갖추어야 한다.
7. 아이스박스에 냉각 해수를 재순환할 수 있는 유효한 수단을 갖추어야 한다. 순환 관의 합계 단면적은 냉각수 배출관의 단면적보다 작아서는 아니 된다.
8. 아이스 박스에는 떼어낼 수 있는 그레이팅 또는 맨홀을 설치하여야 한다. 맨홀은 최고만재흡수선 상부에 설치하여야 한다. 아이스 박스에는 상부로부터 접근할 수 있는 수단이 있어야 한다.
9. 아이스 박스용으로 선체에 설치되는 개구는 선체외판에 그레이팅, 구멍 또는 슬롯을 설치하여야 한다. 이들 개구의

순면적은 흡입관 면적의 5배 이상이어야 한다. 선체외판에 있는 구멍의 지름 및 슬롯의 폭은 20mm 이상이어야 한다. 아이스박스의 그레이팅에는 소제를 위한 수단을 갖추어야 한다. 소제를 위한 수단은 저압 증기를 사용한 형식이어야 한다. 청소용 관에는 나사조임식 체크밸브를 설치하여야 한다.

### 311. 평형수탱크

1. 흡수선 상방에 위치하는 선수탱크, 선미탱크 및 현측탱크 그리고 기타 필요하다고 인정되는 곳에는 결빙을 방지하기 위한 유효한 수단을 갖추어야 한다.

### 312. 통풍장치

1. 기관구역 및 거주구역의 통풍을 위한 공기 흡입구는 수동 빙제거가 가능한 위치로서 선박의 양쪽에 위치하여야 한다. 선박의 양쪽에 위치 및 수동 빙제거가 가능한 위치와 동등한 해결책으로서 공기 흡입구의 방빙(anti-icing) 보호가 우리 선급에 의하여 인정될 수 있다. 상기에도 불구하고 비상발전기에는 둘 이상의 공기 흡입구가 제공되어야 하며 가능한 한 멀리 떨어져 있어야 한다.
2. 흡입 공기의 온도는 기관의 안전한 운전 및 거주구역에서의 온열 쾌적성에 적합하여야 한다. 필요한 경우 거주구역과 통풍용 공기흡입구에는 가열 수단을 갖추어야 한다.

### 313. 조타장치

1. 타 정지 장치가 제공되어야 한다. 타에서의 설계 빙 하중은 조타장치에 손상이 없도록 타 정지 장치로 전달되어야 한다. 빙 나이프는 일반적으로 타를 보호하기 위하여 중심위치에 설치한다. 빙 나이프는 최소 평형수 수선(BWL)이하로 확장되어야 한다. 설계 하중은 211.에 따라 결정되어야 한다.
2. 타조작기는 다음의 요건에 따라야 한다.
  - (1) 타조작기는 최대 선속 18노트를 고려하여 선급 및 강선규칙 5편 7장 202.의 적용에 따른 개방수역 토크에 다음의 계수를 곱하여 얻은 유지 토크에 대하여 설계되어야 한다.

빙등급	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
계수	5	5	3	3	3	1.5	1.5

- (2) 타조작기의 치수를 결정하기 위한 계산에서의 설계압력은 (1)호에서 정의된 유지 토크에 상응하는 최고사용압력의 최소 1.25배 이상이어야 한다. (선급 및 강선규칙 5편 7장 403.의 3항에서 유래)
3. 타조작기는 과도한 압력 상승 없이 다음 표 2.22의 회전속도(deg/s)를 가정하여 토크 완화 장치에 의하여 보호되어야 한다.(과도한 압력 상승에 대해서는 선급 및 강선규칙 5편 7장 204.의 4항을 참고)

표 2.22 조타장치의 회전속도

빙등급	PC1 및 PC2	PC3, PC4 및 PC5	PC6 및 PC7
회전 속도 (deg/s)	10	7.5	6

타 및 조작기의 설계가 이러한 급격한 하중을 견딜 수 있는 경우 이러한 특별 완화 장치는 필요하지 않으며 선급 및 강선규칙 5편 7장 204.의 4항에 따른 일반적인 선박의 것을 사용할 수 있다.

4. 추가로 쇄빙선의 경우 타가 정지에 대해 급격하게 세게 밀리는 상황에서 타조작기의 효과적인 보호를 위하여 신속작동 토크 완화 장치가 설치되어야 한다. 유압식 조타장치의 경우 신속작동 토크 완화 장치는 표 2.23에 표시된 속도로 움직이도록 타가 하중을 받을 때, 또한 조타기실의 최저 예상 대기온도에서 오일 점성을 고려할 때 안전밸브의 설정 압력의 115%를 초과하는 압력 상승이 발생하지 않도록 설계되어야 한다. 대체방안의 경우 상기 유압으로 작동되는 장치에 요구되는 바와 동등한 보호 수준을 입증하는 것이어야 한다. 각 빙 등급에 대하여 가정할 회전속도는 아래 표

2.23과 같다.

표 2.23 쇄빙선에 대한 조타장치의 회전속도

빙등급	PC1 및 PC2	PC3, PC4 및 PC5	PC6 및 PC7
회전 속도 (deg/s)	40	20	15

장치는 조타 능력을 신속하게 회복할 수 있도록 설계되어야 한다.

### 314. 대체 설계

1. 대체방법으로 설계를 하는 경우, 포괄적인 설계 연구자료의 제출을 요구할 수 있고 합의된 시험 프로그램에 의한 검증을 요구할 수 있다. ↓

## 부록 2 대빙구조 선박 및 극지등급 선박의 프로펠러 하중 상태 및 프로펠러 빙 기진 토크의 모양

표 2.1 개방식 프로펠러의 하중 상태

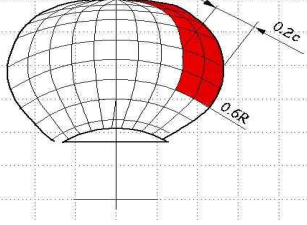
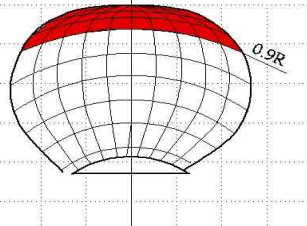
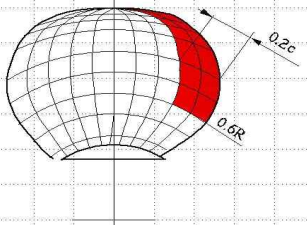
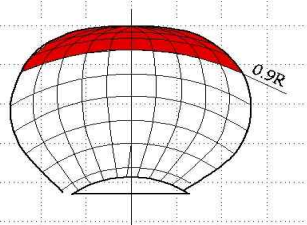
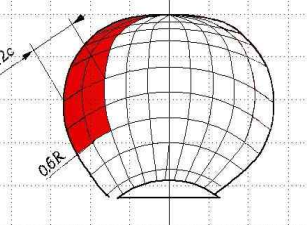
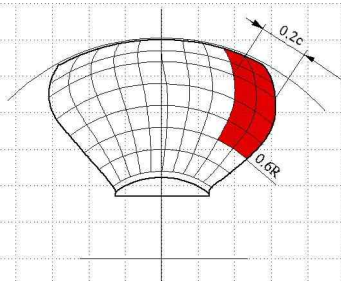
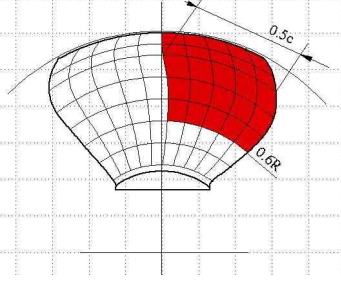
하중 상태	힘	하중을 받는 범위	후면에서 본 우회전 프로펠러 날개
하중 상태 1	$F_b$	0.6 R에서부터 팁까지 및 날개의 전연에 서부터 0.2 × 코드 길이의 날개 후면(흡 입면)에 균일한 압력이 작용	
하중 상태 2	$F_b$ 의 50%	0.9 R 바깥쪽에 있는 날개 팁부위의 날 개의 후면(흡입면)에 균일한 압력이 작용	
하중 상태 3	$F_f$	0.6 R에서부터 팁까지 및 날개의 전연에 서부터 0.2 × 코드 길이의 날개 전면(압 력면)에 균일한 압력이 작용	
하중 상태 4	$F_f$ 의 50%	0.9 R 바깥쪽에 있는 프로펠러의 팁부의 프로펠러의 전면(압력면)에 균일한 압력 이 작용	
하중 상태 5	$F_f$ 또는 $F_b$ 중 큰 것의 60%	0.6 R에서부터 팁까지 및 날개의 후연에 서부터 0.2 × 코드 길이의 프로펠러의 전면(압력면)에 균일한 압력이 작용	

표 2.2 덕트식 프로펠러의 하중 상태

하중 상태	힘	하중을 받는 범위	후면에서 본 우회전 프로펠러 날개
하중 상태 1	$F_b$	0.6 $R$ 에서부터 팁까지 및 날개의 전연에서부터 0.2 × 코드 길이의 날개 후면(흡입면)에 균일한 압력이 작용	
하중 상태 3	$F_f$	0.6 $R$ 에서부터 팁까지 및 날개의 전연에서부터 0.5 × 코드 길이의 날개 전면(압력면)에 균일한 압력이 작용	
하중 상태 5	$F_f$ 또는 $F_b$ 중 큰 것의 60%	0.6 $R$ 에서부터 팁까지 및 날개의 후연에서부터 0.2 × 코드 길이의 프로펠러의 전면(압력면)에 균일한 압력이 작용	