

퍼지 모델링에 의한 선미 형상 설계

Stern Profile Design using Fuzzy Modeling

김수영*, 김현철**, 김성환**

Soo Young Kim*, Hyun Cheol Kim**, Seong Hwan Kim**

요 약

본 연구에서는 유전자 알고리즘과 Hooke & Jeeves 방법을 적용한 퍼지 모델링 기법을 이용하여 저속비대선에서 선미 형상의 주요 치수를 결정하고, 이를 실적선과 비교하였다.

ABSTRACT

This paper presents a method that determines the stern profile dimensions for full, slow-speed ship using fuzzy modeling, which is applied the genetic algorithm and the Hooke & Jeeves method. The inferred stern profile dimensions have compared with real ships.

I. 서 론

일반적으로 저속비대선이란 Froude number 0.2이하, 방형 계수(Block coefficient) 0.75이상의 선박을 말하며, 그 주된 특징은 다음과 같다.

- (1) 선수 Entrance곡선부와 선미 Run곡선부가 짧고, 중앙평행부가 길다.
- (2) Cp-곡선은 Entrance와 Run곡선부가 모두 포물선 모양의 비교적 단조로운 곡선이다.
- (3) Entrance곡선부는 주로 조파 저항을, Run곡선부는 형상 저항과 자항 성능에 영향을 미친다.
- (4) 전체 저항 가운데 점선 저항이 차지하는 비율이 비교적 크다.

저속비대선의 선형 설계는 선형가분의 원리[1]에 따

라 수행한다. 즉, 선체 전체를 선수 Entrance부분, 선미 Run부분 그리고 중앙평행부로 각각 분할하고, 각 부분이 갖는 저항 및 추진 성능상의 주요 특성을 조합하여 배 전체의 성능을 추정하게 된다. 이때 저속비대선의 선수미부 Profile형상의 결정은 저항 및 추진 성능면에 중요한 영향을 미치며, 특히 선미부 Profile형상은 선형, 프로펠러, 타의 상호관계를 고려하여 결정해야 하므로 축적된 전문가의 경험이 요구된다. 선미 형상을 결정하는 문제는 타의 형상, 선체의 형상 및 진동 소음 문제와 밀접한 관계를 가지기 때문에 초기 선형 설계시 체계적인 계산 및 수조 시험을 통한 선미부의 기하학적 형상과 위치 검증이 필요하다.

한편, 초기 설계시 기존의 저속비대선의 선미 형상과 프로펠러의 데이터를 정리해 두고, 이를 퍼지 모델링(Fuzzy modeling)으로 처리하면 선미 형상의 주요 치수가 보다 신속하게 얻어질 것으로 기대된다. 퍼지이론(Fuzzy theory)에 의하면 복잡한 비선형 시스템(Nonlinear system)과 같이 내부 구조를 알기 어려

*부산대학교 조선 해양 공학과/기계 기술 연구소
**부산대학교 조선 해양 공학과 대학원

운 시스템에 대하여 입출력 데이터만으로도 그러한 시스템의 모델링(Modeling)이 가능하다. 퍼지 모델링을 선형 설계에 접목시키는 연구들은 초기 선형을 결정하는 방법 중 유사실적선이 없을 경우에 사용할 수 있는 Form parameter방법에 퍼지 모델링을 이용한 것 [2]과 Cp-곡선으로부터 직접 선체 선도를 얻는 것 [3] 등이 있으나, 이들 방법에서는 선수미부 형상이 전체 선형과 분리되지 않고 함께 결정된다. 따라서 선형 가분 원리가 적용될 수 있는 저속비대선과 같이 선수미부 형상을 보다 정교하게 분리해서 결정할 필요가 있을 때는 선수미부 형상을 새롭게 수정해야 하는 문제가 남아 있었다.

본 연구에서는 선형 가분 원리가 적용될 수 있는 저속비대선형에서 축적된 선미부의 기하학적 정보들로 퍼지 모델링을 행하여, 주어지는 설계 요구 조건을 만족시키는 선미 형상의 주요 치수 결정을 시도한다.

II. 본 론

2.1 저속비대선의 선미 형상

Fig.1은 다양한 선미 형상의 공통적인 기하학적 특성을 나타내며, Fig.1에서의 형상 계수(Form parameter) 들은 상호 관련성을 가지고 구성되어 있다. 선미 형상은 속도-마력 결과에 따른 프로펠러의 특성, Cp-곡선, Run계수 e_a 등의 정보들로부터 형상 계수들을 결정해 나간다[4].

본 연구에서는 L/B , B/T , 선미부 주형 계수 C_{pa} , 프로펠러 지름 D_p 등을 초기 조건으로 하여 퍼지 모델링을 사용한 선미 형상 계수 결정을 시도하며, 선미 형상 결정을 위한 함수는 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned}
 \textcircled{1} e_a &= f(L/B, B/T, C_{pa}) & \textcircled{2} A &= f(D_p, \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})}, e_a) \\
 \textcircled{3} B &= f(D_p, \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})}, e_a) & \textcircled{4} F &= f(D_p, \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})}, e_a) \\
 \textcircled{5} G &= f(D_p, \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})}, e_a) & \textcircled{6} H &= f(D_p, \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})}, e_a) \\
 \textcircled{7} I &= (D_p, \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})}, e_a) & \textcircled{8} J &= f(A, B, F) \\
 \textcircled{9} K &= f(A, B, F) & \textcircled{10} C &= f(A, B, F, H, I, K) \\
 \textcircled{11} D &= f(A, B, F, H, I, K) & \textcircled{12} E &= f(A, B, C, D, F, G, I)
 \end{aligned}$$

(1)

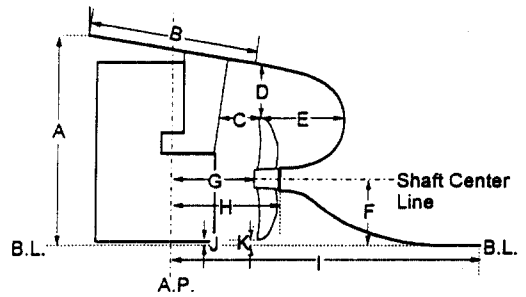


Fig. 1 Stern profile geometry

2.2 퍼지 모델링

퍼지 모델링은 입출력 데이터가 구성하는 입력 및 출력 공간으로부터 각 변수들간의 전체적인 관계를 수학적 모델로서 나타내는 방법이다. 비선형 시스템의 특성을 복수 개의 선형 시스템의 조합으로 근사시키는 이 방법은 입출력 데이터의 관계가 비선형적인 관계를 가지고 있을 경우에도 보다 효율적인 모델링이 가능하다. 본 연구에서의 퍼지 모델링은 Tagaki와 Sugeno[5][6]가 제안한 추론 규칙과 근사 추론법을 사용하였고, 전체부 퍼지 변수 및 결론부 계수의 결정에는 유전자 알고리즘[7]과 Hooke & Jeeves방법[8]을 결합하여 처리하였다.

퍼지 추론 규칙은 If~then형식으로 다음과 같이 표현된다.

i번째 규칙 R^i 는

$$\begin{aligned}
 R^i: & \text{If } x_1 \text{ is } A_{1i}, x_2 \text{ is } A_{2i}, \dots, x_m \text{ is } A_{mi} \\
 & \text{then } y_i = a_0^i + a_1^i x_1 + \dots + a_m^i x_m
 \end{aligned}$$

(2)

여기서 R^i : i번째 규칙
 A_{ji} : 사다리꼴의 퍼지 변수
 x_i : 입력 변수
 y_i : R^i 가 동작하는 규칙의 출력

식(2)에서 If이하 “If x is A”를 전제부(Premise), then이하 “then y is B”를 결론부(Conclusion)라고 하며, 전제부는 퍼지 명제가 되고, 결론부는 선형식이다. 그리고 전제부에서 사용되는 퍼지 변수는 Fig.2에서 보여주는 것과 같은 사다리꼴 모양의 소속 함수를 갖는다.

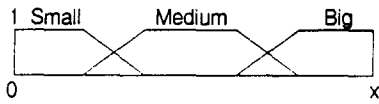


Fig. 2 Fuzzy variable of trapezoid form

이러한 퍼지 추론 규칙이 n개일 때 퍼지 추론에서는 식(3)와 같은 하중 평균에 의한 근사 추론법을 사용하였다.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

$$w_i = \prod_{j=1}^m$$

2.3 유전자 알고리즘과 Hooke & Jeeves방법을 사용한 퍼지 모델링

주어진 입출력 관계를 나타내는 최적의 퍼지 추론 규칙을 구성하기 위해서는 전제부의 퍼지 변수와 결론부의 계수들에 대한 최적화가 수행되어야 한다. 본 연구에서는 퍼지 변수 결정을 위한 최적화 처리는 전역적 최적해(Global minimum) 탐색에 효율적인 유전자 알고리즘과 Hooke & Jeeves방법을 합하여 사용하였다.

본 연구에서 사용한 퍼지 모델링 방법은 다음과 같다.

- ① 설계자가 모델링할 선미 형상 계수, 전제부 변수 및 퍼지 공간 분할 수 그리고 결론부 변수를 설정한다.
- ② 유전자 알고리즘에 의해 전제부 변수의 초기 퍼지 집합을 정의한다.
- ③ ②의 전제부 구조를 바탕으로 Hooke & Jeeves방법에 사용될 결론부 선형식의 초기 parameter를 정의한다.
- ④ 근사 추론법을 사용하여 모델링할 선미 형상 계수를 도출하여 실적선 자료와 비교하고, 목적 함수(실적선 자료와 퍼지 모델링한 결과와의 차이)가 최소가 되도록 결론부 parameter를 결정한다.
- ⑤ ②~④의 과정을 반복하여 목적 함수가 최소가 되도록 최적의 퍼지 추론 규칙을 결정한다.

Fig. 3은 유전자 알고리즘과 직접 탐색법을 사용한 퍼지 모델링의 흐름도를 나타낸다.

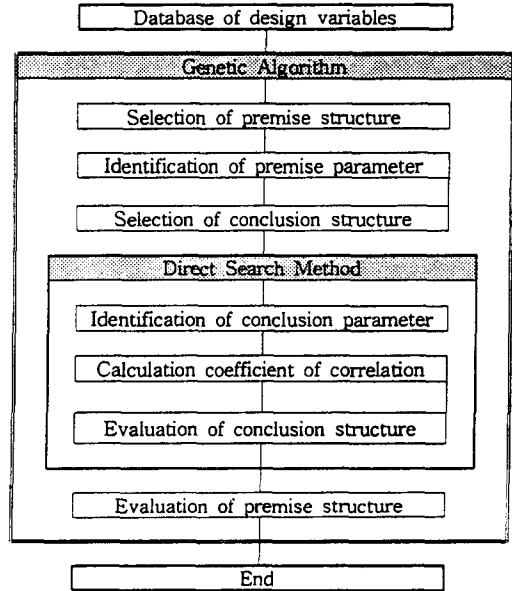


Fig. 3 Flow chart of Fuzzy modeling using Genetic algorithm

III. 비교 고찰

주어진 설계 조건을 만족하는 선미 형상의 주요 치수 결정하기 위해 식(1)의 선미 형상 결정 함수에 대한 퍼지 모델링을 20척의 실적선 자료를 토대로 수행하였다. Table. 1은 퍼지 모델링에 사용된 실적선에 대한 선미 형상 계수의 범위를 나타낸다.

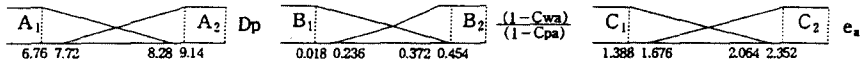
Fig. 4는 Fig. 1의 선미 형상 계수 중에서 "I"에 대한 퍼지 추론 규칙 결과를 나타낸 것이다. 전제부 변수로는 선미 형상 결정에 많은 영향을 미치는 D_p , $\frac{(1-Cwa)}{(1-Cpa)}$, e_a 이며, 이들을 각 2개의 퍼지 공간으로 분할하였다. 그리고 전제부에 사용된 설계 변수를 모두 결론부 변수로 사용하였다. 나머지 다른 선미 형상 계수에 대해서도 동일한 방법으로 퍼지 모델링을 수행하여 퍼지 추론 규칙을 결정하였다. 퍼지 모델링에 사용된 최적화 기법에서 결론부의 선형식에 영향을 미치지 않는 설계 변수는 그 값이 "0"이므로, 결론부

변수로는 주어진 실적 자료의 설계 변수를 가능한 한 모두 사용하였다.

Table. 2와 Fig. 5는 본 방법에 의해 수행된 선미 형상 결정의 결과를 실적선의 데이터와 비교한 것이다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 선미 형상의 주요 치수가 불규칙하게 분산되어 있으므로, 이를 어떤 유형으로 정리하기가 어렵다. 그렇지만 퍼지 모델링에 의해 추론된 선미 형상 값들은 이들의 데이터 값을 잘 반영시키고 있다. 이는 초기 선미 형상 설계에서 설계자에게 보다 정확하고 신뢰성 있는 정보를 제공함으로써 과거의 시행착오 과정에서의 시간적, 경제적 손실을 보완할 수 있을 것이다.

Table. 1 The range of stern profile dimensions in fuzzy modeling

Parameter	Range	Minimum	Maximum
L/B		5.47	8.76
B/T		2.61	3.96
Cpa		0.65	0.78
Dp		6.00 m	9.80 m
$\frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})}$		0.00	0.49



$$\begin{aligned}
 L^1 : & \text{ If } Dp \text{ is } A_1 \text{ and } \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} \text{ is } B_1 \text{ and } e_a \text{ is } C_1 \\
 & \text{ then } I = -94.7048 + 20.0312 Dp + 32.7809 \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} - 63.6055 e_a \\
 L^2 : & \text{ If } Dp \text{ is } A_1 \text{ and } \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} \text{ is } B_1 \text{ and } e_a \text{ is } C_2 \\
 & \text{ then } I = 30.7067 + 1.00235 Dp - 163.898 \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} - 1.17976 e_a \\
 L^3 : & \text{ If } Dp \text{ is } A_1 \text{ and } \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} \text{ is } B_2 \text{ and } e_a \text{ is } C_1 \\
 & \text{ then } I = 64.9636 + 1.34658 Dp - 76.3766 \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} - 17.9952 e_a \\
 L^4 : & \text{ If } Dp \text{ is } A_1 \text{ and } \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} \text{ is } B_2 \text{ and } e_a \text{ is } C_2 \\
 & \text{ then } I = 294.020 + 1.6047 Dp - 669.706 \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} - 16.4247 e_a \\
 L^5 : & \text{ If } Dp \text{ is } A_2 \text{ and } \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} \text{ is } B_1 \text{ and } e_a \text{ is } C_1 \\
 & \text{ then } I = 64.3428 - 6.2329 Dp + 138.94 \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} - 10.4853 e_a \\
 L^6 : & \text{ If } Dp \text{ is } A_2 \text{ and } \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} \text{ is } B_1 \text{ and } e_a \text{ is } C_2 \\
 & \text{ then } I = 44.8823 + 1.8769 Dp - 201.333 \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} + 3.4778 e_a \\
 L^7 : & \text{ If } Dp \text{ is } A_2 \text{ and } \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} \text{ is } B_2 \text{ and } e_a \text{ is } C_1 \\
 & \text{ then } I = 6.75448 - 0.1229 Dp + 10.0769 \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} - 1.15289 e_a \\
 L^8 : & \text{ If } Dp \text{ is } A_2 \text{ and } \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} \text{ is } B_2 \text{ and } e_a \text{ is } C_2 \\
 & \text{ then } I = 377.246 + 3.8806 Dp - 1141.88 \frac{(1-C_{wa})}{(1-C_{pa})} - 25.9652 e_a
 \end{aligned}$$

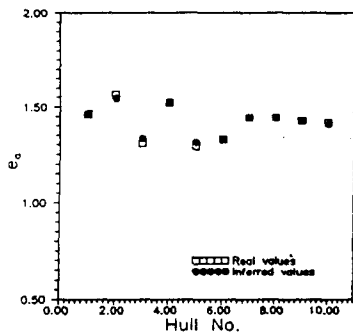
Fig. 4 The fuzzy model of stern parameter I

Table. 2 Comparison of the real and inferred stern profile

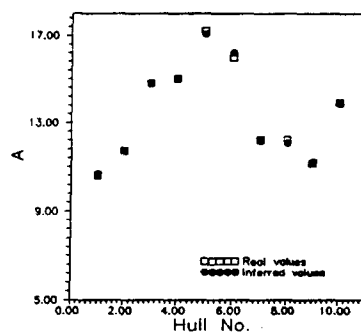
Hull No.	Design condition					Form parameters of stern profile											
	L/B	B/T	Cpa	Dp	$\frac{(1-Cwa)}{(1-Cpa)}$	e_a		A		B		F		G		H	
						Real	Infer	Real	Infer	Real	Infer	Real	Infer	Real	Infer	Real	Infer
1	5.8387	2.8182	0.7496	6.000	0.3902	1.4620	1.4653	10.6000	10.6713	3.0000	3.0041	3.3500	3.3998	3.7000	3.7175	4.5000	4.5160
2	6.6998	2.6426	0.7661	7.200	0.4280	1.5671	1.5461	11.7000	11.7254	5.4000	5.3875	3.9000	3.9031	4.2000	4.2393	5.0000	5.0321
3	6.0233	2.6061	0.7823	7.850	0.3229	1.3113	1.3333	14.8000	14.7937	3.7000	3.6775	4.2000	4.1998	5.3090	5.3325	6.4750	6.4955
4	5.9556	2.7108	0.7443	8.500	0.3797	1.5228	1.5281	15.0000	14.9847	4.7100	4.5606	4.8000	4.8024	5.3000	5.3566	6.2000	6.2606
5	5.8750	2.6667	0.7798	8.770	0.3070	1.2937	1.3143	17.2000	17.0626	3.5250	3.4003	5.0000	4.9820	5.2000	5.1735	6.1000	6.0988
6	6.0000	2.8571	0.7784	8.700	0.3506	1.3296	1.3257	16.0000	16.2076	3.7500	3.8707	4.7000	4.7308	5.2000	5.2499	6.2000	6.2156
7	5.5742	3.4262	0.7408	6.850	0.4483	1.4448	1.4456	12.2000	12.1709	5.8250	5.8252	3.6500	3.6770	5.1280	5.2360	6.0000	6.1400
8	5.5742	3.4262	0.7408	6.400	0.4483	1.4448	1.4456	12.2000	12.0636	5.8250	5.8250	3.6500	3.5439	5.1280	5.0039	6.0000	5.8605
9	5.4751	3.9641	0.7389	7.000	0.4921	1.4296	1.4303	11.1500	11.2268	3.2000	3.1980	3.7000	3.7382	5.2000	5.1948	6.0000	5.9855
10	5.5230	3.2740	0.7431	8.000	0.4605	1.4189	1.4110	13.9000	13.9283	3.8900	3.8970	4.2000	4.2205	5.3500	5.3777	6.3000	6.3181

Hull No.	Design condition					Form parameters of stern profile											
	L/B	B/T	Cpa	Dp	$\frac{(1-Cwa)}{(1-Cpa)}$	I		J		K		C		D		E	
						Real	Infer	Real	Infer	Real	Infer	Real	Infer	Real	Infer	Real	Infer
1	5.8387	2.8182	0.7496	6.000	0.3902	7.7880	7.7859	0.2000	0.1853	0.3500	0.2768	1.7000	1.7002	2.1000	2.0999	3.0500	3.0505
2	6.6998	2.6426	0.7661	7.200	0.4280	10.8000	10.9616	0.2000	0.2377	0.3000	0.2894	1.7500	1.7537	2.3000	2.3008	4.5500	4.5493
3	6.0233	2.6061	0.7823	7.850	0.3229	16.1880	16.2966	0.3000	0.3004	0.2750	0.2712	3.0500	3.0499	3.3000	3.3001	4.3000	4.3000
4	5.9556	2.7108	0.7443	8.500	0.3797	13.4000	13.6583	0.3000	0.3000	0.5500	0.5495	2.6000	2.6000	2.7000	2.7000	4.7000	4.6996
5	5.8750	2.6667	0.7798	8.770	0.3070	19.4250	19.6357	0.4000	0.4001	0.6150	0.6149	2.3000	2.3000	4.0500	4.0499	3.9500	3.9499
6	6.0000	2.8571	0.7784	8.700	0.3506	16.1000	15.8558	0.4000	0.4000	0.3500	0.3505	2.3500	2.3499	3.2000	3.2001	4.1000	4.1004
7	5.5742	3.4262	0.7408	6.850	0.4483	12.9300	13.3210	0.2500	0.2366	0.2250	0.3399	2.6000	2.5956	2.1700	2.1690	3.7000	3.6998
8	5.5742	3.4262	0.7408	6.400	0.4483	12.9300	12.6065	0.2500	0.2366	0.4500	0.3399	2.6000	2.6011	2.1700	2.1705	3.7000	3.6998
9	5.4751	3.9641	0.7389	7.000	0.4921	11.1000	11.0789	0.1800	0.1917	0.2000	0.2480	2.3000	2.3015	2.1000	2.1006	4.0500	4.0500
10	5.5230	3.2740	0.7431	8.000	0.4605	12.2000	12.1745	0.2000	0.1999	0.2000	0.2052	2.5800	2.5796	2.2500	2.2499	4.1500	4.1501

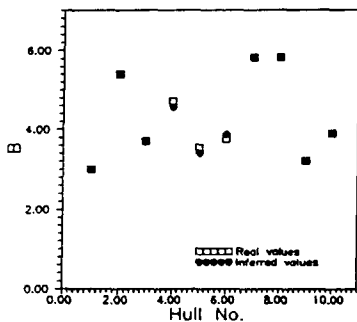
e_a estimation of real and inferred ship



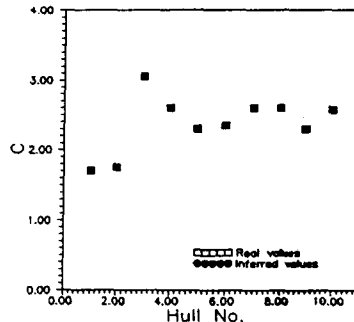
A estimation of real and inferred ship



B estimation of real and inferred ship



C estimation of real and inferred ship



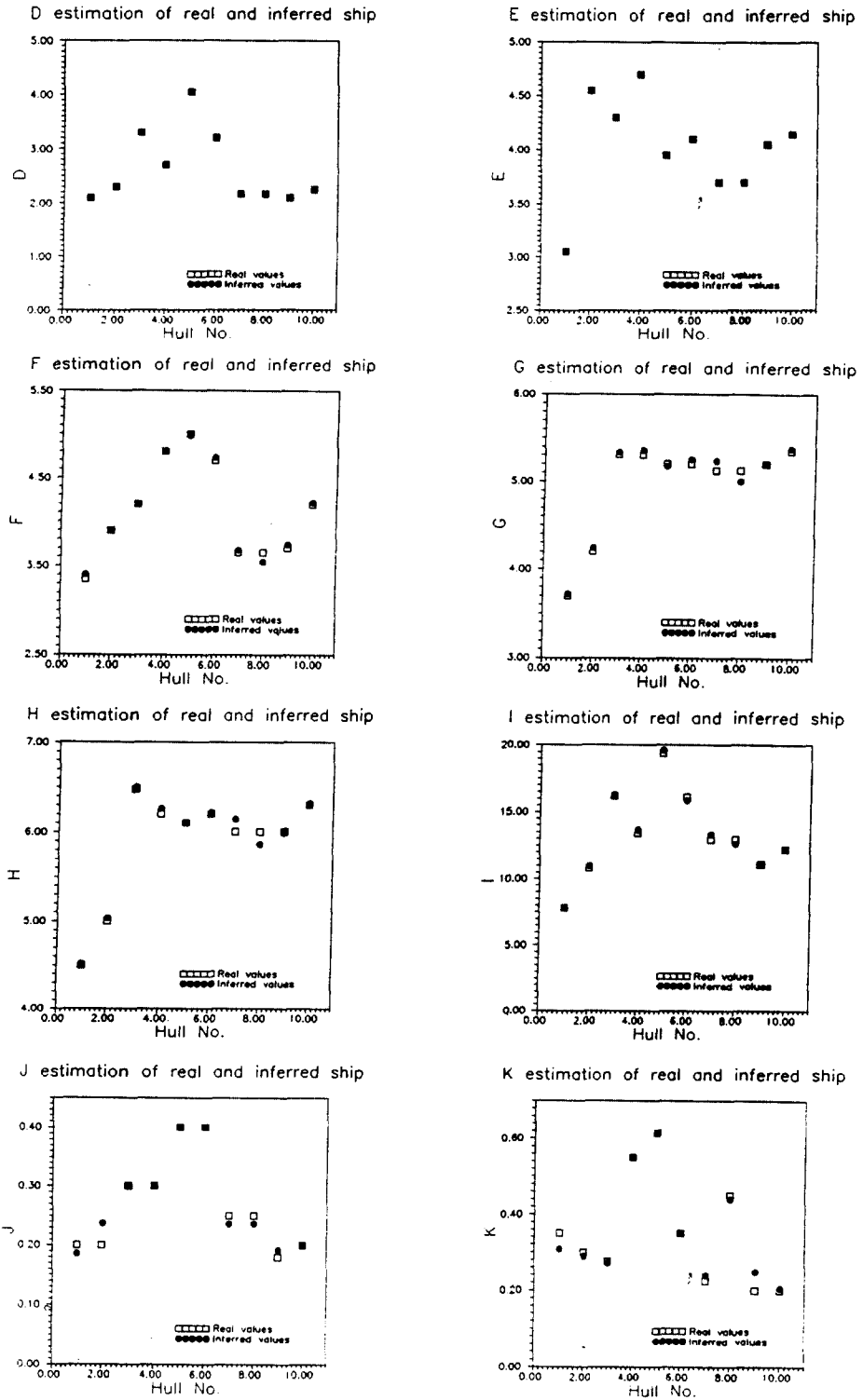


Fig. 5 Comparison of the real and inferred stern parameter

IV. 결 론

이상의 연구 내용을 정리하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 선미 형상 설계에서 타, 프로펠러, 선미 형상을 동시에 고려하는 선미 형상 퍼지 모델링이 가능하다.
- (2) 선미 형상 설계용 퍼지 모델링으로부터 선미 형상을 결정하는 각각의 기하학적 선형 요소 결정이 가능하다.

참 고 문 헌

1. Taniguchi 외, "선형가분의 원리에 의한 비대선형의 설계법", 일본조선학회논문집 제120호, 1966.
2. 김수영, 이연승, "퍼지 모델링을 이용한 초기 선형 생성", 대한조선학회 논문집 第29卷 第4號, 1992.
3. Y.S. Lee, S.J. Jeong, S.Y. Kim, G.T. Kang, "Hull Form Generation by Using Fuzzy Model", Fifth IFSA World Congress Proceeding, pp. 1234-1237, 1993.
4. 김수영, 강사원 외, "비대선형을 위한 초기 선도 생성에 관한 연구", 대한조선학회 춘계학술발표회 Proceeding, 1995.
5. T. Takagi and Sugeno, "Fuzzy Implication of Systems and its Applications to Modeling and Control", IEEE Trans, Systems, Man and Cybernetics, Vol.15, No.1. pp.116-132, 1985.
6. M. Sugeno and G.T. Kang, "Structure Identification of Fuzzy Model", Fuzzy Sets and Systems, Vol.28 pp.15-33, 1988.
7. D.E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search Optimization & Machine Learning", 1989, Addison-Wesley Pub. Company
8. L.T Fan et al, "Method of Optimization-Search Techniques", Institute for System Design and Optimization, Kansas State University, Oct. 1971.

김 수 영(Soo Young Kim)

정회원

1974년 2월: 부산대학교 조선공학과 학사

1977년 2월: 부산대학교 조선공학과 석사

1987년: TU-Berlin 공학박사

1982년~1987년: Institut für Schiffs und Meerestechnik an der TU-Berlin, 연구원

1988년~현재: 부산대학교 조선공학과 부교수

김 현 철(Hyun Cheol Kim)

정회원

1992년: 부산대학교 조선공학과 학사

1994년: 부산대학교 조선공학과 석사

현재: 부산대학교 조선공학과 박사과정

김 성 환(Seong Hwan Kim)

정회원

1977년 2월: 부산대학교 조선공학과 학사

1979년 2월: 부산대학교 조선공학과 석사

1979년 3월~1992년 7월: 한국 해사 기술 연구소 선임 연구원

1994년 8월: 부산대학교 조선공학과 박사 수료

1992년 7월~현재: (주) FASECO 이사