

각종 선박용 기자재의 선급규칙 통과를 위한 실험장치 및 시험기법의 개발

왕 지 석* , 김 윤 해**

Testing method developments of ship equipments for passing the
ship class rules

J. S. Wang , Y. H. Kim

Abstract

It is very practical for ship equipment designers to confirm the performances of the equipments which are designed by themselves and manufactured according to their designing drawings. And it is also very important to know what characteristics of ship equipments are necessary to accomplish the designed aims of installing and how to certify the characteristics.

In this paper, the testing methods of performances and characteristics for several ship equipments are presented to help the designers and manufacturers. The testing methods presented in this paper will also be helpful for ship equipment surveyers to have criteria of ship class rules. The performance testing methods of other than ship equipments presented in this paper must be continued to develop for better surveying of ship equipments.

1. 서 론

오늘날 우리나라가 세계 제1의 조선국으로 발돋움하였으나 선박용 기자재의 상당부분은 아직도 수입에 의존하고 있는 실정이고 국산화 되어가고 있는 과정에 있다. 이들 기자재의 국산화에 최대 걸림돌이 되고 있는 것은 국산화된 제품의 성능을 확인할 수 있는 수단이나 방법이 없다는 것이다. 선박용 기자재를 제조납품하는 중소기업체에서 개발한 제품을 조선소에 납품하기 위하여는 공인기관에 의하여 그 성능이 확인되어야 하는데 그것이 여의치 못하기 때문에 조선소에 납품을 못하는

* 이공대학 기계시스템공학부

** 이공대학 재료공학과

사례가 자주 발생하고 있다. 또한 공인기관으로서도 업계를 선도하고 기술개발의 모티브를 제공하여 국내 조선기자재 산업을 육성 발전시키기 위한 기술지도의 사명을 다하는 차원에서 업계가 개발한 제품에 대하여 성능시험기법을 제시하는 것은 지극히 타당한 일이라고 할 수 있다.

개발된 제품이 현장에 장착되어 소기의 목적을 차질없이 수행하기 위하여 여는 어떠한 성능이 필요하고 그 성능을 확인하기 위하여는 어떤 방법으로 시험하는 것이 가장 적당한가 등이 연구되고 이것이 관련 기업체에서 활용되어야 국산화가 가능할 것이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 몇 가지의 선박용 기자재에 대하여 되도록 적은 비용과 장비로 그 성능이나 특성을 효과적으로 파악할 수 있는 시험기법을 개발하여 제시하고자 한다.

2. 플렉시블 커플링 및 공기압 클러치

시험장치

플렉시블 커플링이나 공기압 클러치 또는 이 두가지를 겸하는 고무드럼형 공기압 클러치의 전달토크 확인시험은 정적인 방법으로 시험하여도 무방하고 비틀림 강성계수 확인시험은 정적인 방법이 적당하다. 그 이유는 정적인 방법으로 비틀림 강성계수 확인시험을 하면 토오르크를 완전히 제거하였을 때 남는 잔류변형은 측정할 수 있고 이로부터 피시험체의 히스테리시스 커브를 추정하여 피시험체가 변동 토오르크를 받을때에 발열량을 추정할 수가 있다. 따라서 피시험체가 고무제품으로 된 경우가 많은데, 발열량을 추정할 수 있으므로 온도 상승을 계산할 수가 있고 수명을 예측할 수가 있다. 또한 온도 상승이 과도할 것이 예상되면 적당한 냉각수단을 설계단계에서 강구할 수가 있어서 사용도중 파손되는 일을 예방할 수가 있다.

Fig.2-1은 플렉시블 커플링 및 공기압 클러치의 전달토크 확인시험장치를 나타낸 것이다. 우선 충분한 강도를 가지는 Base Beam에 적당한 형태의 프레임용 용접구조물로 만들고 여기에 종동디스크를 수직으로 고정시킨다. 이 종동디스크와 같은 중심선상에 구동디스크와 이에 고정된 구동축을 베어링 위에 설치한다. 베어링은 되도록 마찰이 작아야 하므로 로울러 베어링을 써야 하는데 큰 래디알 하중에 견딜 수 있는 구면 로울러 베어링이나

복열 원추 로울러 베어링을 쓰는 것이 좋다. 베어링은 최소한 2개가 필요하고, Base Beam에 나사

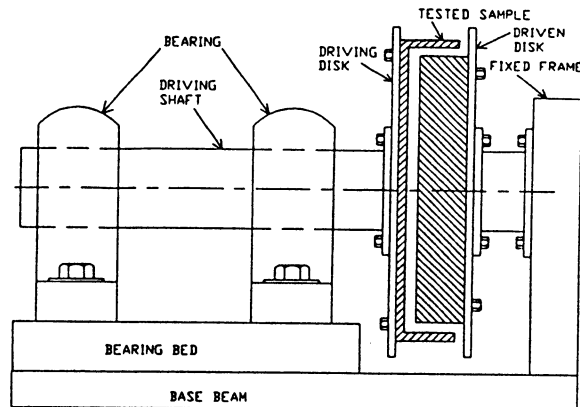


Fig.2-1 Testing apparatus of transmitted torque

로 고정된 베어링 베드 위에 설치되어 있다. 베어링과 구동축은 끼워맞춤을 잘 하여 놀지 않도록 하여야 하고 베어링과 베어링 베드 사이에는 Foot Liner를 끼우든가 Adjusting Nut를 사용하여 베어링의 높이와 Tilting을 조절할 수 있어야 한다. 피시험체는 구동디스크와 종동디스크 사이에 나사에 의하여 설치하는데, 이 설치를 용이하게 하기 위하여 베어링 베드의 나사를 풀면 Base Beam위에서 베어링 베드가 좌우로 움직일 수 있게 하고, 베어링의 고정나사를 풀면 베어링도 베어링 베드 위에서 좌우로 움직일 수 있도록 하여야 한다. 또는 복열 원추롤러 베어링을 썼을 경우는 이 베어링은 큰 추력을 받을 수 있기 때문에 베어링 고정볼트나 베어링 베드 고정볼트를 풀지 않더라도 구동축을 험머로 때려서 이것을 좌우로 이동시킬 수가 있어서 피시험체를 설치하는데 편리하다. Base Beam, 종동디스크 고정 프레임, 종동디스크, 구동디스크, 구동축, 베어링, 베어링 베드 등은 충분한 강도와 강성을 갖도록 설계하여야 한다. 또한 Base Beam을 앵커볼트나 여타 적당한 방법으로 지면에 튼튼하게 고정시켜야 한다.

구동축에 계량된 토오크를 인가하는 방법은 Fig.2-2에 보인 바와 같이 구동디스크에 찬널형 비임을 용접한 아암을 볼트로 고정하고 그 자유단을 호이스트로 끌어 올려 토오크를 인가하는 방법을 쓰는데, 이 때 호이스트에 걸리는 인장력의 크기를 로오드 셀로 검출하여 디지털 멀티메타에 디스플레이하고 오실로그래프에 기록한다. 로오드셀로 검출된 인장력(P)에다 구동디스크 중심으로부터 호이스트 줄까지의 거리(R)을 곱한 값이 인가된 토오크(T)이다. 이 때 주의하여야 할 점은 소정의 토오크가 인가된 상태에서 호이스트 줄과 찬널형 비임이 수직이 되도록 하여야 한다는 것이다. 호이스트를 좌우로 이동시킴으로서 수직으로 맞출 수가 있다.

인장력을 측정하는 로오드 셀은 주로 전 브리지형 스트레인 게이지를 이용하는 형식이 대부분인데 이 경우 로오드셀 신호전압 (V_S)과 인장력 (P) 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$V_S = SV_i P / P_r \quad \text{또는}$$

$$P = V_S P_r / (SV_i)$$

V_S : 로오드셀 신호전압 (μV)

S : 로오드셀 정격용량에서의 감도 ($\mu V / V$)

여기서

V_i : 로오드셀 입력전압 (V)

P : 로오드셀에 걸리는 인장력 (kg)

P_r : 로오드셀 정격용량 (kg)

예를 들어 정격용량 9060kg(20000lbs)인 로오드셀의 감도가 정격용량에서 $2327 \mu V / V$ 이고 로오드셀 입력전압이 10V이면

$$V_S = 2327 * 10 * P / 9060 \quad (\mu V) \quad \text{또는}$$

$$P = V_s * 9060 / (2327 * 10) \quad (\text{kg}) \text{ 이 된다.}$$

지금 인가하여야 할 토크를 T라 하면 이 토크에 상당하는 로오드 셀 신호전압 VS는 다음과 같이 된다.

$$V_s = k_1 T \quad \text{또는} \quad T = k_2 V_s$$

$$\text{여기서 } k_1 = S V_i / (P r R), \quad k_2 = P r R / (S V_i)$$

T: 전달토크(kg m)

R: 구동디스크 중심으로부터 호이스트 줄까지의 거리(m)

그러므로 디지털 멀티메타에 디스플레이된 로오드 셀 신호전압을 주시하면서 호이스트로 줄을 잡아당기면 소정의 토크를 인가할 수 있다. 즉 소정의 토크를 인가하기 위한 로오드 셀 신호 전압을 알 수 있으므로 이 신호전압에 달하면 호이스트를 멈춘다.

(1) 허용토크 확인시험

피시험체를 Fig.2-1의 구동디스크와 중동디스크 사이에 장착하고 Fig.2-2의 호이스트로 아암의 자유단을 천천히 끌어 올려 허용토크의 1.5배에 달하는 토크 이상이 걸렸을 때 호이스트를 멈춘다. 디지털 멀티메타에 디스플레이된 로오드 셀의 신호전압을 주시하면서 호이스트를 조절하면 소정의 토크 이상을 걸 수가 있는데 이 상태에서 3분이상 유지한다. 고무제품으로 된 피시험체의 경우는 시효 변형(응력을 받고 있는 재료가 응력의 변화가 없어도 시간이 경과하므로서 변형률이 증가하는 것)에 의하여 시간이 경과하면 소정의 토크 이하로 떨어지는데 그 이하로 떨어지기 직전에 다시 호이스트로 잡아당겨 그 이상을 유지한다. 이와 같은 일련의 로오드셀 신호전압을 오실로그래프에 적당한 스케일로 기록하여 검사 증빙자료로 첨부한다.

소정의 토크 이상에서 3분이상 유지한 다음 인가된 토크를 제거하고 피시험체의 이상유무를 육안으로 점검한다. 피시험체가 일방향으로만 회전하는 토크를 전달하도록 설계된 것이면 허용토크 확인시험은 이것으로 끝내고, 피시험체가 토크 전달 회전 방향의 제한이 없는 것이면 반대 방향으로 회전하는 허용토크 확인시험을 실시하여야 한다. 구동디스크에 고정된 아암을 180도 돌려 반대방향으로 보내고 위와 똑같은 시험을 한번 더 실시하여 반대방향의 허용토크 전달 확인 시험을 하고 난 뒤에 피시험체를 떼어 내어 이상유무를 확인한다.

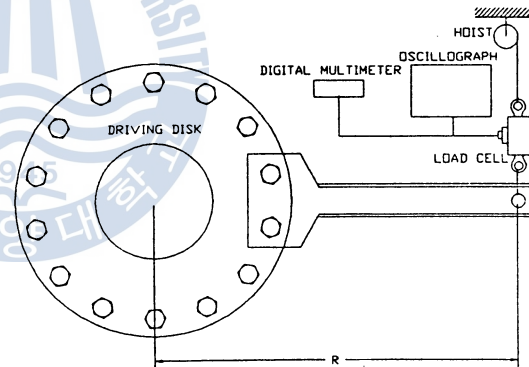


Fig.2-2 Static torque measuring

(2) 허용 순간 최대 토오크 확인시험

피시험체를 시험장치의 구동디스크와 종동디스크 사이에 장착하고 호이스트로 아암의 자유단을 천천히 끌어 올려 허용 순간 최대토오크 이상이 걸렸을때 호이스트를 멈추고 이 상태에서 1분이상 유지한다. 시효변형에 의하여 인가된 토오크가 소정의 토오크 이하로 떨어지려고 하면 그 이하로 떨어지기 전에 호이스트를 작동시켜 그 이상을 유지한다. 이와 같은 일련의 신호전압을 오실로그래프에 적당한 스케일로 기록하여 검사증빙자료로 첨부한다. 피시험체가 일방향으로만 회전하는 토오크를 전달하도록 설계된 것이면 허용 순간 최대토오크 확인 시험을 이것으로 끝내고, 피시험체가 회전 방향의 제한이 없는 것이면 반대방향으로 회전하는 허용 순간 최대토오크 확인시험도 꼭 같은 요령으로 하여야 한다. 그런 연후에 피시험체를 디스크로부터 떼어 내어 이상유무를 점검하여야 한다. 허용토오크 확인시험과 허용 순간 최대토오크 확인시험은 피시험체를 한번 장착하여 같이 연이어 실시하여도 무방하다.

(3) 허용 변동 토오크 확인시험

플렉시블 커플링의 허용 변동 토오크는 변동 토오크의 주파수에 따라 다르다. 일반적으로 변동 토오크의 주파수가 증가하면 허용 변동 토오크는 감소한다. 그러므로 허용 변동 토오크의 확인시험은 여러 주파수에서 실시하여야 하고, 각 주파수에서 적어도 10^7 사이클정도 변동을 주어 이상유무를 확인하여야 하므로 시간이 엄청나게 많이 걸린다. 주파수가 10Hz일때 12주야 쯤 걸리는데 이것을 한번만 하는 것이 아니고 적어도 60Hz까지 5Hz간격으로 주파수를 증가시키면서 시험을 실시하여야 하므로 많은 시간이 소요된다.

플렉시블 커플링의 토오크 전달부분중 플렉시블 부분이 고무제품으로 된 경우에는 허용 변동 토오크 확인시험을 생략하고, 지금까지 시험한 결과를 다루는 문헌을 참조하여 다음과 같이 허용 변동 토오크를 정하여도 무방하다.

- * 변동 토오크의 주파수가 9Hz이하에서는 허용토오크의 20%를 허용 변동 토오크로 잡는다.
- * 변동 토오크의 주파수가 10Hz이상에서는 다음 식으로 산출된 토오크를 허용 변동 토오크로 잡는다.

$$T_{va} = k T_{va} \sqrt{9/f}$$

여기서

T_{va} : 변동토오크의 주파수가 10Hz이상에서의 허용 변동토오크 (kg.m)

T_{va} : 변동토오크의 주파수가 9Hz이하에서의 허용 변동토오크 (kg.m)

f : 주파수 (Hz)

k : 다음표에 주어진 계수

Table 1. Coefficient k Value

| Frequency(Hz) | k |
|---------------|------|
| 10 | 0.97 |
| 11 ~ 15 | 0.90 |
| 16 ~ 20 | 0.87 |
| 21 ~ 25 | 0.83 |
| 26 ~ 30 | 0.80 |
| 31 ~ 35 | 0.79 |
| 36 ~ 40 | 0.78 |
| 41 ~ 45 | 0.76 |
| 46 ~ 50 | 0.74 |

플렉시블 커플링의 토오크 전달 부분중 플렉시블 부분이 고무제품 이외의 재료로 된 경우에는 허용 변동 토오크 확인시험을 실시한다. Fig.2-3은 허용 변동 토오크 확인 시험장치의 원리를 나타낸 것이다. Fig.2-1의 구동디스크에 고정된 아암의 자유단에 크랭크 기구를 달아 변동토오크를 가한다. 크랭크 기구는 변속모터로 회전시켜 구동디스크에 변동토오크를 가하

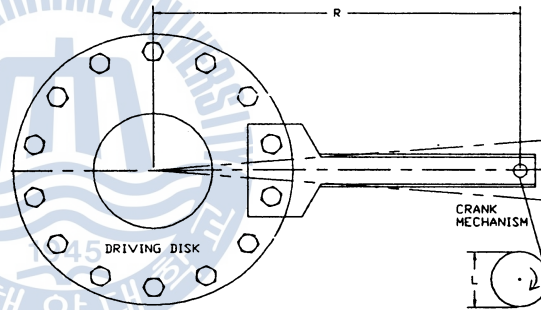


Fig.2-3 Variable torque test

면 이 변동 토오크는 구동디스크와 종동디스크 사이에 장착된 피시험체에 전달된다. 변속모터에 적산회전계를 달거나 구동디스크 아암에 카운터를 달면 가해준 변동 토오크의 사이클 수를 알 수 있다. 변속모터의 회전수를 변화시킴으로서 여러가지의 주파수에서 시험을 실시할 수 있다. 처음에 5Hz 에서 실시하고 그 다음은 10Hz, 15Hz ... 등으로 5Hz씩 주파수를 올려가며 실시한다.

구동디스크에 고정된 아암의 자유단에 달려 있는 크랭크기구의 스트로크 L은 다음과 같이 되도록 정한다.

$$L = T_v R / K \quad \text{또는} \quad R = LK / T_v$$

여기서

L : 크랭크 기구의 스트로크 (mm)

T_v : 허용 변동 토오크 (kg.m)

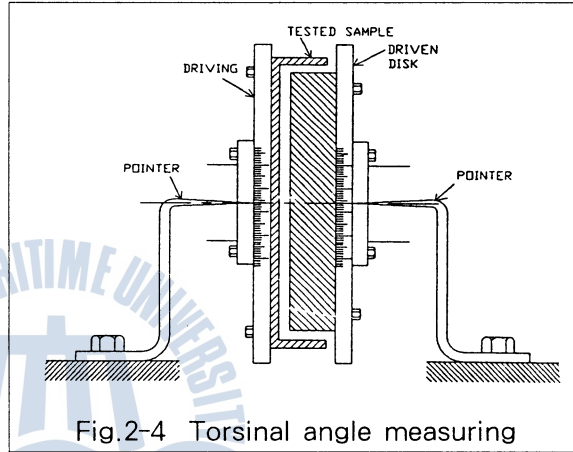
R : 구동디스크의 중심에서 아암의 자유단까지의 거리 (mm)

K : 피시험체의 비틀림 강성 (kg.m/rad)

허용 변동 토크 T_v 가 달라지면 크랭크 기구의 스트로크 L도 달라져야 하는데 이것을 바꾸기는 어려우므로 이것은 일정하게 두고, R의 값을 변화시켜 소정의 허용 변동 토크가 걸리도록 하면 좋다.

(4) 비틀림 강성시험

Fig.2-1 및 Fig.2-2의 구동디스크가 장치리에 Fig.2-4에 보인 바와 같이 줄자를 붙여 놓고 Base Beam에 포인터를 고정하여 구동디스크에 토크를 인가함에 따르는 이것의 변위를 측정한다. 포인터는 도스깁으로 대체하여도 무방하다. 지금 구동디스크의 반경을 r이라 하고 줄자의 변위를 D라 하면 D/r 이 각변위가 된다. 구동디스크와 종동디스크 사이에 피시험체를 장착한 다음 구동디스크에 정격 토크를 인가한다. 종동디스크는 Base Beam과 Frame에 고정되어 있기 때문에 피시험을 통하여 토크가 전달되어도 각변위가 없을 것이 예상되지만 이것을 확인하기 위하여 종동디스크에도 줄자를 붙이고 포인터를 설치한다. 만약 종동디스크에 약간의 각변위가 있으면 구동디스크의 각변위에서 종동디스크의 각변위를 뺀 것이 피시험체의 각변위가 된다. 이렇게 하여 피시험체의 각변위를 측정하면 이 피시험체의 비틀림강성 K를 구할 수 있다.



$$K = T_N / \phi$$

여기서

K : 피시험체의 비틀림 강성 ($kg.m/rad$)

T_N : 피시험체의 정격 토크 ($kg.m$)

ϕ : 피시험체의 비틀림각 (rad)

만약 피시험체가 토크를 전달하는 회전방향의 제한이 없으면 반대 방향으로도 회전하는 비틀림 강성치도 같은 방법으로 측정하여 전자와 평균한 값을 이 피시험체의 비틀림 강성치로 잡는다.

3. 회전체의 관성모우멘트 측정시험

회전기계를 설계하는데 있어서 비틀림진동을 계산하여 고유진동수를 회피한다든지, 제동력을 계

산한다든지, 관성력을 계산하는 등의 목적으로 회전체의 관성모멘트를 설계단계에서 정확히 파악할 필요가 있다. 더구나 마찰용접기나 전단기 등의 기계에서와 같이 회전운동에너지를 바퀴(Wheel)에 저장시켜 놓았다가 소정의 작업을 하는데 이용하는 경우에는 바퀴의 관성모멘트가 대단히 중요한 역할을 하므로 이의 정확한 파악은 필수적이다. 내연기관에서도 대단히 불균일한 회전력을 바퀴의 관성모멘트를 이용하여 균일하게 함은 주지의 사실이다. 이와같이 회전기계에서 관성모멘트는 중요한 역할을 하며 설계시 꼭 검토하고 넘어가야 할 사항들중의 하나이다.

관성모멘트는 기하학적으로 비교적 간단한 축대칭 물체의 경우 계산에 의하여 파악될 수도 있다. 그러나 대부분의 회전기계는 기하적으로 간단하지도 않을 뿐더러, 간단하다 할지라도 질량밀도가 균일하지 않거나 정확하지 않으면 정밀도 높은 계산을 기대하기는 어렵다. 그러므로 정확한 관성모멘트를 파악하기 위해서는 실제로 측정하는 것이 가장 확실한 방법이다.

관성모멘트를 측정하는 방법으로 지금까지는 원형단면축의 비틀림강성을 이용하는 비교측정법이 주로 이용되었다. 즉 원판, 링, 막대 등과같이 단순한 형태의 회전체는 그 무게만 알고 있으면 관성모멘트를 계산할 수 있고 이와같이 기지(既知)의 관성모멘트를 가진 물체를 원형단면축 또는 똑바로 곧은 철사의 일단에 고정하고 타단은 천정이나 적당한 구조물에 고정하여, 물체를 달고 있는 원형단면축 또는 철사가 연직이 되도록 한 다음 비틀림진동을 시킨다. 이리하여 비틀림진동의 주기를 재어서 원형단면축 또는 철사의 비틀림 강성계수를 알아낸다. 그런 다음 관성모멘트를 측정하고자 하는 회전체를 추가하든가, 또는 기지(既知)의 물체를 떼어내고 측정하고자 하는 회전체를 달든가 하여 다시 비틀림진동을 시키고 진동의 주기를 측정하여 관성모멘트를 알아낸다.

이와같은 비교측정법은 측정방법이 복잡하고 여러단계를 거쳐야 하기 때문에 오차가 유발될 소지가 많고, 피측정체를 원형단면축에 연직으로 고정시키는 일이 쉬운 일이 아니다. 더구나 피측정체의 무게가 수 톤 또는 수십톤이나 나가는 선박용 프로펠러와 같은 경우는 더욱 그러하며, 비틀림진동 시키는 일도 인력으로는 불가능하므로 특수한 장치를 필요로 한다는 단점이 있다.

여기서는 이러한 어려움을 극복하고 비교적 간단한 방법으로 효과적인 관성모멘트의 측정을 할 수 있는 줄의 이용법을 개발하여 제시하고자 한다. 즉, 천정으로부터 연직으로 드리운 2개 내지 5개의 줄을 이용하여 회전체를 수평이 되도록 매달고 이 회전체를 비틀림진동 시키고 그 진동주기를 측정함으로써, 회전체의 관성모멘트를 구하는 역학적인 과정을 제시하고자 한다. 이 방법은 실험에 의하여 이를 입증한 바가 있다. 실험은 기하적으로 간단하여 무게만 알면 관성모멘트를 알 수 있는 물체의 관성모멘트를 여기서 제시한 줄의 이용법으로 측정하고, 계산치와 비교하였다.

* 비교측정법

Fig 3-1에 보인 바와 같이 원형 단면축 또는 똑바로 곧은 철사의 상단을 천정이나 적당한 구조물에 연직으로 고정하고 하단에 기지의 관성모멘트를 가진 물체, 예를 들어 원판을 고정시키고 θ 만큼 비틀었다가 놓았을 때 축이 원판에 작용하는 토크는 $GIp \theta/L$ 이 되므로 운동방정식은 다음과 같이 된다.

각종 선박용 가자재의 선급규칙 통과를 위한 실험장치 및 시험기법의 개발

$$\frac{GI_p}{L} \theta = -J \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

여기서

- G : 축의 전단탄성계수
- I_p : 축의 극2차 모우멘트
- L : 축의 길이
- J : 원판의 관성모우멘트
- t : 시간

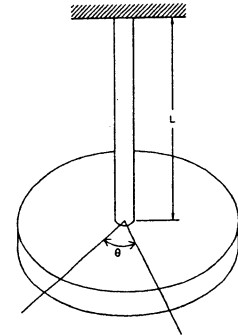


Fig.3-1 Torsional vibration of disk

이 식을 고쳐 쓰면 다음과 같은 2계 제차 미분방정식 된다.

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{GI_p}{LJ} \theta = 0$$

여기서 $\frac{GI_p}{LJ} = q^2$ 이라 놓으면

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + q^2 \theta = 0$$

이 된다. 이 식은 자유진동방정식이고 이 자유진동 방정식의 진동주기 T 는

$$T = \frac{2\pi}{q} = 2\pi \sqrt{\frac{JL}{GI_p}}$$

이다. 원판의 관성모우멘트 J 를 알고 있으므로 비틀림 진동주기 T 를 측정하여 알면 이 식으로부터 비틀림 강성계수 GI_p 를 계산할 수 있다. 이 비틀림 강성계수는 축 재료의 전단탄성계수와 축의 극 2차모우멘트를 알면 구할 수 있다. 그러나 극2차 모우멘트는 축의 직경만 측정하면 쉽게 알 수 있는데 반하여 전단탄성계수는 그 측정이 쉽지 않기 때문에 이런 방법으로 비틀림 강성계수를 알아 낸다. 그런 다음 관성모우멘트를 측정하고자 하는 물체를 바꾸어 달든가 아니면 추가하든가 하여 또다시 비틀림 진동 주기를 측정하면 이 물체의 관성모우멘트를 알아 낼 수 있다.

* 줄을 이용한 측정 방법

관성모우멘트를 측정하고자 하는 물체를 Fig.3-2에 보인 바와 같이 천정으로부터 연직으로 드리운 2개의 줄을 이용하여 수평이 되도록 매단다. 좌표계를 이 그림에 보인 바와 같이 정하고 줄의 길이를 L , 한줄의 천정 고정점을 A라 하면 점 A의 좌표는 $(0, r, 0)$ 가 된다. 여기서 r 은 원점 O에서부터 점 A까지의 거리이다. 이 줄의 물체 고정점을 B라 하면 점 B의 좌표는 $(0, r, L)$ 이 된다.

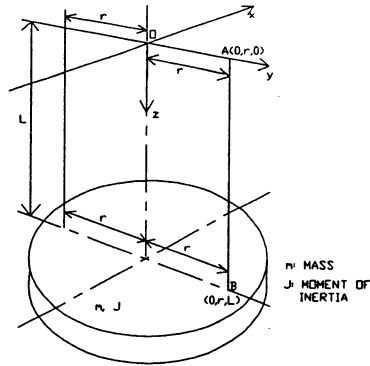


Fig.3-2 Measuring the inertia moment of rotating body by lines

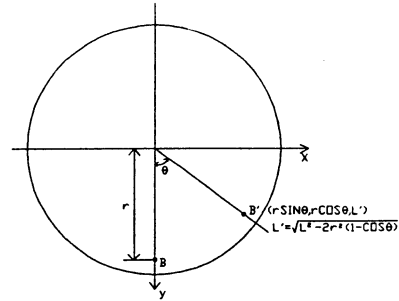


Fig.3-3 Rotation of the body

지금 Fig 3-3에 나타난 바와 같이 물체를 각 θ 만큼 반시계 방향으로 회전시켰을 때 B점은 B'로 이동하게 되는데 이 점 B'의 좌표는 $(r\sin\theta, r\cos\theta, L')$ 가 된다. 여기서 L' 은

$$L' = \sqrt{L^2 - 2r^2(1 - \cos\theta)}$$

이다. x, y, z 방향의 단위벡터를 각각 i, j, k 라 하면 AB'방향의 단위 벡터 $\vec{U}_{AB'}$ 는 다음과 같다.

$$\vec{U}_{AB'} = \frac{ir\sin\theta + jr(\cos\theta - 1) + kL'}{L}$$

물체의 질량을 m 이라 하면 줄이 두개이므로 점 B'에서 연직 하방향으로 작용하는 힘의 크기는 $mg/2$ 가 되고 이 힘을 Fig.3-4에 보인 바와 같이 AB'방향성분 \vec{F} 와 이의 직각성분 \vec{P} 로 나누어 볼 수 있다. 그러므로 AB'방향의 성분 \vec{F} 는 $k mg/2$ 와 이 방향의 단위벡터 $\vec{U}_{AB'}$ 와의 내적(Inner product)으로 크기를 나타내고 거기에 이 단위벡터를 다시 곱하여 다음과 같이 벡터성분으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{F} &= (k \frac{mg}{2} \cdot \vec{U}_{AB'}) \vec{U}_{AB'} \\ &= \frac{mg}{2} \frac{L'}{L} \vec{U}_{AB'} \\ &= \frac{mgL'}{2L^2} (ir\sin\theta + jr(\cos\theta - 1) + kL') \end{aligned}$$

한편, $k \frac{mg}{2} = \vec{F} + \vec{P}$ 이므로

$$\vec{P} = k \frac{mg}{2} - \vec{F}$$

이며 이것을 계산하면

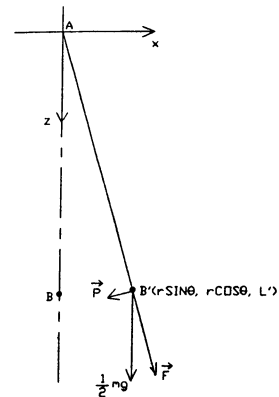


Fig.3-4 Force vectors by gravity

$$\vec{P} = i\left(-\frac{mgL'}{2L^2} r \sin \theta\right) + j\left(-\frac{mgL'}{2L^2} r(\cos \theta - 1)\right) + k\left(\frac{mg}{2} - \frac{mgL'^2}{2L^2}\right)$$

이 힘의 원점 O에 관한 모우멘트 벡터 \vec{M} 은 점 B'의 위치벡터 $ir \sin \theta + jr \cos \theta + kL'$ 와 이 힘의 외적(Cross product)으로

$$\vec{M} = (ir \sin \theta + jr \cos \theta + kL') \times \vec{P}$$

이고, 이 모우멘트 벡터에서 z축둘레의 모우멘트 M_z 는

$$M_z = \frac{mgL'}{2L^2} r^2 \sin \theta$$

가 된다. 이 z축 둘레의 모우멘트는 줄 하나에서 생기는 모우멘트이고 줄이 2개 있으므로 결국 물체를 z축 둘레로 돌릴려는 모우멘트는 이의 2배가 된다.

만약 $\theta \ll 1$ 이면, $\sin \theta \approx \theta$, $L' \approx L$ 이므로 운동방정식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{mg}{L} r^2 \theta = -J \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

여기서, J는 물체의 관성모우멘트이며 이식을 다시 쓰면

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + k^2 \theta = 0$$

이 되는데, 여기서

$$k^2 = \frac{mgr^2}{JL}$$

이고, 이것도 2계 제차 미분방정식이며 그 해는 자유진동방정식이 된다. 그 자유진동의 주기 T는

$$T = \frac{2\pi}{k} = 2\pi \sqrt{\frac{JL}{mgr^2}}$$

가 된다. 여기서, m은 질량, g는 중력가속도, r은 줄과 중심과의 거리, L은 줄의 길이인데, 자유진동의 주기 T를 측정하면 이 식으로부터 물체의 관성모우멘트 J 값을 구할수 있다.

$$J = \frac{T^2 mgr^2}{4\pi^2 L}$$

이 식은 관성모우멘트를 측정하고자 하는 물체를 2개의 줄로 매달았을 때인데 Fig.3-5에 보인 바와 같이 3개의 줄이나 Fig.3-6에 보인바와 같이 4개의 줄을 이용하여도 결과는 마찬가지 이고 그 이상의 줄을 사용하여도 무방하다. 다만 모든 줄은 중심선에서 같은 거리 r에 있어야 하고 등간

격 중심각이어야 하며 연직으로 되어 있어야 한다. 측정하고자 하는 물체의 모양에 따라서는 줄의 수가 3개 또는 4개 또는 5개인 것이 물체를 수평이 되도록 매달기가 편리한 경우가 있다. 그러나 줄의 수는 되도록 작은 것이 좋고 줄의 질량도 측정하고자 하는 물체의 질량에 비하여 무시할 정도가 되어야 한다.

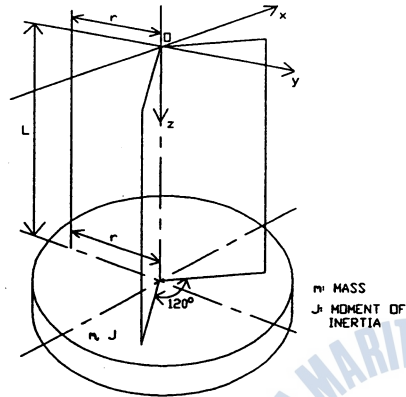


Fig.3-5 Measuring the inertia moment of rotating body by 3 lines

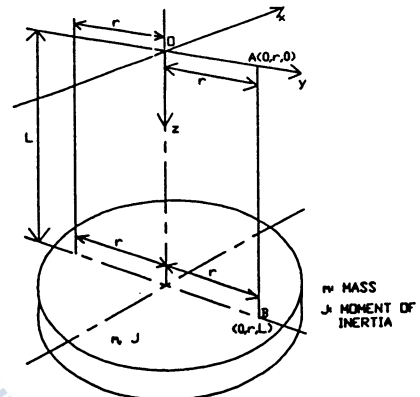


Fig.3-6 Measuring the inertia moment of rotating body by 4 lines

4. 응력 확인 시험 (압력용기 및 기타)

압력용기에 소정의 압력이 인가 되었을 때 각부에서 발생하는 응력이 허용치 이내에 들어 있다는 것을 확인한다든가, 기계나 구조물의 부재에 소정의 하중이 인가되었을 때 발생응력이 안전한 범위에 들어 있다는 것을 확인할 필요가 있을 때 응력확인시험을 실시한다. 응력확인시험을 위하여는 응력을 측정하여야 하는데 이 때의 대상응력은 물체 표면에서의 응력으로 평면응력이 된다.

평면응력을 받는 재료의 응력을 직접 측정할 수는 없고 변형도를 측정하여 응력으로 환산하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 변형도를 측정하기 위하여는 하중이 작용하기 전에 변형도를 측정하고자 하는 개소에 스트레인 게이지를 붙이고 압력이나 하중이 작용하는 동안에 일어나는 변형도를 스트레인 메타에 디스플레이하도록 하거나 오실로 그래프에 기록하도록 한다. 변형도를 측정하고자 하는 개소에 스트레인 게이지를 붙일 때는 표면의 녹을 제거하기 위하여 처음에는 거칠은 연마지나 그라인더로 갈아낸 다음 조금 미세한 연마지로 연마한다. 마지막에는 180번정도 되는 연마지로 닦아 낸다. 너무 매끄럽게 하여도 접착력이 떨어지므로 다소 거칠은 것이 좋고 연마방향도 일정치 않은 것이 좋다. 그런 다음 아세톤으로 그곳을 세척하여 미세한 분말이나 먼지 또는 기름때를 제거한다. 그리고 강력 순간접착제를 이용하여 스트레인 게이지를 붙이는데 접착제의 종류에 따라 1주야 정도 기다렸다가 시험을 실시하는 것도 있고 곧바로 하여도 되는 것도 있다.

스트레인 게이지를 소정의 측정 개소에 붙였으면 단자들을 스트레인 메타에 직접 연결하든가 스위칭 회로를 통하여 연결한다. 이때 도선을 스트레인 게이지에 직접 연결하면 아주 정교하고 연약

한 게이지 리드선이 떨어질 염려가 있으므로 특수 터미널 연결기를 이용하기도 한다. 터미널 연결기를 이용하지 않을 경우는 도선을 잡아 당겨도 스트레인 게이지가 손상이 가지 않도록 적당한 조치를 취한다.

변형률의 측정은 스트레인 게이지 와이어의 전기저항치 변화를 다음 식에 의하여 변형률로 환산하므로 가능하다.

$$\epsilon = \frac{1}{F} \frac{\Delta R}{R}$$

여기서

ϵ : 변형률

F : 스트레인 게이지 팩터

R : 스트레인 게이지 전기저항

ΔR : 전기 저항의 변화량

보통 스트레인 게이지의 전기저항 R 은 120Ω 의 것이 많이 사용되고 350Ω 의 것도 종종 사용된다. 스트레인 게이지 팩터 F 는 2.0-4.0 정도 되는 것이 많이 사용되는데, 전기저항 R 과 게이지 팩터 F 는 스트레인 게이지의 고유한 상수로서 메이커에 의하여 공급되는 포장지에 명시되어 있다. 사용자는 스트레인 메타에 이들 값을 입력시키면 전기저항의 변화량 ΔR 를 휘스톤 브리지 회로로써 확대 검출하여 변형률로 환산한 값을 디스플레이 한다. 디스플레이 된 변형률은 $\mu\epsilon$ (또는 μs , 10^{-6} 을 의미함)의 단위로 나타낸다.

평면응력상태의 응력을 측정할 때에 하중들의 작용위치와 작용방향 및 피측정체의 기하학적인 형태 등으로 보아서 주응력의 방향을 알 수 있는 경우가 있으나, 일반적으로 주응력의 방향을 전혀 알 수 없는 경우가 대부분이다. 만약 주응력의 방향을 알고 있는 경우라면 평면응력 상태의 두 주응력 σ_1, σ_2 를 구하면 되므로 이들을 구하려면 두개의 정보가 필요하다. 그러므로 보통은 Fig.4-1에 보인 것들과 같은 90도 각도를 가진 2엽 스트레인 로제트(strain rosette)를 사용한다. 각각의 스트레인 게이지의 방향이 주응력 방향과 일치하도록 90도 2엽 스트레인 로제트를 붙이고 각각의 스트레인 게이지로부터 검출된 스트레인을 각각 ϵ_1, ϵ_2 라 하면 주응력 σ_1, σ_2 는

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_1 + \nu\epsilon_2)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_2 + \nu\epsilon_1)$$

이 된다. 여기서 E 는 Young 계수이고 ν 는 뽀아송비이다.

주응력 방향을 모를 때는 두 주응력 σ_1, σ_2 와 주응력의 방향 φ_1 을 구하여야 하므로 세 개의 정보가 필요하다. 그러므로 Fig.4-2와 같은 45도 각도를 가진 3엽 스트레인 로제트나 Fig.4-3과

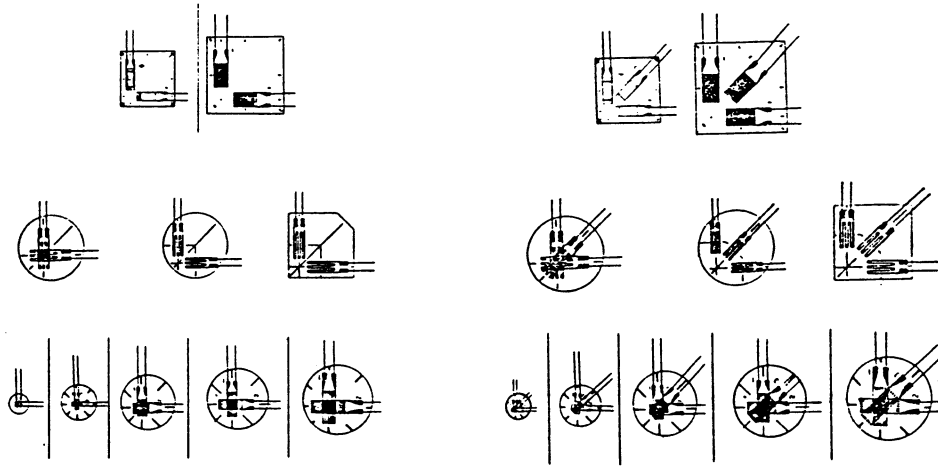


Fig.4-1 Strain rosette with 90 degree angle Fig.4-2 Strain rosette with 45 degree angle

같은 120도 각도를 가진 3엽 스트레인 로제트를 사용한다. 주응력 방향을 모르기 때문에 측정자가 임의로 Fig.4-4와 같이 x-y좌표계를 정한다. 지금 이 좌표계에서 각 좌표축 방향의 선변형률을 ϵ_x , ϵ_y 라 하고 전단 변형률을 γ_{xy} 라 한다. 그러면 x축으로부터 반시계 방향으로 ϕ 만큼 각변위 한 A축 방향의 선변형률 ϵ_a 는 다음과 같이 된다.

$$\epsilon_a = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\phi - \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\phi$$

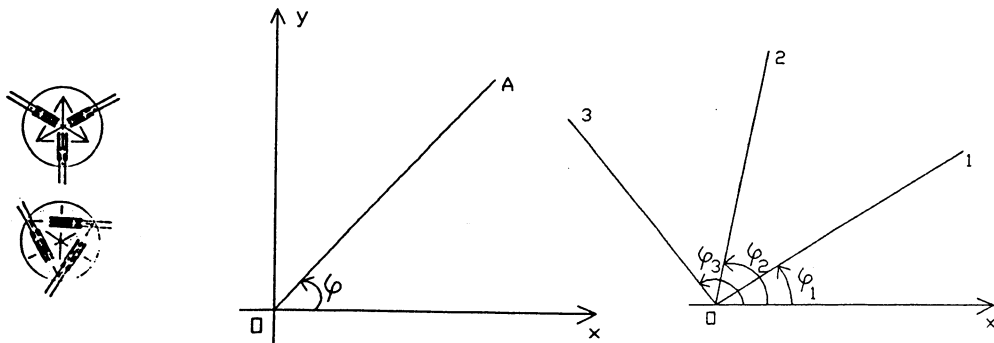


Fig.4-3 Strain rosette with 120 degree angle

Fig.4-4 x-y coordinates system and direction A

Fig.4-5 Angles between x-axis and directions 1,2,3

3엽 스트레인 로제트에 있는 각각의 스트레인 게이지로부터 검출한 3개의 스트레인을 이 식에 각각 대입하므로써 3개의 식을 만들 수 있고, 이 3개의 식을 연립하여 풀므로써 ϵ_x , ϵ_y , γ_{xy} 를 구할 수 있다. 지금 Fig.4-5에 보인 바와 같이 3개의 스트레인 게이지의 방향이 x축과 반시계 방향으로 각각 ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 의 각도를 가진다고 하고, 각각의 스트레인 게이지에 검출된 스트레인이

각종 선박용 가자재의 선급규칙 통과를 위한 실험장치 및 시험기법의 개발

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ 이라 하면

$$\epsilon_1 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\varphi_1 - \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\varphi_1$$

$$\epsilon_2 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\varphi_2 - \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\varphi_2$$

$$\epsilon_3 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\varphi_3 - \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\varphi_3$$

가 되고 이 3식을 연립하여 풀면 $\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$ 를 구할 수 있다.

(1) 45도 스트레인 로제트를 사용할 경우

1번 게이지가 x축 방향이 되도록 스트레인 로제트를 붙이면

$\varphi_1 = 0^\circ, \varphi_2 = 45^\circ, \varphi_3 = 90^\circ$ 가 되므로

$$\epsilon_1 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2}$$

$$\epsilon_2 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} - \frac{\gamma_{xy}}{2}$$

$$\epsilon_3 = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} - \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2}$$

가 되며 이 3식을 연립하여 풀면

$$\epsilon_x = \epsilon_1$$

$$\epsilon_y = \epsilon_3$$

$$\gamma_{xy} = \epsilon_1 + \epsilon_3 - 2\epsilon_2$$

가 된다.

(2) 120도 스트레인 로제트를 사용할 경우

1번 게이지가 x축 방향이 되도록 스트레인 로제트를 붙이면

$\varphi_1 = 0^\circ, \varphi_2 = 120^\circ, \varphi_3 = 240^\circ$ 가 되므로

a : 구멍의 반경

E : 탄성계수

$$r_2 = r_1 + l$$

측정점 O의 응력해석을 위해 2개의 주응력 σ_1 , σ_2 와 주응력의 방향, 도합 3개의 미지수를 구하려면 3개의 스트레인 게이지를 측정점 주위에 붙혀 놓고 측정점 O에 구멍을 뚫어 각각의 스트레인 게이지로부터 검출된 해방스트레인을 식(1)에 대입하여 3개의 식을 만들고 이것을 연립시켜 풀면 3개의 미지수(2개의 주응력과 주응력의 방향)를 구할 수 있는데 이를 보이면 다음과 같다.

Fig.5-2에 보이는 바와 같이 1번 스트레인 게이지의 방향이 σ_1 의 방향과 반시계방향으로 이루는 각을 θ ($-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$)라 하고, 2번 스트레인 게이지의 방향이 1번 스트레인 게이지의 방향으로부터 반시계방향으로 이루는 각도를 α_1 , 3번 스트레인 게이지의 방향이 1번 스트레인 게이지의 방향과 반시계방향으로 이루는 각도를 α_2 라 하고, 측정점 O에 반경 a 의 구멍을 뚫을 때 1번 스트레인 게이지에 검출될 해방스트레인 i_1 은 식(1)에서 $\varphi = \theta$ 를 대입하면 되고, 2번 및 3번 스트레인 게이지에 검출될 해방스트레인 i_2 및 i_3 는 식(1)에서 $\varphi = \theta + \alpha_1$ 및 $\varphi = \theta + \alpha_2$ 를 각각 대입하면 된다.

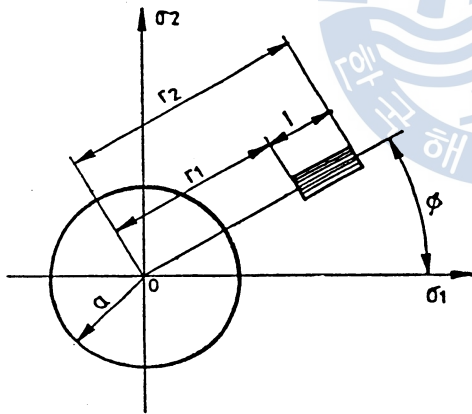


Fig.5-1 Relative situation for strain gage for measuring the relaxation strain in direction ϕ

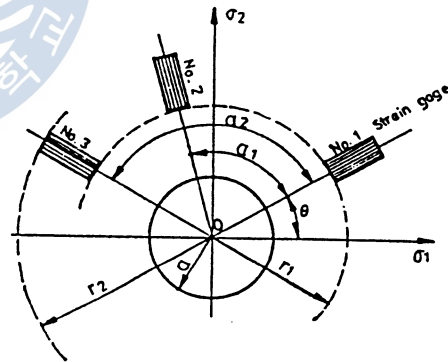


Fig.5-2 Arrangement of strain gages for measuring the stresses at point O (3-gage method)

$$i_1 = \frac{A}{E}(\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{B}{E}(\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\theta$$

$$i_2 = \frac{A}{E}(\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{B}{E}(\sigma_1 - \sigma_2) \cos (2\theta + 2\alpha_1) \dots \dots \dots (2)$$

$$i_3 = \frac{A}{E}(\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{B}{E}(\sigma_1 - \sigma_2) \cos (2\theta + 2\alpha_2)$$

식(2)를 연립시켜 풀면 $\sigma_1, \sigma_2, \theta$ 를 구할 수 있다.

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{(i_1 - i_3) \cos 2\alpha_1 + (i_2 - i_1) \cos 2\alpha_2 + (i_3 - i_2)}{(i_1 - i_3) \sin 2\alpha_1 + (i_2 - i_1) \sin 2\alpha_2} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$$-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$$

식(3)에서 주응력의 방향 θ 는 어떠한 경우이든지 유일하게 결정된다. 주응력 σ_1, σ_2 를 구하면 다음과 같다.

$$\sigma_1 = \frac{EBi_1(\cos 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_1 \tan 2\theta) - EBi_2 + AE(i_2 - i_1) \sec 2\theta}{2AB(\cos 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_1 \tan 2\theta - 1)} \dots\dots(4)$$

$$\sigma_2 = \frac{EBi_1(\cos 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_1 \tan 2\theta) - EBi_2 - AE(i_2 - i_1) \sec 2\theta}{2AB(\cos 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_1 \tan 2\theta - 1)} \dots\dots(5)$$

여기서 한가지 주의할 점은 α_1, α_2 가 다 같이 $n \cdot 90^\circ$ (n 은 정수)가 되어서는 안 된다. 왜냐하면 식(3)에서 알 수 있는 바와 같이 α_1, α_2 가 다 같이 $n \cdot 90^\circ$ 가 되면 θ 를 결정할 수 없기 때문이다(不能). 만약 $i_1 = i_2 = i_3 = i$ 이면 식(3)의 대괄호 안이 不定이 되고 θ 는 무수히 많게 된다. 즉 모든 방향이 주응력방향이 되고 이때의 주응력은 다음과 같다.

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{Ei}{2} \dots\dots\dots (6)$$

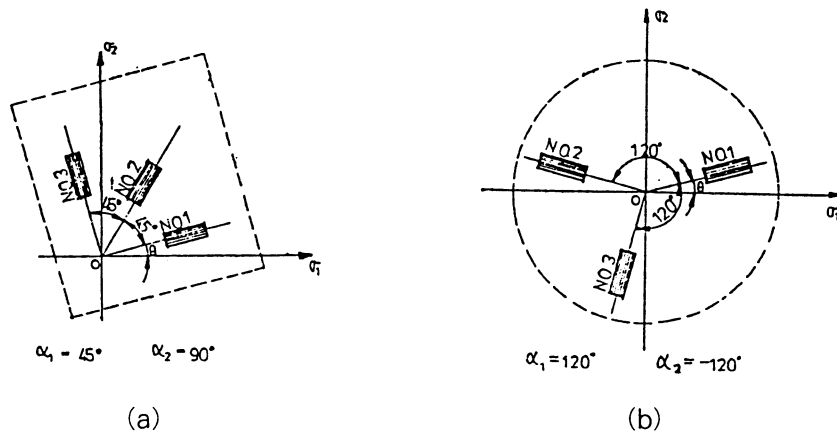


Fig.5-3 Strain rosettes

특별히 $\alpha_1 = 45^\circ, \alpha_2 = 90^\circ$ 이면 Fig.5-3 (a)에 보이는 바와 같은 스트레인로제트가 되고, 이 때의 $\theta, \sigma_1, \sigma_2$ 는 다음과 같다.

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{i_1 + i_3 - 2i_2}{i_1 - i_3} \dots\dots\dots (7)$$

$$-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$$

$$\sigma_1 = \frac{EBi_1 \tan 2\theta + EBi_2 - AE(i_2 - i_1) \sec 2\theta}{2AB(1 + \tan 2\theta)} \dots\dots\dots (8)$$

$$\sigma_2 = \frac{EBi_1 \tan 2\theta + EBi_2 + AE(i_2 - i_1) \sec 2\theta}{2AB(1 + \tan 2\theta)} \dots\dots\dots (9)$$

또한 Fig.5-3 (b)에 보이는 바와 같은 스트레인으로젝트에서는 $\alpha_1 = 120^\circ$, $\alpha_2 = -120^\circ$ 가 되며, 이 때의 θ , σ_1 , σ_2 는 다음과 같다.

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\sqrt{3}(i_2 - i_3)}{(2i_1 - i_2 - i_3)} \dots\dots\dots (10)$$

$$-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$$

$$\sigma_1 = \frac{EBi_1(\sqrt{3} \tan 2\theta - 1) - 2EBi_2 + 2AE(i_2 - i_1) \sec 2\theta}{2AB(\sqrt{3} \tan 2\theta - 3)} \dots\dots\dots (11)$$

$$\sigma_2 = \frac{EBi_1(\sqrt{3} \tan 2\theta - 1) - 2EBi_2 - 2AE(i_2 - i_1) \sec 2\theta}{2AB(\sqrt{3} \tan 2\theta - 3)} \dots\dots\dots (12)$$

6. 프로펠러주물의 피로시험

(1) 목적 및 범위

S-N시험법은 적당한 갯수의 시험편을 이용하여 S-N곡선의 경사부, 수평부 모두 같은 정도의 精度로 파괴확률 P=50%에 상당하는 S-N곡선을 구하는 것을 목적으로 한다. 또한, 이 기준에서는 약15개 전후의 시험편을 이용하여 파괴확률 50%에 상당하는 S-N곡선을 구하는 시험법을 기본으로 하고 있다.

(2) 정의

- 1) 14 S-N시험법 : S-N곡선의 경사부에 4개의 응력단계에, 각 2개씩 8개, 수평부에 6개, 합계 최저 14개의 시험편을 이용하는 S-N시험법을 일컫는다.

- 2) S-N곡선의 경사부 : S-N곡선의 유한 수명영역을 말하며, $N=5 \times 10^4 \sim 1 \times 10^7$ 의 범위에서 곡선이 수평으로 되기 시작하기까지의 S-N곡선을 일컫는다.
- 3) S-N곡선의 수평부 : S-곡선이 수평으로 되어 있는 피로한도영역의 부분을 일컫는다. S-N곡선이 수평으로 되기 시작하는 반복수는 $N_{cr}=1 \times 10^7$ 회 이하의 경우가 많은 데, $N_{cr} \geq 1 \times 10^7$ 로 되는 경우에는 $N \geq 1 \times 10^7$ 회의 영역을 수평부라 일컫는다.
- 4) 미파단 : S-N시험에 있어서는 시험은 모두 $N=1 \times 10^7$ 회에서 종료하는 것으로 하고, 미파단이라고 하는 것은 $N_{cr}=1 \times 10^7$ 회까지에 파단하지 않았다는 것을 말한다.

(3) 14 S-N시험법

1) 시험편의 준비

시험편은 S-N곡선의 경사부를 결정하기 위해서 Fig.6-1에 나타내는 것과 같이 4곳의 응력단계에 각 2개씩 합계 8개, 수평부를 결정하기 위해서 6개의 시험편을 이용한 소표본 Stair case법을 적용하기 때문에, 적어도 14개의 시험편이 필요하다. 단, 실제로는 항상 Fig.6-1과 같이 시험이 진행된다고는 할 수 없고, 14개를 넘는 시험편이 필요하게 되는 경우가 있기 때문에, 시험편의 준비에 있어서는 약간의 여유를 생각해 두지 않으면 안된다.

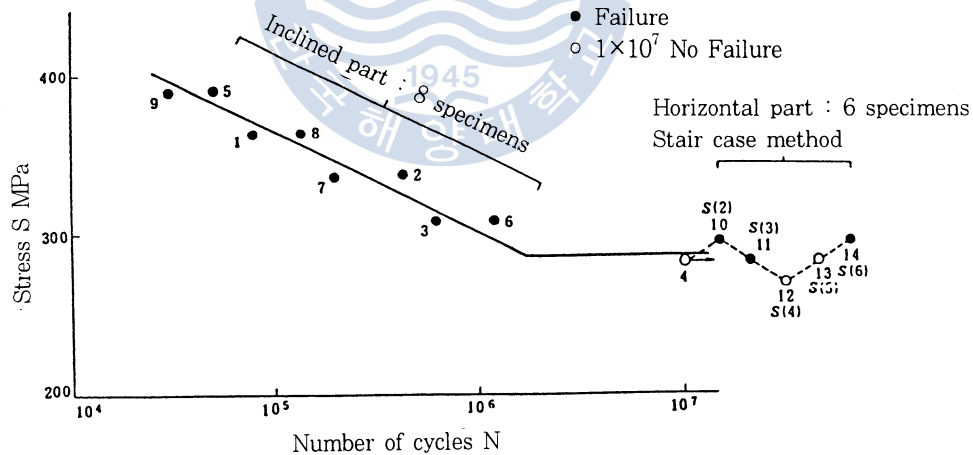


Fig.6-1 A basic pattern of S-N curve testing method

2) 시험의 순서

시험의 순서를 나타내면 Fig.6-2와 같다.

(4) S-N곡선 경사부의 시험법

- 1) 동종의 재료, 동종의 시험편 형상, 동종의 부하형식에 대한 기존의 데이터를 참조하여 공시시

- 험편의 $N=5 \times 10^4$ 및 $N=1 \times 10^6$ 회에 있어서 시간강도 S_A, S_B 를 예상한다.
- 2) $d_1 \equiv (S_A - S_B)/3$ 을 구하고, 이 d_1 를 경사부의 시험응력간격의 초기 설정응력치로 하며, $S_0 \equiv S_A - d_1$, $S_i \equiv S_0 + id_1$ ($i = \pm 1, \pm 2, \dots$)를 시험응력단계의 초기설정치로 한다.
 - 3) 응력단계 $S_0 \equiv S_A - d_1$ 에서 최초의 1개를 시험한다.
 - 4) 최초의 미파단 데이터가 생기기까지 응력단계를 d_1 씩 낮추어 가면서 $S_{-1} \equiv S_0 - d_1$, $S_{-2} \equiv S_{-1} - d_1, \dots$ 의 순서로 1개씩 시험한다.
 - 5) 미파단 데이터가 생긴 응력단계에 인접하는 상위 4개의 응력단계중 아직 파단데이터가 얻어지지 않은 응력단계에서 1개씩 시험하고, 이러한 4개의 응력단계에서 파단데이터를 1개씩 얻도록 한다.
 - 6) 미파단 데이터가 생긴 응력단계에 인접하는 상위 응력단계에서 파단데이터가 합계 8개가 얻어지기까지 이러한 응력단계가 낮은쪽에서부터 순차적으로 2개씩의 시험을 행한다.
 - 7) 얻어진 8개의 파단데이터를 편대수($S, \log N$) 또는 양대수($\log S, \log N$)로 정리하여 S-N선도를 구한다.
 - 8) 편대수좌표로 S-N데이터를 정리한 경우에는 파괴확률 50%의 S-N곡선의 경사부 및 표준편차는 다음식에 의해 구한다.

S-N곡선 경사부의 회귀직선

$$\log N = \hat{\alpha}_1 + \hat{\beta}_1 S$$

여기서 $\hat{\alpha}_1 = \overline{\log N} - \hat{\beta}_1 \bar{S}$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^8 (S_i - \bar{S})(\log N_i - \overline{\log N})}{\sum_{i=1}^8 (S_i - \bar{S})^2}$$

$$\overline{\log N} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \log N_i$$

$$\bar{S} = \sum_{i=1}^8 S_i$$

파단수명의 대수의 표준편차 $\sigma(\log N)$ 의 추정치

$$\hat{\sigma}(\log N) = \left[\frac{1}{6} = \sum_{i=1}^8 \{ \log N_i - (\hat{\alpha}_1 + \hat{\beta}_1 S_i) \}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

시간강도의 표준편차 $\sigma(S)$ 의 추정치

$$\hat{\sigma}(S) = \frac{1}{|\hat{\beta}_1|} \hat{\sigma}(\log N)$$

각종 선박용 가자재의 선급규칙 통과를 위한 실험장치 및 시험기법의 개발

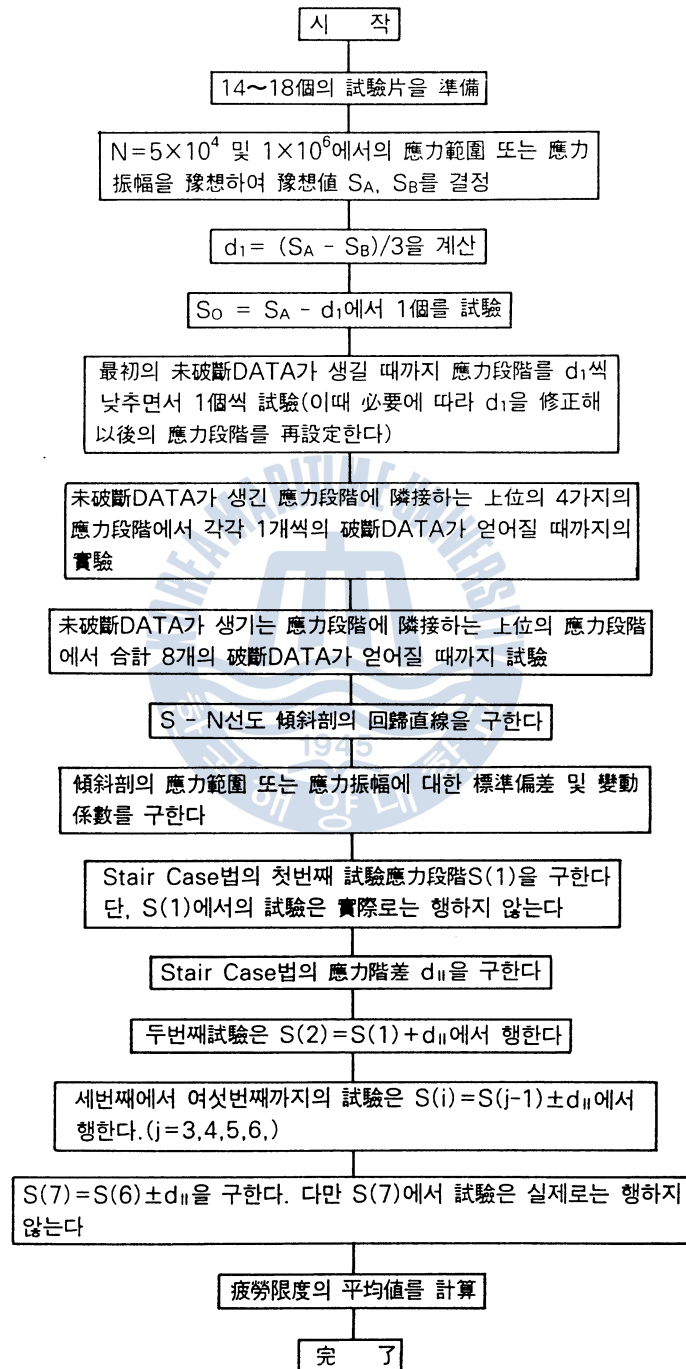


Fig.6-2 Fatigue testing procedure

양대수좌표로 S-N데이터를 정리한 경우에는 파괴확률 50%의 S-N곡선의 경사부 및 표준편차, 변동계수는 다음식에 의해 구한다.

S-N 곡선 경사부의 회귀직선

$$\log N = \widehat{\alpha}_2 + \widehat{\beta}_2 \log S$$

여기서 $\widehat{\alpha}_2 = \overline{\log N} - \widehat{\beta}_2 \overline{\log S}$

$$\widehat{\beta}_2 = \frac{\sum_{i=1}^8 (\log S_i - \overline{\log S})(\log N_i - \overline{\log N})}{\sum_{i=1}^8 (\log S_i - \overline{\log S})^2}$$

$$\overline{\log N} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \log N_i$$

$$\overline{\log S} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \log S_i$$

파단수명의 대수표준편차 $\sigma(\log N)$ 의 추정치

$$\widehat{\sigma}(\log N) = \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^8 \{ \log N_i - (\widehat{\alpha}_2 + \widehat{\beta}_2 \log S_i) \}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

시간강도의 대수표준편차 $\sigma(\log S)$ 의 추정치

$$\widehat{\sigma}(\log S) = \frac{1}{|\widehat{\beta}_2|} \widehat{\sigma}(\log N)$$

시간강도의 변동계수 $\eta(S)$ 의 추정치

$$\widehat{\eta}(S) = \left[\exp \left\{ 5.302 \frac{\widehat{\sigma}^2(\log N)}{\widehat{\beta}_2^2} \right\} - 1 \right]^{\frac{1}{2}}$$

(5) 피로한도 또는 $N=1 \times 10^7$ 회에 있어서 시간강도 시험법

- 1) 피로한도 또는 $N=1 \times 10^7$ 회에 있어서 시간강도의 추정은 소수표본에 의한 Stair case법은 이용한다.
- 2) Stair case법에 의한 1개체의 시험응력단계를 S(1)으로 하며 (4) 1)~6)의 시험에 의해 파 단데이터가 1개도 생기지 않은 응력단계(해당하는 응력단계가 1개 이상 있을 때는 그 중의 가장 높은 응력단계)를 취한다. 단 (4) 1)~6)의 시험에 의해 이미 S(1)에서 1개의 미파단 데이터가 얻어져 있기 때문에 이것을 가지고 Stair case법에 의한 1개체의 시험결과로 간주 하고, S(1)에서 새로이 시험은 행하지 않는다.
- 3) Stair case법의 응력계차 d_{II} 를 다음과 같이 결정한다.

시간강도의 표준편차의 추정치 $\overline{\sigma}(S)$ 가 구해져 있는 경우(4.8)

$$d_{II} = \sigma(S)$$

시간강도의 변동계수의 추정치 $\hat{\eta}(S)$ 가 구해져 있는 경우(4.,9))

$$d_{II} = S(1) \times \hat{\eta}(S)$$

4) 2개째의 시험을 $S(2)=S(1)+d_{II}$ 에서 행한다.

5) 3개째~6개째의 시험을

$$S(j)=S(j-1) \pm d_{II}, \quad j=3,4,5,6$$

에서 행한다. 복호는 j-1개째가 파단한 경우에는 負号, 파단하지 않는 경우에는 正号를 취한다.

6) 7개째의 시험응력단계

$$S(7)=S(6) \pm d_{II}$$

을 구한다. 복호는 S(6)에서 파단한 경우에는 負号, 파단하지 않는 경우에는 正号를 취한다. 단, 7개째의 시험은 실제로는 행하지 않는다.

7) 파괴확률 50%의 피로한도 S_w (또는 $N=1 \times 10^7$ 회에 있어서 파괴확률 50%의 시간강도)를 다음식으로 부터 추정한다.

$$\hat{S}_w = \frac{1}{6} \sum_{j=2}^7 S(j)$$

7. 결론

이상에서 선박용 기자재의 몇 가지 아이টে에 대한 성능과 특성의 시험기법과 실험장치를 제시하였는데, 이들 시험기법은 시대가 바뀌어 선박의 기능이 현대화 첨단화 되어도 그대로 적용할 수 밖에 없을 것이 예상되는 것들 만을 주로 다루었다. 여기에서 제시하지 못한 선박용 기자재의 시험기법과 실험장치에 대하여도 계속하여 개발되어야 하고 선급의 규칙에 포함되어야 할 것이다. 설령 선급의 규칙에는 포함되지 않더라도 보편화된 시험기법이 제시되고 제품의 생산자가 비교적 손쉽게 이용하여 선급으로 부터 제품의 성능을 공인받을 수 있어야 조선소에 납품하는 일이 순조롭게 이루어질 수 있고 조선용 기자재의 국산화율을 제고할 수 있을 것이다.

국내에 선박용 기자재의 시험기법과 실험장치가 보편화되면 이 기자재의 국산화율이 제고될 뿐만 아니라 국내의 계측산업과 센서산업이 발달하는 부수적인 효과도 거두게 될 것이며, 이의 파급효과는 여타의 육상 제조업에도 미치게 될 것이다. 따라서 아이টে 수가 방대한 조선용 기자재의 성능과 특성의 시험기법과 이 기법에 알맞는 실험장치의 개발은 모든 아이টে에 대하여 철저하고 장기적으로 차분히 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 전효중, 선박동력전달장치, 태화출판사, 1986
- 2) 한국박용기관학회 기관관리연구위원회, 선박기관의 안전 및 보수관리, 태화출판사, 1986
- 3) 왕지석, 김동철, 천공법에 의한 잔류응력 측정방법의 개선에 관한 연구, 한국박용기관학회지, 제7권, 제2호, 1983
- 4) 전효중, 기계역학, 태화출판사, 1979
- 5) J. L. Meriam, DYNAMICS 2nd edition, Jhon Wiley & Sons, Inc., 1975
- 6) 김영식, 최신기계재료학, 형설출판사, 1993
- 7) GEORGE E. DIETER, MECHANICAL METALLURGY 2nd edition, McGRAW-HILL, 1976
- 8) 西谷弘信, 疲勞強度學, 總合材料強度學 講座 編纂委員會, 1984
- 9) 川田雄一, 金屬の疲勞と設計, オーム社, 1982
- 10) 中澤一, 金屬材料試驗マニュアル, 日本規格協會, 1987

