

제1장 서론

선박 추진동력의 추산은 선박 설계 및 운항 과정에서 기본이 된다. 추진동력을 알아야 주기관의 크기 및 중량을 예상할 수 있고 연료소모율 및 운항 비용의 추산도 가능해진다. 동력의 추산은 다양한 동력 문제에 대한 실험기법, 수치해석방법 및 이론해석을 수반한다. 추진동력 계산은 설치된 주기관 동력과 설계 과정의 선형 사이에 정확한 일치를 결정할 필요에서 비롯된다. 선박의 저항과 추진에 대한 이해는 유체 유동의 거동으로부터 도출된다. 선박 유체역학적인 설계에 내재적인 복잡성은 실질적인 모형 크기에서 비롯되는 축척효과, 점성 경계층 유동과의 비정상 상호작용, 선박에 의하여 발생하는 자유표면 파동, 공간적으로 변화하는 유입유동 조건에서 작동하는 추진기 문제 등 다양한 도전에 기인하고 있다.

역사

1860년대 초반까지 선박의 저항에 대하여 알려진 것이 거의 없었고, 추진동력에 대하여 알려진 사항들은 대개 잘못된 것이었다. 프로펠러 설계도 시행 착오 문제에 불과했다. 선박에 장착된 동력도 대체로 틀렸고 어떤 속력을 내기 위하여 동력을 추정하는 방법이 필요했다.

1870년, W. Froude 는 모형을 사용한 선박 저항 조사 기법을 창안하였다. 그는 기하학적으로 유사한 형상을 대응속도, 즉, 모형 길이의 제곱근에 비례한 속도에서 서로 비교하면 유사한 파동이 형성됨을 주목하였다. 그는 총저항을 표면마찰저항과 주로 조파(wavemaking) 저항인 잉여(residuary)저항으로 나누는 방법을 제안하였다. 다른 길이, 다른 표면 거칠기를 가진 널빤지의 저항 측정 결과로부터 마찰저항에 대한 추정식을 유도하였다 [1.1], [1.2]. 배수량 톤당 저항으로 계산되는 비 잉여저항(specific residuary resistance)은 대응속도에서 모형과 실선이 동일해진다. 그의 제안은 처음에는 받아들여지지 않다가 실선 시험들이 수행된 후 호의적인 반응을 얻게 된다. HMS Greyhound (100ft) 를 더 큰 선박으로 예인하는 실험을 통해 모형 예측이 상당한 수준으로 실선 계측 결과와 일치함이 알려졌다. 모형시험의 정당성이 입증되었고 선박 동력에 대한 실증적 예측의 문이 열리게 되었다. 1877년의 논문에서 Froude 는 모형시험 기법을 뒷받침하는 조파저항에 관한 상세한 설명을 제시한다 [A1.4].

1860년대에 프로펠러 설계는 겉보기 미끄럼속도(apparent slip) 에 대한 이해부족으로 진전을 보지 못하고 있었다. 당시 조선설계기사들은 반류(wake)를 이해하지 못했다. 초기의 프로펠러 이론들이 발전되어 설계 과정을 향상시켰는데, 1865년 Rankine의 모멘텀 이론[1.5], 1878년 Froude의 날개 요소 이론[1.6] 및 1889년 Froude의 작동원판(Actuator disk) 이론[1.7] 이 그것이다. 1910년 Luke [1.8]는 반류에 대한 중요한 세 편의 논문 중 첫 번째를 발간하여 프로펠러 설계 과정에서 보다 실질적인 반류 예측이 이루어지게 되었다. 그 당시 캐비테이션 역시 알려지지 않았는데 Reynolds [1.9] 를 포함한 몇몇 연구자들이 다양한 방법으로 캐비테이션의 존재를 기술하려 시도했다. Barnaby [1.10]는 캐비테이션을 어느 정도 기술했는데, Turbinia 호에서의 Parsons 의 경험을 포함한 것이었다. 이 시기의 프로펠러 날개 면적은 캐비테이션에 대한 이해 없이 단순히 추력하중에 기반을 두었다.

1890년대 모형선 저항시험의 기반이 완전히 구축되었다. 특정한 선박이 시험되었는가 하

면 계열선에 대한 시험도 수행되었다. 이에 대한 주목할 만한 초기의 기여는 Taylor [1.11], [1.12] 및 곧이어 Baker [1.13] 의 작업이다.

그 다음 시기에는 선형 변수의 영향에 대한 연구, 천수효과 및 Froude 마찰저항 경험식의 정확성에 대한 고찰[1.14] 등 일관된 모형선 저항 연구가 진행되었다. 황천 하에서의 선박의 성능에 대하여 관심이 고조되었으며 운동에 대한 파도의 영향, 모형선 및 실선에서의 부가 저항의 측정[1.15] 이 이루어졌다.

1960년대 이후로 추진기 형식에 있어 많은 발전이 이루어졌다. 여기에는 tip fin, 후퇴각의 변화, 날개 단면 설계의 변화, 덕트 추가 등 기본적인 선박용 프로펠러를 다양한 방식으로 개선하는 연구가 포함된다. 상반회전(Contra-rotating) 프로펠러가 재조명되었고, 사이클로이드 프로펠러가 새로운 적용 대상을 찾게 되었다. 워터젯이 도입되고, 포드 장치가 개발되었다. PBCF(Propeller Boss Cap Fin), 전류고정날개(upstream preswirl fins) 및 덕트, 트위스트 러더 및 러더 핀 등 추진효율 향상장치가 제안, 도입되었다. 물론 이들 기구는 보통 특정한 적용 사례에서 가장 효율적이라는 점을 주목해야 한다.

1980년대 초에 들어와 전산유체역학(CFD)의 잠재적인 미래가 완전히 드러나게 된다. 이는 선체 주위 유동에 대한 모델, 점성 저항의 유도 및 자유수면파 해석을 포함하게 된다. 이로 인해 CFD 결과의 검증을 위하여 저항의 물리적 성분에 대한 고정확도의 실험 데이터가 필요하게 되었다. 특히 점성저항 및 조파저항에 대하여 1970년대의 이전 데이터 들이 재조사되고 새로운 검증 시험 데이터들도 얻어졌다. 이러한 데이터 수집 활동은 대부분 국제수조협회(ITTC: International Towing Tank Conference)에 의하여 조직, 수행되었다. CFD를 적용한 선형 개발 및 저항 예측의 전형적인 사례는 [1.16] 및 [1.17] 에 주어져 있다.

프로펠러 이론은 설계 과정을 개선하기 위하여 계속 개발되었다. Rankine, Froude 와 Perring 의 작업으로부터 시작된 프로펠러 이론은 1944년 Burrill [1.18], 1952년 Lerbs [1.19] 를 포함하는 날개 요소 모멘텀 이론을 포함하는데, 와도(vorticity) 를 날개 표면에 배치하는 양력선 및 양력면 방법을 사용한다. 와류 격자 방법, 경계요소법 및 패널 방법과 그의 프로펠러 적용이 1980년대에 시작되었다. 1990년대 들어 CFD 및 RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes) 해법이 프로펠러 설계에 적용되기 시작했고, 현재에 와서는 선체와 프로펠러를 결합한 CFD 모델이 수행되고 있다 [1.20].

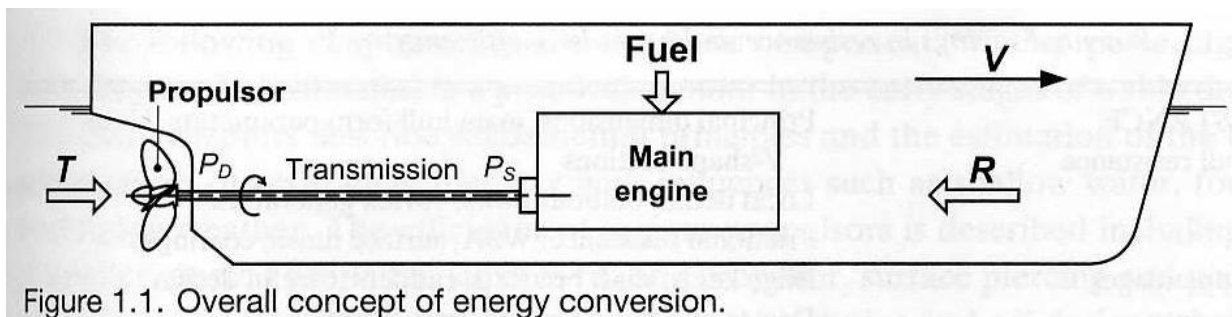


Figure 1.1. Overall concept of energy conversion.

동력: 전반적인 개념

동력계통에 대한 전반적인 개념은 Figure 1.1 에 도시된 것처럼 연료를 연소하여 얻은 에너지

를 유용한 추력(T)으로 전환, 요구되는 속력(V)에서의 선박 저항(R)에 맞추는 것이다. 추진 계통의 총합 효율은 다음 사항에 의존한다:

연료 형식, 성질 및 품질.

연료의 에너지를 유용하게 전달 가능한 동력으로 전환하는 기관의 효율.

동력(보통 회전)을 유용한 추력(T)으로 전환하는 추진기의 효율.

다음 장들은 주어진 상황에서 저항(R)과 추력(T)이 어떻게 예측되고 저항을 최소화, 추력을 최대화하는지를 고려한 선체와 추진기의 성능에 집중된다. 기관의 성질과 성능은 별도로 요약된다.

추진동력의 주요 성분은 선박을 정수(calm water) 중에서 예인하는 데 필요한 유효동력(effective power) $P_E = R \times V$, 추진동력(propulsive power) 혹은 전달동력(delivered power) P_D 로 이어지는 추진효율 $P_D = P_E / \eta$ 이다. 이는 저항과 추진을 구분하는 전통적인 방법이고 각 성분의 평가를 통하여 잠재적인 개선을 꾀하는 방법이다.

Table 1.1. *Potential savings in resistance and propulsive efficiency*

RESISTANCE	Principal dimensions: main hull form parameters, U- or V-shape sections
(a) Hull resistance	Local detail: bulbous bows, vortex generators Frictional resistance: WSA, surface finish, coatings
(b) Appendages	Bilge keels, shaft brackets, rudders: careful design
(c) Air drag	Design and fairing of superstructures Stowage of containers
PROPULSIVE EFFICIENCY	Choice of main dimensions: D , P/D , BAR , optimum diameter, rpm.
(d) Propeller	Local detail: section shape, tip fins, twist, tip rake, skew etc. Surface finish
(e) Propeller-hull interaction	Main effects: local hull shape, U, V or 'circular' forms [resistance vs. propulsion] Changes in wake, thrust deduction, hull efficiency Design of appendages: such as shaft brackets and rudders Local detail: such as pre- and postswirl fins, upstream duct, twisted rudders

효율의 향상

총합적인 선박 추진효율의 향상은 경제적 그리고 환경적 요소에 의하여 요구되고 있다. 주된 경제적인 요인은 선박의 건조경비, 처분경비, 선속 및 특히 연료비의 합에 이르게 된다. 선주가 적절한 기간 내에 투자비를 회수할 수 있도록 이들 요소를 조합하여 설계가 이루어진다. 주요한 환경적인 요인은 배기가스, 오염물질, 소음, 방오물질 등의 총량에 해당한다.

선박의 배기가스는 질소산화물 (NO_x), 황산화물 (SO_x), 그리고 온실가스인 이산화탄소이

다. 질소산화물과 황산화물이 연안 지역에 영향을 미치는 반면, 이산화탄소 배출은 전 지구적인 기후변화에 영향을 미치며 이의 저감을 위하여 전 세계적인 노력이 집중되고 있다. 국제해사기구(IMO)는 해사 부문에서의 노력을 조직화하고 있고 이산화탄소 배출 제어 및 배출거래제가 고려되고 있다.

국제 해운 분야의 이산화탄소 배출 저감 노력으로 인하여 추진계통 요소 및 선박의 주요 목이 함께 변화할 가능성이 있다. 연료비는 언제나 추진효율 향상에 대한 경제적인 필요성으로 작용해 왔다. 전체 운항비용에 대한 연료비의 상대적인 중요도는 선박의 크기, 속도 및 교역 형태에 영향을 준다. 경제적, 환경적인 압박이 합쳐져서 선박 추진 동력을 더욱 상계하게 평가하고 적절한 기자재를 선택하도록 요구하는 새로운 환경을 만들어내고 있다. 그러나 배출가스를 저감할 수는 있어도 경제적으로는 효과가 없는 기술적인 변화도 있을 수 있다. 재생에너지를 사용하는 보조동력장치나 발전된 선체 도료 등이 이러한 범주에 들어갈 수 있다. 직접적으로는 경제적으로 효과가 없을지라도, 미래에 선박에 대한 배출권 거래제가 도입된다는 전제 하에 추진효율 향상 혹은 온실가스 배출 저감에 대한 모든 기술적 수단을 탐구하고 평가해야 할 것이다.

설계 단계에서 개선이 이루어질 것으로 예측되는 주요한 분야를 Table 1.1에 열거하였다. 먼저 저항, 다음으로 추진효율과 관련된 부분으로 크게 나누었지만, 사실 양자는 선형, 반류비, 선체-추진기 상호작용과 같은 현상에 의하여 밀접하게 관련되어 있음을 주목하라. 추진효율을 향상시킬 수 있는 잠재적인 영역이 많은 것으로 보인다.

동력의 저감은 운항 선속 감소, 기상에 따른 항로 최적화(weather routing), 최적 트림 운항, 유체역학적으로 효과적인 선체 도료 사용, 선체/프로펠러 세척, 횡동요 안정화와 같은 운항 절차상의 변화 및 개선으로도 달성될 수 있다. 돛, 로터, 연 및 풍력 터빈과 같은 풍력 보조 기구, 파력 추진 기구 및 태양에너지를 포함하는 보조 추진 기구 역시 채용할 수 있다.

이어지는 장에서는 선박 추진의 기본 구성요소 및 선박 초기 설계 단계에서 실제로 어떻게 이들이 추산되는 지를 서술한다. 초기의 장들은 저항의 근본 원리와 저항 요소의 추정법을 천수효과, 파울링(fouling), 황천 해상 조건에서의 영향과 더불어 기술한다. 프로펠러, 덕트 프로펠러, 초월공동(supercavitating) 프로펠러, 반침수식(surface piercing) 프로펠러, 프드 프로펠러 및 워터젯을 포함하는 다양한 추진기의 효율이 다루어진다. 다양한 추진기의 설계 방법과 비설계조건에서 효율을 향상하는 방법에 유의한다. 선체 저항과 추진 성능에 관한 데이터베이스가 10장부터 16장까지 포함되어 있다. 17장은 저항과 추진데이터를 함께 사용하여 총 동력을 예측하는 예제들을 제공한다.

참고문헌은 각 장의 말미에 소개되어 있다. 특정한 주제에 관한 더욱 상세한 설명은 참고문헌 및 [1.21]에서 [1.29]에 이르는 더욱 전문적인 교과서에서 찾아볼 수 있다.

참고문헌 (제1장)

- 1.1 Froude, W. Experiments on the surface-friction experienced by a plane moving through water. *42nd Report of the British Association for the Advancement of Science*, Brighton, 1872.
- 1.2 Froude, W. Report to the Lords Commissioners of the Admiralty on experiments for the determination of the frictional resistance of water on a surface, under various

conditions, performed at Chelston Cross, under the Authority of their Lordships, *44th Report by the British Association for the Advancement of Science*, Belfast, 1874.

- 1.3 Froude, W. On experiments with HMS *Greyhound*. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 15, 1874, pp.36-73.
- 1.4 Froude, W. Experiments upon the effect produced on the wave-making resistance of ships by length of parallel middle body, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 18, 1877, pp.77-97.
- 1.5 Rankine, W. J. On the mechanical principles of the action of propeller, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 6, 1865, pp.13-35.
- 1.6 Froude, W. On the elementary relation between pitch, slip and propulsive efficiency, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 19, 1878, pp.47-65.
- 1.7 Froude, R. E. On the part played in propulsion by differences in fluid pressure, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 30, 1889, pp.390-405.
- 1.8 Luke, W. J. Experimental investigation on wake and thrust deduction values, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 52, 1910, pp.43-57.
- 1.9 Reynolds, O. The causes of the racing of the engines of screw steamers investigated theoretically and by experiment, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 14, 1873, pp.56-67.
- 1.10 Barnaby, S. W. Some further notes on cavitation, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 53, 1911, pp.219-232.
- 1.11 Barnaby, S. W. Some further notes on cavitation, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 53, 1911, pp.219-232.
- 1.12 Taylor, D. W. *The Speed and Power of Ships*, U. S. Government Printing Office, Washington, DC, 1943.
- 1.13 Baker, G. S. Methodical experiments with mercantile ship forms, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 55, 1913, pp.162-180.
- 1.14 Stanton, T. E. The law of comparison for surface friction and eddy-making resistance in fluids, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 54, 1912, pp.48-57.
- 1.15 Kent, J. L. The effect of wind and waves on the propulsion of ships, *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 66, 1924, pp.188-213.
- 1.16 Valkhof, H. H., Hoekstra, M. and Andersen, J. E. Model tests and CFD in hull form optimization, *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*, Vol. 106, 1998, pp.391-412.
- 1.17 Huan, J. C. and Huang, T. T. Surface ship total resistance prediction based on a nonlinear free surface potential solver and a Reynolds-averaged Navier-Stokes viscous correction, *Journal of Ship Research*, Vol. 51, 2007, pp.47-64.
- 1.18 Burrill, L. C. Calculation of marine propeller performance characteristics, *Transactions of the North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders*, Vol. 60, 1944.
- 1.19 Lerbs, H. W. Moderately loaded propellers with a finite number of blades and an arbitrary distribution of circulation, *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*, Vol. 60, 1952, pp.73-123.
- 1.20 Turnock, S. R., Phillips, A. B. and Furlong, M. UPANS simulations of drift and dynamic manoeuvres of the KVLCC2 tanker, *Proceedings of SIMMAN International Manoeuvring Workshop*, Copenhagen, April 2008.
- 1.21 Lewis, E. V.(ed.) *Principles of Naval Architecture*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, 1988.

- 1.22 Harvald, S. A. *Resistance and Propulsion of Ships*, Wiley Interscience, New York, 1983.
- 1.23 Breslin, J. P. and Andersen. P. *Hydrodynamics of Ship Propellers*, Cambridge Ocean Technology Series, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1996.
- 1.24 Carlton, J. S. *Marine Propellers and Propulsion*, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2007.
- 1.25 Bose, N. *Marine Powering Predictions and Propulsors*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, 2008.
- 1.26 Faltinsen, O. M. *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2005.
- 1.27 Bertram, V. *Practical Ship Hydrodynamics*, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2000.
- 1.28 Kerwin, J. E. and Hadler, J. B. *Principles of Naval Architecture: Propulsion*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, 2010.
- 1.29 Larson, L. and Raven, H. C. *Principles of Naval Architecture: Ship Resistance and Flow*, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, 2010.