

운항선 중심의 선박 경제운항 관리의 기술적 분석

Technical Analysis on Existing Ship's Economical Operation

강남선^{1*} · 김용대² · 윤현규³ · 변상수⁴

¹마린웍스 주식회사 연구개발팀

²마린전자상사 연구소

³창원대학교 산업조선해양공학부

⁴현대해양서비스 R&D 센터

Nam-seon Kang^{1*} · Yong-dae Kim² · Hyeon-kyu Yoon³ · Sang-su Byeon⁴

¹R&D Center, Marineworks, Busan 92110, Korea

²R&D Center, MECys, Busan 92110, Korea

³School of Industrial Engineering & Naval Architecture, Changwon National University, Gyeongsangnam-do 51140, Korea

⁴R&D Center, Hyundai Ocean Service, co., ltd, Busan 48931, Korea

[요 약]

본 논문에서는 해운선사의 운영비용 관리를 위해서 현존선의 항차 단위의 선박 경제운항 기술을 위한 개념 연구를 수행하였다. 해운산업 현황과 경제운항 기술개발 현황, 기술 요구사항 및 선박 운영에 필요한 비용 요소를 분석하여 경제운항 관리요소를 도출하였다. 개별 항차를 기준으로 현존선의 경제운항은 연료비와 항만에서 사용되는 비용을 최소화 하는 것이며, 이를 위해서 저속운항, 정속운항, 배수량 관리, 최적 트림, 최적 항로 선정, 터미널 생산성 관리, 선박 에너지 절감 활동을 관리한다. 최적항로, 터미널 생산성 관리는 절감된 시간으로, 저속운항, 정속운항, 최적트림, 선박 에너지 절감은 권고사항 만족 여부를 관리한다.

[Abstract]

The present study is concept research on the operation cost management of shipping firms, especially considering technology for economical ship operation of existing ships in units of voyage. The factors that influence economical ship operation management were identified by analyzing the current status of the shipping industry, the development of economical ship operation technologies, technological requirements, and the cost factors of ship operation. Economical operation of existing ships, especially, the economical operation of the units of each voyage, may minimize fuel cost and port charges. This requires low-load streaming cruise control, ballast control, optimal trim, optimal routing, terminal work efficiency improvement, and ship energy management. Optimal routing and terminal work efficiency improvement manage the time saved. To determine the low-load streaming, cruise control, ballast control, optimal trim and ship energy management are meeting the recommendations.

Key word : Onboard and shore-based application services, Optimal ship routing, Slow streaming, Operation costs, Voyage costs, Ship voyage report.

<https://doi.org/10.12673/jant.2016.20.6.519>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 25 November 2016 Revised 12 December 2016

Accepted (Publication) 28 December 2016 (30 December 2016)

*Corresponding Author; Nam-seon Kang

Tel: +82-10-2520-1099

E-mail: namseon.kang@marineworks.co.kr

I. 서론

현재 해운산업은 2008년 이후 세계 선박 수출입 물동량 급감, 선복과잉, 해양환경 규제 강화 등으로 인해 극심한 불황을 겪고 있다. 컨테이너선은 초대형 컨테이너선의 건조와 해운선사 간의 경쟁심화로 운임이 저하되고 있고, 벌크선, 유조선도 운임상승을 위한 모멘텀을 찾지 못하는 등 주요 운임지수가 지속적으로 하락세를 유지하고 있다.

이러한 문제점 해결을 위해서 일부 글로벌 해운선사에서는 규모의 경제(Economy of scale), 에너지 효율(Energy efficient), 친환경(Environmentally improve)이 강조된 선박을 건조하여 빠른 속도로 경영 구조를 개선하고 있다[1]. 하지만 현존선을 운영하는 대부분의 해운선사들은 초기 투자비용이 매우 큰 신조선 건조가 현실적으로 불가능하며 경제운항 기술도입을 위한 비용과 인력확보에 많은 어려움을 겪고 있다. 현재 많은 해운선사에서 저속운항과 유류비 절감으로 저가 수주에 대한 손실을 해결하는 반면 소수 상위 해운선사의 글로벌 시장 점유율은 지속적으로 확대되고 있어 집중에 따른 비경쟁적 요소 작용으로 시장의 왜곡현상이 우려되고 있다. 대부분의 해운선사들은 경제운항 방법으로 유류비 절감을 위한 저속운항을 선택하고 있으며, 현재 연구되고 있는 선박 경제운항 기술도 연료사용량 최소화에 한정되어 있어 해운시장 변동을 반영하지 못하는 단점이 있다[2]-[3].

본 연구에서는 해운선사의 운영비용 관리를 위한 특히, 현존선의 항차 단위의 선박 경제 운항 기술을 위한 개념 연구를 수행하였으며 구성은 다음과 같다. 2장에서는 해운산업과 경제운항 기술에 대한 현황을 분석하고, 3장에서는 선박 운항에 따른 비용 요소를 분석한다. 4장에서는 경제운항을 위한 관리 요소를 도출하고 5장에서 결론 및 향후 방향을 제시한다.

II. 선박 경제운항 기술 동향

2-1 해운산업 현황

현재 해운산업은 첫째, 초과 공급문제가 해소되지 않고 있다. 대부분 선종의 공급률이 물동량 증가 비율을 선회하여 BDI (Baltic dry index), BCIY(Baltic tanker clean index), BDIY(Baltic tanker dirty index), HW(Howe robinson container index) 등 해운 주요 운임지수가 그림 1과 같이 지속적으로 하락하고 있으며, 선박 운영비용보다 운임이 낮아져 운항 수익을 얻지 못하고 있다[1]. 이에 따라 해운선사에서는 선박 운영비용을 줄여 손실을 최소화하기 위해 다양한 노력을 하고 있으며, 일부 해운선사에서는 선박을 운항하지 않고 묶어 두는 계선(anchoring)을 하고 있다.

둘째, 선박 운영비용 절감과 강화되는 해양환경 규제로 인하여 연비의 개선과 경제운항에 대한 관심이 높아지고 있다. 연비는 1일 동안 소요된 마력과 단위 연료 소모량의 곱으로 선박의

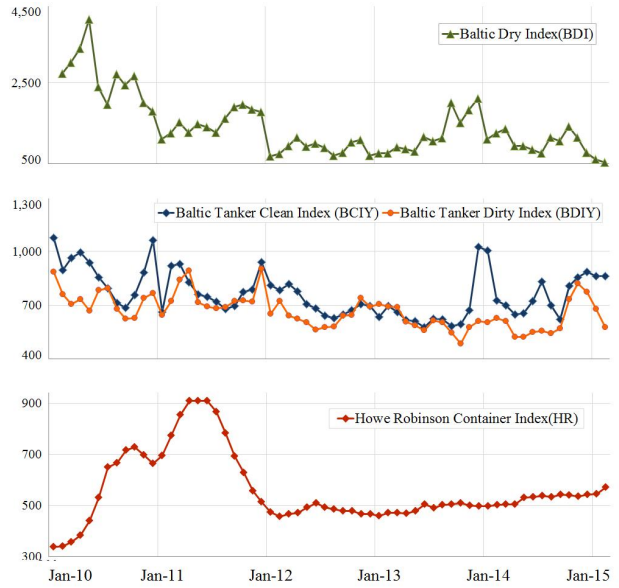


그림 1. 해운 주요 운임지수 변동 추이[1].

Fig. 1. Trends of key shipping cost indices.

효율성이 금액으로 비교되는 지표로 활용되고 있다. 연비가 좋은 선박은 동일한 규모의 선박보다 적은 연료를 사용하기 때문에 비용절감과 온실가스 배출량 저감이 가능하며 친환경 선박 기술이 발전할수록 해양환경 규제가 강화될수록 중요성이 강조되고 있다[2].

2-2 경제운항 기술 현황

2008년 오일쇼크 이후 선박 운영비용에서의 연료비 비중이 높아져 경제운항 (optimal ship routing)이 연료 소모량 최소화로 인식되고 있으며, 보다 정확한 연료 소모량을 측정하고 예측하기 위하여 기상과 같은 해상데이터를 적용한 실해상 항로 최적화 기술이 개발되고 있다.

현대중공업과 울산대학교에서 개발된 경제운항 알고리즘은 출항지(departure port, A), 도착지(arrival port, D), 도착 요구시간(arrival deadline)을 기준으로 해상기상예보 (weather forecasting data)를 반영하여 연료 사용량을 추정 (fuel consumption prediction function)하며 이를 통해 출항지와 도착지간의 최적 항로 (optimal routing from D to A)를 도출한다[4].

한국선급은 연료 소모량을 평가 함수로 하는 항로 최적화 기술을 개발하였다. 한국선급의 항로 최적화 기술은 기상 및 해상 데이터 등 실해역 환경을 고려하여 연료 소모량을 최소화할 수 있는 최적 항로를 도출한다[5].

한편 해운선사에서는 연료 및 온실가스 저감을 위하여 표 1과 같은 기술적, 운항적 방법을 도입하고 있다. 특히 감속운항 (slow streaming)은 별도의 시스템을 도입하거나 추가 비용 없이 손쉽게 적용할 수 있으며, 기존 연료비의 17~34%를 절감할 수 있어 2011년을 기준으로 세계 운항선박의 70~80%가 이용하

표 1. 연비향상 및 CO₂ 저감 요소[3]

Table 1. The 10 most effective existing technical and operational measures to reduce Fuel & CO₂ emissions from shipping.

Solution	Relative Co ₂ saving	Saving/costs Per tonne Co ₂	Relative Co ₂ saving	
			2007	2011
Speed reduction	17-34%	-280€/t	0%	50%
Propeller & Rudder upgrade	3-4%	-150€/t	0%	0%
Hull Coating	2-5%	-280€/t	0%	50%
Waste heat recovery	2-6%	+ 60€/t	0%	0%
Optimization of trim & ballast	1-3%	-200€/t	75%	75%
Propeller polishing	1-3%	-280€/t	75%	75%
Hull cleaning	1-5%	-200€/t	75%	75%
Main engine tuning	1-5%	-250€/t	75%	75%
Autopilot upgrade	1-1.5%	-280€/t	75%	75%
Weather routing	1-4%	-280€/t	75%	75%

는 가장 대표적인 경제운항방법으로 활용되고 있다.

하지만 최근 연료비가 하락함에 따라 감속운항으로 인한 연료비 절감효과가 크지 않으며, 감속운항을 함으로서 발생할 수 있는 여러 문제점이 제기되고 있다.

첫째, 선종별, 선박의 크기별, 운항 속도 등에 따라 효과의 차이가 매우 크다. 연료비 사용량이 많은 대형 컨테이너 선박의 경우 감속운항으로 인한 연료 사용량 및 온실가스 배출 절감효과가 매우 크지만 연료 사용량이 비교적 적은 중소형 벌크선 시장에서는 효과가 매우 미미하다. 또한 그림 2와 같이 대부분의 선종에서 감속운항을 하고 있어 연료유 절감을 위해 현재 속도보다 낮추는 것은 어려운 실정이다[6].

둘째, 운임이 상승될 수 있다. 감속운항을 하면 선박의 회항 시간이 길어지기 때문에 동일한 운항 빈도를 유지하기 위해서는 추가적인 선박 투입과 운항비용이 필요하다. 이러한 비용은 운임에 반영되며 높아진 운임으로 인해 해운선사의 시장 경쟁력이 저하되는 문제가 발생된다.

셋째, 운송서비스 시간 증가에 따른 서비스 품질 저하에 대한 우려가 높아지고 있다. 운송비와 운송서비스 품질 간에는 반드시 Trade-off가 존재하며 운항속도가 감소하게 되면 운송 시간이 길어지게 되어 신속성 또는 정시성을 요구하는 고객의 불만이 증가된다[7].

2-3 선박 경제운항 기술 요구사항

벌크선은 The baltic exchange의 공시운임을 기반으로 대부분 단기 항해용선으로 계약되고 있다. 클락슨에 따르면 벌크선은 capsize 기준 평균 연료 소모량이 56.0 ton/day로 감속운항에 따른 연료비 절감효과가 높지 않기 때문에 벌크선을 운영하는 해운선사에서는 경제운항을 위하여 화물확보와 공선운항 최소화에 노력하고 있다.

컨테이너선은 대부분 표준운항 스케줄에 따라 운영되며 장기계약이 주를 이루기 때문에 부정기선과 달리 수입이 고정적인 특징이 있다. 또한 post panamax 기준 평균 연료 소모량 210 ton/day로 선박운영비 중 연료비의 비율이 상대적으로 높아 컨테이너선의 경제운항목적은 대부분 연료유 최소화로 인식되고 있다. 이에 따라 표 1과 같이 감속운항, 엔진 튜닝, 최적트림 등 여러 가지 방법을 활용하여 최소의 연료유를 사용할 수 있도록 최적운항에 대한 연구를 진행하고 있다.

하지만 현재 연구되고 있는 선박의 경제운항은 연료 사용량 최소화에만 한정되어있어 시장의 변화에 적응하지 못하는 문제점이 발생된다. 그림 3에서 보논바와 같이 2008년 이후 특히 2011년과 같이 연료비가 고점이고 운임이 저점인 경우에는 그림 4와 같이 해운원가에서 차지하는 연료비 비중이 높기 때문

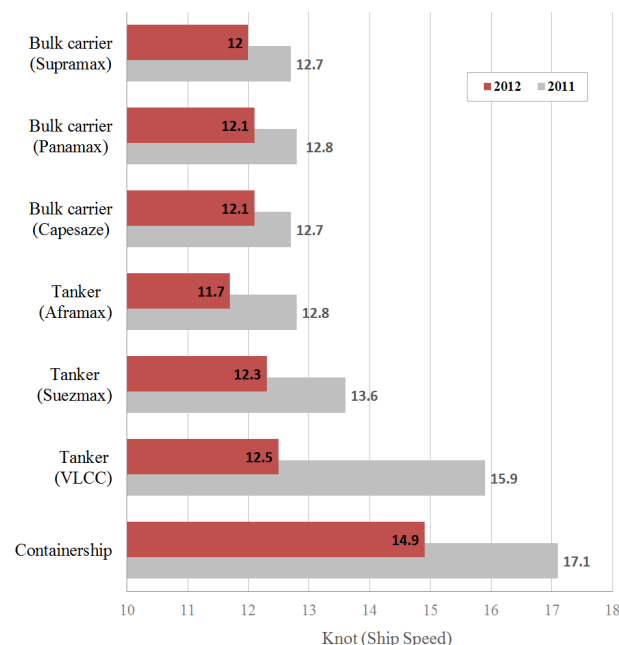


그림 2. 선박의 감속운항 현황[6].

Fig. 2. Current status of ship operation at decreased speed.

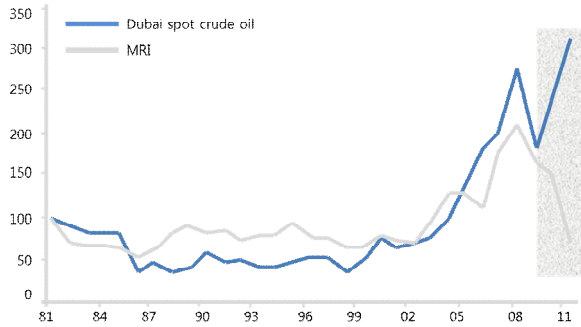


그림 3. 유가와 운임추이[8]
Fig. 3. Trends of oil price and freight.

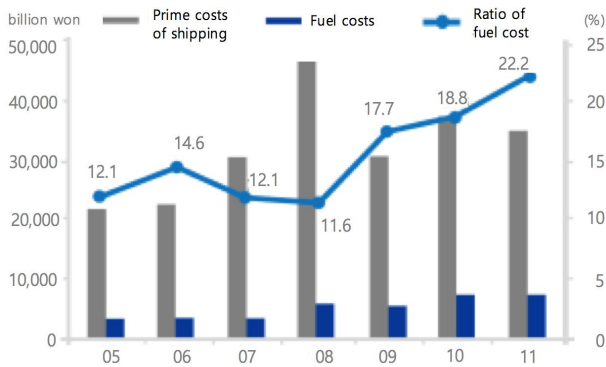


그림 4. 국내 해운산업의 운항원가, 연료비 및 비중 추이[8]
Fig. 4. Trends of prime shipping cost, fuel cost, and their ratios in domestic shipping industry.

에 설계속도 (design speed)보다 운항속도를 낮춤으로서 상대적 원가절감 효과가 매우 높다. 하지만 그림 3,4의 05, 06년 또는 최근과 같이 연료비 저점, 운임 저점인 경우에는 설계속도보다 감속운항을 하는 경우 수익 감소도 함께 증가되기 때문에 감속 운항이 필요하지 않다.

이와 같이 해운원가는 연료비, 운임, 공선운항 등 특정 요소에 따라 결정되지 않으며, 경제상황, 선종별, 시장의 수급현황, 터미널, 선박 금융 등 다양한 변수에 따라 변동되기 때문에 선박의 경제운항은 운임과 비용에 대한 분석과 비용요소에 대한 관리가 반드시 필요하다.

III. 비용 요소 분석

선박 운항의 지출과 수익은 용선 및 선박 운영으로부터 획득하는 수입과 선박 운영비, 선박 금융비용의 지출로 구성된다. 선박운영비는 연료 소모량, 운항에 필요한 선원 수, 유지보수의 필요성에 영향을 주는 선박의 물리적 조건 등과, 인플레이션 등에 의한 연료(bankers), 소비재, 선원 인급, 선박 수리비용과 이자율 등 선주 통제가 아닌 외부 경제상황에 좌우하는 비용, 마지막으로 관리 및 운영의 효율성과 관련된 비용으로 구성된다.

3-1 선박운영비

선박 운영비용은 선비 (operation costs), 정기검사비 (periodic maintenance costs), 운항비 (voyage costs), 화물취급비 (cargo

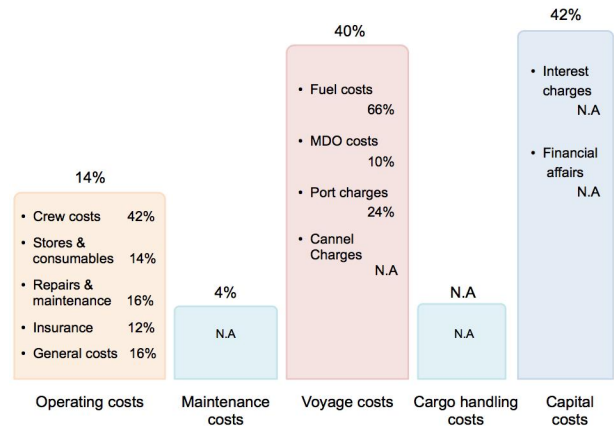


그림 5. 선박운영비 구성 및 점유율[9]
Fig. 5. Elements of ship operation cost and their percentages of the entire cost.

handling costs), 자본비 (capital costs)로 구성되며 비율은 평균적으로 그림 5와 같이 선비 14%, 유지관리비 4%, 운항비 40%, 화물취급비, 자본비 42%로 구성된다[9].

1) 선비

$$OC = M + ST + MN + I + AD \quad (1)$$

선비(OC)는 식 1과 같이 구성된다. 선원비(M)는 선원 관리에 의해 발생하는 직간접비용을 모두 포함하며, 선비의 15%를 차지하는 선용품비(ST)는 소모품에 대한 지출, 예비부품, 예비 엔진 장비 등의 일반 용품과 선상에서 사용되는 다양한 물품들, 그리고 주요 비용항목인 운항유가 포함된다. 유지보수비(MN)는 전체 선비의 약 14%를 차지하며 선박의 상태를 유지하기 위해 발생하는 비용으로 고장 수리 및 교체를 포함하는 일상적인 유지보수 비용을 포함한다. 보험료(I)는 전체 선비의 14%를 차지하며 선박의 크기와 운항 조건에 따라 달라진다. 일반관리비(AD)는 경영과 관련된 관리 비용 등이 포함되며 해운선사 운영규모나 운영선박 형태에 따라 관리비 수준이 결정된다.

2) 정기검사비

정기검사비는 통상 총비용의 4%를 차지하며 선령과 선박의 상태에 따라 달라진다. 예방적 유지보수가 잘된 선박의 경우 비교적 낮은 검사비가 발생하지만 선박 관리가 잘 되지 않은 경우 비용이 더 높아질 수 있다.

3) 운항비

$$VC = FC + PD + TP + CD \quad (2)$$

운항비(VC)는 통상 총비용의 40%를 차지하며 특정 항해를

수행하는데 발생하는 변동 비용으로 식 2와 같이 연료비(FC), 항만사용료(PD), 에이선과 도선사 비용(TP), 그리고 운하 통과료(CD) 등으로 구성된다. 연료비(FC)는 운항비의 47%를 차지하는 가장 중요한 단일 비용항목으로 식 3과 같이 선체 조건과 선박의 운항속도에 의해 좌우된다.

$$F = F^* \left(\frac{S}{S^*} \right)^a \quad (3)$$

F : 실제 연료소모량(톤/일)

S : 실제 속력

F^* : 설계 연료소모량

S^* : 설계 속력

a : 디젤엔진 = 3, 증기터빈 = 2

항만사용료(PD)는 항만에서 제공하는 시설과 서비스의 사용에 대하여 선박과 화물에 대해 부과되는 각종 수수료이다. 항만사용료는 항만공사의 가격정책, 선박의 크기, 재항시간, 적재 화물, 양하 화물의 종류와 양에 따라 달라진다.

4) 화물취급비

$$CHC = L + D/S + CL \quad (4)$$

화물취급비(CHC)는 식 4와 같이 화물의 선적비용(L)과 양하비용(D/S), 화물에 발생할 수 있는 사고에 대한 클레임비(CL)가 포함된다. 화물취급비는 특히, 정기선 선사에게 매우 중요한 비용이다.

5) 선박 자본비

선박 자본비는 현금의 흐름에서 크게 3가지 형태를 가진다. 첫째, 최초 구매자금과 조선소에 지불할 채무, 둘째, 선박구매 채입금에 대한 원리금 상환, 셋째, 선박 매각으로부터 얻는 수익이다. 선박 자본비는 전체 비용의 42%를 차지하지만, 운항비나 연료비가 선박을 운항시키기 위한 필수적인 비용인 반면 선박의 물리적 운항에 직접적인 영향을 미치지 않는다.

3-2 운임

운임시장의 용선 계약형태는 항해용선 (voyage charter) 정기용선 (time charter)의 두 가지 형태가 있다[9].

정기용선 계약은 일정기간 선박을 임차하는 것을 의미하며 시장변동에 상관없이 합의한 1일 용선료를 지급한다. 정기용선 계약은 표 2와 같이 선박 구매와 유지비용인 자본비, 선비는 선주가 부담하며, 운항에 필요한 유류비, 항비, 하역비 및 기타 화물 관련 비용은 용선주가 부담하게 된다.

해상운임은 선박의 종류와 특성, 선사별, 지역별, 운항구간별, 회주에 따라 다르지만 일반적으로 해상 운송료 (sea freight charge), 해상 운송료 추가비용 (sea freight additional), 화물 처리비용 (cargo handling charges), 서비스 추가비용 (service add-

표 2. 용선계약 형태에 따른 비용 부담

Table 2. Cost depending on charter contract type.

	Cost bearing			
	1. capital costs	2. operation costs	3. voyage costs	4. cargo handling costs
1. voyage charter	ship owner	ship owner	ship owner	ship owner
2. time charter	ship owner	ship owner	charterer	charterer
3. bareboat charter	ship owner	charterer	charterer	charterer

itional), 화물 추가비용 (cargo additional)으로 구성된다. 해상운임은 기본적으로 port to port 구간의 비용이며 운송 가능한 화물의 양에 따라 결정된다.

IV. 경제운항 관리 요소 도출

4-1 선박 비용 요소의 영향 분석

1) 선비

선원비(M)는 해상근무 직원에 대한 근로 비용으로 연 단위로 발생하는 비용이며, 보험료(I)와 일반 관리비(AD)는 선박의 특성, 운항항로 등에 따라 달라지지만 개별 항차의 경제운항에 직접적인 영향을 미치지 않는다.

선용품비(ST)는 주요 비용항목인 윤활유를 포함하여 선내에서 사용되는 다양한 물품 및 예비부품에 대한 비용으로 선용품관리가 미흡할 경우 동일 부품 구매, 재고 부족으로 인한 추가 조치 등이 발생된다.

유지보수비(MN)는 일상적인 유지보수비와 고장수리비, 교체 비용이며 선용품비와 마찬가지로 개별 항차에 직접적인 영향을 미치지 않으나 체계적인 관리가 이루어지지 않을 경우 잦은 고장, 저효율, 선박 노후 가속화 등으로 인한 추가 유지보수 비용이 발생된다.

2) 정기검사비

정기검사비는 선박 운항환경에 따라 변동되는 비용이 아니지만 선박 운용상태에 따라 정기검사결과 보안을 위한 선박의 수리비, 유지보수비 및 선용품비가 크게 증가될 수 있다.

3) 운항비

에이선과 도선사 비용(TP), 운하 통과료(CD)는 항로에 따라 결정되는 비용으로 선박의 경제운항에 직접적인 영향을 미치지 않는다.

연료유 사용량(FC)은 기본적으로 선속에 비례하지만 해상 기상, 선박 운동, 화물 적재 상태 등에 따라 많은 차이가 난다.

동일한 스피드로 운항하는 경우 운항 컨디션에 따라 연료 소모량이 변동되기 때문에 연료 소모량 최소화가 가능한 최적운항 기술 확보가 필요하다.

4) 화물취급비

화물취급비는 화물의 선적, 양하를 위한 중요 비용이며 항만에서 소요되는 비용의 가장 많은 비중을 차지한다.

4-2 경제운항 관리 항목 - 비용

선박 운영을 위한 비용은 선비, 정기검사비, 운항비, 화물취급비, 선박 자본비이다. 정기검사비, 선박 자본비는 선박 운항에 사용되는 비용이 아니며, 선비 중 선원비, 선용품비, 유지보수비, 일반관리비는 선박 운항을 위한 통상적인 비용으로 개별 항차에 직접적인 영향을 미치지 않는다.

따라서 항차에 따른 총 운항비용(C_T)은 식 (5)와 같이 연료비(C_F), 항만사용료(C_P), 화물취급비(C_C) 그리고 선원비, 선용품비, 유지보수비, 일반관리비가 포함된 통상비용(C_U)으로 구성된다. 단, 통상비용은 일정한 비용을 적용한다.

$$C_T = C_F + C_P + C_C + C_U \quad (5)$$

선박의 경제운항은 주요 단일 요소인 연료비(C_F)를 포함하여 해당 항차에 소요되는 총 운항비용(C_T)이 최소화 될 수 있도록 하여야 한다.

선박의 항차는 목적지까지 하나의 항구를 이용할 수도 있지만 운송 계약, 화물의 특성, 연료 수급 등에 따라서 다수의 항구를 거칠 수 있다.

선박에서는 그림 6과 같이 출항시 departure report를 제출하고 운항중에는 매일 정오마다 noon report를 제출하며 입항 시에는 arrival report와 정박중 작업에 대한 noon report in port, 항차가 종료되면 ab-log를 제출한다. 운항 리포트를 기준으로 ab-log 제출까지를 한 항차로 구분하며, 항마다 항만사용료, 화물취급비 등이 다르므로 항만 출항 시 제출되는 departure report를 기준으로 운항 구간(i)을 구분한다.

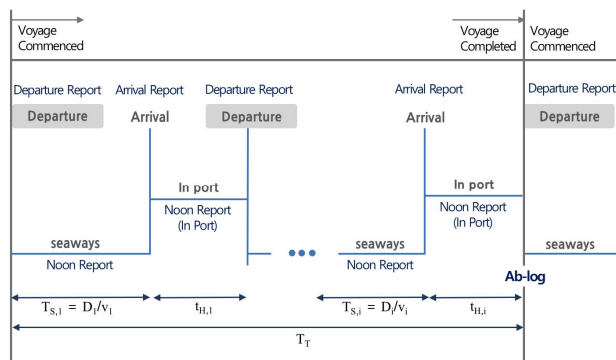


그림 6. 선박 운항 리포트
Fig. 6. Ship voyage report.

항해시간(T_T)은 식 (6)과 같이 대양항해시간(sea time)과 항만의 출입항시간(Harbor time), 항만 내 접안시간(port time)으로 구분된다.

$$T_T = T_S + T_H + T_P = \sum D_i/v_i + \sum t_{H,i} + \sum t_{P,i} \quad (6)$$

항해시간은 계약된 ETA, ETD를 만족해야 하기 때문에 v_i를 줄이는 감속운항을 위해서는 항해거리(D_i)를 단축하거나 출입항시간, 접안시간을 줄여 항해시간을 확보하는 것이 필요하다.

항해거리 단축을 위해서는 기상 예보, 선박 물량, 채선 상황을 고려하여 최적항로를 도출해야 하며 운항 중 이로(deviation)가 발생되지 않도록 노력하여야 한다. 항만 체류시간을 줄이기 위해서는 터미널 현황을 모니터링하여 항만의 출입항시간과 항만 내 접안시간을 최소화하여 스케줄 내의 Sea time을 최대화 한다.

총 운항비용(C_T)은 크게 연료비(C_F), 항만에서 사용되는 비용(C_H)으로 구분할 수 있으며 항만에서 사용되는 비용은 식(7)과 같다.

$$C_H = C_P + C_C = \sum t_{H,i} \times \sum W_{H,i}(C_{ec} + C_{be} + C_{ob} + C_{an}) + \sum t_{P,i} \times \sum (W_{H,i} - W_{B,i})(C_{io} + C_{ul}) \quad (7)$$

항만사용료(C_P)는 선박입출항료(C_{ec}), 접안료(C_{be}), 정박료(C_{ob}), 계선료(C_{an})이며, 선박의 무게와 체류시간에 따라 과금되므로 항만사용료를 줄이기 위해서는 항만체류시간(T_H)을 단축해야 한다. 화물취급료(C_C)는 화물 양하비(C_{ul}), 적하비(C_{io})이며, 화물의 무게와 소요시간에 따라 과금되므로 화물취급료를 줄이기 위해서는 화물작업 효율성 향상을 통한 작업시간 단축이 필요하다. 이처럼 항만의 출입항시간(harbor time), 항만 내 접안시간(port time)을 단축하면 항만에서 사용되는 비용(C_H)을

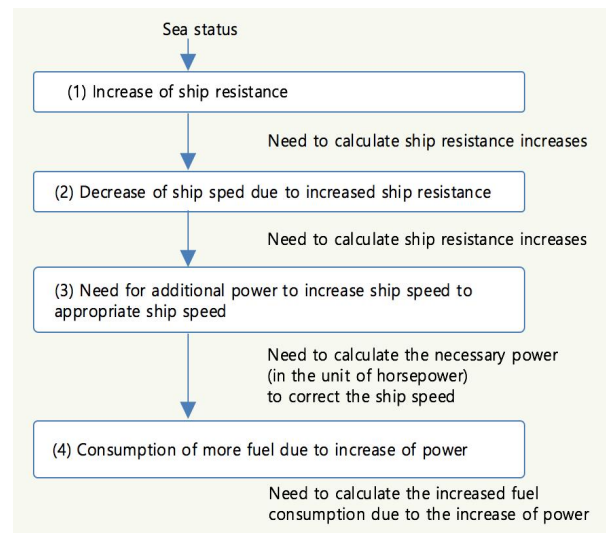


그림 7. 해상 상태에 따른 선박 성능 변화[10]
Fig. 7. Scenario of the change in ship performance according to the sea state.

연료비(C_F) 절감을 위해서는 정속운항, 최적트림, 최적항로, 줄일 수 있으며, 화물의 정시성을 확보하여 고객 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 이처럼 항만에서 사용되는 비용을 줄이려면 항만에서의 체류 시간을 줄여야 하며 이를 위해서 터미널 현황을 지속적으로 모니터링하고 정해진 시간에 터미널에 도착하는 일정관리가 선행되어야 한다.

연료비(C_F) 절감을 위해서는 정속운항, 최적트림, 최적항로, 선박의 에너지관리가 필요하다.

선박이 연료는 엔진부하가 높아지거나, 가감속 하는 경우 정속구간보다 많은 양의 연료를 소모한다. 선박은 유체에 의한 마찰저항을 받는데 예를 들어 선속을 10노트 가속할 경우 유체에 의한 저항은 3배로 늘어나고, 연료 사용량은 속력의 세제곱에 비례하므로 가속 전에 비해 8배의 연료를 사용하게 된다. 따라서 운항중 가감속 운전을 최소화해야하며 대양항해구간의 저속, 정속 구간을 최대한 확보해야한다.

선속이 일정한 경우 연료 소모량은 배수량의 2/3승에 비례하므로 발라스트 (ballast water), 청수 (fresh water)를 최소화하면 선체무게가 적어져 보다 적은 연료를 소모하게 된다. 하지만 선박의 발라스트는 운항 안전에 필수적인 요소이기 때문에 발라스트 최적화를 위해서는 검증 도구를 통한 안전성 확보가 반드시 필요하다.

연료 사용량은 식(3)과 같이 기본적으로 선속에 비례하지만 해상상태가 나쁜 경우 그림 7과 같이 선박의 저항이 증가하여 선속이 저하된다. 운항 스케줄을 맞추기 위해서는 저하된 선속을 초기 선속으로 보정하기 위해 추가 마력이 필요하며 이에 따라 추가 연료 소모량이 발생된다[10].

국내 H선사의 8.6K 컨테이너 선박의 2015~2016년 운항데이터를 활용하여 해상 기상에 따른 선박 저항증가 원인을 분석한 결과 그림 8과 같이 조사되었다[11].

선박 저항 증가의 주요 원인인 swell, wave, current, wind와 temperature는 기술적 방법으로 저항증가를 저감하기 어렵기 때문에 해상기상 예보와 과거 운항 데이터를 활용하여 요구되는 시간 내에 최소의 연료를 사용할 수 있도록 해상 기상에 대한 최적항로를 도출하여야 한다.

전체 저항 증가의 10.3%를 차지하는 트림은 운항 자세 변화에 따라 선체에 걸리는 저항을 변화시킬 수 있으므로 선박 운동

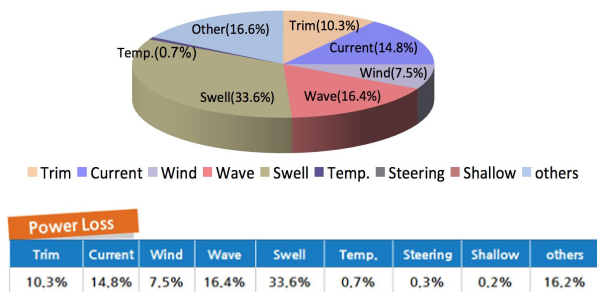


그림 8. 선박저항 증가 원인 - 기상
Fig. 8. Causes of ship resistance - Meteorological factors.

표 3. 선박의 경제운항 관리 항목

Table 3. Management items for economical ship operation.

Item	Contents	related cost
Load load streaming	operation at lowest engine load that will allow continuous operation	Fuel cost
Cruise control	Maintaning target speed and load	Fuel cost
Ballast control	Stowage optimization	Fuel cost
Optimal trim	Control of attitude at lowest ship resistance and fuel consumption	Fuel cost
Optimal routing	Choice of shortest safe routes considering meteorological conditions	Fuel cost
Improve work efficiency in terminal	Prevention of waiting outside a port and reduction of port time	Fuel cost, Port charge, Cargo handling
Ship energy management	Reduction of fuel oil consumption and greenhouse gas emissions through management of important equipment operation	Fuel cost, Maintenance cost

상태에 따른 CFD 결과를 데이터베이스화하고 실시간 운동 상태를 센서를 통해 모니터링하여 선체 저항이 미치는 영향과 연료 소모량이 최소화 될 수 있는 트림을 유지해야한다.

연료 사용량은 선박의 연료비(C_F) 절감 뿐 아니라 최근 강화되고 있는 해양환경 규제 대응을 위해서도 관리되어야 한다.

국제해사기구에서는 국제해운의 온실가스 감축 및 에너지 효율 개선을 위한 환경 규제로서 선박에너지효율관리계획서와 에너지효율설계지수를 시행하고 있으며, 최근에는 단순한 에너지 효율의 모니터링을 넘어서 본선의 가장 주요한 에너지 소비원과 연료 및 비용 절감 요소에 대한 식별을 요구하고 있다. 이와 더불어 탄소세 (carbon tax), 배출권 거래제 (cap and trade)와 같은 시장기반 조치 (MBM; market based management)를 강화하고 있어 환경규제 대응을 위한 추가 비용이 발생되지 않도록 하기 위해서 연료사용량 관리가 필요하다. 선박 주요 기기에 대한 연료유 사용량을 모니터링 하면 기기의 지속적인 상태를 확인하여 조기에 이상 또는 고장을 판단하여 유지보수비(MN)를 줄일 수 있다.

선박의 운항, 특히 개별 항차를 기준으로 경제운항은 연료비(C_F), 항만에서 사용되는 비용(C_H)을 최소화하는 것이며, 이에 따라 선박의 경제운항을 위한 관리 항목을 표 3과 같이 저속운항 (low load streaming), 정속운항 (cruise control), 배수량 관리 (ballast control), 최적트림 (optimal trim), 최적항로 선정 (optimal routing), 터미널 생산성 관리 (improve work efficiency in terminal), 선박 에너지 절감 (ship energy management) 활동 강화로 도출하였다.

4-3 운항중 선박의 경제운항 관리

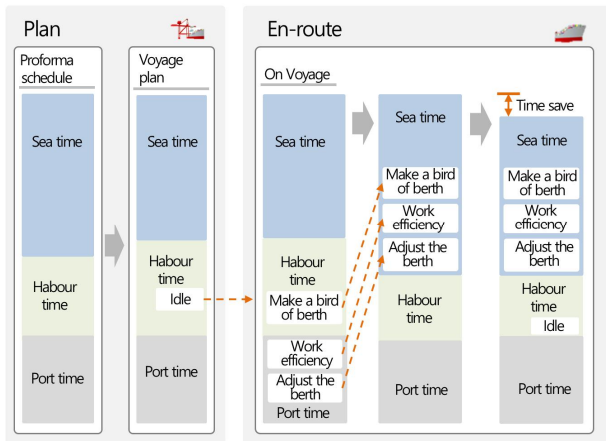


그림 9. 운항 중 선박 경제운항 모니터링

Fig. 9. Monitoring of economical ship operation.

운항 중 선박의 경제운항은 시간 절감과 권고사항 만족 여부를 모니터링하며, 운항이 종료되면 연료 소모량과 항만에서 사용된 총 비용을 산정한다.

선박의 경제운항 관리 항목 중 최적항로, 터미널 생산성 관리의 절감된 시간으로, 저속운항, 정속운항, 최적트림, 선박 에너지 절감은 권고사항 만족 여부를 관리한다.

저속운항은 운항 중 엔진의 부하를 모니터링하며, 정속운항은 가감속 구간이 최소화 될 수 있도록, 특히, 대양구간에서의 정속운항을 관리한다. 최적트림은 Even keel 또는 CFD 결과에 따라 선체 저항이 최소화 될 수 있는 트림 유지 여부를 모니터링 한다.

최적항로, 터미널 생산성 관리는 절감된 시간으로 경제운항 효과를 모니터링한다. 선박은 그림 9와 같이 표준 운항 스케줄을 기준으로 화물 및 터미널 상황 등을 고려하여 해당 항차를 계획한다. 운항 계획 스케줄을 준수하고 터미널 상황을 모니터링하여 항만 대기시간을 줄임으로서 출입항 시간 (harbor time)을 단축한다. 화물의 적재, 양하 작업, 관련 서류 관리를 체계화하고 화물 작업을 위한 최적의 선석을 확보하여 작업 생산성 향상, 최적 선석확보를 통해 항만 내 접안시간 (port time)을 줄인다. 이렇게 단축된 시간만큼 대양항해시간을 확보할 수 있으며, 연료비, 운임 등 외부 조건에 따라서 저속운항 또는 운항 스케줄을 단축함으로써 운항 중 선박의 비용을 절감할 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 현존선을 운영하는 해운선사의 항차 단위의 운영비용 관리를 위한 선박 경제운항 기술을 위한 개념연구를 수행하였다.

해운산업과 관련 기술개발 현황, 요구사항을 분석하고 선박 운영에 필요한 비용 요소를 분석하여 운항선의 항차별 경제운항 관리 요소를 도출하였다. 현존선의 경제운항은 운항 계획, 진행, 종료 단계에서 소요되는 주요 비용을 최소화 할 수 있도록 관리하는 것으로 정의하고, 저속운항, 정속운항, 배수량 관리, 최적트림, 최적항로 선정, 터미널 생산성 관리, 선박 에너지 절감 활동으로 관리 요소를 도출하였다.

앞으로 수행될 연구에서는 선박의 운영수익에 대한 분석을 수행하고 수익과 비용이 모두 반영된 선박 경제운항 지원 시스템을 설계, 구현하여 현존선의 경제운항 기술개발을 완료하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업 (4S 다중매체 통신기반 선박 원격 상태모니터링과 최적, 안전 운항지원 시스템 개발)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Shipping market data, information and knowledge, 2016. [Internet]. Available: <http://www.lloydslist.com/ll/sector/markets/market-data.htm>.
- [2] N. K. Im and S. R. Yi, "An inventory analysis on greenhouse as emission from bulk carrier and oil tanker," *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 34, No. 3, pp. 189-194, Apr. 2010.
- [3] Time for international action on CO₂ emissions from shipping, European Commission, 2013. [Internet]. Available: http://eu.europa.eu/clima/policies/transport/shipping/index_en.htm.
- [4] S. Y. Joo, T. J. Cho, J. M. Cha, J. H. Yang and Y. K. Kwon, "An economic ship routing system based on a minimal dynamic-cost patch search algorithm," *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, Vol. 1, No. 2, Dec. 2012.
- [5] Y. J. Yoo, H. R. Choi and J. Y. Lee, "Comparative results of weather routing simulation," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 52, No. 2, pp.110-118, Apr. 2015.
- [6] C. B. Lee, "Current status and perspective of low-speed ship operation by global container shipping firms," *Shipping & Management*, No. 21, pp. 1-4, Sep. 2010.
- [7] J. H. Hang. and M. H. Jang, "Case study on daily maersk service provided by M shipping firm to secure

punctuality of shipping during economic recession,” in *Proceedings of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Busan: Korea, pp. 150-151, 2015.

[8] Industry analysis report - shipping, eBEST Investment Securities Co., Ltd, pp.3-31. Apr. 2013.

[9] Maritime economics, stopford martin, *parkyoungsa*, 2015.

[10] M. I. Roh, “A method for determining a ship eco-

nomie route based on the acquisition of the sea state and estimation of fuel consumption,” *Transactions of CAD/CAM Engineers*, Vol. 17, No. 2, pp.71-78, Apr. 2012.

[11] S. S. Byeon and Y. S. Kim, “Study on ship resistance monitoring,” in *Proceedings of the autumn annual conference 2015*, Busan: korea, pp. 150-151, Dec. 2015.



강 남 선 (Nam-seon Kang)

2005년 2월 : 목포해양대학교 기관시스템공학과 (공학석사),
 2007년 12월 ~ 2008년 12월 : 대한조선 조선기분성능연구소 ,
 2016년 9월 ~ 현재 : 마린웍스 주식회사
 ※ 관심분야 : 해사위성통신, 제어계측

2005년 6월 ~ 2007년 11월 : 한국해양과학기술원 연구원
 2009년 3월 ~ 2016년 8월 : 중소조선연구원 선임연구원



김 용 대 (Yong-dae Kim)

1999년 2월 : 성도고등학교
 2005년 6월 ~ 현재 : 마린전자상사 부사장
 ※ 관심분야 : 해사위성통신, 선박 자동화, 선박조종성능, 시뮬레이터



윤 현 규 (Hyeon-kyu Yoon)

1989년 : 서울대학교 공과대학 조선공학과 (공학사),
 2003년 : 서울대학교 대학원 조선해양공학과 (공학박사),
 2003년 ~ 2009년 : 한국해양과학기술원 선임연구원
 2009년 ~ 현재 : 창원대학교 공학대학 조선해양공학과 부교수
 ※ 관심분야 : 선박조종제어, 해양시스템 M&S, 수조

1991년 : 서울대학교 대학원 조선공학과 (공학석사)
 1991년 ~ 1998년 : 국방과학연구소 연구원



변 상 수 (Sang-su Byeon)

2010년 8월 : 한국해양대학교 기관시스템공학과 (공학석사)
 2000년 3월 ~ 2012년 8월 : 현대상선(주)
 2012년 8월 ~ 현재 : 현대해양서비스(주)
 ※ 관심분야 : 선박에너지효율평가 분석 방법론, 에너지절감 설비, 선박 자동화, e-Navigation, 경제운항솔루션