

## 선박 평형수 처리장치 선정을 위한 경제성 분석

지재훈 · 박상균\* · 오 철†  
((사)한국선급 · \*\*한국해양대학교)

### Economy Analysis to Retrofit Ballast Water Treatment System for an Existing Vessel

Jae-Hoon JEE · Sang-Kyun PARK\* · Cheol-OH†  
(Korean Register of Shipping · \*\*Korea Maritime and Ocean University)

#### Abstract

Since Ballast Water Management Convention has been effected, BWTS, applied to new-building vessels and existing vessels, have been developed from many countries with various treatment methods. However, BWTS is mainly typed Electrolysis, Ozone and UV type. Approximately 70 products have been type approved by the Flag Administrations. For the new-building vessels, the vessels' design and construction have been considered for arrangements and installations for BWTS. However, existing vessels which already construction had finished have problem with selection of BWTS type for installation and arrangement. The selection of the most economized BWTS system is important though, CAPEX has not been made any significant differences. However, OPEX is more important factor. Consequently, detail analysis of OPEX is the key to the selection of the most economized BWTS system and also it can be the purpose of this study. The feasibility study on the main three type of BWTS (Electrolysis, Ozone and UV type) for 175K Bulk Carrier and 57K Cargo ship has been conducted for this study. Because, these three type of BWTS have been the most frequently installed and used and the two type of object vessels are consist of the 40% of the world merchant ship market. For this study, interest rate, project duration (operation time after installation), maintenance cost and fuel oil price are considered as major factor of feasibility study. In addition, expecting Interest rates to sensitivity analysis conducted for more accurate feasibility study. For 175K Bulk carrier, ozone treatment system is more economical than other types. For 57K cargo ship, UV type is considered more economical than other types. However, it is concluded that electrolysis type is more suitable compare to installation space, total weight and electrical power consumption.

**Key words :** Ballast water treatment system, Electrolysis, Ozone, Ultra violet, CAPEX, OPEX

#### I. 서론

과거 수년 간 해상을 이용한 무역과 교통량이 팽창함에 따라 선박 평형수를 통한 침입종의 문제가 제기되었다. 세계의 많은 지역이 침입종의 영향으로 자국의 바다는 황폐화되고 있고, 생물

학적 침입율은 놀랄만한 비율로 증대되고 있으며, 새로운 지역들이 이러한 위험에 지속적으로 노출되고 있다. 해상무역량이 전반적으로 계속 증가되고 있어 이 문제는 아직도 계속 진행 중이다. 1988년 처음으로 캐나다와 호주는 자국 해역에 유해한 종의 출현문제를 경험하고 IMO의

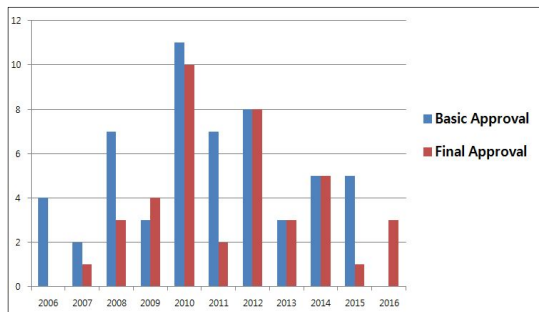
† Corresponding author : 051-410-4268, ohcheol@kmou.ac.kr

MEPC에 이 문제를 제기하였고, 선박 평형수내의 유해수중 유기체의 문제는 IMO에 제기된 후 MEPC는 MSC 및 산하 전문위원회와 함께 문제 해결을 위해 논의가 진행되었고, 지침 및 새 협약 개발에 노력하게 되었다.(Kim E. C. 2012).

그 이후, 이러한 노력의 일환으로 2004년 2월 13일 외교회의에서 “선박의 평형수와 침전물의 통제 및 관리를 위한 국제협약(International Convention for the Control and Management of Ship’s ballast water and Sediments, 2004)”(이하 ‘BWM 협약’)이 채택되었으며, 이 협약은 30개국 이상이 비준하고 세계상선 선복량이 35% 이상을 만족하는 날로부터 12개월 후에 발효될 전망이다.(Kim E. C. 2012).

IMO 홈페이지를 통해 알 수 있듯이, 최근에 페루(Peru)는 6월 10일경에 BWM 협약을 비준하였고, 2016년 6월 기준으로 51개국이 비준한 상태이며, 상선 선복량은 34.86%로 비준국가의 수는 만족하였으나, 상선 선복량이 0.13%가 부족한 상황이다. 다만, 2016년 4월에 개최된 MEPC 69에서 핀란드는 BWM 협약을 비준하기 위한 내부적인 절차가 완료되었으며, BWM 협약을 비준할 것임을 약속하였고, 이에 따라 2016년도에 발효요건을 충족할 것임을 조심스럽게 예상하고 있다.(MEPC 69, 2016)

(Unit : No.)



[Fig. 1] Number of BA and FA for BWTS by year(source:http://www.imo.org/en/OurWork)

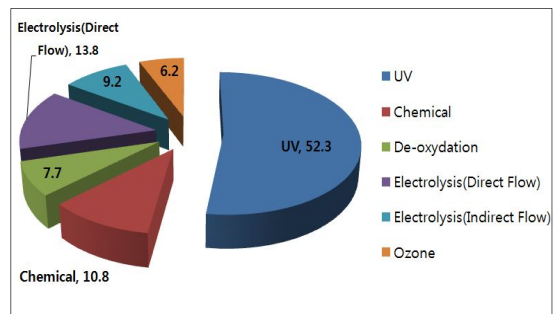
BWM 협약이 발효되면 D-1 규정(평형수 교환을 수행하는 선박은 용적으로 95% 이상의 평형

수 교환 효율이 이루어지도록 행하여야 함) 따라 평형수를 교환하던 방식에서 D-2 규정(평형수 관리를 이행하는 선박은 1m<sup>2</sup> 당 50 $\mu$ m 이상인 생존 미생물이 10 개체수 미만인 되도록 배출하고, 10  $\mu$ m 이상에서 50 $\mu$ m 미만인 생존 미생물은 1ml 당 10 개체수 미만으로 배출되도록 하여야 함)에 따른 선박 평형수 처리장치를 통하여 평형수를 처리하여야 한다.

본 협약은 발효와 동시에 현존선에도 적용하여야 하는 소급사항으로 선박평형수 처리장치의 시장은 관련 산업분야를 아울러 60조 시장을 점유할 것으로 산업계에 보고되었다. 평형수를 처리하기 위해 활성물질질을 이용하는 BWTS에 대하여 BWM 협약 지침 G9에 따라 IMO로부터 BA(Basic Approval, 기본승인) 및 FA(Final Approval, 최종승인)를 득하도록 규정하고 있다.

[Fig. 1]은 2006년부터 2016년 6월 까지 IMO로부터 득한 BA 및 FA의 건수를 년도 별로 보여주고 있는 것으로, 세계에서 처음으로 Alfa Laval 제조사에서 개발한 PureBallast System이 2006년도에 IMO로부터 BA를 득하였고, 이후로 BWTS는 다양한 방식으로 개발이 되어왔고, 2010년도에 가장 많은 BWTS가 IMO로부터 BA 및 FA를 득하였다. 2011년부터는 선박 평형수 처리장치의 개발 증가세가 감소하고 있지만 개발 누적 수는 계속적으로 증가하고 있다.

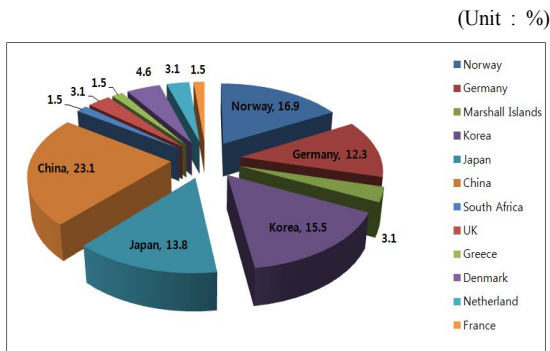
(Unit : %)



[Fig. 2] Distribution Ratio(%) by Treatment type for Type Approved BWTS(source:http://www.imo.org/en/OurWork)

[Fig. 2]에서는 2016년 6월까지 IMO에 보고된 정부형식승인을 득한 선박 평형수 처리장치 65개 제품을 대상으로 처리방식별로 분포도를 조사한 그래프이다. UV(Ultra Violet, 자외선) 방식이 전체 대상의 52.3%인 절반 이상을 점유하고 있으며, 뒤를 이어 직접전기분해방식이 13.8%, 케미컬주입 방식이 10.8%, 간접전기분해방식이 9.2%의 점유율을 보이고 있다.

[Fig. 3]에서는 2016년 6월 까지 IMO에 보고된 정부형식승인을 득한 BWTS 65개 제품을 대상으로 승인 주체인 정부별 분포도를 조사한 그래프이다. 이 그래프를 통해서 국가별 개발현황을 파악할 수 있는 자료로 활용할 수 있다. 아시아권에서는 중국 23.1%, 한국 15.5% 및 일본 13.8% 세 나라가 BWTS 개발을 주도하고 있으며, 유럽권에서는 노르웨이 16.9%, 독일 12.3%, 덴마크 4.6% 세 나라가 BWTS 개발을 주도하다시피 하고 있다. 아시아권 세 나라 합계 점유율이 전체 대비 52.4%의 점유율을 보유하고 있다.



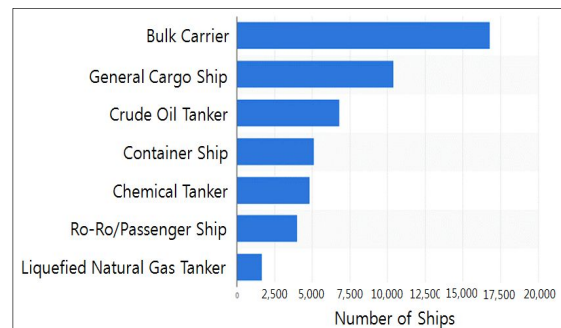
[Fig. 3] Distribution Ratio(%) by Administration for Type Approved BWTS(source:<http://www.imo.org/en/OurWork>)

현재까지 BWMS 협약은 발효요건을 충족하지 못한 상황이나, 곧 핀란드의 비준으로 BWMS 협약이 발효요건을 충족할 것임은 해사산업계 전반적으로 예측되고 있는 상황이며, 현재까지 개발된 BWMS는 처리방식과 형식승인국가 별로 다양하게 분포하고 있는 상황이다.

BWMS 협약이 발효요건을 충족한 날로부터 1년 뒤부터 현존선에도 BWMS를 순차적으로 설치하여야 하는 상황에서 선주들은 BWMS의 선택과 관련하여 Engineering 측면, BWMS 가격 측면, BWMS Operation 측면 등을 고려하고 있는 가운데, 특히, 선주사들은 경제적인 효율성을 가장 고민하고 있는 부분이다.

본 논문은 [Fig. 2]에서 설명한 바와 같이, IMO에 보고된 정부형식승인을 득한 65개 제품 중에서 가장 많은 점유율을 가지는 대표적인 3가지 처리방식의 BWMS를 선정하였고, 2016년 1월까지의 세계상선 선대를 선종별로 분류한 그래프 [Fig. 4]에서 알 수 있듯이, Bulk Carrier 및 General Cargo Ship은 세계 상선종류로 40%를 차지하고 있어, 본 연구의 대상 선박종류로 Bulk Carrier 및 General Cargo Ship을 대상으로 BWMS의 설치와 관련한 경제성 측면에서의 연구를 진행하고자 한다.

(Unit : No.)



[Fig. 4] Number of ships in world merchant fleet by type(source:[www.statista.com](http://www.statista.com))

## II. 대상 선박 선정

서론에서 연구의 목적에 대하여 간단히 설명하였다. 본 연구는 Bulk Carrier를 대상으로 3가지 처리방식 별 BWMS에 대한 경제성 분석을 수행하고 그 값을 비교분석하기로 하였다. Bulk Carrier의 선종으로 Sample Ship으로 선정한 선박

은 DWT(Dead Weight Tonnage, 재화중량톤수) 175K Bulk Carrier이며, General Cargo Ship 선종으로 Sample Ship은 DWT 57K Cargo Ship, 2척을 대상선박으로 결정하였다.

대표적인 3가지 처리방식 별 BWTS를 각각 Sample Ship에 적용하는 것에 대한 예측되는 비용-편익 분석을 수행할 것이며, 2척의 선박에 대한 검토는 아래와 같이 이루어졌다.

### 1. DWT 175K Bulk Carrier 주요 상세

Bulk Carrier의 Sample Ship으로 선정된 DWT 175K Bulk Carrier의 주요한 Spec.은 <Table 1>을 참조한다.

<Table 1> Main data of DWT 175K Bulk Carrier

DWT	175,292	Delivery	12th April 2010
G/T	92,053	Sea Route	Hadong-Newcastle
LBD (m)	282.2x45x24.75	W.B.T(m <sup>3</sup> )	51,969.5
Speed (knot)	14.91	Ballast Pump(m <sup>3</sup> /h)	2,500m <sup>3</sup> /hx2sets

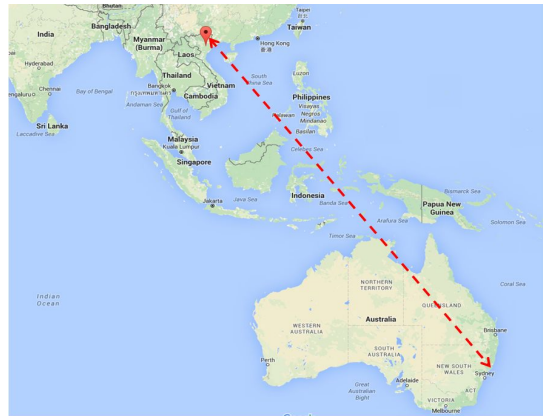
Source : Korean Register of Shipping

Bulk Carrier 선종의 Sample Ship에 설치된 Ballast Pump의 수량과 용량(2,500m<sup>3</sup>/h x 2sets)을 고려하여 설치할 BWTS의 용량은 5,000m<sup>3</sup>/h로 적용한다.

[Fig. 5]에서 알 수 있듯이, Sample Ship은 정기적으로 HADONG~NEW CASTLE 항로를 운항하는 정기선으로, 1항차에 대략 25일이 소요된다. 따라서 1년을 기준으로 15항차를 운항하는 것으로 가정하였다.

### 2. DWT 57K Cargo Ship 주요 상세

General Cargo Ship의 Sample Ship으로 선정된 DWT 57K Cargo Ship의 주요한 Spec.은 <Table 2>를 참조한다.



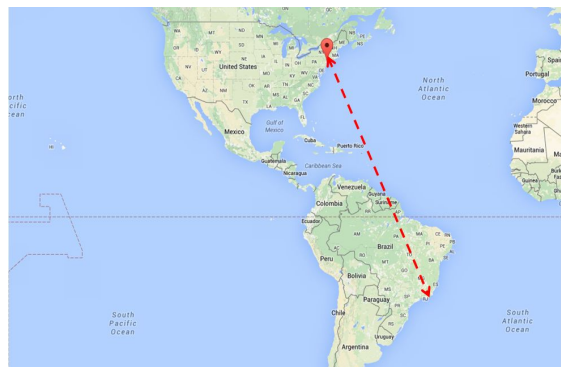
[Fig. 5] Regular service of DWT 175K Bulk Carrier(source : www.google.com)

<Table 2> Main data of DWT 57K Cargo Ship

DWT	57,536	Delivery	12th June 2012
G/T	39,009	Sea Route	Portcelg-Flushing
LBD (m)	192.67x32.26x19.3	W.B.T(m <sup>3</sup> )	23,019.5
Speed (knot)	13.9	Ballast Pump(m <sup>3</sup> /h)	1,000m <sup>3</sup> x2sets

Source : Korean Register of Shipping

General Cargo Ship 선종의 Sample Ship에 설치된 Ballast Pump의 수량과 용량(1,000m<sup>3</sup>/h x 2sets)을 고려하여 설치할 BWTS의 용량은 2,000m<sup>3</sup>/h로 적용한다.



[Fig. 6] Regular service of DWT 57K Cargo Ship(source : www.google.com)

[Fig. 6]에서 알 수 있듯이, Sample Ship은 정기

적으로 PORTOCEL~FLUSHING 항로를 정기적으로 운항하는 정기선으로, 1항차에 대략 42일이 소요된다. 따라서 1년을 기준으로 9항차를 운항하는 것으로 가정하였다.

추이를 보여주고 있으며, 최근 8년간 평균 기준 금리는 3.18%인 것으로 나타났다. 이 자료를 바탕으로 본 연구에서는 시간의 흐름에 따른 평형수 처리장치의 비용 가치의 이자율 또는 할인율을 3.18%로 적용하도록 한다.

### Ⅲ. 경제성 분석조건

#### 1. 비용항목 분류

본 경제성 평가 시 고려되는 비용은 평형수 처리장치가 전체 수명 즉 장비의 장착시점에서 발생하는 초기비용(CAPEX)과 단위기간마다 발생하는 유지보수비(OPEX)로 분류된다. 초기비용은 크게 장치비와 설치비로 구성되며, 유지보수비는 제품수리 또는 소모품 교환 시 사용되는 비용으로 구성된다.

#### 2. 이자율

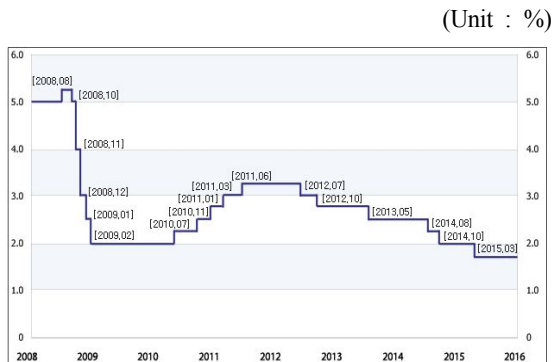
화폐에는 시간적 가치가 존재하여 미래에 발생되는 비용은 현재의 비용과 같지 않으므로 경제성 분석 시 시간의 흐름에 따른 화폐의 가치(time value of money)를 고려하여야 한다. 일반적으로 현재가치를 미래가치로 환산할 때는 이자율(interest rate)을 적용하고, 미래가치를 현재가치로 환산할 때는 할인율(discount rate)을 적용한다.

#### 3. 프로젝트 기간

경제성 평가에 있어서 프로젝트 기간은 대상의 BWTS를 구성하는 장치나 시스템의 수명에 따라 결정되며, 분석기간은 대안의 경제성 분석에 많은 영향을 미치는 요인 중의 하나로서 신중히 결정할 필요가 있다. 선박의 경우 물리적, 기능적 및 경제적 측면에서 통상 선박의 수명은 30년으로 예측한다. BWTS를 2016년 1월 1일 설치/적용하는 것을 가정할 경우, Sample Ship들의 Delivery Date 기준 잔존수명은 175K Bulk Carrier의 경우 24년, 57K Cargo Ship의 경우 27년으로 계산한다. 다만, 본 연구의 통일성을 고려하여 프로젝트 기간은 두 척의 대상 선박에 동일하게 28년으로 산정하였다. 또한 본 연구에서는 Sample Ship에 BWTS를 설치하는 시점을 시작으로 선박이 패선되는 시점까지 사용되는 것으로 고려하여, 선박의 잔류 수명과 동일한 것으로 가정하였다.

#### 4. 연간 운영비

3가지 처리방식을 가지는 BWTS 대상들의 연간 운영비는 운전을 위한 소요전력에 따른 연료비와 중화를 위한 중화제 사용량 및 기타 소모품의 교환비용을 포함한다. 3가지 처리방식 별 BWTS에 따른 최대 소요전력 및 주요 소모품은 Table 3에서 언급하였다. BWTS를 운전 시 추가로 발생하는 전력량에 대한 추가 연료비용을 산정하여 운전비용에 합산하였다. 전력 사용에 따른 연료유 소모량은 발전기의 SFOC 자료를 참조하였고, Maintenance item에 따른 소모품 교체 및 작업에 대한 비용은 제조사의 Standard에 따른 비용으로 산출하였다.



[Fig. 7] Trend of Standard Interest Rate of Korean Bank by year (source : korean bank)

[Fig. 7]은 한국은행의 최근 8년간의 기준금리

<Table 3> Power Consumption, Maintenance items of each BWTS

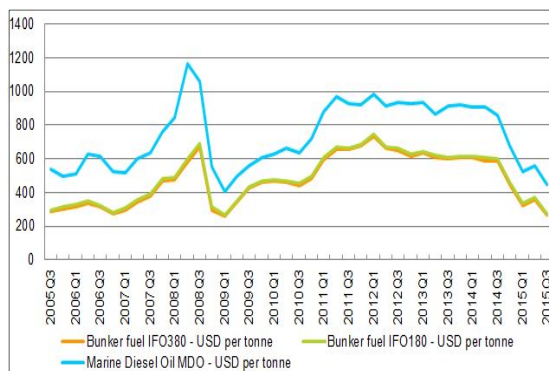
Treatment Type	Capacity(m <sup>3</sup> /h)	Power Consumption(kW)	Maintenance Item
Electrolysis	5,000	470	Reagent for TRO Sensor
	2,000	177	Neutralization chemical
Ozone	5,000	385.8	Reagent for TRO Sensor
	2,000	183.6	Neutralization chemical Maintenance for Equip.
Ultra Violet	5,000	320	Replacement of UV Lamp
	2,000	240	Maintenance for Equip.

Source: www.google.com

5. 연료유 가격

2척의 Sample Ship은 평상시 IFO 380의 Bunker C 종류의 연료유를 사용하는 것으로 가정하였다. Fig. 8은 톤당 거래되는 IFO 380 Bunker C 및 MDO 연료유 가격을 2005년부터 변동되는 가격의 동향을 보여주고 있다. 2015년 3분기의 IFO 380 Bunker 가격은 Singapore 거래 기준으로 톤당 290.0 USD에 거래되고 있다.

그러나 향후 유가의 변동을 예측하기 힘든 상황에서 본 연구에서는 과거 10년간 거래된 IFO 380 가격의 평균값인 530 USD로 가정하여 경제성 분석을 진행한다.



[Fig. 8] Marine Bunker Fuel Spot Price USD per Ton(source : www.transport.govt.nz)

IV. 경제성 분석

1. CAPEX 및 OPEX 분석

[Fig. 9]에서는 DWT 175K Bulk Carrier에 대한 전기분해방식, 오존처리방식 및 자외선 처리방식의 BWTS에 대한 CAPEX를 분석한 것이다. CAPEX의 주요한 값의 인자는 제품의 용량 별 가격과 Retrofit을 위한 각종 자재를 포함한 비용이다. 자외선 처리방식의 BWTS가 다른 2가지 처리방식의 BWTS보다 초기설치 비용측면에서 현저히 높은 것을 알 수 있다.

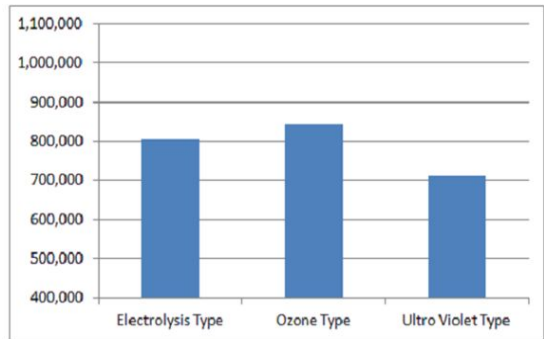
[Fig. 10]에서는 DWT 175K Bulk Carrier의 연간 운전비용(OPEX)을 보여주고 있는 것으로, 여기에는 항차 별 Sample Ship의 평형수 교환 주기(사용시간, 10시간) 별 BWTS의 사용전력에 따른 유류비용과 제조사에서 제공한 BWTS의 유지보수 비용을 합산하였다. OPEX 측면에서는 전기분해방식의 BWTS가 다른 2가지 처리방식의 BWTS보다 적게 소모되는 것을 알 수 있다.

[Fig. 11]에서는 DWT 57K Cargo Ship에 대한 전기분해방식, 오존처리방식 및 자외선 처리방식의 BWTS에 대한 CAPEX를 분석한 것이다. CAPEX의 주요한 값의 인자는 DWT 175K Bulk Carrier의 CAPEX 인자와 비슷하게 제품의 용량 별 가격과 Retrofit을 위한 각종 자재를 포함한 비용이다. DWT 175K Bulk Carrier와 달리 자외선

처리방식의 BWTS가 상대적으로 가장 저렴한 것을 알 수 있다.

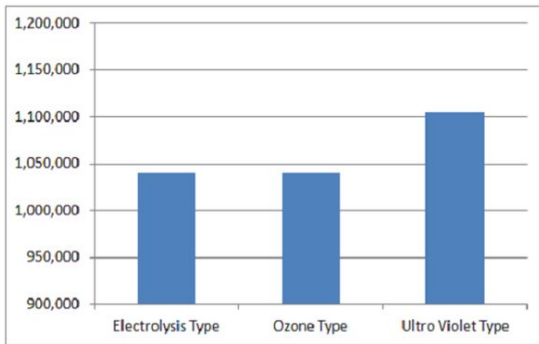
[Fig. 12]에서는 DWT 57K Cargo Ship의 연간 운전비용(OPEX)을 보여주고 있는 것으로, 여기에는 DWT 175K Bulk Carrier와 동등하게 항차 별 Sample Ship의 평형수 교환 주기(사용시간, 10시간) 별 BWTS의 사용전력에 따른 유류비용과 제조사에서 제공한 BWTS의 유지보수 비용을 합산하였다. OPEX 측면에서는 오존처리방식의 BWTS가 다른 2가지 처리방식의 BWTS보다 적게 소모되는 것을 알 수 있다.

(Unit : Dollor)



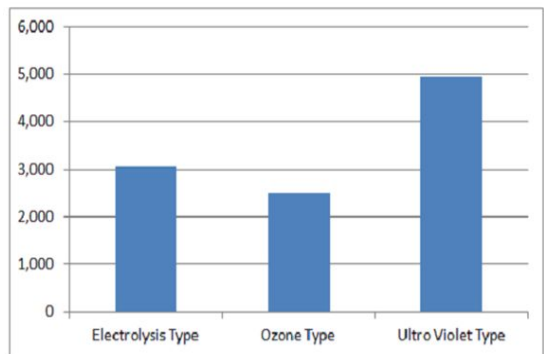
[Fig. 11] CAPEX of each type for DWT 57K General Cargo Ship

(Unit : Dollor)



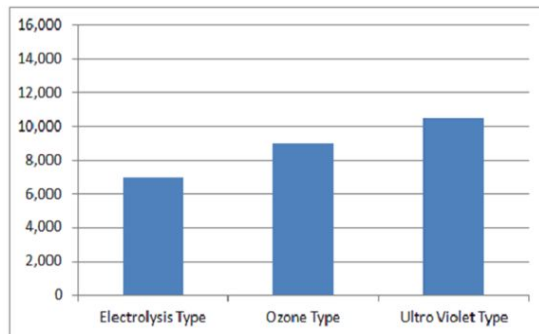
[Fig. 9] CAPEX of each type for DWT 175K Bulk Carrier

(Unit : Dollor)



[Fig. 12] OPEX of each type for DWT 57K General Cargo Ship

(Unit : Dollor)



[Fig. 10] OPEX of each type for DWT 175K Bulk Carrier

## 2. 민감도 분석

경제성 평가는 미래의 가격과 그 변동폭을 예상하여 산정하는 것으로 처음부터 불확실성의 요소를 가지고 시작한다고 볼 수 있다. 예를 들어 이자율이나 내용 연수 등 입력 데이터의 대부분이 현재의 자료를 가지고 미래의 값을 예측하는 것이기 때문에 그 오차로 인하여 잘못된 판단을 내릴 수도 있다. 이런 불확실성의 요소들을 극복하기 위한 하나의 수단으로서 민감도 분석(Sensitivity Analysis)을 수행할 수 있다.

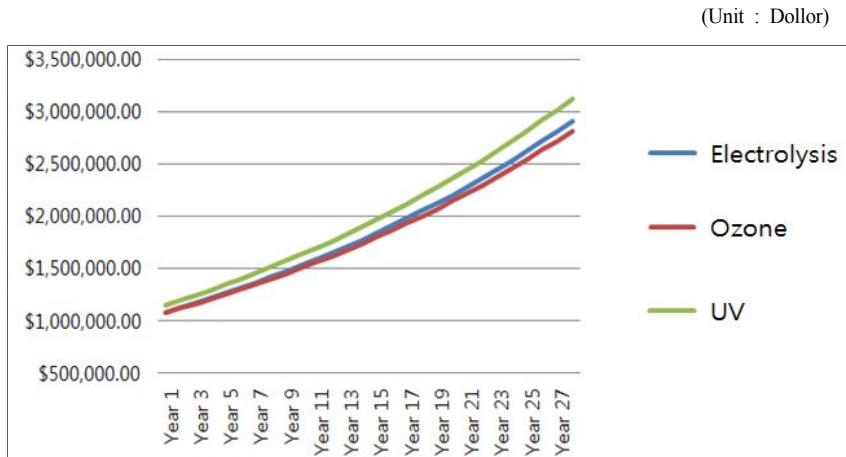
“민감도 분석”이란 경제성 평가를 위하여 사용된 각각의 입력 자료를 일정범위 내에서 변화시

킴으로써 입력 값의 미세한 변화가 출력 값에 얼마만큼의 영향을 미치는가를 평가함으로써 혹시 잘못 예측된 입력 값이 경제성 평가결과에 미칠 영향을 분석하여 발생 가능한 투자의 오류를 사전에 예방하고자 하는데 목적이 있다.

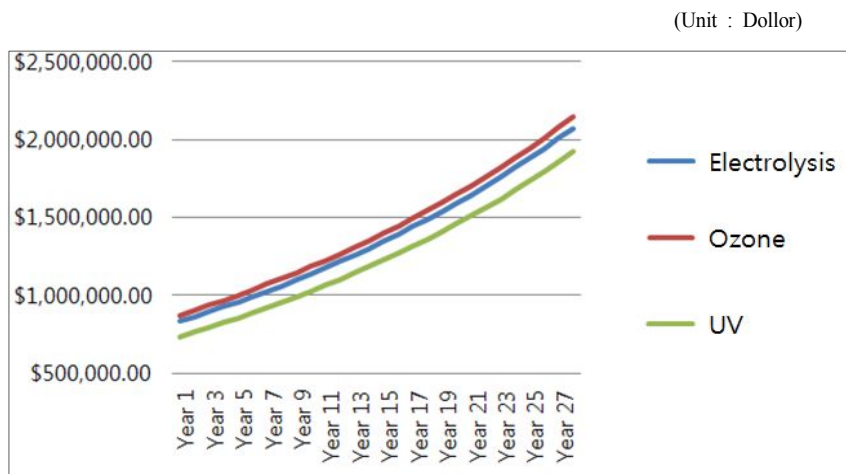
따라서 본 연구에서는 이자율에 따른 민감도 분석을 수행하였다. 미래에 발생하는 비용을 현재의 비용과 같지 않다. 이를 화폐의 시간 가치라고 하며, 경제성 평가 시 이자율을 최근 10년간의 기준 금리를 평균 3.18%로 가정하였다.

[Fig. 13]은 프로젝트 기간에 따른 실질적 비용 추이를 나타낸다. 그래프에서 보는 바와 같이, UV 처리방식의 평형수 처리장치의 상대적 비용 증가가 크다는 것을 알 수 있다.

[Fig. 14]는 57K Cargo Ship에 설치 대상의 평형수 처리장치의 프로젝트 기간에 따른 실질적 비용 추이를 나타낸다. 그래프에서 보는 바와 같이, Ozone 처리방식의 평형수 처리장치의 상대적 비용 증가분이 크다는 것을 확인할 수 있다.



[Fig. 13] NPV at 3.18% for DWT 175K Bulk Carrier



[Fig. 14] NPV at 3.18% for DWT 57K General Cargo Ship



## V. 결론

본 연구에서는 3가지 평형수 처리장치를 DWT 175K Bulk Carrier 및 DWT 57K General Cargo Ship 선박에 적용함으로써 CAPEX, OPEX 및 민감도 분석을 통해 대상 선박에 대한 최적의 선박 평형수 처리장치를 선정하는 과정을 분석하였다.

DWT 175K Bulk Carrier의 경우, 오존처리방식의 평형수 처리장치가 다른 2가지 방식의 처리장치에 비해 초기설치비용(CAPEX) 측면에서 유리하였고, 연간 운전비용(OPEX) 측면에서는 전기분해처리방식의 평형수 처리장치가 다른 2가지 방식의 처리장치에 비해 유리한 것으로 분석되었다.

DWT 175K Bulk Carrier의 경우, 자외선처리방식의 평형수 처리장치는 초기투자비용(CAPEX)과 연간 운전비용(OPEX) 모두 다른 2가지 방식의 처리장치에 비해 높은 편임을 알 수 있었다. 그 이유는 선박이 대형화가 되면 될수록 처리장치의 용량도 함께 증가하게 되며, 그에 따라 추가로 설치되는 장치의 개별 모듈이 증가하게 되어 처리장치의 가격도 함께 증가하게 되었다. 처리장치의 유지보수에 필요한 작업도 함께 증가하게 되어 운전비용도 함께 증가하는 것으로 분석되었다.

DWT 57K General Cargo Ship의 경우, 자외선처리방식의 평형수 처리장치는 다른 2가지 방식의 처리장치에 비해 초기설치비용(CAPEX) 측면에서 유리하였고, 연간 운전비용(OPEX) 측면에서는 오존처리방식의 평형수 처리장치가 다른 2가지 방식의 처리장치에 비해 유리한 것으로 분석되었다.

선박의 소형화가 될 수 록 처리장치의 용량도 함께 감소하게 되고 설치되는 모듈도 소형화가 이루어지므로, 초기설치비용도 함께 감소하는 것으로 분석되었다. 다만 오존처리방식의 처리장치의 경우 용량이 감소하더라도 처리장치를 구서하는 기기들의 용량 변화량이 극히 제한적이어서 가격에 미치는 영향이 적은 것으로 분석되었다.

오존처리방식의 처리장치의 경우에는 선박이 대형화가 될수록 상대적으로 전기분해 및 자외선 방식의 처리장치보다 CAPEX와 OPEX 측면에서 유리한 것으로 분석되었으며, 전기분해방식의 처리장치의 경우에는 선박이 소형화가 될수록 상대적으로 자외선 및 오존처리방식의 처리장치보다 CAPEX와 OPEX 측면에서 유리한 것으로 분석되었다.

## References

- Barry, S. C. · Hayes K. R. · Hewitt, C. L. · Behrens, H. L. · Dragsund, E. · Bakke, S. M.(2008). Ballast water risk assessment; principles, processes, and methods, ICES journal of Marine Science 65(2), 121~131
- David, M. · Gollasch, S. · Leppokoski, E.(2013). Risk assessment for exemptions from ballast water management, Journal of Marine Pollution Bulletin 75(1-2), 208~217
- IMO(2002). List of ballast water management systems that make use of active substances which received basic and final approval, BWM(BWM.2/Circ.34.Rev.4)  
<http://www.imo.org/en/OurWork/HumanElement/VisionsPrinciplesGoals/Documents/1023-MEPC392.pdf>
- IMO(2015). Considered test of the Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA) for use in the IMO rule-marking process(MSC/Circ.1023 - MEPC/Circ.392)  
<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/BWM.2-CIRC.34-REV.4.pdf>
- International Maritime Organization(2015). "List of ballast water management systems that make use of Active Substances which received Basic and Final Approval, BWM.2/Circ.34/Rev.4" p.2~13.
- Kim, E. C.(2012), "Consideration on the Ballast Water Treatment System Technology and its Development Strategies", Korean of Society Marine Environment and Energy 15(4), 349~356.
- Kim, E. C. · Cho, J. S. · Park, Y. S. · Lee, J. W.(2009). Installation and shipboard tests of ballast

- water treatment system electro-clean. Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering 12(3), 209~216.
- Kim. J. E. and Kim. S. Y.(2005). "Life-cycle Cost Analysis of Ballast Water Treatment System." Journal of the Society of Naval Architects of Korea 42(6), 673~678.
- Kim. Y. S. · Shin. S. C. · Chung. B. Y. · Jo. J. H. and Kang. B. Y.(2010). "A Study on the Economic Analysis for Ballast Water Treatment System" Journal of the Society on Naval Architects of Korea 47(2), 258~264.
- Korea Institute of Ocean Science and Technology(2008). "Research and Development of Technology to Prepare for controlling Ship's Ballast", p.68.
- Korean Register of Shipping(2010). "Guideline for Retrofitting BWTS for Ships" 32~46.
- Korean Register of Shipping(2014). "Briefings of IMO Meeting MEPC 66", p.1~2.
- Korean Register of Shipping(2014). "Briefings of IMO Meeting MEPC 67", p.1~2.
- Korean Register of Shipping(2015). "Briefings of IMO Meeting MEPC 68", p.1~2.
- Korean Register of Shipping(2016). "Briefings of IMO Meeting MEPC 69", p.1~2.
- "Ministry of Transport(2015). Transport-Related Price Indices : Price", <http://www.transport.govt.nz>
- "Number of ships in the world merchant fleet as of January 1, 2015 by type", <http://www.statista.com>
- Park, D. W. et al. "A Study on the Development of an Energy Saving Ballast Water Treatment Device", Korean of Society Marine Engineering 34(6), 880~886
- "Trend of Standard Interest Rate by Year", <http://www.bok.or.kr>
- 
- Received : 12 July, 2016
  - Revised : 09 August, 2016
  - Accepted : 12 August, 2016