대 한 조 선 학 회 논 문 집
제43권 제1호 2006년 2월

Journal of the Society of Naval Architects of Korea
Vol. 43, No. 1, pp. 96-102, February 2006

유전자 알고리즘을 이용한 설계파 생성 및 해석 시스템 구축

정성재†*, 신종근*, 최진**

국립수산과학원 수산공학팀*
부산대학교 조선해양공학과**

Construction of a System for the Generation and Analysis of Design Waves using the Genetic Algorithms

Seong-Jae Jeong†*, Jong-Keun Shin* and Jin Choi**

Fisheries Engineering Team, National Fisheries Research & Development Institute*
Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University**

Abstract

In this study, an optimization routine with genetic algorithms is coupled for the selection of free variables for the production of a control signal for the motion of wave board in the numerical wave tank. An excitation function for the controlling of the wave board is formulated on basis of amplitude modulation for the generation of nonlinear wave packets. The found variables by the optimization serve for the determination of wave board motion both with the computation and with the experiment. The breaking criterion of the water waves is implemented as boundary condition for the optimization procedure. With the analysis of the time registration on the local position in the wave tank the optimization routine is accomplished until the given design wave with defined surface elevation is found. Water surface elevation and associated fields of velocity and pressure are numerically computed.

※Keywords: Design wave(설계파), Optimization(최적화), Breaking criterium(쇠파기준), Genetic Algorithms(유전자알고리즘), Numerical wave tank(수치파 수조)

1. 서론

실험실에서 구현하는 최대설계파와 그것으로 인해 선박이나 해상구조물에 작용하는 힘을 규명하여 최적설계를 구현하는 것은 오래전부터 연구되어 왔다(Davis and Zarnick 1964). 이러한 설계파

접수일: 2005년 4월 27일, 승인일: 2005년 11월 2일
†주저자, E-mail: denkmal@momaf.go.kr
Tel: 051-720-2592

를 생성하기 위해서 실험실에서 만들 수 있는 최대파를 축척효과를 고려하여 계산하여야 하며, 또한 조파기의 성능과 유체역학적 특성이 고려되어져야 한다. Transient wave와 같은 최대 설계파를 구현하기 위해 필요한 여러 조건 가운데 조파기를 제어하는 적절한 신호의 생성이 우선적으로 계산되어야 하고, 이는 곧 Dispersion 방정식을 만족하며 이동하는 파랑을 조파기 제어신호로 정의하여 구현할 수 있다.

설계파를 생성시키는 신호는 조파기의 형태에 따라 전달함수를 사용하여 피스톤이나 플랩형 조파기를 구동시키고, 사용자가 원하는 위치에서 원하는 파고를 생성시키게 된다. 이상적인 경우 조파기는 사용자가 정의한 제어신호를 충분히 받아들여 움직여 주겠지만, 대부분 유압 또는 전기적인 회전력으로 움직이는 조파기의 기계적인 특성으로 인해 가속도와 최대 구동범위는 제한되어 있는 것이 보편적이다.

본 연구에서는 조파기를 제어하기 위한 신호생성에 대해 다루고 있으며, 수치파 수조(정성재 등 2005)를 이용하여 생성된 신호로 설계파를 생성하는 과정을 시스템으로 구현하고 있다. 조파기에 필요한 제어신호는 직접 정의한 함수를 사용하였고, 주어진 목적함수에 맞는 최대 설계파를 구현하는 과정은 유전자 알고리즘으로 최적화 하였다. 또한 최적화 과정에서의 경계조건으로 breaking wave에 대한 고전적인 정의들을 적용하였다.

2. 파랑자료의 해석

실험실에 설치된 조파수조나 컴퓨터로 시뮬레이션으로 구동되는 수치파 수조 어느 곳이든 일정시간 계측된 파랑자료를 통계적으로 해석하여 파고와 평균주기를 파악하기 위해 Zero-up-crossing과 Zero-down-crossing방법을 사용할 수 있다. 이 두 가지 방법을 Fig. 1에 나타내었다. 이 두 방법은 서로 다른 파고(H)와 주기(T)를 나타내 주기에 선택하는 방법에 따라 분석자료의 차이가 존재할 수 있다. 또한 최적화의 목적함수에 중요한 요소로서 사용되는 최대파고 $H_{\max}$ 및 최대파고에 상응하는 주기 $T_{\max}$ 역시 이 방법을 통해 찾을

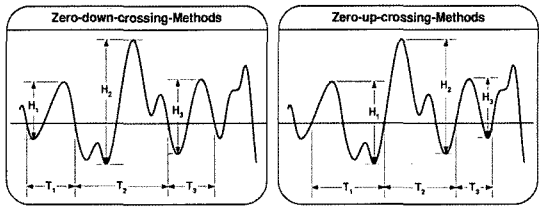

Fig. 1 Analysing methods for the data of wave registration

수 있다. 시간영역에서 분석되는 불규칙적인 해상상태를 나타내는 파랑의 분석에 있어서 중요한 인자인 유의파고 $H_{1/3}$ 는 H_s 로 표시되기도 하며, 이것은 주어진 시간동안 측정된 파고들 중 높은 것부터 33%의 범위에 드는 파랑들의 평균을 나타낸다. 이러한 주요한 파랑분석의 인자들은 측정자료만으로도 통계적 분석이 가능하기 때문에 수치파 수조에서도 역시 파랑분석을 통하여 정확하게 얻을 수 있다. 해석방법에 있어서도 그 차이는 엄연히 존재하고 있지만, 어떤 방법을 사용하는 가는 파랑해석의 기법의 편의성과 사용자의 취향에 달려있다. 결국 통계적으로 처리되는 자료이기 때문에 그 결과는 거의 동일하게 나타난다. 이 논문에서는 Zero-down-crossing 방법을 사용하여 파랑자료를 분석하고 최대파고 $H_{\max}$, 상응하는 주기 $T_{\max}$ 평균파고 H_m 등을 분석하였다.

3. Breaking wave의 판정기준

시간영역에서 계측된 파고데이터를 최적화 단계에 적용하기 위해서 breaking wave의 판정기준을 최적화 과정의 목적함수의 경계조건으로 도입하여야 한다. 고전적인 breaking wave의 판정기준인 Stokes 방법(Stokes 1847) 외에 Fig. 2에서 보인 것 과 같은 여러 가지 방법들을 적용할 수 있지만, 여기서는 수조에서 발생시킨 규칙파를 계측해 얻은 판정기준(Van Dorn and Pazan 1975, Ranberg and Griffin 1987)을 사용하기로 한다.

실험에서 도출된 breaking wave 판정기준은 Fig. 2에 나타낸 것처럼 (1)식과 같이 쓸 수 있다.

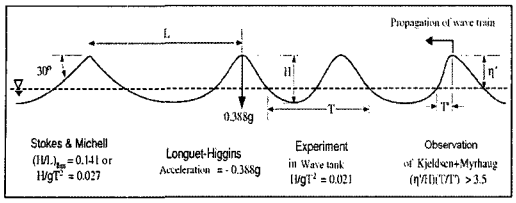

Fig. 2 Several breaking criterion

$$\frac{H}{gT^2} = 0.021 \tag{1}$$

여기서 g는 중력가속도로서 $9.81\ [m/s^2]$을 나타낸다. 이 판정기준은 진행파일 경우에 시뮬레이션에 잘 응용할 수 있다. 여기서 H와 T는 앞에서 제시한 해석방법을 통해서 쉽게 구할 수 있다. 하나의 주기에서 나타나는 최대와 최소파고는 계측값을 통해 구해지며, 이때 정수면에서 측정된 수면의 데이터가 기준값으로 사용된다.

4. 유전자 알고리즘과 목적함수

4.1 유전자 알고리즘

원하는 파고와 주기를 가진 설계파 생성을 위해 최적화 방법인 유전자 알고리즘을 도입하였다. 최적화 방법의 선택에는 두 가지 요소가 고려된다. 첫째, 최적화 방법이 해를 구하고자 하는 전 영역에서 탐색을 수행하여 국부적인 해에 빠지지 않고 전체 해를 찾을 수 있는가 이며 둘째는, 사용자가 납득할 수 있는 시간 내에 해를 찾아내고 또한 최적화를 통해 찾은 해의 유용성이 입증되어야 한다. 이 연구에서 사용된 최적화 방법은 확률적 방법의 하나인 유전자 알고리즘을 사용하였다(이동곤 등 1994, Jeong 2003). 유전자 알고리즘은 선박의 주요치수 선정(이동곤 등 1995), 최적설계시스템에 의한 선박의 초기설계(이동곤과 김수영 1996) 등으로 선박의 초기 설계분야에서도 그 유용성을 확인할 수 있다. Fig. 3에 유전자 알고리즘이 해를 찾는 과정을 간단하게 나타내었다.

4.2 목적함수

최적화 문제의 목적함수는 경계조건과 함께 제시되며 해를 구하고자 하는 영역 $\mathbb{R}$에서 시스템

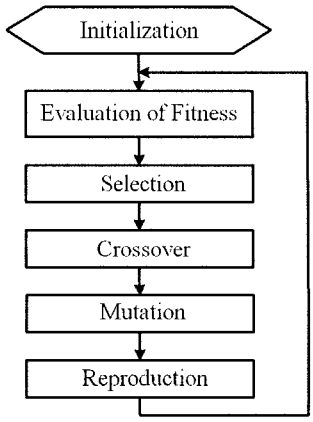

Fig. 3 A flow of genetic algorithms

파라미터 $\vec{s} = (s_1, \cdots, s_n)$ 를 사용하여 다음과 같이 쓸 수 있다:

$$\underset{s \to \mathbb{R}}{Min} \quad f(\vec{s}) \tag{2}$$

경계조건은 $\vec{g}(\vec{s}) = 0$, $\vec{g} = (g_1(s), \cdots, g_n(s))$로 표시할 수 있다.

유전자 알고리즘에서 적합도 평가는 이 목적함수의 적합도를 계산함으로서 이루어진다. 설계파 생성을 위하여 파랑을 만드는 조파기의 신호를 제어하여 조파판을 원하는 위치로 움직여야 한다. 이러한 종류의 신호는 진폭을 변화시킴으로서 쉽게 생성시킬 수 있다(Boyd and Chen 2000). 이들이 사용한 신호는 비선형파를 생성하기 위해 만들어 졌으며 다음과 같이 정의된다:

$$\zeta(x,0) = 6\mu \operatorname{sech}(\lambda x) \cdot \cos\left(x + \frac{\pi}{3}\right) \tag{3}$$

여기서 비선형 파라미터 $\mu = 1/10$ 을 나타내고, Dispersion 파라미터 $\lambda = 1/10$ 이다. 또한 $\operatorname{sech} x = 1/\cosh x$를 의미한다.

(3)식은 설계파를 생성하고 조파기를 제어하기에는 적당하지 못하다. 따라서 처음 신호를 만들기 위해서 약간의 가속구간과 신호가 끝나는 부분에서의 감속을 고려하여 새로운 제어함수를 정의해야 할 필요성이 있다. 이를 위해서 (3)의 함수에 cosine을 sine으로 치환시키고 공간영역의 변수 x를 시간영역의 변수 t로 바꾸어 다시 써 보면:

$$\mathcal{X}(t) = P_1 \cdot \mathrm{sech}(P_2 \cdot t) \cdot \sin(P_3 \cdot t) \quad (4)$$

여기서 파라미터 $P_{i=1,2,3}$은 상수를 나타낸다. 식 (4)에서 상수 P_2는 신호의 진폭변조를, 상수 P_3은 주파수를 표시하고 있다고 가정할 수 있다. 조파기 제어신호에서 주파수를 나타내는 항을 파랑의 Dispersion을 만족시키기 위하여 $(P_4 \cdot t)$를 식 (4)의 마지막 항에 곱해주었다. 또한 조파기 신호의 마지막 영역에서 조파판의 감속을 위하여 추가로 $\tanh(P_5)$를 고려하였다. 이렇게 조파기를 제어하기 위한 신호를 나타내는 식으로 각 항들을 추가하여 다시 써 보면 다음과 같다:

$$\mathcal{X}(t) = P_1 \cdot \mathrm{sech}(P_2 \cdot t) \cdot \sin\{P_3 \cdot \cosh(P_4 \cdot t) \cdot t\} \cdot \tanh(P_5) \quad (5)$$

식(5)에 사용되고 있는 상수 중 P_1은 조파판의 최대변위를 제어한다. 식 (5)에 사용된 각 상수들과 값의 변화로 인해 만들어지는 조파신호와 상수값들을 Fig. 4에 나타내었다. 하나의 상수만 변화시키고 나머지 상수들을 고정하는 식으로 생성되는 조파신호를 각각 비교해 Fig. 4에 보였다. P_2는 진폭변조를 나타내며, P_3은 조파판의 변동 주파수를 제어한다. 아울러 P_4는 조파기 제어신호 내부에서 주파수의 시간별 변화를 나타내고 있다.

조파신호의 생성시간은 수치파 수조내부에서 뿐만 아니라 예인수조 실험에서 반사파의 영향이 없는 범위로 제한하기 위하여 30초로 제한하였다. 최적화 알고리즘에서 찾고자 하는 값은 상수 $P_{1,2,3,4}$이며 P_5는 계산에서 상수값으로 주었다.

5 최적화 결과

비선형 설계파를 지금까지 정의한 목적함수와 최적화 기법을 이용하여 생성시켰다. 식 (2)와 (5)를 시뮬레이션 중에 생성된 최대파 H_{max}를 2절에서 소개된 Zero-down-crossing방법으로 해석하여 목적함수를 구성하였다. 최적화를 위한 목적함수 정의의 첫 단계로 파고를 측정하여 파랑자료를 해석하기 위한 기준으로서 시뮬레이션이 진행되는 수치파수조의 임의위치를 선정하였다. 또한 이 위치에서 최대파고를 가지는 주기 T_{max}를 계산하였다. 아울러 시뮬레이션이 시작된 후 최대파가 등

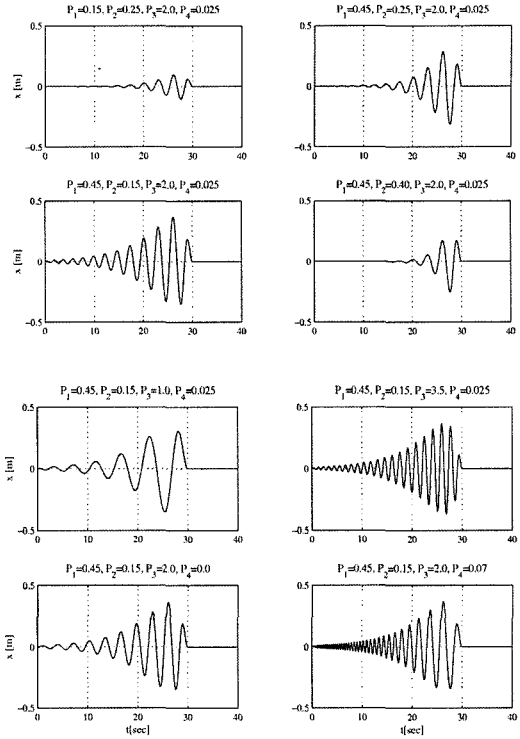

Fig. 4 Influence of parameters $P_{1,2,3,4}$ in function for generation of waveboard control

장하는 시간을 제어하기 위하여 t_{max}를 정의하였다. 이러한 파랑과 시뮬레이션에서 계산이 가능한 3개의 값을 이용하여 목적함수를 구성하였다. 또한 임의의 변수를 가진 $\vec{s} = (P_1, \cdots, P_4)$가 목적함수 내부에서 조파기 제어신호를 생성시키는 역할을 수행하게 된다.

최대 설계파를 생성시키기 위한 최적화의 목적함수가 수렴해야할 값은 입력으로 처리하였으며 이것은 각각 파고(H_{max}), 주기(T_{max}) 및 시뮬레이션 시작 후 최대설계파의 발생시간(t_{max})으로 주었다. 이렇게 정의된 목적함수를 다시 써 보면:

$$\underset{\mathbf{s} \to \Re}{\mathrm{Min}} \quad f(\mathbf{s}) = \left(\frac{H_{max} - H_z}{H_z}\right)^2 + \left(\frac{T_{max} - T_z}{T_z}\right)^2 + \left(\frac{t_{max} - t_z}{t_z}\right)^2 \quad (6)$$

이고, H_z , T_z 및 t_z 는 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 최적화를 이용하여 구하고자 하는 목표값을 나타내며, 이때의 경계조건은

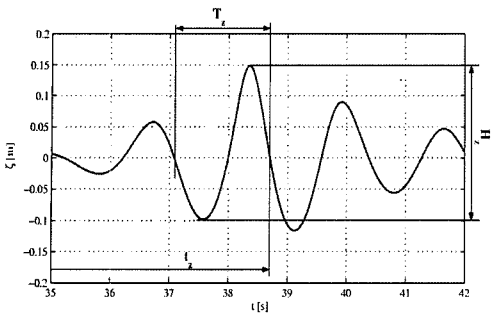

Fig. 5 Definition of variables in object function

$$g_1 = \frac{H_{max}}{g T_{max}^2} - K_B \leq 0$$

으로서 K_B는 (1)식의 breaking wave 기준이다.

시뮬레이션의 과정은 Fig. 6에 나타낸 것과 같다. Database는 계산과 시뮬레이션에서 생성된 모든 최대설계파를 저장하며 각 설계파에 상응하는 생성된 변수에 대한 정보를 가지고 있다.

Fig. 6에서 나타낸 최적화 방법을 이용하여 구축된 프로그램으로 H_z=0.55[m], T_z=2.0[s] 및 t_z=40[s] 의 특성을 가지는 설계파를 생성하였다. Tab. 1에 상세한 설계파의 특징을 표시하였다.

목적함수는 식(6)을 사용하였으며 제한조건에 필요한 K_B=0.021을 상수값으로 직접 입력하였다. 시뮬레이션에 사용된 다른 파라미터들은 그들이 가질 수 있는 값의 범위를 제한하여 Tab.2 와 같은 입력값으로 주었으며, 제한조건으로 작용하며 시뮬레이션 과정에서 사용된다.

수치파 수조는 길이 150[m], 깊이 1.5[m]이며 x 방향으로 1800개, y방향으로 20개의 계산격자를 사용하여 만들어 졌다. Time step은 0.005[s]으로 계산되었다. 시뮬레이션은 Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 96회의 Iteration으로 해를 구했으며 종료조건으로서는 최적해와 주어진 해의 차가 연속된 3회의 계산결과 동안에 0.05% 이내가 되면 최적값으로 판단하였다.

이렇게 구해진 최적값을 Table 3에 나타내었으며, 사용자가 원하는 설계파의 목표값과 최적화 계산을 통해 도출된 결과의 오차를 Table 4에 보였다. 아울러 파랑의 진행과 최대파랑이 나타나는 시간인 시뮬레이션이 시작된 후 39[s]에 대한 결과를 Fig. 8에 표시하였다. 이때 계산된 속도장과 압력분포를 Fig. 9에 나타내었다.

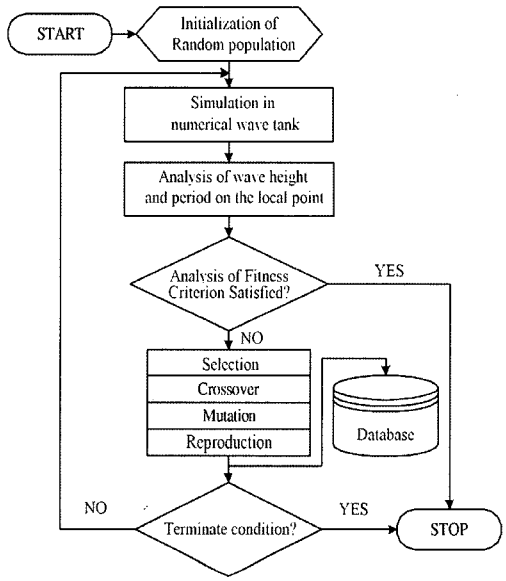

Fig. 6 Flowchart of GA-optimization

Table 1 Character of design wave

Time domain		
H_z	=	0.55 [m]
T_z	=	2.0 [s]
t_z	=	40.0 [s]
Local domain		
x_z = 30.0 [m]		from Wave board

Table 2 Maximum and minimum of parameter

0.15	≤	P_1	≤	0.45
0.15	≤	P_2	≤	0.4
1.0	≤	P_3	≤	3.5
0.0	≤	P_4	≤	0.05

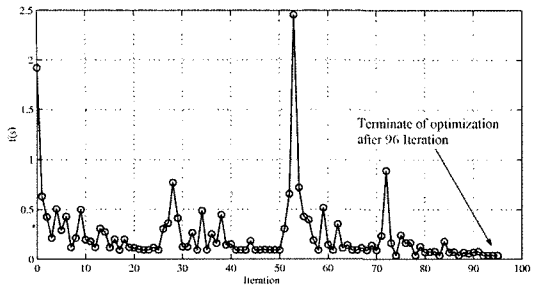

Fig. 7 Analysis of fitness in optimization

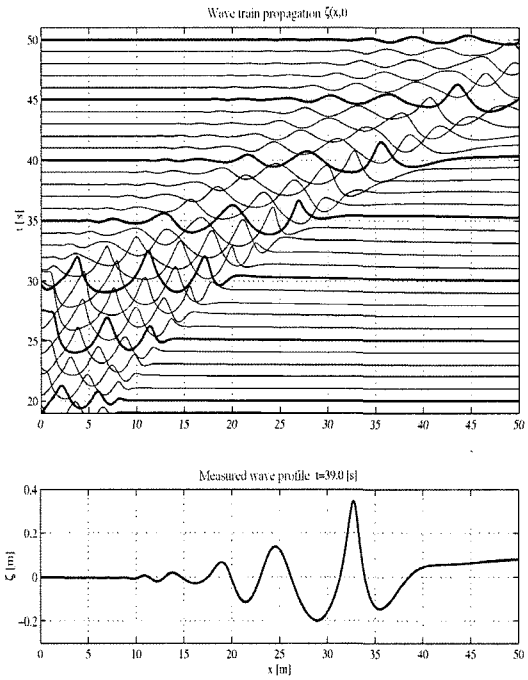

Fig. 8 Wave propagation and profile with maximal wave height

Table 3 *Parameters calculated by GA-optimization*

Parameter	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5 (constant)
Solution	0.4229	0.1624	2.9298	0.0393	0.5

Table 4 Detailed results of optimization

	Waveheight [m]	Period [s]	Time [s]
Target value	0.55	2.0	40.0
Optimization	0.5651	2.1604	38.6
Deviation	+2.75%	+8.02%	-3.5%

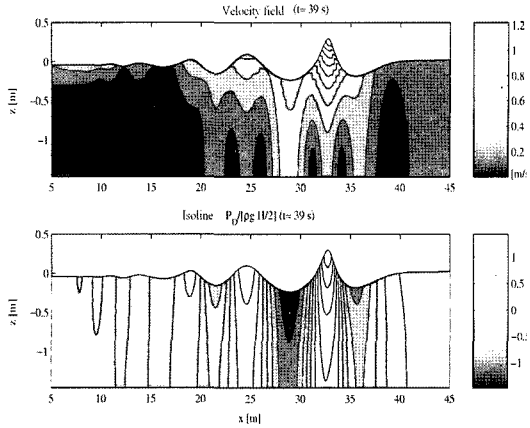

Fig. 9 Velocity field and Isoline of target wave

6. 결 론

이 연구에서는 설계파 생성과 해석을 위해 유전자 알고리즘을 이용하여 사용자가 정의하는 파랑 데이터를 입력한 다음, 순차적으로 시뮬레이션을 수행하는 시스템을 구축하였다. Transient wave의 특성 구현이 가능한 간단하고도 확실한 조파함수를 정의하였으며 이를 이용하여 각 파라미터를 계산하였다. 최적화과정에서 필요한 목적함수를 파고, 주기 및 시간으로 정의하여 표현하였고, 최적화의 제한조건으로서는 파랑의 쇄파에 대한 실험으로 얻은 자료를 사용하였다. 이 시스템으로 얻어진 파라미터와 조파함수는 실험을 통해 조파수조에서 설계파를 간단하게 재현할 수 있다. 또한 해양파가 설계에 미치는 영향을 규명하기 위해 필요한 파랑의 속도장과 압력장을 계산하였다.

여기서 제시된 최적화 시스템을 이용한 수치시뮬레이션 결과는 향후 실험결과와 비교되어져야 한다.

후 기

이 연구는 국립수산과학원 (세부과제명, RP-2005-SG-005)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

• 이동곤, 김수영 1996, "지식기반최적설계시스템에

의한 선박 초기설계," 대한조선학회 논문집, 제 33권, 제 1호, pp. 161-172
- 이동곤, 김수영, 신수철, 1995, "선박의 주요치수 선정에 있어서 다목적함수 최적화의 응용," 대한조선학회 논문집, 제 32권, 제 2호, pp. 10-21.
- 이동곤, 정성재, 김수영, 1994, "A Study on the Efficient Optimization Method by coupling Genetic Algorithm and Direct Search Method," 대한조선학회 논문집, 제 31권, 제 3권, pp. 12-18.
- 정성재, 안희춘, 신종근, 최진 2005, "수치파 수조를 이용한 설계파 생성에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 3호, pp. 205-211.
- Boyd, J.P. and Chen, G.Y., 2000, Weakly Nonlinear Wavepackets in the Korteweg-deVries Equation: The KdV/NLS Connection, Math. Compt. Simulation.
- Davis, M.C. and Zarnick, E.E., 1964, "Testing Ship Models in Transient Waves," In 5th Symp. on Naval Hydrodynamics
- Jeong, S.J., 2003, "Ein Beitrag zur Erzeugung nichtlinearer Entwurfsseegaenge im Numerischen Wellenkanal," Technische Universitaet Berlin, D83.
- Ramberg, S.E. and Griffin, O.M. 1987, "Laboratory Studies of Steep and Breaking Deep Water Waves," J. Waterway. Port, Coastal Ocean Eng. Vol. 113.
- Van Dorn, W.G. and Pazan, S.E. 1975, "Laboratory Investigation of Wave Breaking," part 2. Deep Water Waves, Advanced Ocean Eng. Lab. Rept. 71.
- Stokes, G.G., 1847, "On the Theory of Oscillatory Waves," Trans. Camb. Phil. Soc., Vol. 8.

< 정 성 재 > < 신 종 근 > < 최 진 >