

선박 최적운항시스템을 위한 추진성능 데이터베이스 생성 연구

† 김은찬 · 강국진* · 이한진**

† 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부

* 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 선박성능시험연구실

** 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 한국형이네비게이션사업단

A Study on the Database Generation of Propulsion Performance for Ships Optimum Routing System

† Eun-Chan Kim · Kuk-Jin Kang* · Han-Jin Lee**

† Maritime Safety Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon 305-343, Korea

* Ship Hydrodynamics Research Group, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon 305-343, Korea

** SMART-Navigation Project Office, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon 305-343, Korea

요약 : 최적의 선박 운항 항로를 찾기 위해서는 선박의 정확한 추진성능을 추정하는 것이 매우 중요하다. 본 논문은 선박 최적운항시스템의 추진성능 데이터베이스를 생성하기 위한 전산프로그램의 개발에 대해 기술하고 있다. 실해역에서의 추진성능은 표류와 표면 거칠기 등 선체 상태뿐만 아니라 파랑과 바람 등 해상 상태의 영향을 받는다. 이 부가저항 추정 방법들은 ISO 15016:2002 표준의 실선 속력시운전 해석법을 근간으로 하고 있으며, 추가로 바람과 선체 표면 거칠기에 대한 몇 가지 추정 방법이 보완되었다. 이 추정 방법들은 종합적인 전산프로그램으로 만들어졌다. 그리고 향후 최적 운항경로 계산에 활용될 쇄빙연구선 아라온 호에 대해서 데이터베이스 계산이 수행되었다. 이 프로그램은 모든 선박의 항로 최적화 계산에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 최적운항시스템, 추진성능, ISO 15016:2002, 저항 증가, 파랑, 바람

Abstract : The precise prediction of ships propulsion performance is very important to find out the ships optimum route. This paper describes the development of computer program to generate the database of propulsion performance for the ships optimum routing system. The propulsion performance of ship in the sea is caused by not only ships conditions such as drift and hull roughness, but also various sea conditions such as wave and wind. These prediction methods of added resistance are based on the ships speed trial analysis methods of the ISO 15016:2002 standard, and a few prediction methods of the wind and hull roughness are supplemented. These prediction methods have been applied to the comprehensive computer program. And the database calculation for the research ice breaker the Araon has been carried out, which shall be used for the calculation of optimum route. Furthermore, this program shall be used for the route optimization in global shipping routes.

Key words : Optimum routing system, Propulsion Performance, ISO 15016:2002, Resistance Increase, Wave, Wind

1. 서론

선박이 실해역에서 운항할 때 해상 상태에 따라 최적의 항로를 택하는 것은 연료비 절감뿐만 아니라 안전 운항 면에 있어서도 매우 중요한 과제이다. 더구나 IMO (국제해사기구)에서는 온실가스 규제를 위한 선박의 에너지효율에 관한 규칙을 MARPOL 부속서 6의 제4장에 신설하였고, 이 내용이 2013년 1월 1일자로 발효됨에 따라 최적운항시스템 (Optimum routing system)의 필요성이 급격히 증가하였다 (IMO, 2011).

최적운항시스템의 정도 향상을 위해서는 정확하게 해상 상태를 예측하는 것도 중요하지만, 주어진 해상 상태에서의 저

항추진 성능을 보다 정확하게 추정하는 것도 매우 중요한 과제이다. 보다 정확하게 선박의 실해역에서의 저항추진 성능을 추정하기 위해서는 선체의 정수 중 성능은 물론, 선체 표면 거칠기와 선체 표류력 그리고 천수효과 등 선체 상태와 자세에 대한 보정도 필요하고, 파랑과 바람 등 외력에 대한 부가저항도 고려해 주어야 한다. 이들 부가저항 가운데 그 값이 비교적 큰 요소 중의 하나인 파랑에 의한 부가저항을 정확하게 추정하는 것은 쉽지 않은데, 10여 년 전부터 파랑에 의한 부가저항을 이론 계산 방법으로 추정하여 최적운항시스템에 적용하는 연구가 시작되었다 (Hinnenthal, 2008).

IMO에서 제정한 선박의 에너지효율에 관한 규칙 가운데

† Corresponding author : 연희원, eckim@kriso.re.kr 042)866-3613

** 연희원, kjkang@kriso.re.kr 042)866-3435

*** 연희원, hjlee@kriso.re.kr 042)866-3607

선조선의 에너지 효율 설계지수 (EEDI, Energy Efficiency Design Index) 검증을 위한 기준식에서 선속은 실선시운전 결과로부터 얻어지는 값을 사용하는데, 이 선속은 속력시운전 결과를 ISO 15016:2002 해석법 (ISO, 2002)으로 계산하도록 하였다 (IMO, 2009, IMO, 2012). 이는 현재 전 세계적으로 발표된 실험적 성능 해석법 가운데에서는 ISO 15016 해석법이 가장 정확하다고 판단한 결과라고 볼 수 있다. 그 후 ISO 15016 해석법은 2015년에 개정되었고 (ISO 2015, IMO 2015), 이 개정본은 과랑 중 반사파 영향 등 일부 변경이 있었으나, 큰 틀은 2002년도 해석법을 그대로 유지하고 있다. 개정된 과랑 중 반사파 영향 해석법은 모형시험이 필요하며, 모형시험 자료가 없는 경우 그 정밀도는 낮아지는 것으로 판단된다.

선박의 최적 항로를 선정하기 위해서는 목표로 하는 항로와 그 주변에 대한 각종 외력을 전부 계산해야 한다. 이는 많은 시간이 소요되는 매우 방대한 작업이다. 따라서 본 논문에서는 가능한 한 정밀도는 유지하면서도 보다 빠른 시간 내에 추정할 수 있도록 하기 위해, 사전에 지정한 범위 값에 대해 저항 및 추진 계수를 계산하여 데이터베이스로 만들어 놓은 후, 이를 이용하여 보다 빠르게 실험에서의 추진성능을 추정하는 방법을 개발하고 이를 전산화 하였다.

2. 추진성능 추정법

추진성능 추정을 위한 각종 부가저항 계산은 Table 1과 같이 ISO 15016:2002 해석법을 근간으로 하여 계산하고, ISO 15016:2002 해석법에 없거나 부족한 내용은 여러 가지 해석법을 검토하여 적절한 방법을 추가하였다. ISO 해석법은 당초 선박 건조 후 실선 시운전 결과로부터 각종 외력의 영향을 배제하고 정수중 기본 저항을 추정하기 위한 방법으로서, 본 논문에서 다루고자 하는 계산과는 반대의 과정이다. 그러나, 속력 시운전 해석에서 빼주는 부가저항을 본 최적 운항 시스템에서는 더해주는 것으로서, 동일한 해석법을 사용해도 전혀 무리가 없다고 판단된다.

선박의 전체 저항 R_T 는 식 (1)과 같이 정수중 기본 저항 R_{hull} 과 부가저항 ΔR 로 나누어 계산하였다.

$$R_T = R_{hull} + \Delta R \quad (1)$$

정수중 기본 저항 R_{hull} 은 일반적으로 모형시험 결과로부터 얻은 흘수 별, 트림상태 별, 선속 별 저항계수, 즉 잉여저항계수 또는 조파저항계수를 가져다 사용하게 된다. 그러나 모형시험 결과가 없는 경우, 유사선의 모형시험 결과로부터 보정을 해서 얻거나 통계해석을 통해 얻을 수 있도록 하였다 (Kim et al, 2001, Kim & Kang, 2001).

부가저항 ΔR 은 각종 외력에 의해 발생하는 것으로, 과랑에 의한 부가저항 R_{AW} , 바람에 의한 부가저항 R_{AA} , 표류에

의한 부가저항 $R_{\beta\beta}$, 선체 표면 거칠기에 의한 부가저항 R_{AR} 의 합으로서 식 (2)와 같이 저항의 증가로 계산된다.

$$\Delta R = R_{AW} + R_{AA} + R_{\beta\beta} + R_{AR} \quad (2)$$

각 부가저항의 계산 방법은 Table 1과 같다.

Table 1 Analysis methods for added resistance

External Force	Analysis Method	
	ISO 15016 Method	Additional Method
Resistance Increase due to waves	Maruo	
Diffraction of incident waves in short waves	Faltinsen	
	Kwon	
	Fujii - Takahashi	
Added resistance due to wind	JTTC Curve	Blendermann Chart
Effect of drifting	SR208	
Effect of hull roughness	-	ITTC '78

과랑에 의한 부가저항 R_{AW} 는 ISO 15016:2002 해석법에 따라 두 단계로 계산하게 된다. 먼저 사전 계산으로서 규칙과 중 부가저항의 응답함수를 계산해 둔 후, 본 계산에서는 이를 이용하여 실험의 과랑 상태에 대한 불규칙과에서의 부가저항을 계산하게 된다. 과랑에 의한 선체 운동에 따른 부가저항은 Maruo 방법을 사용하고, 단파에 의한 반사파 영향은 Faltinsen 방법이나 Kwon 방법이나 Fujii-Takahashi 방법 중에 택하도록 하였다. 이들 과랑에 의한 부가저항 계산은 과랑을 풍파 (wind wave)와 너울 (swell)로 구분하여 양쪽 모두를 각각 계산하여 합산하도록 하였다.

선체가 일정 표류각을 가지고 운항하는 경우, SR208 방법으로 부가저항을 계산하도록 하였다 (ISO, 2002).

ISO 15016 속력시운전 해석법에서는 바람에 의한 부가저항 R_{AA} 를 계산할 때 풍동시험 결과를 직접 이용하거나 JTTC 표준 곡선을 사용하도록 되어 있다. JTTC 곡선은 여러 가지 선박의 풍동시험 자료를 이용하여 하나의 정면 바람저항 계수 곡선과 하나의 풍향영향계수 곡선을 만든 것이다. 그러나 이 식은 단지 두 개의 곡선으로 모든 형태의 선박에 대한 바람저항을 계산해야 하므로 정확한 값을 얻기는 쉽지 않다고 본다. 따라서 본 논문에서는 풍동시험 결과 입력값이나 JTTC 곡선 외에, Blendermann 이 발표한 여러 가지 선종 및 흘수상태에 대한 바람저항계수 C_X 곡선 중에서 가장 적절한 것을 택하여 식 (3)과 같이 계산하도록 하였다. Blendermann 곡선은 22척의 선박에 대해 각각의 풍동시험 결과를 C_X 로 나타낸 것이다 (Blendermann, 1990-1991).

$$R_{AA} = C_X \frac{1}{2} \rho_A A_T V_R^2 \quad (3)$$

식 (3)에서 ρ_A 는 공기밀도를, A_T 는 수면상 정면투영면적을, V_R 은 상대풍속을 의미한다.

선박이 장기간 해수에 접해 있는 경우 선체 표면 거칠기에 대한 영향이 크기 때문에 이에 대한 계산을 해 주어야 하는데, ISO 15016 해석법에서는 그 필요성만 언급했을 뿐 계산 방법에 대해서는 제안된 것이 없다. 더구나 실해역을 장기간 운항하는 선박의 경우 이 영향이 무시할 수 없을 만큼 크다고 판단된다. 따라서 본 논문에서는 선체 표면 거칠기에 따른 부가저항 R_{AR} 을 1978년 ITTC 추진성능 해석법을 이용하여 식 (4)와 같이 계산할 수 있도록 하였다 (ITTC, 1978).

$$R_{AR} = \frac{1}{2} \rho S V^2 \frac{105}{L^3} \left(k_s^{\frac{1}{3}} - k_{so}^{\frac{1}{3}} \right) 10^{-3} \quad (4)$$

식 (4)에서 k_s 는 운항 중 선체 표면 거칠기를 의미하고, k_{so} 는 선체 표면 거칠기 표준치를 의미하는데 k_{so} 값은 0.15mm를 기준으로 하였다. ρ 는 해수밀도를, V 는 선속을, L 은 선체 길이를 의미한다.

선박이 얕은 해역에서 운항할 때 발생하는 천수효과는 식 (5)와 같이 Lackenby의 방법으로 계산하였는데, 이는 저항의 증가가 아니고 선속의 감소로 나타내는 식이다 (ISO, 2002).

$$\frac{\Delta V}{V} = 0.1242 \left(\frac{A_M}{h^2} - 0.05 \right) + 1 - \left(\tanh \frac{gh}{V^2} \right)^{1/2} \quad (5)$$

식 (5)에서 A_M 은 수면하 정면투영면적을 말하고, h 는 수심을, g 는 중력가속도를 의미한다.

선박의 축동력 P_T 는 모형시험 결과로부터 얻은 흘수별, 트림상태 별 선속 별 선박의 유효동력 P_E 또는 전체저항 R_T , 선박의 유효동력과 추진기에 전달된 동력과의 비율인 준추진효율 η_D 그리고 프로펠러에서의 동력과 축동력의 비율인 축전달효율 η_T 로부터 식 (6)과 같이 계산된다.

$$P_T = \frac{P_E}{\eta_D \eta_T} = \frac{R_T V}{\eta_D \eta_T} \quad (6)$$

식 (6)에서 준추진효율 η_D 는 식 (7)과 같이 계산되는데, 이때 사용되는 반류비 w 와 추력감소율 t 와 상대회전효율 η_R 그리고 프로펠러 단독효율 η_O 등 각종 추진계수들은 모형시험을 통해 얻거나 통계해석을 통해 추정하게 된다.

$$\eta_D = \frac{(1-t)}{(1-w)} \eta_R \eta_O \quad (7)$$

이때 대상 선박이 선속 및 흘수 변화가 작아서 각종 추진계수가 미세한 변화만 있는 경우, 계산 시간의 단축을 위해 준추진효율 η_D 만을 사용할 수도 있다.

프로펠러 단독효율 η_O 의 변화를 고려하는 경우, 선박 운항 중 증가하게 되는 프로펠러 표면 거칠기에 대한 영향을 고려해 주어야 하는데, ISO 15016 해석법에서는 그 필요성만 언급했을 뿐, 계산 방법에 대해서는 제안된 것이 없다. 따라서 본 논문에서는 프로펠러 표면 거칠기에 따른 효율 변화를 1978년 ITTC 추진성능 해석법을 이용하여 계산할 수 있도록 하였다 (ITTC, 1978).

3. 추진성능 데이터베이스 생성

선박의 최적 항로를 선정하기 위해서는 항로 주변 전체에 대한 각종 외력에 대한 영향을 반복 계산해야 하는데, 이는 많은 시간이 소요된다. 따라서 많은 시간이 소요되는 계산 내용을 사전에 미리 계산해 두고, 본 계산에서는 이 결과를 간단하게 불러와서 활용하기 위해 Fig. 1과 같이 전체 내용을 두 개의 과정으로 나누어 계산하기로 하였다.

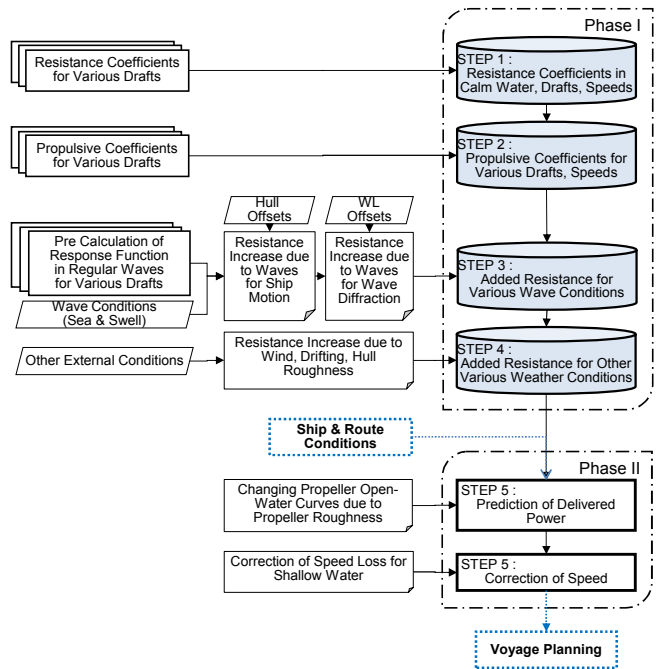


Fig. 1 Flowchart of the prediction of propulsion performance for optimum routing system

첫 번째 과정 (Phase I)에서는 흘수 상태 별로, 정수중 저항계수와 추진계수 그리고 여러 가지 해상 상태에 대한 파랑 및 바람 등에 의한 부가저항을 미리 계산해서 데이터베이스로 만

들어 놓고, 두 번째 과정 (Phase II)에서는 임의의 선박 및 해상 상태에 대해서, 각종 정수중 저항 및 부가저항 그리고 추진계수 값을 데이터베이스로부터 불러와서 선박의 축동력을 구하도록 하였다.

첫 번째 과정 (Phase I)에서는 모형시험 또는 통계해석을 통해, 흘수상태 별로 정수중 저항계수와 각종 추진계수를 찾아내어 데이터베이스에 포함시키도록 하였다. 첫 번째 과정에서 계산해 둘 부가저항은 파랑, 바람, 표류각 및 선체 표면 거칠기 영향으로서, 각각의 계산에서 미리 계산해 둘 변수의 내용과 범위는 Table 2와 같다.

Table 2 Variables for added resistance due to various external forces

Variable		1 st Variable	2 nd Variable	3 rd Variable
Wave Motion	Wave	Incident Angle 0-180 deg. (19)	Significant Height 0-30.48 m (13)	Ship Speed
	Swell	Incident Angle 0-180 deg. (19)	Significant Height 0-30.48 m (13)	Ship Speed
Wave Diffraction	Wave	Incident Angle 0-180 deg. (19)	Significant Height 0-30.48 m (13)	Ship Speed
	Swell	Incident Angle 0-180 deg. (19)	Significant Height 0-30.48 m (13)	Ship Speed
Wind	Relative Direction 0-180 deg. (19)	Relative Velocity 0-30 m/s (11)	-	
Drifting	Drift Angle 0-180 deg. (19)	Ship Speed	-	
Hull Roughness	Hull Roughness 0-0.002 m (21)	Ship Speed	-	

파랑에 의한 부가저항 계산은 파랑을 풍파와 너울로 구분하여, 각각 선체 운동에 의한 저항 증가와 반사파에 의한 저항 증가를 계산해 두도록 하였다. 파랑에 의한 부가저항 계산을 위해서는 파입사각과 파고와 파주기가 필요한데, 이 세 가지 변수에 대해 각각의 부가저항을 계산해 두고 이를 사용하려면 많은 시간이 소요되고 데이터의 양도 너무 많으므로, 파고와 파주기는 Pierson-Moskowitz 해양파 스펙트럼을 적용하여, 연동되는 것으로 간주하고 파고만을 대표값으로 사용하여 계산해 두도록 하였다 (Department of National Defence of Canada, 2016). 따라서 파입사각은 0도에서 180도 까지 10도 간격으로 19개, 파고는 임의로 13개로 나누어 정하였다.

바람에 의한 부가저항 계산을 위한 풍향은 0도에서 180도 까지 10도 간격으로 19개, 표류각 변화에 따른 부가저항 계산을 위한 표류각도 또한 0도에서 180도 까지 10도 간격으로 19개로 나누어 정하였다.

선체 표면 거칠기 변화에 따른 부가저항 계산을 위한 표면 거칠기는 0mm 에서 2mm 까지 0.05mm 간격으로 21개로 나누어 정하였다.

본 논문에서 기술하는 추진성능 데이터베이스 생성을 위한 전산 프로그램 WS (Weather Speed)는 첫 번째 과정 계산에 대한 것이다. 본 논문의 프로그램을 통해 계산되는 추진성능 데이터베이스의 내용은 Table 3과 같다.

Table 3 Database of propulsion performance for optimum routing system

		Resistance and Propulsive Coefficient
Resistance	Resistance Coefficient for Calm Water	Residual Resistance Coef. (or) Wave Making Res. Coef. & Form factor
	Added Resistance Due to External Forces	Wave Motion, Wave Wave Motion, Swell Wave Diffraction, Wave Wave Diffraction, Swell Wind Drifting Hull Roughness
Propulsion	Propulsive Coefficient	Thrust Deduction Fraction Wake Fraction Relative Rotative Efficiency Quasi-Propulsive Efficiency

두 번째 과정 (Phase II)에서는 첫 번째 과정에서 계산해 둔 Table 3과 같은 각종 저항계수와 저항 값 그리고 추진계수들의 데이터베이스를 이용하여 전체 저항과 축동력을 계산하게 된다. 이때 경우에 따라 프로펠러 거칠기 영향을 계산해서 프로펠러 단독효율을 보정해 주기도 한다. 또한 두 번째 과정에서는 천수효과를 계산하여 선속을 보정해 주기도 한다. 두 번째 과정 계산은 비교적 간단한 것으로서, 이는 최적운항시스템에서 직접 계산하도록 하였다.

4. 데이터베이스 예제 계산

본 논문을 통해 개발된 추진성능 데이터베이스 프로그램을 쇠빙 연구선 아라온 호에 적용하여 계산해 보았다. 아라온 호의 제원은 Table 4와 같다.

첫 번째 과정 (Phase I)으로서 아라온 호의 최적운항시스템을 구축하기 위한 추진성능 데이터베이스를 만들기 위해 3개의 흘수 상태에 대해, 선속 2노트부터 17노트까지 1노트 간격으로 16개 속력에 대해 계산해 두었다.

Fig. 2는 아라온 호의 설계상태 (Design Condition)에 대한 결과로서, 최적운항시스템 구축을 위해 생성된 추진 성능 데이터베이스의 앞부분을 예로 보여주고 있다. Fig. 2의 맨 아래 부분 결과는 설계상태 2노트에서 풍파에 의한 선체 운동에 따른 저항 증가량 계산 결과의 일부를 보여주고 있다.

Table 4 Principal dimension of the research ice breaker the Araon

Length between perpendicular		95.0 m
Breadth, moulded		19.0 m
Mean Draft, moulded	Design Condition	6.8 m
	Service Condition	7.1 m
	Ballast Condition	6.3 m
Number of propeller		2
Diameter of Propeller		3.5 m

===== WEATHER SPEED PREDICTION FOR VOYAGE PLANNING : #S11A =====
PROGRAMMED BY KRISO

```
FILE NAME : ARAON1D.INS      ARAON1D.ARM      TRIAL DATE : 2016-07-07
SHIP NAME : ARAON          PROP NAME : KP811/2    CONDITION : DESIGN
* LPP = 95.000 M          * NO. PROP. = 1      COURSE : N.PACIFIC
* BREADTH = 19.000 M      * NO. BLADE = 4      * SEA DEPTH : 100.0 M
* DEPTH = 9.900 M        * DIAMETER = 4.000 M
DRAFT * PRO70 = 0.9600      * ROUGH.HULL = 0.000180 M
* MEAN = 6.800 M          * EAR = 0.7688      * ROUGH.PROP. = 0.000036 M
* FP = 6.800 M           * CHR = 0.5310
* AP = 6.800 M
* MID = 6.800 M          RUDDER * AIR TEMP. = 20.00 DEG
* LWL = 102.720 M        * AREA = 15.00 M2   * WATER TEMP. = 10.00 DEG/S
* S = 2329.0 M2          * HEIGHT = 5.000 M * DENS. = 1024.00 KG/M3
* SBK = 0.0 M2           * AREA R. = 0.0200 * K.VIS. = 1.3653 E6M2/S
* AT = 417.0 M2
* AL = 1522.0 M2        ENGINE : AQUAMASTER
* CM = 0.0000 M3        * MCR BHP = 7000. PS
* DISV = 7458. M3       * MCR REV. = 170.00RPM
                          * ETAT = 0.9709
```

MODEL TEST RESULTS

```
PREDICT METHOD: 2-D, KRISO-2D      DELCF = 0.000210
+ VS(KNOT) : 2.00 4.00 6.00 8.00 10.00 11.00 12.00 13.00 14.00 15.00 16.00 17.00
* CFM+1000: 1.320 1.320 1.324 1.392 1.543 1.676 1.849 2.078 2.409 2.880 3.507 4.018
* TM : 0.135 0.135 0.135 0.135 0.135 0.135 0.135 0.135 0.135 0.135 0.135 0.135
* WM : 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029
* WS : 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029 0.029
* ETARM : 1.042 1.042 1.042 1.042 1.042 1.042 1.042 1.042 1.042 1.042 1.042 1.042
* ETADS : 0.460 0.460 0.460 0.460 0.464 0.466 0.470 0.474 0.477 0.481 0.486 0.488
```

WAVE AND SWELL DATA

```
* WAVE WS : 0.00 3.00 5.00 10.00 16.00 21.00 27.00 33.00 40.00 46.00 54.00 61.00 73.00
* WAVE HI : 0.01 0.10 0.15 0.51 1.37 2.44 4.27 6.10 9.14 12.19 16.76 21.34 30.48
* WAVE PE : 0.10 0.50 1.50 3.00 4.00 5.50 7.50 9.00 11.00 12.50 14.50 16.50 19.50
```

```
* SWELL HI : 0.01 0.10 0.15 0.61 1.37 2.44 4.27 6.10 9.14 12.19 16.76 21.34 30.48
* SWELL PE : 0.20 1.00 3.00 6.00 8.00 11.00 15.00 18.00 22.00 25.00 29.00 33.00 39.00
```

```
BRAKE POWER(KW) = (((CFM+DELDF)*(S+SBK)/S+CR)+0.5*RHOS*(VS+0.5144)**2)
+DELMOTW+DELMOTS+DELDIFW+DELDIFS+DELAIR+DELDRI+DELHUL)*(VS+0.5144)/ETADS/ETAT
```

ADDED RESISTANCE(KN)

MOTION WAVE	[DELMOTW]	0-180(19) DEG	0-30.48(13) M	2-17(16) KNOTS
2.000				
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
4.3	4.2	4.0	3.8	3.6
8.7	8.6	8.2	7.6	7.1
10.6	10.5	10.0	9.3	8.6
12.2	12.0	11.5	10.7	9.8
13.7	13.4	12.9	11.9	11.0
14.8	14.5	13.9	12.9	11.9
14.6	14.3	13.7	12.7	11.7
15.4	15.2	14.5	13.5	12.4
3.000				

Fig. 2 Propulsion performance database for the Araon generated by the present computer program

이렇게 만들어진 Fig. 2와 같은 데이터베이스는 Table 3의 내용이 모두 포함되는데, Fig. 3은 그 내용의 일부를 그림으로 보여주고 있다. Fig. 3의 위의 그림은 설계상태 15노트에서 풍파의 크기별로 입사각에 따른 선체 운동에 의한 저항 증가량을 보여주고 있다. Fig. 3의 아래 그림은 풍속 별로 입사각에 따른 바람 저항을 보여주고 있다.

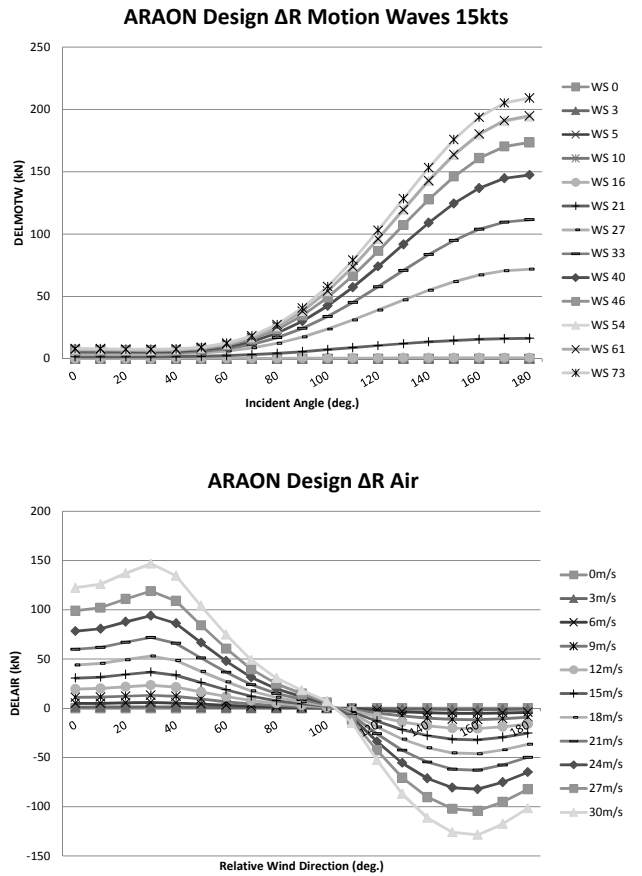


Fig. 3 Example of the propulsion performance database for the Araon

이렇게 구축한 추진성능 데이터베이스는 두 번째 과정 (Phase II)으로서 최적운항시스템의 최적항로 계산에 사용된다.

최적운항시스템 가운데 최적항로를 계획하는 부분은 육상에 설치된 서버에서 이루어지며, 사용자의 입력을 받고 계획 결과를 표시하는 사용자 인터페이스 부분은 실선에서 이루어진다. 실선과 육상을 연결하는 위성 기반 데이터 통신의 전송 속도 및 대역폭이 최적항로 계산을 위한 환경정보 전체를 주고받기에는 매우 부족한 상태이므로, Fig. 4와 같이 대용량 데이터가 필요한 부분은 육상서버에서 진행하고 계획 결과와 주요 환경정보만 선박의 클라이언트에 제공하는 형태로 시스템이 설계되었다 (Lee, 2015).

두 번째 과정에서는 실해역의 해양상태 데이터베이스 (Weather/Sea/Ice DB)로부터 해상 조건을 읽어 들인 후, 추진성능 데이터베이스 (Ship transit model D/B)로부터 해상 상태에 따른 각종 저항 추진 계수를 읽어 들여 실선의 축동력을 계산하게 된다. 이렇게 계산된 축동력과 선속을 바탕으로 최적 항로를 찾게 된다.

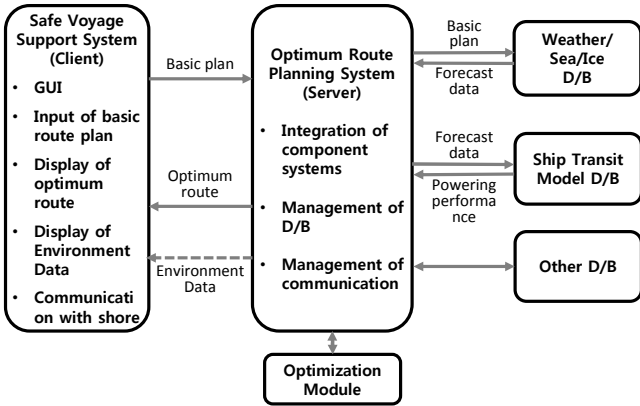


Fig. 4 Architecture of voyage planning system

이러한 두 번째 과정의 일례로서, Fig. 5는 아라온 호의 설 계상태에 대한 파랑과 바람 등 각종 외력 조건에 따른 각각의 부가저항 추정 결과, 각종 추진계수 추정 결과 그리고 최종적 으로 추정되는 선속에 따른 전달동력과 프로펠러 회전수를 보 여주고 있다. Fig. 5와 같은 내용은 출력물로 나오는 것이 아 니고, 최적 항로 계산 과정에서 무수히 많은 반복 계산하면서 최적의 항로를 찾아가기 위해 계산되는 하나의 예이며, 오직 계산 결과의 검증을 위해 임의의 조건에 대한 계산 예를 출력 한 것이다.

SHIP AND WEATHER CONDITIONS									
RUNNING DIRECTION	:180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0
SHIP SPEED (KNOT)	:15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
WIND DIRECTION (DEG)	P 0.0	P 0.0	P 0.0	P 0.0	P 0.0	P 0.0	P 0.0	P 0.0	P 0.0
WIND VELOCITY (M/S)	:0.000	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000	12.000	14.000	
CURRENT SPEED (KNOT)	:0.000	0.020	0.040	0.060	0.080	0.100	0.120	0.140	
WAVE PERIOD (SEC)	:0.50	1.50	3.00	4.00	5.50	7.50	9.00	11.00	
WAVE HEIGHT (M)	:0.10	0.15	0.61	1.37	2.44	4.27	6.10	9.14	
WAVE INCD. ANG. (DEG)	:180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	
SWELL PERIOD (SEC)	:1.00	3.00	6.00	8.00	11.00	15.00	18.00	22.00	
SWELL HEIGHT (M)	:0.10	0.15	0.61	1.37	2.44	4.27	6.10	9.14	
SWELL INCD. ANG. (DEG)	:180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	
RUDDER ANGLE (DEG)	:0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	
DRIFT ANGLE (DEG)	:0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	

STEP I : BASIC AND VARIOUS INCREASED RESISTANCE									
SHIP SPEED (KNOT)	:15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
SHIP S., CURRENT (KNOT)	:15.000	14.980	14.960	14.940	14.920	14.900	14.880	14.860	14.860
SHIP RESISTANCE (KN)	:335.8	334.1	332.5	330.8	329.2	327.6	326.0	324.4	
MOTION, SEA WAVE (KN)	:0.0	0.0	0.0	0.7	16.3	71.7	111.4	147.1	
MOTION, SWELL (KN)	:0.0	0.0	1.9	9.0	9.7	10.1	10.4	10.7	
DIFFRACT, SEA WAVE (KN)	:0.0	0.4	3.6	14.9	33.2	50.8	58.8	61.9	
DIFFRACTION, SWELL (KN)	:0.0	0.2	1.4	2.7	2.5	1.5	0.7	0.3	
DIRECT. C. FOR WIND	:0.532	0.532	0.532	0.532	0.532	0.532	0.532	0.532	
WIND EFFECT (KN)	:0.0	0.5	2.2	4.9	8.7	13.6	19.6	26.6	
STEERING EFFECT (KN)	:0.0	0.3	0.7	1.0	1.4	1.9	2.3	2.8	
DRIFTING EFFECT (KN)	:0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	
HULL ROUGHNESS (KN)	:5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.2	5.2	5.2	
DISPLACEMENT (KN)	:0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
TEMP. DENS. K-VISC. (KN)	:0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
TOTAL RES. INCR. (KN)	:5.3	6.7	15.0	38.6	77.2	155.0	208.6	255.0	

STEP II : PROPULSIVE COEFFICIENTS									
THRUST DEDUCTION	:0.1350	0.1350	0.1350	0.1350	0.1350	0.1350	0.1350	0.1350	
WAKE FRACTION	:0.0290	0.0290	0.0290	0.0290	0.0290	0.0290	0.0290	0.0290	
HULL EFFICIENCY	:0.8908	0.8908	0.8908	0.8908	0.8908	0.8908	0.8908	0.8908	
RELATIVE ROTATIVE EFF	:1.0420	1.0420	1.0420	1.0420	1.0420	1.0420	1.0420	1.0420	
PROPELLER O.W. EFF	:0.5202	0.5201	0.5196	0.5179	0.5121	0.5028	0.4949	0.4881	
QUI-S-PROPULSIVE EFF	:0.4828	0.4828	0.4823	0.4808	0.4753	0.4667	0.4594	0.4531	

STEP III : PREDICTED SPEED-POWER									
SHIP S., CURRENT (KNOT)	:15.000	14.980	14.960	14.940	14.920	14.900	14.880	14.860	
DELIVERED POWER (PS)	:5451	5440	5545	5906	6561	7925	8906	9775	
PROPELLER REV. (RPM)	:183.44	183.29	184.12	187.04	192.10	201.70	207.94	213.08	
SHIP S., SHALLOW (KNOT)	:15.000	14.980	14.960	14.940	14.920	14.900	14.880	14.860	

Fig. 5 An example of prediction result of propulsion performance for the Araon

Fig. 5의 결과를 보면, Beaufort 5에 해당하는 유의파고

2.44m의 풍파가 선수로부터 오는 경우, 선체 운동에 의한 부가저항은 정수중 기본 저항의 약 5%이며, 반사파에 의한 부가저항은 정수중 기본 저항의 약 10% 정도임을 알 수 있다. 또한 선속과 동일한 속력의 바람을 선수로부터 받을 경우, 바람에 의한 부가저항은 정수중 기본 저항의 약 3%임을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문을 통해 선박 최적운항시스템에 사용될 추진성능 데이터베이스 생성 방법을 개발하였다. 최적운항 항로를 정도 높게 찾아내면서도 계산 시간을 단축하기 위해, 최적의 추진성능 데이터베이스를 설계하고 구현하였다.

생성된 데이터베이스는 선박의 최적운항시스템의 추진성능 계산에 사용하기 위한 모든 자료를 망라하기 위해, 흡수상태별 그리고 선속별로, 정수 중 저항계수와 각종 부가저항 그리고 축동력 산출에 필요한 각종 추진계수들로 구성되어 있다. 부가저항에는 파랑, 바람, 표류 및 선체 표면 거칠기 영향이 포함되어 있다. 파랑에 의한 부가저항은 선체 운동에 의한 부가저항과 반사파에 의한 부가저항으로 각각 나누었으며, 파랑은 또 다시 풍파와 너울로 나누어 계산하도록 하였다. 이들 추정 방법들을 종합하여 일련의 전산프로그램으로 만들었다.

쇄빙연구선 아라온 호에 대해서 계산이 수행되었으며 생성된 데이터베이스는 앞으로 아라온 호의 최적 운항 시스템에 활용될 예정이다. 이 데이터베이스 생성 프로그램은 선박 운항시스템의 항로 최적화 계산에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 해양수산부 “북극항로 운항선박의 항해안전지원 시스템 개발(2/5) (PMS3190)”과제의 일환으로 작성되었다.

References

- [1] Blendermann, W.(1990, 1990, 1991), “Chapter 3.1 External Forces, Wind Forces of Manoeuvring Technical Manual”, Schiff & Hafen 1990:2, pp. 41-43, 1990:4, pp. 47-48, 1991:4, pp.38-41.
- [2] Department of National Defence and the Canadian Armed Forces(2016), <http://www.crs-csex.forces.gc.ca/boi-ce/rp/hmcs-ncsm/rp/ann-eng.aspx>
- [3] Hinnenthal, Jorn(2008), “Robust Pareto, Optimum Routing of Ships Utilizing Deterministic and Ensemble Weather Forecasts”. Technischen Universitat Berlin. Ph.D. Thesis, pp. 2-8, pp. 26-57.

- [4] IMO(2009), “Interim guidelines for voluntary verification of the energy efficiency design index (EEDI)”, MEPC.1/Circ.682, p. 5.
- [5] IMO(2011), “Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto”, Resolution MEPC.203(62), pp. 1-17.
- [6] IMO(2012), “2012 Guidelines on survey and certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI)”, Resolution MEPC.214(63), p. 7.
- [7] IMO(2015), “2014 Guidelines On Survey And Certification Of The Energy Efficiency Design Index (EEDI)”, MEPC.1/Circ.855-Rev.1, p. 8.
- [8] ISO(2002), Ships and marine technology – Guidelines for the Assessment of Speed and Power Performance by Analysis of Speed Trial Data, International Standard of ISO 15016:2002, pp. 1-45.
- [9] ISO(2015), Ships and marine technology – Guidelines for the Assessment of Speed and Power Performance by Analysis of Speed Trial Data, International Standard of ISO 15016:2015, pp. 1-85.
- [10] ITTC Performance Committee(1978), Report of Performance Committee, Proceedings 15th ITTC, pp. 389-392.
- [11] Kim, E. C. et al.(2001), “Evaluation and Computer Program on the Speed Trial Analysis Method of the Ongoing Work in ISO/TC8”, Proceedings of the Eighth International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Shanghai, China, pp. 525-532
- [12] Kim, E. C. and Kang, K. J.(2001), “Regression Analysis for the Resistance and Propulsive Coefficients based on KRISO Data Base”, 2nd International Workshop on Ship Hydrodynamics, Uhan, China, pp. 1-7.
- [13] Lee, H. J.(2015), “Conceptual Design of Safe Voyage Planning System for Vessels Operating in Northern Sea Route”, 2015 Annual Autumn Conference, The Society of Naval Architects of Korea, Geoje, Korea, pp. 227-231.

Received 18 February 2016

Revised 22 June 2016

Accepted 23 June 2016