

## 경제성 평가에 의한 군함의 초기설계에 관한 연구

신수철<sup>†</sup>

(주)경진엔지니어링

A Study on Preliminary Design of Warships by Economic Evaluation

Soo-Chul Shin<sup>†</sup>

Kyungjin Engineering Co., Ltd.<sup>†</sup>

### Abstract

This paper describes to determine optimum main particulars of warships which satisfy user's requirements in a concept design stage with minimum construction cost and maximum transportation efficiency. Present worth was used as an assessment criteria of the economical efficiency. And Pareto optimal set was used to have the optimum design.

※Keywords: Economic evaluation(경제성 평가), Construction cost(건조비), Present worth(현재가), Pareto optimal set(파레토 최적해 집합), Preliminary design(초기설계), Warships(군함)

### 1. 서론

선박의 요구기능은 부양성, 이동성, 적재성인데 군함도 상선과 마찬가지로 일정량의 하중물을 운반하는 적재성도 가지고 있다. 상선은 화물이나 여객 등 비교적 같은 종류의 하중물을 운반하는데 비하여 군함은 승조원 그리고 병기나 전자기기 등 다른 종류의 하중물을 적재한다. 이처럼 군함은 상선과는 상당히 다른 바탕 위에서 설계되어지며,

군함에 관계되는 자료는 대외에 기밀로 되어 있어 이에 대한 연구를 어렵게 한다. 그러나 군함도 주어진 임무를 가장 효율적으로 수행하면서 경제적인 선박으로의 설계를 추구하는 것이 필요하다.

함정설계에 있어 설계 방향은 일반 상선과는 달리, 전투 기능을 극대화하기 위해 무장 등의 탑재 능력과 이와 연관된 함내 공간을 최대화하면서 경제적인 선박이 되도록 하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 함정의 최적설계 개념을 기본으로 하여 함정의 개념설계에 적용할 수 있는 컴퓨터 설계 시스템을 구축하였으며, 이를 바탕으로 구축함급 함정에 적용, 최적 선형을 도출하여 본 연구 결과를 검토해 보았다.

---

접수일: 2008년 4월 15일, 승인일: 2008년 4월 21일  
<sup>†</sup> 교신저자, shishin@hanmail.net, 051-719-5565

최적 설계를 위해서는 적절한 설계 변수의 선정과 이들을 목적함수와 제한조건식들로 모델링을 해야 하고, 효율적으로 해를 탐색할 수 있는 최적화 기법이 적용되어야 한다. 경제성의 기준으로서 는 건조비와 운항비의 연간 현가(Net present per year)가 최소가 되고, 아울러 임무수행에 필요한 하중(Operation load or mission load)의 수송능력을 최대가 되도록 하였다. 따라서 목적함수는 연간 선가와 수송효율이 되고 이때의 설계 변수는 선형의 주요요목이 된다. 목적함수는 주요요목의 함수로 표현되며, 이것은 함정의 최적설계를 위한 설계모형이 된다.

**2. 개념설계와 최적화 문제**

함정의 설계는 통상적으로 해군에서 요구하는 TLR(Top Level Requirement)에 기반을 두고 설계 가능한 해들로부터 상호 비교, 평가를 통해 최적으로 판단되는 설계안을 결정하게 된다. 특히 군함은 특별히 주어진 함 운용개념으로 설계하는 경우가 많기 때문에, 설계 이전에 기술적인 측면이나 운용 측면에서 사용자와의 광범위한 협의가 필요하다. 사용자(해군)의 요구를 만족시키는 설계안에 대한 선택은 평가 기준에 대한 최적화로 결정한다. 함정에 대해서는 성능과 비용의 배분을 적절하게 하는 합리적인 설계안을 얻기 위해서 다목적함수의 최적화방법을 적용하는 것이 좋다.

**2.1 Operational Objectives**

함정의 임무 수행을 위한 기본적인 성능의 요구대상을 아래와 같이 설정하였다.

- Vd : Gas turbine mode에서의 설계 최대  
속력(Max speed in calm water)
- Ve : Diesel mode에서의 순항속력  
(Cruising speed)
- Hg : 함정이 운용되는 해역의 유의 파고  
(Significant wave height)
- Wu : 함정의 임무수행에 필요한 최소 필요  
적재중량 (Operation load)
- Vu : 함정의 임무수행에 필요한 함정내의  
적정 공간(Operation volume)

**2.2 개념설계를 위한 수학적 모형**

해군은 함정의 작전 수행에 필요한 최소한의 Operational objectives를 TLR로서 제시하게 되며 설계자는 이것을 만족시키는 주요요목과 개략적인 배치를 결정하게 된다. 종래의 설계 과정은 Design spiral에 의해서 시행착오법으로 수행되어 왔다. 그러나 2.1절에서와 같이 Operational objectives를 만족하는 설계안을 결정하는 데는 많은 대안들(Design alternatives)을 검토해야 하기 때문에 시행착오 방법으로는 Feasibility study가 어렵다. 따라서 효율적인 Feasibility study를 수행하기 위해서는 식(1)과 같은 수학적 설계모형을 설정해 보았다.

$$\begin{aligned}
 W_u - (W_u)_{req} &= 0 \\
 V_u - (V_u)_{req} &= 0 \\
 V_d - (V_d)_{req} &= 0 \\
 V_e - (V_e)_{req} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 첨자 req는 TLR에서 요구하는 수준이며,  $W_u$ ,  $V_u$ 는 식(2) (3)에서와 같이 표시된다.

$$W_u = Disp - (W_h + W_{ma} + W_e + W_o + W_f + W_c) \tag{2}$$

- Disp : Displacement
- $W_h$  : Hull weight
- $W_{ma}$  : Machinery & auxiliary weight
- $W_e$  : Electric system weight
- $W_o$  : Outfitting & furnishing weight
- $W_f$  : Fuel oil weight
- $W_c$  : Crew, provision, small tank, etc

$$V_u = V_t - (V_{ma} + V_p + V_{mr} + V_k) \tag{3}$$

- $V_t$  : Total Available Space in Ship
- $V_{ma}$  : Machinery & Auxiliary Space
- $V_p$  : Personal & Passage Sapce
- $V_{mr}$  : Maintenance & Repair Space
- $V_k$  : Tank Space

상기 식(1)~(3)은 함정의 주요요목, 선형계수, 구획 등을 나타내는 변수들로서 본 연구에서는 퍼지-신경망 이론을 이용하여 유도하였다.

식(1)~(3)을 수학적 함수관계로 설계의 제한 조건을 만족하도록 풀면 TLR을 만족하는 함정의 Feasibility solution을 얻게 되며 여기에 최적화 기준을 적용하여 최적설계의 대안을 얻을 수 있다. 설계 제한조건은 미 해군지침에 정의된 복원성기준과 설계자의 경험에 의한 최소 건현, 파랑 중 선속의 저하 한계치로 설정하였다.

**2.3 설계변수와 종속변수**

설계변수는 설계자의 판단에 의해 설계목적에 부합되도록 선정된다. 개념설계 단계에서는 설계 정보가 매우 Rough하고 제한적이기 때문에 최적화 기준과 Operational objectives를 개념설계 단계에서 계산할 수 있도록 하기 위해, 설계변수를  $L, B, T, C_B$ , 선속과 같은 주요요목으로 하였다. 이들 설계변수들은 최적화 과정에서 독립변수로 된다. 한편, 설계변수들 만으로는 수학적 설계모형을 표현할 수 없기 때문에 많은 종속변수를 설계 변수의 함수로서 나타낸다. 예를 들면 선형계수 ( $C_M, C_P, C_W, KB, BM, GM, etc.$ )는 저항추진성능, 복원정의 계산에 입력 자료가 되기 때문에 이들 선형계수들은 설계변수를 독립변수로 하여 표현되는 종속변수가 된다.

**2.4 최적화 기준**

상선의 경우 설계안의 경제성을 비교하는 기준으로 수송화물 톤당의 운송비용(Required Freight Ratio : RFR)이나 혹은 이윤(Profit)등이 주로 사용된다. 그러나 군함의 경우는 함의 작전능력을 최대화 할 수 있는 지표와, 경제성으로서는 연간 함정의 소요비용을 최소화 할 수 있는 지표를 취할 필요가 있다. 여기서는 이들 두 가지의 최적화 기준을 설정하였다.

(1) Transportation efficiency for operation load :  $(TOP)_e$

$$(TOP)_e = W_u \times V_d / SHP \quad (4)$$

여기서,  $SHP$ 는  $V_d$ 의 선속을 얻는데 필요한 주기관 마력이다.  $(TOP)_e$ 는 단위 마력 당 Operation load를 일정 선속( $V_d$ )으로 수송할 수 있는 능력을 나타낸다.

(2) Economic Parameter :  $PV$

$$PV = \frac{SHIP_c \times CRF + FO_C}{W_u} \quad (5)$$

$SHIP_C$  : Building Cost  
 $CRF$  : Capital Recovery Factor  
 $FO_C$  : Fuel Oil Cost per Year

즉,  $PV$ 는 함정을 운용할 때 Operation load 톤 당 투입되는 연간 비용이 된다.

상기 두 개의 최적화 기준은 함정의 설계에 있어 서로 상반된 방향을 가지기 때문에 유용한 최적해의 집단인 Pareto optimal set(Balachandran and Gero 1984)을 찾고, 이들 설계 대안으로부터 설계자는 최종적인 의사결정을 하게 된다.

**3. 함정의 경제성 계산**

경제성 기준인  $PV$ 는 선가와 운항비로부터 계산할 수 있다. 함정은 민간 조선소에서 건조되기 때문에 조선소의 원가 관리 기준으로 Group화하여 계산한다. 따라서 선가는 자재비, 노무비 그리고 기타 고정비로 크게 구분하였다. 자재비는 총 선가의 약 75%를 차지하는 중요한 부분이기 때문에 구성요소의 특성에 따라 선각부, 기관 및 보기부, 의장부, 그리고 전장 및 무장부분으로 세분화하였다. 이들 각 Group의 비용은 개념설계의 결과로부터 얻어지는 물량에 원 단위를 곱하여 구하며 식(6)과 같다.

$$(자재비 Group)_i = (\text{물량})_i \times (\text{원단위}) \quad (6)$$

여기서  $i$ 는 자재비의 각 Group이다.

그런데 물량에 대한 원 단위의 자료는 각 조선소의 설비, 설계능력, 재무상태 등에 따라 다르기 때문에 일반적인 값으로 표현하는데 어려움이 있

고, 각 조선소들의 대외비 항목들로서 자료의 취득이 매우 제한적이다. 본 연구에서는 구축함의 척 당 선가를 1200억 원으로 가정하였으며, 재료가 75%, 인건비가 12% 그리고 고정비를 13%로 구성되어 있다고 가정하였다. 또한 자재 비중에서 선각은 4%, 주보기관은 35%, 전장 및 무장은 46%로 계산하여 원 단위를 역 추정하여 사용하였다. 경제성 평가는 선가의 절대적인 계산이 어려울 때는 기준 선박의 가격을 일정 금액으로 가정한 후 설계변수의 변화에 따른 상대적인 선가의 증감량을 구해서 비교 분석을 해도 최적치의 결정 결과에는 큰 영향을 주지 않는다.

운항비의 경우, 많은 영향 요소가 있으나, 그 중에서 연료비가 선형 및 주요요목에 의한 영향도가 크다. 다른 항목 즉, 승조원의 비용, 보수 유지비와 같은 항목은 고정비의 성격이 강하기 때문에 최적화를 위한 경제성 계산에서 제외하더라도 최적화 결과에는 영향을 미치지 않는다.

4. 개념설계 모형

개념설계 단계의 기본계산에 대한 각 모듈들은 선박의 선형계수, 복원성 계산에 기초가 되는 GM, KB, BM 값, 복원정 및 건현, 경하중량, 소요연료량, 저항 추진성능과 속도-마력 계산, 선회성능, 개략적인 구획 계산 등으로 구성하였다. 이들 각 전산 모듈들은 실적선 혹은 참고 문헌으로부터 정리한 자료를 이용하여 퍼지-신경망의 모델(Brown and Harris 1994, Kavli 1993)로 인공 학습시킨 후 설계 지식을 구축하여 프로그램화했다. Fig. 1은 퍼지-신경망의 기본적인 모델이다. 퍼지-신경망은 인공지능의 한 분야로서 외부로부터의 입력 정보에 의해 동적 반응을 일으켜 출력을 생성하는 것으로서 학습에 따라 스스로 내적 지식을 만들어 가게 된다.

따라서 퍼지-신경망을 이용할 경우 설계자의 경험이나 축적된 설계정보를 입력하면 설계선의 필요한 사항들을 출력시킬 수 있어 설계자의 경험이 많이 요구되는 개념설계 단계를 전산화하는데 매우 효과적이다.

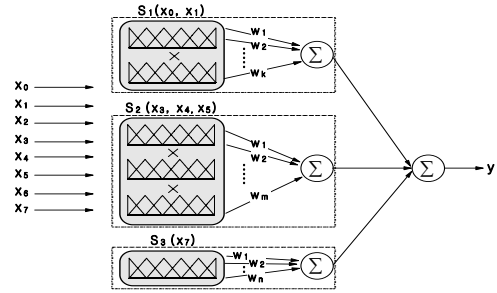


Fig. 1 ASMOD model using a concept of neural network

4.1 선형 계수(Hull Form Parameters)

선형 계수들은 저항 추진 성능, 복원성, 조종성 등 제반 성능의 계산 시에 입력 자료가 되기 때문에 설계 변수로부터 가장 먼저 추정식을 만들어야 하는 종속변수들이다. 여기에 포함되는 주요 항목으로는 Cw, Cp, Cvp, Cm, KB, BM, KG, GM, 침수표면적 등이 있다.

4.2 추진 시스템과 속도-마력 계산

군함 설계의 경우는 전투시의 속력(최대속력)과 보통 운항 상태의 속력(운항속력)의 두 가지 Mode를 고려하여 기관을 선정하는 것으로 생각했다. 이와 같은 운항 Pattern 때문에 주기관으로 가스 터빈과 디젤엔진을 조합시킨 추진 시스템(CODOG)으로 구성하는 것이 일반적이다. 국내에서 건조된 전투함들은 CODOG를 채용하고 있다.

따라서 최대속력과 운항속력 상태에서의 Froude수의 차이가 심하기 때문에 저항성능의 추정시 고속영역에서는 HSVA의 "C" Series를 그리고 저속영역에서는 Taylor Series(Gertler 1954)를 사용하였다. 그리고 저항요소의 추정에는 Holtrop방법(Holtrop and Mennen 1978)을, 또한 프로펠러 효율은 Newton and Rader(1961)의 자료를 각각 퍼지-신경망으로 모델링 하였다.

4.3 중량 Group

군함의 경하 중량은 SWBS Group을 기본으로 하여 6개의 Group, 즉 선각(Hull structure), 기관(Machinery), 보기(Aux. Sys.), 전장(Electric), 의

장(Outfitting & furnishing) 그리고 Operation load로 세분하였다. Operation load는 Armament 및 Control & command system이 포함된다. 선각중량은 Primary and secondary hull structure, 그리고 Superstructure의 구조 중량에 주요요목이 기여하는 정도에 따라 추정 식을 제시한 Eames and Drummond(1977)의 방법을 기준으로 실적 자료를 퍼지-신경망으로 모델링 하였다. 기관부 중량은  $SHP \times \sqrt{LWL}$ 의 함수관계로 보고 추정 식을 만들었으며, 보기 및 전장부의 중량은 발전기 엔진의 용량(Kw)을 기준으로, 그리고 의장부 중량은 선내 갑판면적과 승조원수를 기준으로 추정할 수 있도록 했다. 초기 개념설계 단계에서는 다소 불확실한 요소가 있기 때문에 경하중량과 무게중심 추정에 6.0%의 마진을 고려하였다.

**4.4 함내 공간 및 (방화)구획분할**

함내 공간은 기능에 따라 기관 및 보기 공간, 거주 및 통로 공간, 정비수리 공간, 탱크 공간 (Tank space) 그리고 Operation 공간으로 구분하였다. Operation 공간은 무장 공간 및 함정의 조종 공간이 포함된다. 모든 공간의 용적은 주요요목과 선형계수로부터 약산 식으로 산출하였다. 함정 전체의 공간은 수면하부 용적과 수면상부의 용적으로 나누어 계산하게 된다. 기관 및 보기 공간의 용적은 배수량에 대한 함수로, 거주구 및 통로 공간 용적은 승조원 수로부터, 탱크공간은 가장 많은 부분을 차지하고 있는 Fuel oil 용적의 함수로부터 계산할 수 있도록 하였다. 그리고 정비수리 공간은 총 공간의 5.45%로 가정하였다. 선내 구획의 분할은 방화 구획일 경우 4개의 구획으로 나누었으며, 격벽갑판까지 연장된 수밀 횡 격벽은 실적자료를 선박의 길이에 대한 함수로 가정하여 식(7)과 같이 계산하였다.

$$N_b(\text{격벽개수}) = \int (3.139 + 0.0357 * LWL) \quad (7)$$

**4.5 복원성 및 건현**

비손상시의 복원성을 대상으로 하였으며, 배의 주요요목과 선형계수를 이용하여 복원정 곡선의 계산은 Manning(1956)의 방법을 이용하였다. 비

손상시의 복원성 평가 기준은 미 해군의 기술 지침서에 의거하여 100노트의 횡풍에 의해 횡요를 일으키는 경우, 그리고 고속 선회시 원심력에 의해 발생하는 횡경사로부터 선박의 안정성을 검토할 수 있도록 하였다. 건현은 선수미부와 중앙부의 세부분으로 나누어 배의 길이로부터 계산토록 하였으며 예비부력 확보와 Deck wetness 감소 측면에서 안전한 값이 될 수 있도록 하였으며 예비부력은 연속된 3개의 주 구획이 손상을 당하더라도 함이 살아남을 수 있는 복원성을 갖도록 하였다.

**4.6 조종성능**

2축 2타선으로 가정하였고 선회성능만을 고려하였다. NPL Series(Bailey 1976)를 이용하여 선속과 타각으로부터 선회반경을 계산 할 수 있도록 하였다. 여기서 구한 선회 반경은 고속선회시의 선박의 복원성 평가부분과 상호 연계될 수 있도록 하였다.

**4.7 소요 연료량**

연간 소요 연료량은 순항속력에서 5500 Nautical mile을 연간 13 항차 운항한다고 가정하여 계산하였다. SFOC(Specific Fuel Oil Consumption)은 추진 기관의 경우 0.166Kg/HP/HR로 그리고 발전기 엔진에 대해서는 0.213Kg/HP/HR로 하였다.

**5. 최적선형의 도출을 위한 프로그램**

**5.1 프로그램 구성**

군함의 최적 안을 구하는 프로그램은 2가지의 기능을 갖도록 구성되어 있다. 첫 번째는 설계변수를 사용하여 군함의 속도, 마력, 복원성 등의 항목을 계산하고 또 주요치수를 이용하여 경하중량, 주요 구획의 길이, 재화중량 등 선박의 기본 계산을 한 뒤 선가를 추정할 수 있는 부분이다. 이는 설계자가 설계변수를 변화 시켜 가면서 원하는 성능을 가지는 함정의 주요요목을 도출할 수 있게 Parametric study로 처리된다. 두 번째는 최적치 탐색 Logic과 연결시켜 경제성과 Operation load

(또는 Operation volume)를 가장 적절하게 만족시키는 설계변수를 찾을 수 있도록 하였다.

5.2 적용 및 평가

본 연구에서 개발한 프로그램에 구축함급 선박을 적용하였으며 주요 설계변수의 변화 범위는 Table 1과 같다.

Table 1 Rages of design variables

Design Variable	Range
L(Ship Length)	134~146 m
B(Breadth )	17~17.6 m
T(Draft)	4.9~4.96 m
Cb	0.48~0.52

본 연구에서는 허용범위 안에서의 설계 가능한 모든 대상선에 대하여 경제성 평가를 실시하였으며 L, B, T의 변화에 따른 PV와 (TOP)<sub>e</sub>의 계산으로 경제성 있는 최적선의 주요요목을 도출하였다.

Fig. 2, 3은 군함의 길이와 폭에 따른 PV와 (TOP)<sub>e</sub> 값의 경향을 나타낸 것으로 그림에서와 같이 PV와 (TOP)<sub>e</sub>는 선박의 폭보다는 길이의 변화에 더 많은 영향을 받는다. 길이 L과 PV, (TOP)<sub>e</sub>의 관계를 Fig. 4, 5에 나타내었다.

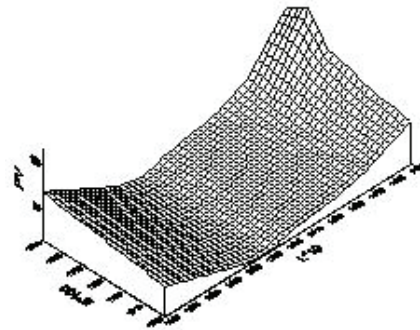


Fig. 3 PV according to L and B

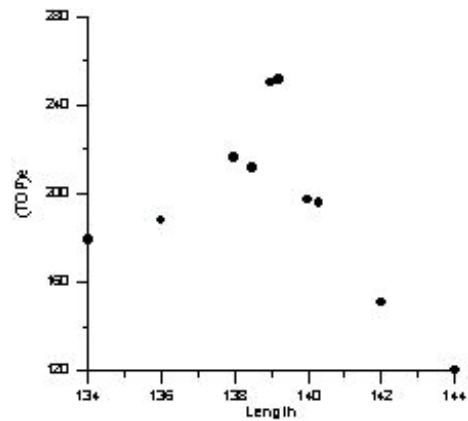


Fig. 4 (TOP)<sub>e</sub> according to L

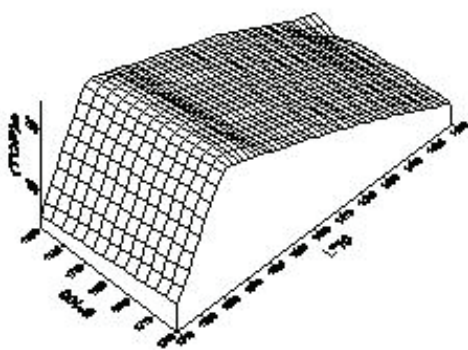


Fig. 2 (TOP)<sub>e</sub> according to L and B

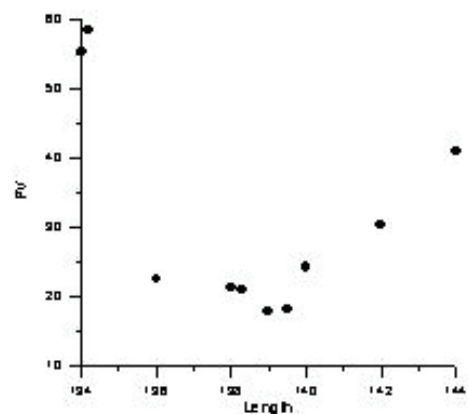


Fig. 5 PV according to L

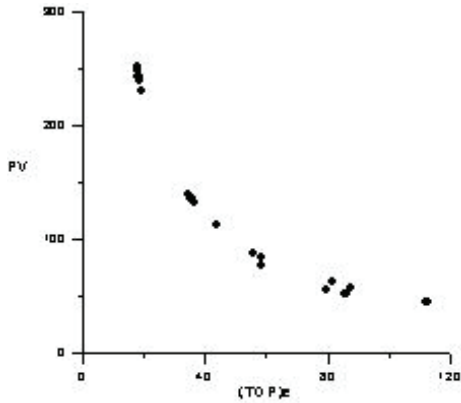


Fig. 6 Relationship between PV and  $(TOP)_e$

$PV$ 와  $(TOP)_e$ 의 상관관계를 알 수 있도록 그림 6에 두 값의 분포를 나타내었으며 그래프의 각 점이 Pareto optimum이다. Fig. 6에서와 같이  $(TOP)_e$ 가 큰 선박일수록  $PV$ 가 낮은 분포를 보이고 있다. 따라서 본 연구의 최적화 문제는 목적함수를 단일함수로 보고 처리하는 것도 가능하다.

5.3 출력

Table 1의 설계변수 범위 내에서 최적치를 계산한 결과 선박의 최적 길이는 약 139m, 폭 17.4m, 흘수 4.96m가 최적 주요요목으로 도출되었으며 주요 계산 결과는 Appendix A와 같다.

6. 결론 및 전망

본 연구에서는 함정의 요구 성능을 만족시키면서 경제성이 있는 군함의 주요요목을 도출할 수 있는 가능성을 검토하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 군함의 경우도 초기계획 단계에서 경제성 및 수송효율의 평가를 통해 주요요목을 합리적으로 결정할 수 있다.
- (2) 주요요목 즉 길이, 폭, 흘수 등의 변화가  $PV$ 와  $(TOP)_e$ 와 어떤 상관관계가 있는지를 알 수 있다.
- (3) 상반되는 개념인 경제성 측면과 기능면 즉,  $PV$ 와  $(TOP)_e$ 를 동시에 최적화 시키는 다목적 최적화를 통해 경제성 있는 최적 선박의 도출이 가

능하다.

(4) 실적 군함에 대한 보다 구체적인 자료로 본 개발 프로그램을 보완한다면 Feasibility study를 통해 함정의 운용개념에 보다 부합되는 현실적 설계안을 도출할 수 있는 의사결정 시스템으로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Balachandran, M. and Gero, J.S., 1984, "A Comparison of Three Methods for Generating the Pareto Optimal Set," Engineering Optimization, Vol. 7, issue 4, pp. 319-336.
- Bailey, D., 1976, The NPL High Speed Round Bottom Bilge Displacement Hull Series, Maritime technology Monograph No. 4, Royal Institution of Naval Architects, London.
- Brown, M. and Harris, C.J., 1994, Neuro-Fuzzy adaptive Modeling and Control, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nj.
- Eames, M.C. and Drummond, T.G., 1977, "Concept Exploration - An Approach to Small Warship Design," RINA Spring Meeting, pp. 1-15.
- Gertler, M., 1954, A Reanalysis of the Original Test Data for the Taylor Standard Series, DTMB Report 806, Washington DC.
- Holtrop, J. and Mennen, G.J., 1978, "A Statistical Power Prediction Method," Int. Shipbuilding Progress, Vol. 25, No. 290, pp. 253-256.
- Kavli, T., 1993, "ASMOD - an Algorithm for Adaptive Spline Modeling of Observation Data," Int. Journal of Control, Vol. 58, No. 4, pp. 947-967.
- Manning, G.C., 1956, The Theory and Technique of Ship Design, The MIT Press, New York.
- Newton, R.N. and Rader, H.P., 1961, Performance Data of Propellers for High Speed Craft, RINA Transactions and Annual Report, Vol. 103, p. 233-249.

Appendix A Output for Optimum Ship

>>>CONCEPT DESIGN SYS FOR WAR SHIP <<<

<1> BASIC INFORMATION

LWL = 139.00m BWL = 15.83m DRAFT = 4.96m CB = 0.4950  
 WET AR = 2425m<sup>2</sup> CIR\_M= 7.9211 LWL/BWL= 8.7786 CP = 0.6019  
 DEPTH = 9.50m Bmax = 17.40m BWL/T = 3.1923 CM = 0.8224  
 KB = 2.934m BMT = 4.828m CW = 0.7530 CP = 0.6019  
 DISP = 5538 t DISPA = 5610 t GMT = 1.060m KG = 6.701m  
 SHEER AT AFT= 0.309m SHEER AT FWD = 2.040m  
 FREBRD MID= 4.618m FREBRD FWD = 5.560m FREBRD AFT= 4.849m  
 NO OF CREW = 307p GEN CAPA = 1000KW \* 4set

<2> PROPULSION SYSTEM: CODOG

G/T= LM2500 D/E= MTU SPEED= 30.0KTS(G/T) & 17.0KTS(D/E)  
 PROP DIA = 4.7m TRANS EFF. = 0.973 (G/T) & 0.930 (D/E)  
 PROP RPM = 190. PRPO SYS = 2 CPP SETS Z = 5 P/DIA = 1.445  
 CRUISING ENG TYPE= DIESEL GENERATOR ENG TYPE= DIESEL

<3> SPEED-POWER PROGNOSIS

G/T MODE: 60321SHP AT 30.0KTS D/E MODE: 8102BHP AT 17.0KTS

VS	EHP	THDT	WAKE	ETAR	ETAO	ETAD	DHP	SHP	SHPT
DIESEL MODE									
13.00	2083	0.060	0.051	0.956	0.731	0.693	3008	3492	3248
15.00	3355	0.060	0.051	0.956	0.731	0.693	4845	5451	5069
17.00	5055	0.060	0.051	0.956	0.731	0.692	7304	8102	7535
19.00	7384	0.060	0.051	0.956	0.730	0.691	10689	11830	11002
20.00	8720	0.060	0.050	0.956	0.729	0.690	12636	14010	13029
GAS TURBIN MODE									
23.00	13387	0.060	0.050	0.956	0.727	0.688	19448	20842	20280
27.00	23980	0.060	0.050	0.956	0.722	0.683	35109	38019	36993
29.00	33057	0.060	0.050	0.956	0.718	0.679	48674	52507	51089
30.00	38047	0.060	0.050	0.956	0.716	0.677	56206	60321	58693
31.00	43949	0.060	0.050	0.956	0.713	0.674	65158	69412	67538

<4> GENERAL ARRANGEMENT:

TOTAL AVAILABLE ENCLOSED VOL=21577.5m<sup>3</sup>  
 MACH & AUX. SYS VOL = 6049.0m<sup>3</sup>  
 PERSONAL & PASSAGE VO = 8371.9m<sup>3</sup>  
 TANK SPACE VOL = 1327.9m<sup>3</sup> MAIN & REPAIR VOL = 1618.3m<sup>3</sup>  
 OPERATIONAL VOL. FOR MISSION = 4210.4m<sup>3</sup>

LENGTH OF EACH FILTER STATION:

FR SPACE = 0.6m  
 NO.4 = 39.6m NO.2 = 30.6m NO.3 = 33.0m NO.1 = 47.3m  
 E/R SPACE :  
 LOCATION OF CENTER OF E/R FROM AFT = 80.6m  
 LG OF E/R = 40.1m  
 LG OF FWD AMR = 7.7m  
 LG OF G/T RM = 10.0m LG OF D/E RM = 8.8m  
 LG OF R/G RM = 5.3m LG OF AFT AMR = 8.3m

<5> STABILITY EVALUATION AT FULL LOAD :

ANGLE : 0.00 5.00 10.00 20.00 30.00 40.00 50.00 60.00 70.00 80.00  
 GZ(m) : 0.000 0.076 0.153 0.341 0.535 0.605 0.531 0.305 0.696 0.000  
 WIND : 0.229 0.227 0.222 0.202 0.172 0.134 0.095 0.057 0.027 0.007  
 TURN'G: 0.056 0.056 0.055 0.053 0.048 0.043 0.036 0.028 0.019 0.010  
 LEVEL ARM= 7.746m PROFILE AREA= 973.6m<sup>2</sup>

EVALUATION BY BEAM WIND W/ROLLING :

- CAPSIZED ENERGY BY WIND BEAM W/ROLLING (A1) = 0.416  
 - RESERVE DYNAMIC STAB UNDER WIND HEELING(A2)= 0.095  
 - HEEL'G ARM DUE TO BEAM WIND 100 KNOTS (Hc) = 0.216degree  
 - MAXIMUM RIGHTING ARM(GZmax) = 0.697 m  
 - WIND HEELING CRITERIA,

Hc/GZmax= 0.310 (CRITERIA NO1 : ACCEPTED)  
 - DYNAMIC STAB CRITERIA,  
 A1/A2 = 4.371 (CRITERIA NO2 : ACCEPTED)

EVALUATION BY HIGH SPEED TURNING :

- APPR. SPD AT TURNING = 30.0 knots TURNING SPEED = 18.5 knots  
 - AREA UNDER TURN'G MOM(AH)= 0.052 AREA (A1=AT-AH) = 0.514  
 - HEELING ARM AT TURNING (Hc) = 0.1 m  
 - HEELING ANGLE AT TURNING (Ha) = 3.62 deg  
 (Ha < 15 deg : ACCEPTED)  
 - HEELING ARM AT TURNING (Hc/GZmax) = 0.08  
 (Hc/GZmax<0.6: ACCEPTED)  
 - RESERVED DYNAMIC STAB. CRITERIA (A1/AT)= 0.909 (ACCEPTED)  
 - TACTICAL DIAMETER = 695 m AREA UNDER GZ CURVE (AT)= 0.565

<6> WEIGHT CALCULATION :

LIGHT WEIGHT : 4587.2tons  
 HULL WT = 2091.7t MACH WT = 570.2t  
 ELEC WT = 241.0t AUX WT = 688.4t  
 OT/F WT = 323.4t OPER WT = 397.4t MAR. WT = 275.2t  
 WEIGHT OF CONSUM. & CONSTANT = 1023.6tons  
 SHIP OFF. = 36.8t AMMUNITION = 170.9t PROV/STR = 31.7t  
 GEN STORE = 4.4t FO WT = 669.0t LO WT = 36.7t FW WT = 35.6t  
 J P-5 OIL = 25.3t HELICOPTER WT = 10.5tons SEWAGE WT = 2.6t  
 FUEL OIL WT CALC. FOR CRUISING : 668t  
 ENDURNACE = 5500NM CRUISING SPEED = 17.0knts  
 MAX POWER OF G/E = 60321HP CRUISING POWER = 9533.HP  
 MEAN CRUSG POWER = 9039HP RATIO = 0.9483  
 ELEC. LOAD/DAY = 1837.9KW  
 SFOC OF CRUSG D/E= 0.1660kg/HP/HR  
 FO CONSTN OF M/E= 1500.6kg/HP  
 SFOC FOR GEN ENG = 0.2130kg/KW/HR  
 FO CONSTN OF G/E = 391.5kg/HP  
 TOTAL SFOC = 0.2093kg/HP/HR  
 CORR. FACTOR = 1.020  
 TOTAL FO CONSTN = 1892.0kg/ton  
 CORR. TOTAL SFOC = 0.213kg/HP/HR  
 MEAN TOTAL SFOC = 0.2242kg/t  
 FO WT FOR CRUSNG = 655t  
 INLET MARGIN = 0.9800

<7> SHIP COST EVALUATION (UNIT : 1000 USD)

TOTAL SHIP COST ( T = C + D + E ) = 93575.5  
 - MATERIAL COST EXCEPT AMMUNITION (A) = 37847.9  
 - MATERIAL COST FOR AMMUNITION (B) = 32240.8  
 - TOTAL MATERIAL COST ( C = A + B ) = 70088.7  
 - LABOUR COST FOR SHIP BUILDING (D) = 11322.0  
 - OTHER COST (E) = 12164.8  
 - FUEL OIL COST PER YEAR (F) = 1739.3

<8> OPTIMIZATION CRITERIA :

TRANSPORTATION EFFICIENCY = 197.64 Kg\*Knots/SHP  
 OPERATION WEIGHT(OP\_WT) = 397.4tons  
 OPERATION VOLUME = 4210.4 m<sup>3</sup>  
 (SHIP COST)/(OP\_WT) = 23.352\*1000 \$/tons/Year



< 신 수 철 >