

EEDI 기준선속 해석을 위한 ISO15016 개정과 해석 프로그램(i-STAP)

신명수, 박범진, 이경중, 기민석
(선박해양플랜트연구소)

1. 서론

신조선의 속력시운전시 기준 선속을 결정하기 위하여, 국제 표준기구(International Standard Organization, 이하 ISO)에서는 선속시운전 해석법 ISO15016:2002(이하 2002표준)를 제정하였다. 이에 따라 선박해양플랜트연구소(KRISO)가 주관 이 되어 2002표준을 따르는 해석프로그램을 개발 하였으며, 이것이 우리나라의 표준 선속해석 프로그램으로 자리 잡고 있었다. 그러나 이 표준해석법은 다양한 옵션에 의한 해석 값의 편차가 심하여 해석결과에 대한 투명성이 지속적으로 제기되어 왔다.

이후, 온실가스 감축을 위하여 국제해사기구(International Maritime Organization, 이하 IMO)는 EEDI(Energy Efficiency Design Index) 규제를 시행하였으며, 지속적으로 논의 되어온 EEDI인증 지침서에 의하면 기준 선속은 실선 속력시운전으로 결정해야 하고 해석법으로는 ISO15016과 ITTC권고안 두 가지를 사용할 수 있는 것으로 결정되었다.

이러한 배경 하에, IMO는 투명하고 신기술이 반영된 새로운 속력시운전 해석법의 개정을 ISO에 요구하였다. ISO에서는 일본의 주관으로, 2012년부터 개정을 추진하여 왔으며, ITTC(International Towing Tank Conference)에서는 2014년에 속력시운전 권고안을 제정한 바 있다. 개정은 두 개의 기관에서 별도로 추진되었지만, 결과적으로 ITTC권고안의 기술적 내용을 근간으로 하여 ISO에서 개정작업이 수행되었다. 이렇게 개정된 표준이 ISO15016:2015(이하 2015표준)이다. 개정된 표준은 속력시운전 해석의 투명성을 높이는 방향으로 추진되었으며, 주로 유럽과 일본의 기술이 도입되어 개정되었다.

이렇게 개정된 두 가지의 해석방법은 상당부분 유사하지만, 전체적인 해석 절차가 기존의 ISO15016:2002와는 기본적으로 다르다. 많은 옵션이 삭제되었으며, 선속-동력 해석의 근간이 되는 부가저항, 선속, 동력 추정방법이 대부분 새로운 신기술로 대체되었다. 따라서 개정된 해석 방법에 따라 선속-동력 해석을 수행하기 위한 새로운 소프트웨어 개발이 필요하게 되었다.

개발된 소프트웨어의 이름은 i-STAP(ISO15016:2015 Speed Trial Analysis Program)이며 2015년 말에 완성되었으며, 이 프로그램은 국내 조선소에서 건조한 선박의 입급을 위

한 EEDI기준선속 속력시운전 해석에 유용하게 쓰이고 있다. 본고에서는 개정된 ISO, ITTC 속력시운전 해석법의 개정결과, 해석방법의 차이에 대하여 기술하며 해석프로그램인 i-STAP에 대하여 소개하고자 한다.

2. ISO15016, ITTC권고안 개정 결과

개정이 완료된, 2002, 2015표준, ITTC권고안의 차이는 표 1과 같다. 전술하였듯이, ISO개정안은 ITTC권고안의 거의 모든 내용이 포함되어 개정되었다.

표 1 ISO 15016:2002, 2015, ITTC권고안 비교

	ISO15016:2002	ISO15016:2015	ITTC권고안 (7.5-04-01-01.2)
동력, 선속	Taniguchi-Tamura 법	DPM w/ LVT (inform : full scale wake)	DPM w/ LVT
공기저항	JTTC차트, 풍동시험	STA차트, Fujiwara차트, 풍동시험	
파도 (선체운동)	Maruo	Maruo, STAWAVE2, 수조시험	
파도 (반사파)	Faltinsen, Kwon, Fujii-Takahashi	STAWAVE, Theoretical w/ tank test, 규칙파 수조시험	STAWAVE, Theoretical w/ tank test, Theoretical w/ emp. form., 규칙파 수조시험
천수	Lackenby	Leckenby (적용 수심조건 강화)	
조타	SR208	-	-
표류 (Drift)	SR208	-	-
조류 (Current)	보정가능, 구체적 방법 없음	Iterative법, MoM법	-
실선시운전 횟수	3회	Iterative법 : 4회 MoM법 : 6회	-

계측 결과로부터 동력-선속을 보정하는 방법에 있어서 2015표준에서는 모형시험의 준추진효율 계수를 그대로 사용하여 직접 동력을 보정하는 DPM(Direct Power Method, 이하 DPM)이 채택되었다. 이 방법의 사용을 위해서는 변동하중시험(Load Variation Tests, 이하 LVT)에 의한 수조시험을 수행하여야한다. 선속-동력 해석을 위한 기존 2002표준의 Taniguchi-Tamura방법은 해석이 어렵고 방법이 투명하지 않다는 이유로 제외되었다. 다만, 유사한 방법이 기술정보(Informative)형태로 부록에 남아 있다.

공기, 파도저항은 새로운 해석법으로 교체되었으며 천수효과는 유일하게 기존의 2002표준과 동일하며 조타, 표류는 해석법의 정도 검증이 문제되어 삭제되었다. 조류 보정법은 반복 수렴법(Iterative Method, 이하 Iterative법)과 평균의 평균법(Mean of Means Method, 이하 MoM법)이 채택되었다. 조류 보정법의 선택여부에 따라 최소 실선 시운전횟수가 결정된다. 특이한 것은, 조류 보정법에 관하여 ITTC권고안에는 아무런 언급이 없다는 것이다.

전술 하였듯이, 2015개정안의 해석법에서는 거의 모든 항목에서 투명성이 확보되었다. 특히, 파도, 공기저항을 추정하는 실험식, 차트 등이 상세하게 기술되어 있는 것이 특징이다. 또한, 2015표준에는 시운전 조건을 포함하여 풍속, 파고, 조류, 시운전 항로 결정 등 많은 제약 조건을 두고 있다.

다만, ISO 문서 1장에 조선소, 선급, 선주의 3자 합의에 따라 속력시운전 조건을 완화 또는 변경할 수 있다는 추가조항이 삽입되었다. 이는 정해진 일정에 따라 약조건 하에서도 속력 시운전을 해야 하는 우리나라 조선소의 입장이 반영된 결과이다.

3. 기준선속 해석방법

3.1 해석절차

ISO15016:2015의 해석절차는 그림 1에서 볼 수 있듯이 선박 운항환경 외력을 계측, 해석하여 평수중의 선속과 엔진동력을 추정한다. 우선 파도, 바람 및 수온/해수밀도 차이에 따른 부가저항 증가분을 계산하고, 이 값을 동력 증가분으로 환산한다. 이 증가분을 계측된 동력 값에서 빼주는 것에 의해 정수중의 동력을 추정한다. 별도로, 조류 및 수심의 영향은 직접 선속을 보정한다. 여기에서 최종적으로 모형시험과 시운전 흘수상태의 배수량 차이를 보정하여 최종 선속-동력 성능을 얻는다. 또한, 시운전을 수행하지 않은 하중조건(load condition)에 대해서도 모형시험 결과를 이용하여 성능을 추정할 수 있는 방법도 같이 포함되어 있다.

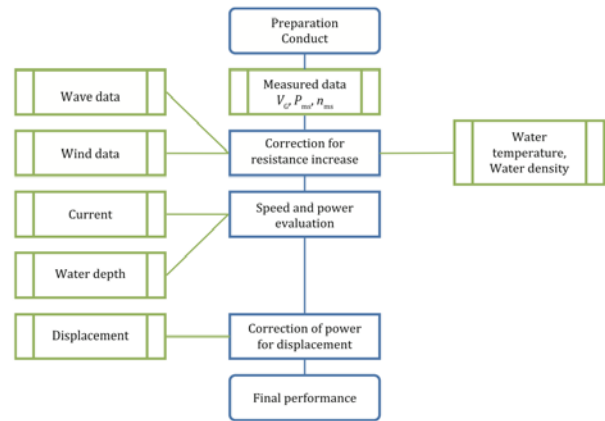


그림 1 ISO15016:2015 해석절차

3.2 해석방법

바람에 의한 부가저항 해석을 위하여 공기 저항계수는 아래의 세 가지 방법을 사용할 수 있도록 하였다.

- 풍동시험 결과 사용
- STA-JIP에서 정의한 선종별 저항계수 그래프 이용
- Fujiwara regression formulae 사용

파도에 의한 부가저항 계산방법은 아래와 같이 총 4개의 방법을 사용할 수 있도록 하였다.

- STAWAVE-1
- STAWAVE-2
- Theoretical method with simplified tank tests in short waves
- Seakeeping model tests

수온 및 해수밀도의 차이에 의한 부가저항을 계산하는 방법에는 별도의 선택사항이 없다.

조류를 보정하는 방법은 다음과 같이 두 가지 방법 중에서 선택할 수 있다.

- 2 double run의 결과를 평균하여 사용하는 Mean of means 방법
- 사전에 정의된 형태의 조류곡선을 추정하여 보정하는 iterative 방법

선속-동력을 해석하는 방법은 기본적으로 DPM을 사용하며, 이와 별도로 기존의 ISO15016:2002방법과 기술적으로 유사한 full scale wake를 추정하여 해석하는 방법도 기술정보 형식으로 기술되어 있다.

시운전과 모형시험 사이의 배수량의 차이를 보정하는 방법은 기본적으로 모형선 선속-동력 곡선을 상하로 이동시켜 보간(Interpolation)하는 것에 의해 최종 선속-동력 성능을 얻게 된다. 같은 보간법을 사용하여, 다른 배수량 상태의 선속-동력성능도 추정하게 된다.

4. 해석 소프트웨어 개발

4.1 계산절차

ISO15016:2015에서는 각 단계별로 해석법을 잘 정의하고 있지만, 실제로 이에 따라 계산하려고 하면, 문서에 확실하지 않는 부분이 있거나 어떻게 해석하느냐에 따라 결과가 달라질 수 있는 부분이 존재한다. 따라서 i-STAP 개발을 위해 이러한 부분을 참고문헌, 전문가 의견교환을 통해 정리하여 전체적인 계산절차를 그림 2와 같이 정의하였다.

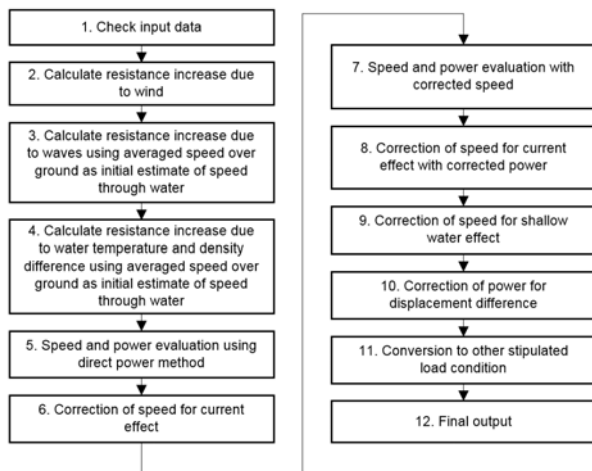


그림 2 i-STAP 계산 절차

i-STAP에서는 우선 계산을 수행하기에 앞서 사용자가 입력한 데이터가 ISO15016:2015에서 요구하는 제약사항을 만족하는지 검사한다.

1단계 : 만약 제약사항을 위배하는 부분이 있다면 경고문을 출력한다. 다음으로 바람, 파도 및 수온/해수밀도 차이에 의한 부가저항을 계산한다.

2-4 단계 : 파도와 수온/해수밀도 차이에 의한 부가저항을 계산할 때에는 ISO문서에 따르면 대수속도를 사용하여야 하나 아직 이 단계에서는 대수속도가 알려져 있지 않으므로 대신 double run의 대지속도를 평균한 값을 대수속도의 추정값으로 사용하여 계산한다.

5단계 : 모든 부가저항이 계산 완료된 후 DPM을 이용하여 선속과 동력을 추정한다.

6-7 단계 : 5단계에서 얻은 선속을 조류에 대해 보정하고, 보정된 선속을 이용하여 다시 DPM을 통해 동력을 추정한다.

8단계 : 만약 선속-동력 추정을 위해 full scale wake를 추정하는 방법을 사용하였다면 마지막으로 수정된 동력값을 이용하여 다시 한 번 선속에 대해 조류 보정을 수행하여야 한다.

9단계 : 만약 시운전을 수행한 위치의 수심이 낮다면 천수 효과를 보정하여 새로운 선속을 구한다.

10단계 : 또한, 시운전과 모형시험 사이의 배수량이 차이가 난다면 배수량 차이만큼 보정을 하여 새로운 동력값을 구한다.

11단계 : 이렇게 얻은 선속-동력값은 시운전을 수행한 하중 조건(load condition)에 대한 최종 결과가 되지만 만약 시운전을 수행하지 않은 하중조건에 대해서도 선속-동력을 추정하고 싶다면 유사한 방법에 따라 변환할 수 있다.

조류 보정 방법에 따라 상기 절차는 간단해 질 수 있는데 만약 조류 보정을 Mean of means 방법으로 한다면 조류 보정이 동력값에 독립적으로 이루어지므로 동력값이 변경되어도 조류 보정을 다시 수행할 필요가 없기 때문에 단계 5와 8을 수행할 필요가 없어진다.

4.2 입출력 데이터

i-STAP은 시운전 보고서를 제공하는 것이 목적이 아니라 선속-동력 해석을 수행하는 것이 그 목적이므로 시운전시 기록하는 모든 데이터를 입력할 필요가 없으며 선속-동력 해석에 필요한 데이터를 입력하면 되도록 개발되었다.

i-STAP에 필요한 입력데이터는 다음과 같다.

- 선박의 기본 제원
- 시운전시 계측한 데이터
- 파도에 의한 부가저항 계산에 theoretical method를 사용할
- 경우 침수형상 데이터
- 모형시험 결과

i-STAP의 출력데이터는 다음과 같다.

- 해석 결과 summary report
- 모든 중간계산결과가 포함된 상세 해석 결과 보고서
- 선속-동력 곡선
- 동력-RPM 곡선
- 조류 보정을 iterative 방법을 통해 했을 경우 추정된 조류 곡선

4.3 사용자 화면

i-STAP은 그래픽 사용자 인터페이스를 이용하여 최대한 직관적으로 데이터를 입력하고 쉽게 결과를 검토할 수 있도록 개발되었다. 또한 관련된 데이터끼리 모아서 직관적으로 어떤 데이터가 어떤 계산에 사용되는지 파악할 수 있도록 사용자 화면을 구성하였다.

그림 3은 i-STAP의 주 화면을 보여주고 있다. 왼쪽은 어떤 데이터가 아직 입력 완료되지 않았는지를 쉽게 파악 할 수 있도록 하였고 모든 필요 데이터가 입력되었을 경우에만 계산을 시작할 수 있다. ISO15016:2015에서는 어떤 계산 방법을 선택 하느냐에 따라 필요한 데이터가 달라지기 때문에 해당 기능은 큰 도움이 될 것이다.

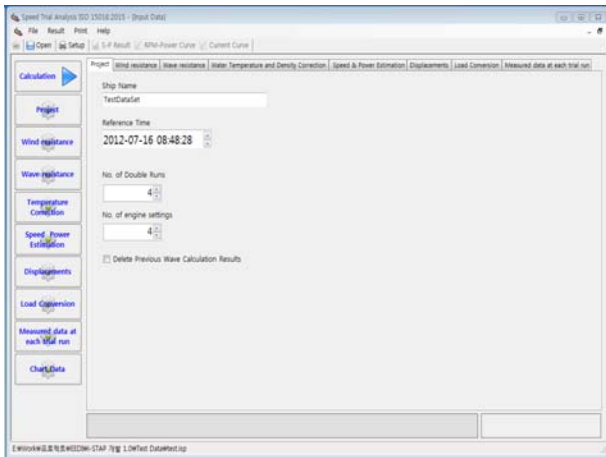


그림 3 i-STAP 메인 입력 화면

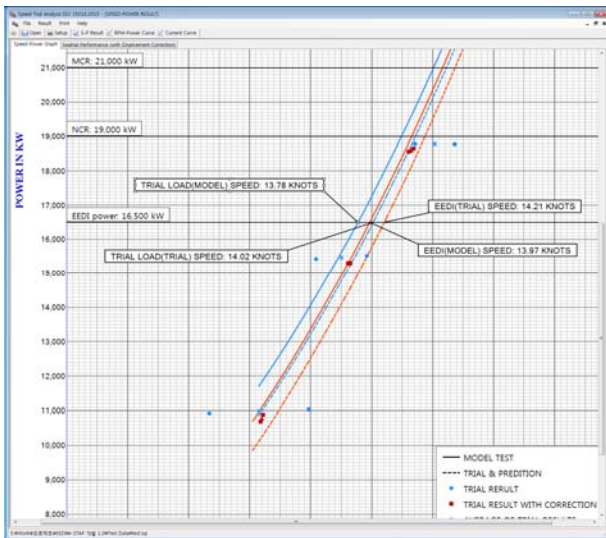


그림 4 선속-동력 곡선(예시)

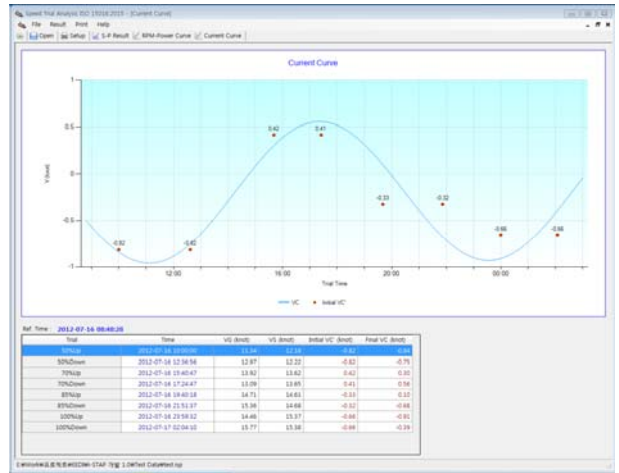


그림 5 조류 보정 곡선(예시)

This program is developed by KRISO
Copyright) 2015, KRISO, KOSHIPA & KR. All rights reserved.
Printed at 2015-07-19 05:02:47

Calculation Methods Summary									
Wind resistance calculation method	Wind tunnel test results								
Wave resistance calculation method	Used								
Direct power method	Theoretical method with simplified tank tests in short waves								
Current correction method	Iterative								
Shallow water correction	No correction								
Curve fitting method for trial condition	Shift tank test curve								

Ship Details									
Ship name	Reference Time	No. of Double Runs	No. of Engine Settings						
Zst	Za	Lwp	Awp	Awp	Awp	Dwp	Hwp	Hwp	Hwp
m	m	m	m ²	m ²	m ²	m	m	m	m
Tz	Ta	Lwp	Ca	xG	yG	Kwp	Kwp	Kwp	Kwp
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
14	14	1.7715	0	0	0.4	0.25	0.25	0.25	0.1
Target Power			MCR						
(Brake Power)			(Brake Power)						
16500			21000						

Measured data									
Name	Time	V ₀	V ₀	V ₀	V ₀				
		knots	m/s	m/s	m/s				
Ship's speed over ground	10:00:00	11.340	12.970	13.820	13.124				
Course direction		0.000	160.000	0.000	180.000				
Propeller shaft speed		28.900	59.400	65.000	65.000				
Measured Power (SHP)		10,828.686	11,039.089	15,612.845	15,425.425				
Relative wind velocity at anemometer height		12.400	3.550	3.650	3.650				
Relative wind direction at anemometer height		16.390	-80.080	14.820	-79.000				
Air temperature		14.800	14.800	14.800	14.800				
Water temperature at trial condition		15.300	15.300	15.300	15.300				
Water temperature at ideal condition		15.000	15.000	15.000	15.000				
Significant wave height (wave)		1.500	1.500	1.500	1.500				
Incident angle of wave (wave)		0.000	0.000	0.000	0.000				
Mean wave period (wave)		6.000	6.000	6.000	6.000				
Significant wave height (swell)		0.000	0.000	0.000	0.000				
Incident angle of wave (swell)		0.000	0.000	0.000	0.000				
Mean wave period (swell)		0.000	0.000	0.000	0.000				

Wind Resistance (Annex C)									
Name	V ₀	V ₀	V ₀	V ₀					
	knots	m/s	m/s	m/s					
Ship's speed over ground	11.340	12.970	13.820	13.124					
Relative wind velocity at anemometer height	12.400	3.550	3.650	3.650					
Relative wind direction at anemometer height	16.390	-80.080	14.820	-79.000					
True wind velocity at anemometer height	7.000	0.907	7.001	7.001					
True wind direction at anemometer height	29.982	29.984	29.987	29.987					
True wind velocity at anemometer height (double run average)	6.998	6.998	7.000	7.000					
True wind direction at anemometer height (double run average)	29.988	29.988	29.977	29.977					
True wind velocity at reference height	6.339	6.339	6.340	6.340					
Relative wind velocity at reference height	11.799	3.382	3.382	3.382					
Relative wind direction at reference height	15.939	-80.000	14.956	-80.000					
Wind resistance coefficient	0.855	0.328	0.842	0.842					
Wind resistance coefficient at head wind	0.800	0.800	0.800	0.800					
Air density at trial condition	1.200	1.200	1.200	1.200					
Resistance increase due to wind	6.579	-1.955	6.268	-1.955					

Wave Resistance (Annex D)									
Name	V ₀	V ₀	V ₀	V ₀					
	knots	m/s	m/s	m/s					
Ship's speed over ground	11.340	12.970	13.820	13.124					
Ship's speed through water (estimate)	12.185	12.185	12.185	12.185					
Significant wave height (wave)	1.500	1.500	1.500	1.500					
Incident angle of wave (wave)	0.000	0.000	0.000	0.000					
Mean wave period (wave)	6.000	6.000	6.000	6.000					
Significant wave height (swell)	0.000	0.000	0.000	0.000					
Incident angle of wave (swell)	0.000	0.000	0.000	0.000					
Mean wave period (swell)	0.000	0.000	0.000	0.000					
Water density at trial condition	1,024.993	1,024.993	1,024.993	1,024.993					
Resistance increase from motion (wave)	4.254	4.254	4.254	4.254					
Resistance increase from reflection (wave)	31.238	31.238	33.491	33.491					
Resistance increase from motion (swell)	0.000	0.000	0.000	0.000					
Resistance increase from reflection (swell)	0.000	0.000	0.000	0.000					
Resistance increase due to waves	35.492	35.492	37.736	37.736					

그림 6 상세 계산 결과(예시)

그림 4는 계산 완료 후 결과인 선속-동력 곡선을 보여주고 있다. 그림 5는 조류 곡선을 보여주고 있으며, 그림 6은 상세 계산 결과 보고서의 일부를 보여주고 있다. 요약보고서와 모든 그래프는 i-STAP 프로그램 내에서 확인이 가능하며 필요 시 pdf 또는 bmp, jpeg와 같은 파일 형식으로 출력 가능하다.

상세 계산결과 보고서는 엑셀 형식으로 출력되어 다른 보고서에 그 일부를 복사하여 붙여넣기 편리하도록 구성되어 있다.

선속-동력 그래프에는 많은 내용이 출력되기 때문에 사용자가 출력할 내용을 선택하고 위치를 변경할 수 있는 기능을 추가하였으며 그래프의 축도 변경이 가능하도록 하였다.

5. 결론

IMO에서 규제중인 EEDI값 분모항의 기준 선속(reference speed)을 결정하기 위한 기준 선속 해석법은 개정된 ISO15016:2015 또는 ITTC권고안을 사용하여야 한다. 이 두 가지 해석법은 기술적으로 불명확한 부분은 삭제하였고, 신기술을 도입하여 투명성을 높이는 방향으로 개정이 추진되었다.

개정된 해석법에 따라 시운전 해석을 수행할 수 있는 i-STAP 소프트웨어를 개발하였다. 본 소프트웨어는 두 가지 해석법에서 정의하고 있는 모든 계산 방법을 지원할 수 있으며 그래픽 기반의 인터페이스를 사용하여 직관적이고 쉽게 사용할 수 있다.

i-STAP에 의한 해석결과는 신조선 EEDI 기준선속의 결정, 획득 EEDI(Attained EEDI) 입급에 적용되고 있으며, 파랑중 부가저항, 공기저항, 황천에서의 최소추진출력 추정 등 다른 용도로도 사용이 가능하다. 개발된 i-STAP의 정도는 매우 우수한 것으로 확인 되었으며, 검증과정에 협력하였던 조선 설계전문가에게 감사의 뜻을 표하는 바이다.

참고 문헌

IMO, Amendments to the 2014 Guidelines on survey and certification of the Energy Efficiency Design Index(EEDI), Resolution MEPC.261(68), (May 2015)

IMO, 2015 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ship, Resolution MEPC.245(66) (April 2014)

ISO, Ships and marine technology — Guidelines for the assessment of speed and power performance by analysis of speed trial data, ISO15016:2015 (2015)

ISO, Ships and marine technology — Guidelines for the assessment of speed and power performance by analysis of speed trial data, ISO15016:2002, (2002)

ITTC, 'Analysis of Speed/Power Trial Data', ITTC Recommended Procedure and Guidelines 7,5-04-01-01,2 (2014)

ITTC, 'Preparation and Conduct of Speed/Power Trials', ITTC Recommended Procedure and Guidelines 7,5-04-01-01,1 (2014)

Sea Trial Analysis JIP, Recommended Analysis of Speed Trials, MARIN (2006)

Fujiwara T., Ueno M. & Ikeda Y., Cruising performance of a large passenger ship in heavy sea, 16th International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol. III (2006)

Tsujimoto, M., Shibata, K., Kuroda, M. & Takagi K., A Practical Correction Method for Added Resistance in Waves, Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol. 8 (2008)

신 명 수



- 1957년생
- 1989년 히로시마대학교 선박해양공학과 박사
- 현 재 : 선박해양플랜트연구소 책임연구원
- 관심분야 : 선박유체역학, GHG저감기술
- 연 락 처 : ***-***-****
- E - mail : msshin@kriso.re.kr

박 범 진



- 1977년생
- 2001년 서울대학교 산업공학과 석사
- 현 재 : 선박해양플랜트연구소 선임연구원
- 관심분야 : 선박 안전성 평가, 실해역 성능 해석
- 연 락 처 : ***-***-****
- E - mail : baracude@netopia.re.kr

이 경 중



- 1960년생
- 1990년 서울대학교 조선공학과 박사
- 현 재 : 선박해양플랜트연구소 책임연구원
- 관심분야 : 선박동역학 해석
- 연 락 처 : ***-***-****
- E - mail : gjlee@kriso.re.kr

기 민 석



- 1982년생
- 2011년 충남대학교 선박해양공학과 석사
- 현 재 : 선박해양플랜트연구소 연구원
- 관심분야 : 선박안전설계, 선체구조해석
- 연 락 처 : ***-***-****
- E - mail : mski@kriso.re.kr