대 한 조 선 학 회 논 문 집
제45권 제2호 2008년 4월

Journal of the Society of Naval Architects of Korea
Vol. 45, No. 2, pp. 213-220, April 2008
DOI: 10.3744/SNAK.2008.45.2.213

ASMOD를 이용한 선박 경제성 평가시스템 구축에 관한 연구

신수철†

(주) 경진엔지니어링

A Study on Development of Ship Economic Evaluation System Using ASMOD

Soo-Chul Shin†

Kyungjin Engineering Co., ltd.

Abstract

The aim of this paper is to build up the design model using ASMOD(Adaptive Spline Modeling of Observation Data) for the optimum scale of fleet, ship particulars and ship speed, etc. ASMOD, which define membership functions of fuzzy rule as B-spline basis function, represents a whole system as the sum of the sub-model. As it reduces the number of division of the space generated by the fuzzy set of input variables, it has a advantage of simplification to model structure and is efficient to represent the non-linear model.

※Keywords: ASMOD(적응형 스플라인 모델링), Fuzzy-neural networks(퍼지-신경망), Ship economic evaluation(선박 경제성 평가), LNG carrier(LNG 운반선), Optimum fleet(최적선단)

1. 서론

예측되는 해상 물동량으로부터 항로에 투입해야 할 최적 선단의 구성과 선박의 규모를 결정하는데 있어, 필요한 초기 투자액과 운항 경비의 합 즉, 수송비용(Transportation cost)이 최소가 되도록 하거나, 운임 수입이 최대가 되는 관점에서 경제성을 평가하게 된다.

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

수송비용 최소의 평가 방법은 주로 운임 수입의 예측을 쉽게 하지 못하는 조선소가 해운 시황에 맞는 최적 선박을 계획할 때 주로 이용된다. 이와 같은 경제성 평가 방법의 목적은 실제의 수송 원가를 계산하는데 있지 않고, 수송 원가가 최소로 되는 선박의 주요요목(Main particulars)을 도출하는 선박설계의 공학적 측면이 강하다.

한편, 운임 수입 최대의 평가 방법은 주로 해운회사가 운항 이익을 극대화하기 위해 신조 혹은 중고선 도입을 어떠한 규모로 할 것인가에 대한 의사 결정을 할 때 수행하게 된다. 이 경우는 원가

계산이 엄밀해야 하고 운항 기간 중의 인플레이션, 금리 등의 경제적 여건에 대한 효과를 고려하여 계산해야 한다. 이는 선박 설계의 공학적 측면이 아니라 선박 운용에 따른 이익 창출이라고 하는 경제성 그 자체가 중심이 된다.

경제성 공학을 선박 설계에 적용한 연구는 미국 Michigan 대학의 Benford(1953, 1970)에 의해 발표된 이래 60~70년대에 걸쳐 연구(Buxton 1972)가 활발히 진행되었다. 그러나 대부분의 연구는 설계 모델이 매우 단순하고, 회귀식(Regression formula)을 이용하여 조선 공학적 기술 계산을 단순화시켜 수행하고 있다. 또한 대상 선박은 주로 유조선, 산적화물선이 주종을 이루는데, 이것은 특정 항로에서 화물을 장기적 연속적으로 반복하여 수송할 수 있는 여건이 되기 때문에 외부적 환경요인에 의한 수송화물의 불필요한 변화를 피할 수 있으며, 경제성 평가 기준을 선박의 전 수명(Life cycle) 기간에 대하여 동일하게 적용할 수 있다. 이와 더불어 비용이나 수익의 계산을 쉽게 할 수 있기 때문이다.

최근에는 LNG가 우리나라를 포함하여 극동 지방으로의 수송 물동량이 증가하면서 최적 선단 구성 및 최적 선박의 규모 등에 대한 관심이 높아지고 있으며, LNG 운반선의 경제성 분석에 대한 연구가 수행되고 있다(Lee and Kim 1996). LNG 운반선의 경제성 연구는 주로 선박 화물창 용적의 경제적인 크기를 주 대상으로 하고 있어, 경제성 계산 모델은 매우 단순하다.

국내의 경우, Kim and Han(1978)이 초기 설계 단계에서 선박의 경제성 검토와 최적화 기법의 응용에 대한 연구가 있었다. 선종별로는 Shin(1988, 1990)은 살물선과 유조선의 최적 선박의 크기에 대해 연구한 바 있으며, LNG 운반선에 대해서는 Lee et al.(1984), Lee(1995), Shin(1996)의 연구들이 있다.

본 연구의 목적은 수송비용을 최소로 하는 선박 계획의 공학적 문제에 대한 해를 구하는데 있어 가치 판단의 기준을 경제성 평가에 초점을 맞춤으로서 합리적인 의사결정을 하는데 있다. 이를 위해 ASMOD를 이용한 선박 경제성 평가시스템을 구축하였고, LNG선단의 규모와 주요요목을 결정하는 문제에 적용하여 평가방법의 유용성을 확인하였다.

2. 선박의 경제성

2.1 경제성 평가기준

선박의 경제성을 비교·평가하기 위해서는 경제성을 평가할 수 있는 척도가 필요하다. Benford(1970)는 이와 같은 측면에서 경제성 평가 기준을 구분하고 있다. 선종(Ship type), 선박의 조달(신조 ,중고선 도입 혹은 용선) 방법 그리고 운용 선박의 운항 수입 예측 가능성의 여부 등이 있으며, 이에 따라 경제성 평가 기준이 달라진다.

본 연구에서는 Benford(1970)의 기준을 기본으로 하고 선주가 조선소에서 선박을 신조하는 경우로 제한하였다. 경제성 자체의 의미에서 볼 때 이윤 최대의 방식을 사용하는 것이 바람직하지만, 선박의 전 수명 기간 중 이윤은 사회·경제적인 외부 요인에 의한 변동과 같은 불확정 요소를 많이 포함하고 있기 때문에 설계안의 비교·평가 측면에서 보면 오히려 비용 최소의 측면이 공학적으로 보다 큰 의미를 갖는다.

연간 평균 비용(Average Aannual Cost: AAC)은 선박 운용시 연간 평균적으로 투입되는 비용으로서 자본 회수 계수(Capital recovery factor: CRF)와 연간 운항비가 합쳐진 것이며, 또한 식(2)의 RFR(Required freight ratio)은 연간 수송 화물량으로 AAC를 나눈 것이기 때문에 연간 수송 화물 톤당에 대한 평균 비용이 된다.

$$AAC = CRF*(Ship\ \ Building\ \ Cost) + (Annual\ Operating\ Cost) \quad (1)$$

$$RFR = \frac{AAC}{Annual\ \ Transported\ Cargo\ \ DWT} \quad (2)$$

AAC와 RFR은 모두 주어진 항로에서 장기적으로 반복하여 화물을 수송하는 경우에 대해 적절한 평가 기준이 되지만, AAC는 선박의 크기가 다를 경우 상대 비교 평가 기준으로 하기에는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서 최적 선단 구성 및 최적의 주요요목 도출 문제에서는 RFR을 경제성 평

가 기준으로 하였다.

2.2 기술계산 모델

RFR은 건조비, 운항비 및 화물 운송량의 세 부분으로 구성되어 있는데, 모두 공학적 제 계산의 결과를 토대로 구해진다. 초기 설계 단계에서는 계산에 필요한 정보가 매우 제한적이기 때문에 실적선의 경험 자료나 설계지식을 모델링할 필요가 있으며, 이를 기술계산 모델이라고 한다. 기술계산 모델의 변수는 다음과 같이 선박의 주요요목 등을 포함하여 여러 가지 변수들로서 표현된다.

(1) 설계 변수(Design Variable) : 최적화 과정을 통해 의사를 결정하고자 하는 변수로서 의사 결정 변수 혹은 자유 변수(Free Variable)라 하며 설계자의 판단에 의해 정해진다. 본 연구에서는 L, B, D, Td, Cb, Speed를 설계 변수로 하였다.

(2) 고정 변수(Fixed Variable) : 의사 결정 변수는 아니지만 모델을 정의하는 데 필요한 변수들로서 사용 형태에 따라 다음 3가지로 구분하였다.
- 선주 요구 사항에 의해 지정되는 변수 : 항속 거리, 해상 여유(Sea Margin), 엔진 형식, 화물창 개수 등
- 조선소의 원가 구조에 관계하는 변수 : 노무비, 경비의 원 단위, 직접 자재비에 대한 간접 자재비의 비율, 변동비 가운데서의 금융비의 비율, 총 원가에 대한 고정비의 비율, Scrap율, 연도별 생산성 향상율
- 시황 및 금융에 관계되는 변수 : 건조비에 대한 은행 차입금의 비율, 차입금에 대한 금리, 선령, 환율, 현가 할인율, 선가의 지불방법

(3) 종속 변수(Dependent Variable) : 설계 변수를 독립 변수로 하여 종속적으로 정의되는 변수로서 기술 계산 모델 혹은 건조비 계산 모델을 정의하는데 주요 부분을 이루는 변수들이다. 예를 들면 기술 계산 모델에서 저항, 추진 성능을 계산할 경우 6개의 설계 변수만으로는 부족하기 때문에 부심의 종방향 위치, 선수미 Run 및 Entrance계수, 중앙 단면 계수, 프로펠러 직경 등의 새로운 변수를 사용하게 되는데, 이들 새로운 변수들은 설계 변수들을 독립 변수로 하여 표현하게 된다.

3. 적응형 스플라인 모델링(ASMOD)

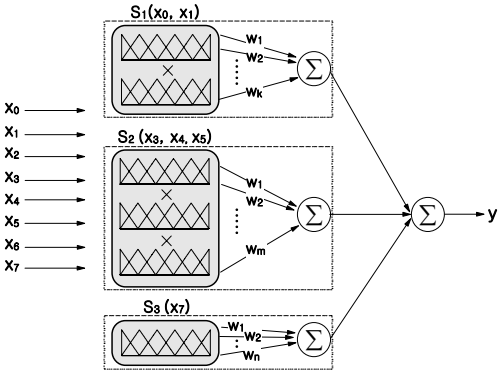

Fig. 1 Submodel concept of ASMOD

ASMOD(Adaptive Spline Modeling of Observation Data)는 B-spline 기저함수(Rogers 1977)를 이용하여 입출력 데이터로부터 비선형 다변수 모델을 인식하는 방법이다. ASMOD에서 B-spline 기저함수는 퍼지 추론 시스템에서 입력값에 대한 소속 함수로 표현되어 하나의 퍼지 규칙을 나타내며, 부 모델 개념을 사용하여 입력차원의 과도한 증가를 방지한다. Fig. 1은 ASMOD의 부 모델을 도식적으로 보이고 있다. ASMOD 부모델에서 2개 혹은 더 많은 입력 변수들의 연성된 의존성(Coupled dependencies)을 모델링하기 위해서는 다차원 스플라인 공간을 사용한다.

ASMOD 모델에 의한 학습 알고리즘은 3개 층의 신경망으로 구성된다. 1층은 입력 층으로 입력 변수의 집합으로 구성되어 있고, 2층은 각 부모델에서 출력을 계산한다. 각 퍼지 규칙의 소속 함수가 B-spline기저 함수로 정의되고, 정의된 소속

함수는 입력 변수에 대해 정규화 된 값을 나타낸다. 그리고 3층은 각 부모델의 출력을 합하여 전체 출력을 생성한다.

학습방법은 시그모드 함수를 사용한 오류 역전파 알고리즘을 사용하였으며, 다음과 같이 수행된다.

[1 단계] 전 방향 과정은 각 기저 함수와 가중치와의 곱의 합을 통해 추론된 값을 계산 한다.

[2 단계] 후 방향 과정은 ASMOD에 의한 추론 값과 목적 값과 차이를 후 방향으로 전파하여 가중치를 수정한다.

[3 단계] 모든 입출력 데이터에 대한 추론 값과 목적 값과 차이가 최소가 될 때까지 [1 단계]와 [2단계]를 반복 수행한다.

4. LNG 운반선의 최적설계

4.1 최적화 문제

우리나라는 정부의 청정에너지(Clean energy)의 수급 정책에 따라 국내 LNG의 소비가 급격히 증가되었다. 또한 급증하는 LNG의 수요를 충족시키기 위해 장기적으로 안정적이고 저렴한 수송비용으로 도입할 수 있도록 수급 정책과 더불어 LNG 수송 선박을 연차적으로 한국 가스 공사를 통해 발주하고 있다.

또한 LNG 운반선은 일반 상선, 즉 유조선이나 컨테이너 운반선 등과는 달리 척 당 건조 선가가 매우 높기 때문에 국내 조선소들은 고부가가치 선박으로서 선박의 수주 경쟁이 매우 치열하다. 이러한 여건 아래에서 건조선가와 운항비 그리고 조선 기술면에서 경쟁력 있는 최적의 LNG 운반선에 대한 연구는 매우 의미 있는 일이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 LNG의 생산지인 카타르와 오만(Oman)으로부터 연간 일정량의 LNG를 국내에 장기간 도입할 경우에 대한 시나리오를 가정하여 최적선단의 규모와 최적 선박의 크기 및 경제속력을 ASMOD에 의한 퍼지-신경망 모델링으로 구축한 경제성 평가 시스템에 적용하여 도출하여 보았다. Fig. 2는 이와 같은 최적화 문제에 대한 개념적 모형을 개략적으로 보여 주고 있다.

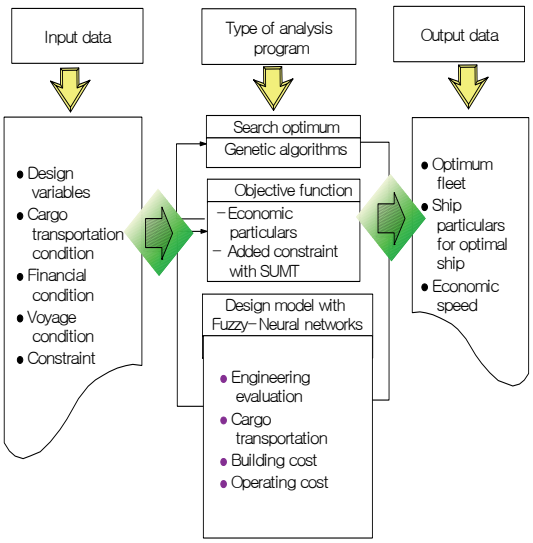

Fig. 2 Schematic diagram for optimization of LNG carrier

4.2 목적 함수와 제한 조건

다목적 함수의 최적화 문제의 목적함수로서 연간 수송 화물 톤당 건조비와 운항 경비를 사용하였다. 이것은 조선소의 입장에서 볼 때 최소 건조비의 실현과 더불어 운항 선사의 입장에서의 최소 운항 경비의 달성과 같이 서로 다른 목표를 동시에 추구하는 최적화 문제가 된다. 한편 목적 함수를 하나로 하는 최적화 문제에 있어서는 연간 수송 화물 톤당 건조비와 운항비를 합친 즉, 톤당 수송비(RFR)를 사용하였다. 선박의 건조비 계산에 필요한 세금 및 금융 조건에 대한 가정은 Table 1과 같다. Table 1에서 CRF는 자본 회수 계수(Capital recovery factor)를 의미한다.

각 목적함수들은 ASMOD의 모델링으로부터 구축된 기술 계산 모델에 의해 Fig. 2에서 본 바와 같은 과정에 따라 구해진다. 연간 수송 화물량의 계산을 위한 항해 조건은 Table 2, 운항비 계산을 위한 선비 및 항만비의 가정은 Table 4와 같다.

제한 조건으로는 LNG 기지가 있는 평택 항 및 카타르 항의 수심과 카타르에서 인도양을 거쳐 국내 평택 항으로 귀항하는 항로 조건에서의 운항 안정성을 고려한 선박의 크기와 연간 250만 톤을 도입하기 위한 화물 수송 조건 등을 고려

하여 Table 3과 같이 설정하였다.

Table 1 Financial condition for CRF calculation

Items	Calculation base for CRF
Interest for loan: Libo(6month) +spread	9.25%
Discount rate for net present value	13 %
Net worth	3.9 % based on building cost
Deferment period for repayment	0 year
Repayment period	25 year
Tax rate per year	10 %
Exchange rate	930 won/USD

Table 2 Operation condition for calculation of transportation cargo

Items	Operation condition
Cruising day per year	345 days
Anchoring day per voyage	3.5 days
Cruising range per voyage	13,000 NM
Port charge per voyage	150,000 USD
Price of fuel oil & diesel oil per ton	100 USD, 200 USD

Table 3 Constraints in dimensions of LNG carrier

Main particulars	Range of constraint
L/B	0.7 - 0.74
Cb	0.58 - 0.76
Td (m)	10.0 - 11.5
Speed (Knots)	18.0 - 25.0
Cargo capacity (m3)	125K~150K
Transport marge (%)	15.0
Number of ship in fleet	3 - 6

4.3 최적 선단 및 선박의 주요요목

4.3.1 선단의 구성 및 선박의 최적 속력

LNG 수송량은 열량단위(mmbtu)를 많이 사용하고 있기 때문에 연간 LNG의 톤당 수송비용인 RFR의 단위를 여기서는 열량 단위 USD/mmbtu로 나타내었다. LNG 1톤은 51.864mmbtu이다.

RFR을 단일 목적 함수로 하여 최적 선단의 규모와 선박의 최적 선속을 도출해 보았다. Fig. 3은 선단을 규모 즉, 선단을 구성하는 선박의 척수에 따른 톤당 수송비용의 변화를 보여 주고 있다. 선단을 5척의 규모로 했을 때가 3척 혹은 4척의 경우 보다 훨씬 톤당 수송비용이 높다. 따라서 선단을 구성할 때 크기가 작은 선박으로 하여 척수를 늘이는 것은 경제성에 있어 불리함을 알 수 있다.

또한 Fig. 3에서는 선단의 규모가 일정할 경우 구성하는 선박을 크게 하고 선속을 낮게 하는 것이 경제성이 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 일반 상선에 있어 선박의 크기와 경제 선속과의 관계와 같은 경향임을 알 수 있다.

그리고 선단이 3척과 4척으로 구성되는 경우를 비교하면 3척의 경우가 4척의 경우보다 경제성이 있음을 보여 주고 있으나, Fig. 4에서 선단 규모별 선박의 최적 선속의 계산 결과를 3척으로 할 경우, 수송 조건을 만족시키기 위해서는 최적 선박의 크기는 140,000~150,000 m^3가 되어야하며, 이 때, 최적 선속은 23.3~26.1노트가 된다.

Table 4 Assumption for ship cost

Items	Based on 1st year (USD)	Change per year
Manning	900,000	5% Increase per year
Repair & maintenance	0.5% of building cost	·1~5 year : 2% increase ·6~10 year : 5% increase ·11~20 year : 7% increase ·21~25 year : 10% increase
Insurance	2.6% of building cost	·1~5 year : same with 1st year ·6~10 year : 1% decrease ·11~15 year : 2% decrease ·16~20 year : 3% decrease ·20~25 year : 4% decrease
Stores and supplies	650,000	3.5% increase
General management	200,000	[Depreciation cost+ship cost (excluding general management)+ voyage cost] * 0.04

이와 같은 선속을 내기 위해서는 88,000~100,000마력의 고출력 추진 기관이 요구되기 때문에, 이와 같은 용량을 만족하는 증기 터어빈을 추진 기관으로 선박에 탑재하는 것은 매우 어렵다. 따라서 3척으로 선단을 구성하는 것은 추진 기관의 제한 조건 때문에 현실성이 없는 대안이 된다.

결론적으로 4척으로 선단을 구성하는 것이 가장 현실성 있는 최적안임을 알 수 있고, 이 때 선박의 크기는 130,000~150,000 m^3의 범위에 있으며, 선박의 크기가 130,000 m^3에 가까울수록 최적 선속은 21노트, 선박의 크기가 150,000 m^3인 경우의 최적 선속은 18노트가 된다. 이것은 최근 한국 가스 공사가 발주하고 있는 선박의 사양이 138,000 m^3급으로서 설계 선속이 19.5~20노트로 국내 조선소들과 계약되고 있음은 본 연구 결과와도 상통하고 있다.

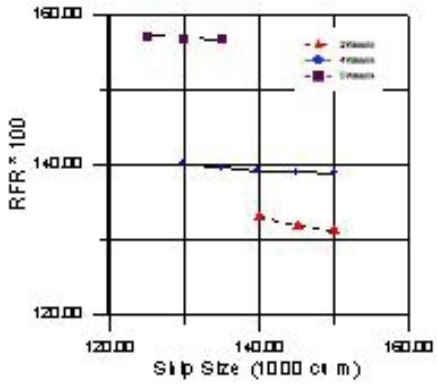

Fig.3 RFR variation in organization of fleet

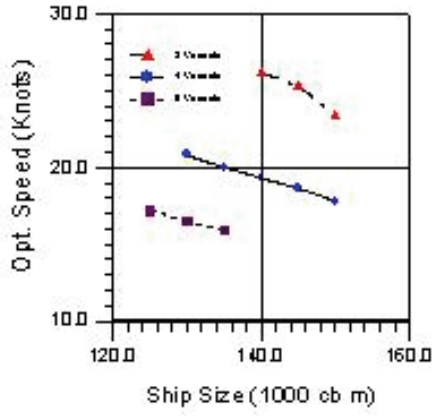

Fig. 4 The optimum speed of LNG carrier

4.3.2 등호 제한 조건에 대한 최적치 탐색

앞에서는 선단의 규모와 선박의 크기 그리고 최적 선속이라는 다소 거시적 측면에서 최적화 문제를 다루었으나, 여기서는 거시적인 결과에 대해서 다소 범위를 좁혀 최적 선박의 크기는 고정하고 선형 요소가 경제성에 어떠한 영향을 주는지를 검토해 보았다.

선단 4척에 대응하는 선박의 크기를 130,000 m^3, 135,000 m^3, 140,000 m^3로 고정하면 등호 제한 조건이 부여된 상태가 된다. 그리고 흘수는 11.0m로 하였다. 이는 국내 평택 항 LNG 기지의 최대 수심이 11.5m로 통상 안전하게 항해할 선박의 흘수가 11.0m이기 때문이다. Fig. 5~Fig. 7은 L/B와 Cb의 변화가 선박의 경제성에 미치는 영향을 보여 주고 있다. 3가지 경우에 있어 모두 L/B는 5.8 부근에서, Cb는 0.70~0.71에서 최적치를 보여 주고 있다.

아울러 유전자 알고리즘에 의한 탐색과정에서 최적치에 접근하고 있는 형태를 보여 주고 있다. 이 결과에서 볼 때 유전자 알고리즘은 국부적인 최적점이 있는 경우에도 효율적으로 전체 최적치로 근접해 가는 장점이 있음을 알 수 있다.

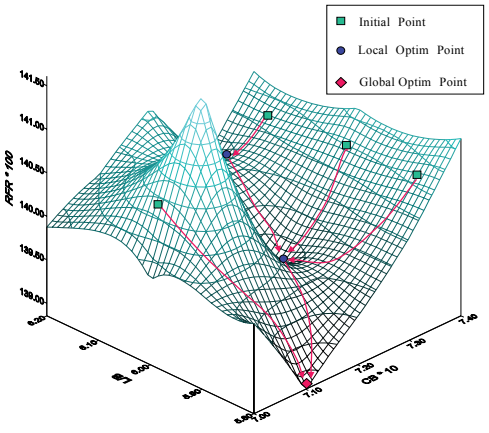

Fig. 5 Search for optimal RFR (130,000m^3, 11m draft)

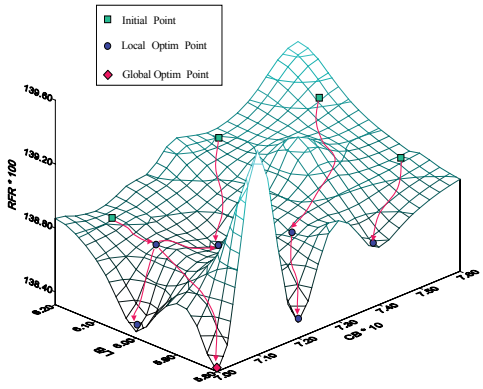

Fig. 6 Search for optimal RFR (135,000m^3, 11m draft)

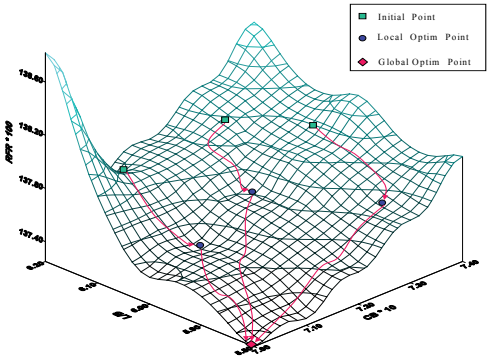

Fig. 7 Search for optimal RFR (140,000m^3, 11m draft)

5. 결론

본 연구는 경제성 평가와 최적 설계 문제를 처리하는 데 있어, 최적치 탐색에 대한 수치적 계산을 중요시하는 한계를 넘어 합리적이고, 현실적인 최적안을 도출할 수 있도록 퍼지-신경망 알고리즘을 도입하여 경제성 평가 시스템을 구축하는데 목적을 두었다. 본 시스템을 LNG 운반선의 최적화 문제에 적용한 바 아래와 같은 결과를 얻었다.

(1) 설계 지식은 경험이나 노하우 등이 많이 포함되어 있어, 통계적 회귀적 방법과 같은 순차적이고 정량화한 알고리즘만으로는 처리가 매우 어렵지만, 퍼지-신경망 이론을

적용할 경우, 설계 지식을 구조적 혹은 언어적 표현이 가능하므로 최적화의 목적 함수가 되는 설계 모델을 보다 효율적이고 공학적 의미를 갖도록 표현할 수 있다.

(2) 퍼지-신경망 시스템에 B-Spline 기저 함수를 이용한 ASMOD는 입력 변수의 증가에 따른 차원의 과대 증가를 억제할 수 있기 때문에 입력 변수를 많이 도입해야 하는 설계 모델 구축에 유효하게 적용할 수 있다.

(3) 설계 지식을 모델링하는데 있어서 설계 변수에 대해 비선형성이 강하고 분산도가 큰 경우에 ASMOD를 사용하면 정도가 높은 결과를 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

- Benford, H., 1953, "Economic Aspect of American Merchant Ship Design," Trans. of SNAME, Vol. 61, pp. 280-357.
- Benford, H., 1970, "Measures of Merit for Ship Design," Marine Technology Society Journal, Vol. 7, No. 4, pp. 465-476.
- Buxton, I.L., 1972, Engineering Economics Applied to Ship Design, RINA Transactions and Annual Report, Vol. 114, pp. 409-428.
- Kim, J.G. and Han, S.H., 1978, "Economic Optimization in Preliminary Ship Design," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 15, No. 4, pp. 1-5.
- Lee, D.K. 1995, Application of Knowledge-Based Systems and Multi-objective Optimization Methods to the Preliminary Ship Design, Ph. D. Thesis, Pusan National University.
- Lee, K.Y., Lee, D.K., Jung, H.H. and Lee, C. H., 1984, "Economic Optimization Study for a 125,000m^3 Class LNG Carrier", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 21, No. 4, pp. 1-9.
- Lee, D.K. and Kim, S.Y., 1996, "Techno-Economic Optimization of an LNG Carrier with Multicriteria in the Preliminary Design Stage," Journal of Ship Production, Vol. 12, No. 3, pp. 141-152.
- Rogers, D.F., 1977, "B-Spline Curves and Surface for Ship Hull Form Definition," Soc. of Naval Architects and Marine Engineers, New York, pp. 79-96.
- Shin, S.C., 1988, Ship Economic Parameter(II), Samsung Heavy Industries Research Report, MK36-KD-87018.
- Shin, S.C., 1990, “Optimum Concept Design for Tanker and Bulker,” Proceedings of the Annual Spring Meeting The Society of Naval Architects of Korea, pp. 63-75.
- Shin, S.C., 1996, “A Study on Optimum Size for LNG Carrier,” Proceedings of the Annual Spring Meeting The Society of Naval Architects of Korea, pp. 38-45.

< 신 수 철 >