

경제성 공학 접근에 의한 연근해어선의 최적선(단) 및 개량선형 개발에 관한 연구(I)

(A study on the developed ship design and optimum(fleet) site of fishing boat by economics engineering)

朝鮮大學校

教授 朴 濟 雄 (工學博士)

目 次

- I. 序 論
- II. 선박의 經濟性 評價
 - 1. 경제성의 측정법
 - 2. 경제성 평가의 最適化 技法
 - 3. 비용계산모델
 - 4. 最適船規模의 결정
- III. 연근해어선 설계에 經濟性 最適化의 적용
 - 1. 연근해어선의 經濟性 評價基準
 - 2. 最適化에 의한 연근해어선의 初期設計모델
- IV. 맺음말

근해어업을 영위함으로써 수산업에 종사하는 어민들의 어려움을 더욱 가중시키고 있다. 이와 같은 연근해어업에 대한 선박설계기술 및 어업기술의 낙후는 다양한 어업의 종류 및 그에 적합한 선박의 미개발, 적정 선단규모의 불확실한 추정 등에 기인된다고 볼 수 있다. 더구나 국내에서는 일반상선에 대한 연구와는 대조적으로 經濟性 因子를 고려한 經濟性最適化(economics optimization)를 활용한 개량된 船型 및 船團의 결정에 관한 연근해어선의 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 앞으로는 연근해어업에 적합한 어선의 선단규정 및 그에 알맞는 개량선형의 개발의 필요성이 절실함을 직시하여, 경제성공학(Economics engineering)을 기초로 하고 연근해어업에 주종을 이루는 船型에 대해 最適需要量을 추정하여 경제성이 높고 안전성 등을 고려한 最適船規模 및 개량된 경제선형의 개발 즉 경제성이 있는 한국형 연근해어선 개발에 역점을 두어야 할 것이다.

I. 序 論

최근 국내 수산자원의 고갈로 인하여 어장의 원거리화에 따라 어선의 규모증대 및 고속화 등으로 어업의 기술개발 및 선형개발이 필요하게 되었으나, 국내에서는 선진수산국들과 같이 우수한 어업기술 및 경제적인 선박을 확보하지 못하고 있는 실정이다. 특히 연근해어선의 공급처인 국내 중소형조선소들은 설계기술이 선진조선국에 비해 아직도 상당히 낮은 수준이며 이로 인하여 경제성이 좋은 선박을 개발하지 못하고 비경제적인 재래식 선박이나 노후선박을 가지고서 연

II. 선박의 經濟性 評價

1. 경제성의 측정법

수산업을 하고자 하는 투자결정에서는 장거적인 미래의 불확실한 상황을 가능한 한

정확하게 예측해야 함은 물론이거니와 기업의 긍정적인 목표인 이익의 극대화를 가져올 수 있는 계획과 실행이 필요하다. 특히 수산업의 경우에는 투자비용에 대한 外部依存度가 크기 때문에 투자를 결정하기 전에 충분한 사업의 타당성, 즉 선박투자에 대한 經濟性 評價를 심도있게 수행해야만 할 것이다. 이러한 관점에서 기존의 몇가지 경제성 평가 기준을 살펴보면 다음과 같다.

가. 純現在價額(Net Present Value: NPV)

純現在價額(NPV)은 화물을 운송하여 얻을 수 있는 수익을 예측할 수 있을 때 일반적으로 사용되는 경제성의 분석기준이다. 즉 NPV는 船齡안에 화물의 수송 또는 어획량으로 얻은 연간수입과 선박을 운항하는 데 필요한 연간운항비 및 선박구입상환액의 현재가치의 총합계를 나타낸다.

$$NPV = \sum_1^n [PW \times (\text{annual cargo quantity} \times \text{freight rate}) - PW \times (\text{annual operating cost}) - PW \times (\text{ship acquisition cost})]$$

여기서 n : 선령.
PW : present worth : $1/(1+i)^n$
i : 연이자율 또는 할인율

위의 식에서 나타난 바와 같이 純現在價額은 선박의 사용기간에 선박을 운항하여 얻은 총수입에서 총지출액을 공제한 예상수익을 現在價値로 표시한 것이므로 純現在價額의 값이 큰 선박이 경제성이 있는 선박이다. 만약 선박의 사용기간 동안에 연간수입 및 운항비가 일정하고 선박을 일시불로 구입하였다고 가정하면

$$NPV = SPW \times (\text{annual cargo quantity} \times \text{freight rate} - \text{annual operating cost}) - \text{ship first cost}$$

여기서 SPW : series present worth factor
 $(1+i)^{-n} / i(1+i)^n$

그러나 이와 같이 단순화된 純現在價額은 비교목적의 경제성 평가에서는 일반적으로 많이 사용되는 기준이나, 어떠한 두 선박의 경제성을 비교할 때 절대적인 값만을 나타내게 되므로 상대적인 비교에는 불합리하다. 따라서 純現在價額의 값을 初期投資額(ship first cost)으로 나누어줌으로써 보다 합리적인 경제성 기준을 얻을 수 있으며 본고에서는 이 기준을 NPV_i이라 하고, NPV_i을 상대적인 비교목적에 많이 사용한다.

$$NPV_i = NPV / P$$

여기서 P : 初期投資額

나. 資本回收率(Capital Recovery Factor : CRF)

비교하려는 각 선박의 연간수익을 알 수 있고 그 선박의 사용연수가 동일한 경우에는 각각의 투자액에 대한 연간수익의 비율, 즉 資本回收率을 구하고, 이들 중에서 최대치를 택하므로써 가장 수익성이 높은 선박을 설계할 수 있다.

$$CRF = A/P$$

여기서 A : annual return = annual revenue - annual operating cost
P : 初期投資額

위의 계산을 수행함에 있어서 연간운항비(annual operating cost)에는 자본비를 제외하는데 이는 자본비를 포함시키거나 제외하거나 資本回收率을 비교·검토함에 있어서는 동일한 결과가 산출되기 때문에 계산의 단순화를 위해 무시할 수 있다.

일반적으로 資本回收率은 전반적인 경제

성을 판단하는 기준으로써 사용되는 외에도 선박의 설비 등에 대한 경제성 검토에도 흔히 사용된다.

다. 要求運賃率(Required Freight Rate : RFR)

수입의 예측이 불확실하고 특히 장래의 運賃率 등을 알 수 없을 경우에는 각 선박의 연간운송량(annual transport capacity)과 연간평균비용(annual average cost)로부터 요구되는 운임을 구하여 운임률이 최소가 되는 선박을 선택할 수 있다.

$$RFR = \frac{\sum_1^n [PW \times (\text{annual operating cost}) + PW \times (\text{ship acquisition cost})]}{\text{annual cargo quantity}}$$

따라서 要求運賃率은 선주 또는 해운회사가 선박을 운항하여 어떠한 수익을 올리려 할 때 운임책정의 기준이 되는 값으로서 운임이 최소한 要求運賃率의 값보다는 높아야만 채산성이 있다고 하겠다. 그러므로 선박의 경제성 평가시에는 要求運賃率의 값이 작은 선박이 큰 선박보다 경제성이 좋은 선박이라 할 수 있다.

이와 같은 경제성평가법을 경제성이 있는 선박의 설계에 적용할 때 선박의 특성에 따라 선택하겠지만, 어선에 적용할 경우 조업경비의 비용측면보다도 어획고의 증가가 수산업의 수익성에 중요한 인자이므로 이러한 특성을 감안하여 경제성어선의 설계시 사용해야 할 평가기준을 적절히 택해야 하며, 이에 대한 자세한 설명은 제 III에서 논하기로 한다.

2. 經濟性 評價의 最適化技法

어떤 대상의 문제(어선설계 등)를 최적화 문제로 변환하여 풀고자 할 때에는 그 문제에 적합한 定式化, 즉 Algorithm을 구성하게 된다. 최적화의 일반적인 구성은 獨立變數(independent variable), 目的函數(objective

function) 및 制約條件(constraints)으로 되어 있으며 從屬變數(dependent variable)는 최적화 수행과정에서 계산하게 된다.

최적문제를 數式으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Maximize or Minimize } F(X) \\ & \text{Subject to } G_i(X) \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, m \\ & \quad \quad \quad H_j(X) = 0, \quad j=1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

여기서 F(X) : objective function
 X=(X₁, X₂, X₃...X_n): independent variable
 G_i(X): inequality constraints
 H_j(X): equality constraints

이상의 일반적인 최적문제를 선박경제성의 최적설계문제에 적용할 경우 獨立變數는 設計變數(design variable), 目的函數는 앞장에서 언급한 경제성평가기준치, 制約條件은 선박설계시 제한되는 무수히 많은 설계조건으로 대치하여 사용하게 될 것이다. 그러나 이때 주의해야 할 사항은 선박의 설계는 시행오차를 거듭하는 과정을 통하여 최종단계에 이르게 된다는 것이며, 이는 선박설계의 최적화는 制約條件이 존재하는 constrained non-linear임을 보여주는 것으로 우선 이를 轉換函數(SUMT:sequential unconstrained minimization technique)를 이용하여 제약조건이 없는 문제로 바꾸어야 할 것이다.

SUMT는 제약조건이 있는 문제에 있어서 制約條件이 目的函數에 미치는 영향을 고려한 penalty term을 목적함수에 첨가하여 제약조건이 없는 함수로 변환시키는 방법으로써 이때 penalty term을 표시하는 기법에는 IPT(internal penalty technique)와 EPT(external penalty technique)가 있다.

$$\begin{aligned} IPT & : P(X, r_k) = F(X) + r_k \sum_{i=1}^m [1/G_i(X)] \\ EPT & : P(X, r_k) = F(X) - r_k \sum_{i=1}^m \min(G_i(X), 0) \\ P(X, r_k) & = F(X) + r_k \sum_{i=1}^m [\min(G_i(X), 0)]^2 \end{aligned}$$

그리고 제약조건이 없는 문제의 最適化技法에는 one-dimensional optimitation과 multi-dimensional optimitation이 있으며 multi-dimensional optimitation에는 함수값과 partial derivatives를 함께 사용하는 Gradient Method와 Netwon Raphson Method 그리고 함수값만을 사용하는 探索法이 있다. 특히 探索法에서는 local pattern search와 global pattern move로 구성된 Hooke & Jeeves Direct Search Method, n개의 船舶設計變數를 n차원 공간의 n+1개의 Simplex가 계속 변화하면서 최적점에 도달하는 Nelder & Mead Simplex Method가 선박에 最適化(optimization)를 적용할 때 빈번히 사용되고 있다.

3. 비용계산모델

경제성 있는 선박의 기준을 평가하기 위해서는 제1차적으로 대상선박의 총수입 또는 총지출(비용)을 찾아야 할 것이다. 따라서 본고에서는 선박투자의 경제성, 즉 경제성 선형을 구하기 위해서는 설계모델을 기초로 하여 건조비와 그 선박을 운항하는 데 소요되는 총비용을 구해야 할 것이다. 일반적으로 선박의 경제성을 평가하기 위한 비용구성 요소 어선이나 일반선박이 크게 차이를 보이고 있지 않으므로 여기서는 어선의 경우로 하여 다음과 같이 나타냈다.

1) 建造費 (Building Cost : BC)

건조비는 재료비, 일반경비 및 공비(工費)로 구성된다. 재료비는 강재구조, 선체의장, 기관의장, 전기의장으로 나누며 工費는(공수) × (노임)으로, 그리고 일반경비는 설계비, 제시설사용비, 제비용 등으로 구분할 수 있다.

2) 運航費 (Operating Cost)

선주가 선박을 운항하는 데 필요한 여러가지의 운항경비는 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 資本費 (Capital Cost)

자본비는 선박취득형태별 금융조건에 따라 다소 차이는 있겠으나 크게 船價償却費(depreciation), 차입자본의 이자, 세금 및 자본이익으로 구분한다.

- 操業經費

선박을 운항하는 데 필요한 諸般經費를 말하며 어구구입경비, 연료비, 선원의 급료, 선내식량비, 선원보험료, 배의 침몰 및 좌초 등의 해난사고 등에 대비한 선박보험료, 영업관리비, 유탄유비 등으로 구분된다.

4. 最適船規模의 결정

어선에서도 일반선박과 마찬가지로 어선을 건조하기 전에 투자결정의 핵심은 어떠한 규모로 선박의 크기를 선정하여 수익성을 평가하고 경제적 효과에 대응하는 소요자금의 양과 자본코스트와의 관계에 입각하여 유효적절한 자원의 배분을 결정하는 것이다. 이에 입각하여 最適船規模(이하 Optimum Ship Size라 함)를 결정하기 위해서는 대상선박의 내적요인 뿐만 아니라 조업구역, 조업시기, 조업기간 등 외적인자를 정밀하게 분석하여 Optimum Ship Size를 설계모델에 적용해야 할 것이다.

그러나 어선의 경우에는 다양한 어업의 종류 및 변화무쌍한 외적인자의 영향 등으로 경제인자를 고려한 Optimum Ship Size를 결정하기가 대단히 어려운 실정이다. 특히 선주의 어업활동에 수익성을 극대화하기 위한 Optimum Ship Size란 어획고의 증감에 따라 동일한 선박이라 할지라도 그 의미가 달라질 것이다. 따라서 우선 어획고에 대한 외적인자를 실적의 데이터를 기초로 한 통계적인 처리 및 민감도분석(sensitive analysis)을 통하여 기준치를 구하여 적정선가와 조업경비의 절감측면에서 Optimum Ship Size의 결정 모델을 구하여야 할 것이다.

즉 일반선박에서는 일반적으로 선박의 수송시스템은 수송효율을 극대화시키는 비용절

감측면에서 투입된 선박의 척수, 선박의 크기, 항해속력 및 항차수 등의 변수에 따라 결정된다고 볼 수 있으나 어선의 경우에는 비용절감의 측면도 중요하지만 어획고의 향상측면에서 어선의 선단 시스템을 결정해야 될 것이다.

III. 연근해어선 설계에 經濟性 最適化의 적용

1. 연근해어선의 경제성 평가기준

앞에서 언급하였듯이 선박운항에 대한 經濟性 評價基準(economic criteria)에는 여러 종류가 있으나 어선의 경우에는 조업경비의 감소측면보다는 어획고의 증가가 수익성에 직접적인 영향을 주고 있으므로 이와 같은 요인을 가장 적합하게 반영할 수 있는 評價基準을 택해야 할 것이다. 이러한 점을 감안하여 본고에서는 어선의 經濟性 評價基準으로서 NPV를 기초로 한 CBR(Cost Benefit Ratio) Method를 사용하기로 한다.

$$\text{즉 } NPV = \sum_{t=1}^n \{At(1+r)^{-t}\} - Co$$

여기서 At : t년도의 현금흐름(유입-지출)

Co : 초기투자 비용

n : 선박의 내용년수

r : 할인율

윗식에서 t년도의 어획류의 ton당 가격을 P, t년도의 연간의 연간어획고를 Qt, t년도의 연간의 총조업경비를 Cct라 하면 위식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \{PQt - Cct\}(1+r)^{-t} - Co$$

그런데 NPV에 의한 경제성 평가는 NPV ≥ 0일 때 NPV값이 제일 큰 투자안을 선택하는 것이며 투자에 대한 효율성을 판단할 수가 없기 때문에 이를 보완하기 위한 것이

바로 CBR法이다.

CBR法은 일명 收益性指數法(Profitability index method)으로서 윗식으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$CBR = \frac{\sum_{t=1}^n PQ_t(1+r)^{-t}}{\left[\sum_{t=1}^n Cct(1+r)^{-t} \right] + Co}$$

여기서 적용한 CBR은 현금유입의 현가를 총투자액의 현가로 나눈 값인데 CBR ≥ 1일 때 투자가치가 있고 그 값이 크면 클수록 유리한 투자가 되는 것이다. CBR法은 收益對 最適費用法으로서 NPV法의 결점을 보완하기 위해 미래의 투자까지를 현재가치로 환산하여 단위투자에 대한 수익을 평가함으로써 수산업의 효율성을 판단할 수 있다.

2. 最適化에 의한 연근해어선의 初期設計 모델

선박설계의 最適化(optimization)모델에 있어서 設計變數란 초기설계에서 설계하고자 하는 치수 등을 표시하는 변수로서, 이는 설계하는 사람의 판단에 의해 결정되는 것이다.

設計變數의 결정은 선종에 따라 차이가 있으며, 탱커, 살물선 등은 초기설계에서 배의 길이, 폭, 깊이, 흘수 등을 설계변수로서 직접 택할 수 있으나 연근해어선에서는 상갑판위의 volume이 총톤수와 관련되어 배의 크기 결정에 중요한 인자이므로 배의 길이, 폭, 깊이를 직접 설계변수로 택할 수 없을 것이다. 따라서 본 연구에서는 연근해어선의 기본치수가 상갑판위의 volume에 의하여 결정되어야 함을 고려하여 연근해어선의 설계에서 채용해야 할 設計變數를 다음과 같이 설정하였다.

가. 設計變數(design variable)

연근해어선의 설계변수는 배의 척수, 항해속력, 상갑판위의 volume, 방형계수, 치수비,

홀수 및 이중저 높이(single bottom type에서 는 제외) 등으로 설정하였으며, 특히 이중저 높이(double bottom height)는 갑판위에 어 구 등 많은 화물을 적재하게 되어 복원력에 큰 영향을 주는 연근해어선의 특성을 감안하여 이중저내의 발라스트와 갑판상의 volume 등의 적재량 관계를 보다 심층적으로 분석할 필요가 있을 것으로 사료되므로 설계변수로 택한다.

나. 從屬變數(dependent variable)

종속변수란 설계변수 값을 기초로 하여 어떠한 수학적인 식(mathematical algorithm) 으로부터 계산되는 값을 나타내는 변수를 말 하며 이 변수는 설계자의 의사와 무관하게 구해진다. 따라서 선박설계에 있어서 종속변 수는 수십개 이상이 될 것이다. 본 연구에서 구하고자 하는 연근해어선의 설계시 주요 종 속변수들은 일반선박에서 독립변수로 취급될 수 있는 배의 길이, 폭, 깊이들을 연근해어선 의 특성상 종속변수로 취급하였고, 다른 종 속변수들로서는 선박운항에 관련되는 제계 수, 그리고 설계의 기본마력에 관련된 변수 로서는 전저항 마력, 프로펠러 효율 등이 있 고 중량 및 배수량에 관련된 변수로는 경하 중량, 연료소비량, 급수중량, 재화중량 등이 존재하게 되는 것처럼 종속변수는 설계변수 를 제외한 모든 값이다.

다. 制約條件(constraints)

어획을 대상으로 하는 수산업에 있어서 조업시스템 및 어선설계는 기능상 요구되는 조건 및 제반사항 등을 고려하여 수행되어야 한다. 본 연구에서는 연근해어선의 설계모델 및 최적선규모 결정모델을 最適化技法(optimization technique)에 적용하여 초기설계 및 그 선박의 수산업의 경제성을 평가하기 위해 서 다음과 같은 제약조건을 설정하였다.

- 어업조건에 관련된 조건 : 7개
- 설계변수 및 종속변수의 설계기능영역

(feasible region)에 관련된 조건 : 18개

- 마력에 관련된 조건 : 4개
- 상갑판의 Volume에 관련된 조건 : 4개
- 건현 및 복원력에 관련된 조건 : 4개
- 구조강도에 관련된 조건 : 5개

이상과 같은 설정하에서 경제성 공학에 접 근하여 한국형 연근해어선의 초기설계모델에 최적화기법(optimization technique)을 적용한 과 정을 간략하게 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{Maximize } \text{CBR} = F(X)$$

$$\text{Subject to } G_i(X) \geq 0$$

$$i=1, 2, 3, \dots, 42$$

여기서 CBR : 목적함수

$X=(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$: 설계변수

X_1 : 배의 척수

X_2 : 항해속력

X_3 : 방형계수

X_4 : 상갑판위의 volume

X_5 : 이중저 높이

X_6 : 치수비

$X_7 \dots$

$X_n \dots$

$G_i(X)$: 제약조건

IV. 맺음말

이상과 같은 경제성 공학(economic engineering) 접근에 의한 연근해어선의 선형개발은 종래의 어선설계방식을 탈피하는 새로운 장르의 설계기술로서, 연근해어선의 안전성 측면과 경제성 측면에서 우수한 어선임을 입증하게 될 것이다. 본 연구의 지속적인 수행을 통하여 얻어질 것으로 사료되는 최적선(Optimum Ship Size)규모 및 경제선형 설계시스템은 연근해어선의 최적선단 및 개량선형 개발을 하게 할 뿐만 아니라 적정 선복량의 수요예측에도 일익을 담당하게 될 것이다.

특히 이러한 연구가 결실을 맺게 되면 연

근해어선의 투자에 대한 사업의 타당성을 평가할 수 있는 이점이 있어 투자의 위험이 큰 수산업에서는 반드시 검토하여 선박을 건조할 필요성을 충분히 충족시켜야 할 것으로 사료된다.

경제성 공학에 기초를 둔 최적화 접근에 의해 개량된 한국형 연근해어선의 주된 기대 효과 및 활용방안으로는

첫째 : 현재 연근해어업의 최적선(단)규모 분석 및 그에 대한 연간 적정선박 건조량 추정

둘째 : 비경제적이고 안전도가 낮은 재래 연근해어선을 경제적이고 안전성이 양호한 개량된 선형으로 대체

셋째 : 연근해어선의 초기설계자료의 제공

넷째 : 최적선(단)규모 선정에 의한 어선 건조로 어선건조의 초기 투자에 대한 효율성 제고

다섯째: 어민의 소득증대 및 인명, 재산보호 등으로 요약할 수 있다.

參 考 文 獻

1. Buxton I. L., "Engineering Economics and Ship Design", RINA, 1972.
2. K. W. Fisher, "Economic Optimization Procedure in Preliminary Ship Design", RINA, 1972.
3. Tshnee Kuniyasu, "Application of Computer to Optimization of Principal Dimensions of Ships by Parametric Study", Japan Shipbuilding & Marine Engineering, Sep. 1968.
4. L. K. Kupras, "Optimization Method and Parametric Study in Precontracted Ship Design", International Shipping Progress, May. 1976.
5. James L. Kuester, Joe M. Mize, "Optimization Techniques with Forthan", McGraw Hill Book Co., 1973.
6. Tim Lyon, "A Calculator-Based Preliminary Ship Design Procedure", Marine Technology, Vol. 19, No. 2, 1982.
7. Sable, E. G., "Engineering Economics". In House Course, Bell Laboratories. Holmdel, 1973.
8. 朴濟雄, "船舶設計의 經濟性 分析에 관한 研究", 韓國海運學會誌 第 6 號, 1988.
9. Michael G. Parsons, "Optimization Methods for Use in Computer-aided Ship Design", Ship Technology and Research Symposium, The Society of Naval Architects and Marine Engineering, Aug. 1975.
10. 田口賢士, 室津義定, 本壓降, "フリートサイズ決定に關する考察(I)", 關西造船學會誌, 第 155 號, 昭和58年.
11. 田口賢士, 室津義定, 本壓降, "フリートサイズ決定に關する考察(II)", 關西造船學會誌, 第 156 號, 昭和58年.
12. Jan. Owen Jansson and Dann Shneersen, "The Optimal Ship Size", Journal of Transport Economics and Policy., Sep. 1982.
13. 朴濟雄, "經濟性 工學에 의한 콘테이너船의 선단 및 初期設計에 관한 研究", 韓國海運學會誌, 第 9 號, 1989.11.