

LCC 분석에 의한 Ballast Water 처리 시스템의 경제성 평가

김제은^{†*}, 김수영^{*}, 김형만^{**}, 서관희^{***}

부산대학교 조선해양공학과^{*}

해군사관학교^{**}

한진중공업 특수선 설계팀^{***}

Life-Cycle Cost Analysis of Ballast Water Treatment System

Je Eun Kim^{†*}, Soo Young Kim^{*}, Hyung Man Kim^{**} and Guan Hui Seo^{***}

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan University^{*}

Republic of Korea Naval Academy^{**}

Hanjin Heavy Industries & Construction Co., Ltd.^{***}

Abstract

IMO adopted "International Convention for The Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments" on February 13th 2004. According to this convention, a ballast water treatment system should be installed in all ships obligatorily up to a standard date. When the system is installed, economic propriety should be considered. The economic propriety analysis examines the profit of a relevant project which can be presented by a equation, (Profit) = (income) - (expense) - (tax). However, the ballast water system is not for the profit during the life cycle but for the satisfaction of the regulation. Therefore, the expense should be minimum against the profit. This study presents the LCC(Life-Cycle Cost) analysis for economic evaluation of several ballast water system of foreign products.

※Keywords: Ballast water(밸러스트 수), Treatment system(처리 시스템), Economic analysis(경제성 분석), Life-cycle cost analysis(수명주기비용분석)

1. 서론

2004년 2월 13일, "선박의 Ballast Water와 침전물 관리 협약(International Convention for The Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments)" 이 IMO에서 채택 되었다.

접수일: 2005년 7월 11일, 승인일: 2005년 10월 7일

†주저자, E-mail: unimarine@pusan.ac.kr

Tel: 051-510-3277

협약에 따르면, 모든 선박은 정해진 기준일에 따라 성능 기준을 만족하는 밸러스트 수 처리 시스템을 의무적으로 장착하여야 한다(IMO 협약).

현재 밸러스트 수 처리 시스템의 기술 수준은 개발 초기단계에 있다. 처리 시스템 기술개발과 병행하여 어떤 시스템을 선택해야 하는가 하는 문제와 선박의 어느 곳에 어떻게 배치할 것인가의 하는 문제가 뒤따른다. 선박의 선종, 크기, 목적 및 연령에 따라 시스템 선택과 배치는 달라질 것이며 각 선박에 적합한 최적 시스템 선정이 필요하다.

본 연구에서는 아직 처리 시스템의 개발 단계라 이르는 하지만 시스템 도입 시 고려되는 경제성 평가에 대해 알아보고 수명주기비용 분석 기법을 이용하여 밸러스트 수 처리 시스템 대안 중 가장 경제적인 대안을 선정하는 방법을 제안하고자 한다.

2. 밸러스트 수 처리 기술

밸러스트 수 처리기준을 보게 되면 최소길이 50 μ m 이상의 생존 개체의 수는 m^3 당 10개, 최소길이 10 μ m ~ 50 μ m의 생존 개체의 수는 ml 당 10개 이하로 거의 해양생물이 존재할 수 없을 정도의 엄격한 규정을 제시하고 있다(IMO 협약).

이러한 규정에 대처하기 위해 현재 개발되고 있는 대표적인 처리 방법들은 여과 및 기계적 처리, 열처리, 전해 처리, 자외선 처리, 화학적 처리 및 초음파 처리 등이 있다(임석원 등 2004). 처리방법에 대한 장단점 비교는 Table 1과 같다.

Table 1 Comparison of treatment technology

처리기술	장점	단점
여과 및 기계적 처리	2차 오염 없음	미생물 제거 제한 설치 비용/공간 큼
열처리	폐열 이용 가능	온도상승 초래
전해처리	간편	누전 가능성
자외선 처리	일부생물에 큰효과	혼탁상태에서 약함
화학적 처리	각종생물에 큰효과	2차 오염가능
오존 처리	작은 생물처리용량	2차 오염가능
초음파	2차 오염 없음	개발 중

최근 시스템 개발은 대표적인 처리 방법을 2가지 이상 복합하여 처리효과를 극대화 하는 경향으로 진행되고 있다. 대표적 처리방법들의 장단점을 고려한 복합 방법을 추정해보면 여과, 오존, 자외선 방법의 조합이 유용함을 알 수 있다. 실제 외국에서도 여과와 자외선, 여과와 오존을 혼합한 방법이 많이 연구되고 제품이 출시되고 있다.

3. 경제성 평가

시스템을 평가할 때 신뢰성, 유연성, 안정성, 적응성, 강인성, 경제성 등을 고려하게 된다(Hitomi 1995). 이 중 경제성 평가는 시스템 간에 직접 또는 간접적 비교가 가능하기 때문에 다른 평가 기준을 포괄할 수 있다.

경제성 평가는 분석 목적이나 방법에 따라 크게 비용이익분석(Cost-benefit analysis), 비용효과분석(Cost-effective analysis), 비용효용분석(Cost-utility analysis), 비용절감분석(Cost-reduction or cost-minimization) 등으로 나뉘 볼 수 있다.

비용이익분석은 경제학 분야에서 많이 사용되는 것으로 비용과 결과를 모두 돈의 개념으로 다룬다. 이 방법은 결과가 돈으로 통일되어 있어 다른 사회적 가치와의 비교를 가능하게 한다. 비용효과분석은 돈으로 측정 불가능한 가치문제를 자연단위(natural unit)로 비교하는 방법이며 이중 궁극적인 목표의 최종결과를 비교하는 방법을 구분하여 비용효용분석이라고 한다.

비용절감분석은 동일한 결과를 도출하는데 드는 비용을 분석하는 것이다. 이 분석 방법은 결과가 동일하다는 가정 하에서만 적용가능하다는 단점이 있다.

기존의 선박에 추가적으로 설치하는 밸러스트 수 처리 시스템은 선주 측의 이익 목적으로 설치하는 것이 아니라 국제 법규를 준수하고 환경을 보호하는 목적에서 설치되는 것이다. 따라서 밸러스트 수 처리 시스템의 경제성 평가는 이익 또는 효과 분석 보다는 비용을 최소로 하는 관점에서 이루어져야 한다.

밸러스트 수 처리 시스템은 한번 장착하고 나면 선박의 수명만큼 운용기간이 길기 때문에 기획에

서 구매, 설치, 운영 또는 사용 등의 전 수명주기 동안의 드는 비용을 모두 고려하여야 한다. 따라서 가장 경제적인 시스템을 찾기 위해서는 수명주기비용(Life-Cycle Cost)의 분석이 필요하다.

4. Life-Cycle Cost Analysis

수명주기비용(Life Cycle Cost)이란 일반적으로 제품의 생산, 사용, 처분의 각 단계에서 생기는 비용의 총합을 말한다(Ostwald 2004).

일반적으로 제품 또는 시스템의 수명주기 동안 발생하는 비용을 그래프로 나타내면 Fig.1과 같다.

LCC 분석은 어떤 대안에 대하여 경제적인 수명 범위 내에서 발생하는 모든 중요한 비용을 등가로 환산하여 경제성을 평가하는 방법이다. 즉 프로젝트의 여러 대안 중 최적 안을 선택하는데 있어서 고려하여 할 모든 요소들에 대해 일정기간에 발생하는 금전적 가치의 비교를 통하여 경제적 평가를 수행하는 절차라고 정의 할 수 있다(오민규 등 2004)

LCC 분석의 기대효과는 사업의 기획과정에서 경제성 평가과정을 명확히 함으로써 비용절감뿐 아니라, 체계적이고 투명한 경제성 평가 대안의 제시로 적절한 투자 유도가 가능해진다.

LCC 분석은 1930년 이후 미 국방성에 의한 연구 개발이 시작되어 군수지원을 위한 비용 평가 수법으로 이용되다가 1960년에 처음으로 LCC 라는 용어가 사용되었다. 국내에는 1980년대 초에 LCC 개념이 처음 소개되었고 그 이후 건물의 유지관리 측면에서 건설 분야에 주로 활용되어 왔다.

본 연구에서는 건설 분야의 LCC 분석을 참고로

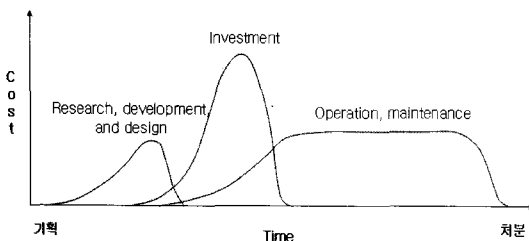


Fig.1 Cost for life-cycle

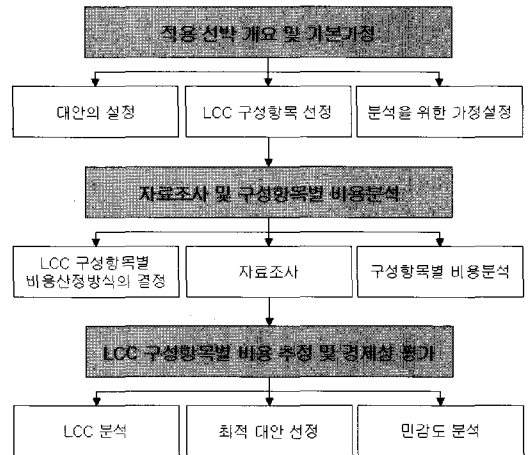


Fig. 2 LCC process

밸러스트 수 처리 시스템 경제성 평가에 적합하도록 재구성하였다.

밸러스트 수 처리 시스템의 LCC 분석절차는 Fig. 2와 같다.

5. LCC 분석 수행

본 연구에서 예로 적용한 선박은 2000TEU 컨테이너선이고 밸러스트 탱크 용량과 펌프 용량은 Table 2와 같다.

일반적으로 밸러스트 용량은 선박 배수량의 약 2/5 정도 해당한다. 하지만 컨테이너선의 경우는 ballasting과 deballasting이 주로 stability와 trim 조절을 위해 이루어지기 때문에 유조선에 비해 ballast capacity가 적은 편이다.

5.1 대안 선정

본 연구에서는 외국에서 개발된 대표적인 두 밸러스트 시스템의 직접적인 비교분석을 통해 최소 LCC를 갖는 대안을 도출하고자 한다.

Table 2 Applied ship

Vessel Type	2000TEU Containership
Ballast Tank Capacity	15,000m ³
Ballast Water Pumping Capacity	300m ³ /hr pump 2 set

대안은 외국에서 개발된 "CS(Cyclonic Separator) + UV" 방법과 "Filter + UV" 방법이다. CS 방법은 많은 양의 처리는 가능하지만 큰 처리효과를 보기 힘들고 Filter 방법은 뛰어난 처리효과를 보이지만 많은 양을 처리할 수가 없다.

5.2 가정 설정

선박의 내구연한은 물리적, 기능적, 경제적 내구연한 등으로 볼 때 통상 25에서 30년으로 보는데 본 적용 예에서는 잔존 수명이 20년인 컨테이너선으로 하였다.

화폐의 시간적 가치를 고려하기 위한 할인율은 시장에서 금리의 주도적 역할을 하는 시중은행 정기예금금리(1990년 ~ 2004년 사이의 평균 이자율 : 8.26%)를 적용하였다. 물가상승률은 일반적으로 소비자 물가지수에 의해서 측정되는데 대안의 경제성 분석기간이 길기 때문에 평균 연간 물가상승률을 적용하였다. 인플레이션율은 연료 3%, 유지비(노무비 포함) 5%, UV 램프와 CS, filter 부분 4%로 적용하였다.

5.3 주요 비용

초기 비용은 Table 3과 같다.

세금과 운송을 포함한 모든 장비 관련 비용은 일시불로 지급하는 것으로 가정하여 추가 이자율 지급은 없다. 설치비에는 piping, valves, controls, electrical hookup 등 시스템에 관련한 비용과 drydocking, tank cleaning 관련한 비용도 포함하고 있다.

15,000m³ 양의 밸러스트 수를 처리하기 위해 UV에 필요한 전기량은 1000KW이다. 이 1000KW의 전력을 얻기 위해서는 발전기의 월간 연료량이 150L 가량이 들고 연간 연료량을 계산하게 되면 150L × 12회 = 1800L이 된다. 연료 1800L에 대한 현재 가격은 \$550 정도이다.

Table 3 Initial cost

Item	Material Cost	Installation Cost	Contingency	Total
CS+UV	\$200,000	\$140,000	\$40,000	\$380,000
Filter+UV	\$210,000	\$150,000	\$40,000	\$400,000

유지관리비의 비용항목은 정기적인 일반관리비, 펌프와 시스템에 관련된 유지보수비, 새로운 장비의 유지보수비 및 청소비, 장기수선비(특별수선충당금) 등을 포함한다. 유지관리비가 차지하는 비중은 시스템에 따라 다르기 때문에, 정확하게 결정할 수 없다. 유지관리비는 매년 드는 비용과 그렇지 않은 비용으로 구분하였으며 제품 개발회사의 데이터를 참고하였다.

CS와 Filter의 수명은 따로 정해져 있지 않고 유지관리만 잘해주면 선박의 수명동안 교체하지 않아도 된다. 따라서 교체비에는 소모품인 UV 램프(16개) 해당된다. UV 램프 수명은 1000시간 정도이다. 한번 밸러스트 처리 시간이 10시간이므로 처리 시스템은 일년에 120시간을 사용하게 된다. 따라서 UV는 대략 8년 정도 후 교체하게 된다. 본 예에서는 램프 수 16개를 매년 2개씩 교체한다고 가정한다.

잔존가치는 특별한 기준이 없으므로 0%로 가정한다.

5.4 현재가치로의 환산

서로 다른 시점에서 발생하는 비용들은 시간적 가치를 동일하게 하여 LCC를 산정할 필요가 있는데 본 연구에서는 현가법(현재의 가치로 환산하는 방법)을 이용하였다. Fig. 3은 현가법의 환산 개념을 나타낸 것이다.

비용 발생 시점을 결정 할 때 초기비의 발생 시점은 분석시기(현재시점)와 일치하기 때문에 유지비관리비, 교체비, 에너지비만 환산을 고려하면 된다.

유지관리비, 교체비, 에너지비는 일정한 가격

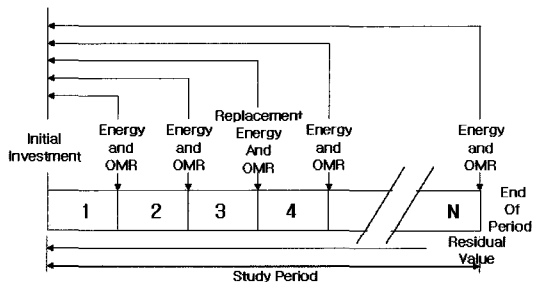


Fig.3 Transform to present value

변동률(e)을 가지고 매년 주기적으로 발생하는 비용이라고 보며 현재가치로 환산할 때는 식 (1)을 쓴다.

$$PV = A_0 \times \sum_{t=1}^n \left[\frac{1+e}{1+i} \right]^t \tag{1}$$

$$= A_0 \times \frac{(1+e)}{(i-e)} \left[1 - \left(\frac{1+e}{1+i} \right)^n \right]$$

A_0 : 매년 발생 비용 i : 할인율
 e : 가격 변동률 n : 내구연한

6. LCC 분석 결과

각 대안에 대하여 유형별 비용을 총합함으로써 LCC를 산정하고 민감도 분석을 수행한다.

6.1 최소 LCC 산정

식 (2)는 LCC 산정 식이다.

LCC = 초기비의 현재가 + 교체비의 현재가
 - 잔여가치의 현재가 + 에너지 비용의 현재가
 + 유지관리비의 현재가 (2)

Table 4는 LCC 산정 결과를 요약한 것이고 Fig.4 는 LCC에 대한 비용 구성을 나타낸 그림이다.(1=초기비, 2=에너지비, 3=연간유지관리비, 4=비연간유지관리비, 5=교체비, 6=잔존비)

처리 시스템의 경제성 평가는 PV(Present Value of Life-Cycle Cost), AAC(Average Annual Cost), \$/ton을 비교하였다. AAC는 PV를 매년 주기적으로 발생하는 일정 비용 A로 환산 한 것으로 식 (3)과 같다.

Table 4 LCC Summary

	CS+UV	Filter+UV
Initial Cost	\$370,000	\$390,000
Energy Cost	\$59,281	\$47,425
Annual OM&R Cost	\$144,062	\$172,874
Non An OM&R Cost	\$24,473	\$35,520
Replacement Cost	\$13,475	\$16,170
Residual Cost	\$0	\$0
Total PV Cost	\$611,291	\$661,989

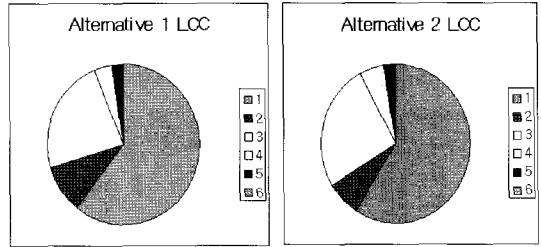


Fig. 4 Component of LCC

Table 5 Cost per ton

	CS+UV	Filter+UV
Total PV Cost	\$611,291	\$661,989
AAC	\$63,471	\$68,735
Pumped/Year	180,000	180,000
Cost/Ton	\$3.53	\$3.82

$$A = PV \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \tag{3}$$

A : 매년 발생 비용 i : 할인율
 n : 내구연한

그리고 위에 경제성 지표는 Table 5와 같다.

Table 5에 따르면 두 대안('CS+UV', 'Filter+UV') 중 톤당 처리 비용이 최소가 되는 'CS+UV'가 최적 대안이라고 볼 수 있다. Cost/ton은 \$3을 넘고 있는데 이는 국제적으로 제시되고 있는 추정치 보다 무척 큰 값이다. 이는 처리 용량을 적게 가정을 하였기 때문이다.

6.2 민감도 분석

민감도 분석은 LCC 분석에 적용되는 각종 지표 들은 대부분 추정 값들로서 그 정확도를 보증하기 어렵다. 따라서 입력 자료가 잘못 예측되었을 경우 분석결과에 크게 영향을 미쳐 잘못된 판단을 내릴 수 있기 때문에 이를 보완하기 위해 민감도 분석을 수행한다.

본 연구에서는 가장 유연성이 있는 값인 에너지 가격, 유지관리비 그리고 할인율을 변화시켜 LCC 결과의 변화 민감도를 분석하였다.

에너지 가격을 매년 0.5%씩 증가 시켰을 때 LCC의 변화 민감도는 0.4%정도였다. 유지관리비

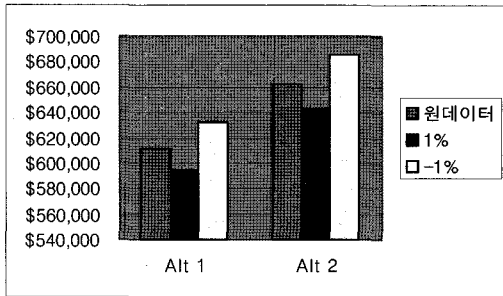


Fig. 5 Sensitivity Analysis of Discount Rate

를 20% 증강하였을 때의 각 대안별 LCC는 4~6%내외로 작은 민감도를 보였으며 2안(Filter+UV)이 좀더 높은 민감도를 보였다. 한편 할인율의 변화는 은행대출이자의 변동을 감안하여 정한 8.26%를 1% 증강하여 민감도를 분석하였다. 할인율을 1% 증가시키면 LCC가 2.8%정도 하강하였으며, 할인율을 1% 낮추게 되면 LCC가 3.6% 정도 상승하였다. 따라서 할인율의 민감도가 크기 때문에 가능한 정확한 자료의 대입이 필수적임을 알 수 있다. Fig. 5은 할인율에 대한 민감도 그래프이다.

7. 결 론

현존하는 선박들의 잔존수명은 다양하고 선종 및 크기 마다 밸러스트 수 처리량이 다르다. 또한 선종마다 요구되는 밸러스트 수 처리 시스템과 설치 공간이 다르므로 각 선박에 대한 최적 밸러스트 수 처리 시스템이 필요하다. 이에 시스템의 중요한 평가기준인 경제성을 통해 최적 시스템을 결정하고 평가한다.

경제성 평가 목적에 따라 다양한 방법이 있다. 밸러스트 수 처리 시스템의 설치 목적에 의해 비용절감분석이 필요하며 이에 수명주기 동안의 비용을 고려한 LCC 분석 방법을 이용하였다. 본 연구에서는 LCC 분석에 의한 밸러스트 수 처리 시스템 경제성 평가가 논리적 접근 방법임을 확인하였다.

현재 각기 개발 중인 처리 시스템들이 개발 완료되면 그들의 새로운 최적 조합에 따라 전체 시

스템이 확정될 것이고 그때쯤이면 더욱 현실적이고 실용적인 평가가 이루어 질 것이다. 효과적인 경제성 평가를 위해서는 최적 배치 및 설치와 함께 연구되어야 하고 LCC 분석의 대상이 되는 밸러스트 수 처리 시스템의 정확한 사용연한, 고장률, 에너지 효율, 에너지의 가격 변동률 등에 관한 자료가 필요하다.

신조선 계획 시점과 선박이 건조되는 시점을 약 3년으로 본다면, 2009년 건조되는 선박부터 기준을 만족하여야 하므로 최소한 2006년까지는 신조선에 적용 가능한 시스템이 개발되어야 하고 그때쯤 더욱 활발한 경제성 평가가 이루어질 것이라고 예상된다.

후 기

본 논문의 내용은 부품소재기술개발 사업인 '선박 내 Ballast Water 처리 시스템 개발'의 일부로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- 오민규, 이봉진, 홍희기, 강용태, 2004, "LCC분석에 의한 상온 에너지수송용 흡수식 냉동기(STA)의 경제성 평가," 대한설비공학 논문집, 제 15권, 제 6호, pp. 506-513.
- 임석원, 권오익, 신동원, 2004, "선박의 밸러스트 수와 침전물 관리 협약에 관한 고찰," 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 65-71.
- Hitomi K., 1995, Manufacturing Systems Engineering, pp 26-56.
- Ostwald F., 2004. Cost Analysis and Estimating for Engineering and Management, pp 409-454, Pearson Prentice Hall



< 김 제 은 > < 김 수 영 > < 김 형 만 > < 서 관 희 >