

선박의 축계 설계와 선내설치(Ⅲ)

신 일 금 속 기 공
부 장 문 명 환

— 목 차 —

1. 선박(船舶)의 저항과 마력
2. 프로펠러의 설계
3. 추진축 및 축계 부품의 설계법
4. 추진 축계의 거치

3. 추진축 및 축계부품의 설계법

가. 추진축

1) 프로펠러축의 종류

축을 2가지 유회방식으로 구분하여, 기름유회 방식의 축과 해수 유회 방식의 축으로 구분하여 종류를 아래와 같이 나누며, 각 선급에 따라 축의 재질에 따라 조금씩의 차이가 있다.

1종축 : 해수에 대하여 확실한 방식 조치를 한 축

2종축 : 승인된 내식성 재료로 제조되는 축 이외의 축

2) 1종축의 설계

단조강의 축에 비철금속의 슬리브를 끼워서 해수에 대하여 부식을 방지하는 방법으로 아래와 같이 구성 되어 있다.

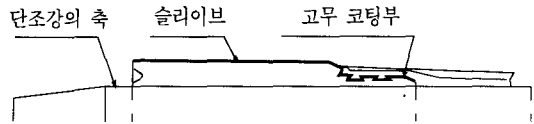


그림 1 슬리브에 고무코팅으로 해수부식을 방지하는 축

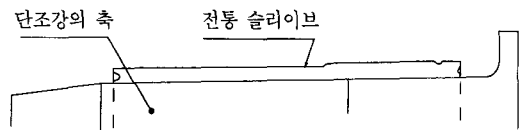


그림 2 전통 슬리브를 끼워 해수 부식을 방지하는 축

위의 그림 1과 2에서와 같이 슬리브를 추진축에 열박음으로 압입하여 사용하며 각 선급의 추진축 슬리브의 두께는 다음과 같다.

- KF, KR : $T = 0.03 \times D_s + 7.5\text{mm}$
- NK : $T = 0.03 \times D_s + 7.5\text{mm}$
- LR : $T = 0.03125 \times D_s + 7.2\text{mm}$
- ABS : $T = 0.04 \times D_s + 5.1\text{mm}$

DNV : $T = 0.03125 \times D_s + 7.34 \text{ mm}$

여기서 D_s = 추진축의 직경 mm

축경별 SLEEVE의 예는 다음과 같다.

축경 (D_s :mm)	슬리브 두께 (T :mm)	외경 (mm)
200	15.5	231
300	18.5	337
400	21.5	443

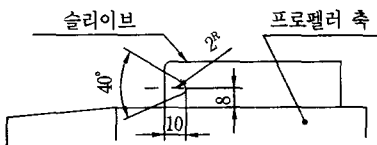
2-1) 슬리브의 열박음 설계

구워 끼움 정도는 내경을 공차로 H7정도로 가공한 다음 축외경을 조절하여 가공하는 것이 작업이 용이하며, 축이 긴 경우에는 축의 단을 두어 끼워넣을 때 수월할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

구워 끼움의 여유는 다음과 같다.

$\delta = (0.0005 \sim 0.0008) \times D_s \text{ mm}$

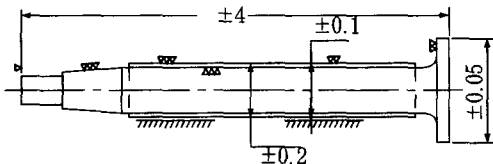
슬리브의 양끝에는 열박음 집중응력을 제거하기 위하여 응력 완화홈을 가공하여야 한다. 이것은 프로펠러 축 표면에 생기는 집중응력을 완화하기 위한 것이다.



슬리브 선미단의 응력 완화홈의 예

2-2) 슬리브끼움축의 가공 기준

이 기준은 축경 500 mm 이하에서 통상 적용한다.



3) 2종축의 설계

슬리브를 사용하지 않고 내식성의 재료로 직접 해수에 접촉하는 축으로 각 선급에 따라 재료의 보증 값을 달리하고 있다.

가능한 스텐인레스316계를 사용하는 것이 축의 표면 입계 부식이 없으므로 좋다.

4) 추진 축계의 프로펠러 키 설계

프로펠러 보스를 키로서 조립할 경우 프로펠러 축의 테이퍼는 통상 1/10 이상으로 하여 사용하고 프로펠러와 프로펠러 축간의 부하 전달은 끼움마찰에 의하며, 키가 이를 뒷받침하는 역할을 한다.

그러나 키를 설계할 때에는 이것이 모든 부하를 부담하는 것으로 간주해야 한다.

키는 전단 응력과 측면 압축응력을 고려하여 설계하여야 하며, 실적을 감안하여 각 허용응력을 다음과 같이 취한다.

전단허용응력 : 450 kgf/cm^2 이하

허용압축응력 : $2,500 \text{ kgf/cm}^2$ 이하

키 단면에 작용하는 전단응력

$FS = 2 \times Q/D \times L \times B \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

키 측면에 작용하는 압축응력

$\sigma_c = 2 \times Q/D' \times L \times T \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

여기서 Q : 프로펠러 축에 작용하는 전 토크 (kgf·cm)

$Q = 716200 \times H/N$

H : 주기관의 최대 연속 출력(PS)

N : 주기관의 최대 연속 출력시의 프로펠러의 회전수(rpm)

D : 키 유효부의 평균 직경(cm)

D' : 키홈의 평균 직경(cm)

L : 키의 유효 길이(cm)

B : 키의 폭(cm)

T : 키홈의 깊이(cm)

4-1) 키홈의 형상

키의 홈은 테이퍼부 대단부에서부터 홈을 가공하여서는 안된다. 또 키 홈의 앞쪽을 주격모양으로 가공하는 것은 응력 집중을 완화하기 위한 것이며, 키홈 전단을 축과 매끄럽게 접촉시킬 뿐 아니라 키의 전단 부하를 경감시킨다.

키홈의 아래부분의 가공은 적절한 라운딩으로 가공하여 응력집중을 피하여야 한다.

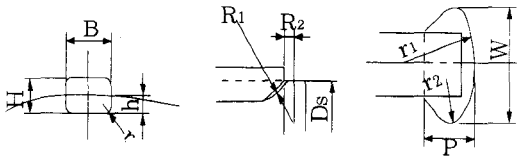
축에 선미관 봉유 장치를 장비하고 있다. 해수 윤활 방식에서는 거의 모든 선박이 이 방법을 사용하고 있으며, 스트라트 베어링이나 선미관의 베어링 윤활도 해수로 냉각된다.

선미관의 형식에는 여러가지가 있으며, 선미골재에 선미관을 압입하여 사용하는 경우와 선미골재와 일체형으로 하여 선미관으로 사용하는 경우도 있다.

키의 치수 적용의 예

단위 : mm

프로펠러 축경 (Ds)	키		키의 형상 치수표							
	B	H	r	h	R ₁	R ₂	W	r ₁	r ₂	P
200~230	50	23	3	15	60	30	70	17	35	50
230~260	55	26	3.5	17	70	35	78	20	39	57
260~290	60	30	4	19	80	40	84	23	42	65
290~330	65	34	4.5	21.5	90	45	90	28	46	73
330~370	70	38	5	24	100	50	98	32	49	81



키홈 형상의 예

키는 축에 2개의 볼트로 견고하게 부착시키는 것이 좋으며, 볼트의 자리는 키의 전길이의 1/3위치에서 탭핑하여 부착시켜야 한다. 탭핑의 깊이는 볼트 직경보다 깊이 뚫어서는 안된다.

나. 축계 부품의 설계 법

1) 선미관의 설계

선미관의 구조는 기름윤활의 식과 해수(물)의 윤활 방식이 있으며, 대형 상선의 경우 대부분이 기름 윤활 방식을 사용한다.

기름 윤활의 방식에는 선미관 베어링으로서 백색합금 베어링을 사용하고 있으며 선미관 양

특히 2축선의 경우에는(소형선) 선미관과 선미골재를 일체로 한 선미관으로 사용한다.

1-1) 선미관의 구조와 치수

선미관의 치수는 다음과 같이 적용한다.(주철재에 적용)

선미관의 내경

$$D_1 = D_s + 2 \times (T_1 + T_2) \text{ mm}$$

선미관의 외경

$$D_2 = D_1 + 2 \times t_1 \text{ mm}$$

선미관의 두께

$$t_1 > 0.8 \times (0.12 \times D_s + 15) \text{ mm}$$

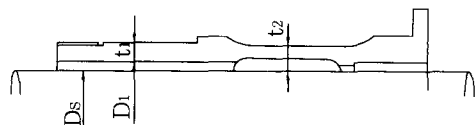
$$t_2 = (0.9 \sim 1.1) \times (0.085 \times D_s + 15) \text{ mm}$$

여기서

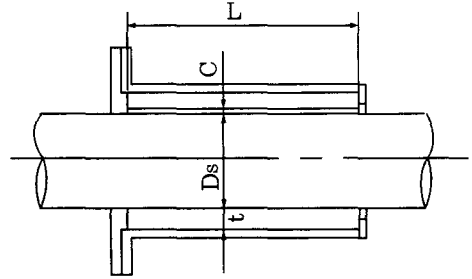
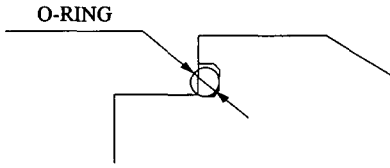
Ds : 프로펠러축의 외경(슬라이브의 외경)mm

T1 : 선미관 베어링의 두께 mm

T2 : 선미관 베어링의 지면재(Holder)의 두께 mm



선미관의 주요 치수



1-2) 선미관 베어링의 치수

선미관 베어링의 재질로 니그넘바이트인 경우에 적용한다.

선미관 베어링의 길이

$$L = 4 \times D_s \text{mm} (D_s: \text{프로펠러 축의 경mm})$$

선미관 베어링의 두께

$$t = (0.9 \sim 1.1) \times (0.023 \times D_s + 14) \text{mm}$$

여기서 $D_s = \text{프로펠러 축의 슬리브 외경mm}$

선미관 베어링의 틈새

$C = (0.8 \sim 1.2) \times (0.0028 \times D_s + 0.3) \text{mm}$ - 니그넘바이트 베어링의 경우

$C = (0.8 \sim 1.2) \times (0.0012 \times D + 0.2) \text{mm}$ - 백색합금재 베어링의 경우

(* $D = \text{프로펠러 축의 외경 mm}$)

참고 1: 니그넘바이트 재질의 베어링 두께와 틈새

축 경mm	두께(t)	틈새(C)
100~150	17.5	1.0~1.2
160~200	19.0	0.9
210~250	20.0	1.0
260~300	21.5	1.2
310~350	22.5	1.4

참고 2: 백색합금재의 베어링의 틈새

축경	틈새(C)	축경	틈새(C)
130~150	0.31~0.42	260~300	0.45~0.61
160~200	0.36~0.47	310~350	0.50~0.68
210~250	0.40~0.54	360~400	0.55~0.75

선미관 베어링의 구조

기름 윤활 방식의 백색 합금재 베어링의 구조

선미베어링의 재료로 메탈재는 주철재와 베어링의 메탈은 백색합금재를 베어링 메탈에 원심 주조하여 코팅한다.

선미축 베어링의 길이

$$L = 2.5 \times d + 20 \text{mm}$$

선수축 베어링의 길이

$$L = 0.9 \times d + 20 \text{mm}$$

베어링 메탈의 두께

$$T = (D - (d + 2 \times t)) / 2 \text{mm}$$

베어링 메탈의 외경

$$D = (1.12 \sim 1.30) \times d \text{mm}$$

백색 합금의 두께 $t = 2 \sim 3 \text{mm}$

기름 통로의 규격 $H = 7 \sim 12 \text{mm}$

$$B = 40 \sim 60 \text{mm}$$

$$d1 = \text{축경 } 100 \sim 300 \text{mm} = 30 \text{mm}$$

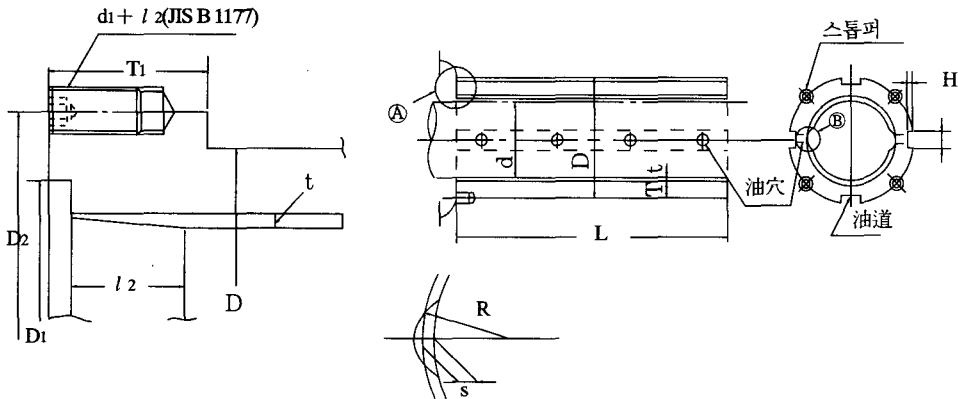
$$\text{축경 } 310 \sim 500 \text{mm} = 40 \text{mm}$$

$$S = t + (0.5 \sim 1.0) \text{mm}$$

$$R = (0.3 \sim 0.4) \times d \text{mm}$$

다. 축계의 배치(설치)

축계배치를 위한 배치계산의 목적은 축계에 무리한 부하를 주지 않고 선미관베어링이나 각 베어링 및 감속치차 등의 구성요소가 안전하게 작동할 수 있도록 각각 베어링의 하중을 적절히 배분한 상태로 배치하는데 있다.



기름 윤활 방식의 선미 베어링의 구조

1) 축계 배치의 제한조건

㉞ 베어링의 평균 면압(kg/cm²)

유 윤활식 선미관 후부 베어링 4~6.0kg/cm²

유 윤활식 선미관 전부 베어링 4~6.0kg/cm²

해수윤활식 선미관 2~3.0kg/cm²

중간 베어링 5~6.0kg/cm²

중간 베어링(강제급유식) 7.0kg/cm²

감속치차의 대치차의 선수, 선미축 베어링

10.0~35.0kg/cm²

추력 베어링, 메인 베어링(디젤 주기관의 경우)

20kg/cm²미만

㉟ 축의 굽힘 응력 허용치(기준치)

프로펠러 축 1.5~2.5kgf/cm²

중간 축 1.0~2.5kgf/cm²

추력 축 2.0kgf/cm²

㊱ 감속장치의 대치차 선수, 선미 베어링 하중의 차이 대치차+치차축 중량의 20%정도 이하

2) 축계 배치의 조정

축계배치에 있어서 고려하여야 할 사항은 위의 제한 조건에 만족하여야 하지만 특히 축계의 유연성 확보이다.

유연성은 베어링 간격(L)과 축경(d)의 비(L/d)에 따라 결정되는데 유연성이 적으면 하중 반력 영향 계수가 크게 되어 각 베어링의 지점하중이 변위량변화의 영향을 받기 쉽다. 이것은 각 베어링의 지점하중이 선체변형이나 베어링대 열팽창의

영향을 받기 쉽게 됨을 뜻하고, 축계 배치조정이 어렵게 되며 배치조정후 베어링의 하중 변화가 크게 된다(진동이나 베어링의 발열 베어링 마찰부의 국부 손상 및 축의 휘임 등이 우려된다.)

유연성을 확보하기 위하여 베어링의 간격을 고려하여 보면 선미 구조상 선미관 베어링 간격(Ls)은 기관실 후부 격벽의 영향을 받는다. 축계의 배치에 있어서는 Ls가 긴쪽이 바람직하며, 횡 진동에 있어서는 Ls가 작은쪽이 바람직하다. 또한 Ls와 프로펠러 축경(ds)과의 비 Ls/ds가 4.8정도보다 적게 되면 축계배치계획이 어렵게 된다.

즉 선미 기관선에 있어서는 기관실 길이를 작게 하기 위하여 주기를 되도록 선미에 가깝게 배치하는 것이 좋다. 또한 유연성을 확보하기 위하여 중간 베어링과 감속치차의 베어링과의 간격(Li)와 중간축 지름(di)의 비 Li/di를 10~12정도 이상으로 하여야 할 필요가 있다.

이것을 만족하기 위하여 경우에 따라 중간축 베어링을 없애는 경우도 있다.

3) 축계 배치 계산 이론

축계를 연속보로 생각하여 3-moment equation을 이용하여 각 지점의 반력과 bending moment를 구하며, 각 베어링 지지점의 최적 offset값은 simplex method를 이용하여 계산한다.

㉞ 계산방법

축계는 일반적으로 연속보(continuous beam)로 생

각할 수 있고 각 지점의 bending moment는(不靜定 要素 : statically indeterminate element)이다.

그림 a)

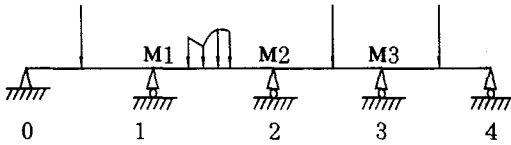


그림 b)

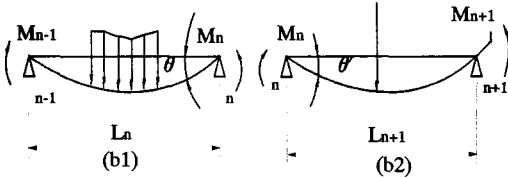


그림 c)

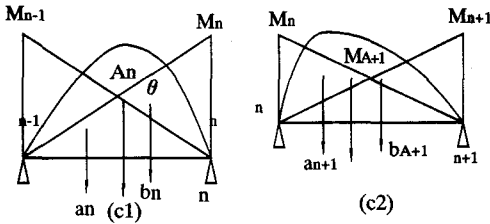


그림 b)는 지점(n-1), n, (n+1)에서 이 연속보의 span Ln, Ln+1이라 하고 Mn-1, Mn, Mn+1이 이 점들에 대한 bending moment이다.

그림 (b1)에서 base line에 대한 n지점의 tangent line에 이르는 각과 (b2)에서 base line에 대한 n지점의 tangent line이 이루는 각은 절대치는 같고 부호가 반대인 값을 갖는다.

즉 $\theta = -\theta'$ 인 식이 성립된다.

이 기울기는 Area-Moment Method에 의하여 구할

$$\theta = \int \frac{M}{EI} dx$$

(처짐 $\delta = \frac{M}{EI} \times dx$)이다.

그림 c)에서 An의 실제 하중에 의한 bending moment area이고 an과 bn은 그의 도심(圖心)위치라 하면 Mn-1, Mn, Mn+1들에 의한 지점 n의 기울기 θ 는

$$\theta = -\left(\frac{M_{n-1} \cdot L_n}{3E \cdot I_n} + \frac{M_{n-1} \cdot L_n}{6E \cdot I_n} + \frac{A_n \cdot a_n}{L_n \cdot E \cdot I_n}\right) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$\theta' = \left(\frac{A_{n+1} \cdot b_{n+1}}{L_{n+1} \cdot E \cdot I_{n+1}} + \frac{M_n \cdot L_{n+1}}{3 \cdot E \cdot I_{n+1}} + \frac{M_{n+1} \cdot L_{n+1}}{6 \cdot E \cdot I_{n+1}}\right) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

$\theta = -\theta'$ 에서

$$M_{n-1} \cdot \frac{L_n}{E \cdot I_n} + 2 \cdot M_n \cdot \left(\frac{L_n}{E \cdot I_n} + \frac{L_{n+1}}{E \cdot I_{n+1}}\right) + M_{n+1} \cdot \frac{L_{n+1}}{E \cdot I_{n+1}}$$

$$= -6 \cdot \left(\frac{A_n \cdot a_n}{L_n \cdot E \cdot I_n} + \frac{A_{n+1} \cdot b_{n+1}}{L_{n+1} \cdot E \cdot I_{n+1}}\right) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

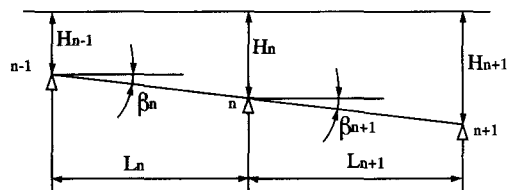
다만 1)식에서 강성계수 E(elasticity of young modulus)와 관성 moment(inertia of moment)의 값이 span n와 n+1이 같을 때

$$M_{n-1} + 2 \cdot M_n + M_{n+1} = -6 \left(\frac{A_n \cdot a_n}{L_n} + \frac{A_{n+1} \cdot b_{n+1}}{L_{n+1}}\right) \dots \dots \textcircled{4}$$

이다.

Slope alignment를 택할 경우 즉 임의의 지지점 위치를 up 또는 down시킨다면 영향계수(influence number)는 다음과 같이 계산된다.

예로서 (n-1)지점을 α 만큼 down시켰을 경우 3) 또는 4)식의 우변에 $6 \cdot \alpha / L_n$ 의 값을 더해주고 N지점을 β 만큼 down시켰을 경우에는 우변에 $(6 \cdot \alpha / L_n) + (6 \cdot \beta / L_{n+1})$ 의 값을 빼준다.



예로서 각지점의 처짐이 H_{n-1} , H_n , H_{n+1} 이라면 수평과 이루는 각이 각각 β_n , β_{n+1} 이라면 1) 2)식에 대입 등치시키면

$$M_{n-1} \cdot \frac{L_n}{E \cdot I_n} + 2M_n \left(\frac{L_n}{E \cdot I_n} + \frac{L_{n+1}}{E \cdot I_{n+1}} \right) + M_{n+1} \cdot \frac{L_{n+1}}{E \cdot I_{n+1}} = -6 \cdot \left(\frac{A_n \cdot a_n}{L_n \cdot E \cdot I_n} + \frac{A_{n+1} \cdot b_{n+1}}{L_{n+1} \cdot E \cdot I_{n+1}} + \beta_{n+1} - \beta_n \right) \dots \textcircled{5}$$

이 식을 이용하여 Reaction Influence Number를 구할 수 있다.

Reaction Force

각 지점의 moment를 구하면 지점 n에서의 반력 (reaction force) R_n 은 양쪽 span에 대응하는 하중에 의한 반력 R'_n 와 moment M_{n-1} , M_n , M_{n+1} 에 의한 반력의 합과 같다.

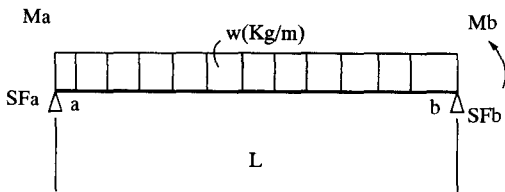
지점 n에서 반력

$$R_n = R'_n + \frac{M_{n-1} - M_n}{L_n} + \frac{M_{n+1} - M_n}{L_{n+1}} \dots \textcircled{6}$$

이다.

아래 그림에서 SFa 를 지점 a이전의 shear force라 하면 지점 b에서의 moment $M_b = SFa \cdot L + Ma + Ra \cdot L - (w \cdot L^2 / 2)$ 이고,

$Ra = (M_b - SFa \cdot L - Ma + \frac{w \cdot L^2}{2}) / L$ 에서도 구할 수 있다.



Ⓣ Bearing Offset

모든 bearing이 일직선상(straight line)에 오게 되면 bearing의 reaction force(nominal bearing pressure) 및 응력의 분포가 좋지 않으며 다음과 같은 영향이 있다.

즉 직선 배열법의 경우가 이와 같을 수가 있게

된다.

ㄱ. 최후부 베어링에 큰 하중이 작용한다.

ㄴ. 최후부 베어링 바로 앞 베어링은 경하중이 걸린다.(베어링에 상방향 하중)

ㄷ. 중간축 베어링의 하중은 편중되어 어떤 것은 과하중, 어떤 것은 역하중(under load)이 된다.

ㄹ. 축계의 bending stress분포가 크게 편차가 생긴다.

ㅁ. 감속 장치를 갖는 터빈 선에서는 기어의 베어링들에 reaction force등이 큰 차이가 생긴다.

ㅂ. 디젤선에서는 크랭크축의 베어링에 큰 하중이 작용한다.

이러한 좋지 못한 상태를 피하기 위하여는 축 정렬에 의하여 베어링을 약간 올리거나 내려야 한다.

일반적으로 적합한 베어링의 반력이나 축계응력을 얻기 위하여는 앞에서 정의한 영향계수(reaction Influence Number)를 기초 理論으로 사용하고 있다.

$$R_{ji} * \Delta_i = F_i$$

여기서 R_{ji} = influence number of bearing i on bearing j

Δ_i = i bearing의 Offset(slope elevation)

F_i = Δ_i 에 의한 j bearing에서의 reaction의 변화

영향 계수는 시행오차로 구하며 축계의 최적한 상태를 구하게 된다.

Ⓢ bearing offset의 최적치

i번째 베어링의 offset를 Δ_i 라 하면 j 베어링의 반력 F_j 는

$$F_j = f_j + \sum R_{ji} \cdot \Delta_i \dots \textcircled{7}$$

여기서 R_{ji} 는 축계의 RIN(reaction influence number) Matrix이다.

Bearing반력만을 생각하면 optimum condition은 다음식의 값이 최소일때이다.

$$R = a(F_n - F_{n-1}) + M_{bi} \cdot F_i \dots \textcircled{8}$$

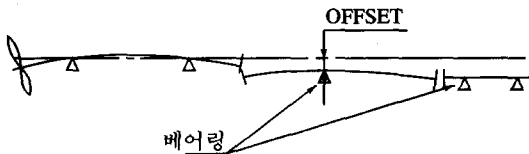
여기서 $F_n - F_{n-1}$ 은 감속장치의 베어링 반력의 차이이며, f 와 R_{ji} 는 축계의 질량과 탄성치로부터 결정되는 반면, a 와 b_i 는 베어링의 치수와 간극, 감

속장치 조건, 기타 중간축 베어링이나 감속장치의 허용 손상한계로부터 결정된다.

한편 베어링의 unload(-)는 가능한한 없어야 하며 어느 베어링의 부하가 아주 가볍게 되면 베어링의 유막이 불안정하게 되므로 whiling의 문제가 대두된다.

따라서 각 베어링의 반력은 최소치 최대치가 주어지게 된다.

일반적으로 최후부 베어링들을(after stern tube bearing, forward stern tube bearing) "0" 위치로 잡으며, 기타 베어링의 offset의 최대치의 한계가 주어진다.



베어링의 위치 예

㉔ 갭(Gap)과 색(Sag)

Gap(갭) - 짝짓는 플랜지 사이의 각도이다.

수직 갭 : 플랜지 면의 하단과 상단에서의 거리의 차이

수평 갭 : 플랜지의 가장자리에서 우현과 좌현에 있어서의 플랜지면 거리 차이가 수평 갭이다.

Sag(색) = 수직과 수평방향에 있어서의 커플링

플랜지의 중심간의 거리이다.

갭과 색 법으로 시공시의 장단점

장점 : 계측 장치가 간단하며 수직 수평 방향에 있어 조절이 용이하다.

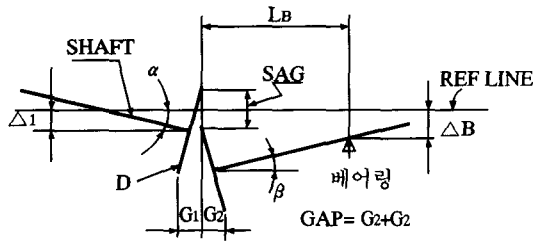
단점 : 정밀도가 한정되어 있으며 운전 상태에서는 적용할 수 없다.

시공시에 고려되어야 할 점 : 오차의 범위는 0.05mm에서 0.10mm내에 있어야 한다.

또한 오차 범위 = $+0.0001 \times D$

(D : 플랜지의 직경 mm)

또한 플랜지의 직경이 다를 경우에 대하여 오차의 범위 기준을 정하여야 한다.



적게쓰고 적게버려

물자절약 환경보존