

## 선박 연료 절감 방법들의 효과비교 및 적용에 관한 연구

박고룡<sup>1</sup> · 조권희<sup>†</sup>

(Received October 6, 2014 ; Revised October 31, 2014 ; Accepted November 13, 2014)

### A study on the comparison of effects and application of marine fuel reduction methods

Goryong Park<sup>1</sup> · Kwonhae Cho<sup>†</sup>

**요약:** 국제사회가 관심을 가지고 있는 이산화탄소 배출 감소를 위해 많은 연구 기관들이 연료 절감 방법을 연구하여 결과를 제시하고 있다. 비용 절감이 최종 결론이지만 아직까진, 어떻게 제시된 방법이 작동되는가, 어떠한 효과가 있는가, 어떠한 크기의 배에 가장 이상적이며 효과가 클까 등등 많은 의문점들이 제기되고 있다. 선주와 운영자들에게는 연료비가 가장 큰 비용 중 하나이다. 그리고 연료 절감은 선주나 운영자들에게는 비용 절감과 동시에 이산화탄소를 줄이는 가장 좋은 방법이다. 본 논문은 추진 효율을 높여 연료를 절감하는 방법 및 투자되는 비용과 일 년 동안 운항 후 얻어지는 연료비 절감을 통하여 투자금 회수 기간을 대략적으로 계산을 할 수 있도록 하고, 각 방법 간의 미치는 영향에 대하여 소개를 하고자 한다.

**주제어:** 이산화탄소 배출감소, 연료비, 연료 절감 방법, 추진효율, 투자금 회수기간

**Abstract:** Concerning CO<sub>2</sub> reduction from International Societies, lots of laboratories and relevant societies suggest many reports on how to reduce fuel consumption from their specific ways. Undoubtedly, cutting costs is the final desired destination for owner outcome, but many questions there are on the way yet: how is this measure working? how efficient is it? On what size of ship would it work best and be the most effective? etc. Fuel cost is one of the major cost elements for ship owners and/or operators. And by reducing fuel consumption owners and/or operators will reduce both their costs and the environmental impact from their ship. This paper is aim to address how the measures work for saving fuel consumption through improve propulsion efficiency, installation cost and benefit can be calculated easily in the return on investment for estimated one year operation, and finally their compatibility with other fuel saving measure devices.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> reduction, Fuel cost, Fuel saving measure, Propulsion efficiency, Return on investment

### 1. 서 론

산업화 이후 인류의 화석연료 사용량 증가는 CO<sub>2</sub> 배출이 많아지고, 그 결과 지구 온난화 현상이 빨라져, 지구 생태계와 인류 생활환경에 매우 나쁜 영향을 끼치고 있다. 이에 국제사회는 1992년부터 지구 온난화의 원인과 이상기후 현상을 예방하기 위한 협약을 채택하였고, 온실가스 배출량 감소를 위한 규제 도입 시도가 있었으나, 각국의 이해관계로 인하여 한 목소리를 내지 못하고 있다. 지난 2013년 11월 폴란드 바르샤바에서 열린 제19차 기후변화협약 당사국 총회는 제재 범위나 CO<sub>2</sub> 감소 방안에 대한 결론을 내리지 못하고 다음 총회로 미루게 되었다. 반면 해상에서의 CO<sub>2</sub> 배출량은 전 지구상의 배출량에 비해 3.3% 정도 밖에 되지

않지만[1], 해사 기구에서는 엄격한 규제를 하고 있다. IMO의 해양환경보호위원회(MEPC)에서는 선박에서 배출되는 CO<sub>2</sub> 배출량을 점차적으로 감축하기 위한 강제 규정을 채택하였다. CO<sub>2</sub> 배출을 감축한다는 것은 결국 선박에서 사용되는 연료의 양을 줄인다는 뜻이다. 국제사회는 CO<sub>2</sub> 배출 감소 방안으로, 에너지 효율을 높이는 방법을 도입한 선박을 건조하는 방법과 운항 중에 연료를 절감할 수 있는 수단을 도입할 것을 적극적으로 권장하고 있다. 그리하여 세계 해운회사들과 조선소들은 환경규제를 만족하고 에너지 효율을 향상시켜야만 하는 과제를 안게 되었다. 결국 신조선 에너지효율지수(EEDI) [2]와 선박에너지효율관리계획서(SEEMP) [3]는 강제 사항으로 2013년 1월 1일부터 건조되는 400톤 이상의 국제 항해에 종사하는 모든 상선에 적용

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1539-655X>): Department of Offshore Plant Management, Korea Maritime and Ocean University, Dongsam-dong, Yeongdo-gu, Busan, 606-791, Korea, E-mail: khcho@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4252

<sup>1</sup> Department of Marine System Engineering Graduate School, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: go.ryong.park@dnvgl.com, Tel: 010-3881-7874

되었다. 또한 아직은 의무 사항이 아니나 운항선 에너지효율 운항지수(EEOI) [4]는 에너지 효율 관리에 적극적으로 관여하도록 해운회사를 압박하고 있다. 또한 가까운 미래에 EEOI도 강제 규정이 될 가능성이 높다.

대기 오염 방지 규제를 만족하기 위한 노력은 여러 곳에서 감지되고 있고, 그에 따른 연구 결과들이 많이 쏟아지고 있다. 연구 결과들은 신조선 에너지 효율지수를 만족하기 위한 기술이나, 또한 운항선 에너지 효율 개선을 위한 연료 절감 방법들이 여러 방면에서 연구되고 논의되어진 성과물들이다. 모든 선종과 크기에 따라 연구가 이루어진다는 것은 불가능하지만, 어떤 연구 결과들은 정확한 판단 기준 및 적절한 적용 대상의 선박을 제시하지 못하고 오히려 궁극증만 확대시킨 경우도 있다. 차후 건조될 선박들은 신조선 에너지효율 지수를 지속적으로 개선해야만 하는데, 2025년부터 건조되는 신조선은 EEDI를 약 30%까지 감축해야 규정을 만족시킬 수 있다. 이는 연료 감축량으로 환산하면 현재보다 약 42.9% 감축에 해당하는 수치다. 일반적으로 에너지 절감의 의미를 EEDI와 혼용하여 사용하고 있고, 실제로 연구를 하는 분야에서도 이를 뚜렷하게 구분하지 않고 사용하고 있어 정책을 입안하거나 장기적인 대책을 마련해야하는 선주나 운전자들에게 혼란만 야기하고 있는 것이 현실이다. 본 논문에서는 약 9 종류의 선박에 여러 가지 연료 절감 장치 및 기술을 도입하여 실제로 약 1년 동안 운항을 하거나, 실험실 수조 실험 후 절약된 연료량을 금액으로 환산하고, 동시에 년 간 연료 감소율에 대하여 선급 DNV와 Hamburg Ship Model Basin (HSVA)의 공동 연구 결과를 취합하여 분석한 결과를 이용하여 여러 연료 절감 장치를 한 선박에 동시에 도입할 경우, 이러한 장치들 상호간에 미치는 절감 효과의 현상을 세 가지로 구분하여 선종 및 선박크기에 맞게 최대 효과가 기대되는 장치 도입을 할 수 있도록 제시하고자 한다.

## 2. 연료 소비 효율 개선을 위한 에너지 절감 방법 개발 현황

### 2.1 연료 소비 효율에 사용된 실험 선박의 제원 및 실험 영역

국제 사회에서 요구하는 신조선 에너지 효율지수와 운항선 에너지효율지수를 개선하기 위하여 선급 DNV와 Hamburg ship Model Basin과 공동 연구하여 3 가지 선종별, 또한 각 선종마다 3 가지 크기의 선박에 대하여 각각의 4 가지 연구 영역에서 약 1년 동안 실선 실험 혹은 수조 시험을 통하여 측정된 결과를 토대로 투입된 초기 설계비, 장치 설치비, 실선 실험 운항 중에 사용된 총 연료비와 장치를 설치하기 이전과 이후의 연료 절감 총액을 발표하였다 [5]-[7].

### 2.2 연구 영역 및 선박의 제원

연구 영역은 4 가지로서 선체 저항 감소, 추진 효율 개선, 기관 효율 개선, 운항 효율 개선으로 구분하며, 사용된 선박의 종류 및 크기는 아래의 표와 같다. 연료는 선박용 중유 (marine heavy fuel oil)이며 연료 가격은 USD 650/톤으로 계산되었다.

**Table 1:** Data for ship operation on seagoing (Bulk carrier)  
Unit : ton

Type	Handysize	Panamax	Capesize
Days at sea	285	271	279
Daily fuel consumption	23	31	58
Annual fuel consumption	5,934	8,401	16,182

**Table 2:** Data for ship operation on seagoing (Tanker)  
Unit : ton

Type	Panamax	Aframax	VLCC
Days at sea	238	254	274
Daily fuel consumption	40	47	90
Annual fuel consumption	9,520	11,938	24,660

**Table 1**과 **2**는 벌크선과 탱크선에서 가장 많이 운항되는 세 가지 크기의 선박을 1년 동안 운항된 날짜와 그동안 소비된 연료의 총량을 보여준다.

Handysize: 35~50K, Panamax: 60~80K, Capesize: 100~180K  
Aframax: 45~80K, VLCC: 220~320K(DWT 기준 분류) [8]

**Table 3:** Data for ship operation on seagoing (Container)  
Unit : ton

Type	1200 TEU	5000 TEU	12000 TEU
Days at sea	259	247	241
Daily fuel consumption 85% MCR	36	152	256
Annual fuel consumption 85% MCR	9,324	37,544	61,696
Daily fuel consumption 50% MCR	21	89	151
Annual fuel consumption 50% MCR	5,485	22,085	36,292

**Table 3**에서는 컨테이너 적재 수량에 따라 세 가지로 분류 하였고, 요즘에는 각 선사마다 선속을 감속하여 연료량을 줄이는 방법을 채택하고 있어 최대 마력 대비 85%와 50%로 크게 구분하여 일일 및 연간 사용 연료 소모량을 보여준다.

## 3. 연료 절감 방법에 따른 연료 효율 및 절감 비교 검토

### 3.1 영역별 / 선박별 실험 결과

**Table 4:** Hull cleaning and propeller polishing

		Bulk			Tanker			Container			Comment
		Handysize	Panamax	Capesize	Panamax	Aframax	VLCC	1200 TEU	5000 TEU	12000 TEU	
Hull cleaning and propeller polishing	Design(kUSD)										
	Installation(kUSD)	11	14.5	22.7	14.5	22.7	30	11	14.5	22.7	
	Daily fuel saving(Ton)	1.2	1.6	2.9	2	2.4	4.5	1.8	7.6	12.8	Bulk 5%, Tanker 5%, Container 5% saving
	Annual fuel saving (kUSD)	190	270	525	309	387	800	303	1220	2005	Bulk 5%, Tanker 5%, Container 5% saving

**Table 4**부터 **8**까지는 실험 결과에 대한 연료 절감 총액을 연간 단위로 나타내고 있다.

**Table 4**에서는 세 개의 선종에 9개 선박이 운항 중에 정기적으로 선체 하부의 오염부에 대한 소제를 실시하였을 때 연간 실제 절감한 비용 총액이다. 소제를 위한 비용은 선종 및 크기에 따라 차이가 있으나, 선종에 관계없이 약 5%의 비용 절감이 되었다. 선체 표면이 25/1000 mm 거칠어질 때마다 동일 속도를 위해서는 2~3%의 여분의 동력이 더 필요하다. 연구 결과에 따르면 출거 후 4 개월부터는 7.8%, 5개월부터는 9.6%, 6개월부터는 11.8%의 추가 동력이 선체의 오염으로 인하여 필요하다. 신조 출항이나 선거 후 주기적으로 연료 소모량을 확인하여 적절한 주기에 소제 여부를 결정하는 것이 중요하다. 이러한 자료를 활용하여 소제 시 투입되는 비용 및 소제로 인한 운항 손실 대비 소제 후 비용 절감을 잘 분석하면 적절한 소제시기를 결정할 수 있을 것이다. 소제는 주로 운항선에서 적용되는 것으로 에너지효율운항지수(EEOI) 개선에도 적용될 것이다.

**Table 5**에서는 프로펠러 전류에 연료 절감을 위해 설치되는 장치들로서, 선저의 선체 형상으로 인하여 발생하는 여러 가지 저항들을 최소화 하고 프로펠러로 유입되는 해수를 최대로 하여 추력을 향상시키기 위해 선저, 프로펠러 입구 및 프로펠러 주위로 설치되는 장치들이다. 와류 생성 핀(Vortex generator fins)은 컨테이너선에서는 선속 및 선형 그리고 방형계수 등을 고려하여 설치를 권고 하지 않는다. 또한 어떤 장치 간에는 효율에 간섭을 주는 것도 있기 때문에 동시에 설치하지 않을 것을 권고하기도 한다. **Table 9**에서 장치 간의 효율 개선 간섭에 관한 설명이 있으니 이를 참조하고 또 선종 및 선형을 고려하여 효율을 극대화 할 수 있는 것들을 선택하면 될 것이다. **Table 5**에서 소개하는 장치들은 신조선에서 도입되면 EEDI개선 효과도 있어 적극적으로 도입되고 있다. 물론 어떤 장치들은 운항선에 도입되어도 EEOI효율 개선 및 신조선 설치와 같이 동일한 효과를 기대할 수 있다. 선속에 따라 장치마다 효율의 차이가 많이 난다. 연료 효율은 1 ~ 6%까지 기대되어진다.

**Table 5:** Improving the propulsion efficiency in front of the propeller

		Handysize	Panamax	Capesize	Panamax	Aframax	VLCC	1200 TEU	5000 TEU	12000 TEU	Comment
Vortex generator fins	Design(kUSD)	45	45	45	45	45	45				HSVA
	Installation(kUSD)										
	Daily fuel saving(Ton)	0.7	0.9	1.7	1.2	1.4	2.7				Bulk 3%, Tanker 3% saving
	Annual fuel saving(kUSD)	115	160	315	185	232	480				Bulk 3%, Tanker 3% saving
Pre Swirl Stator	Design(kUSD)	85	85	85	85	85	85	85	85	85	DSME/SDARI
	Installation(kUSD)	50	85	100	50	85	100	50	85	100	DSME/SDARI
	Daily fuel saving(Ton)	0.7	0.9	1.7	1.2	1.4	2.7	1.1	4.6	7.7	Bulk 3%, Tanker 5%, Container 5% saving (85% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	115	160	315	186	233	480	181	732	1203	Bulk 3%, Tanker 5%, Container 5% saving (85% MCR)
Mewis Duct	Design(kUSD)	140	140	140	140	140	140	140	140	140	Becker Marine/SDARI
	Installation(kUSD)	160	210	290	160	210	290	160	210	290	Becker Marine/SDARI
	Daily fuel saving(Ton)	1.4	1.9	3.5	2.4	2.8	5.4	1.1	4.6	7.7	Bulk 6%, Tanker 6%, Container 3% saving (85% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	231	327	631	371	465	961	181	732	1203	Bulk 6%, Tanker 6%, Container 3% saving (85% MCR)
Nozzle and ducts	Design(kUSD)										
	Installation(kUSD)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	Schneekluth
	Daily fuel saving(Ton)	0.7	0.9	1.7	1.2	1.4	2.7	0.4	1.5	2.6	Bulk 3%, Tanker 3%, Container 1% saving (85% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	115	163	315	185	232	480	60	244	400	Bulk 3%, Tanker 3%, Container 1% saving (85% MCR)

**Table 6:** Improving the propulsion efficiency after the propeller

		Handysize	Panamax	Capesize	Panamax	Aframax	VLCC	1200 TEU	5000 TEU	12000 TEU	Comment
Propeller Boss Cap Fins	Design(kUSD)	72	72	72	72	72	72	72	72	72	MOT/SDARI
	Installation(kUSD)	72	120	170	72	120	170	72	120	170	MOT/SDARI
	Daily fuel saving(Ton)	0.7	0.9	1.7	0.8	0.9	1.8	0.7	3.0	5.1	Bulk 2%, Tanker 2%, Container 2% saving (85% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	115	160	315	123	155	320	121	488	802	Bulk 2%, Tanker 2%, Container 2% saving (85% MCR)
Rudder-Propeller Transition Bulb	Design(kUSD)										
	Installation(kUSD)	160	210	290	160	210	290	160	210	290	Green ship of the Future
	Daily fuel saving(Ton)	0.7	0.9	1.7	1.2	1.4	2.7	1.1	4.6	7.7	Bulk 3%, Tanker 3%, Container 3% saving (85% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	110	163	315	185	232	480	181	732	1203	Bulk 3%, Tanker 3%, Container 3% saving (85% MCR)

**Table 7:** Saving fuel by improving the power plant efficiency

		Handysize	Panamax	Capesize	Panamax	Aframax	VLCC	1200 TEU	5000 TEU	12000 TEU	Comment
Exhaust Gas Bypass	Design(kUSD)										
	Installation(kUSD)	1000	1000	1500	900	900	1350	1000	1000	1500	MAN
	Maintenance(kUSD)										
	Daily fuel saving(Ton)	0.2	0.3	0.6	0.6	0.7	1.4	0.2	0.9	1.5	Bulk 1%, Tanker 1.5%, Container 1% saving (50% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	39	55	105	93	116	240	35	144	236	Bulk 1%, Tanker 1.5%, Container 1% saving (50% MCR)
Variable Turbine Area	Design(kUSD)										
	Installation(kUSD)	500	500	750	500	500	750	500	500	750	MAN
	Maintenance(kUSD)										
	Daily fuel saving(Ton)	1.0	1.2	2.2	1.0	1.2	2.2	0.4	1.8	3.0	Bulk 2.5%, Tanker 2.5%, Container 2% saving (50% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	155	194	401	155	194	401	71	287	472	Bulk 2.5%, Tanker 2.5%, Container 2% saving (50% MCR)
Waste Heat Recovery	Design(kUSD)	1500	1700	2100	1500	1700	2100	1700	8500	10500	Wartsila
	Installation(kUSD)	500	500	500	500	500	500	500	1000	2000	Wartsila
	Maintenance(kUSD)										
	Daily fuel saving(Ton)	1.6	2.2	4.1	2.8	3.3	6.3	2.5	10.6	17.0	Bulk 7%, Tanker 7%, Container 7% saving (85% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	270	382	736	433	543	1122	1122	1708	2807	Bulk 7%, Tanker 7%, Container 7% saving (85% MCR)

Table 6에서는 프로펠러 후방에 연료 절감 효율을 증대시키기 위해 설치되는 장치들로서, 프로펠러 회전에 의해 중심부에서 소용돌이 상태의 저수압부분이 생기면서 선체를 후방으로 되돌리는 저항을 감소시키기 위해 설치된다. 또한 프로펠러 추력에 의해 역으로 선체에 가해지는 저항이 프로펠러 추력의 10% 이상을 차지하므로, 요즘에는 타로 인해 발생하는 저항을 감소하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 프로펠러 후방에 설치되는 장치들은 2~3%의 연료 절감 효과가 기대된다. Table 7에서는 연료를 사용하여 발생한 열을 동력으로 사용하는 과정에서 버려지는 열을 회수하거나, 동력에 사용되는 열량보다 많은 여분의

열을 발생시켜 스팀을 발생시킨다든지 바이패스 배기가스로 터빈을 구동시켜 또 다른 동력을 얻음으로써 열효율을 향상시키는 장치들을 소개하고 있다. 이러한 장치들은 적게는 1%의 연료 절감 효과에서부터 7%의 연료 절감 효과까지 다양하나, 초기 투자비용이 많이 든다. 이러한 방법은 특히 신조선에 도입이 활발하나, 설치를 위해서는 어느 정도의 공간이 필요하고 초기 비용이 많이 들어 비용 회수기간이 길어질 수 있다. 또한 고장으로 인한 추가 비용이 요구될 수 있고, 정기적인 점검 및 수리 비용들은 투자비용에는 포함되어 있지 않지만 EEDI 개선을 위해 도입되는 방법 중의 하나이다.

**Table 8:** Saving fuel by improving the operational efficiency

		Handysize	Panamax	Capesize	Panamax	Aframax	VLCC	1200 TEU	5000 TEU	12000 TEU	Comment
Tactical speed optimization	Design(kUSD)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	DNV
	Installation(kUSD)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	DNV
	Maintenance(kUSD)										
	Daily fuel saving(Ton)	0.7	0.9	1.7	1.2	1.4	2.7	1.1	4.6	7.7	Bulk 3%, Tanker 3%, Container 3% saving
	Annual fuel saving(kUSD)	115	163	315	185	232	480	181	732	1203	Bulk 3%, Tanker 3%, Container 3% saving
Weather routing and speed planning	Design(kUSD)										
	Installation(kUSD)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	AWT
	Maintenance(kUSD)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	AWT
	Daily fuel saving(Ton)	0.7	0.9	1.7	1.2	1.4	2.7	1.1	4.6	7.7	Bulk 3%, Tanker 3%, Container 3% saving (85% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	115	163	315	185	232	480	181	732	1203	Bulk 3%, Tanker 3%, Container 3% saving (85% MCR)
Trim optimization	Design(kUSD)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	DNV
	Installation(kUSD)										
	Maintenance(kUSD)										
	Daily fuel saving(Ton)	0.5	0.6	1.2	0.8	0.9	1.8	0.7	3	5.1	Bulk 2%, Tanker 2%, Container 2% saving (85% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	77	109	210	123	155	320	121	488	800	Bulk 2%, Tanker 2%, Container 2% saving (85% MCR)
Engine Tuning	Design(kUSD)										
	Installation(kUSD)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	KYMA
	Maintenance(kUSD)										
	Daily fuel saving(Ton)	0.7	0.9	1.7	1.2	1.4	2.7	1.1	4.6	7.7	Bulk 3%, Tanker 3%, Container 3% saving (85% MCR)
	Annual fuel saving(kUSD)	115	163	315	185	232	480	180	732	1200	Bulk 3%, Tanker 3%, Container 3% saving (85% MCR)

Table 8에서는 운항 중에 간단한 조작 혹은 육상으로부터 정보를 제공 받아 소요되는 운항시간을 줄인다는지, 위험으로부터 선박을 회피하기 위해 사용되는 방법들이다. 정확한 운항 계획만으로도 적절한 선속 감소를 통하여 최대 23%의 연료를 절감할 수 있다. 또한 선형 및 선속에 따라 트림을 적절히 조정함으로써 약 2%의 연료를 절감할 수 있고, 육상으로부터 기상 정보를 제공받아 적절한 항로를 선택하면 약 3%의 연료를 절감할 수 있다. 최적 속도 설정 (Tactical speed optimization) 방법이나 환경에 따른 적절한 트림 설정 방법들은 설계 시 수조 시험을 통해 얻어질 수 있어 신조선에 도입이 유리하고, 기상 정보를 통한 연료 절감 방법은 신조선 및 운항선에 모두 적용이 가능하다. 더욱 더 많은 효과를 얻기 위해서는 선박 운항에 종사하는 육, 해상 관련자들에게 정기적인 교육 및 정보를 제공하는 것이 필요하다.

### 3.2 여러 가지 에너지 효율 개선 방법 적용에 관한 검토

Table 9에서는 연료 절감 방법들 중 선체 저항 감소 관

련 요소들과 추진 효율 개선 방법들이 동일 선박에 동시에 설치되었을 때 서로간의 절감 효과를 내는데, 각각의 효율을 100% 반영하는 경우와 부분적인 효율 밖에 기대할 수 없는 경우 그리고 두 가지를 동시에 설치하면 전혀 효과를 볼 수 없는 경우 등 세 가지로 분류하여 나타내고 있다. 예를 들면 선형 최적화 설계를 반영한 선박에 방오도로 방식을 적용하였을 때 두 가지 방법 모두의 효율을 합한 연료 절감효과를 볼 수 있으나, 와류 발생 핀의 적용은 두 가지 모두의 효율을 합한 연료 절감효과를 볼 수 없고 부분적인 효과만을 기대할 수밖에 없어서 초기 투자 및 설계비용 등을 고려하여 가장 적절한 방법이 무엇인지를 생각해야한다. 또 한 예로서 전류 고정 날개를 장착한 선박에는 와류 발생 핀을 설치할 경우 효율이 둘 중의 하나만 반영되든지 혹은 오히려 효과가 줄어드는 경향이 있어 둘을 동시에 한 선박에 적용하지 않을 것을 권고한다. 그리고 다른 영역에서 행해지는 연료 절감 방식들은 선체 영역의 방법들과 상관없이 효과를 볼 수 있어서 도입을 추천한다. 다만 같은 영역의 경우 이와 같이 서로 상반되

**Table 9:** Compatibility of the measures improving the hull resistance and propulsion efficiency [9]

Measures compatibility: C - fully P - partly N - not	Hull form optimization	Antifouling coatings	Hull cleaning and Propeller Polishing	Vortex generator fins	Pre Swirl Stator	Mewis Duct	Nozzle and Ducts	Unconventional propeller	Propeller Boss Cap Fin	Contra Rotating Propeller	Rudder-Propeller Bulb Transition	Optimized Rudder	Rudder fins
Hull form optimization		C	C	P	P	P	P	C	C	C	C	C	C
Antifouling coating	C		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Hull cleaning and Propeller Polishing	C	C		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vortex generator fins	P	C	C		N	P	P	C	C	C	C	C	C
Pre Swirl Stator	P	C	C	N		N	N	C	C	N	C	C	N
Mewis Duct	P	C	C	P	N		N	C	C	N	P	C	N
Nozzle and Duct	P	C	C	P	N	N		C	C	N	C	C	C
Unconventional propeller	C	C	C	C	C	C	C		C	N	C	C	C
Propeller Boss Cap Fin	C	C	C	C	C	C	C	C		N	N	C	C
Contra Rotating Propelle	C	C	C	C	N	N	N	N	N		N	C	N
Rudder-Propeller Bulb Transition	C	C	C	C	C	P	C	C	N	N		C	C
Optimized Rudder	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		P
Rudder fins	C	C	C	C	N	N	C	C	C	N	C	P	

는 효과가 나타날 수 있으니 두 가지 이상을 동시에 채택할 경우 세심한 검토가 필요하다.

#### 4. 결 론

서론에서도 언급 하였듯이 가까운 시일 내에 전 세계가 지구 온난화 해결 방안 모색을 위해 협력할 것으로 예상되는 가운데 국제 해사 기구에서는 이미 이산화탄소 배출을 강력하게 규제 하고, 또한 운항선에도 적용하려 하고 있다. 강력한 규제를 따르지 않을 시 운항이 정지되는 극한 처벌이 예상된다. 이러한 규제를 만족하고 동시에 연료비가 차지하는 비용을 줄이기 위해 연료 절감을 위한 많은 방법들이 여러 단체에서 연구되었고 지금도 그 결과들이 발표되고 있다. 그리고 이러한 방법들이 신조선과 운항선에 적용되어지고 있다. 하지만 많은 연구결과들이 아래와 같은 오류를 포함하고 있다.

- ① 설계 및 설치비용 그리고 유지비에 대한 누락
- ② 연구 결과에 따른 효율의 절대적인 수치만 발표
- ③ 비용을 누락한 효율의 절대적인 수치는 운항선사들에게 혼란 야기

- ④ 절대적인 수치가 EEDI의 효율인지 EEOI의 효율인지 혹은 절감되는 절대적인 연료량을 말하는지 불명확한 발표
- ⑤ 효율이 좋은 방법이라 하더라도 동시에 동일 선박에 적용하였을 때 상호간의 미치는 영향 등에 대한 언급 누락
- ⑥ 명확하지 않은 연구 결과들은 잘못된 정책을 세우는데 나쁜 영향을 미침
- ⑦ 어떠한 경우에는 경제적으로도 손해를 끼침

이러한 잘못된 연구 결과에 대하여 따르는 최종 책임은 선박을 운영하는 해운회사에 있다. 3장에서 소개한 연료 절감 장치들을 세 가지 선종에서 각 선종별 세 가지 크기의 선박을 모델로 지정하여 1년 동안 운항 하였을 때 절약되는 연료비 총액과 초기 설치비 및 설계비를 함께 제시 하였다. 이러한 자료는 선박 회사에서 투자비와 운항으로 생기는 이익을 비교 검토하여 적절한 방법을 선형과 크기에 따라 장치 도입을 결정할 수 있도록 하는데 도움이 될 것이다. 또한 Table 4부터 Table 8까지 연료 절감 방법들을 충분히 검토 후에 Table 9에서 서로 간에 개선 방법들의 조합 설치로 연료 절감을 극대화 할 수 있는 방법을 신조선

이나 운항선에 도입 하면 이산화탄소 배출을 줄여 국제 규제도 따르고 운항 비용도 획기적으로 줄여 줄 수 있으리라 기대한다.

### References

- [1] IMO, Prevention of Air Pollution from Ships, 2009.
- [2] IMO MEPC/Circ.681, Interim Guidelines on the Method of Calculation of the Energy Efficiency Design Index for New Ship (EEDI), 2009.
- [3] IMO MEPC/Circ.683, Guidance for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), 2009.
- [4] IMO MEPC/Circ.684, Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), 2009.
- [5] DNV Serving the Maritime Industry, DNV Fuel Saving Guideline - For Bulk Carriers, 2012.
- [6] DNV Serving the Maritime Industry, DNV Fuel Saving Guideline - For Tankers, 2012.
- [7] DNV Serving the Maritime Industry, DNV Fuel Saving Guideline - For Container Ships, 2012.
- [8] K. H. Cho, S. I. Lee, S. D. Lee, M. H. Lee, G. R. Park, and J. Mun, Specialized Vessel, p. 18, Busan, Korea, Dasom, 2014 (in Korean).
- [9] DNV Serving the Maritime Industry, DNV Fuel Saving Guideline - For Bulk Carriers, p. 84, 2012.