

## 시스템 다이내믹스를 활용한 선박 연료유 가격 예측\*

최정석\*\*

### Forecasting Bunker Price Using System Dynamics

Choi, Jung-Suk

#### Abstract

The purpose of this study is to utilize the system dynamics to carry out a medium and long-term forecasting analysis of the bunker price. In order to secure accurate bunker price forecast, a quantitative analysis was established based on the casual loop diagram between various variables that affects bunker price.

Based on various configuration variables such as crude oil price which affects crude oil consumption & production, GDP and exchange rate which influences economic changes and freight rate which is decided by supply and demand in shipping and logistic market were used in accordance with System Dynamics to forecast bunker price and then objectivity was verified through MAPEs. Based on the result of this study, bunker price is expected to rise until 2029 compared to 2016 but it will not be near the surge sighted in 2012.

This study holds value in two ways. First, it supports shipping companies to efficiently manage its fleet, offering comprehensive bunker price risk management by presenting structural relationship between various variables affecting bunker price. Second, rational result derived from bunker price forecast by utilizing dynamic casual loop between various variables.

*Key words: System Dynamics, Bunker Price, Shipping Market, MAPEs, Correlation*

▷ 논문접수: 2017. 02. 10.      ▷ 심사완료: 2017. 03. 23.      ▷ 게재확정: 2017. 03. 23.

\* 『이 논문은 저자의 2017년도 박사학위 논문의 주요내용 일부를 정리/보완하여 작성됨』

\*\* 한국선급 해운거래정보센터 책임연구원, 제1저자, jschoi@krs.co.kr

## I. 서론

해운산업의 불황이 장기화되면서 선주들의 관심사는 수익 극대화가 아닌 비용절감을 통한 운항 효율성 제고 측면으로 집중되고 있다. 선주들은 화주와의 계약에서 최저가 입찰계약을 통해 영업이익을 최소화하고 운항비용 절감을 통해 수익을 실현하는 전략을 취하고 있다. 그러나 환율과 유가 등 대외경제의 변화에 따라 단기간 내에도 급격한 변동성을 보이고 있는 주요 요인들에 대해서는 위험 관리가 취약한 상황이다.

일반적으로 선박연료유 비용은 선박 운항원가의 30% 수준을 차지하는 중요한 비용항목에 해당된다. 선박의 운항에 소요되는 비용으로는 연료비 이외에 화물비, 항비 등 선박 운항에 따른 비용과 선원비, 선박관리비, 보험료와 같은 선박 보유에 따라 고정적으로 지출되는 비용 등이 포함된다. 이러한 다양한 비용 항목 가운데 특히 연료유 비용은 가격 변동성이 높아 선박의 내용년수 기간 동안 연료유 가격에 대한 정확한 추정이 필요한 상황이다.

싱가포르에서 거래되는 380CST 기준 연료유 가격은 2000년대 중반 이전까지 USD200/Ton 내외 수준을 유지하였다. 그러나 2011년 이후 중동지역의 정정불안과 신흥국의 수요 증가 그리고 투기자금의 유입 등으로 국제유가는 가파르게 상승하였고, 연료유 가격 역시 2012년 USD700/Ton을 상회하는 등 급등세를 기록했다. 이후에도 2014년까지 이러한 고유가 시대가 지속되며, 선주들의 고통이 가중되었다. 그러나 2015년 이후 셰일자원의 개발과 원유 생산량 증가 등으로 다시 연료유 가격은 하락세를 보이며 2016년 평균 가격은 USD230/Ton 수준에 머물렀다.

이렇듯 연료유 가격의 변동성이 심화되면서 연료유 가격 변화에 따라 선박의 운항 여부를 결정짓는 현상이 발생하기도 했다. 저 운임 시장으로 인해 수익성이 저하된 선주들로서는 연료유 가격이 높은 시장 속에서 수익확보가 불가능하여 선박 매각을

증대시키고 있다.

연료유 가격의 경우 원유 시장의 수급 변화와 대외경제 여건, 그리고 해운시장의 여건 등 다양한 외부변화에 따라 변동성이 높게 나타나고 있다. 또한 전 세계 주요 항만 가운데 연료유 거점항만인 싱가포르와 로테르담의 경우 지역에 따른 가격 차이가 발생하면서 운항선사들은 선대 운영에 있어서 이러한 점들을 감안한 연료유 수급계획을 수립하고 있다.

따라서 연료유 가격에 대한 중장기 예측이 가능하다면 보다 원활한 연료유 수급 계획을 수립하여 운항선사의 비용절감에 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

이에 본 연구에서는 연료유 가격의 정확한 예측을 위한 대안으로 시스템 다이내믹스를 활용하여 중장기 연료유 가격을 추정하는 모델을 구축하였다. 연료유 가격 결정에 영향을 미치는 주요 변수들간의 인과관계를 기반으로 모델을 구축하고 시뮬레이션을 통해 중장기 예측을 수행하였다. 가격추정을 위한 변수들은 가격결정에 영향을 미치는 유가모델과 해상운임모델 등 하부모델을 구성하여 보다 세부적인 모형을 설정하였다.

이를 바탕으로 원유 가격 변수와 경제변수, 해상운임 결정에 영향을 미치는 화물 수요와 공급변수 등 각종 변수들의 인과관계를 활용하여 정량적 모델을 구축하고 이를 바탕으로 2029년까지의 연료유 가격을 예측하였다.

이를 수행할 프로그램으로는 Powesim Studio 10을 사용하며, 기존 연구들과의 차별성을 확보하기 위해 연료유가의 결정에 영향을 미치는 주요 요인으로 운임과 유가에 대한 하부 모델을 구축하여 예측의 정확도를 제고시켰다. 이후 예측 결과를 토대로 MAPE 분석을 통해 예측의 정확도를 검증하고 본 연구의 의의를 도출하였다.

제1장의 서론에 이어 2장에서는 연료유 가격 예측과 관련된 선행연구와 이론적 내용들을 토대로 본 연구의 차별성과 중요성에 대해 고찰하였다. 3장은 연료유 가격 예측을 위한 평가모델을 구축하여 주요

투입 변수들간의 관계를 정립하였다. 이를 바탕으로 4장에서는 시스템 다이내믹스를 활용한 연료유 가격 예측을 통해 2029년까지의 가격 변화에 대한 평가를 수행하고, 예측값과 과거 실제값과의 정확도를 검증하였다. 마지막으로 5장인 결론에서는 연구결과 요약, 제언 및 연구의 한계점에 대하여 제시하였다.

## II. 선행연구

연료유 가격 예측에 대한 국내외 선행연구 및 관련 이론은 학계에서 연구가 활발히 진행되지 않은 편이다. 특히 시스템 다이내믹스를 활용한 미래 시장 변화의 예측에 관한 연구는 주로 항만 분야를 중심으로 진행되고 있다.

오히려 선물시장의 상품가격을 중심으로 유가의 예측과 관련된 선행연구가 일부 발표되었으며, 대부분 시계열 분석 모델을 활용한 연구중심으로 수행되었다.

### 1. 연료유가격 예측 선행연구

연료유 가격 예측과 관련된 주요 연구들은 시계열 예측 모델을 활용하여 과거 실제 데이터와의 정확성을 검증하는 방식의 연구들이 주로 진행되어왔다.

Stefanakos & Schinas(2014)는 대략 24년에 해당하는 로테르담과 휴스톤항의 380cst 연료유 가격과 340주에 해당하는 LS 380cst 연료유 가격에 대해 Fuzzy 모델을 통한 시계열 분석을 활용하여 예측모델을 구축하였다. 예측결과에 대한 MAPE 검증결과 오차율이 5%~15% 수준을 나타냈다.

송경재와 양희민(2005)는 1984년~2004년까지의 WTI 유가자료를 이용하여 ARIMA 시계열 모델을 통해 유가 예측 모델을 구축하였으며, 예측의 정확도를 검증하기 위해 2002~2004년까지의 실제 가격과의 MAPE 검증을 수행하여 1.83%~18.07%(평균 10.06%) 수준의 오차율을 나타냈다.

정상국과 김성기(2011)는 VAR모형을 이용하여

국제유가가 드라이벌크 시장의 기준 지표인 BDI, BCI, BPI 등 운임지수에 미치는 영향을 분석했으며, 시차 1기의 경우 통계적으로 정(+)의 유의적인 효과를 갖고, 충격반응함수 분석결과 국제유가의 충격으로부터 BDI의 반응이 약 3개월 정도 지속적으로 상승한다는 결과를 도출했다.

### 2. 시스템다이내믹스 선행연구

유가와 같은 외부 환경변수의 변화가 해운시장의 변동성에 영향을 미치는 것이 기존 연구를 통해 확인되는 가운데 연료유 가격의 예측을 위한 보다 다양한 관점의 분석이 필요한 상황이며, 그 대안으로서 최근 들어 시스템 다이내믹스를 활용한 예측 연구들이 항만분야를 중심으로 활발히 진행되고 있는 추세이다.

Look & Sauer(1982)는 시스템 다이내믹스가 시스템적 사고를 기반으로 시스템의 정태적 변화보다는 사회현상의 동적인 변화를 바탕으로 관찰대상의 공간적, 물리적 구조변화에 대해 원인을 규명하고 미래 방향을 예측하는 방법론이라고 설명했다.

여기태와 정현재(2011)는 한국과 중국, 일본의 컨테이너 항만들이 갖고 있는 각자의 경쟁력을 비교·분석한 뒤, 각 국가의 환적화물 처리물량을 인과적 관계에 따른 동적 모델로 구축하고 미래 시나리오별 2030년까지의 예측치를 제시하였다.

송상근(2014) 역시 부산항을 중심으로 환적물동량 변화에 영향을 주는 주요 변수들간의 인과적 관계를 설정하고 전문가 대상 설문조사를 통해 이들 변수들이 적합한 방향성을 확보하였는지에 대해 평가한 후 2030년까지 중국 항만 변화에 따른 부산항의 환적물동량을 예측했으며, MAPE 검증을 통해 예측의 정확도를 검증하였다.

항만분야 뿐만 아니라, 운임 예측과 선박의 투자 의사결정 등 물류분야의 다양한 방면에서 시스템 다이내믹스가 사용되고 있다.

Park(2014)는 여객선 시장의 수요예측을 위해 시스템 다이내믹스를 활용하여 여객선에 대한 투자

의사결정 및 최적의 선박 사이즈를 평가하였다.

Dikos(2006)는 탱커선의 지난 1980년~2002년까지의 용선료 자료를 바탕으로 시스템 다이내믹스를 활용하여 미래 선박 공급량 및 운임을 예측하고 이를 통해 신규투자시기, 선박매각시기, 계선시기를 판단 할 수 있는 모델링을 구축하였다.

이렇듯 연료유가의 변화에 따라 해운경기가 큰 영향을 미치며, 연료유가의 예측에 대한 필요성이 증대하고 있지만 아직까지 본격적인 학계의 연구는 더딘 상황이다. 그 이유는 과거 해운업계의 관심도는 수익 증대에 집중되었지만, 2008년 이후 연료유가격의 변동성 확대와 장기 해운불황 지속 영향으로 비용구조 개선에 대한 관심이 최근 들어 본격화되었기 때문이다. 본 연구는 시계열 분석과 같은 기존 연구와는 차별적으로 SD를 활용하여 다양한 변수들간의 인과관계를 바탕으로 예측분석을 수행하는 새로운 방법론을 제시하는데 그 의의가 있다. 특히 해운시장에 영향을 미치는 다양한 변수들 가운데 통계적으로 설명 불가능한 변수들을 활용하여 예측모형을 구축한 것은 SD 기법이 갖는 장점이라고 평가할 수 있다.

### III. 평가모델 구축

#### 1. 시스템 다이내믹스 모델링 과정

시스템 다이내믹스는 사회현상의 문제에 대한 원인을 규명하고 복잡한 시스템의 구조를 동태적 변화에 따라 알기 쉽게 구조화하여 문제에 대한 해결책을 정량적 예측모델을 통해 찾아볼 수 있는 연구 방법이다. 이러한 시스템 다이내믹스 연구를 위한 모델링은 일반적으로 다음과 같은 5단계 과정을 통해 이루어지고 있다.

첫째, 문제의 정의를 통해 전반적인 모델링 계획을 설계하고 연료유가 예측을 위한 변수와 시스템 구조를 설정하는 것이다. 연료유가의 정확한 예측을 위해 목표로 하는 변수의 개념을 정립하고, 명확한

분류를 통해 모델링의 기초를 확립하는 단계이다.

둘째, 문제의 원인을 야기하는 주요 구성 변수들간의 인과관계를 구조화하고 연료유가에 영향을 미치는 주요 변수들간의 피드백 구조를 정립하는 인과지도(Casual Loop Diagram) 작성 단계이다. 인과지도는 주요 변수들간의 관계를 인식하기 쉽게 도식화하는 정성적인 모델 형태이다. 문태훈(2002)는 인과지도 작성은 분석대상의 주체나 주요 변수들간의 상호작용과 영향효과를 체계적이고 종합적으로 파악하고 이해하는데 유용한 도구라고 설명했다.

셋째, 연료유가 예측을 위해 투입되는 주요 변수들을 하부 모델별로 구분하고 실제 분석을 위한 수식과 모수들을 설정하는 시뮬레이션 모델 과정이 필요하다. 이때 반드시 수행되어야 하는 과정이 시뮬레이션에 필요한 저장-유량 다이어그램(SFD, Stock & Flow Diagram)의 작성이며, 변수들간의 오류 발생 시 이를 수정 및 보완하는 절차가 필요하다. 이를 토대로 연립미적분방정식 계산을 통해 모델에 대한 시뮬레이션을 수행하게 된다.

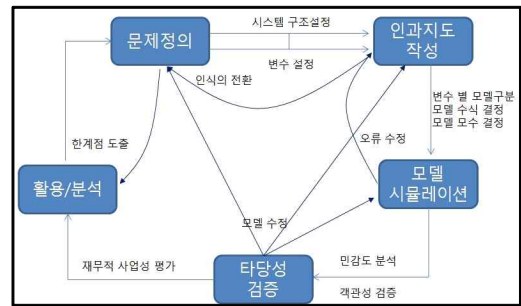


그림 1. 시스템 다이내믹스 모델링 과정

넷째, 시뮬레이션 모델이 구축된 주요 변수들에 대한 모델의 타당성(Model Validation)을 입증하고 다양한 분석 등을 통해 최대한 객관성을 검증하는 과정이다. 타당성 검증은 새롭게 구축한 모델의 오류를 수정하고 객관성을 입증하는데 반드시 필요하며, 주요 투입변수들의 설명력을 강화하고 연구결과

의 타당성을 보완하는 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 MAPE 분석을 활용하여 예측치와 실제값과의 오차율을 검증하여 예측의 정확도를 평가하였다.

다섯째, 시나리오 분석 등을 통해 도출된 결과를 바탕으로 시사점과 한계점을 도출하는 단계이다. 시뮬레이션을 통해 도출하고자 하는 결과값을 토대로 해운시장에 미치는 영향을 분석하고 이를 활용하기 위한 방안들을 모색하는 단계이다.

### 2. 모델구축 대상과 사례선정

본 연구에서 시스템 다이내믹스를 활용한 모델 구축 대상은 선박 연료유 가격이다.

김성배(2013)는 패널분석모형을 이용하여 선박 연료유 가격의 결정모형을 분석하였으며, 분석결과 선박 연료유 가격 결정에 가장 큰 영향을 미치는 변수로 국제 유가를 도출하였으며, 이밖에도 원유 수급과, 환율, 그리고 운임변화 등이 영향을 미치고 있다고 분석하였다.

본 연구에서는 싱가포르의 380CST 선박연료유 가격을 실증분석의 대상으로 선정하였다. 싱가포르 유가와 아시아를 연결하는 관문항으로서 유럽의 로테르담항과 함께 가장 높은 선박 연료유 수급지역으로 전 세계 연료유 가격을 결정하는 대표성을 갖고 있는 장소이다.

### 3. 연료유 가격 모델 변수

연료유 가격 예측을 위한 변수들을 의미와 용도에 따라 구분하기 위해 목적변수인 연료유 가격을 기반으로 목적변수를 결정하는 외생변수인 유가와 해상운임 모델을 구성하였다. 또한 유가와 해상운임은 또 다른 외생변수인 원유생산량과 원유소비량과 같은 원유 수급변수들과 경제성장률과 환율과 같은 경제변수, 그리고 화물 수요와 선박공급과 같은 해운시장 변수들로 <표 1>과 같은 투입변수를 구성하였다.

표 1. 연료유 가격 예측을 위한 변수 구분

구분	변수
목적변수	연료유 가격
외생변수	유가, 해상운임, 원유생산량, 원유소비량, 경제성장률, 환율, 화물수요, 선박공급

표 2. 연료유 가격 예측을 위한 변수 구분

변수	개념	단위
Time	연료유 가격 예측 위한 기본 시간단위	연(Year)
Initial Time	연료유 가격 예측의 시작 시점	Initial Time = 1990
Final Time	연료유 가격 예측의 종료 시점	Finished Time = 2029
Period	시뮬레이션 수행 단위	Period = 1년(1Year)

표 3. 연료유 가격 모델 투입변수

구분	투입변수		SD변수	단위
	결정변수	구성변수	변수명	
유가 모델	원유 가격 변수	원유 생산량	Oil Prod	M bpd
		원유 소비량	Oil Cons	M ton
		유가	Oil Price	USD/bbl
	경제 변수	GDP 경제성장률	GDP Growth	%
환율		Exchange Rate	KW/USD	
해상 운임 모델	수요/공급 비율	화물수요	Trade Volume	M, Ton
		선박공급	Supply	백만DWT
		수요/공급 비율	Ratio	%
		운임	Freight	BDI+BFI <sup>1)</sup>
연료유 가격 모델	연료유 가격	싱가포르 연료유가격	Bunker Price	USD/Ton

1) BDI는 발틱해운거래소에서 1999년 11월부터 발표한 해상 운임지표이며, 연구의 연속성을 부여하기 위해 1990년부터 1999년 10월까지 운임지표는 발틱해운거래소에서 1985년부터 발표한 BFI지수를 인용함

연료유 가격 예측을 위한 주요 변수들의 시간적 개념과 단위 등에 대한 모델 역시 정립할 필요가 있다. 먼저 시간적 개념으로는 <표 2>와 같이 1990년부터 2016년까지의 시계열 자료를 바탕으로 2029년까지의 장기 예측을 수행하였다. 또한 <표 3>과 같이 연료유 가격 예측에 투입되는 주요 변수들에 대한 모델을 정립하였다.

#### IV. 시스템다이내믹스를 활용한 연료유 가격 예측

##### 1. 인과지도 작성

연료유 가격 예측을 위한 정량적 모델 구축 이전에 각 변수들간의 인과관계에 관한 도식화된 인과지도의 구축이 필요하다.

연료유 가격 예측을 위한 인과지도 모델은 유가와 해상운임에 의해 영향을 받도록 구성하였다. 유가는 원유생산 대비 소비비율에 따라 영향을 받으며, 유가가 상승할수록 원유의 부속 생산품 중 하나인 연료유 가격이 정(+ )의 방향으로 영향을 받게 된다.

해상운임의 경우 해상물동량과 선박공급량관의 관계에 의해 결정되며, 해상운임이 상승할수록 계선되었던 선박들의 운항 재개 등으로 선박 가용률이 증가하여 연료유에 대한 수요가 증가하므로 정(+ )의 관계를 유발하게 된다.

또한 경제적 변수들과의 인과관계에서 원유 생산과 해상운임 모두 경제적 여건에 의해 영향을 받게 되며, 경제성장률이 높을수록 원유 소비량과 해상운임이 상승하는 정(+ )의 영향을 미치게 된다. 환율 역시 선박 공급과 원유 생산에 영향을 미친다. 선박발주의 기초통화인 달러화의 가치가 낮아질수록 선박 투자를 유인하여 공급이 증가하게 되며, 달러화 가치에 따라 개발도상국들의 원유 수출 여건이 증가하여 생산량이 증가하게 된다. 연료유 가격 예측을 위한 인과지도는 [그림 2]와 같다.

##### 2. 시뮬레이션 모델 구축

정성적 관점의 인과지도를 바탕으로 실제 시뮬레이션 예측 수행을 위한 시스템 다이내믹스의 정량적 모델을 구축한다. 최종 예측값인 연료유 가격이라는 저장변수를 결정하는 하부 변수로 유가와 해

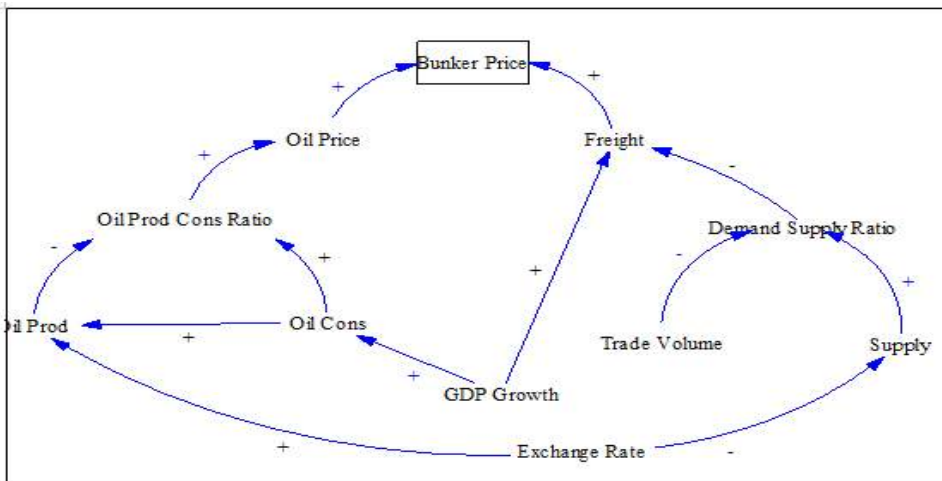


그림 2. 연료유 가격 예측 인과지도

상운임 모델을 설정하고 각각의 하부모델 결정에 영향을 미치는 구성변수들의 값을 연료유 가격 예측의 시작 시점인 1990년부터의 데이터를 입력한 후 2029년까지의 장기예측을 수행하였다. 연료유 가격 예측을 위한 시물레이션 모델은 [그림 3]과 같다.

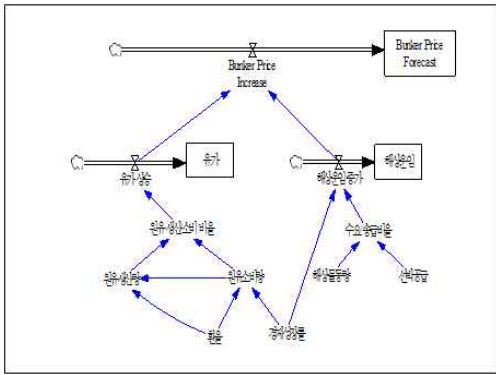


그림 3. 연료유 가격 예측 시물레이션 모델(SFD)

### 3. 시물레이션 예측 모델

연료유가격의 정확한 예측을 위해 시스템 다이내믹스 환경 상에서 정확한 추정을 위한 변수들 간의 예측 모델을 구축하는 것이 중요하다. 실제 예측모델에서는 인과지도에서 정립한 변수간의 관계를 바탕으로 연료유 가격이 원유 생산량과 소비량의 비율 및 원유가격과 해상운임의 관계에 의해 결정되도록 설정하였다.

원유가격은 원유 생산과 소비량 간의 비율에 따라 결정되며, 원유 가격이 높을수록 상대적으로 정제유에 대한 생산 수요가 낮아지므로 연료유의 생산이 둔화되어 연료유 상승을 유발할 수 있다. 또한 경제성장률과 환율과 같은 대외 변수 역시 원유 생산에 영향을 미치므로 이들을 통한 모델 구성이 가능하다.

해상운임의 경우 운임이 높아 선주들의 수익성이

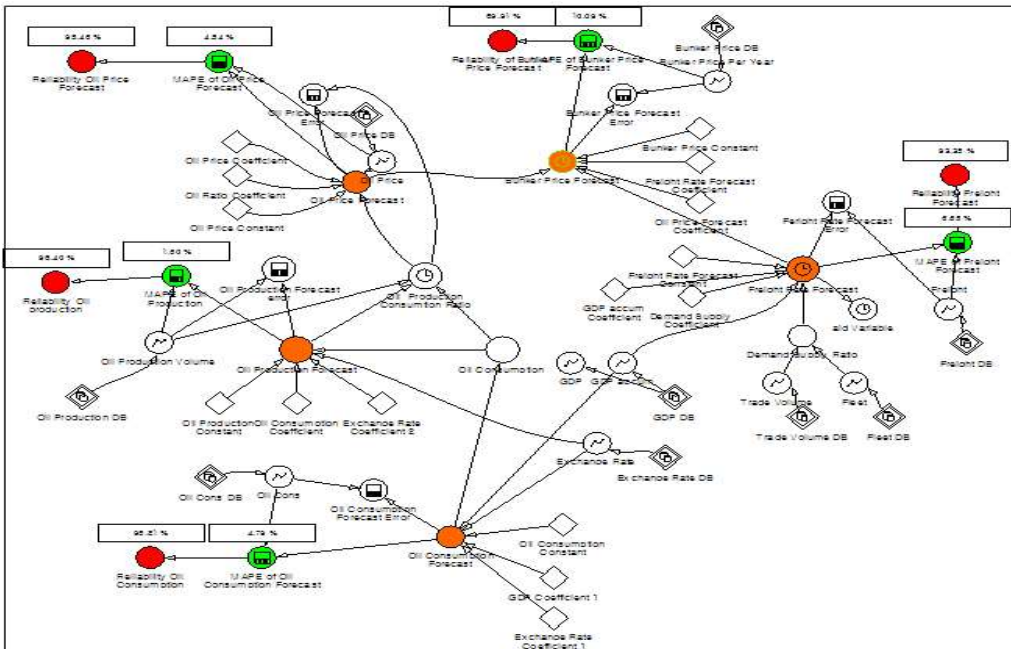


그림 4. 시물레이션 예측 모델

높아질수록 선박의 속도가 상승하고 연료유에 대한 소비가 증진되어 연료유 가격 인상을 유발시킬 수 있으므로 연료유 가격 결정에 중요한 영향을 미친다. 운임 시장의 경우 화물 수요와 공급간의 비율이 가장 결정적인 영향을 미치기 때문에 이들을 통한 [그림 4와 같은 시뮬레이션 예측 모델의 구축이 가능하다.

#### 4. 연료유 가격 예측 결과

시스템 다이내믹스를 활용한 연료유 가격 예측 결과 싱가포르 380CST기준 2017년부터 2029년까지의 평균 예측 가격은 USD 329.42/Ton 수준으로 예측되었다.

이러한 결과값은 지난 2016년 연평균 가격인 USD232.76/Ton에 비해 42% 가량 높은 수준이며, 예측을 위해 투입되었던 1990년부터 2016년 3월까지의 평균값인 USD261.0/Ton에 비해서도 26% 가량 높게 예측되었다.

연료유가격의 2016년 이후의 변동폭은 크지 않은 상황으로 USD300~350/Ton 이내에서 낮은 변화율을 보일 것으로 예측되었다.

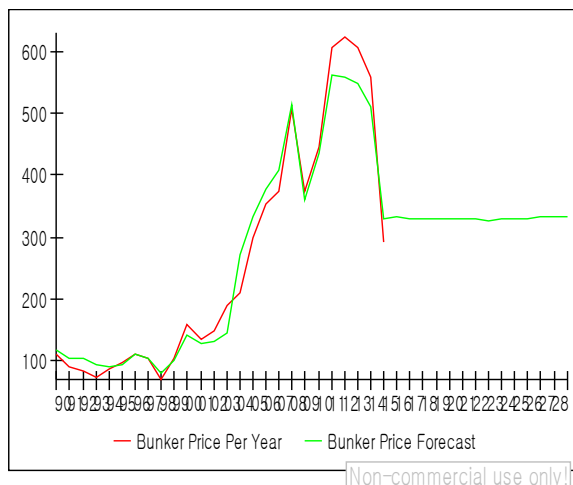
2016년 하반기 이후 OPEC의 감산결과와 해운시장의 점진적인 회복 등이 연료유 가격 상승세를 유발하고 있는 점을 감안한다면, 시스템 다이내믹스의 예측 결과 역시 이와 비슷하게 연료유 가격의 중장기 방향성이 2016년 대비 상승세를 보일 것으로 예측하고 있는 것으로 분석된다.

다만 가격 상승폭의 경우 지난 2011년~2013년 수급 불균형과 중동지역의 정정불안 등으로 인해 촉발되었던 USD600/Ton 이상의 가격 급등세는 나타나지 않을 것으로 예측되었다.

이러한 예측 결과는 연료유 가격에 영향을 미치는 유가와 경제여건, 그리고 해상운송시장의 향후 변화가 다양한 인과관계를 형성하며 상호 영향을 미친 결과 상호간의 정량적인 예측결과를 도출했기 때문에 나타났다.

World Bank와 IMF의 경우 2017년 이후 유가 전망을 발표하며 2016년 대비 상승세를 보일 것이라고 전망했다.

그러나 BP와 IEA(국제에너지기구)는 유가의 미래 전망에 대해 2016년 대비 유가의 상승은 가능하지만 USD60/Ton을 상회할 경우 셰일 자원의 경제성



Date	Bunker Price 전망	SD 유가전망	IMF 유가전망
2017	330.06	53.72	58.80
2018	329.62	54.79	63.70
2019	328.98	54.87	66.60
2020	328.40	54.99	67.80
2021	328.03	55.93	68.50
2022	327.59	56.01	
2023	327.15	56.07	
2024	328.07	56.12	
2025	328.99	56.32	
2026	329.93	56.72	
2027	330.89	56.97	
2028	331.86	57.37	
2029	332.85	57.41	
AVG.	329.42	55.95	65.08

그림 5. 연료유 가격 예측 결과



표 4. 연료유 가격 예측 검증

구분	구성변수	검증		주요 내용
		MAPEs:%	신뢰성:%	
유가 모델	원유소비량 예측	4.79%	95.21%	a=constant, er=Exchange Rate, gd=GDP accum
	수식모형	$Y = \int [a + c_1 er + c_2 gd_{accum}, p_0]$		
	원유생산량 예측	1.60%	98.40%	a=constant, oc=Oil Consumption, er=Exchange Rate
	수식모형	$Y = \int [a + c_1 oc + c_2 er, p_0]$		
	유가 예측	4.54%	95.46%	a=constant, oc=Oil Consumption, Op=Oil Production
	수식모형	$Y = \int [a + oc_{forecast} + op_{forecast}, p_0]$		
해상 운임 모델	해상운임 예측	6.65%	93.35%	a=constant, gd=GDP accum, ds=demand/supply ratio
	수식모형	$Y = \int [a + c_1 gd_{accum} + c_2 ds_{ratio}, p_0]$		
연료유 가격 모델	연료유가격예측	10.01%	89.91%	a=constant, op=Oil Production, fr=Freight Rate
	모형	$Y = \int [a + c_1 op_{forecast} + c_2 fr_{forecast}, p_0]$		

이 확보되어 유가의 추가 상승을 억제할 것이라고 전망했다. 지난 2015년의 경우 평균 유가가 USD52Ton이었으며, 당시 연료유가격이 USD295/Ton인 점을 감안한다면 향후 연료유가격은 지난 2015년의 연료유가격을 소폭 상회하는 수준이 될 것으로 보인다.

실제로 IMF의 2017~2021년까지의 유가 전망치는 평균 USD65.08로서 2017년 이후 소폭의 상승세를 예상하고 있으나 상승폭은 크지 않을 것으로 전망하는 등 SD 기반의 전망치와 추세부분에서 일치성을 보이고 있다.

### 5. 예측결과와 검증

연료유 가격 예측의 정확도를 제고시키기 위해 과거 시계열 실제 자료와의 적합성을 측정하고자 MAPEs<sup>2)</sup>와 신뢰성 검증을 수행하였다.

1990년부터 2015년까지 연도별 실제 시계열 자

료와 모델링을 통해 도출된 예측자료와의 데이터를 <표 4>와 같이 비교하였다.

MAPE의 경우 Lewis(1982)는 MAPE<10% 이면 매우 정확한 예측, 10%<MAPE<20% 우수한 예측, 20%<MAPE<50% 합리적 예측, MAPE>50% 부정확한 예측이라고 해석하였다.

따라서 모든 변수들의 MAPE평균이 10% 이하일 경우 매우 적합한 모델로 판정되며 이를 구하는 수식적 정의는 아래와 같다.

$$MAPEs(Y) = 100\% \times \left( \sum_{t=1}^N |e_t/y_t| \right) / N$$

검증결과 유가모델의 경우 유가 예측값이 4.54%로 높은 적합성을 보였으며, 유가 예측을 위해 투입된 원유소비량과 원유생산량 예측 모델 역시 각각 4.79%와 1.60%의 높은 적합성을 나타냈다. 이에 대한 신뢰성 역시 모두 95% 이상의 높은 수준

2) MAPE : Mean Absolute Percentage Error(평균절대비율오차)

표 5. 연료유 가격 예측의 상관관계 분석결과

구분		샘플수	평균	표준편차	상관계수(R)
연료유가격	실제자료	27	261.5	192.0	0.989
	시뮬레이션		259.1	178.4	

을 기록했다.

해상 운임모델의 경우 MAPE값이 6.65%, 신뢰성은 93.35%를 기록하며 역시 높은 수준의 적합성을 보였다.

이를 바탕으로 도출된 연료유 가격 예측값에 대한 MAPE값 역시 10.01%로 높은 적합도를 보였으며, 신뢰성은 89.91%로 90% 수준을 기록했다.

또한 실제 자료와 예측값 사이의 분산 비율을 검토하는 상관관계 분석을 수행하여 시뮬레이션 모델 결과값과 실제 자료와의 적합성을 검증하였다. 연료유 가격에 대한 검증결과 상관 계수값은 <표 5>와 같았으며, 상관 계수값이 0.9이상의 높은 적합성을 나타내는 것으로 검증되었다.

최고치를 기록했던 2012년에 비해서는 50% 가량 낮은 수준을 보일 것으로 전망되었다.

시뮬레이션 분석 후에는 예측 결과에 대한 정확도를 검증하기 위해 MAPE와 상관분석등을 통해 실제 과거 시계열 자료와의 비교 분석을 실시하였다. 검증 결과 MAPE값이 모든 변수에서 10% 이내의 낮은 오차율을 기록했으며, 상관계수 역시 0.9 이상의 높은 적합성을 나타냈다. 종합적으로 시스템 다이내믹스를 활용한 연료유 가격 예측은 주요 변수들간의 관계를 고려한 모델정립을 통해 미래 가격을 예측하였으며, 예측결과는 IMF나 World Bank 와 같은 전문기관의 정성적 예측 분석결과와는 물론 통계적으로도 실제 시계열 자료와 높은 상관성을 보이는 등 정확한 예측 결과를 나타냈다.

## V. 결론 및 제언

### 1. 결론

본 연구에서는 연료유 가격 결정에 영향을 미치는 다양한 변수들간의 인과적 관계를 바탕으로 시스템 다이내믹스를 활용한 미래 예측 모델을 구축하고 2029년까지의 장기 가격 예측을 수행하였다.

연료유 가격 결정에는 유가에 영향을 미치는 원유 소비와 생산, 경제변화에 영향을 미치는 GDP, 환율 등은 물론 해상운송시장의 수요와 공급에 의해 결정되는 해상운임 등 다양한 구성 변수들을 기반으로 시스템 다이내믹 시뮬레이션을 실시하여 연료유 가격을 예측하였다.

예측결과 2017년부터 2029년까지의 평균 연료유 가격은 USD329.42/Ton으로 1990년부터 2015년까지의 평균 가격 대비 26% 높은 수준이지만 역대

### 2. 제언

연료유 가격은 운항비용의 30% 이상을 차지할 정도로 해운기업의 수익 결정에 절대적인 영향을 미치는 중요한 비용항목이다. 따라서 연료유 가격에 대한 정확한 분석과 예측은 미래 해운기업의 수익구조를 결정짓는 중대한 사항이라고 할 수 있다.

연료유 가격 예측과 관련된 연구는 지금까지 활발히 진행되지 않았으며, 이와 유사한 유가 예측과 관련된 연구가 주를 이뤘으나 대부분 Fuzzy 모형과 ARIMA 모형과 같은 시계열 데이터 기반의 확일적 예측 분석이 중심이었다. 최근에는 VAR모형과 같이 동태적 관점에서 주요 시계열 변수들간의 상관관계를 활용한 예측 기법들이 소개되었지만, 변수들 사이에서 발생하는 변화와 인과적 관계를 구조화하지 못한다는 한계점을 내포하고 있다.

따라서 시스템 다이내믹스를 활용한 연료유 가격 예측 분석은 다음과 같은 부분에서 시사 하는 바가 크다고 평가된다.

첫째, 각종 환경 변수들간의 동적인 인과관계를 활용하여 합리적 추정결과를 유도할 수 있다는 점에서 예측의 정확도와 객관성을 제고시킬 수 있다.

둘째, 연료유 가격 결정에 영향을 미치는 개별 변수들 간의 인과관계를 한 눈에 파악하고 각각의 변수들이 상호간에 영향을 발생시키는 구조적 관계를 손쉽게 파악함으로써 각각의 구성변수별 변화에 대한 종합적인 관리가 가능하다.

셋째, 연료유 가격의 객관적인 추정을 통해 선박 운항비용의 효율적 관리 능력을 제고시킬 수 있다.

반면 시스템 다이내믹스를 활용한 연료유 가격 예측 역시 몇 가지 부분에서 연구의 한계점을 보이고 있으므로 향후 보안을 통해 개선이 필요하다.

첫째, 각각의 구성변수들이 연료유 가격 결정에 영향을 미치는데 있어서 시스템적 사고에 근거한 정성적 판단을 통해 분석이 수행된 점은 여전히 가격 예측의 객관성을 입증하고 인과구조 설정이 자의적이라는 비판에서 벗어나기 힘들다는 한계점을 내포하고 있다. 따라서 구성변수의 선정과정과 인과적 관계 구성에 있어서 전문가 집단의 감수나 추가적인 분석방법 등의 보완이 필요할 것으로 사료된다.

둘째, 연료유 가격 결정에 영향을 미치는 구성변수들을 보다 다양하고 광범위한 영역까지 확장할 수 있음에도 불구하고 모델 구축의 어려움과 평가 결과의 신뢰성 등을 이유로 투입변수를 제한한 점은 연구의 한계점으로 남고 있다.

셋째, 시스템 다이내믹스는 계량화된 변수 이외에 정책, 기술적 변화 등 다양한 외생변수의 변화들도 시장상황의 예측 또는 변화를 분석하는 데 활용될 수 있는 유연하고 포괄적인 방법론이다. 그럼에도 불구하고 연료유 가격 예측을 위해 투입된 변수들이 특정 외생변수에 국한된 점은 연구의 아쉬움으

로 남으며, 향후 연구의 완성도를 제고시키기 위해 다양한 시나리오 분석 등이 추가되었으면 한다.

따라서 향후 본 연구의 한계점으로 제시된 문제점들을 보완하고 해결하기 위한 후속 연구가 진행되기를 바라고 있다.

### 참고문헌

김기찬 · 정관용 · 김성원(2014), "Vensim을 활용한 SYSTEM DYNAMIC", 서울경제경영.

김성배(2013), "선박용 연료유의 가격변동요인에 관한 연구", 중앙대학교 글로벌인적자원개발대학원 석사학위논문.

문태훈(2002), "시스템다이내믹스의 발전과 방법론적 위상", 「한국시스템다이내믹스 연구」, Vol.3 No.1, 61-77.

박준경 · 이호창(1985), "경제변수의 시계열분석", 한국개발연구원 보고서.

송경재 · 양희민(2005), "시계열 분석에 의한 국제유가 예측", 「통계청 통계연구」, 제10권 제1호, 62-81.

여기태 · 정현재(2011), "SD기법에 의한 한·중·일 환적물동량 변화량 추정에 관한 연구", 「한국항만경제학회지」, 제27집, 제4호, 165-185.

정상국 · 김성기(2011), "국제유가의 변화가 건화물선 운임에 미치는 영향과 건화물선 운임간의 상관관계에 관한 연구", 「한국항만경제학회지」, 제27권 제2호, 217-240.

정재현(2008), "자원 수급 및 가격예측-니켈 사례를 중심으로", 「한국시스템다이내믹스 연구」, 제9권 제1호, 125-141.

정재현(2009), "시스템다이내믹스를 통한 원자재 가격 및 운송 운임 모델", 「한국시스템다이내믹스 연구」, 제10권 제1호, 61-76.

Dikos, G., Marcus, Papadatos H. S., P. M, Papakonstantinou, V., and Niver Lines(2006), "A System-Dynamics Approach to Tanker Freight Modeling," *Interfaces*, Vol.36 No.4, 326-341.

Forrester Jay. W.(1969), "Urban Dynamics," *The M.I.T Press*, Massachusetts Institute of Technology.

Forrester Jay. W.(1971), "World Dynamics," *The M.I.T Press*, Massachusetts Institute of Technology.

Look, Dwight, C. & Sauer, Harry, J.(1982) "Thermodynamics," *Cole Engineering Division*.

PARK, Sung-il, WANG, Ying, YEO, Gi-tae, Adolf K.Y.

- NG(2014), "System Dynamics Modeling for Determining Optimal Ship Sizes and Types in Coastal Liner Services," *The Asian Journal of Shipping and Logistic*, Vol.30 No.1, 31-50.
- Stefanakos & Schinas(2014) "Forecasting bunker Price; a Nonstationary, Multi-Variate Methodology," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.38, 177-194.
- Stefanakos, Christos.(2014) "Application of Fuzzy Time Series Techniques in Bunker Price Forecasting," *IAME 2014 Conference Norfolk VA USA*.
- Tvedt, J.(2006) "Valuation of VLCCs Under Income Uncertainty," *Maritime Policy and Management*, Vol.24, 159-174.
- Zhang, G. Peter.(2003), "Time Series Forecasting Using a Hybrid ARIMA and Neural Network Model," *Neurocomputing*, Vol.50, 159-175.

# 시스템 다이내믹스를 활용한 선박 연료유 가격 예측

최정석

## 국문요약

본 연구의 목적은 시스템 다이내믹스를 활용하여 선박 연료유 가격의 중장기 예측분석을 수행하는 것이다. 연료유 가격의 정확한 예측을 위해 가격 결정에 영향을 미치는 다양한 변수들 간의 인과적 관계를 바탕으로 정량화된 모델을 구축하였다. 연료유 가격 결정에는 유가에 영향을 미치는 원유 소비와 생산, 경제변화에 영향을 미치는 GDP, 환율 등과 함께 해운물류시장의 수요와 공급에 의해 결정되는 해상운임 등 다양한 구성변수들을 기반으로 시스템 다이내믹스를 활용한 연료유 가격을 예측하고 MAPEs 등을 통한 객관성을 검증하였다. 본 연구의 분석 결과 2029년까지의 연료유 가격은 2016년 대비 소폭 상승세를 보일 것으로 예상되지만 지난 2012년과 같은 급등세는 나타나지 않을 것으로 전망되었다. 본 연구는 각종 변수들 간의 동적인 인과관계를 활용하여 연료유 가격을 예측하여 합리적 추정결과를 유도할 수 있었다는 점과 가격 결정에 영향을 미치는 다양한 변수들의 구조적 관계를 손쉽게 파악함으로써 연료유 가격 변화에 대한 종합적인 위험 관리가 가능하여 해운기업의 효율적인 선대관리를 지원하는데 가치를 가지고 있다.

주제어: 연료유가격, 시스템다이내믹스, 해운물류시장, MAPEs, 상관분석