

## 확정론적 기법 및 확률론적 기법을 적용한 선박 초기 설계 방법에 관한 연구

양영순<sup>†\*</sup>, 박창규<sup>\*</sup>, 유원선<sup>\*</sup>

서울대학교 조선해양공학과<sup>\*</sup>

A Study on the Preliminary Ship Design Method  
using Deterministic Approach and Probabilistic Approach

Young-Soon Yang<sup>†\*</sup>, Chang-Kue Park<sup>\*\*</sup> and Won-Son Ruy<sup>\*</sup>

Naval Architecture & Ocean Engineering, Seoul National University<sup>\*</sup>

### Abstract

The paper describes the preliminary ship design method using deterministic approach and probabilistic approach. In deterministic approach, there are computational aspects to applying not only the integration concurrently of principal dimension decisions and hull form variations but also hydrostatic coefficients that applied to optimization iterative process. Therefore, this paper developed that actual design concept at the preliminary ship design more than sequential design which separated in principal dimension decisions and hull form variations. Furthermore, a probabilistic approach at the preliminary ship design is applied to efficiently solve design information uncertainty that compared to deterministic approach.

※Keywords: Preliminary ship design(선박 초기설계), Hull form variation(선형 변환), Hydrostatic coefficient(유체정역학 계수), Probabilistic approach(확률론적 기법)

### 1. 서론

선박 초기 설계 시[Fig. 1] 대부분의 조선소에 서는 선주의 요구조건(Owner's requirement)에 의 해 모선(parent ship)의 정보 자료를 토대로 주요 치수를 결정한 이후 기존선형의 단면적 곡선을 설

계 선형의 단면적 곡선으로 변환하는 선형변환 과 정에 의해 설계가 진행되고 있다.

이러한 기존의 선박 초기 설계는 주요치수가 결정 된 이후에 선형을 결정하게 되는 순차적인 (Sequential)설계 정보의 흐름[Fig. 2(a)]에 국한됨 으로서 선형설계는 주요치수에 종속적일 수밖에 없다.

따라서 이러한 기존의 설계 기법에서는 기준선 의 선형정보를 주요치수에 맞추어 변환(variation) 하게 됨으로써 선박 초기의 정확한 설계정보를 얻

접수일: 2003년 12월 30일, 승인일: 2004년 4월 8일

† 주저자, E-mail: ysyang@sis1.snu.ac.kr

Tel: 02-880-7330

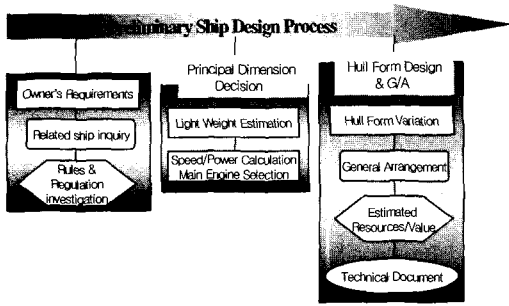
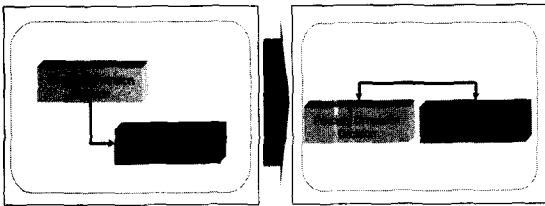


Fig. 1 Preliminary ship design process



(a) Sequential Design Information (b) Concurrent Design Information

Fig. 2 Comparisons of preliminary ship design information

는데 다소 미흡하다고 볼 수 있다. 최근 선박 초기 설계 과정에 다분야 최적설계(multidisciplinary design Optimization, MDO) 기법을 적용한 연구가 진행되고 있지만(Lee et al. 2000) 이러한 MDO 기법도 선박 초기 설계 시 주요치수 결정단계와 선형변환 설계가 분리되어 각각 개별적으로 최적화가 수행되고 있고 또한 주요치수 결정 단계에서 선형정보의 제약으로 인해 경험식에 의한 유체정역학 계수(Hydrostatic coefficient)를 최적설계의 제약조건(Constraint)에 적용할 수밖에 없는 문제점을 가지고 있었다.

이러한 기존의 설계 기법은 재화중량(Deadweight, DWT)의 변화가 적은 경우엔 별 문제없을지 몰라도, 실적선의 자료가 충분하지 못한 신조선박이나 재화중량의 변화가 큰 선박 설계에는 적합하지 못하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 주요치수 결정과 선형변환과정을 동시에 고려하는[Fig. 2 (b)] 통합된 초기설계기법을 통해 설계정보의 원활한 흐름을 모

색하고자 한다. 주요치수 결정과 선형변환과정을 최적설계과정에 통합화하기 위해서 본 연구에서는 선형 블랜딩 기법(Hull Form Blending Technique)(Ganesan 2001, Neu. et al. 2000)을 적용하였다.

선형 블랜딩 기법은 기준 선형(Basis hull)들간의 선형 혼합(Mixture)에 의해 설계선의 선형을 얻는 기법으로 현재 Virginia Tech.을 중심으로 활발한 연구가 진행 중에 있다. 즉, 선형 블랜딩 기법은 기존의 선형 변환기법이 단지 기준 선형 1개를 대상으로 한데 반해, 2개 혹은 2개 이상의 선형간의 혼합을 통해 변환된 선형을 얻을 수 있는 방법으로 몇 개의 최적선형간의 선형 혼합을 통해 선형 변환을 얻는다는데 그 차이점이 있다고 볼 수 있다.

아울러, 선박 초기 설계 시 설계 정보의 불확실성을 효율적으로 고려하기 위해 확률론적 기법(Probabilistic Approach)에 의한 선박 초기 설계 기법을 적용하여 확정론적 기법(Deterministic Approach)과의 비교를 통해 선박 초기 설계 과정에서 발생하는 설계 변수의 불확실성이나 변동량을 정량적이고 합리적으로 고려할 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

2. 확정론적 기법에 의한 선박 초기설계

2.1 순차적인 선박 초기 설계 기법(Sequential Preliminary Ship Design)

선박 초기 설계 시 주요치수 결정은 Fig. 3과

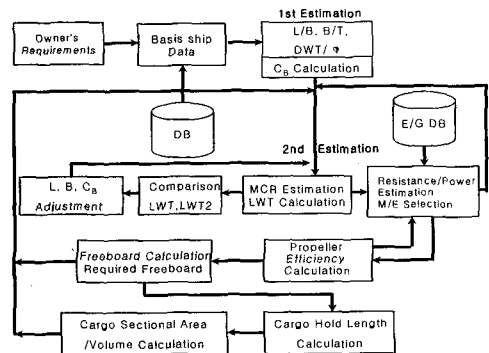


Fig. 3 Sequential preliminary ship design

같이 선박 특유의 Design Spiral에 의한 반복계산 과정에 의해 수행되며 주요치수 결정 단계에서 구한 정보를 토대로 이후 선형변환과정이 진행되는 순차적인 선박 초기 설계가 이루어짐으로써 설계 중간 단계에서의 오류로 인해 피드백시 설계비용의 증가 뿐만 아니라 정확한 설계 정보의 전달이 어려워지게 된다.

### 2.2 순차적인 선박 초기 설계 최적화기법 (Sequential Preliminary Ship Design Optimization)

순차적인 선박 초기 설계 최적화 기법은 2.1에 나타난 순차적인 선박 초기 설계 기법에 최적화 기법을 적용한 기법으로 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

### 2.3 선형설계를 포함한 선박 초기 통합 설계 기법(Integration of Interdisciplinary Ship Design including Hull Form)

본 연구에서 제안한 선형설계를 포함한 선박 초기 통합 설계 기법은 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있으며 이 기법은 주요치수 결정 단계 및 선형변환의 과정이 통합된 설계 기법으로 주요치수 및 선형변환 과정을 동시에(Concurrent) 수행하게 된다.

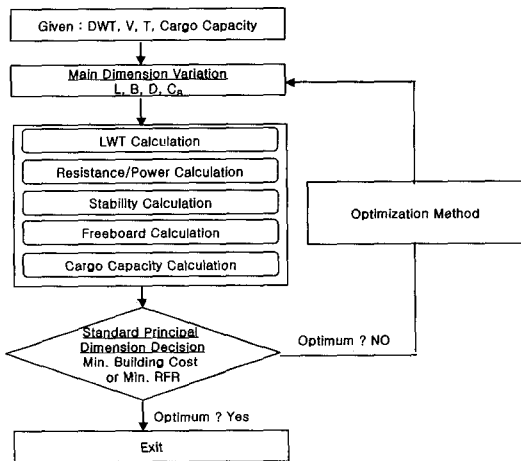


Fig. 4 Sequential preliminary ship design optimization

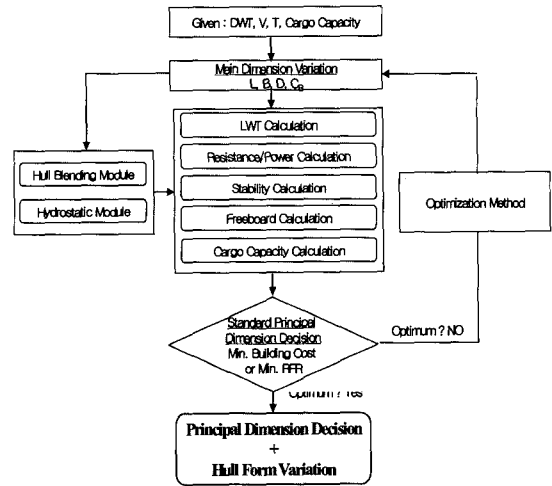


Fig. 5 Integration of interdisciplinary ship design including hull form

### 2.4 선형 블렌딩 기법(Hull Form Blending Technique)

선형 블렌딩 기법은 주요치수 결정과 선형변환의 통합된 과정을 통해 변환된 선형의 정보로부터 유체정역학 계수(Hydrostatic coefficient)를 직접 구하여 최적설계 문제의 제약조건(Constraint)에 적용하기 위해 본 연구에서 채택한 기법이다.

선형을 설계 변수로 고려하기 위해서는 선형의 형상을 변경해야 하며, 선형 블렌딩 기법에서 선형의 형상을 다루기 위해 식(1)에 나타난 바와 같이 블렌딩 계수(Blending coefficient,  $C_i$ )를 사용하게 되며 여러 개의 기준선의 선형의 혼합(mixture)에 의해 그 결과로 발생하는 선형(Resultant Ship Hull or Blended Ship Hull)을 생성하게 된다.

$$\text{Resultant}(= \text{Blended}) \text{ Ship Hull} = \sum C_i \times \text{Basis Hull}_i \quad (1)$$

$$\text{where, } 0 \leq C_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, N$$

식(1)에서, N은 새로운 선형을 생성하는데 사용된 기준선형(Basis hull)의 수를 나타낸다. 예를 들어 기준선형이 2개인 경우 각각 블렌딩 factor는 0.3과 0.7 또는 0.6과 0.4와 같이 전체의 합이 1이 되도록 나타낼 수 있으며 이러한 블렌딩은 기준선의 NURBS(Non-Uniform Rational B-Spline)(김수

영/김현철 1995, 김현철 등 1995, 박상수/이규열 1999)곡선의 net point에 곱해지게 된다. 또한, 기준선형의 블렌딩 과정에서 최적화문제의 설계변수의 current set에 일치하도록 scale되어져야 하며 주어진 L, B, D에 대해 선형을 구성하는 x-net point, y-net point 및 z-net point가 모두 scaling 되어야 한다. 즉, 선형 블렌딩 기법은 기존의 선형 변환 방법 중에 치수(Dimensional) 변환과 NURBS곡선의 형상 변환 중에 가중치(Weighting factor)에 의한 기법(김현철 외 1995)을 기준선형 간에 적용한 기법으로 요약될 수 있으며, 기존 선형변환이 기준선형이 1개일 경우에만 선형 변환이 가능한데 반해, 본 연구에서 제안한 선형 블렌딩 기법은 2개 또는 그 이상의 선형간의 변환이 가능하다는 특징을 갖고 있다.

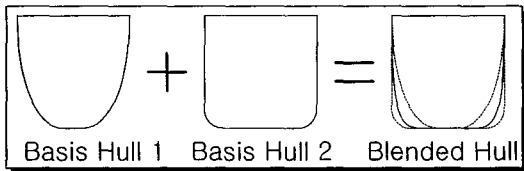


Fig. 6 Illustration of hull form blending

### 3. 협동최적화 기법 (Collaborative Optimization, CO)

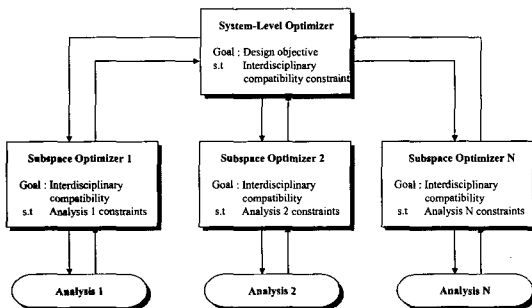


Fig. 7 Collaborative optimization

CO 구성은 MDO 에 대한 2계층 수직구조 기법 (two-level hierarchical scheme)이며 시스템 레벨은 시스템 목적함수  $F$  를 최소화 하면서 분야간

공존 제약조건(interdisciplinary compatible constraint = discrepancy function)  $d^*$ 를 만족하기 위한 다분야간 설계변수(또는 시스템 레벨 목표치,  $z$ )를 최적화 한다. 각각의 하부시스템 최적화 (subsystem optimizer)는 하부시스템 제약조건  $g_j$ 를 만족하는 하부시스템 설계변수  $x_j$ 와 하부시스템 해석결과인  $y_j$ 간에 시스템 레벨 변수  $z$ 를 최소제곱(least square)의 형태로 최소화 한다. 이러한 시스템 레벨 설계변수  $z$ 는 하부시스템 문제 안에서 결정되도록 고려되어진다. 하부시스템이 하나 이상인 경우, 분야별 설계변수  $x_{sj}$ 와 공통 설계변수  $x_j$ 간에 구별이 되어야한다. 함축적인 목적으로 이러한 분야내부 간 공존 제약조건  $d$ 는 등가 제약조건  $J=0.0$ 에 상반되게 비등가 제약조건  $d \leq 0.0001$ 로 구성하며  $d$ 는 다음과 같이 정의된다. 여기서,  $Z = \{Z^s, Z^c\}$ 이며  $Z^s$ 는 시스템 설계변수이고  $Z^c$ 는 시스템 연성변수를 나타낸다 (Kodiyalam 1998).

$$d_i = |X_j - Z_j^s|^2 + |Y_j - Z_j^c|^2 \quad (2)$$

### 4. 확정론적 기법에 의한 선박초기 설계 응용 예

선박 초기 설계 시 주요치수 결정과 선형변환 과정이 분리된 순차적인 설계기법과 주요치수 결정 및 선형변환 과정을 동시에 고려하는 선박 초기 통합설계과정의 비교 및 효용성을 검증하기 위해 Table 1과 같이 5가지 기법으로 선박 초기설계 예(기준선 : 278K/300K DWT VLCC, 설계선 : 330K DWT VLCC)를 통해 다양하게 살펴보았으며 선박 건조비(building Cost)(이규열 등 2000)를 목적함수로 하는 전통적인 최적화기법(all-in-one)의 주요치수 결정문제는 다음과 같이 정식화 (Formulation)될 수 있는데, 여기서 Method 2는 설계변수로 CB가 사용되어지고 선형을 이용하는 Method 3은 설계변수로 CB대신 블렌딩 계수인 Ci가 사용된다.

Given : DWT(Deadweight),  $CV_{req}$ (Required cargo hold volume), T(Design draft)  
; 선주의 요구사항(Owner's requirement)

Find(Design Variables)

: L(길이), B(폭), D(깊이), CB(방형계수), Ci(블랜딩 계수), V(Service speed), DP(프로펠러 지름), Pi(프로펠러 피치), AE/AO(프로펠러 전개 면적비)  
 L, B, D, CB, V, DP, Pi, AE/AO for Method 2  
 L, B, D, Ci, V, DP, Pi, AE/AO for Method 3

Objective : Minimize Building Cost(건조비)

Subject to :

- $g_1 : L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot (1+\alpha) = DWT+LWT$   
(부력·중량 일치 조건)
- $g_2 : D \geq T + \text{Freeboard}$  (최소요구 건현조건)
- $g_3 : CV \geq CV_{req}$  (요구 화물창 용적 조건)
- $g_4 : 0.04B \leq GM \leq 4\pi^2(0.4)B^2/(gTr^2)$   
(초기 복원성 조건)
- $g_5 : C_B/(L/B) \leq 0.15$  (조종성 관점에서의 비만계수(Obesity coefficient)의 제약조건)
- $g_6 : C_B \leq 0.70 + 0.125 \tan^{-1}((23-100 \cdot Fn)/4)$   
(Watson 과 Gilfillan에 의한  $C_B$ 의 제약조건)
- $g_7 : P/(2\pi n) = \rho \cdot n^2 \cdot D_p^5 \cdot K_Q$  (주기관(Main Engine)으로부터 전달된 토오르크를 프로펠러가 흡수해야 하는 조건)
- $g_8 : R_T/(1-t) = \rho \cdot n^2 \cdot D_p^4 \cdot K_T$  (어떤 속력에서 선박이 요구하는 추력을 내야 하는 조건)
- $g_9 : A_E/A_O \geq K + (1.3+0.3Z) \cdot T_P/(D_p^2 \cdot (\rho_o+\rho gh-\rho_v))$  (캐비테이션(Cavitation)이 발생하지 않을 조건)

여기서,

- $\alpha$  = appendage factor
- LWT = 경하중량(Lightweight)
- Freeboard = 건현
- GM = 메타센터 높이(Metacentric height)
- $T_r$  = 횡 동요 주기(Rolling period)
- Fn = Froude number
- P = 주기관이 프로펠러에 전달하는 마력
- $K_Q$  = 토오르크 계수,  $K_T$  = 추력계수
- Z = 프로펠러 날개수,
- $T_P = \text{프로펠러 추력} = R_T/(1-t)$

$R_T$  = 전 저항(Total resistance)

t = 추력 감소 계수

n = 프로펠러 회전수

$\rho_o+\rho gh$  = 축 침수 깊이 에서의정수압

$\rho_v$  = 증기압, h= 축 침수 깊이

K = 0.2(단추진기선의 경우)

따라서, 선박의 건조비를 최소화 하는 All-in-One의 문제는 8개의 설계 변수(L, B, D,  $C_B$ , V,  $D_p$ ,  $P_i$ ,  $A_E/A_O$  또는 L, B, D,  $C_i$ , V,  $D_p$ ,  $P_i$ ,  $A_E/A_O$ ) 3개의 등호 제약조건( $g_1, g_7, g_8$ ), 6개의 부등호 제약조건( $g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_9$ )으로 이루어진 최적화 문제이다. Table 1에 나타난 5가지 기법 중에서 Method 1은 순차적인 선박 초기 설계 기법[Fig. 3]에 의한 방법이고 Method 2는 순차적인 선박 초기 설계 최적화 기법[Fig. 4]에 의한 기법을 나타낸다. Method 3은 본 연구에서 제안한 선박 초기 통합 설계 기법이며[Fig. 5 & Fig. 8] Method 4와 Method 5는 순차적인 선박 초기 설계 기법에 CO를 적용한 기법[Fig. 9] 및 선박초기 통합 설계 기법에 CO를 적용한 기법[Fig. 10]을 각각 나타낸다. Fig. 9에 나타난 Method 4[Table 1](노명일/이규열 2000)는 선박의 주요치수 결정 문제를 하부시스템 레벨(Subsystem Level)을 "Deadweight Requirements", "Speed/Power Requirements" 및 "Cargo Volume Requirements" 로 3개의 discipline으로 구성되며 이러한 하부시스템을 조정하기 위한 시스템 레벨(System Level)은 각 하부시스템의 분야간 discrepancy function  $d_1, d_2, d_3$ 을 제약함수로 갖으면서, 선박의 건조비를 최소화 하는 최적의 치수를 선정하도록 구성된다. 또한, Method5[Fig. 10]는 Method 4와는 달리 선형의 형상을 고려한 블랜딩 계수인  $C_B$ 가 설계 변수로 사용된다는 점이 다르다고 볼 수 있다.이상을 정리하면, 주요치수 결정과 선형변환의 과정이 통합된 최적설계 기법은 Method 3과 Method 5이고, Method 1을 포함하여 Method 2와 Method 4는 주요치수 결정만을 구하게 된다.

Table 1 The use of design method for preliminary ship design example

	Method Description	Design Information flow	MDO Method
Method 1	Separated in principal dimension and hull form variation, based on empirical formulation	Sequential	-
Method 2	Separated in principal dimension and hull form variation, based on empirical formulation	Sequential	All-in-One
Method 3	Integrated in principal dimension and hull form variation	Concurrent	All-in-One
Method 4	Separated in principal dimension and hull form variation, based on empirical formulation	Sequential	CO
Method 5	Integrated in principal dimension and hull form variation	Concurrent	CO

Table 2 Comparisons of application example results

	Units	Method 1	All in One		CO		
			Method 2	Method 3	Method 4	Method 5	
Objective	\$	$1.19313 \times 10^8$	$9.94635 \times 10^7$	$9.91975 \times 10^7$	$1.01547 \times 10^8$	$9.77525 \times 10^7$	
Optimum	L	m	325.8	310.0	310.0	312.4	311.4
	B	m	60.4	60.6	57.3	59.5	55.1
	D	m	31.6	29.6	29.4	30.2	26.9
	$C_i$	-	-	-	0.99	-	0.0
	$C_B$	-	0.8087	0.8499	0.8112	0.8325	0.8147
	V	knots	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6
	DMCR	PS	40,006.10	35,433.97	35,159.70	35,434.04	35,732.17
	$D_p$	m	9.83	9.61	10.39	9.39	9.47
	$P_i$	m	7.07	6.82	7.17	6.49	6.54
	$A_E/A_O$	-	0.44	0.44	0.56	0.43	0.43
	CV	$m^3$	378,700.0	420,702.4	396,745.7	379,852.2	380,108.9
	DWT	ton	330,000	330,000	330,000	330,000	330,000
LWT	ton	39957.7	36969.3	35441.9	40,744.0	33,012.5	
System Iteration	-	5차 추정	5	7	7	10	
Function Call	-	-	70	141	2130	7180	

Table 3 Comparisons of deterministic/probabilistic approach using application example

	Units	Deterministic		Probabilistic		
		Method 2	Method 3	Method 2	Method 3	
Objective	\$	$9.94635 \times 10^7$	$9.91975 \times 10^7$	$1.00160 \times 10^8$	$1.02261 \times 10^8$	
Optimum	L	m	310.0	310.0	310.0	310.0
	B	m	60.6	57.3	60.6	57.3
	D	m	29.6	29.4	29.6	29.4
	$C_i$	-	-	0.99	-	0.99
	$C_B$	-	0.8499	0.8112	0.8499	0.8112
	V	knots	15.6	15.6	15.6	15.6
	DMCR	PS	35,433.97	35,159.70	36,379.97	40,138.75
	$D_p$	m	9.61	10.39	9.78	10.53
	$P_i$	m	6.82	7.17	6.96	7.62
	$A_E/A_O$	-	0.436	0.560	0.444	0.600
	CV	$m^3$	420,702.4	396,745.7	420,702.4	396,745.7
	DWT	ton	330,000	330,000	330,000	330,000
LWT	ton	36969.3	35441.9	37031.3	35843.4	
Probability of cavitation occurrence, $P_c$			0.5 ( $\beta=0$ )	0.5 ( $\beta=0$ )	0.00135 ( $\beta=3$ )	0.00135 ( $\beta=3$ )

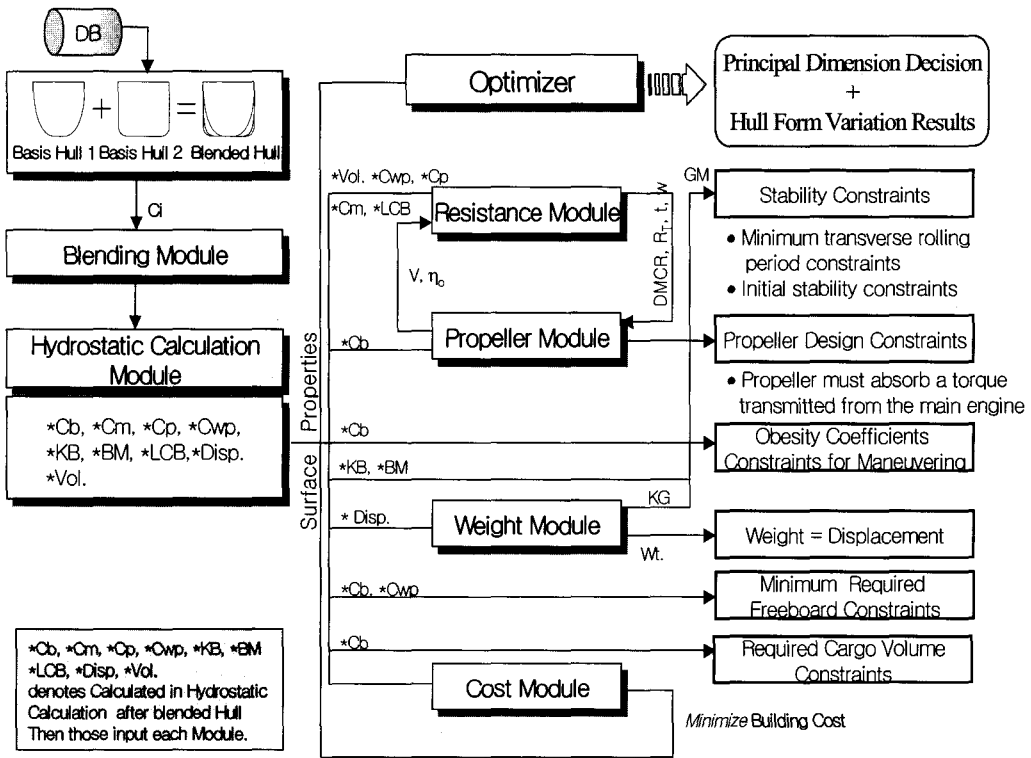


Fig. 8 Method 3 of preliminary ship design example

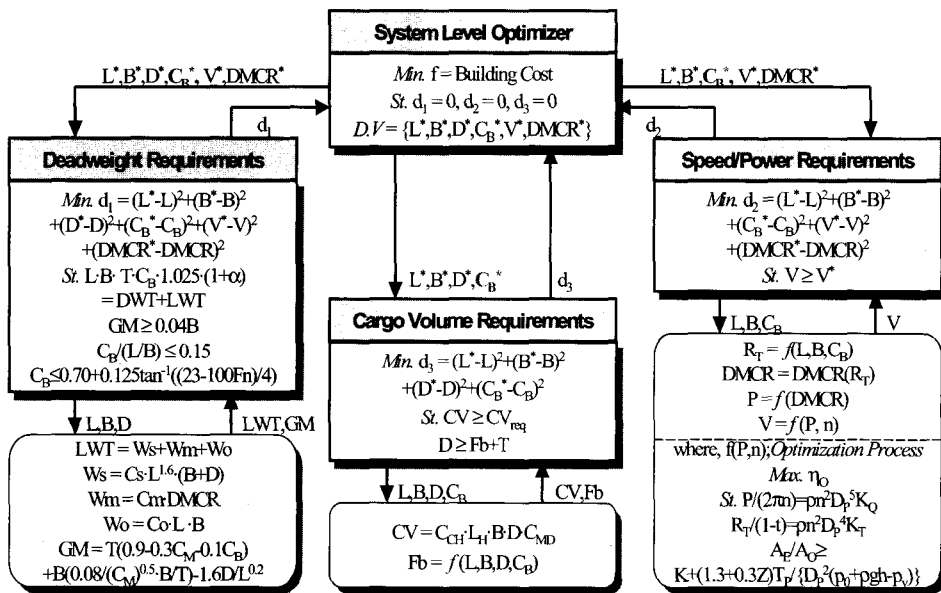


Fig. 9 Method 4 of preliminary ship design example

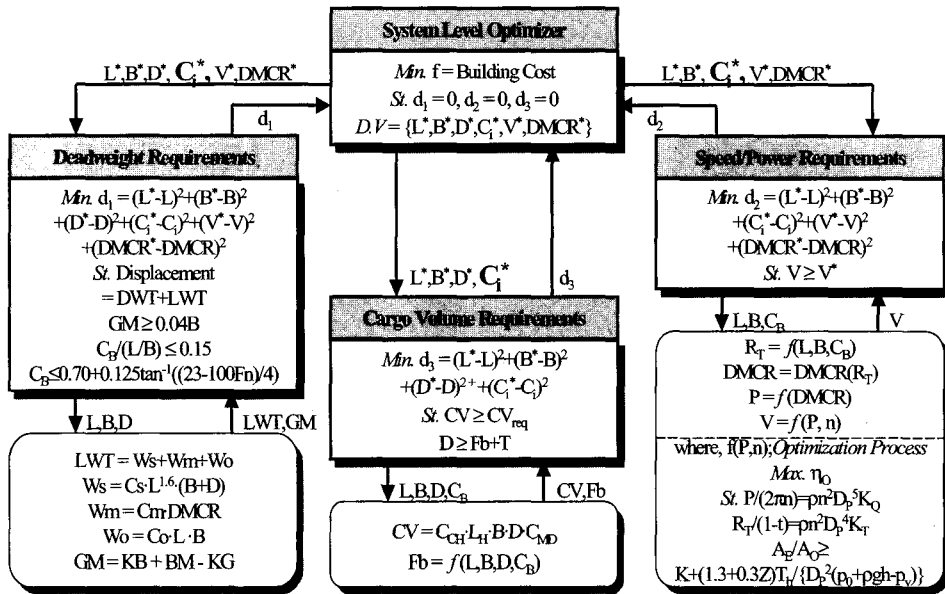


Fig. 10 Method 5 of preliminary ship design example

5. 확률론적 기법에 의한 선박 초기 설계

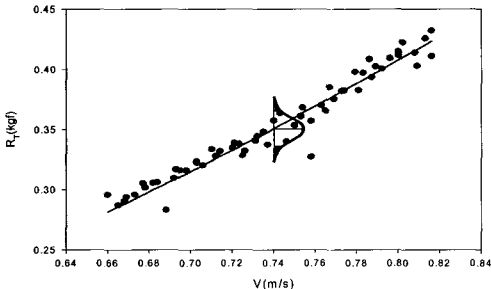


Fig. 11 Measured resistance data of the 300K class VLCC from the 3.0m (1/100) model

선박 초기 설계 시 주요치수 결정단계에서는 설계 정보의 제한성 및 불확정적인 예측치에 의해 설계가 진행되고 있다. 따라서 선박 초기 설계과정에서 설계 변수의 불확실성이나 변동량을 정량적이고 합리적으로 고려할 수 있는 확률론적 기법(Probabilistic Approach)이 기존의 확정론적 기법(Deterministic Approach)보다 설계정보의 불확실성을 효율적으로 고려할 수 있을 것이다. 선박 주

요치수 결정과정에서 소요동력을 추정하기 위해서 선박의 전 저항(Total Resistance,  $R_T$ ) 계산이 필수적으로 선행되어야 한다. 전 저항은 선박의 속력에 따라 확률적으로 분포한다는 사실은 수조모형실험 결과[Fig. 11]를(양지만 2000) 통해서도 잘 알 수 있고 선박의 전 저항계산에 가장 널리 알려진 Holtrop-Mennen 방법도 또한 수조 모형시험자료를 회귀분석법(홍성완 등 1988, 민계식 1990)으로 저항 추정식을 제안한 것을 통해서도 전 저항이 확률변수인 것을 알 수 있다.

따라서 선박 초기 설계 시 주요치수결정과정에서 설계변수의 변동성을 고려하는 확률론적 기법에 의한 최적화 기법과 확정론적 최적화 기법에 의한 두 가지 최적화 관점에서의 결과를 비교하기 위해 앞에서 제안한 선박 예제에서 Method 2 및 Method 3[Fig. 12]에 대해 적용해 보았다.

선박 초기 설계 시 설계변수의 불확실성을 고려하기 위해 본 예제에서는 선박 주요치수 중 프로펠러 주요치수 결정단계에서 Holtrop & Mennen에 의한 선박의 전 저항(Total Resistance,  $R_T$ )을 확률변수(Random Variable)로 고려하였고 한계상태식(Limit State Equation, LSE)[식(3)]은 프로펠러 주



요치수 제약조건에서의 캐비테이션이 발생하지 않는 전개면적비치를 사용했으며 확률변수의 변동성은  $\pm 5\%$  로 가정하였으며 목표신뢰도 지수(Lee 2001)는 3.0으로 하였다.

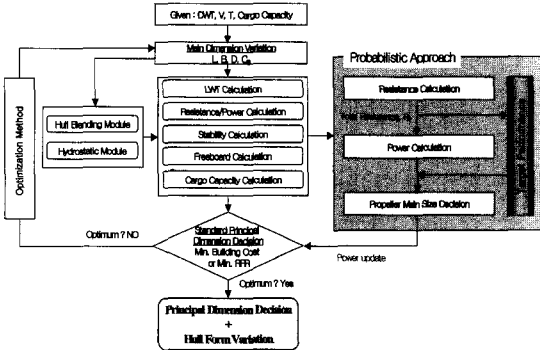


Fig. 12 Probabilistic approach for method 3

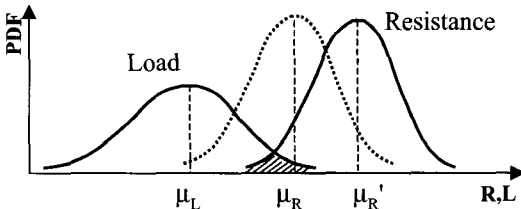


Fig. 13 Change of probability of failure due to change of mean

$$g(z) = A_E/A_O - \left[ K + \frac{(1.3 + 0.3Z) \cdot T_P}{(D_P^2 \cdot (p_o + \rho gh - p_v))} \right] \geq 0 \quad (3)$$

$$g(z) = \frac{A_E/A_O \cdot (D_P^2 \cdot (p_o + \rho gh - p_v))}{(D_P^2 \cdot (p_o + \rho gh - p_v))} - \left[ \frac{K \cdot (D_P^2 \cdot (p_o + \rho gh - p_v))}{(D_P^2 \cdot (p_o + \rho gh - p_v))} + \frac{(1.3 + 0.3Z) \cdot T_P}{(D_P^2 \cdot (p_o + \rho gh - p_v))} \right] \quad (4)$$

$$g(z) = A_E/A_O \cdot (D_P^2 \cdot (p_o + \rho gh - p_v)) - [K \cdot (D_P^2 \cdot (p_o + \rho gh - p_v)) + (1.3 + 0.3Z) \cdot T_P] \geq 0 \quad (5)$$

$$g(z) = A_E/A_O \cdot (D_P^2 \cdot (p_o + \rho gh - p_v)) - [K' + (1.3 + 0.3Z) \cdot T_P] \geq 0 \quad (6)$$

$$A_E/A_O \cdot (D_P^2 \cdot (p_o + \rho gh - p_v)): R \text{ in Fig. 13} \quad (6a)$$

$$[K' + (1.3 + 0.3Z) \cdot T_P]: L \text{ in Fig. 13} \quad (6b)$$

$$P/(2\pi n) = \rho \cdot n^2 \cdot D_P^5 \cdot K_Q \quad (7)$$

$$R_T/(1-t) = \rho \cdot n^2 \cdot D_P^4 \cdot K_T \quad (8)$$

where,  $P = DHP \cdot \eta_R$

$DHP = \text{Deliverd power} = EHP/\eta_D$

$EHP = R_T \cdot V$

$EHP = \text{Effective horse power}$

$\eta_R = \text{Relative rotative efficiency}$

$\eta_D = \text{Propulsive efficiency}$

선박 초기 설계 과정에 적용된 확률론적 기법을 이해하기 위해 대표적으로 많이 적용되는 구조 신뢰성의 그림을 Fig. 13에 나타내었으며, 저항 (Resistance,  $R$ ) 과 하중(Load,  $L$ ) 만으로 표시되는 간단한 경우를 생각해 보자.

$$Z = R - L \quad (9)$$

식(9)에서  $R > L$  이면 안전한 경우이고 만약  $R < L$  이면 파괴가 일어난다고 보아,  $Z = 0$  이 파괴를 나타내는 경계가 된다. 기존의 확률론적인 기법에서는  $R$  과  $L$  의 분산 특성을 무시하고 대표값(=평균값)( $\mu_L, \mu_R$ )만을 고려하여 적당한 안전계수의 값을 유지하도록 하여 항상  $R$ 이  $L$ 보다 큰 상태가 유지되도록 하여 파괴에 대한 안전여유를 두게 된다. 그러나, 만약 이  $R$  과  $L$ 의 분산 특성을 고려하는 확률론적인 입장에서 Fig.13에서 확인할 수 있듯이, ( $\mu_R \rightarrow \mu_R'$ )과 같이 대표값을 증가시키면 파괴확률과 관계가 있는  $R$  과  $L$ 의 밀도함수가 겹쳐지는 부분의 면적이 감소하게 되어 파괴확률도 감소함을 알 수 있다. 이러한 개념을 식(3)에 나타난 선박의 프로펠러 한계상태식에 적용해 보자. 식(3)의 한계상태식은 식(3)→식(4)→식(5)→식(6)의 과정을 거치게 되며, 식(6)의 항을 식(6a)항과 식(6b)항으로 나타냈는데, 식(6a)항은 Fig. 13에 나타난  $R$ 이 되며, 식(6b)에 나타난 항은 Fig. 13에 나타난  $L$ 과 대비 되며, 결국 구조 신뢰성의 경우와 같이 선박 설계 문제에도 식(6)의 저항 성분의 대표값을 증가시키면 파괴확률이 감소하게 된다. 식(6), 식(7) 및 식(8)을 통해서 프로펠러 추력  $T_P$ 와 프로펠러 지름  $D_P$ 는 확률변수인 전 저항  $R_T$ 의 함수가 된다. 즉,  $T_P, D_P = f(R_T)$ 가 된다. 따라서, 식(6)에서, 확률변수인 전 저항  $R_T$ 의 변화에 의해  $D_P$  및  $T_P$ 가 변화하게 됨을 알 수 있다.

6. 확정론적 기법 및 확률론적 기법의 결과 비교

본 연구에서는 선박 초기 설계 시 주요치수 결정 및 선형변환이 분리된 순차적인(Sequential) 설계 기법의 한계를 극복하기 위해 주요치수 및 선형변환의 통합된 선박 초기 설계 기법을 제안하였으며 수치 예를 통해 검증하였다.[Table 2, Fig.14]

Table 2 및 Fig.14의 결과를 통해 알 수 있듯이 본 연구에서 제안한 기법의 결과[Method 3, Method 5]가 기존의 순차적인 설계 기법에 의한 결과보다 감소된 건조비의 결과를[Method 5 < Method 3 < Method 2 < Method 4 < Method1] 나타내었으며 주요치수 결정 및 선형변환의 통합된 설계 기법을 적용하기 위해 선형을 설계 변수로 추가한 Method 5는 다른 기법에 비해 1.48~14.5%의 낮은 건조비의 결과를 얻을 수 있었다.[Fig. 15]

또한, 선박 초기 설계 시 불확실성을 효율적으로 고려하기 위해 전저항을 확률변수로 고려하여 기존의 결정론적 기법과 비교[Table 3& Fig. 16]를 하였다. Table 3 및 Fig. 16의 결과를 통해 알 수 있는바와 같이 전 저항을 확률변수로 고려함에 따라 전 저항의 값의 변동에 의해  $R_T \rightarrow DMCR \rightarrow LWT \rightarrow Building Cost$ 의 연쇄적인 영향을 주게 되어 결정론적인 기법에 비해 높은 건조비를 나타내게 된다. 또한, 전 저항의 증가는 선박이 요구하는 추력( $T_S$ )과 프로펠러가 낼 수 있는 추력( $T_P$ )의 증가 및 한계 상태식에 사용된 전개 면적비의 증가가 발생하며 이에 따라 프로펠러 주요치수(프로펠러 지름:  $D_p$  및 피치:P)에도 영향이 발생하게 된다. 따라서, 전 저항의 변동성을 효율적으로 고려하기 위해 본 연구에서 제안한 확률론적 기법에 의한 기법은 확률 변수의 변동성을 고려하지 않고 전개면적비를 구한 확정론적 기법에 의한 기법에 비해 Table 3에서 나타난 바와 같이 파괴확률 즉, 캐비테이션이 발생할 확률이  $0.5 \rightarrow 0.00135$ 로 감소된 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 확률론적 기법은 결정론적인 기법에 비해 높은 건조비를 나타내지만 캐비테이션의 발생 확률은 현저히 감소하는 결과를 나타냄을 본 연구를 통해 입증할 수 있었다.

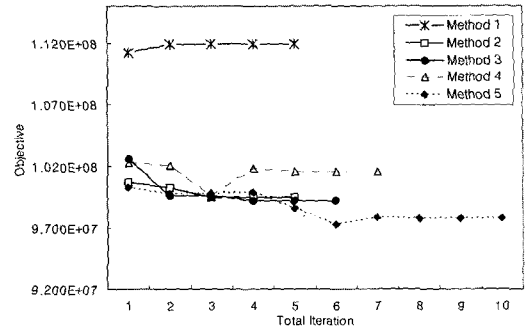


Fig. 14 Convergence history for preliminary ship design - deterministic approach

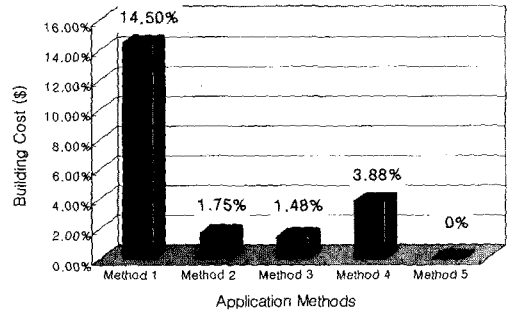


Fig. 15 Comparisons of building costs based on method 5

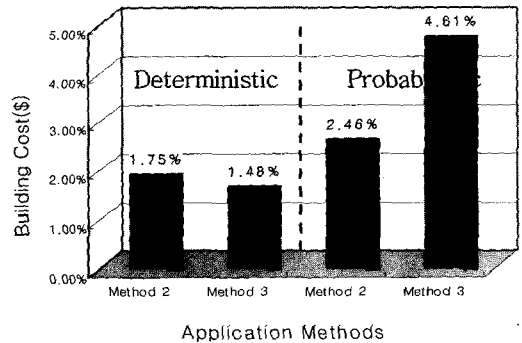


Fig. 16 Comparisons of deterministic and probabilistic results based on method 5

7. 결론

기존의 선박 초기 설계에서는 주요치수 결정 및 선형변환의 과정이 분리된 순차적인(Sequential) 설계로 진행됨으로써 선형의 정보를 통해 유체정역학 계수를 구하지 못하고 경험식에 의존할 수밖에

없는 문제점을 가지고 있었다. 따라서 본 연구에서는 경험식에 의해 유체정역학 계수를 구하지 않고 선형의 정보로부터 좀 더 정확한 유체정역학 계수를 구하여 최적화 과정의 제약조건에 직접 적용하기 위해 주요치수 결정과 선형변환의 통합화된 설계기법을 제안 하였다. 주요치수 결정 과정 및 선형 변환의 과정을 동시에(Concurrent) 고려하기 위해 본 연구에서는 선형 블렌딩(Hull blending) 기법을 적용하여 2개의 기준 선형(Basis hull)을 선형 혼합(Mixture)과정에 의해 설계선의 선형을 얻은 후 이러한 선형의 정보로부터 유체정역학 계수를 직접 구할 수 있었고, 또한 이렇게 구한 유체정역학 계수를 최적화과정의 제약조건에 적용할 수 있었다[Fig. 8]. 최종결과의 타당성을 얻기 위해 Table 1과 같이 다양한 기법을 설계선 330K VLCC 예를 적용하여 종래의 순차적인 기법과 본 연구에서 제안한 통합화된 기법의 최종결과를 Table 2, Fig. 14 및 Fig. 15에 비교하여 본 연구에서 제안한 기법의 효용성을 입증 할 수 있었다.

또한, 선박 초기 설계 시 설계 변수의 불확실성 및 변동량을 효율적으로 고려하기 위해 확률론적 기법을 적용하였다. 확률론적 기법은 전 저항(RT)을 확률변수로 고려하여 최종결과에 어떤 영향을 주는지를 살펴보았다. 확률론적 기법에 의한 결과는 확률론적 기법에 비해 높은 건조비를 나타내었지만, 상대적으로 캐비테이션이 발생할 확률이 적어짐을 Table 3 및 Fig. 16을 통해 알 수 있었다.

후 기

본 논문의 내용은 한국과학재단의 첨단조선공학 연구센터 지원과제의 일부로 수행된 것으로, 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김수영, 김현철, 1995, "NURBS 곡선을 이용한 선형의 수치적 표현," 대한조선학회 논문집, 제 32 권, 제1호, pp. 1-8.
- 김현철, 김수영, 안당, 하문근, 1995, "횡단면적 곡선과 NURBS 곡선을 이용한 선형변환," 대한 조선학회 논문집 제32권, 제3호, pp. 29-36.
- 노명일, 이규열, 2000, "협동 최적화 접근방법에 의한 다분야 최적설계에 관한 연구," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 5권 3호, pp. 263-275.

- 민계식, 1990, "저속 비대선의 저항 추진 특성 추정을 위한 회귀분석에 대한 연구," 대한조선학회 논문집, 제27권, 제1호, pp. 84-98.
- 박상수, 이규열, 1999, "형상모델 기반 선박계산 전산프로그램 개발," 대한조선학회 논문집, 제36 권 제2호, pp. 121-134.
- 양지만, 2000, 프로펠러에 의하여 유기되는 저항 성분의 계측, 서울대학교 석사학위 논문.
- 이규열, 강성찬, 정성준, 2000, 전산 선박 설계, 전산 선박 설계 강의교재, 서울대학교 조선해양 공학과 선박설계자동화연구소.
- 홍성완, 조규중, 윤도수, 김은찬, 정우철, 1988, "통계해석에 의한 저항 추정 및 선형 개량," 대한조선학회 논문집, 제25권, 제4호, pp. 28-38.
- Ganesan V., 2001, Global Optimization of the Nonconvex Containership Design Problem Using the Reformulation-Linearization Technique, M.S. Thesis, Dep. of Aerospace and Ocean Engineering.
- Kodiyalam S., 1998, "Evaluation of Methods for Multidisciplinary Design Optimization (MDO), Phase I", Paper No. NASA/CR-1998-208716.
- Lee J.O., 2001, Probabilistic Structural Optimization Based on Target Performance Approach, Ph.D. Thesis, Seoul National University, Naval Architecture & Ocean Engineering.
- Lee, K.Y., Roh, M.I. and Cho, S.H., 2001, "Multidisciplinary Design Optimization of Mechanical Systems Using Collaborative Optimization Approach," International Journal of Vehicle, Vol. 25. No. 4, pp. 353-368.
- Neu, W.L., Hughes, O., Mason, W.H., Ni, S., Chen, Y., Ganesan, V., Lin, Z., and Turmma, S., 2000, "A Prototype Tool for Multidisciplinary Design Optimization of Ships," Ninth Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, Naples, Italy.



< 양 영 순 >



< 박 창 규 >



< 유 원 선 >