

## 선박 평형수 처리 장치의 선내 배치를 위한 경제성 평가 연구

김수영\*, 신성철†\*, 정보영\*, 조정화\*, 강병윤\*\*

부산대학교 조선해양공학과\*  
리딩 선박 개발(주)\*\*

### A Study on the Economic Analysis for Ballast Water Treatment System

Soo Young Kim\*, Sung Chul Shin†\*, Bo-Young Chung\*, Jung-Hwa Jo\*  
and Byung Yoon Kang\*\*

Dept. of Naval Architecture and Ocean Eng., Pusan National University\*  
Leading Ship Development CO., LTD\*\*

#### Abstract

Various kinds of ballast water treatment systems (BWTS) have been developed corresponding to reinforced IMO rules for marine environment. Some of them got the certificate of IMO and others are waiting for it. Selection of optimum BWTS is very important. Optimum BWTS means not only functional requirements but also economic efficiency. This paper presents economic analysis model for optimum BWTS according to ship type and size. In this study 10 kinds of BWTS whose initial installation cost and maintenance cost are known are analyzed based on present worth method. It is assumed that all BWTS satisfy minimum functional requirements and we need to consider different economical efficiency. Through the economic analysis we could select optimum BWTS.

※Keywords: Ballast water treatment system(밸러스트 수 처리 장치), Initial installation cost(초기 설치비용), Maintenance cost(운영유지비), Present worth method(현재가치법)

#### 1. 서론

IMO에서 채택된 “선박의 밸러스트수와 침전물의 통제 및 관리를 위한 국제협약”(IMO 2004)에 대비하여 많은 기업들과 처리기술들이 IMO의 기

본 승인을 획득하거나 최종승인 검토 중이다.  
 선종별, 크기별에 따른 경제적인 시스템의 선정은 매우 중요하다. 따라서 기존에 선박 발전장치의 경제성에 대한 연구(Kim and Chang 1993)나 컨테이너선의 경제성에 대한 연구(Lee and Ma 1984), 밸러스트 수 처리 장치 중 단일제품에 대한 연구(Kim and Kim 2005)가 이루어진 바 있으나, 선종별, 크기별에 따른 BWTS의 경제성을 분석하는 기존 연구가 없어 BWTS의 경제성 평가틀을 확립하는 것이 필요하다.

본 연구는 선박의 수명주기를 고려하여 밸러스트 수 처리를 위해 개발되는 장치 (Ballast Water Treatment System, BWTS) 들에 적용할 수 있는 경제성 평가의 기본적 틀을 제시하는데 목표를 둔다.

## 2. 경제성 평가 이론

### 2.1 시스템의 평가 기준

시스템의 평가 기준에는 신뢰성, 유연성, 안정성, 적응성, 강인성, 경제성 등이 있다. 여기서 신뢰성, 유연성, 안정성, 적응성, 강인성 등은 직접적 평가 기준에 해당되며 경제성은 직접적인 동시에 기술적 평가 기준들을 절충시키는 기능을 갖는다. 따라서 본 연구는 시스템 평가 기준을 종합적으로 계량화할 수 있는 경제성 평가에 초점을 맞춘다.

### 2.2 경제성 평가 방법의 선정

경제성 평가 방법에는 비용이익분석, 비용효과 분석, 비용효용분석, 비용절감분석 등이 있다 (Agee et al. 1999). 밸러스트 수 처리장치의 경제성 평가에는 처리 장치들이 유사한 성능을 나타내므로 처리 장치의 사용에 따른 비용절감분석이 가장 적합하다.

### 2.3 경제성 평가 인자의 설정

비용절감분석을 위해서는 Fig. 1과 같이 일반적인 인자와 BWTS의 인자를 설정하여 경제성 평가에 적용한다. 여기서 이자율은 2000년도 이후의 시중은행 정기예금금리의 평균값을 사용한다.

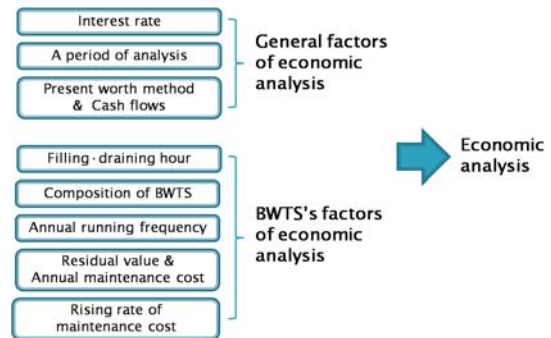


Fig. 1 Factors of economic analysis

### 2.4 경제성 평가 인자의 가정

본 연구에서는 개발되는 밸러스트 수 처리 장치와 이것이 장착되는 선박 및 경제성 계산을 위한 파라미터들을 적당한 값으로 가정했다. 본 연구에서는 이 가정 값들을 사용하지만 처리 장치에 따른 파라미터 값들의 조정은 항상 가능하도록 하였다. 가정 값은 Table 1과 같다.

Table 1 Main supposition for economic analysis

List	Value
Life of ship	30year
Interest rate	4.68%
Rising rate of maintenance cost	3.5%
Annual running frequency	10 times
Change cycle of parts	∞
Residual value	0

### 2.5 경제성 평가 방법

경제성 평가 방법은 기본적으로 현재가치법, 미래가치법, 연간가치법, 내부수익률법 등등이 토대를 이룬다. 그러나 본 연구에서는 이들 중 가장 쉽게 현금흐름을 비교할 수 있는 현재가치법을 사용하였다. 현재가치법에서는 분산된 시점에서 발생하는 모든 비용을 현재시점으로 환산해야 한다. 초기 설치비용이 발생한 시점을 최초의 시점으로 한 후, 매년 일정한 비율로 증가하는 운영유지비가 발생한다고 가정하면, 그때의 현금흐름은 Fig. 2와 같게 된다.

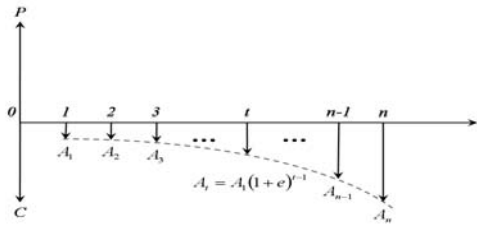


Fig. 2 Cash flow chart of ballast water treatment system

제품 장착 후 1년 시점의 운영 유지비를  $A_1$ , 제품 수명을  $n$ , 연간 운영 유지비의 상승률을  $e$  라 하면, 시점  $t$ 에서의 운영 유지비( $A_t$ )를 구할 수 있다. 따라서 초기 비용을  $C$ 라 하면, 제품 수명동안의 총 비용의 현재가치  $P$ 는 식 (1)로 나타내어진다.

$$\begin{aligned}
 P &= C + \sum_{t=1}^n P_t = C + \sum_{t=1}^n A_1(1+e)^{t-1}(1+i)^{-t} \\
 &= C + A_1 \times \sum_{t=1}^n \frac{1}{1+e} \left( \frac{1+e}{1+i} \right)^t \quad (1)
 \end{aligned}$$

### 3. BWTS의 경제성 평가 예(Lloyd's Register 2007)

#### 3.1 BWTS의 제품 비용 및 운영비

Table 2는 2007년 6월 시점으로 기술 승인을 요청 중인 주요 BWTS 제품별 제품 비용, 연간 운영비 등을 정리한 것으로 초기 투자비와 운영비가 명시되어 있는 5가지 Case를 나타낸 것이다.

Table 2 The cost of BWTS products

Classification	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Treatment method	Filter+UV	Filter+ultrasound (supersonic waves)	Hydrocyclone+electrolysis	Deoxygenation+cavitation (deoxidize+unionize)	Filter+electrolysis/disinfection+exclusion
Company	Marengo	Environmental-Tech	Greenship	NEI treatment	severn trent de nora
Cost of products (200m <sup>3</sup> /h)	\$135,000	-	\$147,000	\$150,000	\$350,000
Cost of products (2000m <sup>3</sup> /h)	\$165,000	\$500,000	\$1,175,000	\$400,000	\$500,000
Maintenance cost per (1000m <sup>3</sup> /h)	\$100	\$5	\$30	\$50	\$20

#### 3.1.1 초기 비용

Fig. 3는 BWTS의 처리 용량의 증가에 따른 초기 설치비용이 선형적으로 증가한다고 가정하여 나타낸 BWTS의 초기비용이다. 이때, 가로축은 시간당 처리용량을 나타내며, 세로축은 초기비용을 나타낸 것으로 다섯 가지의 Case별 처리용량에 대한 초기비용을 나타낸 것이다. 이 경우 Case 3은 처리 용량의 증가에 따른 비용 증가율이 특히 크게 큰 편이다.

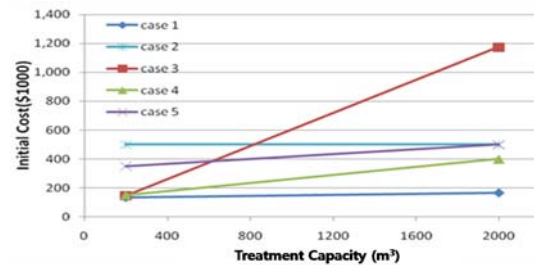


Fig. 3 Initial cost per corresponding treatment capacity

#### 3.1.2 초기 비용 증가

Table 2의 제품 비용으로부터, 처리 용량 200 m<sup>3</sup>/h 증가 당 제품 비용 증가량( $\Delta C$ )을 계산할 수 있고 이를 그래프로 나타내면 Fig. 4와 같다. 이 때, Case 2는 처리 용량이 200 m<sup>3</sup>/h일 때의 기준이 없어 생략하였으며, Case 3의 증가율이 눈에 띄게 크게 나타났다.

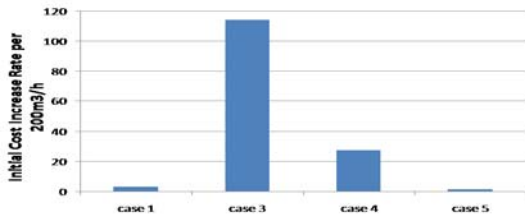


Fig. 4 Initial cost increase rate (200→2,000 m³/h)

3.1.3 운영유지비

Fig. 5는 다섯 가지의 Case별 운영유지비를 나타낸 것이다. 이를 보면, Fig. 3에서 제품 가격이 낮은 Case 1과 4의 운영비가 크다는 것을 알 수 있다.

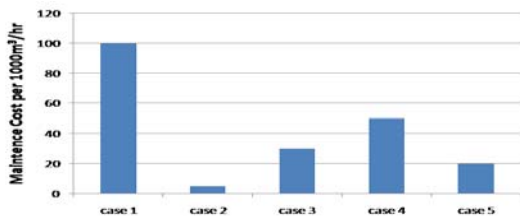


Fig. 5 Maintenance cost of 1,000 m³/h

3.2 선종별, 선박의 크기별 BWTS 분석

Table 4는 선종별, 선박의 크기별 BWTS의 주요 제원이다. 여기서, WBT는 밸러스트 수 탱크 (Water Ballast Tank)를 의미한다. 본 연구에서는 유조선과 산적화물선을 대상으로 연구하였다.

3.2.1 선종별, 선박의 크기별 BWTS의 시스템 구성 결정

Table 4의 주요 제원으로부터 요구 밸러스트

수 처리 용량을 구할 수 있고, 5가지 제품의 시스템 구성을 결정할 수 있다. BWTS의 제품 조합을 Table 4의 주요 제원으로부터 요구 밸러스트수표기하기 위해, 기본 시스템이 처리 용량이 200m³/h인 제품으로 구성되는 경우를 B<sub>s</sub>, 처리 용량이 2000m³/h인 제품으로 구성되는 경우를 B<sub>L</sub>로 표기하고, 용량 증가를 1×'배수'로 표기하여 Table 5와 같이 나타냈다. 여기서 1는 200m³/h씩 증가함을 의미한다.

Table 4 Main particulars of BWTS

Ship type	WBT. volume	Filling·draining hour(Hour)	Number of ballast pump	Ballast pump capacity (m³/h)
96K Tanker	37,000	13	1	3,000
115K Tanker	39,000	14	1	3,000
153K Tanker	53,000	15	1	3,500
155K Tanker	55,000	15	1	3,500
245K Tanker	95,000	18	1	5,000
281K Tanker	93,500	18	1	5,000
42K Bulk Carrier	14,100	9	2	800
68K Bulk Carrier	19,900	10	2	1,000
148K Bulk Carrier	44,200	11	2	2,000

3.3 톤당 처리비 계산

3.3.1 톤당 처리비 계산

다음 과정을 통해 톤당 처리비를 계산할수 있다.

- 1) 선박의 수명과 연간 항차수의 곱으로 밸러스트 수 처리 횟수를 구한다.

Table 5 Alternative construction

Ship type	96K Tanker	115K Tanker	153K Tanker	155K Tanker	245K Tanker	281K Tanker	42K Bulk Carrier	68K Bulk Carrier	148K Bulk Carrier
Pump capacity (m³/h)	3,000	3,000	3,500	3,500	5,000	5,000	800×2	1,000×2	2,000×2
Case 1	B <sub>L</sub> +I×5	B <sub>L</sub> +I×5	B <sub>L</sub> +I×8	B <sub>L</sub> +I×8	B <sub>L</sub> ×2+I×5	B <sub>L</sub> ×2+I×5	B <sub>S</sub> ×2+I×6	B <sub>S</sub> ×2+I×8	B <sub>S</sub> ×2
Case 2	B <sub>L</sub> ×2	B <sub>L</sub> ×2	B <sub>L</sub> ×2	B <sub>L</sub> ×2	B <sub>L</sub> ×3	B <sub>L</sub> ×3	B <sub>S</sub> ×2	B <sub>S</sub> ×2	B <sub>S</sub> ×2
Case 3	B <sub>L</sub> +I×5	B <sub>L</sub> +I×5	B <sub>L</sub> +I×8	B <sub>L</sub> +I×8	B <sub>L</sub> ×2+I×8	B <sub>L</sub> ×2+I×5	B <sub>S</sub> ×2+I×6	B <sub>S</sub> ×2+I×8	B <sub>S</sub> ×2
Case 4	B <sub>L</sub> +I×5	B <sub>L</sub> +I×5	B <sub>L</sub> +I×8	B <sub>L</sub> +I×8	B <sub>L</sub> ×2+I×5	B <sub>L</sub> ×2+I×5	B <sub>S</sub> ×2+I×6	B <sub>S</sub> ×2+I×8	B <sub>S</sub> ×2
Case 5	B <sub>L</sub> +I×5	B <sub>L</sub> +I×5	B <sub>L</sub> +I×8	B <sub>L</sub> +I×8	B <sub>L</sub> ×2+I×5	B <sub>L</sub> ×2+I×5	B <sub>S</sub> ×2+I×6	B <sub>S</sub> ×2+I×8	B <sub>S</sub> ×2

2) 1)에서 구해진 밸러스트 수 처리 횟수에 밸러스트 수 탱크 용량을 곱하여 BWTS의 전체 처리 용량을 구한다.

3) 전체 비용을 2)에서 구한 BWTS의 전체 처리 용량으로 나누어 톤당 처리비를 구한다.

3.3.2 유조선의 톤당 처리비 계산 결과

유조선의 크기별 톤당 처리비용을 계산한 결과는 Fig. 6과 같다.

3.3.3 산적화물선의 톤당 처리비 계산 결과

산적화물선의 크기별 톤당 처리비용을 계산한 결과는 Fig. 7과 같다.

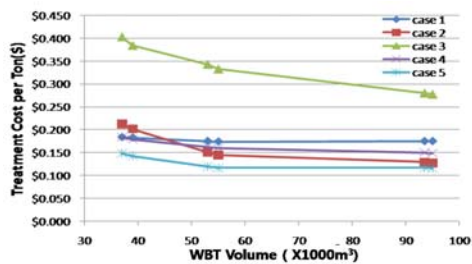


Fig. 6 Treatment cost per ton for tanker

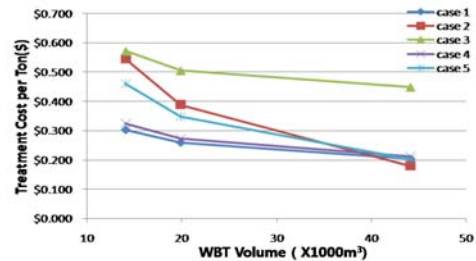


Fig. 7 Treatment cost per ton for bulk carrier

3.4 경제성 평가 결과

1) 선박이 대형화되어 WBT 용적이 증가하면 톤당 처리비용은 감소한다. 이는 WBT의 용적이 커짐에 따라 선박 수명기간동안 처리하는 밸러스트 수 양이 증가하여 톤당 처리비용에서 초기 비용이 차지하는 비율이 감소하기 때문이다.

2) 유조선, 산적화물선의 두 가지 결과를 종합하여 보면, Case 3의 톤당 처리비용이 가장 높고, Case 2가 선박이 대형화 될수록 톤당 처리비용이 낮아져 대형선에 경제적이다.

Table 6 The cost of BWTS products

Classification	Treatment method	Company	Cost of products 200m <sup>3</sup> /h	Cost of products 2000m <sup>3</sup> /h	Maintenance cost per 1,000m <sup>3</sup> /h
Case1	Filter+UV	Marengo	\$145,000	\$175,000	\$0.6-1.0
Case2	Filter+Ultrasound+Ozone	Environmental-Tech	-	\$500,000	\$5
Case4	Deoxygenation+Cavitation	NEI treatment	\$360,000	\$690,000	\$150
Case5	Filter+electrolysis/disinfection+exclusion	severn trent de nora	\$350,000	\$500,000	\$13
Case6	ClO <sub>2</sub>	Ecochlor Inc.	\$500,000	\$800,000	\$80
Case7	Heat	Hi Tech Marine Pty Ltd.	\$780,000	\$1,600,000	\$0
Case8	Deoxygenation with inert gas and CO <sub>2</sub>	M H Systems	\$650,000	\$950,000	\$60
Case9	Filter+Electrochlorination	Siemens	\$400,000	\$600,000	\$20-30
Case10	Electrolysis/Electrochlorination	Techcross	\$297,000	\$559,000	\$3

#### 4. BWTS의 경제성 평가 예(Lloyd's Register 2008)

##### 4.1 BWTS의 제품 비용 및 운영비

Table 6은 2008년 9월 시점으로 기술 승인을요청 중인 주요 BWTS 제품별 제품 비용, 연간 운영비 등을 정리한 것으로 초기 투자비와 운영비가 명시 되어 있는 9가지 Case를 나타낸 것이다. 여기서 Case 3은 2007년에는 초기투자비와 운영비가 명시 되어 있었으나 2008년에는 운영비가 명시 되어 있지 않아 생략하였으며 Table 2와 6의 Case 1, 2, 4, 5는 초기 투자비와 운영비가 변화하였으나 동일 제품이다.

##### 4.2 톤당 처리비 계산

3장에서 설명한 것과 같은 과정을 통하여 톤당 처리비를 계산할 수 있다.

##### 4.2.1 유조선의 톤당 처리비 계산 결과

유조선의 크기별 톤당 처리비용을 계산한 결과는 Fig. 8과 같다.

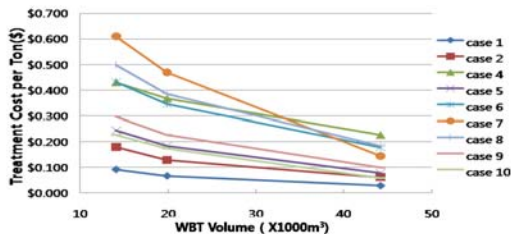


Fig. 8 Treatment cost per ton for tanker

##### 4.2.2 산적화물선의 톤당 처리비 계산 결과

산적화물선의 크기별 톤당 처리비용을 계산한 결과는 Fig. 9와 같다.

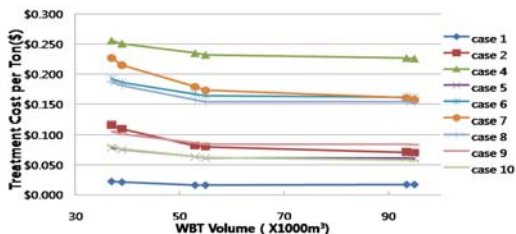


Fig. 9 Treatment cost per ton for bulk carrier

#### 4.3 경제성 평가 결과

1) 전체적으로 선박이 대형화되어 WBT 용적이 증가하면 톤당 처리비용은 감소한다.

2) 유조선, 산적화물선의 두 가지 결과를 종합하여 보면, Case 1의 BWTS가 WBT 용적이 변하더라도 가장 경제적이다.

#### 5. 평가 결과의 비교

2007년 자료와 2008년 자료에 모두 초기 비용과 운영 유지비가 명시되어 있는 Case 1, 2, 4, 5의 톤당 처리비를 선종별로 비교하였다.

##### 5.1 2007-08 유조선의 톤당 처리비 비교

Fig. 10은 2007년과 2008년의 유조선의 크기별 톤당 처리비용을 나타낸 것이다. 실선은 2007년, 점선은 2008년의 톤당 처리비를 나타낸다.

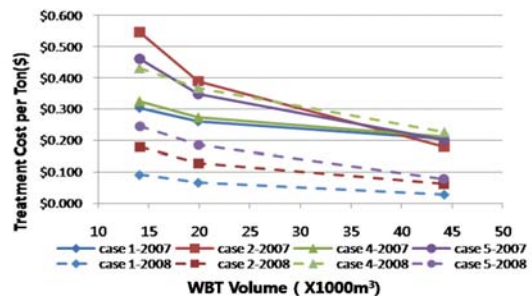


Fig. 10 Treatment cost per ton for tanker

##### 5.2 2007-08 산적화물선의 톤당 처리비 비교

Fig. 11은 2007년과 2008년의 산적화물선의 크기별 톤당 처리비용을 나타낸 것이다. 실선은 2007년, 점선은 2008년의 톤당 처리비를 나타낸다.

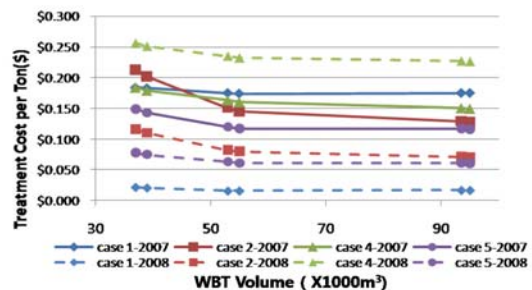


Fig. 11 Treatment cost per ton for bulk carrier

5.3 2007-2008 톤당 처리비 비교 분석

1)유조선과 산적화물선 모두 대부분 Case의 톤당 처리비가 2007년에 비해 2008년에 감소하였으나, Case4는 증가하였음을 알 수 있다. 이는 2008년에 Case4의 초기비용과 운영유지비가 크게 증가하였기 때문이다.

2)두 선종 모두 2007년에는 모든 Case들이 어느 정도 비교가 가능한 값을 나타내었으나, 2008년에는 Case 1이 두드러지게 낮은 값을 나타냈다. 이는 Case 1의 운영유지비가 1년 사이에 대폭 감소하였기 때문이다.

Case 1에 대한 자료의 문제가 있는 것인지, 실제 Case 1을 개발한 회사 기술의 비약적 발전 때문인지는 차후 더 조사해 볼 필요가 있다.

6. 결론

이상의 연구 결과를 정리하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 현재 개발 중인 밸러스트 수 처리 시스템의 톤당 처리비 비교를 통해 선박 내 BWTS을 선정을 위한 정량적 평가 기준을 마련하였다.
2. 경제성 평가를 통해 BWTS의 선종별, 톤수별 최적 경제성을 갖는 밸러스트 수 처리 시스템의 최적 조합의 선정이 가능하였다.
3. 본 연구는 경제성 비교를 위한 특정 값에 초점을 맞춘 것이 아니라 경제성 평가를 위한 준거틀을 구성하고 처리 장치들의 실제 값이 입력되면 그에 상응하는 경제성 값이 도출될 수 있도록 했다.

후 기

이 연구는 한국과학재단의 첨단조선공학연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Agee, M.H., Case, K.E., Prett, D.B. and White, J.A., 1999, Principles of Engineering Economic Analysis, John Wiley & Sons, New

York.

- IMO, MEPC, 2004, International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments.
- 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, Vol. 42, No. 6, pp. 673-678.
- Kim, J.J. and Chang, S.T., 1993, "Economic Evaluation Method for Marine Electric Generating Systems Using a Comprehensive Economic Index," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 30, No. 1, pp. 10-19.
- Lee, D.K. and Ma, S.I., 1984, "A Study on the Economics of Container Ships at Preliminary Design Stage," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 21, No. 2, pp. 1-7.
- Lloyd's Register, 2007, Ballast Water Treatment Technology Current Status.
- Lloyd's Register, 2008, Ballast Water Treatment Technology Current Status.



< 김 수 영 > < 신 성 철 >



< 정 보 영 > < 조 정 화 > < 강 병 윤 >