論 文

大韓造船學會論文集
第 32 卷 第 4 號 1995年 11月
Transactions of the Society of
Naval Architects of Korea
Vol. 32, No. 4, November 1995

퍼지모델링을 이용한 고속연안어선의 선형요소 결정

김수영*, 김현철**, 이길홍**, 김주남***, 손영대****

Determination of the hull form factors about a high speed coastal fishing boat using Fuzzy modeling

by

Soo Young Kim*, Hyun Cheol Kim**, Kil Hong Lee**,
Ju Nam Kim*** and Young Dae Son****

요 약

본 연구는 퍼지모델링을 이용한 고속연안어선의 선형요소 결정을 내용으로 한다. 즉, 고속연안어선의 전체 저항곡선 및 마력곡선을 고속연안어선의 선형요소 자료들로부터 퍼지모델링을 통해 도출하고, 그 결과를 모형시험 결과와 비교하고 있다. 또한, 퍼지모델링에 의한 전체 저항곡선 및 마력곡선이 고속연안어선의 선형요소 결정에 효율적으로 적용됨을 보이고 있다.

Abstract

This paper is presented determination of the hull form factors about a high speed coastal fishing boat using Fuzzy modeling. That is, the estimation curves of total resistance & EHP(Efficiency Horse Power) are induced by Fuzzy modeling algorithm from data of accumulated hull form factors and are compared with the results of model test. Also, the estimation curves of total resistance & EHP are utilized efficiently in determination the hull form factors about a high speed coastal fishing boat.

접수일자 : 1994년 6월 20일, 재접수일자 : 1995년 9월 14일

* 정회원, 부산대학교 조선해양공학과/기계기술연구소
** 학생회원, 부산대학교 조선해양공학과 대학원
*** 정회원, 한국어선협회
**** 정회원, 수산청

1. 서 론

연안어선이란 총톤수 8톤 미만의 연안조업어선으로서, 우리나라 연근해 어선 14만 여척 중에서 척수로 80%이상을 차지하고 있다[1][2]. 어민의 대다수가 사용하는 이러한 연안어업용 선박은 UR 협정발효에 따른 어업의 경쟁력 제고를 위해서 선질개량과 고속화를 통한 현대화를 필요로 하고 있다.

연안어선의 초기선형설계에서 선형요소 결정을 위해 추진성능을 추정하는 방법으로는

① 수산청 및 어선협회에서 고시한 표준어선의 저항 및 마력값을 이용하는 방법
② 이론적인 계산에 의한 방법
③ 모형시험에 의한 방법
④ 통계적 회귀분석으로부터 마력 추정식이나 도표를 이용한 방법

으로 분류할 수 있다.

상기의 방법들 중에서

①의 방법은 해역특성에 적합한 표준어선들이 충분히 확보되어야 하고,

②의 방법은 어선의 고속화에 따른 침수 표면적의 변화 등으로 실용상 그 계산 정도의 확보가 쉽지 않고,

③의 방법은 각각 필요한 모델을 전부 모형시험(model test)할 수 없다는 점에서 비경제적이고 신속하지 못한 단점들을 가지고 있다.

따라서, 지금까지는 어선의 선체 주요목 또는 선형요소 선정에 통계적 회귀분석에 의한 추정식과 도표를 사용하는 방법이 주로 사용되었다[2][3][4].

통계적 회귀분석에 의한 방법은 추진성능에 영향을 크게 미치는 parameter를 선정하고, 모형시험으로 부터 얻어진 추진성능 자료를 통계적으로 분석하여, 선정한 parameter를 독립변수로 하는 추진성능 추정식을 도출하는 방법이다. 이 방법은 양질의 실적 데이타가 충분히 축적되어 있을 경우 초기 선형계획 단계에서 신속하게 저항성능을 추정할 수 있기 때문에 연안어선의 설계에 널리 이용되고 있다. 그러나 연안어선을 15 Knot(Froude수 0.6)속력까지 고속화하고, 어선의 선질을 FRP복합재료로 대체할 경우, 통계적 회귀분석에 의한 방법은 이를 위한 대량의 새로운 데이타를 필요로 하게 된다.

한편, 퍼지모델링은 비선형 시스템의 특성을 복수개의 선형 시스템의 조합으로 근사하는 방법으로, 비교적 적은 입출력 자료만으로도 저항성능에 영향을 미치는 parameter들 사이의 상관관계를 모델링할 수 있으며, 양질의 출력값을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 예상되는 연안어선의 고속화에 대응하여 퍼지모델링 알고리즘을 이용하여 선형요소들 사이의 상관관계를 모델링하고, 전체 저항곡선 및 마력곡선을 도출하여, 그 결과를 모형시험 결과와 비교해 본다. 그리고 퍼지모델링 알고리즘에 의한 전체 저항곡선 및 마력곡선으로부터 최소저항을 갖는 선형요소들를 결정한다.

2. 연안어선의 선형요소 선정

고속연안어선은 하드차인·트랜섬(hardchine·transom)선형이 대부분인데, 그 이유는 고속을 얻기 위하여 활주하기 쉽도록 선미선저 형상을 편평하게 하기 때문이다. 이러한 하드차인·트랜섬 선형은 속도영역 $F_n=0.5$를 경계로 하여 선체 저항을 지배하는 요소가 각각 다르다[2].

즉, $F_n<0.5$의 저속영역에서는 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, C_F B_C/T, LCB와 같은 선형요소가 전체 저항에 큰 영향을 미치지만, $F_n\geq 0.5$의 고속영역에서는 선체중량, 중량중심의 전후위치, 활주면의 형상 등 활주시의 동적균형을 표현할 수 있는 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, $B_C/\nabla^{1/3}$, C_B, LCB와 같은 선형요소를 선정할 필요가 있다. 각 선형요소에 대한 정의는 다음과 같다.

L_{WL} : 수선길이
B_C : $L_{WL}/2$ 에서의 차인 폭
T : $L_{WL}/2$ 에서의 외판과 키일의 접점에서 WL까지의 높이(형흘수)
LCB : $L_{WL}/2$ 에서 부심까지의 수평거리 (선미쪽: +, 선수쪽: -)
∇ : 배수용적
C_B : 방형계수
C_F : 주형계수

본 연구에서는 퍼지모델링에서 상관도 분석으로부터 $F_n\geq 0.5$에 따른 전체 저항 및 마력추정에 특히 영향이 큰 고속연안어선의 선형요소로써 V_s, $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, $B_C/\nabla^{1/3}$, C_B를 선정하여 고속영역에서의 퍼지모델링을 수행하였다.

3. 퍼지모델링

퍼지모델링은 표본공간을 구성하는 일련의 입출력 데이타로부터 그들간의 상호연관성을 수학적인 모델로 나타내려는 것이다. 이 방법은 표본공간 내의 입출력 데이타가 비선형적인 관계를 가지고 있을 경우에 매우 효율적으로 적용할 수 있다. 즉, 표본공간 내의 비선형적인 데이타 관계를 선형적인 다항식의 합으로 조합하여, 데이타들 간의 상호연관성을 찾아 표본공간 내의 데이타 구성과 근사한 여러 개의 다항식으로 수식화하여 표현하는 방법이다.

본 연구에서는 Tagaki & Sugeno가 제안한 퍼지모델링 방법을 사용하였다[5][6][7][8][9].

3.1 퍼지함의

퍼지함의는 식(1)과 같이 *If~then* 형식의 규칙으로 표현된다.

$$R^i : \textit{If } x_1 \textit{ is } A_1^i,\ x_2 \textit{ is } A_2^i, \cdots,\ x_m \textit{ is } A_m^i$$
$$\textit{then } y^i = a_0^i + a_1^i x_1 + \cdots + a_m^i x_m \qquad (1)$$

여기서

R^i : i번째 규칙

x_i : 입력 데이타

A_j^i : 사다리꼴형으로 정의된 퍼지집합

y^i : i번째 규칙으로부터 얻어지는 출력

a_m^i : 결론부 계수

식(1)과 같은 퍼지모델은 관측자료, 경험지식, 실험자료 및 시스템의 물리적 특성으로부터 구해진다. 이것은 표본데이타의 입력공간을 퍼지분할하여 각 퍼지분할 된 공간에서의 선형 입출력 관계를 퍼지규칙으로 나타낸다.

3.2 퍼지추론

입력 $x_1^0 \sim x_m^0$이 식(1)에 주어질 때, n개의 퍼지함의(규칙)에 의한 출력 y^0이 추론법은 식(2)와 같다.

$$y^0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} w^i y^i}{\sum_{i=1}^{n} w^i} \qquad (2)$$

$$w^i = \prod_{j=1}^{m} A_j^i(x_j^0)$$

$$y^i = a_0^i + a_1^i x_1^0 + \cdots + a_m^i x_m^0$$

여기서 $A_j^i(x_j^0)$는 퍼지변수 A_j^i의 x_j^0에서의 소속정도를 나타내는 값이므로, w^i는 전제부의 적합도를 나타내며, 식(2)에서 y^i의 평균을 구할 때, 하중치로써 작용한다.

3.3 퍼지모델링의 수행 방법

주어진 입출력 데이타로부터 퍼지모델링 알고리즘을 수행하는 과정은 Fig.1과 같다[11].

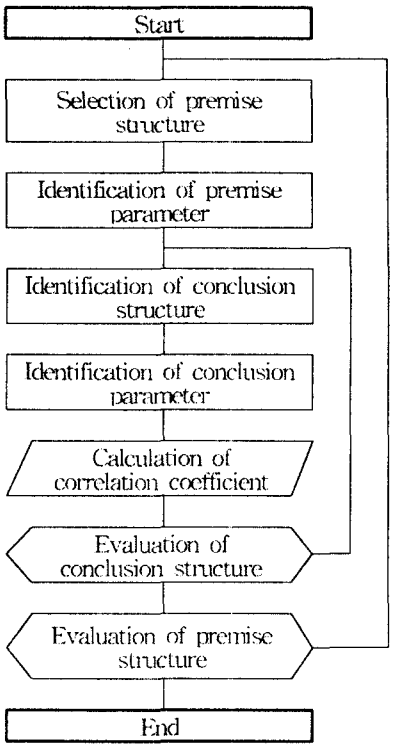


Fig.1 Algorithm for fuzzy modeling

① 입출력 데이타

퍼지모델링을 수행하기 위해서는 모델링하고자 하는 대상에 대한 입출력 데이타들이 존재해야 한다.

② 전제부 구조의 설정

전제부 구조의 설정은 식(1)의 입력변수를 선정하고, 이들 변수가 존재하는 공간의 퍼지분할 방법을 찾아내는 것이다.

③ 전제부 parameter의 설정

전제부 parameter의 설정은 전제부 구조의 선정에 의해 입력변수의 데이타가 존재하는 공간이 퍼지분할될 때 그들 변수에 대한 퍼지집합의 유형을 결정하는 것이다. 이때 부분공간을 결정하는 입력변수의 퍼지집합을 결정하는 parameter는 최적화 이론을 이용하여 관측된 출력값과 모델로써 만들어진 출력값의 오차가 최소가 되는 것을 택한다.

④ 결론부 구조의 설정

결론부 구조의 설정은 식(1)의 결론부에 관계되는 변수를 설정하는 것이다.

⑤ 결론부 parameter의 설정

결론부 parameter의 설정은 결론부에서 다항식의 계수를 결정하는 것이다.

⑥ 상관도 계산 및 전제부·결론부 구조의 평가

각 규칙에서 얻어진 출력값들을 하중평균으로 추론하여 이 값들이 실제 출력값과 어느 정도 일치하는가를 계산하고, 결론부 변수의 조합과 찾아낸 출력이 타당한지를 검토하여 전제부 및 결론부의 구조를 평가한다.

⑦ 퍼지모델 완료

①~⑤의 과정의 반복에 의해 전체 시스템의 입출력관계를 나타낼 수 있는 퍼지모델이 만들어진다.

5. 퍼지모델링에 의한 저항 및 마력 추정

우리나라에서는 고속연안어선의 모형시험 자료가 거의 없기 때문에, 본 연구에서는 1993년 11월에 현대 선박해양연구소에서 폴리우레탄을 사용하여 축척비 1/20.0로 제작하고 시험한 7.93톤급 연안어선 5척[2]의 수조시험결과를 이용하여 전체 저항 및 마력 추정을 위한 퍼지모델링을 수행하였다. 수조시험에 사용된 5척의 선형요소의 값은 Table 1과 같다.

Table 1 Values of hull form factor

선형 / 항목	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
∇	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
L_{WL}	13.47	12.70	14.01	13.51	13.34
B_C	3.00	3.18	2.88	3.00	3.00
T	0.93	0.92	0.92	0.95	0.89
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	4.73	4.47	4.93	4.75	4.69
$B_C/\nabla^{1/3}$	1.05	1.12	1.01	1.05	1.05
C_B	0.58	0.58	0.59	0.56	0.61
LCB	1.61	1.61	1.61	1.41	1.87

Table 1의 데이타를 토대로 한 입력변수 중의 속도영역에 대해서는 4개의 공간으로 퍼지분할하였다.

다음은 본 연구에서 저항 및 마력 추정을 위한 퍼지모델링의 입출력 변수와 결과를 나타낸다.

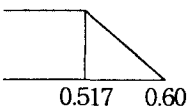
【저항추정에 대한 퍼지모델】

* 입출력변수 :

$$C_T = f(V_s, L_{WL}/\nabla^{1/3}, B_C/\nabla^{1/3}, C_B)$$

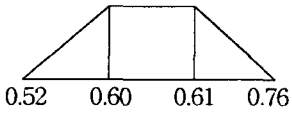
* 퍼지모델링 결과

R^1 :



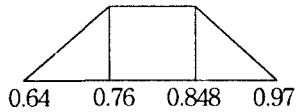
$$C_T^1 = 2.3542 - 1.3009 V_s - 0.3170 \frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} + 0.2752 \frac{B_C}{\nabla^{1/3}} + 0.2338 C_B$$

R^2 :



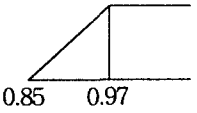
$$C_T^2 = 3.0771 + 0.2608 V_s - 0.4494 \frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} - 0.1281 \frac{B_C}{\nabla^{1/3}} - 0.2598 C_B$$

R^3 :



$$C_T^3 = 2.5030 - 0.4768\,V_s - 0.2909\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} - 0.1858\frac{B_C}{\nabla^{1/3}} - 0.0392\,C_B$$

R^4 :



$$C_T^4 = 2.2063 - 0.3189\,V_s - 0.2285\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} - 0.3227\frac{B_C}{\nabla^{1/3}} - 0.0167\,C_B$$

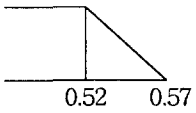
[마력 추정에 대한 퍼지모델]

* 입출력변수 :

$$EHP = f(V_s, L_{WL}/\nabla^{1/3}, B_C/\nabla^{1/3}, C_B)$$

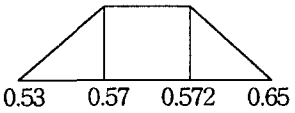
* 퍼지모델링 결과

R^1 :



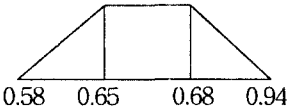
$$EHP^1 = 0.9914 - 0.7813\,V_s - 0.0977\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} - 0.0307\frac{B_C}{\nabla^{1/3}} + 0.0660\,C_B$$

R^2 :



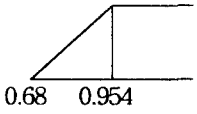
$$EHP^2 = 0.7671 + 0.9098\,V_s - 0.1826\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} - 0.1574\frac{B_C}{\nabla^{1/3}} + 0.0842\,C_B$$

R^3 :



$$EHP^3 = 1.8493 + 0.1772\,V_s - 0.2573\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} - 0.2400\frac{B_C}{\nabla^{1/3}} - 0.0101\,C_B$$

R^4 :



$$EHP^4 = 2.6523 + 1.1979\,V_s - 0.4570\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}} - 0.7904\frac{B_C}{\nabla^{1/3}} + 0.1486\,C_B$$

이렇게 퍼지분할된 각 범위내에서는 식(2)의 퍼지 추론 과정에 의해 원하는 결과값을 얻게 된다.

6. 퍼지모델링의 결과 비교

Table 2.는 선형요소 값이 $L_{WL}/\nabla^{1/3}=4.73$, $B_C/\nabla^{1/3}=1.05$, $C_B=0.58$, $LCB=1.61$을 가질 때 C_T와 EHP에 대한 모형수조시험 결과와 퍼지모델링 결과를 나타내고, Fig.2(a),(b)는 Table2.의 결과를 각각 Plot한 것이다.

Fig.2(a)에서 ■모양의 실선은 실제 모형시험으로부터 얻어진 전체 저항곡선을 나타내고, ●모양의 실선은 퍼지모델링에 의한 전체 저항곡선을 나타내고 있다. 실측값은 Froude수의 증가에 따라 조파저항의 영향으로 골(hollow)과 봉우리(hump) 부분을 나타내는데, 속도영역에서 12~13Knot 근방에서는 봉우리를, 14~15Knot 근방에서는 골을 나타낸다.

따라서 실측값을 나타내는 저항곡선(■)은 비선형 구조임을 알 수 있으며, 퍼지모델링에 의해 추론된 곡선(●)은 실측곡선(■)과 유사한 경향을 가진다. 따라서 퍼지모델링에 의한 저항 및 마력 추정은 비선형 구조에 적합하고 정도가 높은 방법임을 알 수 있다.

Fig.2(b)의 마력곡선 또한 마찬가지 내용을 보인다.

Table 2 Comparison of C_T, EHP by model test and Fuzzy modeling results

Vs (Knot)	$C_T \times 10^3$	
	Model test	Fuzzy modeling
10.00	23.4608	23.6247
10.50	24.8257	25.2934
11.00	27.4817	27.8507
11.50	30.6425	31.2712
12.00	31.9513	32.1956
12.50	30.1516	30.7027
13.00	27.2252	28.3243
13.50	24.8924	25.8887
14.00	22.9962	23.4063
14.50	21.2480	21.1292
15.00	20.0132	20.6432
15.50	19.5196	20.1569
16.00	19.2682	19.6707
16.50	18.8369	19.2142
17.00	18.3871	18.8306
17.50	18.1151	18.5175
18.00	18.0307	18.2736

Vs (Knot)	EHP(KW)	
	Model test	Fuzzy modeling
10.00	84.8689	81.9361
10.50	103.9213	105.8665
11.00	132.3196	136.2982
11.50	168.5908	170.9388
12.00	199.7307	198.1991
12.50	213.0304	213.3307
13.00	216.3804	215.8316
13.50	221.5508	222.1508
14.00	228.2680	230.7807
14.50	234.3291	241.7624
15.00	244.3398	255.1247
15.50	262.9490	270.9145
16.00	285.4990	289.1657
16.50	306.0982	309.9087
17.00	326.7886	333.1982
17.50	351.1983	359.0573
18.00	380.4003	383.1389

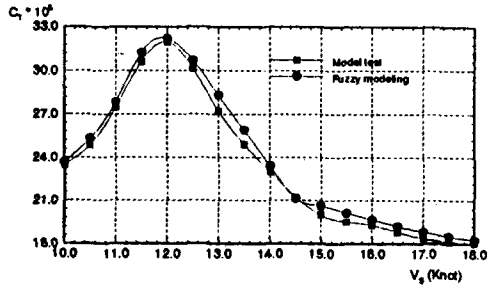


Fig.2(a) Comparison of total resistance by model test and Fuzzy modeling

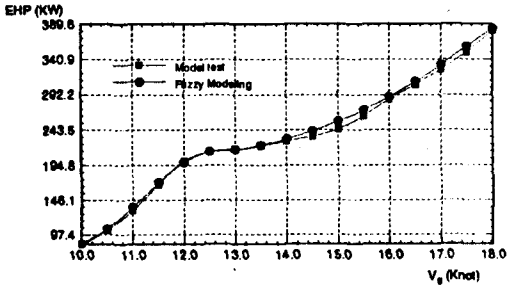


Fig.2(b) Comparison of EHP by model test and Fuzzy modeling

7. 선형요소 결정

앞에서 언급한 퍼지모델링에 의한 전체 저항 및 마력 추정 방법으로부터 최소저항을 갖는 선형요소를 결정할 수 있다. 본 연구에서는 7.93톤급 고속연안어선의 주요치수 결정을 위해 Table.1의 선형요소를 대상으로 퍼지모델링을 적용하여 전체 저항 및 마력 추정을 수행하였다.

Fig.3(a),(b)는 수조시험에 의한 전체 저항 및 마력 결과를 나타내고, Fig.4(a),(b)는 퍼지모델링에 의한 저항 및 마력 추정 결과를 나타낸다. Fig.3(a),(b)와 Fig.4(a),(b)는 동일한 배수량 내에서 다른 선형요소를 가지는 선형에 대한 전체저항 및 마력곡선을 보이고 있다. 퍼지모델링에 의한 결과와 수조시험에 의한 결과가 유사한 경향을 가지며, 전체 속도영역에서 Model3이 최소저항을 갖는 선형임을 알 수 있다.

이러한 과정은 설계하고자 하는 어선의 업종별, 해역별 특성에 맞추어 선형요소의 범위를 선정하고 데이타를 체계적으로 정리해 둘 경우, 퍼지모델링에 의한 방법은 보다 효율적으로 적용가능할 것이다.

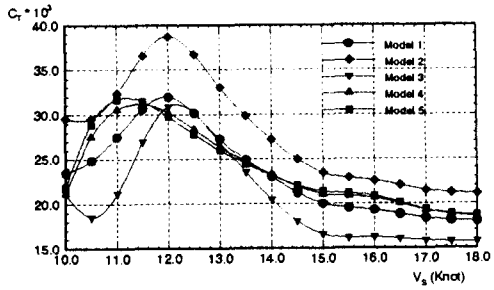


Fig.3(a) Values of total resistance by Model test

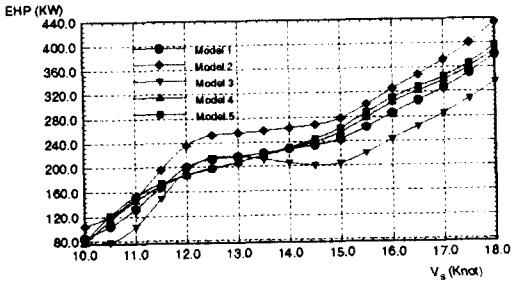


Fig.3(b) Values of EHP by Model test

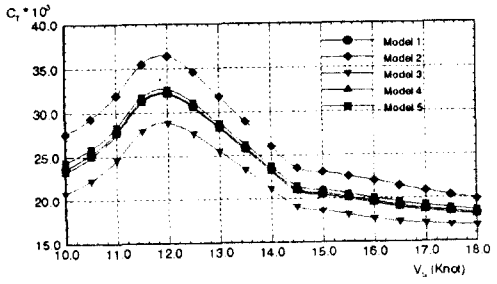


Fig.4(a) Calculated values of total resistance by Fuzzy modeling

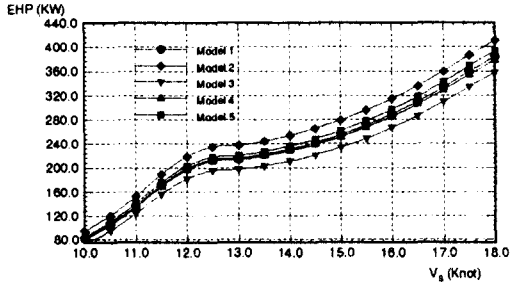


Fig.4(b) Calculated values of EHP by Fuzzy modeling

8. 결 론

이상의 연구 내용을 정리하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연안어선의 고속화에 따른 저항성능과 마력추정에는 퍼지모델링이 간단하고 효율적이다.

2. 설계요구조건으로부터 속도범위와 선형요소범위가 제시될 때, 퍼지모델링 결과를 이용한 최적 선형요소선정 및 이에 따른 주요요목 결정이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] 김수영 외, "연근해 어선의 기본성능 조사분석 및 연안어선의 개발규모 선정", 수산청, 1992

[2] 김수영 외, "연해어선의 기본성능 분석을 위한 선형요소 체계화 연구", 수산청, 1993

[3] 小林務, "高速沿岸漁船の速力性能に關する研究", 日本水産工學研究報告, No. 5, 1984

[4] Masahiko Mori, "船의 科學", 선형설계 NOTE 1~10, Vol. 47, 1994

[5] T.Takagi and M.Sugeno, "Fuzzy Implication of Systems and Its Applications to Modeling and Control", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol. smc-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] 이연승, "Hull form generation based on fuzzy concept", 부산대학교 석사학위논문, 1993

[8] 정성재, "퍼지모델링을 이용한 선미형상 주요치수 결정에 관한 연구", 부산대학교 석사학위논문, 1995

[9] M.Sugeno, "Fuzzy control system", 대영사, 1990