

# Operational Limitation in Ballast Water Management

## ~ How to meet the discharge standards without filter unit

### Techcross Technical White Paper

#### USCG BWM Regulatory

2004년 2월 제정된 국제해사기구의 선박평형수 관리법과 별도로, 미국해안경비대(USCG)에서도 2012년 6월 미국 연안의 환경 보호를 위하여 선박평형수 관리 법안을 제정하였고, 이듬해 2013년 12월 미국 연안을 대상으로 시행되었다. 따라서 미국에 입항하는 모든 선박은 반드시 USCG에서 발급한 형식승인을 획득한 선박평형수 처리장치를 통해 선박평형수를 처리해야만 한다. USCG의 선박평형수 관리 법안을 만족시키기 위해서 선박평형수 처리장치는 아래 Table 1과 같은 배출 기준을 만족시켜야 한다.

미생물의 크기	50 $\mu$ m 초과	1m <sup>3</sup> 당 10개체 미만
	10 $\mu$ m ~ 50 $\mu$ m	1ml 당 10개체 미만
	10 $\mu$ m 미만	Vibrio cholera, Escherichia coli, Enterococci
박테리아의 종류	Vibrio cholera	100ml 당 1cfu 미만
	Escherichia coli	100ml 당 250cfu 미만
	Enterococci	100ml 당 100cfu 미만

Table 1. 선박평형수 배출 기준

모든 선박평형수 처리장치는 배출 기준에서 명시한 생물 사멸 조건을 충족시키기 위하여 각각 운전 제한 조건을 가지고 있다. 그 중에서 홀딩타임은 생물 사멸 조건을 충족시키기 위하여 밸리스팅 후 디밸리스팅 하기까지 요구되는 최소한의 시간으로, 선박의 운항 스케줄에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 특히 운항거리가 짧은 구간이 많은 미주에서는 홀딩타임 제약이 선박의 수익과 바로 연결되기 때문에 민감할 수밖에 없다. 따라서 USCG 형식승인을 획득한 대부분의 업체들은 제로 홀딩타임을 위하여 시스템 운전 제한을 완화시키고자 다양한 처리 기술을 사용하고 있다.

#### USCG TA 획득 BWMS 현황

2019년 6월 말 기준, 총 20개의 선박평형수 처리장치가 USCG 형식승인을 획득하였고, 그 중 절반 이상이 전기분해 방식의 시스템을 적용하였다. 흥미로운 점은 전기분해 기술이든 UV 기술이든 처리 기술을 막론하고, 18개의 업체들이 필터를 사용하고 있다는 사실이다.

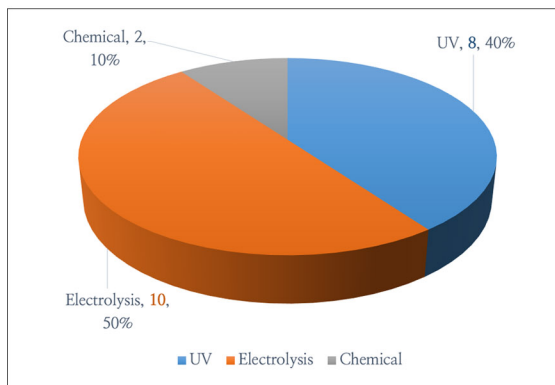


Figure 1. USCG 형식승인 기술별 승인 현황

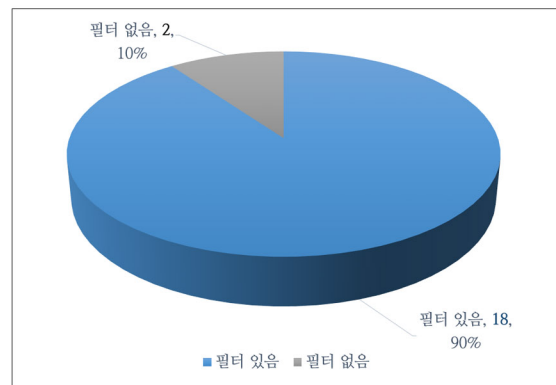


Figure 2. USCG 형식승인 시스템 중 필터 적용 현황

## BWMS에서 필터 유닛

일반적으로 선박평형수 처리 과정에서 사용하는 필터는 40 $\mu$ m 또는 50 $\mu$ m 이상의 미생물을 1차적으로 걸러주는 역할을 한다. 크기가 40 $\mu$ m 또는 50 $\mu$ m 이상의 미생물은 내성이 높아 사멸시키기 어렵다. 따라서 필터로 1차 처리 후 소형 미생물만 2차적으로 처리하게 되면 효율성이 올라가게 된다. 만약 필터를 사용하지 않는다면 Table 2와 같은 대체 방안이 강구될 수 있다, 단, 기존에 승인 받은 제품들은 이미 필터를 1차 처리 수단으로 인증을 받아서 제품을 판매하여 왔기 때문에 필터 없는 제품을 현실적으로 개발할 가능성은 미미하기에 가상 시나리오에 불과한 점을 참고해야 한다.

처리방식	대체 방안	가상 시나리오
UV	UV 램프 수의 증가	유닛 사이즈의 대형화
	UV 조사량 증가	전기소모량 증가
	UV 조사 시간 증가	밸러스팅 시간의 증가
전기분해	전극 개수의 증가	유닛 사이즈의 대형화
	전기 강도의 증가	전기소모량 증가
	고농도의 TRO 생성	수소가스의 위험성 발생 소독 부산물 증가에 따른 환경 위해성의 증가
화학약품	약품 투입량 증가	넓은 저장 공간의 필요성 발생
		저장 및 용해과정에서의 안전문제 발생
		밸러스팅 시간의 증가

Table 2. 필터를 사용하지 않을 경우의 대체 방안과 그에 따른 가상 시나리오

필터를 사용하게 되면서, Table 2와 같은 문제는 해결할 수 있게 되었지만, 설치 공간, 구입 비용, 필터의 유지보수에 필요한 스페어 파트 구매 및 운전 비용들이 추가적으로 발생하게 되었다. 필터 업체마다 차이는 있겠지만, 대략 Table 3과 같은 추가 사항을 고려하게 될 것으로 예상된다.

구입 가격	USD 35,000
설치 면적	1.12m <sup>2</sup> 이상
OPEX	연간 USD 10,000
유지보수 주기 비용	2개월 주기 (작은 부품) 혹은 2.5년 주기 (필터, 노즐 외) 연간 USD 2,600

Table 3. 필터 유닛 장착 시 고려 사항 (1,000톤 기준)

## No 필터 승인 시스템, ECS

다시 Figure 2로 돌아가서, 필터로 인해 감수해야 하는 부가 사항이 있음에도 불구하고 수월한 2차 처리를 위하여 필터를 필수적으로 선택했던 18개의 시스템들과는 달리, 필터를 적용하지 않은 2개의 시스템 중, 테크크로스의 ECS는 주류 처리 기술인 전기분해 기술, 단 하나로 USCG 형식승인 기준을 만족시키는 유일한 장치이다. 게다가 ECS는 다른 처리 기술을 병행하는 복합 처리 방식이 아니고 1차 처리만으로 선박평형수 처리가 끝나는 점 또한 주목할 만하다.

ECS는 전기분해 기술 중에서도 전수방식을 적용하여, 선박평형수가 선박으로 유입되는 순간 전기분해 챔버를 통과하면서 직접적으로 처리 과정을 거치는 것이 특징이다. 따라서 모든 선박평형수에 전기충격을 가하여 균일한 살균 효과를 기대할 수 있다. 또한 전기분해 과정에서 발생한 TRO는 선박평형수에 일정 기간 잔존하면서 살균 효율을 극대화시키는 데 도움을 준다. 2019년 6월 14일 개정된 ECS의 USCG 형식승인 개정안의 운전 제약 조건을 보면 다음과 같다.

Salinity	NA
Hold Time	-Brackish/Marine Water (>1 PSU) : NA -Fresh Water (<1 PSU) : 48 Hours
Electrolyte Feed Temperature	0-36°C
Electrolyte Feed Salinity	1.5 PSU
TRO	-Fresh/Brackish Water (<28 PSU) : 7.5mg/L -Marine Water (>28 PSU) : 7.8mg/L

Table 4. ECS 운전 제약 조건

Table 4을 보면, ECS는 필터가 없음에도 불구하고, 다른 시스템들과 비교했을 때 거의 동등한 수준의 운전 제약 조건을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 2018년 6월 최초 형식승인을 획득했을 당시에 120시간의 홀딩타임 역시, 이번 개정안에서는 제로 홀딩타임으로 변경되었다. 단지 염분도가 매우 희박한 1 PSU 미만의 담수에서만 48시간의 홀딩타임을 필요로 하게 되는데, 이 역시 타 시스템에서 쉽게 발견되는 운전 제약 조건과 비슷한 수준이다. 하지만, ECS는 필터가 없기 때문에 필터로 인한 압력 손실이 발생하지 않으며, 필터의 유지보수를 위한 추가 비용 및 노력 또한 필요 없다는 장점을 가지고 있다.

### 어떻게 No 필터로 기준을 만족시켰나

필터 없이 여타 시스템과 동등하거나 더 나은 처리 결과를 가능하게 하는 것은 바로 테크로스가 자체 개발한 전극이 핵심요소라고 할 수 있다. 육상수처리 사업을 하던 때부터 효율적인 전기분해를 위하여 전극 개발에 매진한 테크로스는 선박평형수 처리장치 사업으로 전환하면서 전극 효율성을 고도화 시켰다. 특히 2015년 세계 최대 규모의 공장을 설립하면서 자체 생산능력을 향상시키는 과정에서 전극의 가격 경쟁력 또한 끌어올렸다.

테크로스가 생산하는 전극은 염화물이 부족한 담수나 기수에서도 반응성이 우수한 촉매를 사용하고 있을 뿐만 아니라, 티타늄 전극의 표면에 크랙을 생성시켜 비표면적을 높이는 특수 코팅을 통해 효율성을 향상시켰다.

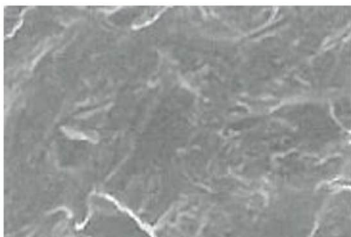


Figure 3. 티타늄 전극 표면

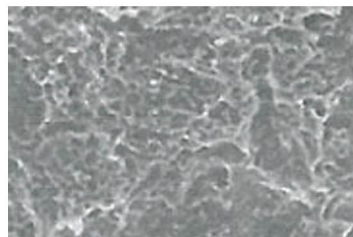


Figure 4. 에칭 작업 후 전극 표면

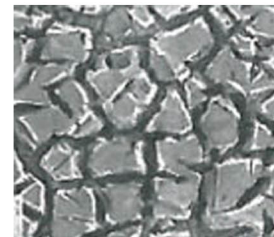


Figure 5. 코팅 작업 후 전극 표면

또한 전기분해 방식의 선박평형수 처리장치는 일반적으로 사용 횟수를 거듭함에 따라 음극 전극의 표면에서 발생하는 스케일 전착 현상으로 인하여 전극 간의 반응 저항이 증가하고, 잔류산화제의 농도를 유지하기 위한 전류 소모가 심해지면서 장치 수명이 짧아지는 문제가 생기게 된다. 이런 문제를 해결하기 위하여 주기적으로 역전류를 인가하여 제거하는 기술을 실시하기도 하는데, 이 경우 별도의 산세 공정을 설치해야 하고, 강산 사용에 따른 전극 수명 저하나 부식, 산세 공정 시간 동안 전기분해 공정을 중단해야 하는 단점이 있다.

하지만 테크로스는 이런 단점을 보완하기 위하여 티타늄 전극 표면에 특수 물질을 코팅하여 음극 전극의 스케일을 저감하는 방법을 개발하였고, 이에 대한 국내 특허도 보유 중이다.

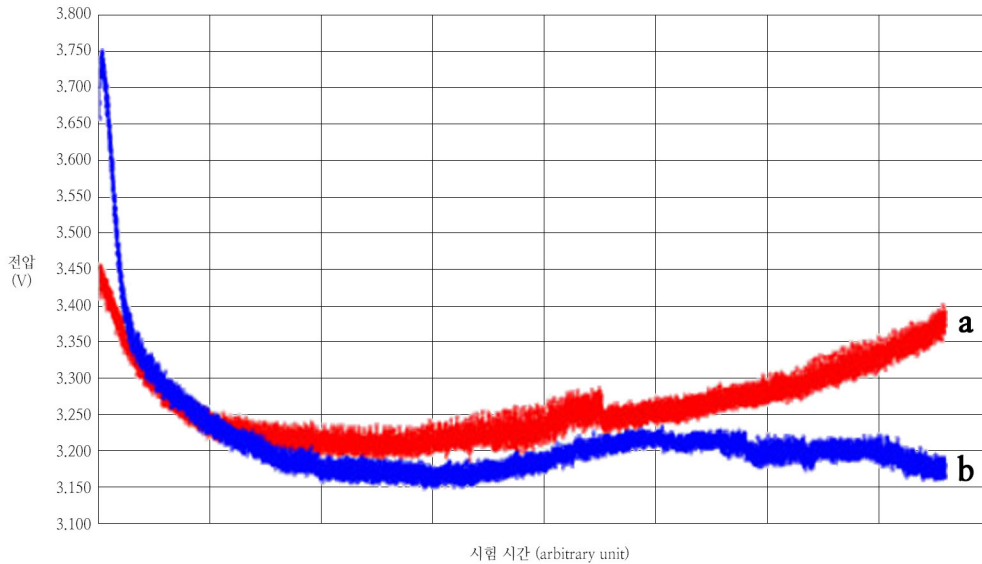


Figure 6. 기준 전극과 테크로스 전극의 전기분해 반응 결과

Figure 6을 보면, 기준 전극(a)와 테크로스 전극(b) 비교 실험 결과, 초기에는 비슷한 양상을 보이지만 시간이 지날수록 스케일 축적으로 인하여 기준 전극(a)의 전압이 상승하는 현상을 확인할 수 있다. 장시간 누적 실험 결과 테크로스 전극은 일반 전극보다 스케일 전착 방지 효과가 90% 이상인 것을 확인하였다. 이를 통해 전극의 효율성을 극대화 시키는 것은 물론, 수명까지 연장시켜 전극 교체 및 유지보수에 대한 비용을 줄이는 경제성까지 확보하였다. 또한 직접식 전기분해 기술을 사용하는 ECS는 간접식 전기분해 기술에서 볼 수 있는 고농도의 TRO로 인한 수소가스의 발생 위험 또한 없기에 안전성 면에서도 믿을 수 있다.

선박평형수의 처리 기술마다 장단점이 다르다. 하지만, 시스템 선택을 할 때, 단순히 인증의 획득 유무, 가격 정보에 얽매이기 보다, 선박의 설치 가능 공간과 장기적으로 발생할 수 있는 모든 경우의 수를 고려하여 시스템별 상세 운전 조건을 비교하는 자세가 필요할 것이다.

**(주)테크로스**

부산광역시 강서구 녹산산업북로 433 (46758)  
 Tel. (051) 601-4500 Fax. (051) 974- 0778  
 inquiry@techcross.com | www.techcross.com  
 ©2019 TECHCROSS All rights reserved.

