

# 국내연안에서의 SkySails 시스템 활용에 대한 검토와 효용분석

박우석† · 박진희\*

† 한국해양대학교 대학원, \*한국해양대학교 물류시스템공학과 조교수

## Examination and Utility Analysis about Skysails System Application in the Coastal Waters

Woo-Seok Park† · Jin-Hee Park\*

†,\* Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약 :** 고유가와 자연환경에 대한 관심증대에 따른 선박의 환경규제로 많은 해운회사들이 어려움을 겪고 있으며 그에 따라 선박의 에너지 이용 효율성에 대한 관심이 증대하고 있다. 또한 향후 시간이 흐를수록 이러한 문제들의 중요성과 관심은 점점 증대될 것으로 보인다. 이에 대한 한 방안으로 독일의 Skysails사가 4년간의 개발로 완성한 스카이세일즈 시스템은 새로운 관심을 가지게 한다. 이는 선박에 대형 연을 달아 연비를 낮추는 시스템으로 현재 유럽의 일부 선박에 실용화되고 있는 기술이다. 이에 따라 연의 활용과 관련이 깊은 국내연안의 날씨 등을 고려하여 동북아 피더네트워크가 발달되어 있는 국내연안에서 Skysail 활용에 대한 검토와 효용을 분석하고, 유류절감비용, 환경비용을 추정하였다. 그 결과 Skysail 시스템이 보조추진기구로써 연비절감과 환경비용절감에 많은 도움이 될 수 있음을 알 수 있었다.

**핵심용어 :** 연, 선박, 연비, 동북아, 피더, 운송비 절감, 환경비용

**Abstract :** Many shipping companies have suffered about high oil cost and environment regulation as people are concerned about the environment, therefore concentrating on energy using efficiency of the ship. The Skysails Company of Germany developed Skysails System for 4 years, making Shipping Company take interest under such situation. Skysails System uses a large kite in the ship, decreasing fuel expenses. So examination and utility analysis on Skysails System application are a necessity by using weather condition in the Coastal Waters of Korea where feeder network was well-developed. As a result, we could find out the system's efficacy on fuel saving and environment cost saving.

**Key words :** Kite, Ship, Skysail, Fuel expenses, Transportation cost, Feeder, Environment cost

### 1. 서 론

최근 유가의 급등으로 선박의 연료비도 폭등하여 많은 해운 회사가 어려움을 겪고 있다. 싱가포르 선박용연료유(IFO 380cst<sup>1)</sup>의 경우 2008년 6월 현재 톤당 630달러를 넘어 2008년 1월 톤당 약 500달러에 비해 26%정도 상승하였으며 Fig. 1에서 보듯 이러한 유가 폭등이 일시적인 현상이 아니라 점점 진행형이라는 점이다.

또한 국제적으로 기후변화와 지구온난화에 대한 관심이 커지고 있으며 아울러 선박에 대한 대기오염에 대한 규제와 관련된 정책들도 비례하여 그 관심이 커지고 있다. 이에 따라 국제해사기구(International Maritime Organization : IMO)는 1997년에 채택된 '선박으로부터의 오염방지를 위한 국제협약(International Convention for the Prevention of pollution

from Ships : MARPOL)'의 '부속서 VI(선박으로부터의 대기오염방지를 위한 규칙)'에 대한 엄격한 이행을 유도할 계획이다.

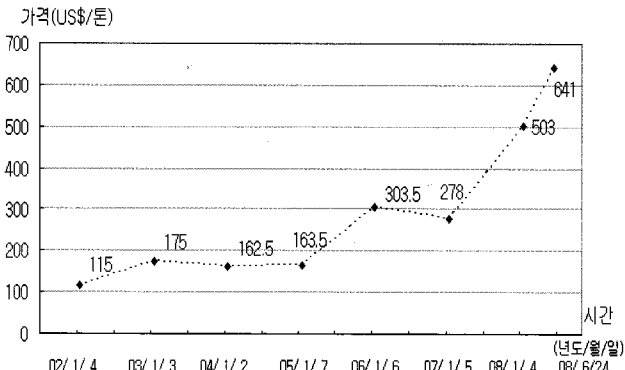
이러한 유가 압박과 환경오염에 대한 규제증가는 조선업체와 해운회사가 선박에 대한 화석연료 절감기술에 대한 관심을 일으키게 하고 있으며, 이러한 추세에 최근 바람을 이용해 선박의 연료절감을 가능하게 한 독일의 'Skysail'은 연료절감 방법의 하나의 대안으로 해운이 발달한 우리나라에서도 그 효과에 대한 적극적 검토가 필요한 때이다.

본 연구는 기존 선박의 연을 이용한 원천기술에 집중된 연구들에서 벗어나 특정항로에서 Skysails시스템의 활용에 대한 연구를 수행하기 위해 시간, 비용 등 현실적으로 어려운 실제 운행을 통한 분석이 아닌 항로상에 기상상황을 고려해 이를 간접적으로 시도하였다.

† 교신저자 : 박우석(정회원), sinsanj@hanmail.net 051)410-4911

\* 정회원, jinheep@hhu.ac.kr 051)410-4337

1) IFO(Intermediate fuel oil)는 중질유를 나타내는 것으로써 점도에 따라 IFO 30cst.....IFO 380cst 등으로 분류되며 bunker C와 MGS(선박용 경유)를 어떻게 섞느냐에 따라 점도에 차이가 난다. 숫자가 커질수록 bunker C 함량이 커 더 조약유로 취급된다.



자료 1 : 고 와 김(2008), “선박연료유 가격상승이 우리나라 해운산업에 미치는 영향”, p.2  
 자료 2 : bunkerworld(<http://www.bunkerworld.com/>)

Fig. 1 Price trend of Singapore IFO 380cst

## 2. Skysails의 소개

### 2.1 문헌고찰

바람의 풍향과 풍속을 이용한 연료절감과 환경오염을 줄이기 위한 선박의 에너지 효율향상에 대한 연구는 계속되고 있으며 바람과 마찬가지로 무한에너지인 태양광을 이용한 발전 시스템, 2007년 상용화 개발에 성공한 선박의 냉각시스템, 수소에너지를 이용한 선박용 연료전지, 연료혼합과 연료유첨가제 등에 대한 연구와 효과검토가 이루어져 왔다(Table 1 참조). 특히 바람을 이용한 기술인 Laddermill<sup>2)</sup>에 대해 Ockels, W. J(2007)는 Laddermill의 고도와 선박과의 활공각, 양항비(lift to drag ratio)를 구하고 양항비에 따른 효용분석을 시뮬레이션을 통해 구하였다. 그 결과 Laddermill이 운행되기 위해선 양항비<sup>3)</sup>가 5보다 커야 하며, 바람의 속도에 대한 선박의 속도 비율이 1미만일 경우 Laddermill의 최대효용이 50%이며, 바람의 방향에 대한 속도의 독립성은 충분하다고 분석하였다.

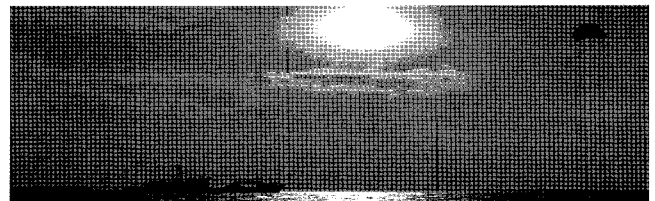
현재 바람을 이용해 선박의 항해를 보조하는 기술은 유럽, 미국을 중심으로 Laddermill, Kiteship<sup>4)</sup> 이름으로 연구되고 있으나 시뮬레이션에 국한되어 있는 정도이고, 선박의 크기와 기술면에서 유일하게 화물선에 실제 상용화되고 있는 Skysail사의 Skysail시스템에 비하여 많이 부족한 상황이다.

Table 1 Literature study about fuel reduction of ship

저 자	내 용
오진석 임명규 (2005)	· 해수온도가 높고 낮음에 따라 펌프를 구분가동시켜 전력을 줄일 수 있는 선박의 냉각시스템 대한 고찰과 에너지 절감기법에 관한 연구
김명환 오철 (2006)	· 수소에너지시대를 대비한 수소에너지를 사용하는 선박용 연료전지의 시스템 및 장치개발 현황 검토
한원희 남정길 이돈출 (2007)	· 경유와 중유MF380을 혼합하여 소형선박에 사용이 가능하도록 제조한 혼합연료유인 MF30 연료유에 대하여 물리, 화학적 특성을 분석하고 정제처리 및 연료유첨가제 효과에 대한 연구
Ockels, W. J (2007)	· Laddermill이라고 하는 바람 에너지 추진 시스템과 선박간의 활공각과 양항비에 따른 효용분석

### 2.2 Skysail

Skysails사는 2002년 설립되어 유럽연합(EU)으로 부터 약 120만 유로의 지원을 받아 벨루가 등 여러 화물선 회사와 함께 4년간의 노력 끝에 'Skysail'이라는 선박에 추진형 연을 이용하는 기술을 개발했다. 이는 선박의 선수에 연을 매달아 바람의 힘으로 선박을 끌어당겨 연료를 절감하는 선박의 보조 동력기술이며, 작동에서 회수까지 전적으로 자동화가 되어 있어 추가적인 유지비가 크게 들지 않는다. 2008년 1월부터 현재까지 유럽에서 상용화<sup>5)</sup> 중이다.



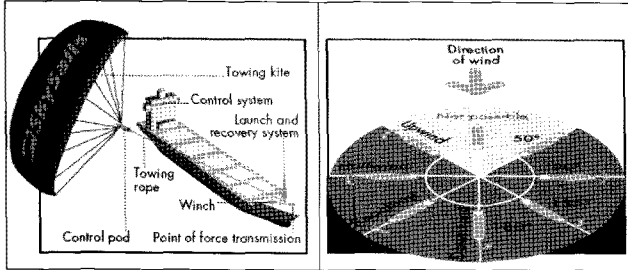
출처 : 스카이세일사([www.Skysails.info](http://www.Skysails.info))

Fig. 2 Skysail's operation state

시스템이 작동하는 동안 이 연은 고도 약 100~300m사이에서 작동하게 되어 있다. 수면의 풍속은 지구와 물의 표면의 저항이 작용하기 때문에 높은 고도의 바람에 비해 10~20%로 정도 약하지만, 100~300m 고도의 바람은 수면보다 세기 때문에 일상적인 해상 바람<sup>6)</sup>만으로도 이 장치는 작동가능하다. 또한 Fig. 3에서 보듯 선박의 운항 방향과 맞바람에서 좌

2) 네덜란드 델프트대학의 오켈스(Ockels) 박사가 고안한 것으로 연처럼 생긴 비행체 여러 개가 하나의 케이블에 동그랗게 연결된 모습으로 고리 길이는 약 8,000m 정도다. 초기에는 바람이 불면 상승 방향에 있는 연은 올라가고 하강 방향에 있는 연이 내려오면서 풍차처럼 빙글빙글 도는 운동에너지를 전기에너지로 바꾸는 구상을 하였으나, 최근에 그 범위를 확대하여 Laddermill을 이용하여 선박을 끄는 연구를 진행하고 있으며 아직까지 상용화 단계까진 가지 못했으며 꾸준히 연구 중이며 Skysail과 다르게 Laddermill의 경우 다수의 연을 사용하는 것이 특징이다.  
 3) 항공기 또는 글라이더의 날개가 어떤 받음각의 상태에서 발생하고 있는 양력(揚力)과 항력(抗力)의 비  
 4) 연으로 움직이는 배뿐만이 아니라 NASA와 연계해 우주상에서 연을 이용한 기술을 연구하고 있는 미국에 있는 회사로 2006년 10월 연료비를 25% 절감한 연 추진 선박으로 캘리포니아주의 클린텍경연대회 운송수단 부문 수상자로 선정되기도 했음  
 5) 2008년 1월 22일에 독일 'MS Beluga'사의 'Skysails'호가 독일 브레머하겐(Bremerhaven)을 출발하여 베네수엘라 관타(Guanta) 까지 160m<sup>2</sup> 크기의 Skysail을 이용해 2주 뒤 도착하였으며 'Skysails'호는 9,821tdw급의 선박으로 운행 시 하루 2.3톤의 유류를 소모한다.  
 6) 바다표면에서 6m/s의 속도의 바람이 불어야 Skysail을 띄울 수 있으며 바람의 방향에 대한 속도의 독립성이 보장된다는 Ockels, W. J(2007)의 연구에 바탕을 두어 바람과 바람의 충돌은 에너지가 그대로 보존되는 완전탄성충돌로 보고 방향에 상관없이 선박의 자체속도와 바람의 속도가 더해져 운동에너지가 그대로 보존된다고 가정하였다. 즉, 바다 표면에서 바람의 속도 = 선박의 속도 + 선박위에 부는 바람의 속도(Table 3의 데이터)

우로 50° 방향을 제외하고는 항해가 가능하며 바람이 최적의 상태일 때 앞선 Laddermill의 최대효율과 동일한 값인 연료비의 최대 50%까지 절약 가능하고 일상적으로는 10~20% 정도 연료를 절약할 것으로 Skysails사는 전망하고 있다.



출처 : 전계서

Fig. 3 System components and applicable wind direction of Skysail

### 3. Skysails의 적용

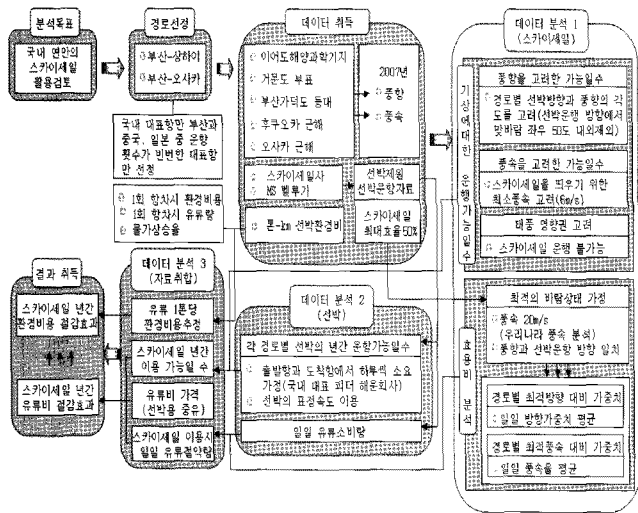


Fig. 4 A analysis process of Skysail in the seas between Busan and Osaka, and between Busan and Shanghai

전체적인 분석과정을 간단하게 언급하면 국내연안에서 Skysail 시스템 활용에 따른 유류 절감효과, 환경비 절감효과를 도출하기 위해 Fig. 4의 분석과정에서 확인할 수 있듯 먼저 국내 연안에서의 대표경로를 선정하였고 경로상에 풍향과 풍속 등 기상데이터, 선박제원과 선박운항자료, 톤-km 선박환경비 등 기본 분석 데이터를 취득 후 Skysail 시스템의 효율과 Skysail시스템 연간 이용가능일수를 산출하였다. 그 후 이

를 이용 연간 연료 절감비용을 구하였고, 연료절감비용을 바탕으로 연간 환경비 절감효과를 도출하였다.

우선 Skysail의 국내연안에서의 효율분석을 위해 국내 컨테이너 중심항만인 부산항과 그 사이를 운행하는 중국과 일본의 대표적인 기중점 선정이 필요했으며 이에 Table 2에서와 같이 부산과 운항빈도수가 많은 도시를 바탕으로 중국은 상하이로 선정하였고 같은 방법으로 일본은 오사카<sup>7)</sup>를 선정하였다. 또한 Skysail의 활용에 대한 분석을 위해 운항 경로상에 기상 관측소 실측치<sup>8)</sup>를 이용하여 Skysail 운행에 중요한 요인인 풍향과 풍속에 대한 2007년 기상데이터를 Table 3과 같이 수집하였으며 Skysail을 이용할 선박에 대한 분석을 위해 기본적으로 Skysail을 실제 이용하고 있는 'MS Beluga'사의 'Skysail 호' 자료를 이용하여 이를 바탕으로 연간 선박의 운행일수, 일일 유류소비량을 구하였다.

Table 2 Ships of entrance and departure between China ports and Busan port

(단위 : 척)

월	상해			천진			청도			대련		
	입항	출항	합	입항	출항	합	입항	출항	합	입항	출항	합
1	311	217	528	174	108	282	181	127	308	154	96	250
2	287	200	487	155	87	242	149	107	256	138	77	215
3	293	202	495	172	105	277	170	113	283	147	94	241
4	328	202	530	172	91	263	176	118	294	151	79	230
5	322	223	545	161	101	262	201	129	330	147	89	236
6	324	223	547	175	111	286	192	123	315	141	75	216
7	330	215	545	173	97	270	193	127	320	146	84	230
8	323	212	535	168	105	273	209	146	355	159	84	243
9	306	203	509	169	99	268	170	129	299	135	76	211
10	338	215	553	155	91	246	186	139	325	145	84	229
11	321	200	521	164	95	259	179	126	305	131	67	198
12	319	189	508	153	84	237	179	122	301	140	82	222
합계	3,802	2,501	6,303	1,981	1,174	3,165	2,185	1,506	3,691	1,734	987	2,721
평균	317	208	525	166	98	264	182	126	308	145	82	227

주 : 천진의 경우 기존 천진항과 천진신항의 자료를 합산  
자료 : 부산항만공사(<http://www.pba.or.kr/>)

#### 3.1 경로별 Skysail 연간 이용 가능일

Skysail 연간 이용 가능일수를 구하기 위해 Fig. 4에서 볼 수 있듯 풍향, 풍속에 대한 제약변수를 이용하여 걸러내고 이를 선박의 연간 운항 가능일 수를 적용하였다. 이를 위해 우선 풍향의 경우 도(度, degree)로 표시하기 위해서 이여도 지역을 제외한 타 지역의 16방위를 도로 바꿔 표기하였다. 그 결과 한

7) 일본교토성항만국 '일본의 국제컨테이너 항로 편수(2007)'에서 하카타, 기타큐슈, 시모노세키 지역은 부산항과 지역이 너무 근접해 제외했으며 일본의 슈퍼중추항만 계획에 따라 한신항(고베, 오사카)과 게이힌항(도쿄, 요코하마) 이세항(나고야, 오키나와)의 정기 항로 편수는 한 주에 각각 18편, 19편, 14편 이었다. 이에 편수가 비슷하나 게이힌항보다 일본의 지리적으로 중심에 위치한 한신항 중 오사카항을 일본의 주요 기중점으로 경로를 정하였다.  
8) 부산-상하이의 경우 가덕도 등대, 거문도 부표, 이여도 해양과학기지, 부산-오사카의 경우 가덕도 등대, 후쿠오카 근해, 오사카 근해서 2007년 기상자료를 이용

방향에 22.5°로만 표기가 가능하여 근사값을 적용시켰으며 Skysail을 표면에서 띄우기 위한 최소풍속인 6m/s(선박의 속도<sup>9)</sup>+바람의 속도(Table 3)를 고려하였다. 또한 태풍의 영향권에서는 운행이 불가능하므로 이 역시 Skysail 운행 가능일에서 제외하였다. 고려사항을 모두 고려해 최종적으로 풍향과 풍속에 의한 Skysail 시스템의 기상에 대한 연간 운행 가능일수(부산-상하이 : 약 271일, 부산-오사카 : 약 234일)와 연간 운행 가능비율(부산-상하이 : 약 74.2%, 부산-오사카 : 약 64.2%)을 구하였다.

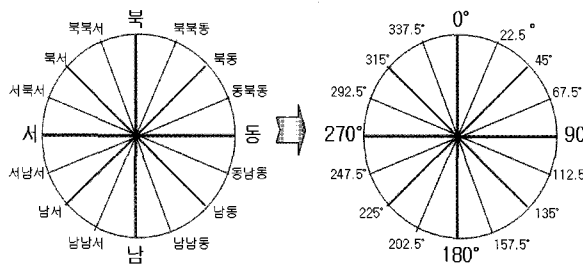


Fig. 5 Wind direction's conversion from 16 direction to degrees

Table 3 Observed value about speed and direction of wind for 2007 in the seas between Busan and Osaka, and between Busan and Shanghai

2007 (년)	부산-오사카						부산-상하이						
	풍속(m/s)			풍향(deg)			풍속(m/s)			풍향(deg)			
월	일	가덕도	후쿠오카	오사카	가덕도	후쿠오카	오사카	가덕도	거문도	이어도	가덕도	거문도	이어도
1	1	4.8	2.2	2.8	0	202.5	67.5	4.8	5.4	5.29	0	45	234
2	2	2.8	1.4	2.7	90	247.5	22.5	2.8	5.6	8.86	90	0	77
3	3	8.8	3.6	5.4	90	22.5	22.5	8.8	10.5	8.73	90	67.5	211
4	4	6.3	3.8	6	90	45	45	6.3	9.3	11.19	90	45	60
5	5	5.3	2.8	3.6	0	45	45	5.3	7.4	9.27	0	45	285
6	6	9.3	7.4	6.4	315	270	270	9.3	13.1	18.69	315	315	300
7	7	12	9.2	11.7	315	270	292.5	12	13.7	19.1	315	315	318
8	8	8	6.9	9.9	315	292.5	292.5	8	10.6	11.81	315	315	317
9	9	3.5	2.7	3.3	315	225	292.5	3.5	7.6	6.17	315	337.5	269
10	10	4	4.5	5	315	247.5	292.5	4	5.8	6.18	315	337.5	222
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
12	31	8.5	11.7	11.8	315	292.5	270	8.5	13.7	18.39	315	315	309

주 : 풍향은 하루에 시간별로 다른 경우 최대 풍향을 적용  
 자료 1 : 기상청 (<http://www.kma.go.kr/>)  
 자료 2 : 이어도 종합해양과학기지 (<http://ieodo.nori.go.kr>)  
 자료 3 : 日本氣象廳 (<http://www.jma.go.jp>)

또한 선박의 연간 운행 가능일 수를 구하기 위해 먼저 선박의 속도(11.5노트<sup>10</sup>)와 각 구간 항만간 거리<sup>11</sup>)를 바탕으로 각 구간 운항시간<sup>12</sup>)을 추정하였고 국내 주요 피더선사인 고려해운의 10,000dwt급 선박의 출발항과 도착항에서 지체시간을 바탕으로 그 시간을 약 하루로 정하여 선박의 연간 운항일수(부산-상하이 : 약 223일, 부산-오사카 : 약 196일)와 연간 비율(부산-상하이 : 약 61.2%, 부산-오사카 : 약 53.7%)을 계산하였다.

앞서 구한 내용을 바탕으로 실질적 Skysail 시스템 이용일 수를 구하기 위해 Skysail 시스템의 기상에 대한 연간 운항비율과 선박의 연간 운항비율을 곱하였고, 이렇게 하여 부산-상하이 166일, 부산-오사카 126일을 도출하였다.

Table 4 Shipping service direction in the seas between Busan and Osaka, and between Busan and Shanghai

부산-오사카						부산-상하이					
westbound			eastbound			westbound			eastbound		
가덕도	후쿠오카	오사카	가덕도	후쿠오카	오사카	가덕도	거문도	이어도	가덕도	거문도	이어도
165°	120°	70°	345°	300°	250°	45°	45°	67.5°	247.5°	247.5°	225°

주 : 선박의 운항방향은 피더선사의 기항지 루트를 이용 맵상에서 구함

### 3.2 Skysail 연 평균효용

효용분석을 위해 기본적으로 Skysail에서 바람이 최적상태일 때 최대효용을 50%라는 점을 바탕으로 선박의 방향과 풍하방향이 같은 방향이고 바람의 속도가 강하게 불 때를 최적의 바람상태로 가정하였다.

이에 따라 우선 선박의 방향과 풍하방향이 같을 때(1)를 기준으로 각 방향에 대한 정량적인 비율을 Fig. 5와 같이 적용하여 연간 최적풍향에 대한 부산-상하이, 부산-오사카 평균효율을 Table 5와 같이 각각 약 36.7%, 약 38.9%로 구하였다.

Table 5 Average efficiency about wind direction in the seas between Busan and Osaka, and between Busan and Shanghai

부산-오사카			부산-상하이		
westbound	eastbound	평균	westbound	eastbound	평균
30.0	47.9	38.9	36.9	36.6	36.7

(단위 : %)

9) 거리가 4,385마일(7,055.5km)인 독일 브레머하젠(Bremerhaven)을 출발하여 베네수엘라 관타(Guanta) 까지 'Skysail호'가 14일 걸린 것을 이용 선박의 평균속도 11.5노트(5.9m/s)를 추정  
 10) 1노트 = 1.852km/h  
 11) 부산-상하이 : 806km, 부산-오사카 : 592km(www.dataloy.com)  
 12) 부산-상하이 : 1.58일, 부산-오사카 : 1.16일

풍속의 경우 Fig. 7에서 보듯 고도에서 스카이세일이 운행 가능한 20m/s를 초과해서는 풍속의 빈도가 거의 없어 돌발적인 풍속으로 보여지므로 최대풍속을 20m/s로 가정하였고 그 비율을 1로 기준을 두어 연간 평균풍속<sup>13)</sup> 부산-상하이, 부산-오사카 각각 13.9m/s, 12.0m/s 에 가중치<sup>14)</sup>를 계산하여 최대풍속에 대한 국내연안의 평균효율 약 45.2%, 약 38.9%의 수치를 각각 도출하였다.

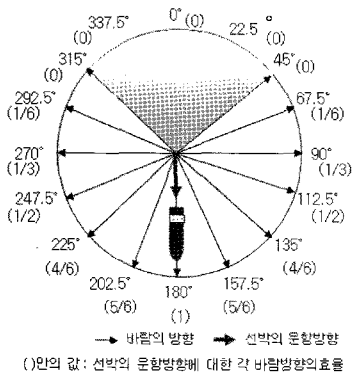
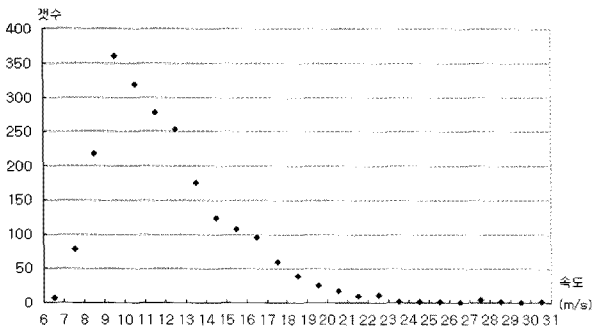


Fig. 6 Skysail system efficiency of each wind direction about shipping service direction



주 : 그래프에서 값은 고도(150m~300m)에서 바람의 속도이며 이는 선박의 속도+표면 바람의 속도에 15% 가중치를 치환한 값

Fig. 7 Wind speed spread in the altitude between Busan and Osaka, and between Busan and Shanghai

효율측면에서 부산-상하이, 부산-오사카 구간을 결과값에 대해 비교해 보면 Fig. 8에서 쉽게 알 수 있듯 풍속의 경우 Skysail의 이용에 있어 부산-상하이 구간이 부산-오사카 구간보다 앞서지만 풍향의 효율은 부산-오사카 구간이 부산-상하이 구간보다 미세하게 앞섰다. 특히 부산-오사카 구간에서 westbound는 다른 항로에 비해 풍향의 효율이 낮지만

eastbound에서 풍향의 효율이 이를 상쇄시킬 정도로 큰 것을 알 수 있다. 이는 부산-오사카 구간은 eastbound가 Skysail 시스템을 이용하기에 더 적합한 바람환경이란 것을 알 수 있다.

앞서 구한 풍향과 풍속의 평균효율을 부산-상하이, 부산-오사카 각 구간에 곱하면 각 구간의 Skysail에서 바람의 최적 상태에 대한 평균효율이 각각 약 16.6%, 약 15.1%인 수치를 얻을 수 있고 이를 Skysail에서 최적상태의 에너지 효율인 50%를 적용하면 Skysail 시스템을 이용할 시 각각 약 8.3%, 약 7.6%의 연료비 절감효과를 추정할 수 있다. 이는 Skysail사가 추정한 일상적인 상태의 10%~20% 수치보다는 낮은 수치이다.

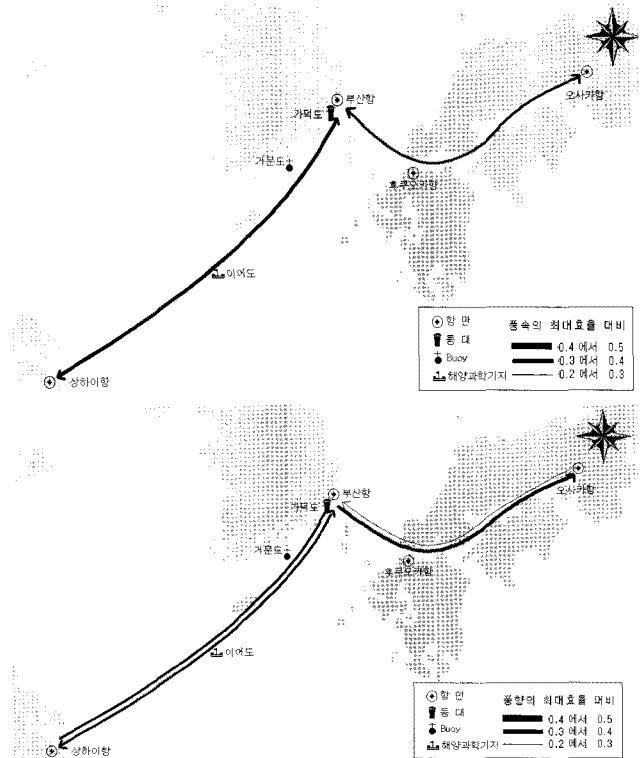


Fig. 8 Direction effect rate and speed effect rate of the wind about Skysail's best wind condition

## 4. Skysails의 효과

### 4.1 선박의 유류비 절감효과

Skysail 시스템을 사용해 1일 유류 절감량을 구하기 위해 우선 약 10,000tdw급 선박의 1일 유류 사용량 23톤('Beluga Skysails호')에 앞서 구한 연안 Skysail 이용 유류비 효율을

13) 앞서 본문에서도 설명하였듯 고도가 높아짐에 따라 10%~20% 바람의 속도가 증가하므로 표면의 속도에서 15% 증가한 속도를 적용  
14) Skysails사는 풍속이 11.5m/s에서 20m/s로 변했을 때 그 힘은 2.68배가 커진다고 전하고 있다. 이를 풍속 20m/s를 효율 1로 봤을 때 풍속 11.5m/s는 0.37의 효율을 가지는 것이며 풍속 11.5m/s에 대해 각 구간 풍속의 비를 보면 부산-상하이, 부산-오사카가 각각 1.21배, 1.04배로 이를 11.5m/s의 효율인 0.37의 효율에 곱하여 각각의 구간에 대해 효율을 구하였다. 즉 평균속도 × 가중치(약0.0325) = 평균효율

각각 곱하였다. 이렇게 하여 부산-상하이, 부산-오사카 각 구간에 운항하는 선박이 Skysail 시스템을 이용했을 시 1일 유류 절약량은 각각 약 1.91톤, 약 1.74톤이었다. 이를 다시 앞선 Skysail 시스템 연간 실제 사용일 수에 각각 곱하면 연간 유류 절약량은 각각 약 316만톤, 약 219만톤이다.

이를 비용적으로 환산하기 위해 2008년 6월 현재 선박연료 유 값 톤당 US\$630, 1일 유류 절약비는 각각 약 US\$1202, 약 US\$1097, 연간 유류비 절감비용은 각각 US\$199,207, US\$137,907 이었다. 이러한 이익은 유류비가 앞으로 계속 상승함에 따라 더 커질 수 있을 것으로 판단된다.

'Beluga Skysails호'가 사용한 160m' 크기의 Skysail의 가격은 US\$725,000<sup>15)</sup>로 알려져 있다. 부산-상하이, 부산-오사카 구간에서 선박에 Skysail 시스템을 설치할 시 유류절약 금액에 대해 각각 약 3.6년, 약 5.3년만에 상환이 가능하다. 이는 선박의 수명이 통상적으로 30년인 점을 감안할 때 Skysail 도입에 대한 비용의 상환기간을 제외하여도 선박에서 이용할 수 있는 기간은 충분하여 에너지 절감면에서 Skysail 시스템이 충분히 경쟁력이 있다고 판단되어진다.

#### 4.2 환경비 절감효과

환경에 대한 관심이 전 세계적으로 증대하면서 우리나라 역시 교토의정서 대상기간(2008~2012년) 이후의 온실가스 감축체제를 지칭하는 포스트 교토의정서(2013년 이후) 협상의 대상국에 포함될 가능성이 높아 온실가스 총배출량의 17%를 차지하는 운송 분야도 직간접적으로 영향을 받을 것으로 보이며, 이에 따라 선박에 대한 환경규제도 우리나라에서 크게 이슈가 될 것으로 보인다.

Skysail에서 절약된 유류는 환경비용의 절감을 의미한다. 환경비용 절감을 구체적으로 분석하기 위해 유류소모 단위당 환경비용을 알아야 하며, 이를 위해 신승식(2001)<sup>16)</sup>의 자료를 이용하였다. 이를 이용하여 부산-상해 구간 806km와 분석기준 선박의 제화중량톤수 10,000톤을 이용하여 부산-상해 구간 1항차 환경비용을 분석하고 기준 선박의 1항차 구간의 유류소모량 36.3톤을 나눠 유류소모 1톤-1km당 환경비 약 862만원이라는 수치를 구해 앞서 구한 연간 부산-상하이, 부산-오사카 운항 선박의 유류 절약량 316만톤, 219만톤을 여기에 각각 곱하면 연간 환경절감비는 각각 약 2억 7251만원, 약 1억 8865만원이다.

이를 통해 Skysail의 환경 절감비가 유류 절감비 못지않게 중요한 영향을 끼친다는 것을 알 수 있으며, Skysail 시스템 자체가 사회적으로 환경에 유익한 도움을 준다는 것을 알 수 있다. 선박의 환경규제가 커질수록 이러한 환경 절감비는 더 부각될 것으로 판단되며, Skysail과 같은 친환경기술에 대한

관심도 커질 것으로 예상된다.

## 5. 결 론

Skysail사에 따르면 Skysail의 경우 최적의 바람상태에서 연료비의 50%까지 절감할 수 있는 21세기 친환경 에너지기술이다. 이에 착안하여 Skysail 시스템의 가장 중요한 요인인 우리나라 근해의 풍향과 풍속 자료를 이용해 우리나라 연안운송 경로 상에서 연간 최적의 바람상태에 대한 효율과 선박의 Skysail 운행가능 일수를 구하여 유류비 절감비용과 환경 절감비용을 산출하였다. 그 결과 Skysail 시스템은 유류비 절감비용과 환경비용을 고려할 시 충분히 시장성이 있는 것으로 판단되며, 본 연구결과를 바탕으로 향후 풍력을 이용한 다양한 기술의 개발 및 도입방안에 대한 구체적인 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 풍력을 이용한 에너지 신 절감기술인 Skysail을 구체적인 바람에 대한 데이터를 이용하여 국내연안에서의 활용 타당성을 간접적으로 타진해 본 측면과 우리나라와 같이 연안에서 피더선이 발달되어 있는 국가에서 유류값 상승과 환경규제가 커지고 있는 어려운 현 시기에 하나의 대안을 제공한 측면에서 그 의의가 크다고 판단된다. 그러나 오픈되지 않은 Skysail사의 한정된 자료의 한계와 관련연구 부재로 바람의 방향에 따른 Skysail 시스템의 효율과 같이 정량적인 비율을 적용한 점, 풍향과 풍속의 Skysail 효율 상관관계 등은 연구의 한계인 바, 향후 이에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 고병욱, 김형태(2008), "선박연료유 가격상승이 우리나라 해운산업에 미치는 영향", 한국해양수산개발연구원, 해양수산현안분석.
- [2] 기상청(2007), "기상관측데이터", <http://www.kma.go.kr>
- [3] 김명환, 오철(2006), "선박 동력용 연료전지 및 시스템 개발에 대한 제언적 연구", 한국마린엔지니어링학회 학술대회논문집, pp. 273~274.
- [4] 김상현, 고현두(2003), "환경비용을 고려한 수출입컨테이너 화물의 운송경로 선택에 관한 연구", 한국항해항만학회지, 제 27권, 제 2호, pp. 155~162.
- [5] 부산항만공사(2007), "선박입출항자료", <http://www.pba.or.kr>
- [6] 신승식(2001), "운송수단별 환경비용 추정과 시사점", 한국해양수산개발연구원.
- [7] 이어도 종합해양과학기지, 기상관측데이터, <http://ieodo.nori.go.kr>.

15) ELITE CHOICE(<http://www.elitechoice.org/2007/12/19/725000-kite-assists-ship-fights-climate-change/>)

16) 신승식(2001)은 농작물 피해, 질병에 끼치는 피해 등 선박에 인한 근해의 손해비용을 추정해 선박의 총 km-톤 이동거리를 나누어 화물 1톤을 1km를 이동하는데 환경비용은 30원이라는 연구결과를 내놓았다. 환경비용은 생활수준에 따라 차이를 보이므로 이를 극복하기 위해 통계정보시스템(<http://kosis.nso.go.kr>)의 물가상승률을 적용하여 2008년 5월 기준 약 38.78원으로 전환하였다.

- [8] 이윤재, 안기명, 김현덕, 김광희(2005), "동북아 물류거점화를 위한 연안해운 경쟁력 제고방안에 관한 연구", 한국항해항만학회지, 제 29권, 제 6호, pp. 501~508.
- [9] 임남건, Van Luong, T(2008), "Ship's Maneuverability in Strong Wind", 한국항해항만학회지, 제 32권, 제 2호, pp. 115~120.
- [10] 최영석(2007), "선박의 대기오염 규제 강화 동향과 대응", 한국해양수산개발원, 해양수산동향, 제1240권.
- [11] 통계청, "통계정보시스템, 물가상승", <http://kosis.nso.go.kr>
- [12] 日本交通性港湾局(2007), 일본과 주요 국가간 항로편수, <http://www.mlit.go.jp/kowan>.
- [13] 日本氣象廳(2007), 기상관측데이터, <http://www.ima.go.jp>.
- [14] Bunkerworld, <http://www.bunkerworld.com>.
- [15] Elite Choice, <http://www.elitechoice.org>.
- [16] Ockels, W. J.(2007), "Laddermill-sailing, Ship propulsion by wind energy independent from the wind direction", AeroSpace Sustainable Engineering and Technology Chair
- [17] Skysails, <http://www.skysails.info>.

---

원고접수일 : 2008년 8월 1일

심사완료일 : 2008년 12월 24일

원고채택일 : 2008년 12월 27일