

저항, 자항시험에 있어서의 불확실성 해석

박동우^{†*}, 김민규^{*}, 강선형^{*}

현대중공업 선박해양연구소^{*}

Uncertainty Analysis for the Resistance and Self-Propulsion Test of Ship Model

Dong-Woo Park^{*}, Min-Gyu Kim^{*} and Seon-Hyung Kang^{*}

Hyundai Heavy Industries Co., Ltd, Maritime Research Institute^{*}

Abstract

To predict the powering performance of full scale ships from the towing tank tests, resistance, propeller open water and self-propulsion tests are conducted. Model tests inevitably include the experimental error defined as the sum of two types of uncertainties, bias and precision errors. The induced errors in each element of model test are propagated through various routes and correlated with one another. The correlation coefficients are very important in the uncertainty analysis. The coefficient gives a direction(increase or decrease) for a value of error in individual elements. If the coefficient is not used accurately, the error bounds of the individual elements are overestimated or underestimated. In this study, the new methodology is applied to the uncertainty analysis of HMRI's towing tank tests, thus error bounds of each element is suggested and verified by several repetitive experiments.

※Keywords: Bias Error(고정오차), Precision Error(우연오차), Correlation Coefficient(상관관계 계수), Direction(방향성), Uncertainty Analysis(불확실성 해석), Repetitive Experiment(반복시험)

1. 서론

모형시험으로 계측한 어떤 물리량에 대한 불확실성 해석의 목적은 측정값에 대한 오차를 정

량화 하여 시험에 대한 신뢰성을 높이는 데 있다. 선형결정 및 선박의 운항성능을 추정하기 위해 수반되는 모형시험에 있어서 측정값의 신뢰도는 대단한 중요성을 가진다. 신뢰할 수 있는 시험결과를 얻기 위해서는 모형시험 중 불가피하게 수반되는 각종 오차의 한계를 정확히 파악하고 정량화하여 객관적인 지표를 얻는 것이 바람직하다.

23차 국제 예인수조 협의회(ITTC)에서는 수조

접수일: 2003년 1월 24일, 승인일: 2003년 10월 7일

† 주저자, E-mail: dwpark@hhi.co.kr

Tel: 052-230-5544

모형시험에 대한 불확실성 해석 결과를 발표한바 있으며, 실선 속도 추정에 대한 불확실성 해석 방법을 제시하고 있다.

본 논문에서는 세 가지 시험에 있어서 실선 확장 이전의 값(계수)에 대하여 불확실성 해석을 수행하였다. 그리고 요약에서 언급하였듯이 불확실성 해석에 있어서 오차 추정식에 상관관계 계수를 도입하였다.

본 논문에서 수행한 불확실성 해석 방법은 다음과 같다.

1) 세 가지 시험에 대한 불확실성 해석법을 개발하여 당 수조의 시험결과들에 대한 오차의 한계를 규명하고 반복시험으로 검증하였다.

2) 각 시험마다 각각의 계수들에 대한 오차추정식에 상관관계 계수를 도입하여 오차추정을 정확하게 규명하였다.

대상선박으로 일반상선 중 저속비대선인 원유 운반선과 중고속선인 컨테이너 운반선을 선택하였으며 시험 항목 및 반복시험 회수는 다음과 같다.

수행한 선종과 시험항목은 아래와 같다.

- 165,000 DWT 원유 운반선(TSTDF) : 저항 및 자항시험 5회, 프로펠러 단독시험 3회
- 6,200 TEU 컨테이너 운반선(TSTDC) : 저항 및 자항시험 4회, 프로펠러 단독시험 3회

2. 모형시험 및 불확실성 해석 방법

2.1 대상선박 선정 및 동력계 용량

불확실성 해석 수행을 위해서 사용한 선박은 원유 운반선과 컨테이너 운반선 두 척 이다. 저항 시험을 수행하여 보면 컨테이너 운반선 보다 원유 운반선의 저항값들이 전 속도영역에서 넓은 산포도(Scatter)를 보여주며, 특히 저속 영역에서 이러한 현상을 많이 보여주고 있다. 자항시험인 경우에도 원유운반선의 계측값(추력(Thrust), 토크(Torque), 회전수(Rps))들이 동일한 현상을 보여준다. 저속 비대선을 선택한 이유는 계측값에서 나타나는 이러한 현상들이 시험 결과에 어느 정도의 오차를 내포하고 있는지 그리고 그 오차를 유발하는 원인은 무엇인지를 파악하려고 하였다. 두 번째 선형으로는 컨테이너 운반선인데 이 선형은

원유 운반선과 비교하여 볼 때 선형의 모습이나 주요치수 등 여러 가지 관점에서 매우 다르기 때문에 이러한 선형에 대한 시험오차도 함께 비교하고자 하였다.

시험에 사용되어진 저항동력계는 100N용량을 사용하였으며, 자항동력계는 Thrust는 120N, Torque는 6N-m 그리고 프로펠러 단독시험은 Thrust 240N, Torque 12N-m의 용량의 동력계를 사용하였다.

2.2 불확실성 해석의 일반적인 방법

계측에서의 오차의 정의는 측정값에서 참값을 뺀 차이로서 이의 오차를 총 오차 δ_k 라 하며, 총 오차는 고정적으로 나타나는 고정오차(bias or fixed error) β 와 계측 시 인위적으로 통제될 수 없는 우연오차(precision error, random or repeatability error) ϵ_k 로 나누어진다. 불확실성 해석에서 우연오차는 식(1)로 나타낸다.

$$S_x = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

여기서 \bar{X} : N개에 대한 측정값의 평균값
 X_i : 평균값 \bar{X} 를 얻기 위해 택한 N개의 측정값

$u=N-1$ 로서 식(1)에 대한 자유도를 나타낸다. N의 값이 크면 클수록 즉, 자유도가 크면 클수록 확률적으로 보다 정확한 S_x 를 구할 수 있다. 반복오차의 한도는 식(1)로 주어진 시험 표준 편차를 구하여 어떤 신뢰도 범위 내(본 연구는 95%의 신뢰도로 구함)에서 아래의 식으로 구하게 된다.

$$P_x = t S_x \quad (2)$$

여기서 t는 어떤 통계적인 의미를 가지는 수치 값으로서 보통 student t 값이라고 불리며 신뢰도(c)와 자유도(u)의 함수이다. t의 값은 자유도(데이터 취득 수)가 증가하면 2에 수렴한다.

일반적으로 불확실성 값 추정법에는 2가지가 있는데 하나는 자승의 평방근법(Root Sum Square, RSS)으로서 다음과 같다.

$$U_{x \cdot RSS} = (B^2 + P_x^2)^{1/2} \quad (3)$$

다른 하나는 가산법(ADD)으로서 다음과 같다.

$$U_{X, ADD} = B + P_x \quad (4)$$

본 연구에서는 (1)식의 RSS법을 사용하였다. 불확실성 해석 방법에 대한 구체적인 내용은 참고 문헌[2,3]에 자세히 언급되어 있다. 불확실성 해석 과정에 대한 순서도는 Fig.1에 나타내었다.

2.3 불확실성 해석의 범위와 오차전달 경로

세 가지 시험에 대한 각 요소의 오차규명 범위는 실선 확장 이전의 값(계수)에 대하여 불확실성 해석을 수행하였다.

저항시험

Fig.2에는 저항시험에 대한 오차전달 경로를 도시하였으며, 최상단의 각 항목들은 각각의 시험에서 오차를 유발시키는 최초의 요소들이다. 이 오차요소들은 하나의 계수에만 전달되는 것이 아니라 여러계수에 전달되며, 또한 오차를 포함한 계수들은 다른 계수들에도 오차를 전파시킨다. 최종적으로 저항시험의 불확실성 해석은 모형선의 총 저항 계수(C_{TM}), 마찰저항 계수(C_{FM}), 형상계수 ($1+k$) 그리고 조파저항 계수(C_{WM})에 대한 오차의 한계를 규명하였다.

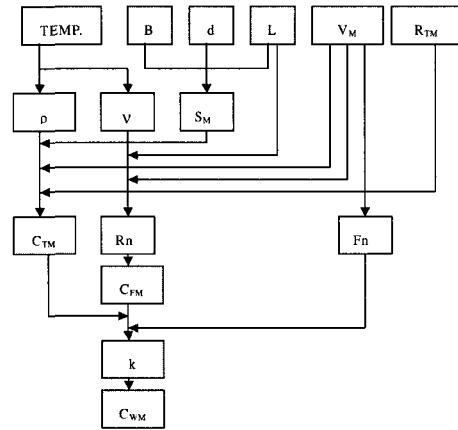


Fig. 2 The flow of error propagation for resistance test

프로펠러 단독시험

프로펠러 단독시험에 있어서의 불확실성 해석은 제1단계로서 예측된 항목들(즉 회전수, 추력, 토오크 등)에 대한 정확도와 정밀도를 구하고 제2단계로서는 전진비(J_M), 추력계수(K_{TOM}), 토오크계수 ($K_{\alpha OM}$), 단독효율계수(η_{OM})를 얻기까지의 해석과정에서 오차의 전파 및 새로이 발생하는 오차들에 대한 불확실성 해석을 수행하였다. Fig.3에는 오차 전달경로를 도시하였다.

자항시험

자항시험에 있어서의 불확실성 해석은 Fig.4에 보여주듯이 해석항목의 오차는 자항시험 자체뿐만 아니라 프로펠러 단독시험 및 저항시험 결과로부터 다양하게 전달되어 나타나기 때문에 주의깊게 요소오차를 찾아 최종오차에 포함시켜야 한다. 자항시험의 불확실성 해석은 추력감소계수(t), 반류 계수(W_{TM}), 상대회전효율계수(η_R)관점에서 오차의 한계를 규명하였다. 오차전달 경로를 살펴보면 자항요소 중 t 에 대한 오차를 구하기 위해서는 저항 시험으로부터 유기되는 요소중 저항시험과 자항시험 사이의 수온을 보정한 저항값 R_c 의 오차를 알고 있어야 한다. 그리고 W_{TM} 의 오차를 구하기 위해서는 프로펠러 단독시험에서 Thrust Identity에 의한 J_M 의 오차를 알아야 한다. 또한 η_R 의 오차를 구하기 위해서는 프로펠러 단독시험에서 해당되는

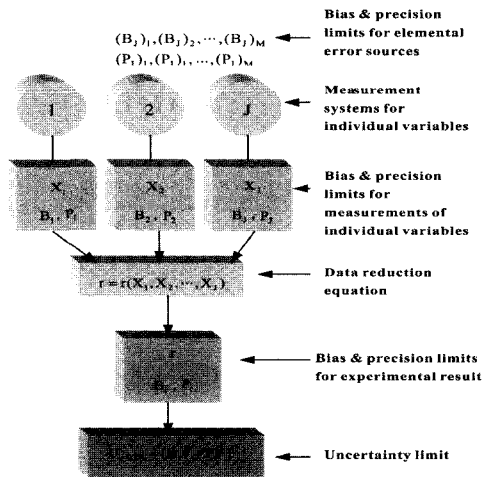


Fig. 1 Schematic diagram for uncertainty analysis procedure

J_M 에서의 토오크 계수(K_{QOM})의 오차를 알아야 한다.

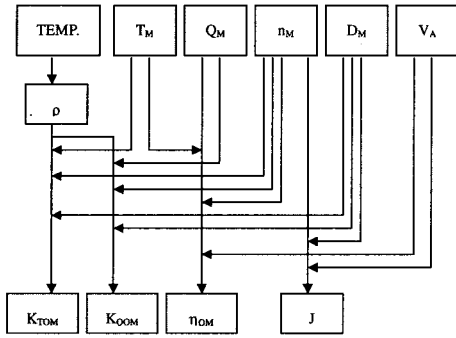


Fig. 3 The flow of error propagation for propeller open water test

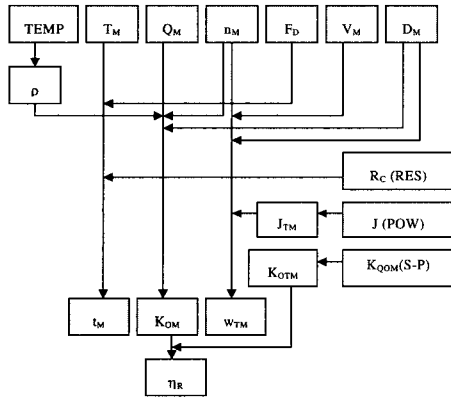


Fig. 4 The flow of error propagation for self-propulsion test

3. 불확실성 해석 결과

세 가지 시험에 대한 불확실성 해석 평가를 위해서 사용한 데이터는 실제 계측된 값, 즉 Raw 데이터 이다.

3.1 저항시험

원유운반선

Fig.5에서는 독립적으로 총 5번의 저항시험을 실시하여 각 시험마다의 C_{TM} 에 대한 값과 오차막

대기를 나타내었다. Table.1에서는 5회의 저항시험 중 3회에 대하여 C_{TM} , $1+k$, C_{WM} 의 고정오차, 우연오차 그리고 전체오차 값을 나타내었다. 물론 각각 1회의 저항시험에 대하여 각 속도마다 구체적인 오차의 양을 계산할 수 있으나 지면상 생략한다. Table.1에 정리된 속도는 시험이 수행되어지는 속도 영역에서 최저속도인 $Fn=0.099$ 와 최고속도인 $Fn=0.175$ 그리고 $Fn=0.145$ 에 대한 오차의 범위를 비교하였다.

5회 동안 실시된 C_{TM} 에 대한 오차범위를 비교하여 보면, $Fn=0.145$ 에서는 최대 1.5%, 최소 0.6%로서 일반적으로 생각했던 오차의 한계보다는 적다고 판단되어진다. $Fn=0.175$ 에서는 오차의 범위가 최대 1.5%, 최소 0.6%이다. 이러한 결과로부터 알 수 있는 것은 $Fn=0.145\sim 0.175$ 구간에서는 총 저항값(R_{TM})이 약 50에서 70N이 계측되는데, 이 영역에서는 C_{TM} 추정치에 대한 오차는 1.0% 내외로 판단되어진다. 가장 저속인 $Fn=0.1$ 근처에서는 저항값이 약 20N이 계측되며, 5회시험 동안 최대 4.0%, 최소 1.0%로서 그 분포도가 상대적으로 불안정 하다고 볼 수 있다.

조파저항 계수인 C_{WM} 은 $Fn=0.145$ 에서 오차의 범위가 적게는 5.0% 많게는 10.0%로서, 그 양이 많아 보인다. 그러나 저속비대선의 경우에 조파저항값이 전저항 값에서 차지하는 비율이 작기 때문에 그 참값에 미치는 영향은 얼마되지 않는다고 본다. 부연하면 C_{WM} 은 C_{TM} , $1+k$, C_{FM} 의 함수이며, 따라서 C_{TM} , $1+k$, C_{FM} 에 관한 상관관계 계수를 고려하여 오차 추정을 수행하였다. 이로 인해 불확실성 해석 추정치에 타당한 결과를 주었다고 판단되어진다. 조파저항 계수에 대한 오차 추정식은 부록1에 나타내었다.

Table. 2에는 C_{WM} 의 오차 추정에 있어서 상관관계(계수)를 고려한 경우와 무시한 경우에 대한 결과를 나타내었으며, 무시한 경우에는 추정된 값이 부정확하게 과대평가 된다는 것을 보여주고 있다.

컨테이너 운반선

Fig.6과 Table.3에서는 컨테이너 운반선에 대한 결과를 보여주고 있다. 저속 영역에서는 참값 자

Table 1 Results of uncertainty analysis for resistance coefficients (crude oil carrier)

총저항 계수(CTM)

시험 회수	F _N	Value	상관관계 계수를 고려한 C _{WM}			%
			고정오차	우연오차	전체오차	
1	0.099	4.22E-3	4.67E-5	1.38E-4	1.46E-4	3.45
	0.145	3.99E-3	2.26E-5	5.64E-5	6.08E-5	1.52
	0.175	3.93E-3	1.61E-5	5.75E-5	5.97E-5	1.52
2	0.099	4.34E-3	4.23E-5	3.94E-5	5.78E-5	1.33
	0.145	4.07E-3	2.09E-5	1.44E-5	2.54E-5	0.62
	0.175	3.98E-3	1.53E-5	1.66E-5	2.26E-5	0.57
3	0.099	4.23E-3	3.73E-5	1.68E-4	1.72E-4	4.07
	0.145	3.98E-3	1.95E-5	2.64E-5	3.28E-5	0.83
	0.175	3.90E-3	1.56E-5	3.41E-5	3.75E-5	0.96

형상 계수(1+k)

시험 회수	F _N	Value	상관관계 계수를 고려한 C _{WM}			%
			고정오차	우연오차	전체오차	
1	0.099	1.271	1.42E-2	4.16E-2	4.40E-2	3.46
	0.145	1.278	7.35E-3	1.82E-2	1.97E-2	1.54
	0.175	1.282	5.50E-3	1.92E-2	2.00E-2	1.56
2	0.099	1.275	1.26E-2	1.18E-2	1.72E-2	1.35
	0.145	1.270	6.66E-3	4.83E-3	8.23E-3	0.65
	0.175	1.262	5.13E-3	5.66E-3	7.64E-3	0.61
3	0.099	1.245	1.11E-2	4.97E-2	5.09E-2	4.09
	0.145	1.232	6.20E-3	8.36E-3	1.04E-2	0.84
	0.175	1.208	5.19E-2	1.12E-2	1.24E-2	1.02

조파저항 계수(C_{WM})

시험 회수	F _N	Value	상관관계 계수를 고려한 C _{WM}			%
			고정오차	우연오차	전체오차	
1	0.099	4.10E-5	5.09E-6	6.58E-6	8.32E-6	20.26
	0.145	9.32E-5	4.56E-6	5.95E-6	7.50E-6	8.04
	0.175	1.53E-4	4.41E-6	5.79E-6	7.28E-6	4.77
2	0.099	6.41E-5	5.72E-6	7.60E-6	9.51E-6	14.82
	0.145	8.71E-5	4.01E-6	1.79E-6	4.39E-6	5.04
	0.175	1.23E-4	4.87E-6	6.53E-6	8.15E-6	6.63
3	0.099	4.40E-5	5.46E-6	7.04E-6	8.91E-6	20.23
	0.145	8.92E-5	4.74E-6	6.32E-6	7.89E-6	8.86
	0.175	1.34E-4	4.56E-6	6.10E-6	7.61E-6	5.69

Table 2 Results of uncertainty analysis for coefficients (crude oil carrier)

F _N	상관관계 계수를 고려한 C _{WM}			상관관계 계수를 무시한 C _{WM}		
	Value	Uncertainty	%	Value	Uncertainty	%
0.099	4.40E-5	8.91E-6	20.23	4.40E-5	2.43E-4	553.05
0.145	8.92E-5	7.89E-6	8.86	8.92E-5	4.78E-5	53.59
0.175	1.34E-4	7.61E-6	5.69	1.34E-4	5.41E-5	40.45

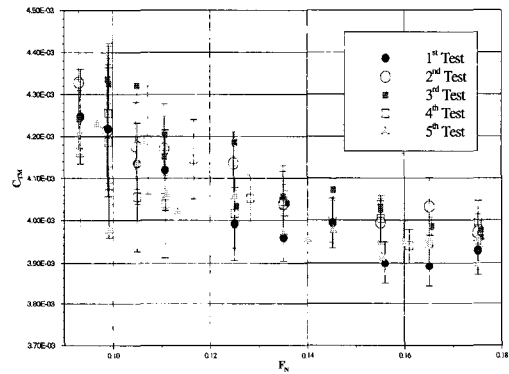


Fig. 5 Total resistance coefficient CTM and range of uncertainty (crude oil carrier, five tests)

Table 3 Results of uncertainty analysis for resistance coefficients (container carrier)

F _N	C _{TM}			1+k			C _{WM}		
	Value	Uncertainty	%	Value	Uncertainty	%	Value	Uncertainty	%
0.205	3.23E-3	3.57E-5	1.11	1.070	1.26E-2	1.18	7.99E-5	5.51E-6	6.90
0.245	3.37E-3	2.65E-5	0.79	1.079	9.66E-3	0.89	3.13E-4	5.40E-6	1.73
0.265	3.54E-3	3.86E-5	1.09	1.106	1.42E-2	1.28	5.25E-4	5.56E-6	1.06
0.205	3.36E-3	3.66E-5	1.09	1.079	1.25E-2	1.16	2.08E-4	6.58E-6	3.16
0.245	3.47E-3	2.20E-5	0.63	1.078	7.76E-3	0.72	4.13E-4	6.48E-6	1.57
0.265	3.60E-3	2.74E-5	0.76	1.086	9.76E-3	0.90	5.83E-4	6.56E-6	1.12
0.205	3.30E-3	2.44E-5	0.74	1.051	8.32E-3	0.79	1.97E-4	6.40E-6	3.26
0.245	3.41E-3	1.70E-5	0.50	1.043	5.95E-3	0.57	4.02E-4	6.33E-6	1.57
0.265	3.54E-3	1.75E-5	0.49	1.048	6.21E-3	0.59	5.57E-4	6.58E-6	1.14

Table 4 Results of uncertainty analysis for C_{WM} coefficients (container carrier)

F_N	상관관계 계수를 고려한 C_{WM}			상관관계 계수를 무시한 C_{WM}		
	Value	Uncertainty	%	Value	Uncertainty	%
0.205	1.97E-4	6.40E-6	3.26	1.97E-4	3.56E-5	18.10
0.245	4.02E-4	6.33E-6	1.57	4.02E-4	2.55E-5	6.33
0.265	5.57E-4	6.58E-6	1.14	5.57E-4	2.65E-5	4.60

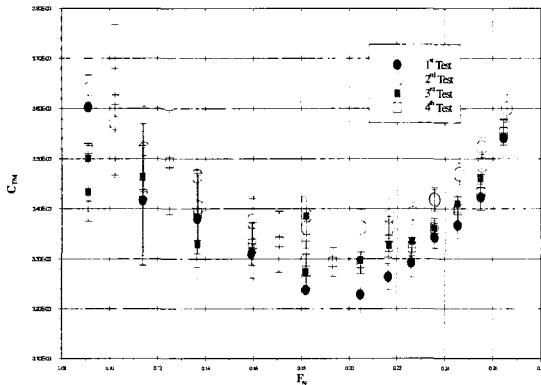


Fig. 6 Total resistance coefficient C_{TM} and range of uncertainty (container carrier, four tests)

체의 분포도가 넓고, 오차범위도 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다. 반면에 $F_n=0.245$ 에서는 그 양이 적음을 보여주고 있다. Table.2에서는 $F_n=0.245$ 근처의 3개 속도에 대한 오차의 한계를 나타내었다. $F_n=0.205$ 에서는 저항동력계에 측정되는 총저항값(R_{TM})이 약 50N, $F_n=0.245$ 에서는 80N 그리고 $F_n=0.265$ 에서는 약 100N이 측정되었다. 세 가지 속도에서 C_{TM} 의 오차 범위는 0.5%에서 1.1%정도로 평가되었으며, 원유 운반선과 비교하여 보면 작은 오차범위라고 판단되어진다. 원유 운반선의 C_{TM} 오차와 종합하여 보면 당 수조에서 사용하는 동력계(용량 100N)로 50N 이상의 힘을 측정한다면 C_{TM} 의 오차는 약 1.0% 내외의 양을 포함한다고 보여진다.

C_{WM} 은 $F_n=0.245$ 근처에서 약 1.5%내외의 오차를 내포하고 있으며, 저속에서는 3.0%에서

7.0% 정도이다. Table.4에서는 C_{WM} 의 추정에 있어서 상관관계 계수를 고려한 경우와 무시한 경우에 대한 결과를 보여주고 있으며, 무시한 경우의 결과가 상당히 과대평가 되는 것을 보여주고 있다.

3.2 프로펠러 단독시험

선종별로 프로펠러에 대하여 각각 시험을 3회 수행하였다. 각 계수들에 대한 오차 범위를 살펴 보면 전진비(J_M)의 오차는 0.5%, 추력 계수(K_{TOM})는 1.0%, 토오크 계수(K_{QOM})는 1.0% 그리고 최종적으로 프로펠러 효율계수(η_D)에서는 상관관계에 의하여 그 오차가 0.6%로 감소하였다.

3.3 저항시험

계측되는 물리량에 대한 오차

수행되어진 시험영역에서의 회전수(Rps)는 7.0에서 12.0영역이다. 가장 낮은 Rps인 7.0에서는 오차가 약 0.7%이며, Rps가 증가함에 따라 점차적으로 오차의 양이 줄어들어 12.0 Rps에서는 오차가 0.5%로 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이에 따라 추력(Thrust)과 토오크(Torque)에 대한 오차도 동일하게 줄어드는 경향을 보여주었다. 세 가지 물리량 중에서 전반적으로 Torque값에 대한 오차가 다른 두 가지 값의 오차보다 크게 나타났다.

세 가지 저항요소(t , W_{TM} , η_D)에 대한 오차 추정 방법

추력감소 계수(t)에 대한 오차 분석을 수행하기 위해서는 저항동력계로 부터 측정되는 Thrust, 저항시험으로부터 유기되는 R_C 그리고 F_D 에 대한 오차를 파악해야 한다. F_D 에 대한 오차의 추정 방법은 다음과 같다.

당 연구소의 시험법은 Load Varying방식으로서 1개의 속도 그룹에서 원하는 F_D 에 해당되는 물리량(Rps, Thrust, Torque)을 얻기 위해서, 회전수를 달리하여 세번 정도를 예인하게 된다. 따라서 F_D 에 대한 오차는 세번의 예인 후 측정되는 세가지의 F_D 에 대한 오차를 각각 구해서, 알고자 하는 F_D 에서의 오차를 Fitting 하여 구하였다.

Rps, Thrust, Torque에 대한 오차도 동일한 방법으로 구하였다.

반류계수(W_{TM})에 대한 오차 분석을 위해서는 프로펠러 단독시험으로 부터 전진계수 J_M 에 관한 오차를 가져와야 한다. 상대회전효율(η_R)에 대한 오차 분석 역시 프로펠러 단독시험에서 해당하는 전진계수에 대하여 Torque 계수(K_{QOM})의 오차를 알아야 한다. 그러나 이들의 오차를 구하기 위해서는 프로펠러 단독곡선에서 정확한 K_{TOM} 에 해당되는 J_M 과 K_{QOM} 의 오차를 알아야 하지만, 불가능하기 때문에 이미 알고 있는 근처의 J_M 과 K_{QOM} 오차로부터 Fitting하여 구하였다

세가지 자항요소(t, W_{TM} , η_R)에 대한 오차 분석

Table.5와 Table.6에서는 1회시험에 대하여 최종적인 t, W_{TM} , η_R 에 대한 오차 분석 결과를 나타내었다.

t의 오차는 원유운반선인 경우에는 15.5 kts에서 약 7.0%의 오차를 포함하고 있으며, 콘테이너 운반선은 25.5 kts에서 약 7.0%의 오차를 포함하고 있다. t의 오차는 자항동력계로 부터 계속되어지는 Thrust에 대한 오차 양 보다 저항동력계로 부터 계속되는 F_D 의 오차가 지배적인 요소로 영향을 주었다. F_D 값은 약 30N 이하로 계속되었기 때문에 이 영역에서는 저항시험에서 결론내렸듯이 그 값의 오차가 다소 큼을 알 수 있었다.

W_{TM} 의 오차 분석을 위해서는 전진계수, Rps, 프로펠러 직경 그리고 전차속도의 오차를 파악해야한다. 그 결과 원유 운반선은 15.5 kts에서 1.0% 내외의 오차를 나타내었으며, 콘테이너 운반선은 25.5 kts에서 약 2.7%의 오차를 포함하였다.

토오크 계수(K_{QM})에 대한 오차는 원유운반선인 경우에 1.2%에서 1.5%의 오차를 내포하였으며, 콘테이너 운반선은 1.0%정도의 오차를 포함하였다. 원유 운반선의 오차가 큰 이유는 계속되는 물리량에 대한 오차에서 언급하였듯이 낮은 회전수에서 적게 계속되어지는 토오크 값에 상대적으로 더 많은 오차가 포함된다는 것으로 설명되어진다.

η_R 에 대한 불확실성 해석은 자항동력계로 부터의 토오크 계수(K_{QM})와 프로펠러 단독시험에서의 토오크 계수(K_{QOM})의 오차에 의해서 결정되어 진

다. 프로펠러 단독시험에서 토오크 계수의 오차는 두가지 선형이 모두 유사한 양을 보이기 때문에 결국 자항 동력계로부터 계속된 토오크 계수의 오차에 지배적으로 영향을 받는다. 원유운반선은 약 1.6% 그리고 콘테이너 운반선은 1.5%정도의 오차를 나타내었다. Fig.7과 Fig.8은 각 선종에 대하여 세가지 자항요소 결과를 그림으로 나타내었다.

Table 5 Results of uncertainty analysis for self-propulsion factors(crude oil carrier)

V_S	t			W_{TM}			ETAR		
	Value	Uncertainty	%	Value	Uncertainty	%	Value	Uncertainty	%
14.50	0.239	1.93E-2	8.05	0.440	4.41E-3	1.00	1.026	1.74E-2	1.69
15.50	0.252	1.83E-2	7.28	0.439	4.21E-3	0.96	1.029	1.64E-2	1.59
16.50	0.259	1.63E-2	6.31	0.440	4.05E-3	0.92	1.032	1.56E-2	1.51

Table 6 Results of uncertainty analysis for self-propulsion factors(container carrier)

V_S	t			W_{TM}			ETAR		
	Value	Uncertainty	%	Value	Uncertainty	%	Value	Uncertainty	%
24.50	0.224	1.34E-2	5.95	0.246	7.11E-3	2.89	1.011	1.49E-2	1.47
25.50	0.221	1.57E-2	7.10	0.243	6.67E-3	2.74	1.012	1.45E-2	1.44
26.50	0.226	1.36E-2	6.00	0.240	6.30E-3	2.63	1.011	1.41E-2	1.40

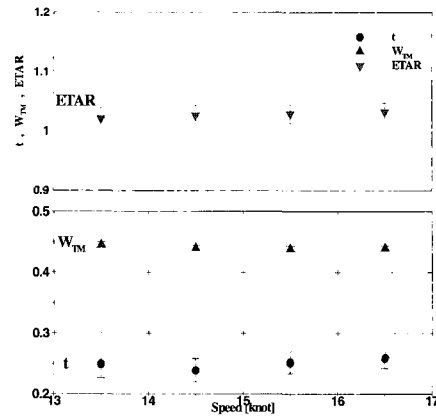


Fig. 7 Results of uncertainty analysis for self-propulsion test(crude oil carrier)

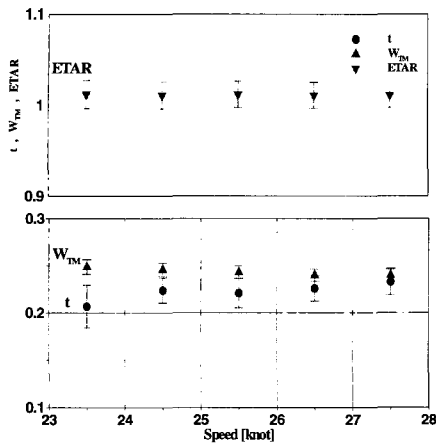


Fig. 8 Results of uncertainty analysis for self-propulsion test(container carrier)

4. 결론

본 논문에서 사용한 오차추정식은 변수(요소)들 사이에 상관관계가 성립할 경우에는 상관관계 계수를 정확하게 고려함으로써 추정된 오차의 범위에 신뢰성을 높였다고 할 수 있다.

1) 관심있는 속도 영역(설계속도 근처)에서 C_{TM} 의 오차는 약 1.0% 내외임을 알 수 있었다. 이 정도의 값이면 모형시험에 대한 충분한 신뢰성과 정당성을 보여준다고 판단되어진다.

2) 원유 운반선의 조파저항 계수(C_{WM})는 오차의 양이 5.0%~10.0%로서, 그 오차의 범위가 다소 넓지만 저속비대선의 C_{WM} 이 전 저항에서 차지하는 비율이 3.0% 내외라고 본다면 참값에 미치는 영향은 얼마되지 않는다고 판단되어진다. 부연하면 C_{WM} 은 C_{TM} , $1+k$, C_{FM} 의 함수이며, 따라서 오차 추정에 있어서 C_{TM} , $1+k$, C_{FM} 에 관한 상관관계 계수를 고려하였다. 이로 인해 불확실성 해석 추정에 타당한 결과를 주었으며, 상관관계 계수를 고려하지 않은 경우에는 그 오차의 추정 값이 과대하게 평가되었다.

3) 프로펠러 단독시험에서는 두 가지 선종 모두

J_M , K_{TOM} , K_{QOM} 값의 오차가 1.0%내외이며, 최종적으로 η_D 관점에서는 상관관계 계수에 의해서 그 오차의 양이 작아져 약 0.6%의 오차를 나타내었다.

4) 추력감소계수는 다른 저항요소에 비해서 상대적으로 큰 오차를 포함하는 것으로 보여진다. 이러한 이유는 저항동력계로 부터 계측되는 F_D 그리고 저항시험으로부터 유기되는 R_c 의 오차가 영향을 주었다고 판단되어 진다.

5) 반류계수와 상대회전효율계수에 대한 오차는 모두 양호한 것으로 판단되어 진다.

6) 향후계획으로는 모형선 장비 Setting 및 모형시험 수행시 오류를 범할 수 있는 부분들(측계 시스템의 비일직선, 선수미 가이드의 비일직선, 배수량 오차등)에 대하여 Bias Error를 발생시켜서 저항, 저항 성능 및 최종적으로 속도추정에 미치는 결과에 대하여 파악하고자 한다.

참 고 문 헌

- ITTC Quality Manual, 23rd International Towing Tank Conference(2002), Venice, Italy
- H.W. Coleman and W.G. Steele, Experimentation and Uncertainty Analysis for Engineers, John Wiley & Sons, 1989
- 전호환, 김재신, 저항시험에 있어서의 불확실성 해석, 현대 선박해양연구소 보고서 HMRI-93-01-S104, 1993. 1
- Proceedings of the 19th International Towing Tank Conference(1990), Vol.1, Madrid, Spain.
- ITTC Quality Manual, 22nd International Towing Tank Conference(1999), Seoul, Korea and Shanghai, China.

부록 1 조파저항 계수에 대한 오차 추정식

C_{WM}의 정의

$$C_{WM} = C_{TM} - (1+k)C_{FM} \quad (1)$$

영향계수

$$\frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{TM}} = 1.0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial C_{WM}}{\partial k} = -C_{FM} \quad (3)$$

$$\frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{FM}} = -(1+k) \quad (4)$$

고정오차

$$B_{C_{WM}} = [(\frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{TM}} B_{C_{TM}})^2 + (\frac{\partial C_{WM}}{\partial k} B_k)^2 + (\frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{FM}} B_{C_{FM}})^2 + (2 \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{TM}} \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial k} \cdot \rho_{C_{TM}k} \cdot B_{C_{TM}} \cdot B_k) + (2 \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{TM}} \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{FM}} \cdot \rho_{kC_{FM}} \cdot B_k \cdot B_{C_{FM}}) + (2 \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{TM}} \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{FM}} \cdot \rho_{C_{TM}C_{FM}} \cdot B_{C_{TM}} \cdot B_{C_{FM}})]^{1/2} \quad (5)$$

우연오차

$$R_{C_{WM}} = [(\frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{TM}} R_{C_{TM}})^2 + (\frac{\partial C_{WM}}{\partial k} R_k)^2 + (\frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{FM}} R_{C_{FM}})^2 + (2 \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{TM}} \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial k} \cdot \rho_{C_{TM}k} \cdot R_{C_{TM}} \cdot R_k) + (2 \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{TM}} \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{FM}} \cdot \rho_{kC_{FM}} \cdot R_k \cdot R_{C_{FM}}) + (2 \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{TM}} \cdot \frac{\partial C_{WM}}{\partial C_{FM}} \cdot \rho_{C_{TM}C_{FM}} \cdot R_{C_{TM}} \cdot R_{C_{FM}})]^{1/2} \quad (6)$$

전체오차

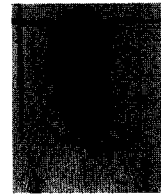
$$U_{C_{WM}} = [B_{C_{WM}}^2 + (2 \cdot R_{C_{WM}})^2]^{1/2} \quad (7)$$



< 박 동 우 >



< 김 민 규 >



< 강 선 형 >