

선박 밸러스트 탱크 유입수 필터링 시스템 설계 및 구조해석

윤상국† · 박병근*

(원고접수일 : 2008년 12월 18일, 원고수정일 : 2009년 2월 18일, 심사완료일 : 2009년 3월 16일)

Filtering System Design and Structural Analysis for Intake Water of Ship's Ballast Tank

Sangkook Yun† · Byung-geun Park*

Abstract : As current international guideline and IMO regulation give severe restrictions for ships to manage ballast water to reduce unintentional organism transfers, several ballast water treatment systems recently have been being developed together with filtration. That is because discharging ballast water from ships causes many pollutions by foreign biological invasive species. The primary treatment system being considered in this study was based on fine screen filtration technology applied to ballast water filter in ballast tank in order to reduce the load of ballast water treatment system. New ballast water filtration system was invented and analysed. The structural stress and strain analysis for ballast filtration systems which are current and invented filters were carried out using UGS and Ansys. The results showed that the structure of current filtering module was not designed to meet the requirement of sea water filtration during ballasting operation. The studies also showed that the invented design of filtration system equipped with back washing and automatic scrapper for eliminating cake of bio-species might be a potentially effective technology for ballast water management of ship's ballast tank.

Key words : Ballast water treatment(밸러스트 수처리), Ballast tank(밸러스트 탱크), Filter(필터), Structural stress(구조 응력), Structural strain(구조 변형), Bio-species scrapper(미생물 제거기)

1. 서 론

최근 미국과 유럽의 일부국가에서 선박의 밸러스트수 방출에 의한 연안의 생태계 변화와 오염을 막기 위한 조치가 강구되고 있다. 국제해사기구

(IMO)의 2004년 밸러스트수 처리규정을 보면 공해상에서 밸러스트수를 교환하거나 밸러스트수 처리 시스템을 사용하도록 규정하고 있다. 대양에서의 밸러스트수 교환방법은 선박의 안전에 위험을 초래할 수 있어, 수처리 시스템의 장착이 필수적

† 교신저자(한국해양대학교 기계정보공학부, E-mail : skyun@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4363)

* 고려유타 사장

인 것으로 판단되고 있다. 2009년부터 적용되는 수처리 기준으로는 1m³의 용량 안에 50μm 이상의 모든 유기체가 10개 이하가 되어야 하며, 수 배출 시 주입 샘플과 비교하여 85%를 제거 또는 사멸할 수 있는 장치를 조건으로 하고 있다. 미국의 경우를 보면 2007년 1월부터 뉴욕항과 미시건주는 입항하는 모든 선박에 밸러스트수 처리 규정을 적용하고 있으며 이를 어길 시에는 벌금을 부과하고 있고, 캘리포니아주는 2020년까지 미생물 검출이 완전 zero가 되도록 규정하고 있는 실정이다^{[1],[2]}.

밸러스트수를 처리할 수 있는 기술로는 1) UV 살균장치, 2) hypochlorite 화학제, 3) 오존처리, 4) 전기분해 등과 같은 물리 화학적인 처리장치가 있으며 선진국은 대형 선박을 중심으로 적용하는 사례가 증가하고 있다. 우리나라도 세계 제일의 조선대국으로서 밸러스트수 처리공정에 대한 다수 기업들이 기술개발에 적극적으로 뛰어들고 있는 상황이다. 현재 진행 중인 밸러스트수에 관한 국제조약이 본격 발효되면 현존선과 신조선의 구분이 없이 모든 국제항해에 종사하는 선박에 밸러스트수 처리 장치를 장착하여야 하기 때문에 협약비준의 초기에 폭발적인 수요가 있을 것으로 예측된다.

따라서 현재 국내의 기업들은 해양생태계에 영향을 주는 밸러스트수의 해양생물을 보다 효율적으로 살균하기 위한 방법으로 상기한 방법 중 오존처리와 전기분해 방법의 개발을 적극 추진하고 있다.

밸러스트수에 포함된 물질을 보면 고형물(Sediments), 진흙, 플랑크톤 규모의 생물체 그리고 극미세 미생물들이 있다. 밸러스트수의 처리 공정들은 플랑크톤 및 극미세 미생물의 살균처리 공정으로써 크기가 큰 생물체의 혼입은 처리 효율을 크게 저하시키게 된다. 그러므로 전술한 모든 밸러스트수 처리공정에는 이물질과 일정 규모의 생명체 제거를 위한 필수 여과(Filtration) 전처리 시스템이 필요하게 된다. 예를 들어 미생물의 제거에는 UV 처리가 매우 효과적인 방법으로 제시되고 있으나 부유물이 존재하게 되면 처리 효율이 격감하게 되어 여과가 필수적으로 필요하게 된다. 또한 수처리 후에는 필터에 의한 살균된 미생물의 제거가 필수적으로 필요하다^{[3]~[7]}.

본 연구는 해수가 처음 유입되는 밸러스트 탱크용 필터로 미생물을 사전 제거할 수 있는 고밀도 필터를 적용한 필터링 시스템을 개발하고자 한다. 이는 수처리 전에 미리 미생물을 제거함으로써 수처리 장치의 부하를 크게 경감시키게 되고 수처리 장치의 효율을 크게 높이는 효과를 제공하는 것이다.

선박의 밸러스트 탱크 입구측에 미생물을 제거하는 필터 시스템을 개발하기 위하여 기존의 필터의 구조를 획기적으로 개선하고자 하였으며 이에 따른 필터구조의 용력을 해석하여 그의 적용 가능성을 판단하고자 하였다.

2. 밸러스트수 필터의 구조

Fig. 1(a)는 기존 밸러스트수 탱크용 필터를 보여준다. 필터 크기는 다수의 6mm 구경이 형성되어 있어 주로 크기가 큰 고형물의 제거 기능을 수행하고 있다. 소형 미생물의 제거에는 50μ~200μ의 필터가 사용되는데, 미세한 구경의 특성으로 인하여 주기적으로 축적된 미생물 덩어리(Cake)의 제거가 필수적으로 요구되어 진다. 기존 제품인 (a)는 이러한 미생물의 제거가 불가능한 구조임을 알 수 있다. Fig. 1(b)는 필터링 면적을 크게 향상시키고 미생물 제거가 원활히 될 수 있도록 고안한 필터 모듈이다.

Fig. 2는 Fig. 1(b)의 필터를 적용한 밸러스트수 필터 유닛 제품이며, 우측 그림은 UGS



(a) current filter (b) invented filter

Fig. 1 Filter module for ballast water

NX4를 이용한 유니트 내부를 투시한 모델을 보여 준다. 내부탱크에 충전된 필터 모듈의 운영상의 문제점을 분석하기 위하여 응력 해석은 유한요소 해석 프로그램인 Ansys 11을 이용하였다. Table 1은 필터 재료인 SUS316의 물성치이다. Fig. 3은 응력과 변형 해석을 위한 필터 모듈부의 격자 형상을 보여준다.

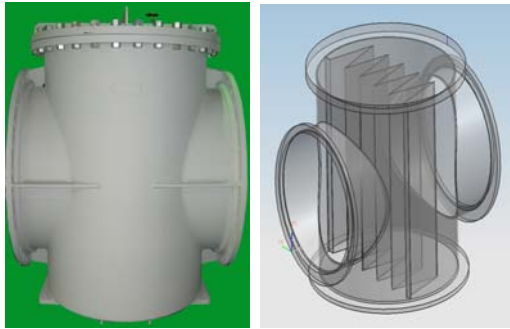


Fig. 2 Unit and modelling of ballast water filter

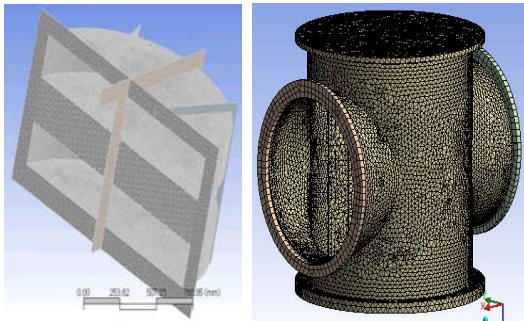


Fig. 3 Mesh generation for stress and strain analysis

3. 해석결과 및 고찰

3.1 기존 밸러스트수 필터 해석

Fig. 4는 기존 필터모듈의 응력해석의 결과이다. 모듈의 구조가 동일하기 때문에 3단만을 해석 대상으로 하였으며 하부는 변위가 발생하는 것으로 경계조건을 적용하였다. 필터면은 해석 컴퓨터의 용량의 한계로 필터면의 구경은 없는 것으로 하여 비교하였으며, 입구측 해수의 주입 압력은 0.01MPa

를 적용하였다. 해석결과 전체적으로 고른 응력 분포를 볼 수 있으나 최대 응력지점은 지지대가 부착된 지점으로 274.8MPa이 되었다.

Table 1 Material properties of filter

Items	SUS316
Coefficients of thermal expansion	$35 \times 10^{-5} \sim 307 \times 10^{-5}$
Elastic modulus	195,000 MPa
Poisson's ratios	0.28
Density(kg/mm ³)	$7850e^{-9}$

SUS316의 허용 응력값은 280MPa으로 이에 근접하고 있다. 또한 Fig. 5의 변형 해석 결과를 보면 바닥 부위의 필터에 응력이 크게 작용함을 알 수 있고 최대 변형 값은 9.5mm의 큰 값이 되었다.

Fig. 6은 본 고안에 의한 필터 응력 해석을 위한 경계조건이다. 본 필터는 좌우 상하 대칭으로 전체의 1/4을 해석 대상으로 하였으며, 절단된 부위 우측과 하부는 고정이 아니고 변위가 발생하는 것으로 경계조건을 적용하였다. Fig. 7은 응력값을 보여준다. 해수 주입 적용 압력은 구경이 없기 때문에 기존 필터와 마찬가지로 0.01MPa를 적용하여 해석하였다. Fig. 7에서 최대 응력부위는 중앙 필터부로 171.6MPa이 되었다. Fig. 8은 변형 값으로 중앙 필터부가 4.52mm의 최대값을 보였다. 즉, 본 고안에 의한 필터의 구조는 기존 해수 밸러스트 필터보다 구조적으로 안정됨을 알 수 있다.

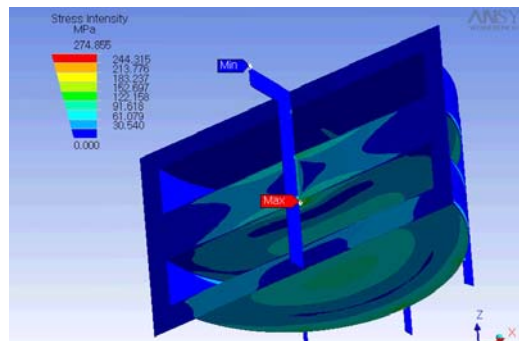


Fig. 4 Stress distribution of current filter

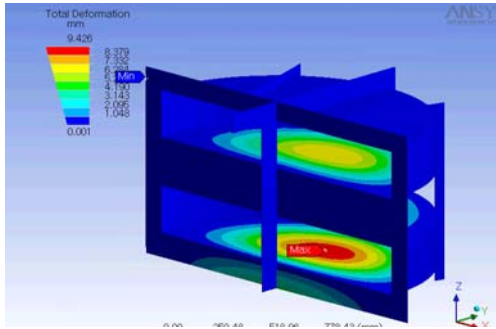


Fig. 5 Strain distribution of current filter

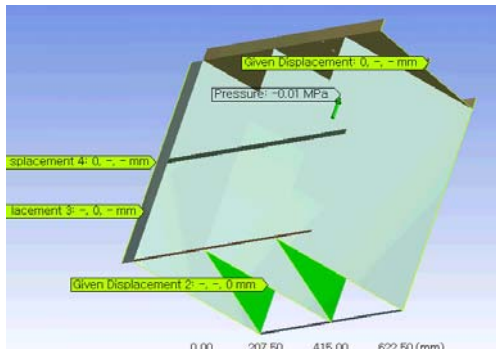


Fig. 6 Boundary condition of invented filter

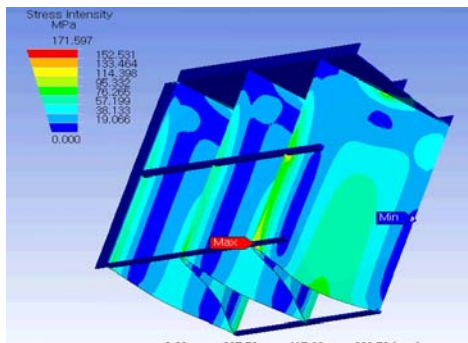


Fig. 7 Stress distribution of invented filter

Fig. 9는 단위 필터면 부위별 응력을 보다 정밀하게 분석하기 위하여 Fig. 9(a)의 최 우측 필터상부와 중간부위를 Fig. 9(b)와 같이 6mm구경을 적용하여 모델링 하였으며 적용압력은 설계압력인 7kg/cm^2 를 적용하였다. Fig. 10~Fig. 12는 필터상부의 응력과 변형 해석 결과로 최대응력 값은 각각 138.3MPa , 변형값은 2.2mm 이었다. Fig. 11은 Fig. 10의 면 중 응력이 최대로 발생하는 부

위의 확대 그림이다. Fig. 13과 14는 필터 중간부의 해석결과로 최대응력 값은 220.4MPa , 최대 변형은 5.9mm 가 되었다. 이는 한계 허용치 내의 값으로 해수 발라스트수 필터링 구조로 적절함을 알 수 있다.

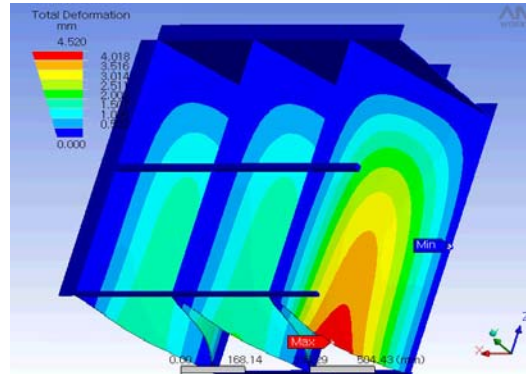


Fig. 8 Strain distribution of invented filter

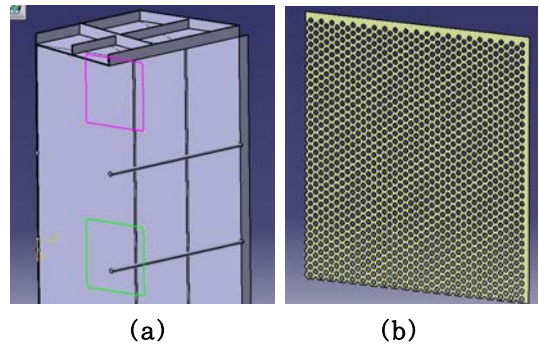


Fig. 9 Filter segments for sectional stress and strain analysis

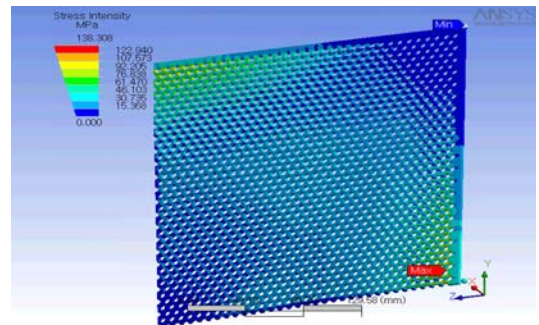


Fig. 10 Sectional stress distribution of upper part of filter face

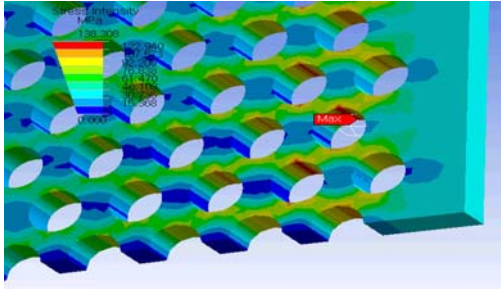


Fig. 11 Stress distribution of enlarged part of Fig. 10

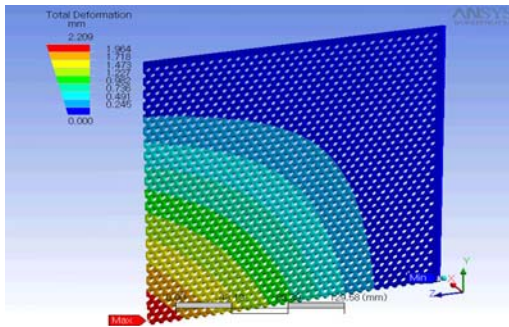


Fig. 12 Sectional strain distribution of upper part of filter face

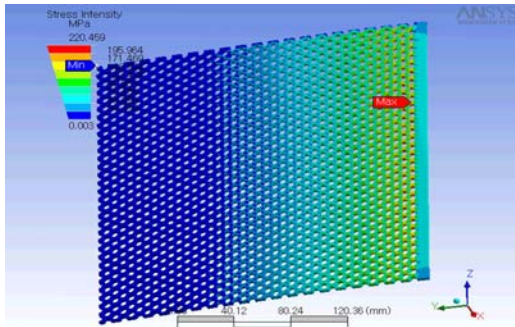


Fig. 13 Sectional stress distribution of lower part of filter face

경 6mm 필터 대신에 아주 미세한 180 μ m의 필터를 적용한다. 필터 면에 축적된 미생물은 자동 퇴적물 제거장치인 Scrapper로 밸러스트수 충전 및 방출 조작이 가능하게 될 것이다.

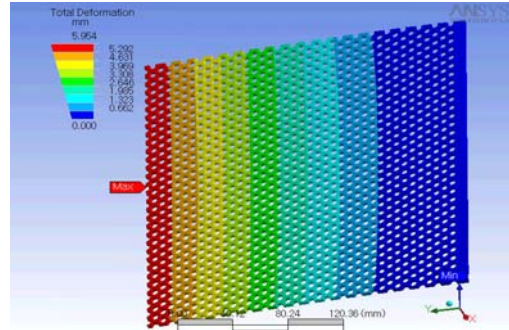


Fig. 14 Sectional strain distribution of lower part of filter face

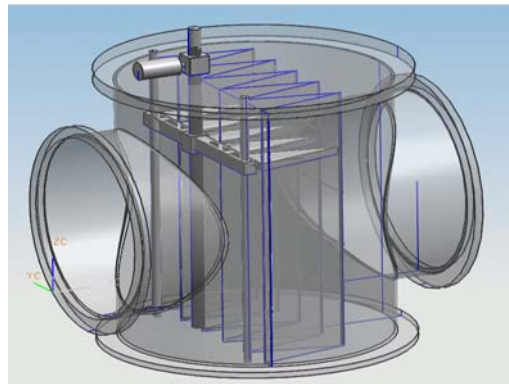


Fig. 15 Model of sea water ballast filter with automatic scrapper

Fig. 15와 16은 해수 밸러스트수 유입시 설치되는 Fig. 3의 필터에 축적되는 미생물을 자동 제거할 수 있는 장치를 첨가시킨 필터모듈 모형도이다. 그 구성을 보면 각각 극미생물 제거용 필터, 모터, Scrapper, Back-washing장치를 장착하여 미생물의 전처리가능하도록 하는 것이다. 본 장치는 살균처리 장치의 효율을 극대화시킬 수 있게 하기 위하여 고안된 것으로 현재 밸러스트수 필터의 구

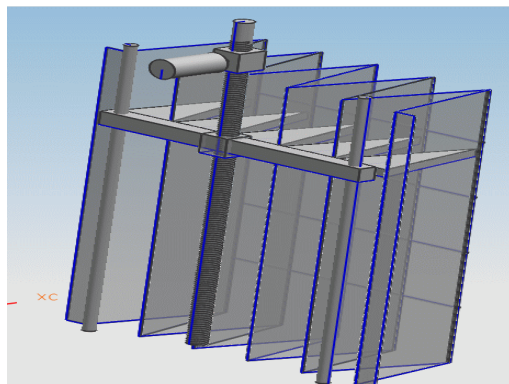


Fig. 16 Model of filter face and automatic scrapper

4. 결 론

본 논문에서는 선박의 밸러스트 탱크 입구에 고밀도 필터를 적용하여 미생물을 제거하는 필터링 시스템의 적용 가능성을 판단하고자 필터구조의 응력 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 개발된 필터의 응력과 변형 해석결과, 기존 필터 보다 훨씬 안정된 구조를 갖는다.

2) 개발 필터면의 상부와 중간부에 실 구경을 적용하여 응력과 변형을 해석한 결과, 재료의 파괴값 이내로 본 필터링 구조가 해수 밸러스트수 처리에 효과적으로 적용될 수 있음을 보여준다.

3) 본 필터링 구조는 밸러스트 탱크용 필터에 미생물을 사전 제거할 수 있도록 고밀도 필터와 자동 Scrapper를 적용할 수 있어, 미리 미생물을 제거함으로써 수처리 장치의 부하를 크게 경감시키게 되고 효율을 크게 높이는 효과를 제공하게 될 것이다.

본 논문에 추가하여 향후 고밀도 필터가 밸러스트수 처리용량에 미치는 영향 연구를 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] IMO, "Workshop report of the 1st international ballast water treatment standards workshop", London, 2001.
- [2] IMO, "Workshop report of the 1st international workshop on guidelines and standards for ballast water sampling", Brazil, 2003.
- [3] Carlton, J.T. and Geller, J.B., "The global transport of non-indigenous marine organisms", Science, 261, pp. 78-82, 1993.
- [4] International Maritime Organization, "International convention for the control and management of ships ballast water and sediments", Ballast Water News, 16, pp. 3-6, 2004.
- [5] Jelmert A., "Testing the effectiveness

of an integrated hydrocyclone/UV treatment system for ballast water treatment", Institute of Marine Research, Austevoll Research Station, Norway, 1999.

- [6] Cangelosi A., et al., "The biological effects of filtration as an onboard ballast treatment technology", Proceedings of the North Annual International Aquatic Nuisance Species and Zebra Mussel, 1999.
- [7] Matheickal, J.T. and Waite, T.D., "Ballast water treatment by filtration", proceedings of the 1st International Ballast Water Treatment R&D Symposium, London, 2001.

저 자 소 개



윤상국(尹相國)

1955년생. 1977년 성균관대학교 화학공학과 졸업(학사), 1982년 연세대학교 대학원 졸업(공학석사), 1989년 Southampton 대학교 초저온공학과 졸업(공학박사), 1993~현재 한국해양대학교 기계정보공학부 교수



박병근(朴炳根)

1962년 2월생 현재 고려유타 사장.