

3. 선박용 압축공기 탱크의 피로파괴 안전성에 관한 연구

기관시스템공학과 안재형
지도교수 김종호

1. 서론

선박에서 압축공기 탱크는 주기관, 보일러 및 보조기계 등과 같은 기관장치의 시동 및 제어에 필요한 압축공기를 저장하는 데에 사용되는 장치로서 통상 선박 기관실에 설치된다. 선박과 기관장치의 안전에 관련된 여러 규정에 의하면 선박이 시동용 압축공기의 상실로 인하여 기관장치가 작동되지 않는 상태에 놓이게 되면 이를 데드 쉽(Dead ship) 상태로 정의하고 있다. 또 데드 쉽 상태의 선박은 외부로부터 아무런 도움 없이 선박 내에 설치된 공기압축기만을 사용하여 시동용 압축공기를 충전할 수 있는 능력을 갖추도록 규정하고 있다. 따라서 주기관의 시동에 압축공기를 필요로 하는 선박에서 압축공기 탱크는 기관장치의 신뢰성 뿐만 아니라 선박의 감항성(Sea worthiness)에도 영향을 미치는 중요한 기관장치로 취급되고 있다.

본 연구의 목적은 선급 규칙에 따라 제작된 선박용 압축공기 탱크의 피로파괴 안전성을 선형누적손상계수를 사용하여 정량적으로 평가하고 그 결과를 설계의 최적화에 반영하는 데에 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 한국해양대학교 실습선의 주 압축공기 탱크를 모델로 선정하여 항해 중 이 탱크의 내부압력의 변화를 계측하고 이것을 기준으로 이 탱크의 예상 설계수명 동안 발생하는 변동응력의 사이클 수를 통계적으로 추정하였다.

다음으로는 선박용 압축공기 탱크의 재료로 널리 사용되는 압력용기용 강판(SPPV235)의 피로강도에 대한 다른 연구결과를 수집하고 이를 분석하였다. 이 결과의 통계적 처리를 통하여 응력집중계수, 응력비 등이 피로강도에 미치는 영향을 반영한 파손확률 90%의 피로 강도식을 제안하였다.

또한 선박용 압축공기 탱크의 운전 중에 발생하는 최대응력과 최소응력을 구하기 위하여 탱크 및 그 용접부에 대한 이론적 해석 및 유한요소 해석을 함께 수행하였다.

끝으로 본 연구에서 제안한 파손확률 90%의 피로 강도식을 기준으로 선박용 압축공기 탱크의 선형누적손상계수를 평가하고 그 결과를 고찰하였다.

2. 압축공기 탱크의 피로파괴 안전성 평가

2.1 평가모델

본 연구에서는 한국 해양대학교 실습선인 한나라호의 주 압축공기탱크를 피로파괴 평가

모델로 채택하였다. 한나라호의 기관실에는 2기의 주 압축공기 탱크와 3대의 공기압축기가 설치되어 있다. 공기압축기는 탱크 내의 압력이 25 bar에 도달하면 자동으로 기동되어 공기를 충전시키며 탱크 내의 압력이 28 bar에 이르면 자동으로 정지된다.

2.2 재료의 화학적, 기계적 성질

본 연구의 평가모델인 한나라호의 압축공기 탱크의 강판 재료인 SPPV 235는 지난 수십 년 동안 육·해상에서 압축공기 탱크용 재료로 사용되고 있는 것으로 여러 국내외 규격에 등재되어 있다.

2.3 변동응력의 사이클 수 평가

본 연구에서는 한국해양대학교 실습선인 한나라호의 2004년도 상반기 원양실습 기간 중 공기압축기 자동 기동 및 자동 정지 회수를 조사하고 그 결과의 통계적 처리를 통하여 한나라호의 공기압축기는 항해기간 23일 동안 총 364회 자동 운전되었고, 4 시간당 평균 2.82회 운전되었다는 것을 알 수 있다.

2.4 용접부의 응력집중계수

본 연구에서는 한나라호 압축공기 탱크에서 가장 큰 응력집중이 유발되는 용접부에 대한 유한요소해석을 통하여 응력집중계수를 구하였다. 유한요소해석을 위한 용접부의 모델링은 한나라호 압축공기 탱크의 실제 용접부 형상을 실리콘으로 본을 뜨고 이것을 스캐닝하여 그 치수를 구하여 완성하였다. 또 유한요소해석은 2차원 4절점 Plane82 요소를 사용하였고 요소(Element) 수는 최소화하여 191개로 하였다.

2.5 압력용기용 강판의 피로강도

전술한 바와 같이 본 연구의 대상인 선박용 압축공기 탱크는 그 응력비 R 이 0.89의 조건으로 반복하는 응력을 받는 조건으로 운전되는 것을 고려하여 이 탱크 용접부에 대한 선형 누적손상계수를 계산하는 데에 사용하는 N_i 를 다음과 같이 수정하였다.

$$N_i = 1.153 \times 10^{23} (S_a K_f K_r)^{-7.02096} \dots\dots\dots (2.1)$$

단, S_a 는 $R=-1$ 일 때 응력진폭이고,

K_f 는 응력집중(K_t)으로 인한 피로강도감도계수로 $K_f = 0.78 K_t + 0.22$ 이고,

K_r 은 응력비 R 에 대한 보정계수로 $K_r = (1.3 - 0.7R)/(1 - R)$ 이다.

2.6 선형누적손상계수의 평가

전술한 결과를 기준으로 본 연구의 대상인 한국해양대학교 실습선 한나라호의 압축공기 탱크의 설계수명 20년으로 가정하고 이 탱크의 취약부인 용접부에 대한 선형누적손상계수 (C_w)를 계산하면 8.43×10^{-7} 정도로 매우 낮은 값이다.

3. 결론

본 연구에서는 선급규칙에 따라 제작된 선박용 압축공기 탱크에 대한 피로파괴 안전성을 정량적으로 평가할 목적으로 한국해양대학교 실습선 한나라호의 압축공기탱크를 평가모델로 채택하고 그 용접부에 대한 변동응력의 발현 빈도, 응력 해석, 선형누적손상계수의 계산 등을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구의 대상인 한국해양대학교 실습선 한나라호 압축공기탱크에 20년 동안 발생하는 변동응력의 사이클 수를 90% 신뢰한계로 평가하면 1.28×10^5 회라고 추정할 수 있다.
- 2) 선박용 압축공기 탱크의 재료로 널리 사용되는 압력용기용 강판(SPPV235)의 피로강도에 대한 통계적 처리를 통하여 응력집중계수, 응력비 등이 피로강도에 미치는 영향을 반영한 파손확률 90%의 피로 강도식을 제안하였다. 이 식은 선박용 압축공기 탱크에 대한 규정의 제정, 설계 등에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.
- 3) 선박용 압축공기탱크의 운전 중에 발생하는 평균응력과 응력진폭을 정량적으로 평가하여 위하여 탱크 및 그 용접부에 대한 유한요소 해석 및 이론적 해석을 함께 수행하였다.
- 4) 본 연구의 모델인 한국해양대학교 실습선 한나라호 주 압축공기 탱크에 대하여 20년 동안의 선형누적손상계수를 평가한 결과 해당 탱크에는 설계수명 동안 피로균열이 발생하지 않는다는 것을 추정할 수 있다.

4. Mg 합금소재에 이온플레이팅한 Zn 박막의 전기화학적 특성

기관시스템공학과 김 영 종
지도교수 이 명 훈

최근 인류는 사회가 성숙되고, 인구가 증가함에 따라, 사용가능한 에너지자원의 고갈로 인