한국항해항만학회지 제32권 제6호, pp. 499~503, 2008 (ISSN-1598 5725)
Journal of Navigation and Port Research

밸러스트 수 처리용 메디아 필터 개발을 위한 여과특성에 관한 연구

박선정* · 임재동** · 김동근*** · 김인수†

*, ** 한국해양대학교 대학원, ***한국해양수산연수원 교수, † 한국해양대학교 토목환경공학부 교수

Study of Factors for development of Advanced Media filter for Ballast water Treatment

Seon-Jeong Park · Jae-Dong Lim** · Dong-Geun Kim*** · In-Soo Kim†*

*, **Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*
****Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busna 608-080, Korea*
† Division of Civil and Environment, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 국제해사기구(IMO) 해양환경보호위원회(MEPC)의 회의 결과 새로이 제정된 선박의 밸러스트 수 처리 기준(D2규정)에 부합하는 밸러스트 수 처리 공정의 개발이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 밸러스트 수 처리 시스템에서 여과공정의 경우 10μm 이상의 미세물질을 시간당 500톤 이상의 대용량으로 처리해야하며, 선내의 좁은 공간에 최소의 부피로 설계되어야 하는 제한요소가 전제되므로 실용적인 처리장치의 개발이 매우 어렵다. 본 연구에서는 이러한 제한요소를 극복하기 위한 방안으로 차세대 자기 역세형 메디아 필터에 관한 연구를 추진하게 되었으며 여재층의 두께에 따른 압력과 유량의 측정변화와 어느 크기의 입자까지 여과할 수 있는지 확인하기 위하여 진공여과 후 여과수 중의 입자의 입도 분석실험을 수행한 결과 원하는 성능을 얻기 위한 각 메디아별 입자크기와 여재층의 두께를 구할 수 있었다.

핵심용어 : 국제해사기구(IMO), 해양환경보호위원회(MEPC), 밸러스트 수, 메이다 필터, 메디아

Abstract : *As the conference result of MEPC in IMO, development of ballast water management system corresponding to newly established ballast water management standard (D2 regulation) of shipping is being made an active progress over the whole world. The ballast water management system should treat particular material of more than 10μm in high capacity of more than 500t per hour in the event of filtration process. Also, it is very difficult to develop a practical management system since a limited element which a narrow space of the ship should be designed in the minimal volume is assumed. Therefore, the study promoted a study on the next generation auto back wash media filter to overcome such a limited element. Also, the study performed pressure and flux measurement test followed by thickness of each filter medium for filtration by each size to grasp a relation between absorption and pressure at the time of vacuum filtration and mechanical analysis and turbidity change observation of filtered water after vacuum filtration.*

Key words : *MEPC, IMO, Ballast water, media filter, D2 regulation*

1. 서 론

선박의 밸러스트수를 통하여 침입한 외래생물종에 의해서 생태적 및 경제적 피해가 늘어나고 있다(Finnoff et al., 2005). 이에 선진국들은 점차 밸러스트 수 배출규제를 강화하고 있는 실정이다. 국제해사기구(IMO) 해양환경보호위원회(MEPC)에서는 선박 밸러스트수와 침전물관리 국제협약을 채택하였다. 새로이 제정된 선박의 밸러스트 수 처리 기준(D2규정)에 부합하는 밸러스트 수 처리 공정의 개발이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다(임, 2004). 새로운 협약에 의해 파생되는 밸러스트 수 처리 장치의 시장 규모는 협약이 발효되는 최초 년도(2009년) 부터 년 간 약 50조원 규모의 시장이 우리나라를 중심으로 동북아지역에서 열릴 것으로 예상되며 시간이 지날수록 더욱 증가할 것으로 예측된다(IMO, 2004). 밸러스트 수 처리 시스템에서 여과공정의 경우 10μm 이상의 미세물질을 시간당 500톤 이상의 대용량으로 처리해야하며, 선내의 좁은 공간에 최소의 부피로 설계되어야 하는 제한요소가 전제되므로 실용적인 처리장치의 개발이 매우 어렵다. 본 연구에서는 메디아를 이용하여 구조가 간단하고 내구성이 반영구적이며 연속적인 역세척으로 여과공정의 최대변수인 막힘 현상을 근본적으로 없앨 수 있는 밸러스트 수 처리장치를 개발하고자 하며, 여재층의 두께에 따른 압력과 유량의 측정변화와 어느 크기의 입자까지 여과할 수

* 대표저자 : 박선정(정회원), tjswjd0525@empal.com 051)410-4983
** 정회원, jdlim@hhu.ac.kr 051)410-4983
*** 정회원, dgkim@seaman.or.kr 051)419-7121
† 교신저자 : 김인수(종신회원) iskim@hhu.ac.kr 051)410-4416

있는지 확인하기 위하여 진공여과 후 여과수 중의 입자의 입도 분석실험을 수행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 연속자기형메디아필터의 개념도

본 연구에서 구현하려하는 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 진공으로 흡입되는 필터의 몸체에 메디아가 부착되고 부착된 메디아층을 폐수가 통과하면서 폐수중의 고형물 입자가 메디아 층의 공극에서 걸러지게 된다. 오염된 메디아 층은 재생을 위해 필터의 본체로부터 탈리되고 탈리된 메디아는 교반에 의해 재생이 되어 다시 필터의 몸체에 흡착되는 과정을 거친다. 이러한 방식의 필터는 반영구적으로 사용이 가능하며 다른 여과 장치에 비해 제작비나 유지비가 작은 장점이 있다.

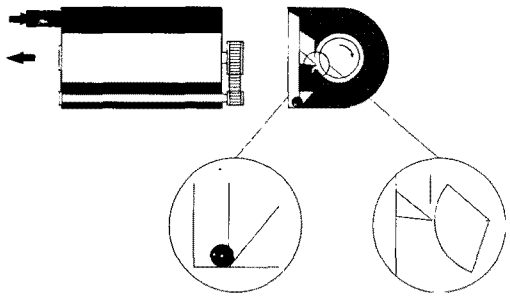

Fig. 1 Scjematic diagram of Media filter

2.2 시료의 성상

1) 진공여과시료

실험에 사용된 부유고형물을 함유한 시료는 수중에서 규조토를 45㎛의 체로 분리를 하여 그 여과수를 처리장치에 투입하여 사용하였다. 시료의 성상은 Table 1과 같다.

Table 1 Composition of the water

성 분	입자 크기 (㎛)
규조토	0.6 ~ 44.65

2) 메디아재료

실험에 사용한 메디아는 모래, 규조토, 코크스, 안트라싸이트로 수도용 여과모래 시험방법(한국상하수도협회 규격 KWWAF100)에 의해 직접 물리적 성상을 측정하였다. 모래는 창원시 북면의 낙동강변에서 채취한 것을 이용하였고, 코크스는 국내 S사에서 판매중인 중국 산서성을 원산지로 하는 것을 이용하였으며, 안트라싸이트는 국내 H사의 제품을 사용하였고, 규조토는 H사에서 판매 중인 중국이 원산지인 제품을 사용하였다. 각 메디아의 성상은 Table 2에 제시하였다.

Table 2 Properties of the filtering materials

성분	모래	규조토	안트라싸이트	코크스
염산가용율 (%)	3.1	66.3	1.6	3.3
강열감량 (%)	1.3	0.7	0.8	14.16
비중	2.42	1.38	1.51	1.88
세척탁도(NTU)	1.2	12.7	1.5	2.1
공극율 (%)	52.5	72.1	35.2	52.3
유효경(10%)	0.1	0.15	1.0	0.2
균등계수	2	1.33	1.3	4.25
최대경(㎜)	1.0	0.5	1.95	2.0
최소경(㎜)	0.01	0.03	0.01	0.01

2.3 실험 방법

1) 메디아 용출실험

메디아를 장시간 이용할 경우 원수의 계속적 유입이나 세척의 반복에 따라 대상물질의 구조변화 또는 자체 용출물질에 의한 여과수의 지화학성 변화가 초래될 것이다(고, 2003). 따라서 메디아에 대한 용출실험을 실시함으로써 원수의 지화학성변화 및 여과처리 과정 중에 미칠 수 있는 영향을 알아보았다. 이 용출실험은 메디아 40g과 증류수 200ml를 혼합하여 진탕 시켰으며 1, 3, 5, 10, 15시간으로 반응시간을 달리하였다. 용출 후 3000rpm에서 30분간 원심 분리시켜 상등액의 성분분석을 실시하였다. 상등액의 성분분석은 IC를 이용하여 PO_4, NO_3, Cl, SO_4를 분석하였다.

2) 여과층에 따른 압력과 유량 측정

Fig 2과 같이 각 메디아의 여과층 두께에 따른 압력과 유량 측정을 위하여 그림과 같은 실험 장치를 제작하였다. 지름이 10㎝인 두 개의 테프론 파이프 사이에 90㎛이상의 고형물을 여과할 수 있는 금속재질의 여과망을 설치하고 펌프의 흡입시에 메디아가 흡착이 되도록 하여 각 메디아의 크기별로 두께에 따른 압력과 유량 측정을 위한 실험을 수행하였다. 여과층은 0㎝ 부터 10㎝ 까지 1 ㎝의 간격으로 두께를 달리하여 압력과 유량을 측정하였다. 펌프를 가동 하였을 경우 펌프는 약 -700mmHg 정도까지 흡입이 가능하였으며, 펌프는 L사의 250L/min 용량의 원심펌프를 사용하였다.

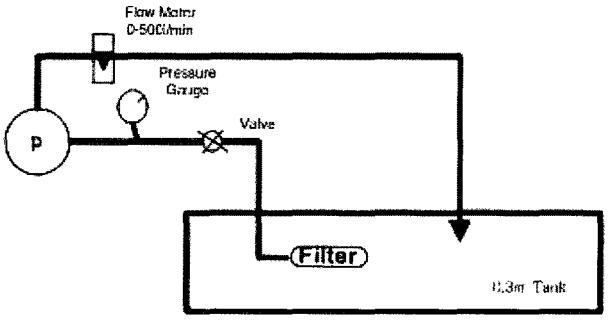

Fig. 2 Experimental equipment

3) 진공여과 후 여과수의 입도 측정

실험장치의 여과층의 두께를 2㎝로 균일하게 흡착시켜 여과실험 후 여과수의 최대 입도크기를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 메디아 용출실험

메디아별 상등액의 성분 분석 결과는 Fig. 3~6와 같다. 모래의 PO_4, SO_4, Cl는 1hr부터 15hr까지 용출 실험한 결과 일정한 농도를 유지하다가 점점 줄어드는 결과를 나왔다. NO_3의 경우에는 초기 1~3hr 에 빠르게 용출되다가 이후에는 점차 평형을 이루었다. 규조토는 PO_4, SO_4, NO_3 성분이 빠르게 용출되었고 시간이 경과함에 따라 Cl 성분이 가장 높은 용출 농도를 보였다. 코크스는 4가지 성분이 초기에 다소 높은 값을 보였으나, 3hr 용출 후부터는 점차 평형을 이루었다. 안트라싸이트는 실험에 사용한 메디아 중 가장 낮은 농도의 음이온성분을 용출하였으며 그 중 SO_4 가 가장 높은 농도로 용출되었다. 이런 결과로 보아 메디아 필터를 이용한 여과 과정에서 메디아로 인한 원수의 지화학성변화 및 여과처리 과정 중에 미칠 수 있는 영향은 미미할 것으로 보인다.

3.2 메디아층에 따른 유량과 압력 측정

Fig. 7은 메디아층에 따른 유량과 압력의 변화를 나타낸 것이다. 코크스의 그래프를 살펴보면 300㎛에서 메디아층의 두께가 1㎝일 때, 200㎛에서 0.7㎝, 150㎛에서 0.6㎝일 때 각각 한계점을 나타내고 있다. 압력변화는 메디아층의 두께가 대략 2㎝이상부터 650mmHg~700mmHg로 점차 일정한 변화를 나타내고 있다. 세 그래프를 살펴보면 코크스의 크기가 가장 작은 150㎛에서 가장 높은 압력변화량과 가장 낮은 유량을 나타냄을 알 수 있는데 이는 메디아의 공극율 차이로 판단된다. 안트라싸이트의 그래프를 살펴보면 1700㎛에서 3㎝일 때, 1180㎛에서 2.3㎝일 때, 850㎛에서 2.1㎝일 때 각각 한계점을 나타내고 있다. 안트라싸이트는 공극율이 가장 큰 소재로 다른 메디아에 비해 압유량에서 높은 값을 나타냈다. 세크기의 그래프 값을 비교해 보았을 때 압력변화는 메디아 층의 두께가 5㎝이상이 될 때부터 600~610mmHg로 일정한 값을 나타내기 시작했다. 모래의 그래프를 살펴보면 200㎛에서 1㎝일 때, 150㎛에서 0.8㎝일 때, 90㎛에서 0.7㎝일 때 각각 한계점을 나타내고 있다. 크기가 비슷한 코크스와 유사하게 모래의 압력변화 값도 메디아 층의 두께가 2㎝ 이상부터 700mmHg로 일정한 변화를 보여준다. 규조토의 그래프를 살펴보면 300㎛에서 1㎝, 90㎛에서 0.7㎝일 한계값을 나타내고 있다. 각각의 그래프는 차세대자기역세형메디아 필터를 운전할 때 유량과 압력의 한계점 이하로 운전하면 효율이 극대화 될 것으로 예상된다.

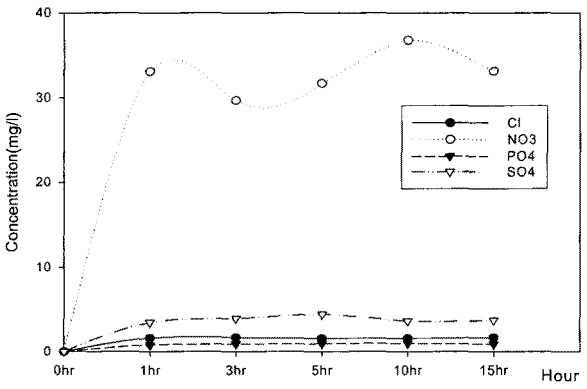

Fig. 3 Erupted components of the filtering materials on time(sand)

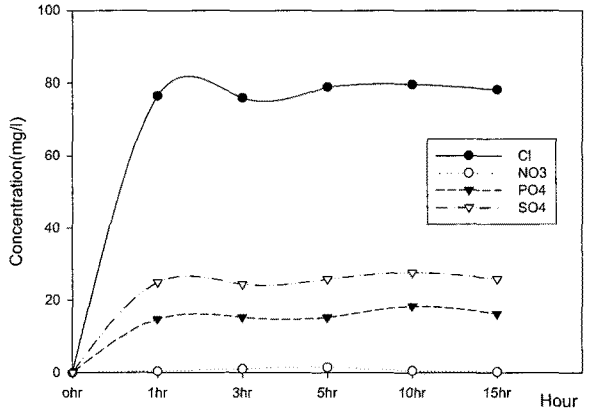

Fig. 4 Erupted components of the filtering materials on time(silex)

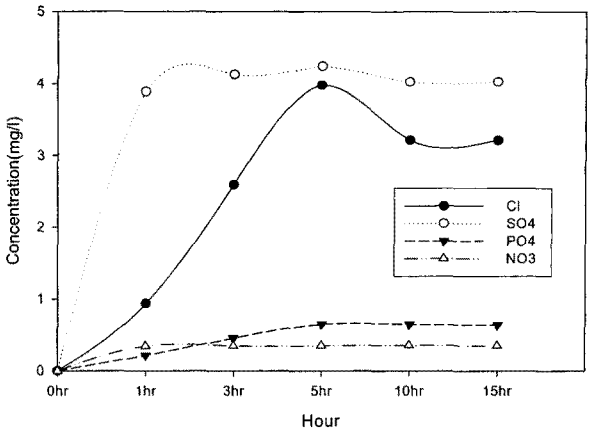

Fig. 5 Erupted components of the filtering materials on time(anthracite)

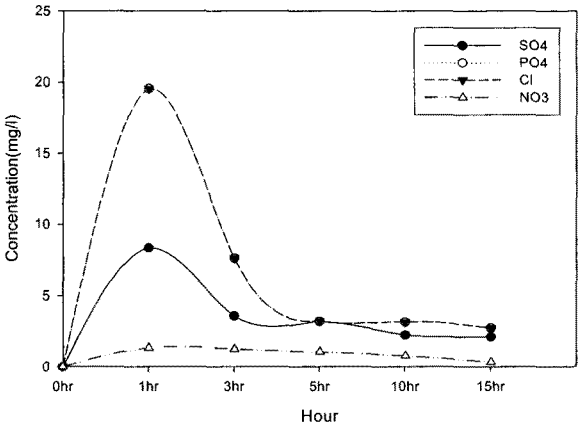

Fig. 6 Erupted components of the filtering materials on time(coke)

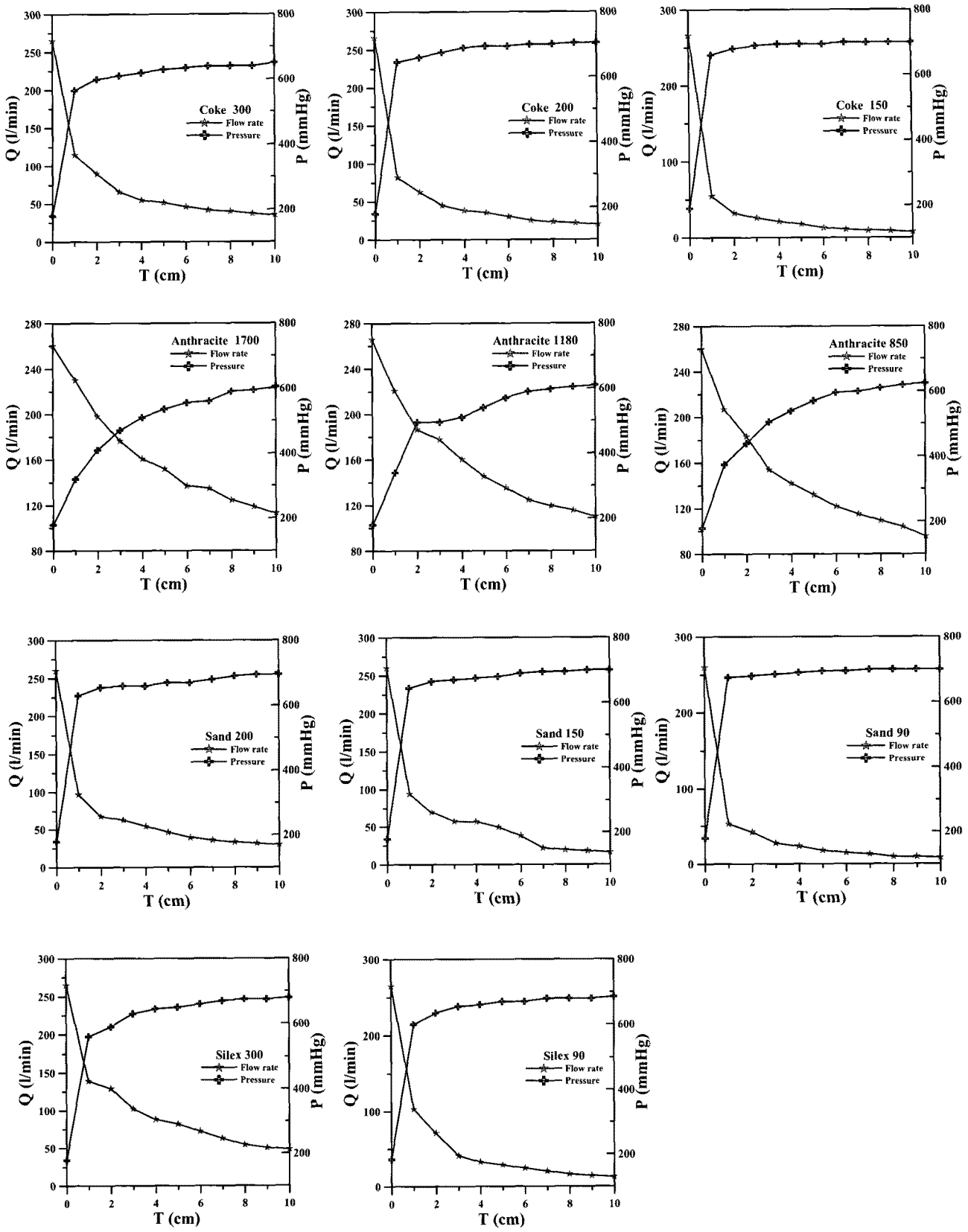

Fig. 7 Variation of pressure and flow by thickness of media

3.3 진공여과 후 여과수의 입도 측정

Fig. 8~11은 입자가 0.6~44.65㎛인 규조토 시료수를 원수로 하여 진공여과 후 여과수의 입도를 분석한 결과를 나타내고 있다. 여과는 탁질 물질의 제거를 유도하는 공정으로 탁질 물질의

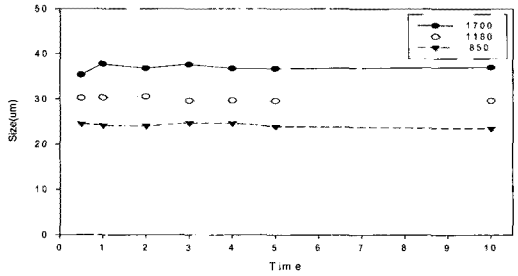

Fig. 8 Result of the granularity (anthracite)

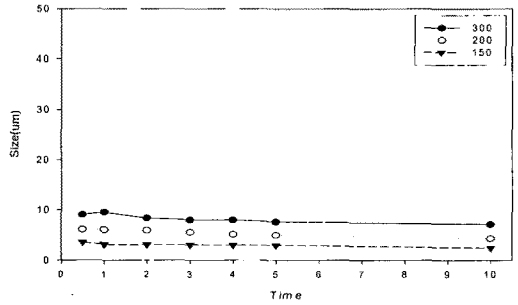

Fig. 9 Result of the granularity (coke)

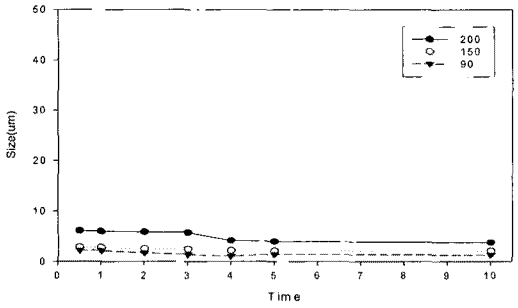

Fig. 10 Result of the granularity (sand)

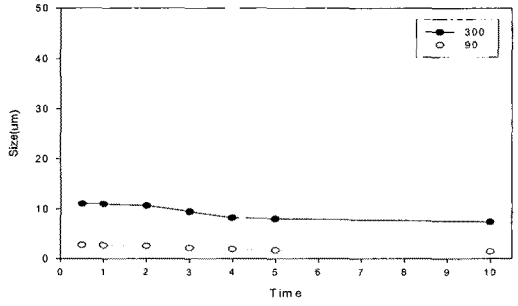

Fig. 11 Result of the granularity (silex)

입자 크기는 여과 효율 평가에 중요한 인자이다. Fig. 8을 보면 안트라싸이트는 25㎛~39㎛의 범위를 나타내었다. Fig. 9의 코크스는 5~12㎛의 범위를 나타내었다. Fig. 10의 모래는 1~6㎛의 범위를 나타내었다. Fig. 11의 규조토는 2~11.02㎛의 범위를 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 국제해사기구(IMO) 해양환경보호위원회(MEPC)의 회의 결과 새로이 제정된 선박의 밸러스트 수 처리 기준(D2규정)에 부합하는 밸러스트 수 처리장치 개발을 목적으로 하였다. 10㎛ 이상의 미세물질 제거를 목적으로 하는 메디아 필터의 개발을 위해 각 메디아별 기초특성과 여과특성을 알아보기 위한 실험을 수행하였고 실험결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 메디아층 두께에 따른 유량과 압력측정을 통해 각 메디아별 최적운전조건을 도출할 수 있었다. 입자크기 300㎛의 코크스의 경우 여과층의 두께가 1cm, 200㎛의 경우 여과층의 두께가 0.7cm, 150㎛의 경우 여과층의 두께가 0.6cm 이하일 경우 효율이 가장 좋았으며 안트라싸이트의 경우에는 입자의 크기가 1700㎛일 때 3cm, 1180㎛일 때 2.3cm, 850㎛일 때 2.1cm 이하로 운전할 경우 가장 좋은 효율을 보였으며, 규조토는 300㎛일 때 1cm, 90㎛일 때는 0.8cm 이하가, 모래는 입자크기가 200㎛일 때 1cm, 150㎛일 때 0.8cm, 90㎛일 때 0.7cm이하일 경우 효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 안트라싸이트의 경우 실험에 사용된 입자가 너무 큰 이유로 인해 충분한 결과를 도출하지 못하였다.
2. 각 메디아의 여과층을 통과한 후의 여과수 중 입자의 입도를 분석한 결과 메디아의 입자 크기에 비례하여 입도가 나타났고, 목표로 하는 10㎛이상의 입자를 제거하기 위해서는 메디아의 입자크기가 300㎛이하가 되어야 함을 나타내었다.

본 연구에서의 메디아별 여과특성에 관한 실험결과는 밸러스트수처리를 위한 메디아필터의 개발을 위한 설계시 좋은 설계조건으로 사용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 고상모, 송민섭, 홍석정(2003), "고 기능성 수질 정화 여과재로서의 장석질 모래 활용 연구", 한국광물학회지 제 16권 제 4호, pp283-293

[2] 임석원, 권오익, 신동원(2004), "선박의 밸러스트수와 침전물 관리 협약에 관한 고찰", 대한조선학회 춘계학술대회논문집, pp. 65~71

[3] Finnoff. D. and Shogren, J., "The importance of bioeconomic feedback in invasive species management", Ecological Economics, vol 52, 2005, pp. 367~381

[4] IMO, "International Maritime Organization", www.IMO.org

원고접수일 : 2008년 1월 29일
심사완료일 : 2008년 4월 22일
원고채택일 : 2008년 8월 28일