

ASMOD를 이용한 3차원 자유 형상 설계

3-Dimensional Free Form Design Using an ASMOD

김현철 · 김수영 · 이창호*

Hyun Cheol Kim, Soo Young Kim and Chang Ho Lee*

부산대학교 조선해양공학과/생산기술연구소
*현대중공업 기본설계부

요 약

본 연구에서는 입출력 데이터로부터 비선형 다변수 모델을 자동 인식할 수 있는 적응형 Spline 모델링(ASMOD: Adaptive Spline Modeling of Observation Data)과 혼합 곡선 근사법(Hybrid curve approximation)을 이용한 3차원 자유 형상 설계 방법을 제안하고, 초기 선형 설계 단계에서 횡단면적 곡선(SAC: Sectional Area Curve) 생성 예를 통해 그 응용 가능성을 검토하였다. 즉, 실적선의 SAC를 B-spline 근사법(Fitting method)과 유전자 알고리즘(Genetic algorithm)에 의해 정의하여, 조정점(Control points)에 대한 데이터 베이스를 구축한다. 구축된 데이터베이스-주요치수와 이들 조정점과의 관계를 학습 데이터로 하여 ASMOD를 학습시킨 후, SAC 결정을 위한 ASMOD 모델링을 구축한다. 다른 선형 특성 곡선들-design waterline curve, bottom tangent line, center profile line-에 대해서도 동일하게 적용하여 ASMOD를 모델링할 수 있으며, 이들 선형 특성 곡선들을 결합하여 초기 선형을 생성한다.

ABSTRACT

This paper presents the process generating the 3-dimensional free form-hull form-by using an ASMOD(Adaptive Spline Modeling of Observation Data) and a hybrid curve approximation. For example, we apply an ASMOD to the generation of a SAC(Sectional Area Curve) in an initial hull form design. That is, we define SACs of real ships as B-spline curves by a hybrid curve approximation (which is the combination method of a B-spline fitting method and a genetic algorithm) and accumulate a database of control points. Then we let ASMOD learn from the correlation of principal dimensions with control points and make the ASMOD model for SAC generation. Identically, we apply an ASMOD to the generation of other hull form characteristic curves-design waterline curve, bottom tangent line, center profile line. Conclusionally we can generate a design hull form from these hull form characteristic curves.

1. 서 론

자동차 차체, 선체, 항공기 날개 등과 같은 3차원 자유 형상은 해석적으로 표현하기 어렵고, 복잡하게 변화하는 곡면으로 구성된다. 이러한 3차원 자유 형상의 설계는 주어진 설계 조건 아래 요구되는 제 성능을 만족하도록 형상에 대한 여러 가지 처리·해석-예를 들면, 형상의 표면적, 부피, 중량, 관성 모멘트의 계산, 구조 강도 해석, 유체 흐름의 해석 등-이 수행되며, 이때 각종 형상 정보의 관리와 이들 정보들 간의 상호 작용에 대한 전문가의 축적된 경험 지식을 필요로 한다.

3차원 자유 형상 설계처럼 수치로써 표현하기 힘든 경험적 지식이 활용되는 경우에는 퍼지 시스템의 구조적 지식 표현[1]을 신경 회로망[2]으로 구성하는 뉴로 퍼지 모델링이 효율적인 접근 방법으로 적용될 수 있다.

본 연구에서는 입출력 데이터로부터 비선형 다변수 모델을 자동 인식할 수 있는 적응형 Spline 모델링(ASMOD: Adaptive Spline Modeling of Observation Data)[3-6]과 혼합 곡선 근사법(Hybrid curve approximation)을 이용한 3차원 자유 형상 설계 방법을 제안하고, 초기 선형 설계 단계에서 횡단면적 곡선(SAC: Sectional Area Curve) 생성 예 및 초기 선형

본 연구는 학술진흥재단 과제번호 01-E-0123의 지원에 의한 연구의 일부 발제본입니다.

예를 통해 그 응용 가능성을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 ASMODO의 구조

적응형 Spline 모델링(ASMODO: Adaptive Spline Modeling of Observation Data)은 B-spline 기저함수를 이용하여 입력력 데이터로부터 비선형 다변수 모델을 구성하는 방법으로, B-spline 기저 함수는 퍼지 추론 시스템에서 입력값에 대한 소속 함수로 표현되어 하나의 퍼지 규칙을 나타낸다. 또한, B-spline 회로망으로 표현되는 임의의 낮은 차원(Lower dimension)의 부모모델(Submodel)의 합으로 분해할 수 있고, 각 부모모델들은 모델에 속하는 입력 변수들에만 의존한다. 모델링은 점진적으로 모델의 복잡성을 증가시켜 가면서 수행되지만, 항상 최소한의 복잡성과 높은 정도를 가지는 모델 구조를 탐색해야 한다.

ASMODO 모델 $m(x)$ 는 입력변수 $x \in x = (x_0, \dots, x_n)$ 에 대해 U 개의 부모모델(Submodel) $s_u(x)$ $u=1, \dots, U$ 들의 합으로 식 (1)과 같이 표현된다.

$$m(x) = \sum_{u=1}^U s_u(x_u) \quad (1)$$

여기서 x_u 는 $\{x_u\} \subseteq \{x\}$ 인 입력변수를 나타내며, $i \neq j$ 에 대해 $\{x_i\} \cap \{x_j\} = \emptyset$ 이다.

각 부모모델은 Univariate 혹은 Multivariate B-spline 회로망[3-6]으로 표현되며, 식 (2)와 같이 선형 결합으로 구성된다.

$$s_u(x) = \sum_{i=1}^{K_u} c_{u,i} b_{u,i}(x) = c_u^T b_u(x) \quad (2)$$

여기서 K_u 은 $s_u(x)$ 에서 기저 함수의 개수이고, $b_u(x)$ 는 B-spline 기저함수이다. 그리고 c_u 는 계수 벡터이며 가중치와 같은 역할을 한다.

전체 모델은 부모모델의 합이므로 식 (3)과 같이 기저 함수의 결합으로 나타낼 수 있다.

$$m(x) = \sum_{i=0}^K c_i b_i(x) = c^T b(x) \quad (3)$$

여기서 K 는 전체 기저함수의 개수를 나타낸다.

ASMODO 부모모델에서 2개 혹은 더 많은 입력 변수들의 연성된 의존성(Coupled dependencies)을 모델링하기 위해서는 다차원 spline 공간을 사용한다.

다차원 B-spline 공간은 2개 혹은 그 이상의 Univariate spline 공간의 Tensor product로서 구성된다. 따라서 n 차원 B-spline 기저 함수는 식 (4)와 같이 표

현된다.

$$b_i(x) = \prod_{k=1}^n b_{ik}(x_k) \quad (4)$$

여기서 b_{ik} 는 각 부모모델에 속하는 Univariate B-spline 기저함수이다.

2.2 ASMODO의 학습 알고리즘

식 (3)의 ASMODO 모델에 의해 신경 회로망은 3개의 층으로 구성한다. 1층은 입력층으로 입력변수의 집합으로 구성되고, 2층은 각 부모모델에서의 출력을 계산한다. 각 퍼지 규칙의 소속함수가 B-spline 기저 함수로 정의되고, 정의된 소속함수는 입력변수에 대해 정규화된 값을 나타낸다. 그리고 3층은 각 부모모델의 출력을 합하여 전체 출력을 생성한다. 학습 방법은 시그모이드 함수를 사용한 오류 역전파 알고리즘(EBP)[5]이 사용되며, 3단계로 나누어 수행된다.

【1단계】 전방향 과정은 식 (3)에 의해 각 기저함수와 가중치와의 곱의 합을 통해 추론된 값을 계산한다.

【2단계】 후방향 과정은 ASMODO에 의한 추론값과 목적값과 차이를 델타(δ)로 하여 후방향으로 전파하여 식 (3)의 가중치 c_i 를 수정한다.

【3단계】 모든 입력력 데이터에 대한 추론값과 목적값과 차이가 최소가 될 때까지【1단계】와【2단계】를 반복하여 수행한다.

식 (3)의 ASMODO 모델을 신경 회로망의 개념으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

Fig. 1은 8입력 1출력의 ASMODO 모델 예로서 x_i 는 입력 변수(설계 변수), y_i 는 출력 변수(설계 변수 혹은 조정점) 그리고 S_i 는 연관성있는 입력 변수로서 구성되는 부모모델이다. 선형 설계 단계에서는 입력력 설계 변수의 설정 및 개수, 내부 부모모델의 구성, 각종 parameter들의 초기화 등은 설계자의 경험 지식과 설계 목적에 따라 설정된다.

2.3 혼합 근사법을 이용한 조정점의 데이터 베이스 구축

본 연구에서는 자유 형상 물체의 대표적인 예에 해당하는 선체의 형상을 설계할 수 있도록 선체의 절단면의 면적으로 이루어지는 횡단면적 곡선(Section Area Curve: SAC)을 생성하기 위해 주어진 데이터(Offset)를 지나는 B-spline 곡선의 조정점들의 데이터 베이스를 구축하였다.

Fig. 2는 Offset 표현에 의한 곡선 표현과 B-spline 조정점에 의한 표현을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 B-spline 근사법[7,8]과 유전자 알고

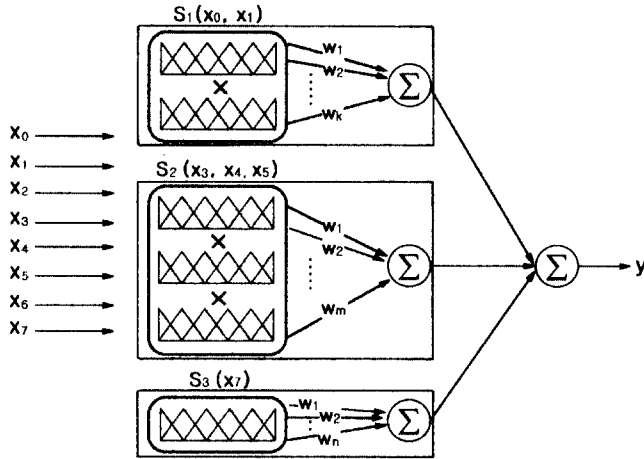


Fig. 1. ASMOD model using a neural network concept.

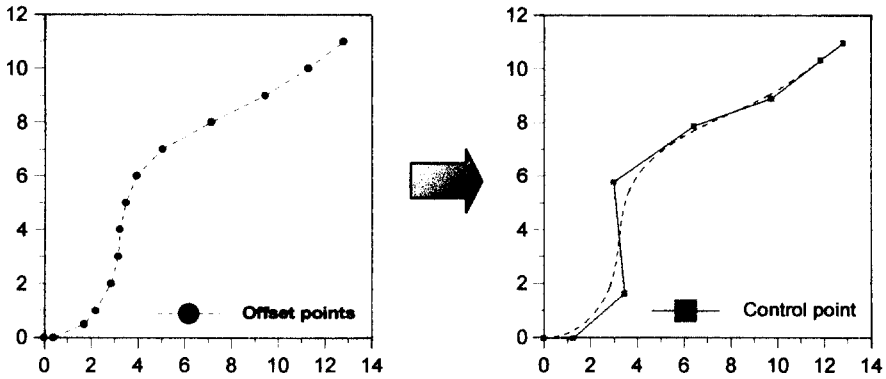


Fig. 2. Comparison of representing way between a present method and a B-spline curve.

리즘(Genetic algorithm)[9]을 이용하여 주어진 데이터 (Offset)를 근사하게 지나는 곡선을 정의하였다.

먼저, B-spline 근사법을 이용하여 주어진 데이터를 지나는 조정점을 생성한 후, 이들 조정점을 초기 점으로 하여 부동 소수점으로 표현되는 유전자 알고리즘 [9]으로 사용하여 주어진 자유 형상의 기하학적 특성 - 양끝점의 위치 및 접선 벡터 - 을 만족하면서 주어진 데이터를 근사하게 지나는 곡선을 구한다.

본 연구에서는 SAC를 정의하기 위한 B-spline 조정점 생성을 위해서 SAC는 곡선은 선수부와 선미부로 각각 나누어 정의하였고, B-spline 곡선은 Table 1과 같이 설정하였다.

SAC의 기하학적 경계 조건은 다음과 같이 설정하였다.

- ① 선수미부 양끝점은 “-1”과 “1”로 무차원화한다.
- ② 중앙 평행부의 시작점과 끝점에서의 접선방향은 항상 수평이어야 한다.

Table 1. Order and No. of control points in Stern & Bow part of ship data used in this paper

	Order	No. of control points
Stern part	5	5
Bow part	4	5

Fig. 3은 Table 1의 정의에 따른 SAC의 기하학적 형상을 나타낸다.

B-spline 근사법으로 조정점을 생성할 때 경계 조건 만족이 어려우므로 중앙 평행부의 시작점과 끝점을 포함하는 조정 스팬(Control span)(Fig. 3)이 평행하도록 유전자 알고리즘을 사용하여 조정점을 수정하였다.

Fig. 4는 유전자 알고리즘에 의한 Run부 조정점의 수정 예를 나타낸다.

Entrance부에 대한 B-spline 조정점도 동일한 방법으로 결정할 수 있다.

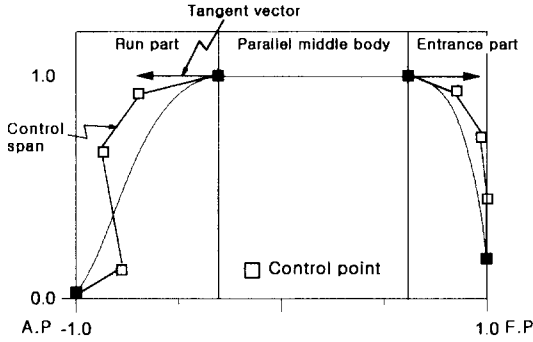


Fig. 3. Geometry of SAC.

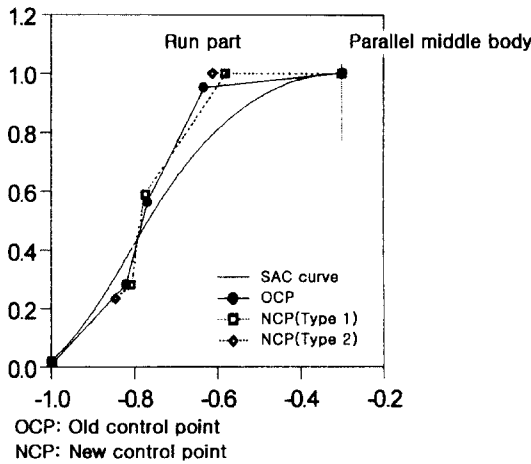


Fig. 4. Modification example on control points of Run part using a genetic algorithm.

2.4 ASMOD를 이용한 3차원 자유 형상 설계

ASMOD를 이용한 자유 형상-선체 형상-설계는

다음과 같이 2단계로 수행된다.

【1단계】 주요치수 및 형상 요소 결정 단계로서, 선형 설계의 경우 주어진 설계 조건-선종(Ship type), 재화중량(DW), 선속(Speed), 계획 흘수(d)-으로부터 주요치수-수선간장, 폭, 중앙 횡단면적(A_m)-와 선형 계수-방향 계수(C_b)-를 결정.

【2단계】 B-spline 조정점 결정 단계로서, 【1단계】의 출력 변수들을 입력 정보로 하여 자유 형상의 기하학적 형상을 정의하는 B-spline 조정점을 생성.

Fig. 5는 SAC 생성을 위한 ASMOD 모델링의 개념도를 나타낸다. 실적선의 SAC를 B-spline 근사법과 유전자 알고리즘에 의해 정의하여 조정점에 대한 데

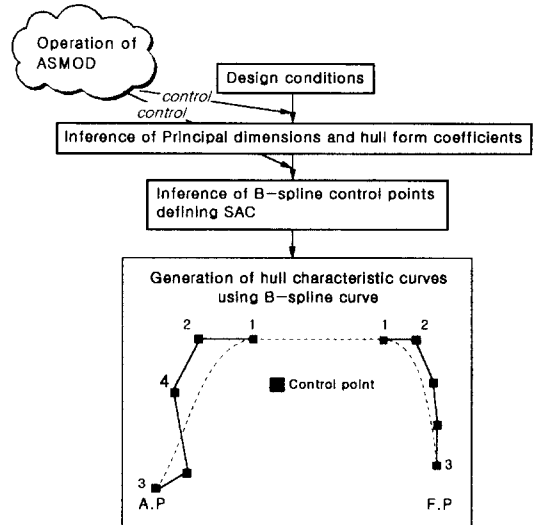


Fig. 5. Concept of ASMOD modeling for SAC.

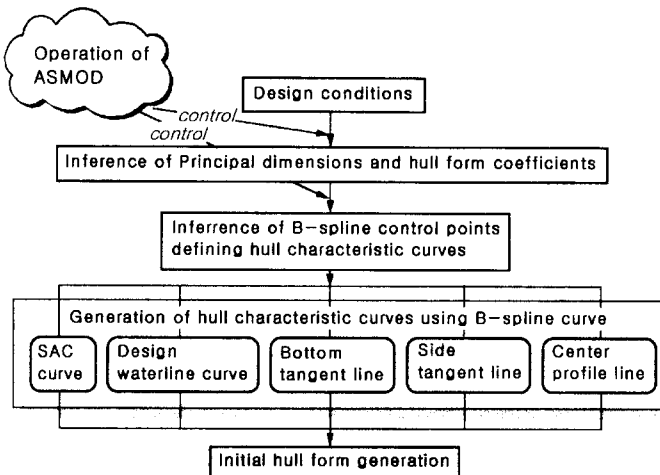


Fig. 6. The flowchart of a initial hull form generation using ASMOD.

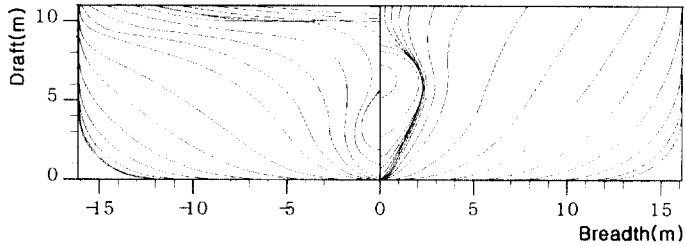


Fig. 8. An example of initial hull form generated by an ASMODO.

이터베이스를 구축한다. 그리고 주요치수와 이들 조정점과의 관계를 학습 데이터로 하여 ASMODO를 학습시키고, 이를 SAC 생성을 위한 B-spline 곡선의 조정점으로 도출한다. SAC 생성 예와 동일한 방법으로 다른 선형 특성 곡선 - design waterline curve, bottom tangent line, center profile line - 을 결합함으로써 초기 선형 생성이 가능하다[10-12].

Fig. 6은 SAC를 포함한 선형 특성 곡선에 의한 초기 선형 생성의 개념도를 나타낸다.

2.5 적용 예

본 연구에서는 Container 12척, Tanker 8척, Bulk carrier 7척, VLCC 4척을 사용하였고, Table 2는 학습용 데이터로 사용된 실적선의 설계 변수 및 범위를 나타낸 것이다.

Fig. 7은 모든 조정점에 대한 ASMODO 모델링을 수행한 후 L/B=6.6998, B/d=2.6426, Cb=0.833, Am=391.9 m²인 Bulk carrier에 대해 추론된 SAC와 실적선의 SAC를 비교한 것이다.

Table 2. Design conditions and variables

1.2×10^3	\leq Dead weight(Ton): DW	\leq 310	$\times 10^3$
0.12	\leq Froude number: Fn	\leq 0.254	
9.5	\leq Design draft(m): d	\leq 21.4	

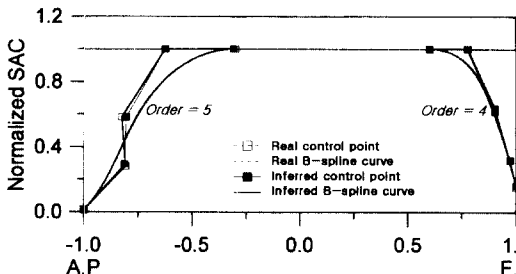


Fig. 7. Comparison real values and values inferred by ASMODO for SAC.

추론된 결과는 실적선의 형상을 나타내는 SAC에 매우 근접하며, ASMODO로 추론된 조정점이 정의하는 SAC는 실적선의 SAC에 아주 잘 맞게 생성된다. 또한 SAC는 B-spline 곡선으로 표현되므로, B-spline 곡선의 장점을 유지하여 C²급 연속성이 보장된다. 다른 선형 특성 곡선에 대해서도 SAC 생성과 동일한 방법으로 수행하여, 각 선형 특성 곡선을 정의하기 위한 ASMODO 모델을 구성할 수 있다.

그리고 이들 곡선을 결합함으로써 초기 선형을 생성할 수 있다[10-12]. Fig. 8은 L/B=7.04, B/d=2.981, Cb=0.6317인 Container에 대해 ASMODO를 이용하여 선형 특성 곡선들을 생성한 후, 이들로부터 초기 선형을 생성한 예를 나타낸 것이다.

3. 결 론

이상의 연구 결과로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 자유 형상 설계시 ASMODO와 혼합 근사법을 결합하여 보다 효율적이고 정도(Precision) 높은 설계 결과를 얻을 수 있다.
- (2) 자유형상 물체의 대표적인 예인 선체형상 설계시 SAC에 대한 B-spline 조정점 생성은 C²급과 G²급 연속성을 유지한다.
- (3) 선체 형상보다 덜 복잡한 자동차 형상 설계와 항공기 및 기타 공산품 설계에도 본 방법 적용 가능성을 확신할 수 있다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] T. Khanna, *Foundation of Neural Networks*, Addison-Wesley, 1990.
- [3] T. Kavli, "ASMODO-an algorithm for adaptive spline

modeling of observation data”, *Int. J. Control*, Vol. 58, No. 4, pp. 947-968, 1993.

[4] M. Brown and C. J. Harris, *Neuro Fuzzy Adaptive Modeling and Control*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nj, 1994.

[5] K. M. Bossley, M. Brown and C. J. Harris, “Neurofuzzy model construction for the modeling of non-linear process”, *In 3rd European Control Conference*, Vol. 3, pp. 727-729, 1995.

[6] K. M. Bossley, *Neurofuzzy Modeling Approaches in System Identification*, PhD thesis, University of Southampton, 1997.

[7] D. F. Rogers and J. A. Adams, *Mathematical Elements for Computer Graphics*, McGraw-Hill Publishing Company, 1990.

[8] G. Farin, *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design*, Academic Press, Inc., 1990.

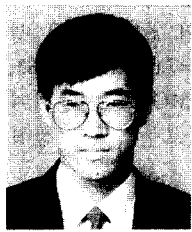
[9] Z. Michalewicz, *Genetic Algorithms+Data Structures=*

Evolution Programs, Springer-Verlag, 1992.

[10] 강사원, *B-spline Form parameter 방법에 의한 선형 설계 기법 연구*, 석사학위논문, 부산대학교, 1990.

[11] 김현철, *SAC와 NURBS 곡선을 이용한 초기 선형 생성에 관한 연구*, 석사학위논문, 부산대학교, 1995.

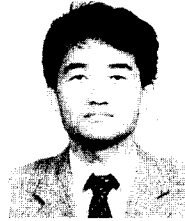
[12] S. Y. Kim, H. C. Kim and Y. S. Lee, *A Study on an Initial Hull Form Design usinf Fuzzy Modeling*, Ship Technology Research/Schiffstechnik, 1996.



김 현 철(Hyun Cheol Kim)

1993년 : 부산대학교 조선해양공학과
학사
1995년 : 부산대학교 조선해양공학과
석사
현 재 : 부산대학교 조선해양공학과
박사 과정, 한국기계연구원
선박해양공학연구센터
주요관심분야 : AI를 이용한 선박의 최

적설계, 선형 CAD/CAM



김 수 영(Soo Young Kim)

1974년 : 부산대학교 조선해양공학과
학사
1977년 : 부산대학교 조선해양공학과
석사
1987년 : 베를린 공과대학 박사
현 재 : 부산대학교 조선해양공학과
교수
주요관심분야 : 선박 설계 에이전트,

AI를 이용한 선박 설계, 선형 CAD/CAM



이 창 호(Lee Chang Ho)

1977년 : 부산대학교 조선해양공학과
학사
현 재 : 현대중공업(주) 조선사업부
기본 설계실
주요관심분야 : 퍼지 시스템, 비선형 최
적화, 선박 최적 설계