

축계 비틀림 진동(Ⅲ)

한국어선협회
검사원 심재문

나. 진동진폭 및 진동부가응력

1) 축계선단의 진동진폭

크랭크 축단의 실제 진폭은 기진토크가 계에 가하는 일(기진에너지)과 감쇠가 계로부터 뺀 일(감쇠에너지)이 공진시에 같게 된다는 조건으로부터 구해진다. 이것을 에너지법에 의한 응답계산이라 한다. 이때 전체 기진에너지는 기관기진에너지와 프로펠러 기진에너지로 구성되나 양자의 차수가 일치하지 않는 경우는 일반적으로 기관기진에너지만으로 계산한다. 다만 프로펠러 날개수 차수 또는 그의 배수차수에 한하여 이를 기관기진에너지와 합산하되 위상이 불분명할 경우 안전성을 고려하여 같은 위상으로 간주하며 계산하는 경우도 있다.

즉, 기관기진에너지

$$= \text{기관감쇠에너지} + \text{프로펠러감쇠에너지} + \text{댐퍼, 내부히스테리시스 발전기, 탄성커플링 감쇠에너지}$$

여기서 크랭크선단의 실제 최대 진폭 θ_1 는 다음과 같이 된다.

$$\theta_1 = \frac{\text{기관기진에너지}}{\text{기관감쇠에너지} + \text{프로펠러 감쇠에너지} + \dots}$$

근사적으로는 1절진동의 경우에는 프로펠러 감쇠에너지가 전체 감쇠에너지의 85~90%를 차지하

기 때문에 이것으로 실제 진폭을 구하며, 2절진동의 경우에는 히스테리시스 감쇠에너지의 k 배($k=3 \sim 3.3$)를 전체 감쇠에너지로 취하며 실제 진폭을 구한다.

1절진동의 경우, 기관기진에너지

$$W_i = \pi Q i (\sum \theta_i / \theta_1) \theta_1$$

프로펠러 감쇠에너지

$$W_p' = 78.926 \times 10^4 \frac{i \cdot P_s \cdot (\sum \theta_p / \theta_1)^2 (\theta_1)^2}{N}$$

$\theta_1 = W_i / W_p'$ 로 하며 크랭크 축단의 실제 진폭을 구한다.

2) 진동부가응력

비틀림 진동에 의한 부가응력, 즉 진동응력은 진동진폭의 값을 알면 간단히 구할 수 있다. 지금 축계의 각 질점간의 상대적 비틀림 각을 α , 축의 스프링정수를 k 라 하면 축의 저항모멘트는 R 는

$R = -k\alpha$ 로 구해진다. 따라서 실제축의 극단면 계수를 Z_p 라 하면

$$\text{비틀림응력 } \tau = R/Z_p = k\alpha/Z_p$$

여기서 중공축 $Z_p = \frac{\pi(d^4 - d_o^4)}{16d}$ (d : 외경, d_o : 내경)

$$Z_p = \frac{\pi d^3}{16}$$

저항모멘트 $R = k\alpha = J\omega^2\alpha$ 로 된다.

따라서 진동부가응력을 구하고자 하는 곳에서의

저항모멘트는 Holzer 계산표의 $\Sigma J\omega^2\beta$ 를 이용하면 된다. ($J\omega^2\alpha$ 는 Holzer 표의 $\Sigma J\omega^2\beta$ 이다) 다만 이 경우 $\Sigma J\omega^2\beta$ 는 축단에서의 진폭이 1라디안 일 때의 전진동토크이므로 축단에 있어서의 진폭이 1rad일 때의 진동응력 τ 은

$$\tau = \frac{1}{57.3} \frac{\Sigma J\omega^2\beta}{Z_p} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \text{ 이 된다.}$$

따라서 실제진동 비틀림응력은(크랭크 축단에서)

$$\tau = \tau \theta_1 = \frac{1}{57.3} \frac{\Sigma J\omega^2\beta}{Z_p} \cdot \theta_1 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \text{ 이 된다.}$$

3) 실제 계산 예

이상에서 설명한 것들을 다음 조건을 갖는 축계에 적용시켜 풀어보자.

○ 단동직접분사식 4사이클 디젤기관 350BHP, 400rpm, 6기통, 실린더내경 280mm, 행정 400mm, 정미평균 유효압력 5.33kg/cm², 착화순서 1-5-3-6-2-4, 기계 효율 82%

| | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| | J: 관성모멘트(kg·cm ²) | k: 스프링정수(kg·cm/rad) | |
| J ₁ ~J ₆ | 각 61 | k ₁ ~k ₅ | 201×10 ⁴ |
| J ₇ (fly wheel) | 1670 | k ₆ | 110×10 ⁴ |
| J ₈ (propeller) | 418 | k ₇ | 6.8×10 ⁴ |

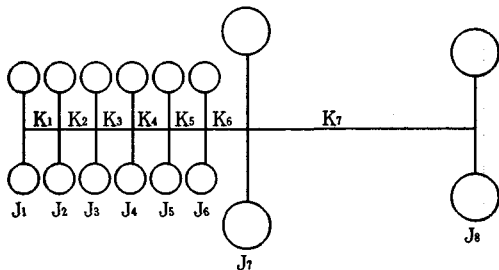


그림 3-8 8질점 추진축계

앞에서 설명한 1절진동과 2절진동의 고유진동수를 Holzer 축차근사법으로 구하면 1절진동의 고유진동수 $f_1 = 1333\text{cpm}$ ($\omega_1 = 139.5\text{rad/s}$) 2절진동의

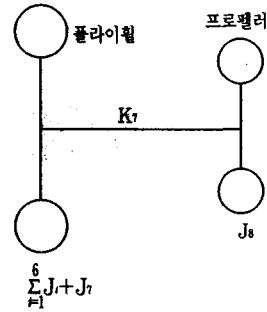


그림 3-9 2질점계

고유진동수 $f_2 = 4087\text{cpm}$ ($\omega_2 = 428\text{rad/s}$)으로 된다. 다음표는 이것을 나타낸다.

1절진동 $\omega = 139.5\text{rad/sec}$ $\omega^2 = 19460(\text{rad/sec})^2$

| i | J _i | J ω^2 ($\times 10^4$) | β_i | J $\omega^2\beta_i$ ($\times 10^4$) | $\omega^2 \Sigma J_i\beta_i$ ($\times 10^4$) | k _i ($\times 10^4$) | $\frac{\omega^2}{k_i} \Sigma J_i\beta_i$ |
|---|----------------|--------------------------------|-----------|---------------------------------------|--|----------------------------------|--|
| 1 | 61 | 1.187 | 1.000 | 1.187 | 1.187 | 201 | 0.00592 |
| 2 | " | " | 0.994 | 1.180 | 2.367 | " | 0.01177 |
| 3 | " | " | 0.982 | 1.166 | 3.533 | " | 0.01755 |
| 4 | " | " | 0.965 | 1.145 | 4.678 | " | 0.0233 |
| 5 | " | " | 0.941 | 1.118 | 5.796 | " | 0.0288 |
| 6 | " | " | 0.913 | 1.084 | 6.880 | 110 | 0.0625 |
| 7 | 170 | 32.5 | 0.850 | 27.6 | 34.48 | 6.8 | 5.07 |
| 8 | 418 | 8.15 | -4.22 | -34.39 | 0.09 | | |

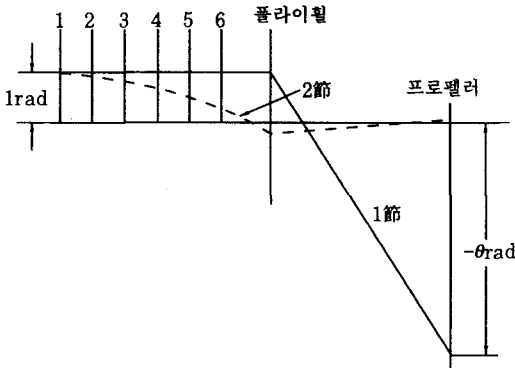
2절진동 $\omega = 428\text{rad/sec}$, $\omega^2 = 183200(\text{rad/sec})^2$

| i | J _i | J ω^2 ($\times 10^4$) | β_i | J $\omega^2\beta_i$ ($\times 10^4$) | $\omega^2 \Sigma J_i\beta_i$ ($\times 10^4$) | k _i ($\times 10^4$) | $\frac{\omega^2}{k_i} \Sigma J_i\beta_i$ |
|---|----------------|--------------------------------|-----------|---------------------------------------|--|----------------------------------|--|
| 1 | 61.0 | 11.17 | 1.000 | 11.17 | 11.17 | 201 | 0.0556 |
| 2 | " | " | 0.944 | 10.55 | 21.75 | " | 0.1079 |
| 3 | " | " | 0.837 | 9.35 | 31.07 | " | 0.1545 |
| 4 | " | " | 0.682 | 7.52 | 38.59 | " | 0.1920 |
| 5 | " | " | 0.490 | 5.48 | 44.07 | " | 0.219 |
| 6 | " | " | 0.271 | 3.03 | 47.10 | 110 | 0.428 |
| 7 | 1670 | 306 | -0.157 | -48.1 | -1.00 | 6.8 | -0.147 |
| 8 | 418 | 76.6 | -0.010 | -7.666 | -1.77 | | |

2절진동 계산결과에 의하면 진동토크의 총합이 (-)로 되면 2절진동이 되지 않는다. 그렇지만 거의 0에 가깝기 때문에 계산은 바른값임을 보인다. 이러한 경우에 β_i 의 값을 -0.158로 행하면 다음표와 같이 되고 진동토크의 총합이 (+)로 됨을 알 수 있다.

| i | J _i | J _i ω ² (×10 ⁶) | β _i | J _i ω ² β _i (×10 ⁶) | ω ² ΣJ _i β _i (×10 ⁶) | k _i (×10 ⁶) | $\frac{\omega^2}{k_i} \Sigma J_i \beta_i$ |
|---|----------------|--|----------------|---|--|---------------------------------------|---|
| 7 | 1670 | 306 | -0.158 | -48.4 | -1.3 | 8.8 | -0.1913 |
| 8 | 418 | 76.6 | -0.023 | 2.53 | 1.23 | | |

제1절 진동과 2절진동의 β항을 축장에 대하여 플랫폼하면 다음과 같은 정규탄성곡선을 얻을 수 있다.



(1절과 2절의 정규탄성곡선)

위 그림으로 부터 1절의 고유진동에 공진하는 토크가 작용하면 매우 위험하고 2절이 되면 공전의 위험도는 상당히 작아짐을 알 수 있다. 또한 각 차수에 있어서의 위험진동수는 아래표와 같이 된다.

| 1 절 진 동 | | 2 절 진 동 | | | |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|-----|-----------------------|
| 고유진동수 f ₁ = 1333cpm | | 고유진동수 f ₂ = 4087cpm | | | |
| 차 수 | 위험속도 n _{rpm} | 차 수 | 위험속도 n _{rpm} | 차 수 | 위험속도 n _{rpm} |
| 2½ | 533 | 8 | 512 | 11 | 372 |
| 3 | 444 | 8½ | 482 | 11½ | 356 |
| 3½ | 381 | 9 | 454 | 12 | 341 |
| 4 | 333 | 9½ | 431 | 12½ | 327 |
| 4½ | 296 | 10 | 409 | 13 | 315 |
| 5 | 267 | 10½ | 390 | | |

표에서 보이는 바와 같이 피해야 할 위험속도가 매우 많음을 알 수 있다. (다음호)

LORAN-C 수신기 개조안내

1. 목 적 : 동아시아지역의 LORAN-C운영의 효율을 높이기 위하여 한국, 일본, 중국, 러시아 4개국이 새로 구성된 국제협력체인을 '95년부터 운영하게 됨에 따라 국내선박(어선 포함) 8,000여척이 보유하고 있는 LORAN-C 수신기 사용에 지장이 없도록 하기 위함
2. 대상어선 : LORAN-C 수신기 보유어선
3. 개조내용 : 수신기내의 ROM(read only memory : 고정기억장치) 교체
* 새로운 한국 LORAN-C체인의 전파발사시기 : '95. 7.1 부터
4. 개조일시 : '95.3.1~6.30까지
5. 개조장소 : 제조업체 및 판매 대리점