



풍력선박¹⁾에 대한 고찰: 범선을 통한 선형 특성 해석

이준^{1,†}, 박준수², 신성철³, 박일룡⁴
인하공업전문대학 조선기계공학과¹
경남대학교 조선해양시스템공학과²
부산대학교 조선해양공학과³
동의대학교 조선해양공학과⁴

Review on the Windship: the Analysis of Hull Form Characteristics with Tall Ship

June Lee^{1,†}, Jun Soo Park², Sung-chul Shin³, Il Ryong Park⁴
Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Inha Technical College¹
Department of Naval Architecture and Ocean System Engineering, Kyungnam University²
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University³
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong Eui University⁴

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.

Global warming impacts every corner of human life. Maritime transportation and shipbuilding industries are no exception. Recent counteraction in maritime industries is accelerating to meet the zero emission by 2050. Various alternative energy sources have been studied, and recent developments in Europe show that the windship, as a proven technology, can be an attractive candidate to solve the problem. In this paper, as the alternative transportation option, to infer the performances of modern windships, the non-dimensional ratios of past tall ships and windships are studied and reviewed. In addition, the ratios are compared to estimate the position of current and future windships under consideration. It is found that regarding the ratio distributions, the current windships being planned can be either wind-assisted propulsion ships or less fully functional windships than the past tall ships.

Keywords : Tall ship(범선), Barque(바크), Schooner(스쿠너), Windship(풍력선박), Wind Assisted Propulsion Ship(풍력보조추진선, WASPs), Zero Emission Vessel(무공해선박, ZEV), Non-dimensional ratio(무차원 계수)

1. 서론

15세기 유럽이 지중해와 대서양 연안을 벗어나 대서양 동, 서 해안과 여러 섬에 식민지를 건설하기 시작한 이래, 지금까지 대서양, 인도양, 태평양을 넘나들며 전 세계의 바다를 누비고 있다 (Abulafia, 2011; KBS, 2015). 반면, 최강의 해양 세력을 자랑하던 아시아, 특히 한·중·일과 같은 극동아시아는 1371년 명조의 해금(haijin, sea ban) 정책 이후 지난 650여 년간 바다에 대해 전형적인 폐쇄 정책을 펼친 나라들이다 (Lee et al, 2007). 이러

한 국가 정책은 당연히 바다와 관련된 일상생활에도 많은 영향을 끼쳤을 것이다. 조선·해운 산업 분야에서 미래 친환경 선박으로 새로이 부상하고 있는 순수 바람의 힘으로만 움직이는 풍력선박이 대표적이다. 최근까지 유럽은 온실가스 배출에 대한 대응으로 수소만을 후보 에너지원으로 거론하였다. 그러나, 최근 친환경 에너지원으로써 바람의 가치를 다시 인식하고 있다 (Trouve and Jaouanne, 2013; Abbasov, 2019; Defour, 2020; IMO 2020). 이러한 이면에는 유럽이 범선이나 세일 요트와 같은 바람을 이용하는 배에 일상생활 관점에서 여전히 친숙하다는 점이다. 반면 우리나라는 해금 이후, 바람을 이용하는 배에 대해서는 문외한이 되었다. 바다에 대한 폐쇄적인 정책을 펴는 것에 대한 의구심에서 출발하여, 결국 미래 지향적인 풍력선박의 출현에 대한 궁금

1) Windship을 임의로 “풍력선박”이라고 번역하였다. 풍력선, 풍력추진선박, 풍선 등으로 다양하게 번역될 수 있다.

중에 도달한 것이 본 연구의 동기가 되었다. 지구의 환경문제에 대응하여 옛 대형범선의 후손들이 출현하려 하는 이 시점에서, 풍력선박이 우리에게 시사하는 것이 무엇인지를 찾고, 풍력선박의 문제를 어떻게 해결하면 좋을 것인가에 대한 시작이 본 고찰의 목적이다. 본 논문에서는 바람을 이용하던 범선을 되짚어 보고 과거부터 어떠한 교훈을 얻을 수 있는지 알아본다.

2. 범선과 풍력선박의 선형특성

2.1 과거 범선과 현대 풍력선박의 자료

1900년대 초반 유럽에서 지어져 선령 100년이 넘는 대형범선(tall ship)이 지금까지 대양을 누비고 있다. Trouve and Jaouanne (2013)는 그들의 보고서에서 범선과 클리퍼(clipper), 그리고 기관선(steam ship)과의 역사적 관계를 축약적으로 서술하였다. 기관선과의 경쟁, 배의 속도 관점에서 살아남기 위해 빠른 범선을 추구하였고, 기관선이 관심을 가지지 않았던 화물과 항로를 선택하였다. 자연스레 선체 재료의 발달과 함께 범선도 대형화, 고속화되었지만, 결국 대형범선은 기관선과의 경쟁에서 밀려났다. 그 원인으로 대형범선의 단점으로 꼽히는 낮은 속도, 부정확한 도착 예정시간, 고속선 선원 및 높은 임금, 배의 과도한 경사각, 제한된 기계적 동력원, 높은 유지비 등을 꼽았다. Table 1은 1800년도 후반부터 건조된 대형범선의 조사자료를 정리한 것이다. 건조국(builder)은 배가 건조될 당시 국가의 현재 나라 이름을 말한다. 길이 100미터 급의 범선이 조사 대상이었으며, 자료 조사의 한계로 빠진 배가 있을 것이다. 이는 이 배들이 주로 1800년대 말, 1900년대 초에 건조된 배들이라 배의 정보를 구하기가 쉽지 않고, 경우에는 참고 자료에 따라 같은 항목에 대해 서로 약간 다른 데이터를 보여주기도 한다. 예를 들면, 배의 전체 길이와 선체의 길이를 뜻하는 L_{OA} 와 L_H 의 당시 국가별 정확한 정의를 추적하기가 쉽지 않다. 특히, 배의 속도는 관측된 것이기 때문에 더욱 그렇다. 이런 점에 유의하여 일관성이 있는 데이터를 보여주는 배만 추려내었다. 단순 비교를 위해 현재의 풍력선박과 대형세일 요트를 말미에 포함했다.

1902년경에 출현했던 프뤼센(Preußen)을 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3에 보였다. 당시 세계에서 가장 컸던 L_{OA} 150m 가량, 다섯 개 마스트를 갖춘 프뤼센의 사진, 항로 기록과 중앙단면도이다.



Fig. 1 “Preußen” in service at early 1900s (SLV, 1900~1954?)

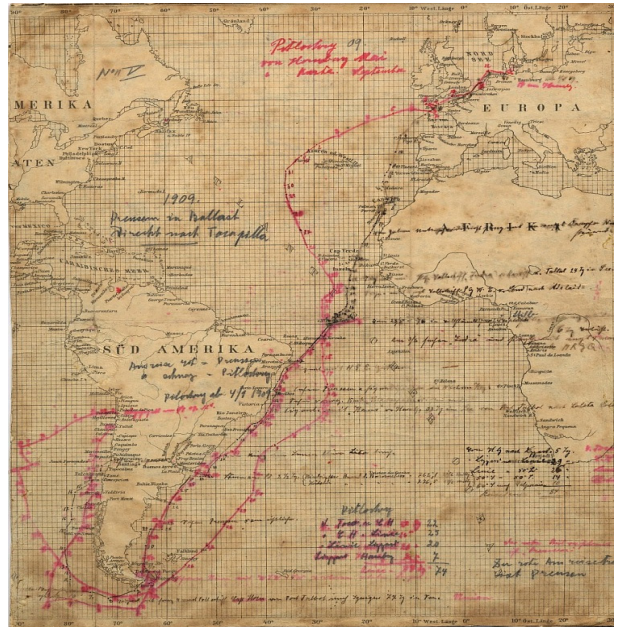


Fig. 2 Navigational Track Chart for the German Ship Pitlochry and Preußen at 1909 (Smithsonian, 1909)

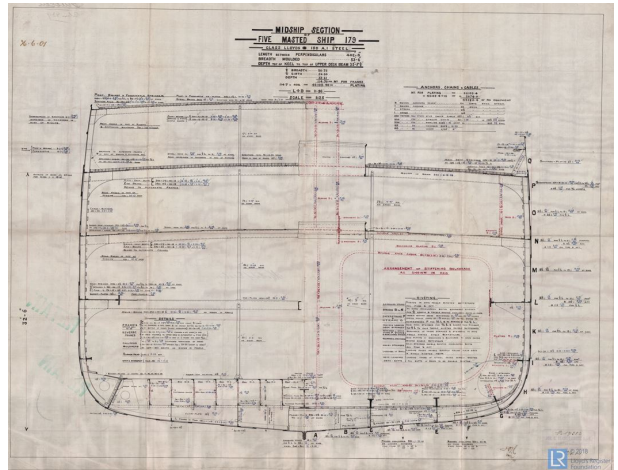


Fig. 3 Midship section of Preußen (LRF, 2018)

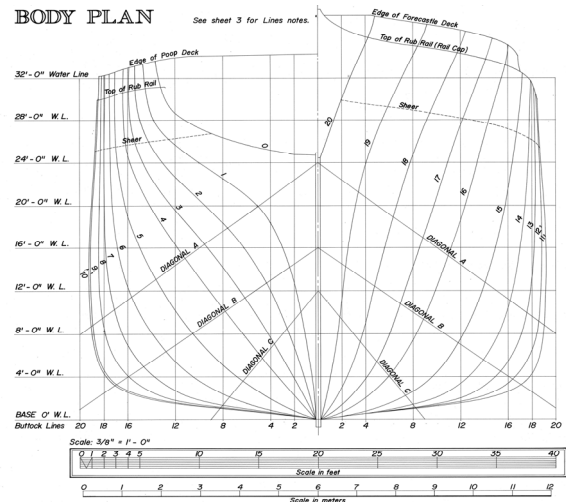


Fig. 4 Body plan of Baclutha (Jackson and Salarano 1990)

Table 1 Data of ships

No	Name of ship	Purpose	Nation of builder	Year of launch	Type	Number of mast	L _{OA} [m]	Displacement [metric ton]
1	Preußen	Cargo	German	1902	Ship	5	147	11,650
2	France II	Cargo	France	1911	Barque	5	143.8	10,710
3	Maria Rickmers	Cargo	Scotland	1891	Barque	5	135	9,500
4	Potosi	Cargo	German	1891	Barque	5	132.9	8,580
5	København	Cargo	Scotland	1924	Barque	5	134	
6	Passat	Cargo	German	1911	Barque	4	115	6,280
7	Dunkerque II	Cargo	France	1896	Barque	4	105	5,849
8	France	Cargo	France	1890	Barque	5	133	7,800
9	Sedov	Cargo	German	1921	Barque	4	117.5	7,320
10	Moshulu	Cargo	Scotland	1904	Barque	4	121	7,000
11	Thomas W. Lawson	Cargo	USA	1902	Schooner	7	121.7	10,860
12	Pamir	Cargo	German	1905	Barque	4	114.5	–
13	Kruzenshtern	Cargo	German	1926	Barque	4	114.5	6,400
14	Wyoming	Cargo	USA	1909	Schooner	6	135.6	10,629
15	Viking	Cargo	Denmark	1906	Barque	4	118	6,300
16	BAP Union	Training	Chile	2016	Barque	4	115.75	3,310
17	SV Golden Horizon	Passenger	Croatia	2021	Barque	5	162.2	8,440
18	Royal Clipper	Passenger	Poland	2000	Ship	5	133.2	4,163
19	Oceanbird	Cargo	Sweden	2026	Schooner	5	200.0	35,273
20	UT Wind challenger	Cargo	Japan	TBC	Ship	4	228.5	84,360*
21	Black Pearl	Sail yacht	Netherlands	2018	Ship	3	106.7	2,550
22	Maltese Falcon	Sail yacht	Turkey	2006	Ship	3	88	1,240
23	Emma Maersk	Cargo	Denmark	2006	Steam ship	N/A	397.71	218,138
24	Ore Brazil	Cargo	Korea	2011	Steam ship	N/A	362	440,197**

No	Sail area [m ²]	Gross tonnage [ton]	Deadweight [metric ton]	L _{WL} [m]	L _H [m]	Breadth [m]	Draft [m]	Mast height [m]
1	6,806	5,081	8,000	121.9	134.9	16.40	8.26	68
2	6,350	6,255	8,300	118.6	133.3	16.96	7.65	64
3	5,300	3,822	5,385	112.2	123.3	14.63	7.2	63
4	5,250	4,026	6,400	110.3	122.4	15.15	7.7	64.3
5	4,744	3,965	5,125	112.4	–	15.0	8.2	–
6	3,684	3,091	4,700	97	–	14.4	7.24	54
7	4,550	–	3,955	–	–	13.90	6.55	52
8	4,520	3,784	5,900	–	114	14.90	7.0	51
9	4,192	3,476	5,300	95	99.1	14.6	6.5	57
10	4,180	3,446	5,300	96.4	109	14.23	7.4	56
11	3,906	5,218	8,000	110.9		15.07	9.64	52.7
12	3,800	3,020	4,500	95.2	105	14.14	7.26	51.2
13	3,800	3,064	4,000	–	–	14.07	6.8	56
14	3,700	3,730	5,905	100.4	105.5	15.3	9.3	44
15	3,690	2,960	4,100	87.6	106	13.9	7.06	–
16	3,402	–	808	–	–	13.5	6.5	53.5
17	6,347	8,784	2,000	130.8	–	18.5	6.40	64
18	5,050	5,000	1,000	99	120	16.4	5.7	65.4
19	7,500	32,000	13,636*	200.0***	–	40	9	80
20	4,000	–	70,300	218.0	–	36.5	12.15	–
21	2,877	2,700	N/A	97.5	–	15.0	6.8	70
22	2,400	–	N/A	78.22	–	12.6	6	58.2
23	N/A	171,542	156,257	376	–	56.4	16.02	40
24	N/A	199,631	402,347	350	–	65	23	–

No	Speed observed	Examples of speed [Observed or time to course]	References
1	19 knots	57 days, d'Ouessant, France → Iquique, Chile, 1903 60 days, Lizard, England → Iquique, Chile, 1908	(Bernadats, 2019; Lacroix, 1968)
2	18 knots	92 days Glasgow, Scotland → Thio, New Caledonia, 1914 88 days Thio, New Caledonia → Glasgow, Scotland, 1914	(Bernadats, 2019; Lacroix, 1968)
3	15 knots	-	(Bernadats, 2019; Lacroix, 1968)
4	19 knots	75 days, Dunkerque, France → Iquique, Chile, 1896 69 days, Iquique, Chile → Lizard, England, 1896	(Bernadats, 2019; Lacroix, 1968)
5	-	-	(Mikkelsen, 2017)
6	18 knots	110 days, Port Victoria, South Australia → Queenstown, Ireland, 1949	(VRDP, 2024; Stark, 2003)
7	-	70 days, Iquique, Chile → Lizard, England, 1897 67 days, Port Talbot, Wales → Iquique, Chile, 1905	(Lacroix, 1968)
8	-	-	(Bernadats, 2019; Lacroix, 1968)
9	18 knots	England to Argentina with holds full of coal took just 30 days	(STS sedov, 2024; Brouwer, 1999)
10	17 knots	-	(Layug, 2017; Newby, 2014)
11	16 knots	15 days, Pennsylvania, US → London, England, 1907	(Hall, 2012)
12	16 knots	128 days, Port Victoria, South Australia → Falmouth, England, 1949	(GL, 1992; WUNDS, 2024)
13	17.3 knots	-	(GL, 1992; BFFSA, 2024)
14	16 knots	-	(Snow and Lee, 1998)
15	15.5 knots	-	(Brouwer, 1999; Apollonio, 2000)
16	12 knots	Average 10.71 knots, 1,261 nautical miles within the prescribed 124 hours, during a west-bound trans-Pacific voyage in July between the Marquesas and Tuamotu Island	(Sener, 2021)
17	-	-	(MI, 2015; CD&C, 2024)
18	20 knots	-	(CD&C, 2024; Star clippers, 2024)
19	16 knots	Top speed: 16 knots, Average speed: 10 knots, 12 days transatlantic	(Jeppesen et al., 2021 MG, 2020; Young, 2020);
20	14 knots	Yokohama, Japan - Seattle, USA, Target speed: 14 knots	(Yoshimura et al., 2016)
21	-	-	(DNA, 2020)
22	24.8 knots	Best record 24.8 knots under max. 68 knots of wind	(Perkins et al., 2004; Superyacht Art, 2007)
23	24.5 knots	Service speed	(IMP, 2021)
24	15.4 knots	Service speed, Brazil-Cape Hope-China	(DNV, 2024)

* Estimated, ** Calculated, *** Assumed

이 항로를 주파한 시간이 두 달가량으로 기록되어 있다. 참고로 쉘(ship)과 바크(barque)는 세 개 이상의 마스트를 보유한 대양 항해용 범선이지만, 모든 마스트에 사각형 돛이 달리는 스퀘어 리그(fully square-rigged)가 장착되어 있으면 쉘인 반면, 맨 뒤의 마스트 전면에는 삼각형 돛이, 후면에는 미즌 세일(mizzen sail)이 장착되는 포-앤-에프트 리그(fore-and-aft rigged)이고 그 외 나머지 마스트가 스퀘어 리그이면 바크로 구분된다. 배의 규모와 형태는 같으나, 맨 마지막 마스트에 어떤 종류의 세일이

장착되느냐에 따라 쉘과 바크로 배의 종류가 달라진다 (Underhill, 1969). 쉘은 현대의 선박에서도 사용하는 용어이기에, 과거의 쉘과 혼동의 여지가 크므로 주의할 필요가 있다. Fig. 4는 1886년 스코틀랜드 글라스고(Glasgow)에서 건조된 256피트 급 발크루사(Balclutha)호의 복원 선도이다 (Jackson and Salarano 1990). 범선 설계 기술의 흐름이 연속적이라고 가정하면, 당시 범선들의 선형도 이와 유사할 것으로 보이며, 다른 참고문헌에도 유사하게 나타난다 (Randier 1986; Crothers 2000).

2.2 범선과 관련된 무차원 계수

수집한 자료를 이용하여 무차원 계수(non-dimensional ratio)를 조사해 보았다. 차원 해석과 무차원 계수는 눈에 보이는 것의 이면에 숨어 있는 정성적인 속성을 파악할 때 사용한다. 조선공학에서 사용하는 무차원 계수는 배의 성능과 관계가 있기에 여러 배에 대한 조사를 통해 그 성능을 가늠해 볼 수 있다. 방형계수(C_B), 프루드 수(Froude Number, F_n), 재화중량-배수량 비(DWT/ Δ), 세일 면적-배수용적 비($A_S/\nabla^{2/3}$), 세일 면적-폭 비(A_S^2/B), 세일 면적-재화중량 비($A_S/DWT\nabla^{2/3}$), 길이-배수용적 비($L_W/\nabla^{1/3}$), 폭-배수용적 비($B/\nabla^{1/3}$), 길이-폭 비(L_W/B), 길이-흘수 비(L_W/d) 그리고 폭-흘수 비(B/d), 11개의 무차원 계수가 그것들이다. 그 외 다른 무차원 계수도 있지만, 현재로서는 자료 발굴의 한계로 후속 연구를 기대해 본다. 조사 대상의 배를 설명하면, 1-15번은 범선 중에서 화물선을 쓰였던 배들이다. 16-18번은 현대 범선으로 16번은 훈련선, 17-18번은 여객선이다. 19-20번은 현재 시도 중인 풍력선박으로 CO₂ 배출 90%를 목표로 하는 무공해 선박(zero emission vessel)이다. 일부가 출현했거나 곧 출현할 예정이다. 21-22번은 사실상의 무배출이 가능한 대형 세일요트이며, 단순히 범선이나 풍력선박과의 비교를 위해 포함했다. 마지막으로 23-24번은 최근에 건조되었던 대형 컨테이너선과 벌크선(bulk carrier)으로, 세일을 장착한 배와 기관선을 단순 비교하기 위해 포함시켰다. 각 배들의 계산 결과는 Table 3에 보였다. 추가로 각 무차원 계수의 scatter 데이터들을 최소자승법(least square)으로 fitting 하였다. 이는 배수량에 대해 각 계수들의 추세를 파악함으로써 향후 대형 풍력선박에 참고할 여지를 두기 위함이다.

2.2.1 방형계수(C_B)

C_B 는 배의 속도 성능, 형상 복원 성능과 관련이 있으며, 선종 별로 서로 다른 대역(band)에 있다. 가령, 상대적으로 고속으로 운항하는 배는 0.56~0.64 대역에, 저속의 배는 0.72~0.86과 같은 대역에 놓여 있다 (Papanikolaou, 2014). Table 2의 C_B 처럼 화물선이었던 범선을 조사해 보면 C_B 는 Fig. 5 및 Table 2와 같은 분포를 보인다. 평균 C_B 가 0.68~0.69 정도로 고속선과 저속선 사이에 있는 것을 알 수 있다.

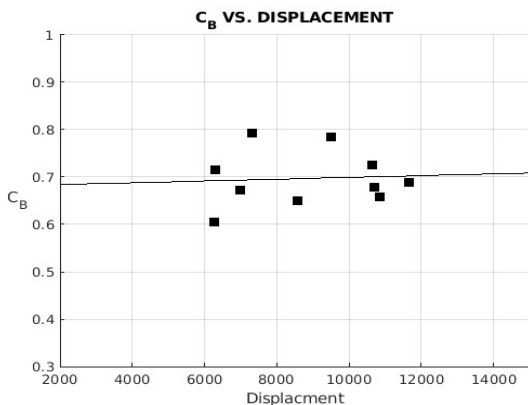


Fig. 5 Scatter of C_B

2.2.2 프루드 수(Froude Number, F_n)

C_B 와 유사하게, 기관선의 경우, 벌크선과 탱크선과 같은 저속선은 F_n 0.15 이하 대역에, 컨테이너선과 같은 상대적으로 고속선은 F_n 0.25 이상의 대역에 있다. 배에서 관측했던 속도를 근거로 조사한 범선의 F_n 은 0.2326~0.3033 정도로 상당히 높게 나타난다. Fig. 6 및 Table 2와 같은 분포를 보인다.

F_n 이 높게 나타나는 것에 대해서는 불확실성이 있다는 점에 주의해야 한다. 첫 번째는 무엇을 관측한 것이냐 하는 것과 두 번째는 정확하게 관측, 기록되었느냐는 점이다. 1~15 선박에서 관측된 속도는 Table 1과 같이 15~19노트로 기록되었다. Fig. 7에서, 0.8 인근의 높은 C_B 값을 갖는 Sedov가 높은 F_n 이 관측되었다는 것은 강한 바람과 높은 파도 중에서의 단기적인 속도일 가능성이 있다. 또 다른 해석으로는, 연료 소모량과 같은 인자에 의해 경제속도를 찾는 기관선과는 달리, 높은 C_B 라도 충분한 추진력이 있다면 이 정도의 높은 속도에 도달할 수 있다는 점이다. 이 점은 Fig. 26, 27의 항로에 나타나듯이 풍력선박이 바람의 장점을 최대한 활용하려면 무역풍 해역과 같은 강한 뒷바람이 부는 항로를 설정함에 따라 도달할 수 있는 속도라는 점을 시사한다.

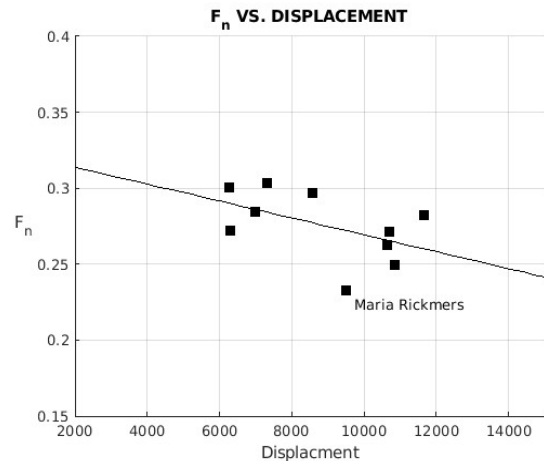


Fig. 6 Scatter of F_n

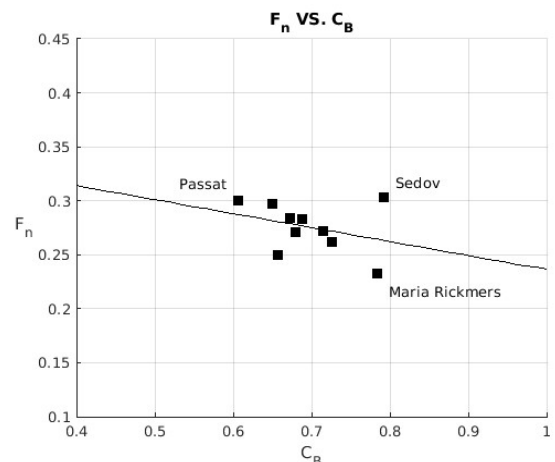


Fig. 7 Scatter of F_n to C_B

2.2.3 재화중량-배수량 비(DWT/Δ)

배 전체의 배수량 중에 화물의 무게가 차지하는 비율을 살펴보면 경화중량 추정에 도움이 될 것이다. 조사한 결과는 Fig. 8 및 Table 2와 같은 분포를 보인다. 현대의 기관선에 비해 선체가 나무, 철, 강과 같은 상대적으로 열악한 재료로 만들어진 점 그리고 리그와 세일을 장착하여 추가 중량을 실어야 한다는 불리한 면들이 있는데도 0.8에 육박하는 범선들이 출현했다는 것을 알 수 있다.

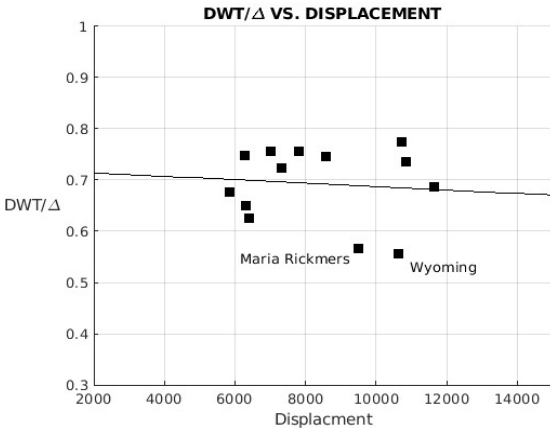


Fig. 8 Scatter of deadweight to displacement

2.2.4 세일 면적-배수용적 비($A_S/\nabla^{2/3}$)

바람에서 추진력을 얻는 세일 요트나 범선에서 세일 면적은 배가 얻을 수 있는 추진력과 연관된다(Larsson et al, 2014). 추진 성능을 추측하자면, 세일 면적과 마찰저항을 뜻하는 침수 표면적(wetted surface area, A_w) 또는 세일 면적과 조파 저항이나 관성력을 뜻하는 배수용적을 연관시켜 무차원 화하면 된다. 즉, A_S/A_w 과 $A_S/\nabla^{2/3}$ 가 그것이다. 옛 범선의 침수 표면적은 적절한 데이터를 찾을 수 없지만, 추정 식이나 선형이 유사하고 단순한 위글리(wigley) 선형으로부터 제법 정확하게 추정할 수 있을 것이다. 13척의 배를 대상으로 조사한 결과와 이 중에서 동떨어진 오른쪽 아래 두 데이터를 제외한 11척을 조사한 결과들은 Fig. 9, Fig. 10

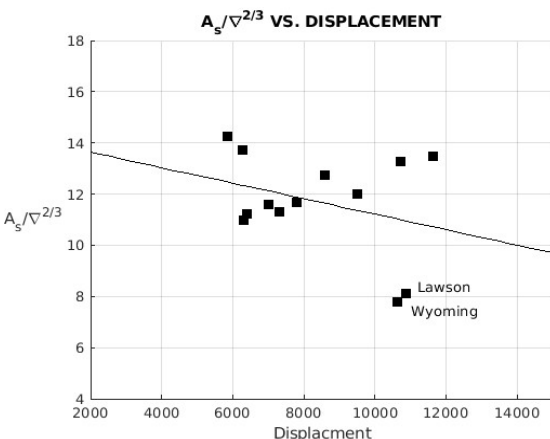


Fig. 9 Scatter of sail area to displacement volume

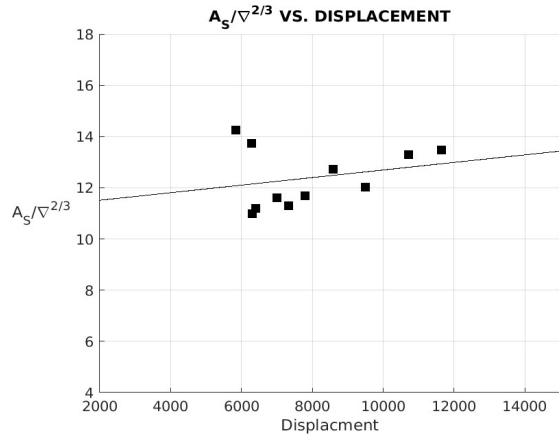


Fig. 10 Scatter of sail area to displacement volume (ship & barque only)

및 Table 2와 같은 분포를 보인다.

스쿠너(schooner)형 범선인 Lawson, Wyoming은 공교롭게도 바크 형의 범선에 비해 이 무차원 계수가 Fig. 9의 오른쪽 아래에 두 점처럼 비가 낮게 나타난다. 배의 길이가 비슷한 걸로 보아 바크 형의 범선에 비해 속도 성능이 떨어질 가능성이 있다. 나아가 스쿠너 형의 범선은 바크 형의 범선에 비해 너무 위험하기에 대양 항해에서는 스쿠너 형을 기피 한다는 기록도 있다 (Spencer, 2000). 실제 11번 Lawson은 미국 필라델피아텍사스의 연안 항해가 주 항로였다. 배의 안전한 항해를 위해 과거 대양 횡단에는 바크 형의 범선이 주류였던 것으로 보인다.

2.2.5 세일 면적-폭 비($A_S^{\frac{1}{3}}/B$)

배는 세일에 의해 추진력을 얻지만 동시에 배를 기울이는 경사 모멘트도 생긴다. 세일에 의한 경사 모멘트에 대응할 복원모멘트를 확보해야 하는데 이런 이유로 $A_S^{\frac{1}{3}}/B$ 를 생각해 본다. 배의 폭은 형상 복원성(form stability)과 연관되어 있다. 이 비의 물리적 의미는, 단위 폭에 대해 세일의 면적이 클수록 이 비는 커질 것이고, 따라서 단위 복원모멘트에 대응하는 경사 모멘트를 크게 할 수 있다고 보는 것이다. 즉 배의 복원모멘트가 높아 배에 실을 수 있는 세일의 면적이 크다는 것을 의미하기도 한다. 조사한 결과는 Fig. 11 및 Table 2와 같은 분포를 보인다. Fig. 12는 바크 형의 배만을 나타낸 것으로, 배수량이 증가하면서 이 비도 살짝 증가하는 경향을 볼 수 있다.

오른쪽 아래 스쿠너 형의 두 배는 바크 형 배에 비해 작은 비를 가지고 있다. 이는 배의 복원력에 대해 이 배가 견딜 수 있는 세일의 경사 모멘트를 작게 하였다라는 뜻이다. 바크 형과 스쿠너 형의 배는 풍향에 따라 서로 독립적인 성능을 나타내기(풍상 항행에 대해서는 스쿠너 형이, 풍하 항행에 대해서는 바크 형이 속도 성능에 유리?) 단순히 이 미만 가지고 해석하기보다는 리그와 세일 체계도 고려해야 한다는 것을 시사한다.

2) 배를 기준으로 바람이 불어오는 쪽 또는 그 해역을 풍상(upwind), 바람이 불어가는 쪽 또는 그 해역을 풍하(downwind)라 한다. 풍상을 향해 항행하는 경우 풍상 항행(upwind sailing), 풍하를 향해 항행하는 경우 풍하 항행(downwind sailing)이 된다.

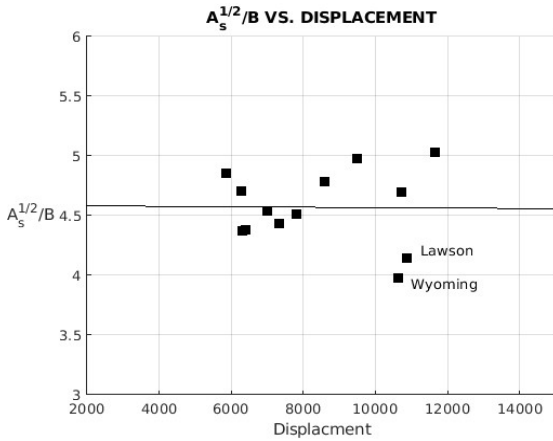


Fig. 11 Scatter of sail area to breadth

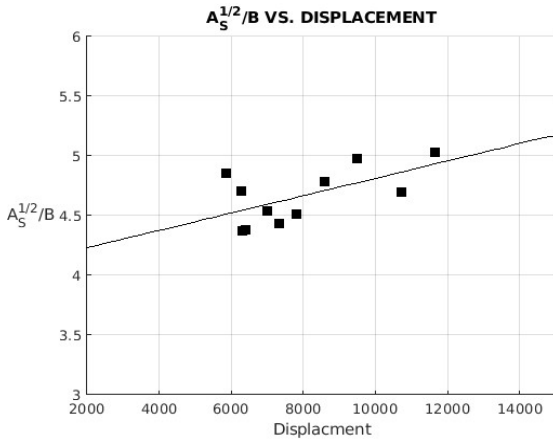


Fig. 12 Scatter of sail area to breadth (ship & barque only)

2.2.6 세일 면적-재화중량 비($A_s/DWT_{\nabla}^{2/3}$)

세일 면적은 배의 추진력과 연관되어 있으므로 이 비를 만들면 단위 재화중량을 수송하는 데 사용되는 세일 면적의 동향을 볼 수 있을 것으로 보인다. 즉, 이 비가 낮을수록 단위 재화중량을 수송하는 데 사용한 세일 면적이 작다는 뜻이 된다. 만약, 역수를 사용하게 되면 단위 세일 면적당 수송하는 재화중량을 뜻할 것이며 이 숫자가 클수록 이득이 된다는 뜻이다. 조사한 결과는 Fig. 13 및 Table 2와 같다, 오른쪽 아래의 두 배는 스쿠너 형의 배로, 단위 운송량 당 상대적으로 작은 세일 면적을 사용하기에 고정비용 차원에서는 유리하다 볼 수 있겠다. Fig. 14와 같이 특이한 값을 가지는 배 세 척을 제외한 결과도 나타내었다.

2.2.7 길아-배수용적 비($L_{WL}/\nabla^{1/3}$)

$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 은 C_p 와 함께 배의 비척도(Slenderness)를 나타낸다. ∇/L_{WL}^3 또는 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 의 형식으로 나타나며 여기에서는 $A_s/\nabla^{2/3}$ 와의 일관성을 위해 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 를 사용하도록 한다. 이 비는 배의 저항 성능, 구조 강도와 관련이 있는 것으로 알려져 있다 (Papanikolaou, 2014). 특히, 세일 요트의 경우, 프루드 수 0.45 이상의 속도를 얻기 위해서는 5.7 이상의 비를 얻어야 하는 것으로

알려져 있다 (Larsson et al, 2014). 대상 배들의 조사 결과는 Fig. 15 및 Table 2와 같다. $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 은 살짝 증가하는 경향이 있다.

Fig. 15와 Fig. 6로부터 Fig. 16을 그려보면, 배에서 관측된 속도를 기초로 하였을 때, $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 와 F_n 사이에는 상관관계를 유추하기가 어렵다. 대체로 이 비가 4.5에서 5.5 사이에 있으면 F_n 이 0.2 후반대까지 나올 수 있다는 것을 알 수 있다. 물론 복원성과 관련된 비나 배의 경사각과의 관계도 살펴야 할 것이다.

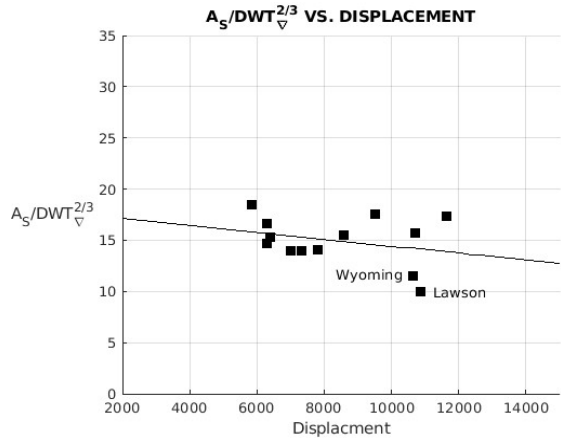


Fig. 13 Scatter of sail area to deadweight volume

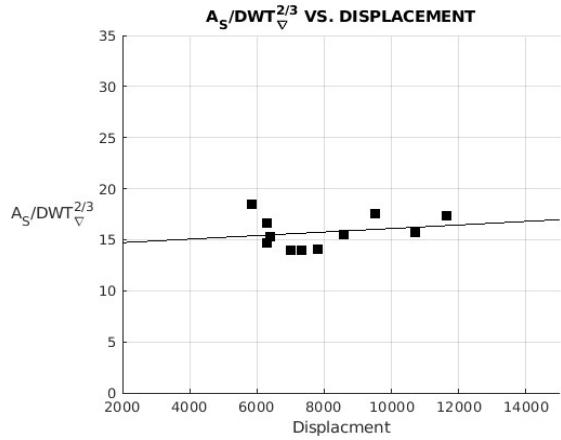


Fig. 14 Scatter of sail area to deadweight volume

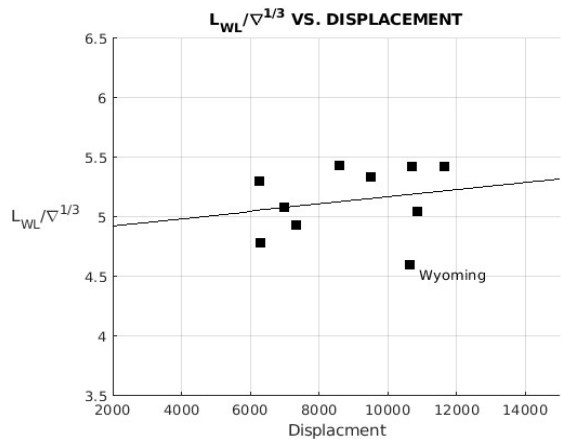


Fig. 15 Scatter of waterline length to displacement volume

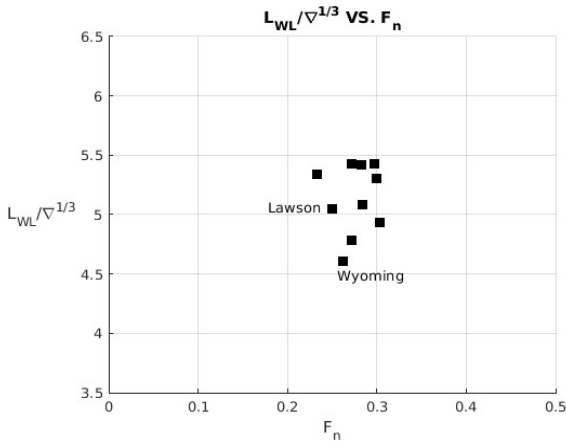


Fig. 16 Scatter of length/displacement to Froude number

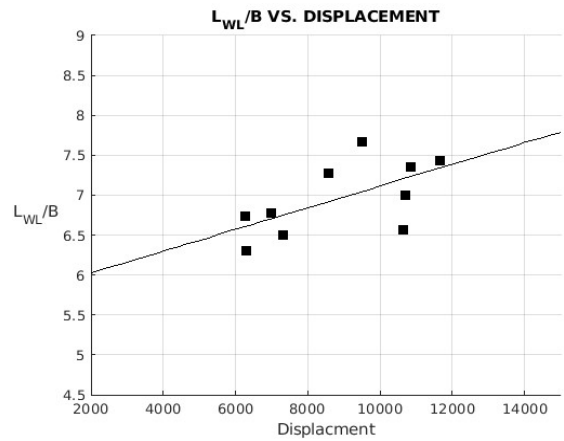


Fig. 18 Scatter of waterline length to breadth

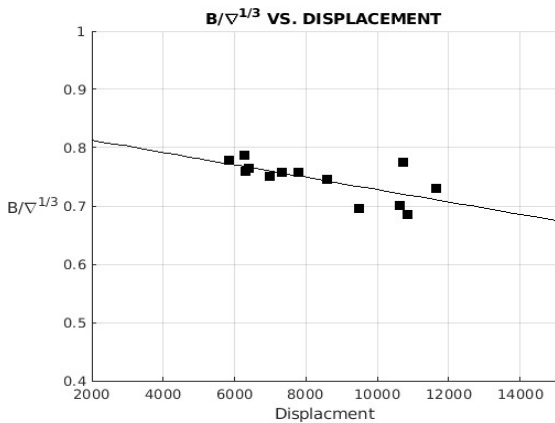


Fig. 17 Scatter of breadth to displacement volume

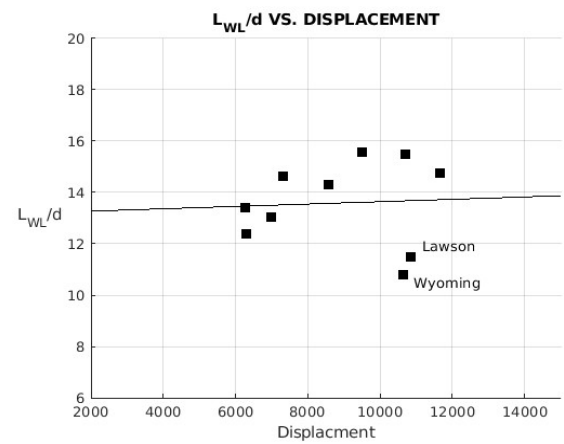


Fig. 19 Scatter of waterline length to draft

2.2.8 폭-배수용적 비($B/\nabla^{1/3}$)

$B/\nabla^{1/3}$ 은 배의 조파 성능 그리고 복원 성능과 연관된 것으로 알려져 있다. 조사 결과는 Fig. 17과 Table 2와 같다. 배가 커지면 이 비가 적어지는 경향을 볼 수 있다. 배수량이 커지면서 Fig. 15의 $L_W/\nabla^{1/3}$ 은 커지고 $B/\nabla^{1/3}$ 은 작아지는 경향을 보인다. 즉, 빠른 배를 얻기 위해 폭은 줄이고 길이는 늘이는 경향이 있음을 알 수 있다. 다만, Fig. 6에서 F_n 은 배가 커지면서 작아지는 경향을 보인다. 우선, F_n 을 계산할 때 사용한 배 속도의 불확실성이 있다. 그리고 배와 세일이 커지면 그것을 운용하기 위해서는 숙련된 선원이 필요하게 되는데 이 점 또한 명확한 자료를 얻을 수가 없다.

2.2.9 길이-폭 비(L_W/B)

L_W/B 는 배의 저항 성능, 배의 속도 지표, 나아가 복원 성능과 연관되어 있다. 조사 결과는 Fig. 18 및 Table 2와 같다. 배가 커지면 폭에 비해 길이가 커져 이 비가 같이 커지는 경향을 볼 수 있다. 이는 곧 $B/\nabla^{1/3}$ 이 작아지는 것과 궤를 같이한다. Fig. 10의 $A_S/\nabla^{2/3}$ 를 고려하면, 배수량이 커지면서 폭보다는 길이가 더 커지고 나아가 큰 세일을 실으면서 배의 고속화를 추구했던 것으로 추측된다.

2.2.10 길이-흘수 비(L_W/d)

L_W/d 는 복원 성능, 슬래밍과 같은 운동성능과 관련이 있다. 조사 결과는 Fig. 19 및 Table 2와 같다. 오른쪽 아래의 스쿠너 형인 배 두 척을 제외하면, 배수량에 따라 이 비가 증가하는 경향을 알 수 있다. 스쿠너 형의 배들은 바크 형에 비해 더 큰 흘수를 가졌었다. 이는 앞서 언급했듯이 풍상 항행에 유리하게 하려면 배가 옆으로 밀리는 측력(side force)를 통제해야 하는데 이를 실현할 방법은 배의 흘수를 크게 하여 침수측면적(submerged lateral area, A_{SL})을 크게 하는 것이다.

2.2.11 폭-흘수 비(B/d)

이 비는 L_W/B 처럼 배의 저항 성능 및 복원 성능과 관계되어 있다. 조사 결과는 Fig. 20 및 Table 2과 같다. 마찬가지로 오른쪽 아래의 두 배를 제외하면, Fig. 21처럼 배수량과는 무관하게 일정한 수준으로 보인다.

2.2.12 기타

범선에서는 중량복원성(weight stability)을 위해 물 또는 돌을 사용했다는 기록이 있으나, 밸러스트에 대한 자료를 찾기가 한

척을 제외하고는 불가능했다. 만약 이 자료를 찾을 수 있다면 중량 복원성에 관련된 밸러스트 비(Ballast/ Δ)를 통해 배의 중량복원성도 가능할 수 있을 것이다. 마찰저항과 관련된 세일 면적-침수 표면적 비(A_S/A_W), 배가 옆으로 밀리는 측력과 관련된 세일면적-침수측면적 비(A_S/A_{SL}), 건현(freeboard, f)과 관련된 비 f_i/f_a , f/L_{OA} , 배수량 분포와 관련된 주형 계수 C_p 등도 설계에 있어서는 참고 자료가 될 것이지만, 조사자료의 한계로 현재로서는 알 수 없다.

2.2.13 결과 고찰

배가 대형화되면서 $A_S/\nabla^{2/3}$, $A_S^{1/3}/B$ 가 커지고 있다. 즉, 보다 큰 세일을 실어서 배를 고속화시키는 쪽으로 진화했다는 의미이다. 수선 위의 세일을 크게 하는 것과 동시에 수선 아래에서는 배의 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, L_{WL}/B , L_{WL}/d 를 높이고, $B/\nabla^{1/3}$ 을 낮추어 고속화를 실현했다. 이는 Trouve, G. and Jaouanne (2013)의 증언을 뒷받침하는 고찰 결과이다. 나아가 스쿠너 형의 범선은 바크 형에 비해 여러 면에서 상대적으로 낮은 성능을 보일 것으로 예상된다. 하지만 어떤 형태의 범선을 택할 것인가는 전적으로 항로와 그 항

로에서의 바람, 파도 분포에 따르기에 각각 실정에 맞는 배로 진화한 것으로 보아야 할 것이다.

Table 2 Statistics of tall ships (No. 1~15)

Ratio	Range	Mean	Median	S.D
C_B	0.6058~0.7921	0.6971	0.6837	0.0585
F_n	0.2326~0.3033	0.2750	0.2720	0.0218
DWT/Δ	0.5556~0.7750	0.6927	0.7248	0.0737
$A_S/\nabla^{2/3}$	7.7808~14.2486	11.4945	11.6125	1.8813
	11.2067~14.2486	12.1410	11.6831	1.1197
$A_S^{1/3}/B$	3.9757~5.0304	4.5248	4.5121	0.3034
$A_S/DWT\nabla^{2/3}$	9.9271~18.4954	15.0073	15.3306	2.2468
	11.5134~18.4954	15.2188	15.3306	1.8998
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	4.6041~5.4323	5.1371	5.1910	0.2948
$B/\nabla^{1/3}$	0.6861~0.7870	0.7453	0.7575	0.0325
L_{WL}/B	6.3022~7.6692	6.9868	6.8837	0.4470
L_{WL}/d	10.7957~15.5833	13.5614	13.5526	1.4994
B/d	1.5633~2.2462	1.9756	1.9855	0.1876
L_{OA}/L_{WL}	1.0974~1.3506	1.2245	1.2054	0.0691

Table 3 Non-dimensional ratios calculated (No.1~15, past tall ship; No.16~18, modern tall ship; No.19~20, modern windship; No.21~22, sail yacht; No.23~24, modern steam ship)

No	C_B	F_n	DWT/Δ	$A_S/\nabla^{2/3}$	$A_S^{1/3}/B$	$A_S/DWT\nabla^{2/3}$	$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	$B/\nabla^{1/3}$	L_{WL}/B	L_{WL}/d	B/d	L_{OA}/L_{WL}
1	0.6883	0.2826	0.6867	13.4635	5.0304	17.2974	5.4217	0.7294	7.4329	14.7579	1.9855	1.2059
2	0.6790	0.2715	0.7750	13.2861	4.6985	15.7472	5.4250	0.7758	6.9929	15.5033	2.2170	1.2125
3	0.7842	0.2326	0.5668	12.0118	4.9762	17.5375	5.3415	0.6965	7.6692	15.5833	2.0319	1.2032
4	0.6506	0.2971	0.7459	12.7346	4.7826	15.4830	5.4323	0.7461	7.2805	14.3247	1.9675	1.2049
5	-	-	-	-	4.5918	16.2243	-	-	7.4933	13.7073	1.8293	1.1922
6	0.6058	0.3002	0.7484	11.0026	4.2150	13.3476	5.3010	0.7870	6.7361	13.3978	1.9890	1.1856
7	-	-	0.6762	14.2486	4.8528	18.4954	-	0.7778	-	-	2.1221	-
8	-	-	0.7564	11.6831	4.5121	14.0730	-	0.7575	-	-	2.1286	-
9	0.7921	0.3033	0.7240	11.3039	4.4346	14.0191	4.9332	0.7582	6.5068	14.6154	2.2462	1.2368
10	0.6728	0.2844	0.7571	11.6125	4.5434	13.9790	5.0810	0.7500	6.7744	13.0270	1.9230	1.2552
11	0.6576	0.2495	0.7366	8.0971	4.1472	9.9271	5.0493	0.6861	7.3590	11.5041	1.5633	1.0974
12	-	0.2693	-	-	4.3596	14.1729	-	-	6.7327	13.1129	1.9477	1.2027
13	-	-	0.6250	11.2067	4.3812	15.3306	-	0.7641	-	-	2.0691	-
14	0.7259	0.2623	0.5556	7.7808	3.9757	11.5134	4.6041	0.7016	6.5621	10.7957	1.6452	1.3506
15	0.7150	0.2720	0.6508	10.9972	4.3702	14.6438	4.7822	0.7588	6.3022	12.4079	1.9688	1.3470
16	-	-	0.2441	15.5715	4.3205	39.8666	-	0.9133	-	-	2.0769	-
17	0.5317	-	0.2370	15.6952	4.3243	40.9867	6.4774	0.9161	7.0703	20.4375	2.8906	1.2401
18	0.4581	0.3301	0.2260	18.5003	4.1197	49.8641	6.0800	1.0440	5.8235	17.6786	3.0357	1.3455
19	0.4780	0.1858	0.5000	7.0890	2.1651	11.2532	6.1488	1.2298	5.0000	22.2222	4.4444	1.0000
20	0.8513	0.1557	0.8333	2.1141	1.7328	2.3873	5.0117	0.8391	5.9726	17.9424	3.0041	1.0482
21	0.2502	-	-	15.7950	3.5901	-	7.1956	1.1070	6.5000	14.3382	2.2059	1.0944
22	0.2046	0.4624	-	21.2444	3.8978	-	7.3409	1.1825	6.2079	13.0367	2.1000	1.1250
23	0.6264	0.2075	0.7163	-	-	-	6.2977	0.9447	6.6667	23.4707	3.5206	1.0577
24	0.8208	0.1352	0.9140	-	-	-	4.6390	0.8615	5.3846	15.2174	2.8261	1.0343

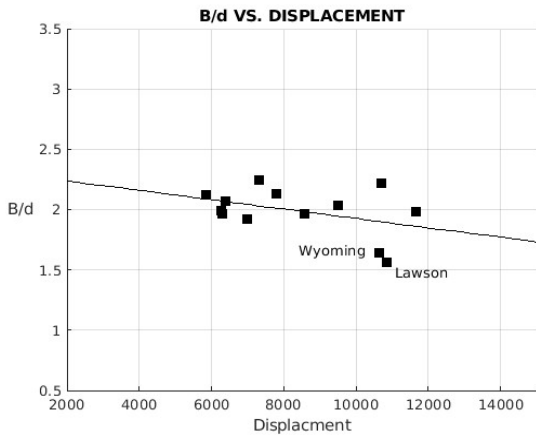


Fig. 20 Scatter of breadth to draft

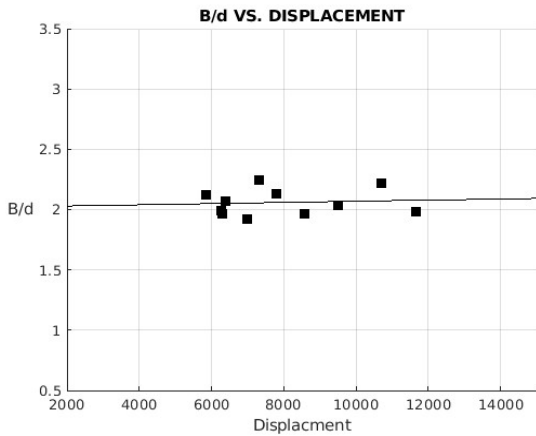


Fig. 21 Scatter of breadth to draft (ship & barque only)

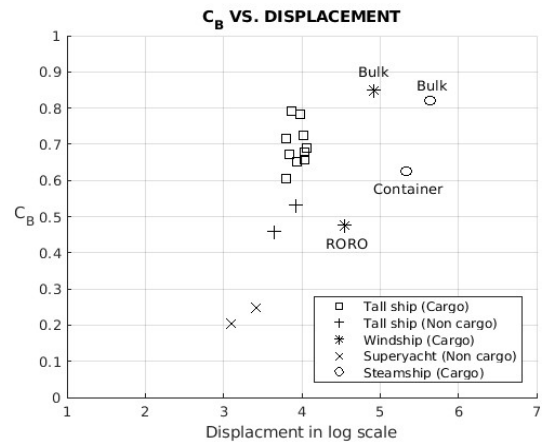


Fig. 22 Scatter of block coefficient

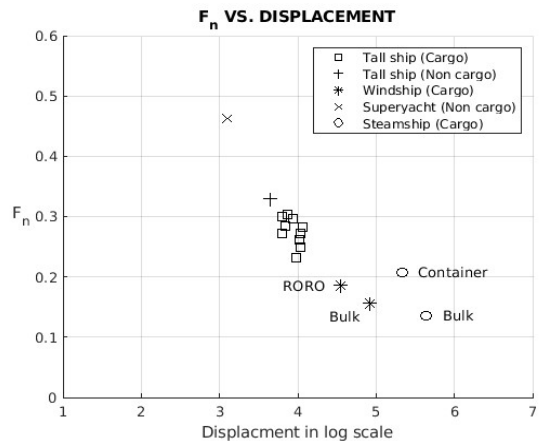


Fig. 23 Scatter of Froude number

2.3 범선과 현대 선박의 비교

과거 범선의 조사에 이어 현대 선박과 비교하면 어떠한 차이가 있는지를 알 수 있을 것이다. 즉, 이미 그 성능이 알려진 과거 범선과 곧 출현할 풍력선박을 비교함으로써 풍력선박이 어떤 성능을 낼 것인가를 유추하거나 또는 그 반대로 범선의 자료를 풍력선박에 활용할 수 있을 것이다. 이에 상선 용도로 쓰였던 1~15번의 범선과 16~24번의 현대 선박을 비교해 본다. 기관선은 상대적으로 빠른 컨테이너선과 느린 벌크선을 대표로 선정했다. 기관선은 세일을 사용하지 않기 때문에 세일과 관련된 부분은 직접 비교가 어려운 대신 그 외 부분에 대한 간접 비교를 통해, 앞으로 출현시켜야 할 대형 풍력선박을 가늠해 볼 수 있을 것으로 기대된다. 배마다의 용도에 차이가 있으므로 이를 염두하고 비들을 비교해 본다. 기관선의 배수량이 범선에 비해 상당히 높은 영역에 있기에, 배의 배수량은 로그 축으로 하였다. 그리고, 각 선종 별 계산 결과는 Table 4에 정리하였다.

2.3.1 방형계수, 프루드 수, 세일 면적-배수용적 비

Fig. 22와 같이 화물용 범선의 C_B 는 현대의 벌크선과 컨테이너선 그리고 사이에 있다. 그 외 화물선 용도가 아닌 범선과 세일

요트는 상당히 떨어져 있다. 현대의 기관선 선형을 풍력선박의 선형으로 사용하지 않았을까 추측된다.

이를 Fig. 23의 F_n 과 비교해 보았다. 현대 기관선이 화물용 범선보다 낮은 영역에 있지만 이는 속도에 대한 정의가 서로 다르기에 단순 비교가 힘들다. 풍력선박은 범선에 비해 낮은 영역에 있다. 그렇다고 풍력선박이 그러한 속도를 내지 못한다는 뜻은 아니다. RORO선의 속도는 목표속도이고 실해역을 향해한 적이 없으므로 배의 속도가 어떻게 될지는 기다려 보아야 할 것이다. 즉, 풍력선박은 기관선과 유사하게 항해속도(service speed)라는 개념을 설정하기 때문에 범선 수준으로까지 속도를 낼 수 있는 여지는 있을 것으로 보인다. 향후, 모든 풍력선박에 적용할 수 있는 표준화된 또는 합의된 배의 항해속도 정의와 그 기록 방법이 필요해 보이는 대목이다.

이를 뒷받침하는 것으로 Fig. 24를 보면 풍력선박의 A_s/\sqrt{V} 가 다른 배들에 비해 상당히 낮은 영역에 있다. 즉, 현대에 기획되고 있는 풍력선박들은 과거 바크에 미치지 못하는 성능을 보일 것으로 예상된다. 오히려 스쿠너 형 배에 가까우며, 공교롭게도 RORO선은 실제 스쿠너 형이기도 하다. 나아가 배의 속도 성능은 파도의 영향도 받기에 배의 절대적인 크기를 고려하면 풍력선박의 성능은 범선에 더 미치지 못한다는 뜻이 된다.

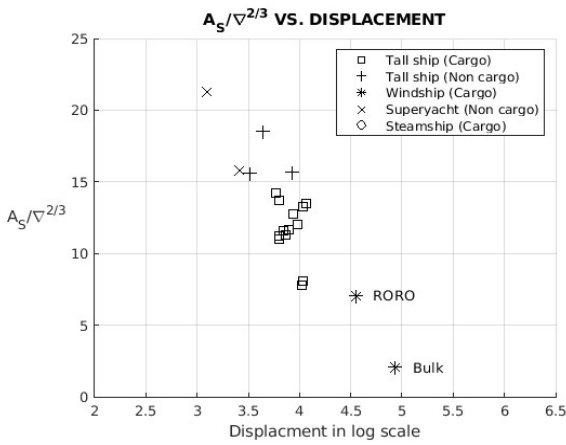


Fig. 24 Scatter of sail area to displacement volume

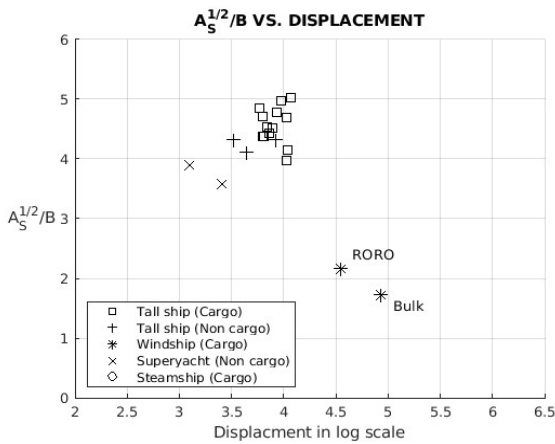


Fig. 25 Scatter of sail area to breadth

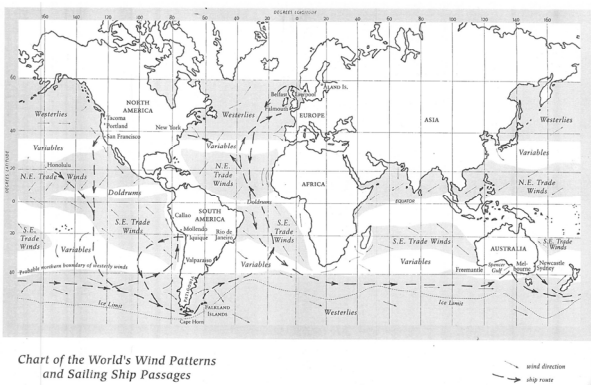


Fig. 26 Trade wind and passage (Apollonio, 2000)

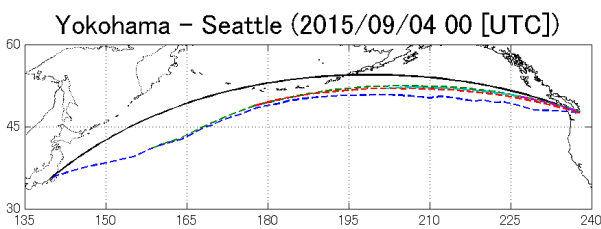


Fig. 27 Example of North Pacific passage (Yoshimura et al, 2016)

Fig. 25는 $A_S^{1/2}/B$ 를 보여준다. 현대 풍력선박의 경우 바크 형 범선에 상당히 미치지 못하고 있지만, 스쿠너 형의 범선과는 비슷하다. 즉, 배의 폭에 비해 작은 세일을 싣고 있다는 뜻이고, 앞서의 $A_S/\nabla^{2/3}$ 와 맥락을 같이 한다. 풍력선박 중 RORO선인 Oceanbird는 스쿠너 형이다. 스쿠너 형은 전형적인 풍상 항행용 리그로, 배의 예정 항로인 스웨덴과 미국 사이에서 풍상 항행을 염두에 두었을 것이다. 풍상 항행을 하게 되면 배의 경사(heel)가 크게 발생한다. 또한, RORO선은 무게중심이 높고 바람에 노출된 수선 상부의 면적이 큰 배로 복원성이 취약하다. 그러한 점을 감안하면 세일의 면적을 무작정 크게 가져갈 수 없게 되어 Fig. 25처럼 $A_S^{1/2}/B$ 가 낮게 나타날 수 있다. 만약, 북 대서양의 무역풍 항로를 이용하는 것으로 하여 바크 형의 리그를 사용한다면 다른 이야기가 전개될 것이다.

선속을 늘리기 위해 세일 면적을 크게 하는 것은 배의 복원 성능과 직접적인 연관이 있기에 바람 방향의 선택이 절대적이고, 이로인 바람을 선택하는 것은 항로의 선택과 직접 연관되어 있다.

Fig. 26과 같이 과거 범선이 활용했던 무역풍 항로를 이용하면 큰 세일과 안정적인 빠른 속도 그리고 부드러운 선체 운동을 기대할 수 있다. 이와 유사하게 Fig. 27처럼 일본에서는 실선으로 표현된 북태평양 대권항로(great circle) 인근을 대상으로 최저

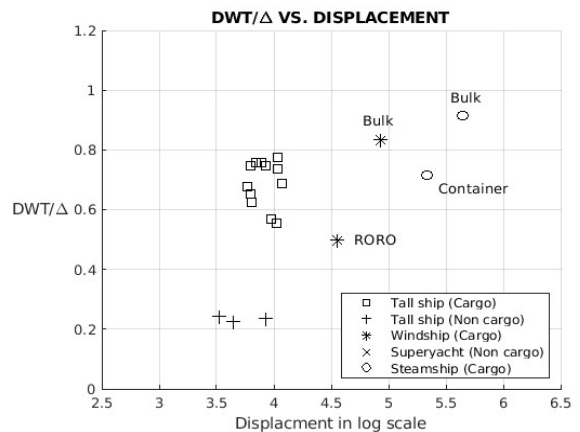


Fig. 28 Scatter of deadweight to displacement

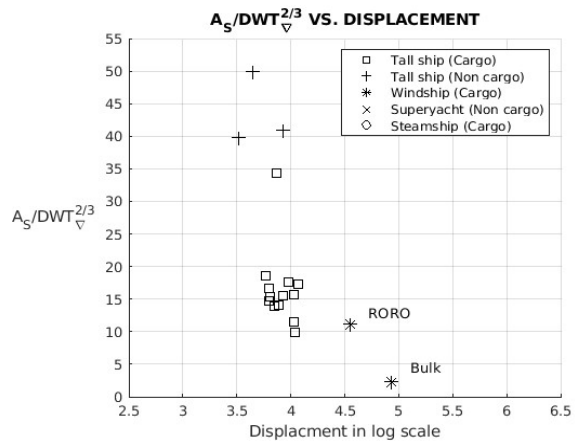


Fig. 29 Scatter of sail area to deadweight volume

연료 소모 항로를 시뮬레이션하여 파선으로 나타내었다 (Yoshimura et al, 2016). 이 항로는 가장 가까운 길이기도 하지만 강한 편풍이 부는 무역풍 해역이기도 하다.

북대서양의 상황과 유사하게 벌크선도 일본과 미국을 오가는 태평양 항로의 무역풍 해역을 이용하면 더 큰 세일을 실을 수 있을 것으로 보인다. 예를 들어, 일본에서 미국으로 항할 때는 베링해 인근을 지나는 북쪽 해역을, 미국에서 일본으로 항할 때는 하와이 아래의 남쪽 해역을 이용하면 무역풍을 활용할 수 있을 것이다.

2.3.2 재화중량-배수량 비, 세일 면적-재화중량 비

Fig. 28과 Fig. 29는 화물 중량과 관련된 비이다. 현대 기관선은 과거 범선보다 대체로 높은 DWT/Δ를 보인다. 현대 풍력선박은 공교롭게도 아래와 위, 양극단에 위치하고 있다. RORO선의 DWT/Δ는, RORO선의 DWT/Δ가 0.5~0.6임을 감안하고 (Papanikolaou, 2014), 0.5를 가정한 것이다 (이 배는 7,000대를 싣는 것으로 기획되었다).

Fig. 29의 $A_S/DWT_{\nabla}^{2/3}$ 를 살펴보면 풍력선박 중 RORO선은 스쿠너 형 범선과 유사한 수치를 보이거나 벌크선은 훨씬 아래에 놓여 있다. 단위 재화중량을 운송하는 데 필요한 세일 면적이 작아서 마치 유리한 것처럼 보일 수 있으나, 그 이면에는 속도 성능이 범선에 비해 현저히 떨어질 가능성이 있다.

2.3.3 그 외의 비

Fig. 30의 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 을 보면 현대 선박이 범선과 동등하거나 그 이상의 비를 보인다. 즉, RORO선처럼 상대적인 고속선은 범선보다 높고 벌크선과 같은 상대적인 저속선은 범선과 유사하다.

Fig. 31과 Fig. 32를 보면 현대 선박의 $B/\nabla^{1/3}$ 은 범선에 비해 약간 높은 수준으로 나타난다. 즉, 배수용적을 기준으로 하면 현대선박이 범선보다는 B가 크다는 뜻이다.

풍력선박 중 RORO선은 다른 배에 비해서, 특히, 컨테이너선에 대해서도, 이 비가 상당히 높은 위치에 있다. 앞서 언급한 스쿠너 형 그리고 RORO선의 복원성에 관한 단점과 관련이 있지 않을까 추측된다.

반면, L_{WL}/B 는 컨테이너선이 범선과 비슷한 수준인 점 이외에는 현대 선박은 범선에 비해 낮게 나타난다. 즉, B가 상대적으로 크다는 뜻이 된다.

Fig. 33과 Fig. 34처럼 흘수와 관련된 L_{WL}/d , B/d 는 현대 기관선과 풍력선박들이 범선보다 대체로 높은 수준으로 나타난다. 즉, 범선에 비해 상대적으로 폭이 크거나 흘수가 작다는

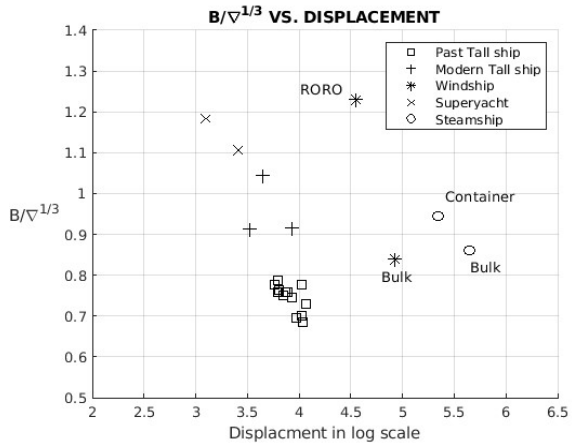


Fig. 31 Scatter of breadth to displacement volume

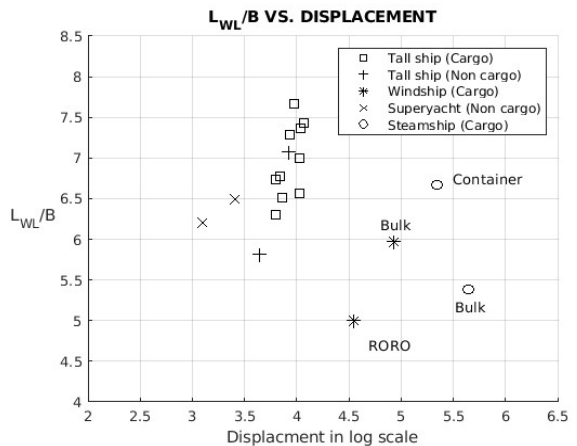


Fig. 32 Scatter of waterline length to breadth

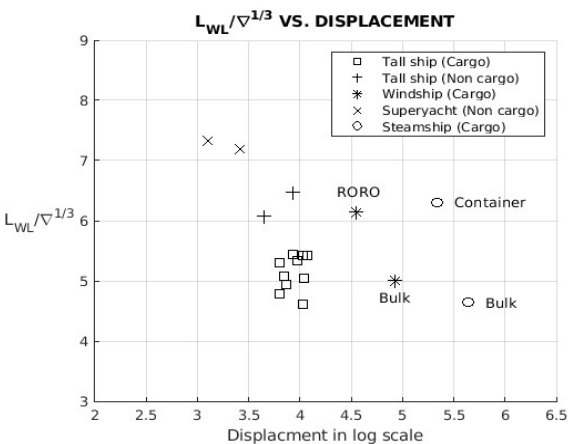


Fig. 30 Scatter of waterline length to displacement volume

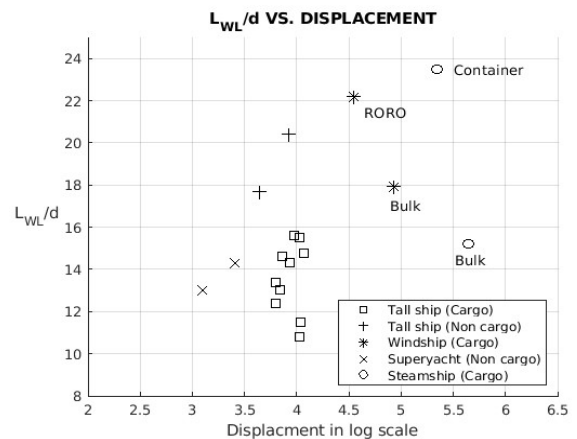


Fig. 33 Scatter of waterline length to draft

Table 4 Comparison of non-dimensional ratios (average)

No	1-15	16-18	19	20	22	23	24
Ratio	Non-commercial past tall ship	Non-commercial modern tall ship	Modern windship (schooner)	Modern windship (barque)	Modern sail yacht	Modern container ship	Modern bulk carrier
C_B	0.6971	0.4949	0.4780	0.8513	0.2046	0.6264	0.8208
F_n	0.2750	0.3301	0.1858	0.1557	0.4624	0.2075	0.1352
DWT/Δ	0.6927	0.2357	0.5	0.8333	-	0.7163	0.9140
$A_S/\nabla^{2/3}$	11.4945	16.5890	7.0890	2.1141	21.2444	-	-
$A_S^{1/3}/B$	4.5248	4.2549	2.1651	1.7328	3.8978	-	-
$A_S/DWT \nabla^{2/3}$	15.0073	43.5725	11.2532	2.3873	-	-	-
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	5.1371	6.2787	6.1488	5.0117	7.3409	6.2977	4.6390
$B/\nabla^{1/3}$	0.7453	0.9578	1.2298	0.8391	1.1825	0.9447	0.8615
L_{WL}/B	6.9868	6.4469	5.0000	5.9726	6.2079	6.6667	5.3846
L_{WL}/d	13.5614	12.7054	22.2222	17.9424	13.0367	23.4707	15.2174
B/d	1.9756	2.6678	4.4444	3.0041	2.1000	3.5206	2.8261
L_{OA}/L_{WL}	1.2245	1.2928	1.0000	1.0482	1.1250	1.0577	1.0343

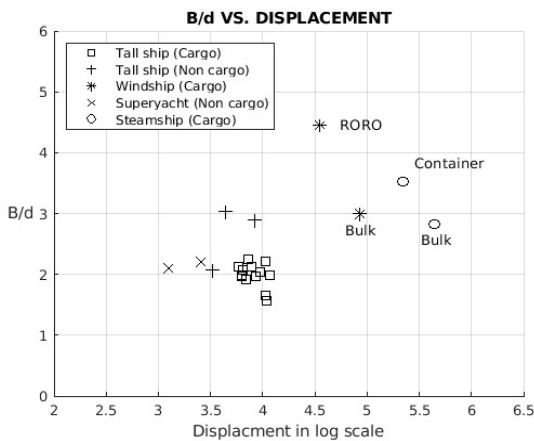


Fig. 34 Scatter of breadth to draft

뜻이다. 흘수가 작을 경우, 앞 서의 축력 제어에 대한 방안이 필요할 것이다.

3. 결론

처음으로 기관을 장착한 배의 출현 이후 지금까지 약 200년의 역사에서, 환경으로 인한 새로운 대안으로 풍력선박이 거론되고 있다. 과거의 검증된 기술인 범선으로부터 교훈을 얻어 앞으로 출현할 풍력선박에 활용하겠다는 의도로 범선의 선형 특징을 검토하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 자료 수집에 한계는 있지만, 과거 범선은 대형화되면서 배가 길어지고 큰 세일을 실어 고속화를 추구한 것을 정량적으로 확인할 수는 있다. 그러나 관측된 속도를 기준으로 하면 오히려 F_n 은 작아지는 경향을 보인다. 이는 같은 F_n 에 대해 배의 길이가 커지면 실제 속도도 커지는 효과가 있기에 그러한 증언이 가능했을 것으로 추측된다.

관측된 속도에 대한 불확실성으로 속도와 관련된 부분에서는

논란의 여지가 있을 것이다. 향후 풍력선박 또는 풍력보조추진선의 기획에 있어서 배의 효율을 정량화시켜야 할 필요가 있을 것이고 그 중 하나의 요소(measure)로 속도를 사용하게 될 것이다. 속도에 대한 정의와 그 기록 방법에 대한 논의가 필요해 보인다.

2. $A_S/\nabla^{2/3}$, $A_S^{1/3}/B$ 등 세일 면적과 관련된 비에 한정하면 현대의 풍력선박은 과거 범선보다 작은 세일을 싣고 있다. 두 개의 샘플로 삼은 풍력선박 중 RORO선은 C_B , $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 와 같은 선체의 속도 성능과 관련된 무차원 계수는 빠른 배를 지향하고 있다. 그러나, $A_S/\nabla^{2/3}$ 와 같은 세일과 관련된 무차원 수는 바크 형이나 스쿠너 형의 범선보다 낮은 곳을 향하고 있다.

$A_S^{1/3}/B$, $B/\nabla^{1/3}$ 등 배의 복원성과 관련된 무차원 계수는 범선에 비해 월등하게 나은 분포를 보이고 있어, 복원성에 취약한 스쿠너 형 RORO선의 복원성을 보완할 것으로 생각된다.

3. 비록 범선의 C_B , $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 는 현대의 상대적 고속선인 컨테이너선과 저속선인 벌크선 사이에 있지만, 현대 선박보다 상대적으로 높은 속도를 낼 수 있는 잠재력이 있다. 즉, 유리한 바람과 파도가 있는 항로 설정에 따라 그러한 속도를 낼 수 있다는 것은 비용이 들지 않는 동력원과 예측 가능한 도착시간을 설정할 수 있다는 것으로 향후 매력적인 요소가 될 것이다.

4. 범선은 대륙 간 무역을 위해 무역품을 활용하는 대양 항해를 하였고, 그런 항로 환경에 맞게 스퀘어 리그(square rig)를 사용하였다. 항로와 그 항로에서의 바람 및 파도 상황에 맞추어 어떤 리그/세일 체계를 채용할 것인지에 대한 고찰도 필요해 보인다. 여러 그래프를 살펴보면 스쿠너 형과 바크 형은 무차원 계수에 있어 확실히 구분되고 있다. 이러한 선대의 교훈을 현대의 풍력선박을 설계하는데 참고하면 도움이 되리라 생각된다. 예시의 두 세일 요트는 범선의 스퀘어 리그를 현대적으로 재해석한 다이너리그(Dynarig)를 사용하는데 이는 우리가 나아가야 할 방향을 제시하는 하나의 예라 볼 수 있다.

5. 범선은 기관선에 비해 여러 단점으로 시장에서 도태되었다. 환경문제와 그로 인한 인류의 생존 문제를 해결하기 위해 무공해 선박으로서의 풍력선박을 다시 사용해야 한다면, 지난 100여 년 동안 쌓아 올린 인류의 진보된 기술로 그런 문제를 상당 부분 해결하여야 할 것이다. 그중 하나의 요소로 미래 지향적인 풍력선박의 설계에 있어 과거 범선의 자료를 활용하면, 두 눈으로 확인한 범선의 성능과 비교하여 풍력선박의 성능을 가늠할 수 있을 것이다.

References

- Abulafia, D., 2011, *The Great Sea : A human history of the Mediterranean*, Penguin Books Ltd.
- Abbasov, F., 2019. Zero emission maritime transport, *8th Blue Forum*, Paris, France, 27–29 May 2019.
- Apollonio, S., 2000, *The Last of the Cape Horners*, Brassey's, Inc.
- Baltic Fishing Fleet State Academy(BFFSA), 2024, *UPS "KRUI ZENSHTERN" TODAY* [Online] Available at: URL:<https://bgarf.ru/kruzenshtern/istorija/> [Accessed 5 March 2024]
- Bernadat, R. and Bernadat, C.(Bernadats), 2019, *France (II)*, Les Editions de l'Entre-deux-Mers.
- Brouwer, N.J., 1999, *The International Register of Historic Ships*, Sea History Press.
- Choren design & consulting(CD&C), 2024, *SV Golden Horizon (Flying Clipper)* [Online] Available at: URL:<https://choren.com.pl/en/projects/sv-golden-horizon-flying-clipper/> [Accessed 5 March 2024]
- Crothers, W.L., 2000, *The American-built Clipper Ship, 1850–1856*, EPBM.
- Defour, S., 2020. *Q&A: Revision of the Shipping MRV Regulation*, Transport & Environment.
- Det Norske Veritas (DNV), DNV Register, 2024 *Ore Brazil DNV 30616 IMO 9488918* [Online] Available at: URL: <https://vesselregister.dnv.com/vesselregister/details/30616> [Accessed 5 March 2024]
- Dykstra Naval Architects(DNA), 2024, *Black Pearl / 3 mast Dynarig* [Online] Available at: URL:<https://www.dykstra-na.nl/designs/black-pearl/> [Accessed 5 March 2024]
- Germanischer Lloyd(GL), 1992, *International Register 1867–1992*, GL.
- Hall, T., 2012, *The T.W. Lawson : The Fate of the World's Only Seven-Masted Schooner*, The History Press.
- Industrial Marine Power(IMP), 2021, *EMMA MAERSK, Container Ship, IMO 9321483* [Online] Available at: URL: <https://www.industrialmarinepower.com/emma-maersk-container-ship-imo-9321483/> [Accessed 5 March 2024]
- International Maritime Organization (IMO), 2020, Reduction of GHG Emission from ships – Wind propulsion solutions, *Marine Environment Protection Committee 75th session Agenda item 7*, IMO.
- Jackson, R.L., and Salarano, L.E., 1990, *Historic American Engineering Record CA-54*, National Park Service, United States Department of the Interior.
- Jeppesen, R. et al., eds, Soya Group, 2021, *Our way – Oceanbird*, [online document] Available at: URL:<https://www.waleniussmarine.com/wp-content/uploads/2021/03/Our-Way-Oceanbird.pdf> [Accessed 5 March 2024].
- Korean Broadcasting System (KBS), 2015, *Empire of the Sea*, [Online] Available at: URL:<https://program.kbs.co.kr/1tv/culture/oceanempire/pc/index.html> [Accessed 5 March 2024].
- Lacroix, L., 1968, *Les Derniers Cap-Horniers Français*, Editions Maritimes et d'Outre-Mer.
- Larsson, L., Eliasson, R.E., Orych, M., 2014, *Principles of Yacht Design*, Adlard Coles Nautical
- Layug, B., 2017, *The Moshulu (Philadelphia, Pennsylvania, USA)* [Online] Available at: URL:<https://benjelayug.com/2017/06/the-moshulu-philadelphia-pennsylvania-usa.html> [Accessed 5 March 2024]
- Lee, M.K., Chang, D.I., Woo, I.S., Hong, S.K. and Jenaga, J.J., 2007, *Perceptions of the Sea and Embargoes of Korea, China and Japan*, series of research Vol.23, Northeast Asian History Foundation.
- Lloyd's Register Foundation (LRF), 2018, Archive & Library, *Ship plans and survey reports, Midship section of five masted ship 179, 19 June 1901* [Online] Available at: URL:<https://hec.lrfoundation.org.uk/archive-library/documents/lr-faf-tb21-0036-p-preussen-1902> [Accessed 5 March 2024]
- Maritime Greentech(MG), Sjöfartstidningen, 2020, *Some reflections on the power of sail* [Online document] Available at: URL:https://assets.sjofartstidningen.se/uploads/2020/10/20201013_Greentech_Lowres3.pdf [Accessed 5 March 2024]
- Maritime Impact(MI), 2015, *Facts about the Star Clippers new build based on France II*, issue 02–15, pp.39, DNV–GL,
- Mikkelsen, B., 2017, *Er Skoleskibet København Fundet*, August 2017, pp.22, Maritime Denmark
- Newby, E., 2014, *The Last Grain Race*, William Collins
- Papanikolaou, A., 2014, *Ship Design – Methodologies of Preliminary Design*, Springer.
- Perkins, T., Dijkstra, G., Perini Navi project team and Roberts, D., 2004, The Maltese Falcon : the realisation, *The International HISWA Symposium on Yacht Design and Yacht Construction 2004*, pp.19, 2004
- Randier, J., 1986, *Grands Voiliers Français 1880–1930*, CELIV.

- Sener, 2021, *Stability and ballasting of the sailing training ship BAP Union*, Datasheed, Grupo SENER [Online] Available at: URL:<https://www.group.sener/project/sailing-training-ship-bap-union/?lang=en> [Accessed 5 March 2024]
- Smithsonian, 1909, *Navigational Track Chart for the German Nitrate Ships Pitlochry and Preussen*, National Museum of American History [Online] Available at: URL:https://www.si.edu/object/navigational-track-chart-german-nitrate-ships-pitlochry-and-preussen-1909%3Anmah_1414035 [Accessed 5 March 2024]
- Snow, R.L. and Lee, D.K., 1998, *A Shipyard in Maine: Percy & Small and the Great Schooners*, Tilbury House Publisher.
- Star Clippers, 2024, *Cabin & Ship Information* [Online] Available at: URL:<https://www.starclippers.com/eu/our-fleet/tall-ships/introducing-royal-clipper.html> [Accessed 5 March 2024]
- Stark, W.F., 2003, *The last time around Cape Horn – The historic 1949 voyage of the Windjammer Pamir*, Carroll & Graf Publishers.
- State Library of Victoria (SLV), *Preussen, 1900~1954?*, [Online] Available at: URL:<http://handle.slv.vic.gov.au/10381/28270> [Accessed 5 March 2024]
- STS Sedov, *Technical Data of STS Sedov*, [Online] Available at: URL:http://www.sts-sedov.info/eng/teh_data/ [Accessed 5 March 2024]
- Superyacht Art, 2007, *The Maltese Falcon Art of Innovation*, TRP Magazines Ltd.
- Trouve, G. and Jaouanne, K., 2013, *Wind propulsion technologies review*, Project SAIL
- Underhill, H.A., *Sailing Ship Rigs & Rigging*, Brown, Son & Ferguson, Ltd, 1969
- Verein Rettet Die Passat E.V. (VRDP), *Die Passat in Zahlen*, [Online] Available at: URL:<https://www.rettetdiepassat.de/de/startseite.html> [Accessed 5 March 2024]
- WUNDS Datenysteme GmbH (WUNDS), 2024, *Segelschulschiff PAMIR, Viermastbark PAMIR* [Online] Available at: URL:<https://segelschiff-pamir.de/diepamir/> [Accessed 5 March 2024]
- Yoshimura, Y., Ouchi K. and Waseda, T., 2016, Contributions to EEOI and EEDI by Wind Challenger Ships, *Proceedings of 7th PAAMES and AMEC 2016 13-14*, Hong Kong, Oct., 2016,
- Young, C., Interesting Engineering, 2020, *Swedish Consortium Unveils Wind-Powered Car Carrier With Towering Wings*, [Online article] Available at: URL:<https://interestingengineering.com/innovation/swedish-consortium-unveils-wind-powered-car-carrier-with-towering-wings> [Accessed 5 March 2024]

