

# System Dynamics를 활용한 인천항 철재화물 물동량 예측에 관한 연구

박성일\* · 정현재\*\* · 전준우\*\*\* · 여기태†

## Forecasting the Steel Cargo Volumes in Incheon Port using System Dynamics

Sungil Park · Hyunjae Jung · Junwoo Jeon · Gitae Yeo

**Abstract** : The steel cargoes as the core raw materials for the manufacturing industry have important roles for increasing the handling volume of the port. In particular, steel cargoes are fundamental to vitalize Port of Incheon because they have recognized as the primary key cargo items among the bulk cargoes. In this respect, the IPA(Incheon Port Authority) ambitiously developed the port complex facilities including dedicated terminals and its hinterland in northern part of Incheon. However, these complex area has suffered from low cargo handling records and has faced operational difficulties due to decreased net profits. In general, the import and export steel cargo volumes are sensitively fluctuated followed by internal and external economy index. There is a scant of research for forecasting the steel cargo volume in Incheon port which used in various economy index. To fill the research gap, the aim of this research is to predict the steel cargoes of Port of Incheon using the well established methodology i.e. System Dynamics. As a result, steel cargoes volume dealt with in Incheon port is forecasted from about 8 million tons to about 10 million tons during simulation duration (2011-2020). The Mean Absolute Percentage Error (MAPE) is measured as 0.0013 which verifies the model's accuracy.

**Key Words** : Steel Cargo Volume, Forecasting, System Dynamics, Simulation

---

▷ 논문접수: 2012.04.27   ▷ 심사완료: 2012.06.22   ▷ 게재확정: 2012.06.29

\* 인천대학교 동북아물류대학원 석사과정, sungil\_park@naver.com, 010)9278-5034, 대표집필

\*\* 인천대학교 동북아물류대학원 박사과정, guswo5776@nate.com, 010)9663-1043, 공동저자

\*\*\* 인천대학교 동북아물류대학원 석사과정, allenjordan@naver.com, 010)8918-0175, 공동저자

† 인천대학교 동북아물류대학원 교수, ktyeo@incheon.ac.kr, 032)835-8196, 교신저자

## I. 서론

과거 1차 산업을 중심으로 많은 경제발전을 도모한 우리나라의 자동차 및 조선 산업은 타 국가에 비해 많은 발전을 이룩해왔다. 이로 인해 철재화물에 대한 수요는 지속적으로 상승하고 있는 것이 사실이다. 현재 우리나라의 철재화물은 주요 무역항 중 인천항이 그 처리비중이 가장 높으며, 철재화물과 같은 주요 벌크화물은 대부분 북항에 위치한 현대제철 부두와 동국제강 부두에서 처리되고 있다. 인천 북항은 2007년 개발당시 만성적인 체선 및 체화현상, 공해문제, 교통체증 문제를 해소시키기 위하여 개발되었지만, 북항 개발계획 당시에 예측되었던 물동량보다 실제 처리되는 물동량이 저조해 일부 부두 운영사들이 운영을 미루고 있는 실정이다. 이러한 어려움에 부가하여 최근 친환경 녹색항만으로의 개발을 위해 인천 내항에서 처리하던 벌크화물을 북항으로 이전하는 계획을 추진함에 따라 인천 북항 시설의 공급과잉 현상은 더욱 심화될 것으로 예측된다.

인천항을 운영하는 인천항만공사는 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 인천 북항과 북항 배후단지를 연계하여 물동량을 창출하는 방안을 모색하고 있으며, 북항 배후단지에 철재화물을 취급하는 제조업체를 유치하여 자체 물동량 생산과 부가가치를 창출할 수 있는 전략을 구상하고 있다. 이와 같이 항만 개발을 추진하는데 있어 중요한 부분은 향후 발생 가능한 물동량을 예측하는 것이며, 예측된 물동량을 바탕으로 항만 개발계획을 수립하고 화물별로 장기적인 관점에서의 발전방안이 모색되어야 항만의 수급과 생산성이 조화롭게 유지될 수 있다.

하지만 국내 경기 및 세계 경제의 불확실성으로 인해 정확한 물동량을 예측한다는 것은 현실적으로 쉽지 않은 문제이며 항만 물동량에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔지만 기존의 연구들은 컨테이너 화물의 중요성이 증가됨에 따라 컨테이너 물동량 위주의 예측이 대부분을 차지하였다. 특히 벌크화물 예측에 관한 연구들은 과거 실적치를 기준으로 한 시계열 분석이 물동량 예측의 주류를 이루고 있다. 이러한 연구는 국내·외 경가지수를 연동하여 탄력적인 예측량을 제시하는데 한계점을 노출하고 있다.

본 연구는 벌크화물이 국내·외 경제 상황에 따라 민감하게 반응한다는 점을 감안하여 국내·외 경기 및 경제지수와 철재화물 관련 산업의 영향관계를 반영한 철재화물 예측을 연구의 목적으로 하였다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 본 연구에서 제시한 철재화물 물동량 예측을 위해 국내·외 벌크화물, 철재화물, 수요예측과 관련된 선행연구들을 살펴본다. 그리고 3장에서는 시스템다이내믹스(System Dynamics : SD)를 사용하여 2020까지의 철재화물 물동량을 예측하고 민감도 분석을 통해 주요 영향변수를 도출한다. 마지막으로 예측된 물동량을 토대로 연구결과 및 시사점을 제시한다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 수출입화물 관련 이론적 고찰

#### 1) 벌크화물 관련 이론적 고찰

우리나라의 경우 생산에 필요한 벌크화물 형태의 원자재들을 해외로부터 수입하여 사용하기 때문에 벌크터미널에 대한 중요성이 높은 실정이다. 벌크화물에 관한 주요 연구들을 살펴보면, 사공훈 외 1명(2009)은 항만에서의 체선현상은 국가경제에 부정적인 영향을 초래하지만 완전한 해결이 불가능하기 때문에 체선현상을 최소화하기 위한 방안이 필요하다고 언급하였으며 특히 원자재를 운송하는 벌크선박의 경우 그 중요성이 더욱 크다고 주장하였다. 그리고 벌크선박의 체선현상을 효과적으로 저감시키기 위한 방안으로 시설확보가 필요하나 정확한 수요예측을 기반으로 한 개발이 필요하다고 주장하였다. 박상민 외 4명(2010)은 수출입 화물의 90%이상을 처리하는 항만의 중요성과 하역정보시스템의 이용을 통해 보다 효율적인 항만 운영이 가능하다고 주장하였다. 하지만 기존의 연구들은 처리가 용이한 컨테이너화물에 초점을 맞추고 있어 벌크화물에 대한 기본적인 연구가 미흡하다는 점을 기존 연구의 문제점으로 지적하였다. 김창범(2011)의 연구에서는 벌크화물의 물동량 증감추이는 대부분 외부환경에 의해 좌우된다고 설명하였으며, 과거 중국 시장의 성장으로 인해 BDI(Baltic Dry Index)지수가 상승하고 세계적으로 벌크화물 물동량이 증가하였지만 2008년 세계 경제위기로 인해 물동량이 감소하였다고 분석하였다. 그리고 주요 외부환경 변수를 파악하기 위해 중국의 수입변동성과 국제금융시장이 벌크화물 시장에 미치는 영향력을 실증적으로 제시하였다. 정상국 외 1명(2011)은 벌크화물 증감률에 영향을 주는 BDI지수의 주요 영향요인을 유가변화라고 설명하였으며, 유가변화와 BDI지수간의 상관관계를 통계적인 분석기법을 이용하여 증명하였다. 이러한 결과를 통해 현재 유가급등 추세는 결국 벌크화물 물동량 변화에 영향을 주어 국내 벌크터미널 생산성에 악영향을 초래할 것이라 주장하였으며, 이러한 외생변수의 예측을 통한 터미널 운영이 필요하다 주장하였다. Korovyakovsky et al.(2011)은 러시아의 경우 컨테이너화의 진전에 따라 컨테이너 터미널들은 지속적으로 확충되었지만, 벌크터미널의 경우 화물을 처리하기 위한 시설이 부족한 실정이라 지적하였다. 이석 외 4명(2011)의 연구에 의하면 국내에서 수출입 되는 벌크화물은 국내 주요산업의 원재료로서 국가물류 성장에 선순환적 영향을 미친다고 주장하였으며, 일반적으로 대량운송으로 이루어지는 벌크화물 수송의 특성을 분석하는 것은 국내 물류비를 절감하기 위한 주요한 과정이라 설명하였다. 분석결과 중량화물로 운송되는 철광석의 경우 항만 저장시설 확충을 통한 물류비 절감효과를 도모해야 한다고 주장하였다.

한철환(2011)은 최근 대두되고 있는 녹색물류 성장을 위해 항만 지역 내에서의 녹색물류 활성화 방안을 제시하였다. 일반적으로 항만에서 발생하는 오염원인 중 벌크부두에서 발생하는 분진에 의한 대기오염이 문제가 되고 있는데 벌크화물의 주로 취급하고 있는 인천항의 경우 대기오염 문제가 심각하다고 언급하였으며, 벌크화물을 취급하는 부두의 상·하역 장비의 개발을 통해 대기오염원 배출을 저감하는 방안이 필요하다고 주장하였다.

## 2) 철재화물 관련 이론적 고찰

모수원 외1명(2003)은 IT 품목인 반도체와 비IT 품목인 철강제품의 수출형태를 비교했다. 그 결과 환율 상승과 세계 경기의 상승은 반도체와 철강제품에 긍정적인 효과를 보였으며 철강 보다는 반도체가 세계 경기의 영향을 보다 많이 받는 것으로 분석하였다. 손수석 외1명(2005)은 한일 FTA가 한국의 철강 산업에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다. 자동차, 기계와 같은 산업들은 일본에 비해 우리나라가 열세에 있기 때문에 점차 생산량이 줄어 철강 산업의 수요는 낮아질 것이라고 주장하였다. 이형석 외1명(2007)은 DEA모형을 이용해 철강 산업의 효율성을 분석하였다. 자동차, 건설, 조선 등의 소재를 공급하는 중요한 산업인 철강 산업의 경쟁력을 높이기 위한 비효율성 개선 방향을 제시했다. 임혜준 외1명(2007)은 철강 산업의 대 일본 및 중국 경쟁력을 분석했다. 이를 위해 철강 산업 품목별로 일본과 중국에 대한 경쟁력을 분석하였으며, 우리나라의 형세를 일본과 중국이라는 넛크래커 사이에 위치한 것과 같다고 설명했다. 이를 극복하기 위해서는 국내업체의 구조조정을 통해 생산의 효율성을 도모하고, 양질의 제품 개발 및 부가가치 사업을 추진하고, 철강 산업의 대형화 및 서비스 강화가 필요함을 주장하였다. 정동영 외1명(2010)은 SDA를 활용하여 철강 산업의 성장 기여요인인 최종수요, 수출수요, 기술변화, 최종수입대체, 중간수입대체를 분석했다. 분석결과 최종수요와 수출수요의 비중이 높았으며 이는 제조업의 성장요인과 비교했을 때 비슷하다고 설명했다. 또한 최종수요 기여율은 안정적이지만 수출수요는 큰 폭의 증감을 나타냈는데 이는 우리나라의 철강 산업의 수출은 국내수요를 초과했지만 수출시장의 확대는 이루어지지 못했기 때문에 초래한 현상이라고 언급하였다 결국 한국은 중국, 일본과 같은 철강 강국들과 힘든 경쟁을 할 수밖에 없다고 주장했다.

## 2. 수요예측 관련 이론적 고찰

### 1) 물동량 추정에 관한 이론적 고찰

수요예측에 관한 최근 연구들을 살펴보면, 모수원(2003)은 해상물동량의 예측을 위해 환율과 경기로 구성된 구조적 모형을 제시하였다. ARIMA 모형과의 물동량 예측치를

비교 분석하여 구조적 모형의 정확성을 측정했으며, 그 결과 구조적 모형의 예측이 더 정확함을 제시하였다. 또한 해상 물동량은 꾸준히 증가할 것으로 추정하였으며, 항만시설의 확장 투자가 이루어지지 않는다면 물류시스템에 문제가 발생할 것으로 주장했다. Chu (2004)는 싱가포르의 관광수요를 예측했다. Cubic polynomial 모형의 우수성을 주장하였으며, 그 근거로 ARIMA 모형은 MAPE가 낮게 나타나며, 비선형으로 예측하는데 비해 Cubic polynomial 모형은 MAPE가 크며 유연한 곡선이 나타난다고 설명하였다. 김창범(2007)은 해상운송의 물동량 예측을 승법계절 ARIMA 모형을 이용해 분석했으며 그 결과 물동량은 서서히 증가하지만 증가 추세가 둔화 될 것으로 예측하였다. 최봉호(2007)는 환율의 변동성과 컨테이너 물동량을 이용해 분석모형을 만들어 분석하였으며, 환율과 환율 변동성은 컨테이너 물동량에 큰 영향을 미친다고 설명하였다. 김정훈(2008)은 전국 컨테이너 물동량을 수출입, 연안, 환적물동량으로 구분하여 시계열 모형을 구축하였다. 각각 Winters모형, 단순계절 모형, ARIMA모형이 선택되었으며 그 결과 수출입 물동량은 지속적으로 증가, 연안 물동량은 2006년 이후의 추세반복, 환적물동량은 지속적으로 증가할 것으로 분석하였다.

고용기 외3명(2008)은 인천항의 수출 컨테이너 물동량 예측을 위해 총량적 접근방법이 아닌 인천항의 처리 특성과 인근 지역특성을 토대로 물동량을 예측하는 개별항만 접근방법을 이용하였다. 제시된 연구는 산업단지 지역의 특성을 분석하여 물동량을 예측했다는 점에서 기존의 연구와 차이가 있다. 모수원(2009)은 광양항의 수출입 물동량이 경제변수에 어떤 영향을 받는지 분석했다. 그 결과 수입물동량은 환율 상승과 경기 하강에 물동량이 감소했으며 특히 광양항은 전국항에 비해 물동량 감소가 크게 나타나 안정적인 물동량 확보가 어렵다고 분석하였다. 따라서 경제변수 영향에 큰 영향을 받는 광양항의 피해를 줄이기 위해서는 다각적인 노력이 필요하다고 주장하였다. Chang et al.(2010)는 타이완의 관광산업을 예측하였다. 이 연구에서는 관광산업이 계절성을 갖기 때문에 기존의 방식보다는 계절성 ARIMA를 이용하는 것이 더 정확하다고 설명했으며, 이러한 계절성 모형이 타이완의 관광산업 예측에 많은 이점이 있다고 주장했다. Chou et al.(2011)는 타이완의 항공물동량을 Fuzzy 모형으로 추정하였으며 같은 공항에서의 동일한 항공사라도 CEO가 인지하는 환경은 다르며 CEO가 위협에 대처하는 태도도 다르다고 언급하였다. 퍼지 모형을 통한 실제 시나리오에 불확실성 요인을 적용해 더 유연하고 설득력 있는 항공 물동량 예측이 가능하다고 주장하였다. 이병철 외 1명(2011)은 동북아시아 환적물동량을 L-V 모형을 이용하여 추정하였다. 한국과 중국의 환적물동량은 점차 증가하지만 일본의 환적물동량은 감소하는 것으로 분석하였다. Zhao et al.(2011)는 환승시스템의 여객 흐름예측을 위해 신경망 모델 및 Wavelet 모델 등의 비선형 모델에 적용하였다. 그 결과 비선형 모델은 예측 능력을 향상 시킬 수 있는 효과적인 방법을 제공할 수 있으며 여객 흐름의 예측을 위한 새로운 접근 방법 및

버스계획의 이론적인 기초가 된다고 주장했다. Richard et al.(2011)는 항공여행의 수요를 국가적 차원의 데이터와 개별시장의 통합된 데이터를 가지고 추정된 예측치를 비교하였다. 개별시장의 통합된 데이터는 국가적 차원의 데이터보다 개별시장의 차이점을 더 자세히 알 수 있으며, 불확실성 없이 시장의 역학관계를 분석하는데 이용 할 수 있다고 주장하였다.

## 2) 시스템다이내믹스를 이용한 이론적 고찰

시스템다이내믹스를 이용하여 진행된 최근의 연구를 살펴보면, 여기대 외1명(2011)은 한·중·일 환적물동량을 시스템다이내믹스를 이용하여 예측하였다. 분석을 위해 활용된 변수는 경제규모, 항만의 수용능력, 잠재적인 환경, 현존하는 환경 등의 변수를 이용하였으며 2030년의 기준으로 볼 때, 한국은 약 2,000만 TEU, 중국은 약 9,000만 TEU, 일본은 약 250만 TEU의 환적물동량이 발생할 것으로 예측되었다. 이들은 중국의 성장으로 우리나라의 항만물동량이 중국으로 많이 이동 할 것으로 예측하였으며 특히 고부가 가치 화물인 환적화물의 이전은 우리나라 항만에 부정적인 영향을 미친다고 시사했다.

최근에 시스템다이내믹스를 활용한 수요예측에 관한 연구가 발생하고는 있지만 기존의 연구들은 주로 여러 요인들 간의 인과관계로 인하여 발생하는 사회적 문제에 초점을 맞추고 있다. 금종수 외1명(2004)은 해양사고 원인과 해결방안에 관한 모형을 구성하여 변수에 관한 개선 및 효과를 설명하였으며 오영민 외1명(2008)은 방사성폐기물처분장이 경주시에 설립될 경우의 발생할 파급효과에 대하여 동태적으로 예측하였다. 이외에도 박영욱 외2명(2009)은 조류인플루엔자(AI)의 원인 중 하나인 철새를 대상으로 철새의 AI전파 모델을 구성하여 분석하였으며 구형수 외1명(2009)은 화석연료의 수요상승으로 인한 석유의 가격상승, 기후의 변화, 자원의 고갈 등과 같은 에너지 소비문제를 해결하기 위하여 시스템다이내믹스를 기반으로한 도시 공간 구조에 따른 에너지 소비모형 모델을 구축해 분석하였다.

기존의 연구들을 종합해보면 대부분 벌크화물을 취급하는 항만 및 터미널들을 활성화 하기위하여, 단순한 개발전략이나 간단한 지표에 의한 물동량 예측이 주류를 이루고 있기 때문에 국내외 경기 및 환경지수를 고려한 종합적인 예측은 매우 부족한 실정이며 이런 변수들을 고려하여 문제를 해결할 수 있는 시스템다이내믹스를 이용한 기존의 연구는 수요예측 보다는 건설, 정책, 파급효과와 같은 사회문제에 대한 연구가 주를 이루고 있다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 시스템다이내믹스를 이용하여 본 연구의 대상인 철재물동량에 영향을 줄 수 있는 요인들을 경제, 제조업, 건설업으로 분류하고 이를 종합적으로 반영함으로써 향후 인천항에서 발생할 철재물동량에 대한 연구를 진행하고자 한다.

### Ⅲ. 연구모형

#### 1. 시스템다이내믹스의 이론 및 특성

시스템다이내믹스는 Jay W. Forrester에 의하여 1956년 Industrial Dynamics로 처음 소개된 이래로 현재까지 다양한 연구가 진행되고 있다. 이 기법은 정성적이고 정량적인 통합 시스템을 이용하여 비선형 피드백 특성을 지니고 있는 복잡한 시스템의 동적인 양상을 정량적으로 분석할 수 있다(곽상만, 2005). 따라서 시스템다이내믹스는 정책의 영향, 변수 값의 변동 그리고 시간의 지연에 따른 문제 등의 양상을 분석하는데 이용되고 있다(Forrester, 1961; 1969).

수요예측과 같은 문제를 해결하기 위하여 기존의 연구들은 회귀를 기반으로 정량적인 분석을 실시하고 있다. 하지만 시스템다이내믹스는 시간의 흐름에 따른 문제의 양상이 어떻게 변하는가에 초점을 맞추고 있기 때문에, 시스템 내에 존재하는 변수의 양상에 따른 피드백을 기반으로 정성적이고 정량적인 분석이 가능하다(Yang, 2009).

시스템다이내믹스 모델링 프로세스를 살펴보면 Sterman(2000)은 5단계 과정을 제시하였다. 먼저 문제의 대상 및 목표를 선정하는 ‘문제의 개념화’ 단계가 진행되고 시스템 내에 존재하는 관련 변수들을 파악하고 변수들 간의 동적 전제를 설정하는 ‘동적전제 설정’ 단계가 진행된다. 이후에 이 전제들을 기반으로 모델링을 실행하고 관련 자료를 수집 및 모델에 반영시키는 ‘시뮬레이션 모델구성’ 단계가 이루어지며, 이 모델이 정상적으로 진행되는지 혹은 타당성을 검증하는 ‘시험 및 검증’ 단계를 거쳐 문제에 대한 효율적인 의사결정 안을 제시하는 ‘정책설정 및 평가’ 단계가 진행된다. 그리고 시스템다이내믹스는 인과지도와 Stock-Flow Diagram을 통하여 문제를 분석하고 해결한다.

먼저 인과지도(Causal Loop Diagram; CLD)는 피드백 루프를 이용하여 문제의 양상을 개념적으로 설명할 때에 사용된다. 즉, 인과지도는 문제를 접근하는 사람들 간의 모델의 이해를 돕기 위한 다이어그램이라고 할 수 있다. 인과지도에서 일반적으로 사용되는 피드백 루프는 강화 루프(Reinforce Loop)와 균형 루프(Balance Loop)로 나뉘어진다. 강화 루프는 변수들 간의 관계가 양의 관계를 갖는 경우에 사용되며 ‘+’ 기호로 표시하는 반면에 균형 루프는 변수들 간의 관계가 음의 관계를 갖는 경우에 사용되며 ‘-’ 기호로 표시된다. 인과지도는 문제를 해결함에 있어 상호간에 원활한 의사소통을 위하여 사용될 수는 있지만, 문제를 해결하기 위한 모든 변수들을 표시하지 않기 때문에 직접적으로 문제를 해결할 수는 없다. 따라서 문제를 해결하기 위한 시뮬레이션을 실행하기 위해서 Stock-Flow Diagram이 사용된다. Stock-Flow Diagram은 Level(Stock) 변수와 Rate(Flow) 변수로 구성된다. Level 변수는 저장 변수로써, 모델 내에서 값이 저

장되는 변수를 의미하며 정보의 변화량 및 흐름을 나타낸다(ex. 자본, 물동량, 인구 등). Rate 변수는 유량 변수로써, 모델 내에서 각 요인들의 영향을 받아 변화하고 Level 변수의 값을 결정짓는다(ex. 연간 이자율, 월간 수입물동량, 출생률 등). 앞서 언급한바와 같이 시스템다이내믹스는 시간의 흐름에 따라 변하는 문제의 양상을 분석하며, 시간경과에 따른 레벨 및 레이트변수의 변화량의 관계는 다음과 같은 적분형태를 갖는다.

$$Stock_t = Stock_{t-dt} + dt \times (Inflow_{t-dt} - Outflow_{t-dt}) \quad \text{식(1)}$$

$Stock_t$ : t시간의레벨변수의값

$dt \times (Inflow_{t-dt} - Outflow_{t-dt})$ : t시간동안의레벨변수에 영향을미치는레이트변수의값

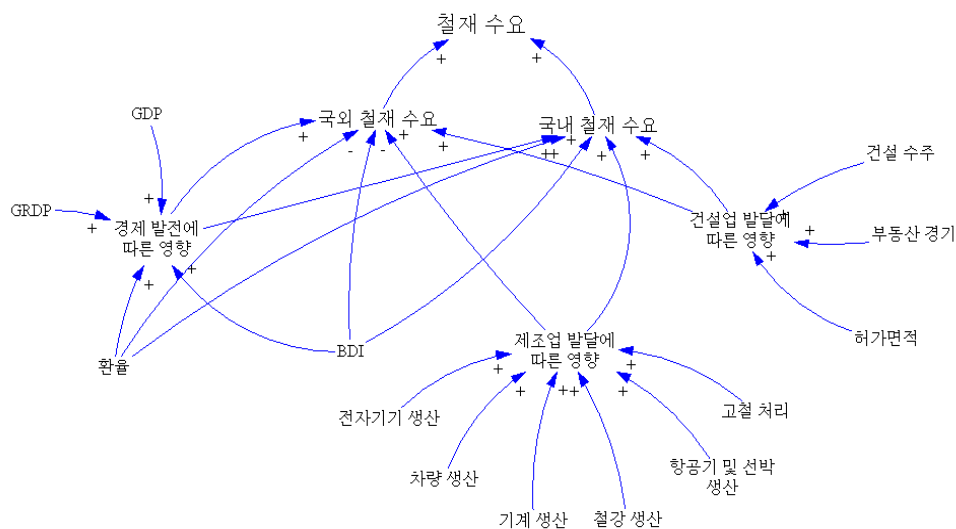
시스템다이내믹스를 구현하기 위하여 사용되는 소프트웨어는 ithink, Powersim, Vensim으로 분류되며 본 연구에서는 이들 중 최근에 가장 많이 이용되고 있는 Vensim을 활용하여 시뮬레이션을 진행하고자 한다.

## 2. 모델제시 및 분석

### 1) 인과지도

본 연구의 목적인 인천항의 철재 물동량을 예측하기 위한 인과지도는 아래 <그림 1>과 같다.

<그림 1> 연구의 인과지도





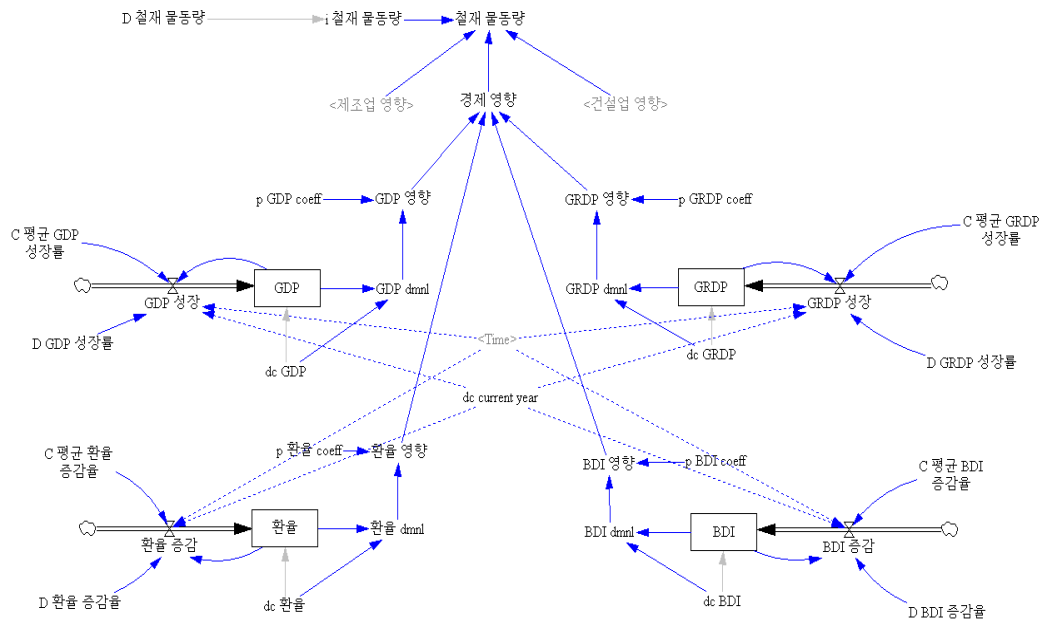
본 연구에서는 철재 수요에 영향을 주는 요인을 크게 경제 발전에 따른 영향, 제조업 발달에 따른 영향 그리고 건설업 발달에 따른 영향으로 구분하였으며 각 영향의 성격에 맞게 13개의 세부 요인을 분류하였다.

<그림 1>에서 보는 바와 같이 전자기기, 차량, 기계, 항공기 및 선박 그리고 철강의 생산량과 고철 품목들은 이들의 처리량이 증가할수록 철재 물동량에 대한 제조업의 영향은 증가하며 이는 철재 물동량의 증가를 야기하는 강화 루프의 관계를 가진다. 그리고 건설의 수주, 부동산의 경기 그리고 허가면적이 증가할수록 철재 물동량에 대한 건설업의 영향은 증가하며 이 또한 철재 물동량을 증가시키는 강화 루프의 관계를 지닌다. GDP 및 GRDP 지수 역시 증감함에 따라 철재 물동량에 대한 경제의 영향도 증가하여 철재 물동량을 증가시키는 강화 루프의 관계를 지니고 있다. 이와 반대로 환율과 BDI의 경우, 이 두 변수가 증가할수록 우리나라의 원화는 약화되기 때문에 국외에서 수입되는 인천항의 철재 물동량은 감소하게 되므로 환율과 BDI는 전체적인 철재 물동량과 균형 루프의 관계를 지니게 된다.

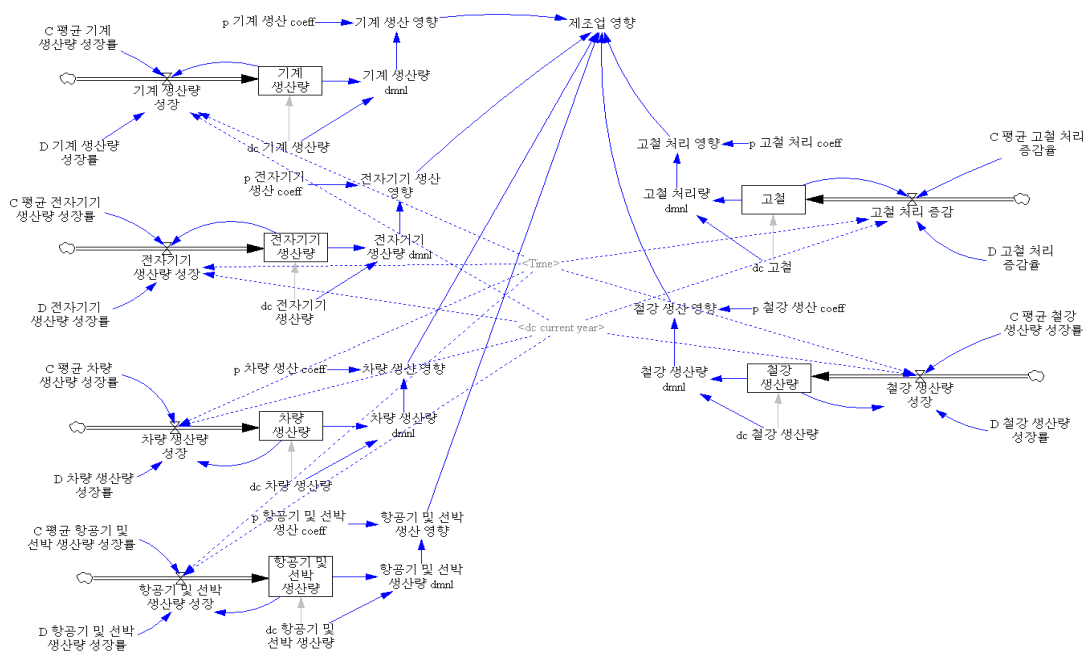
## 2) Stock-Flow 다이어그램

인천항의 철재 물동량을 예측하는 시뮬레이션을 실행하기 위한 Stock-Flow Diagram은 <그림 2>, <그림3>, <그림 4>와 같다.

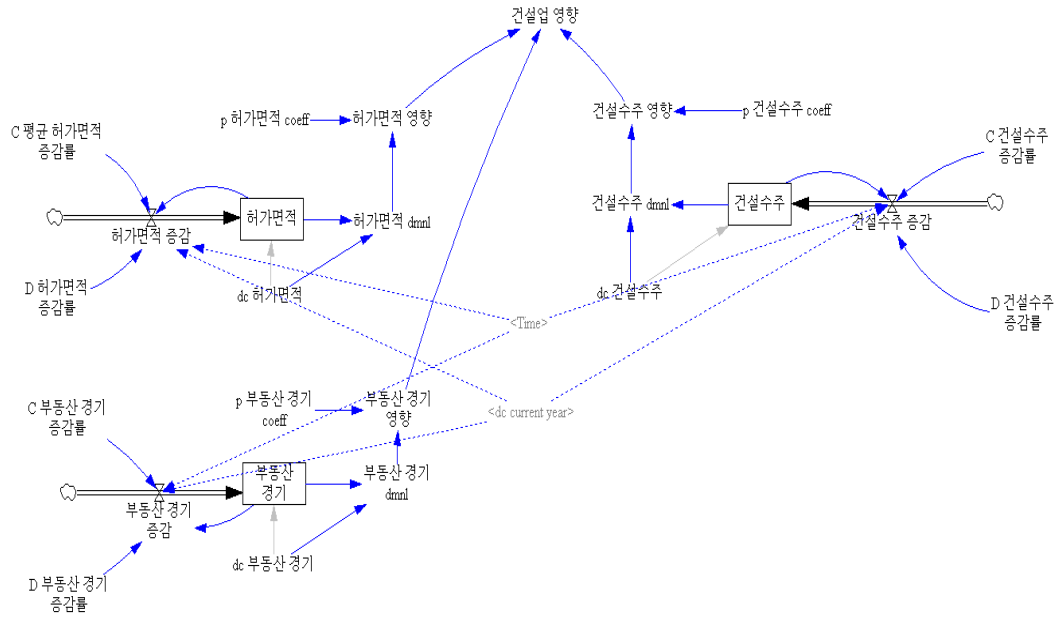
<그림 2> 경제 발전 변수에 따른 철재 물동량 변화



<그림 3> 제조업 발전 변수에 따른 철재 물동량 변화



<그림 4> 건설업 발전 변수에 따른 철재 물동량 변화



본 연구의 시뮬레이션의 기간은 2001년부터 2020년까지이며, 13가지의 세부요인들은 아래 <표 1>과 같이 실제 데이터를 기반으로 설정하였다. 2008년 이전까지는 각 세부요인들의 실제 데이터를 가공하여 전년대비 증감률을 사용하였으며, 이후에는 각 증감률의 평균값을 사용하여 세부요인들의 값을 계산하였다.

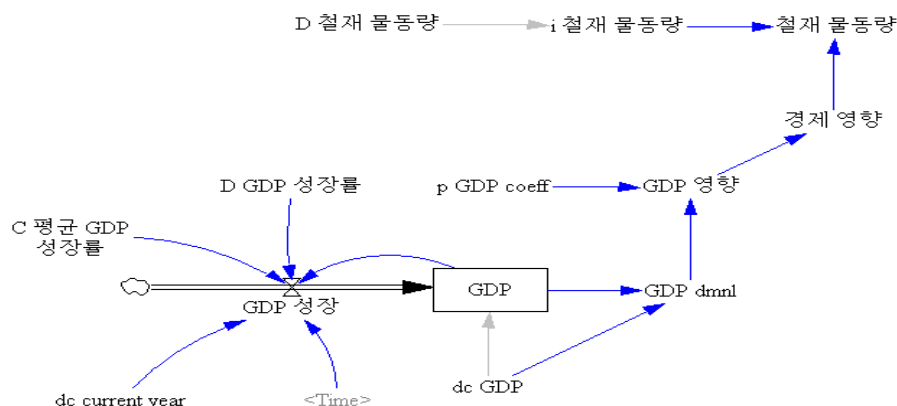
<표 1> 철재물동량에 영향을 주는 요인들의 값

요인	2005	2006	2007	2008	2009
GDP(억달러)	8,447	9,511	10,493	9,309	8,344
GRDP(10억원)	40,398	43,311	47,780	47,827	50,256
BDI(p)	3,371	3,180	7,070	6,390	2,617
환율(원)	1,023	953	930	1,105	1,281
고철(톤)	1,199,946	556,711	341,270	532,123	634,216
철강(톤)	8,461,526	8,132,549	9,270,886	9,322,880	6,944,422
기계류(톤)	641,403	828,615	1,107,484	1,255,043	1,410,966
전기기기(톤)	1,529,246	2,444,596	2,460,297	2,637,489	3,020,074
차량(톤)	5,329,917	4,691,407	6,507,572	6,578,240	4,965,266
항공기 및 선박(톤)	1,107,138	1,538,978	1,804,275	1,900,029	1,763,962
허가면적(천㎡)	115,506	133,271	150,957	120,658	105,137
수주동향(10억원)	99,384	107,318	127,911	103,907	107,011
부동산경기(호)	463,641	469,503	555,792	371,285	381,787

자료: 국가물류통합정보센터, 국토해양부, 통계청, 한국은행.

또한 시간의 흐름에 따라 각 요인들의 증감률에 의하여 변화하는 세부요인들과 그들의 초기값을 비교하여 세부요인들의 연별 영향 정도를 계산하고, 이를 철재 물동량의 초기값과 계산하여 연별 철재 물동량을 예측하였으며 그 수식은 <그림 5> 및 <표 2>와 같다.

<그림 5> GDP 영향에 따른 철재물동량 예측



<표 2> Stock-Flow 다이어그램에 대한 주요 계산과정

변수명	수식	변수명	수식
dc current year	2009(Year)	dc GDP	5046 (억달러)
C 평균 GDP 성장률	0.07 (1/Year)	GDP dmn1	GDP/dc GDP
D GDP 성장률	Data (1/Year)	GDP 영향	GDP dmn1^p GDP coeff
GDP 성장	GDP*IF THEN ELSE (Time>dc current year, C 평균 GDP 성장률, D GDP 성장률) (억달러/Year)	p GDP coeff	-0.427042
		경제 영향	GDP 영향
		철재 물동량	i 철재 물동량*경제 영향 (ton)
		i 철재 물동량	INITIAL(D 철재 물동량) (ton)
GDP	INTEG(GDP 성장); dc GDP (억달러)	D 철재 물동량	Data (ton)

주: dc(decision constant) : 고정된 상수 변수를 의미

C(Constant) : 상수 변수를 의미

D(Data) : 데이터 변수를 의미

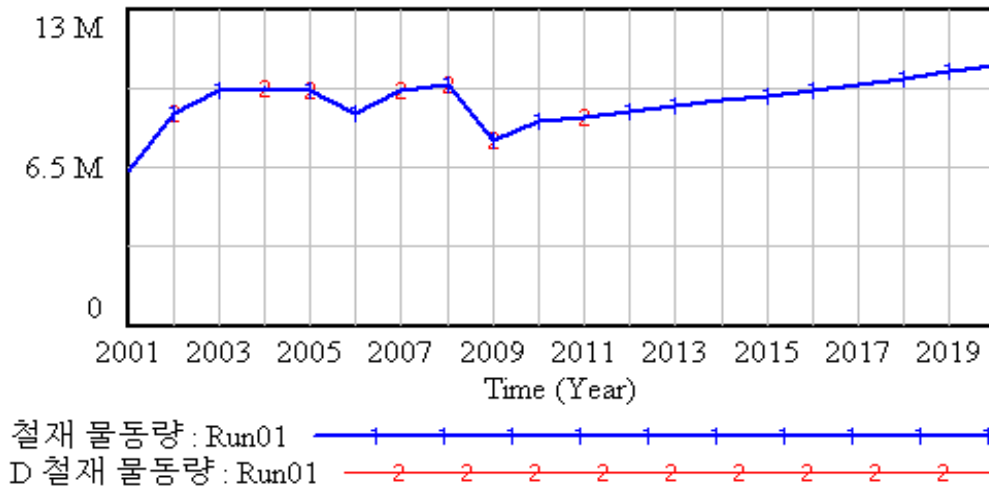
dmnl(dimension less) : 단위가 없는 변수를 의미

### 3. 모델결과 및 시나리오 분석

#### 1) 모델결과

<그림 5>와 같은 방식으로 13개의 세부요인들을 모델링하고 이들을 철재 물동량에 연결시킴으로써 모든 세부요인들의 영향을 받아 값이 결정되는 철재 물동량을 예측할 수 있다. 예측결과는 아래 <그림 6>, <표 3>와 같다.

<그림 6> 실제 데이터와 비교한 철재 물동량 예측치



<표 3> 시뮬레이션을 통해 예측된 철재 물동량

(단위 : 톤)

2011	2012	2013	2014	2015
8,579,151	8,789,143	9,004,274	9,224,672	9,450,464
2016	2017	2018	2019	2020
9,681,784	9,918,765	10,161,542	10,410,270	10,665,083

시뮬레이션 결과 <그림 6>과 같이 2001년부터 2011년까지의 실제 철재 물동량의 값과 예측한 철재 물동량의 값은 거의 일치하는 추세를 보였다. 결과적으로 시뮬레이션 분석결과 인천항에서 처리되는 철재 물동량은 2011년 약 8백 50만 톤에서 2020년 약 1천만 톤이 처리 될 것으로 예측되었다. 그리고 이러한 수요예측의 정확도를 검증하기 위하여 본 연구에서는 예측오차의 비교가 보다 용이하고, 신뢰도가 높다고 판정되는 절대평균오차비율(MAPE: mean absolute percentage error)을 적용하고자 한다.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{X_t - F_t}{X_t} \right| \tag{2}$$

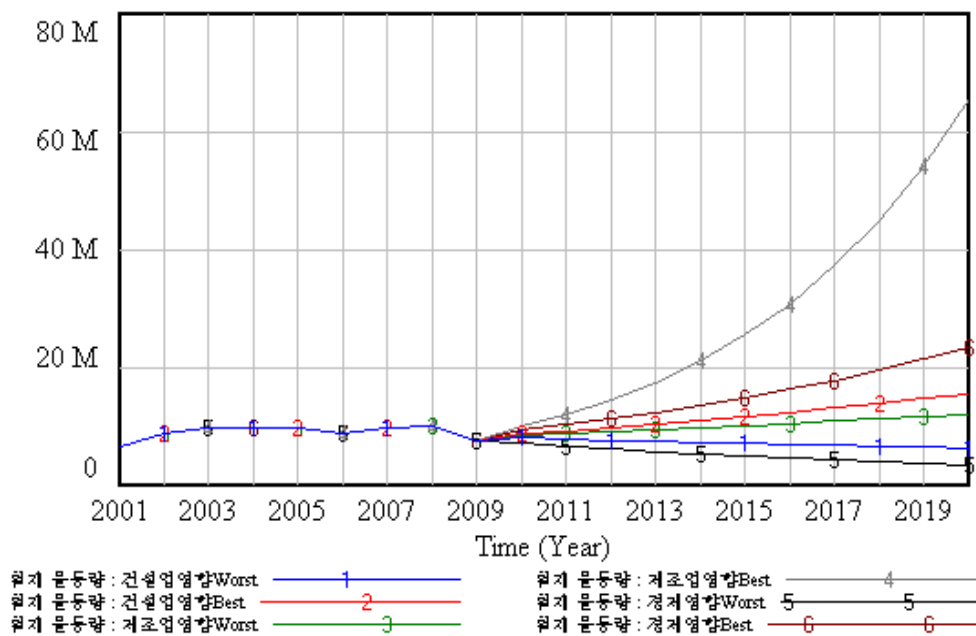
X = 실제값, F=예측값, n=관측값의 기간수

절대평균오차비율의 분석 결과, MAPE=0.0013으로 나타났으며, 값의 범위가 0% ≤ MAPE ≤ 10%에 속하므로 매우 높은 정확도를 갖는 예측으로 평가된다(Lewis, 1982).

### 2) 시나리오 분석

본 절에서는 각 요인들의 변동에 따라 변화하는 철재 물동량의 추이를 살펴보기 위하여 시나리오 분석을 실시하고자 한다. 시나리오에 사용될 변수는 <표 1>에서 언급한 13개의 세부 요인들이며 이들을 경제 영향의 변동, 제조업 영향의 변동, 건설업 영향의 변동으로 시나리오를 분류하고 각 요인들의 평균 변화량을 ±10%로 계산하여 낙관적인 시나리오와 비관적인 시나리오로 분류함으로써 총 여섯 종류의 시나리오로 진행하고자 한다.

<그림 7> 시나리오 분석



시나리오 분석 결과, 가장 높은 철재 물동량의 수치를 갖는 시나리오는 “제조업의 영향이 낙관적인 시나리오”이며, 가장 낮은 철재 물동량의 수치를 갖는 시나리오는 “경제

의 영향이 비관적인 시나리오”인 것으로 나타났다.

<그림 7>에서 볼 수 있는바와 같이, 시나리오 분석이 기존 시뮬레이션의 결과와 비교하여 변동의 범위가 다소 크게 차이나고 있는데 이는 모델에서 사용되고 있는 요인들의 기존 성장률이 5%이하로 존재하는데 반해 시나리오분석의 요인들은  $\pm 10\%$ 를 주었기 때문에 그 차이가 상대적으로 크게 발생한 것으로 판단된다. 따라서 시나리오 분석의 변동 범위 측면으로 볼 때, 제조업 영향의 시나리오가 가장 큰 범위를 갖는 것으로 보아 인천항에서 처리되는 철재 물동량은 국내 제조 산업의 영향을 가장 민감하게 받는 것으로 분석되었다. 이와 반대로, 건설업 영향의 시나리오가 가장 작은 범위를 가지기 때문에 다른 요인에 비하여 건설업이 철재 물동량에 보다 적은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

#### IV. 결론 및 시사점

인천 북항은 목재와 철재와 같은 주요 벌크화물을 취급하는 항만으로 인천항에서 발생하는 체선 및 체화현상, 교통문제 등을 해소하기 위해 개발되었다. 하지만 북항 개발 당시 예측되었던 물동량에 비해 실제적으로 처리되는 물동량이 저조하여 부두운영에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 예측 물동량과 실제 처리물동량이 차이가 나는 것은 대외적인 경제 환경에 의한 것으로 판단된다. 일반적으로 철재와 같은 벌크화물은 국내 경기 및 국제 경제환경에 상당히 민감하게 반응하는데 국내에서 벌크화물의 물동량 예측에 관한 연구들은 대부분 과거 실적치를 기반으로 한 시계열 분석을 통해 향후 물동량을 예측하고 있기 때문이다.

따라서 본 연구는 GDP, 환율, BDI 등과 같은 경제영향 변수와 국내 건설업 경기, 제조업 경기 등을 철재화물 물동량에 영향을 미치는 주요 영향변수로 선정하여 미래 물동량을 예측하였다. 본 연구의 수행을 위해 System Dynamics 방법론을 사용하였으며, 시뮬레이션 기간은 2020년까지로 설정하였다. 그 결과 인천항에서 처리되는 철재화물 물동량은 2011년 약 8백만 톤을 시작으로 2020년 약 1천만 톤이 처리될 것이라 예측되었으며, 철재화물 물동량 증감에 영향을 미치는 주요 변수는 국내 제조업 경기로 나타났다. 그리고 본 연구에서 제시된 예측치의 정확도를 검증하기 위해 절대평균오차비율을 적용하였으며, 결과 0.0013으로 정확도가 매우 높은 것으로 나타났다.

철재화물과 그 영향변수들의 관계를 살펴본 결과 철재화물은 타 변수에 비해 상대적으로 국내 제조업 변수에 민감하게 반응하는 것으로 판단되었다. 따라서 인천 북항 배후단지 혹은 인근 산업단지에 제조산업 관련 업체 등과 같은 물동량 창출 가능 산업을 유치하기 위해 마케팅 및 지원전략이 수행되어야 할 것이다. 한편 항만의 무분별한 개

발은 추후 항만 공급과잉이라는 문제점으로 발생할 수 있다. 따라서 국내·외 환경변수를 고려한 다각적인 예측방법이 수행되어야 할 것이다. 본 연구의 한계점으로는 연구 모델에서 제시한 주요 요인들의 미래 전망치를 연평균 증감률로 사용하였기 때문에 보다 정확한 예측을 위하여 각 요인들의 특성이 반영된 연구가 요구된다. 또한 요인들 간의 상관관계를 고려하지 않고 각각을 독립변수로 수요를 예측한바 이들의 관계를 고려한 연구가 요구되며 마지막으로 수요예측을 위해 사용된 자료가 인천항에서 발생하는 전체 물동량 자료를 이용하였기 때문에 철재화물의 내수부분이 반영되지 못했다고 판단되는바, 보다 세분화된 자료를 이용한 확장연구가 요구된다.

## 참고문헌

- 고용기·김은지·신정용·김태호 “인천항의 수출 적컨테이너화물 물동량 추정에 관한 연구”, 『한국철도학회 학술대회발표논문집』, 제24권 제3호, 2008, pp. 57-77.
- 구형수·이희연, “시스템다이내믹스를 활용한 도시공간구조에 따른 에너지 소비모형 구축에 관한 연구”, 『국토연구』, 제61권, 2009, pp. 211-233.
- 김종수·장운재, “SD법을 이용한 해양사고 예방의 정책대안 분석”, 『해양환경안전학회』, 제10권 제2호, 2004, pp. 17-22.
- 곽상만, “제3장 시스템 다이내믹스 이론의 군사적 적용방안 연구”, 『한국전략문제연구소』, 2005, pp.2-368.
- 김정훈, “전국 컨테이너 항만물동량에 관한 예측”, 『한국해운물류학회』, 제59권, 2008, pp. 175-194.
- 김창범, “해상운송의 물동량 예측과 항만물류정책”, 『한국항만경제학회지』, 제23권 제1호, 2007, pp. 149-162.
- 김창범, “국제금융시장의 충격과 중국의 수입변동성이 건화물 해운시장에 미치는 영향”, 『항만경제학회지』, 제27권 제1호, 2011, pp. 263-280.
- 모수원, “철강제품과 반도체의 수출형태”, 『국제무역연구』, 제9권 제1호, 2003, pp. 179-194.
- 모수원·김창범, “해상물동량의 추정과 예측”, 『한국해운학회지』, 제37권, 2003, pp. 1-18.
- 모수원, “경제변수의 변동이 광양항 수입컨테이너 물동량에 미치는 효과”, 『한국항만경제학회지』, 제25집 제3호, 2009, pp. 269-282.
- 박상민·남호기·이상근·강갑술·박형근, “벌크화물 터미널 하역정보시스템 설계 및 구현”, 『대한안전경영과학회지』, 제12권 제2호, 2010, pp. 173-181.
- 박영욱·원동규·최성배, “시스템다이내믹스를 이용한 철재의 AI 전파모델”, 『한국 콘텐츠학



- 회』, 2009, pp. 1130-1135.
- 사공훈·최석범, “국내 벌크선박의 체선원인에 관한 실증적 분석”, 『해운물류연구』, 제25권 제2호, 2009, pp. 263-284.
- 손수석·유승록, “한·일 FTA가 한국의 철강산업에 미치는 영향에 관한 연구”, 『경제연구』, 제23권 제2호, 2005, pp. 71-94.
- 여기태·정현재, “물동량 변동요인이 터미널 운영이 미치는 영향력 분석에 관한 연구”, 『한국항만경제학회지』, 제27권 제1호, 2011, pp. 95-109.
- 오영민·정창훈, “경주시에 대한 중저준위 방사성폐기물 처분장 건설 프로그램의 장기적 효과”, 『한국 시스템다이내믹스 연구』, 제9권 제2호, 2008, pp. 105-128.
- 이병철·김윤배 “동북아시아 환적물동량 예측모델 연구”, 『대한산업공학회지』, 제37권 제4호, 2011, pp. 297-303.
- 이석·김영주·김영태·권용장·김승모, “벌크화물 수송실태 분석”, 『한국철도학회 학술대회발표논문집』, 제10권, 2011, 3278-3288.
- 이형석·김기석 “DEA 모형을 이용한 한국 철강 산업의 효율성 분석”, 『한국콘텐츠학회논문지』, 제7권 제6호, 2007, pp.1-224
- 임혜준, “한국 철강산업의 대일본 및 대중국 경쟁력 분석”, 『무역학회지』, 제32권 제1호, 2007, pp. 263-282.
- 정도영·박재운, “SDA를 활용한 한국 철강 산업의 성장기여요인 분석”, 『한국응용경제학회』, 제12권 제3호, 2010, pp. 177-203.
- 정상국·김성기, “국제유가의 변화가 건화물선 운임에 미치는 영향과 건화물선 운임간의 상관관계에 관한 연구”, 『항만경제학회지』, 제27권 제2호, 2011, pp. 217-240.
- 최봉호, “국내 주요항만별 항만물동량과 산업성장의 인과관계”, 『한국항만경제학회지』, 제23권 제4호, 2007, pp. 159-175.
- 최봉호, “환율변동성과 컨테이너물동량과의 관계”, 『한국항만경제학회지』, 제23권 제1호, 2007, pp. 1-18..
- 한철환, “대기오염 저감을 통한 인천항의 Green Port 전략”, 『한국항만경제학회지』, 제27권 제1호, 2011, pp. 281-304.
- Chang Y, W... and Liao, M. Y., "A Seasonal ARIMA Model of Tourism Forecasting: The Case of Taiwan", *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, Vol. 15, No.2, 2010, pp. 215-222.
- Chou, T. Y., Liang, G. S., and Han, T. C., "Application of fuzzy regression on air cargo volume forecast", *Quality & Quantity*, Vol. 45, 2011, pp. 1539-1550.
- Chu, F. L., "Forecasting tourism demand: a cubic polynomial approach", *Tourism Management*, Vol. 25, 2004, pp. 209-218.
- Forrester, J. W., "Industrial Dynamics", MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1961.
- Forrester, J.W., "Urban Dynamics", MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1969.

한국항만경제학회지 2012 제28집 제2호, 75-93.

- Korovyakovsky, E., and Panova, Y., "Dynamic of Russian Dry Ports", *Transportation Economics*, Vol. 33, 2011, pp. 25-34.
- Lewis, C. D., "Industrial and Business Forecasting Methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting", Butterworth Scientific, 1982.
- Sterman, J. D., "Business Dynamics", Boston: Irwin Mcgraw-Hill, 2000.
- Randers, J., "Guide lines for model conceptualization, Elements of the system dynamics method", MIT press, 1980.
- Richard T. C., Tolga C. and Parker, R., "Forecasting(aggregate) demand for US commercial air travel", *International Journal of Forecasting*, Vol. 27, 2011, pp. 923-941.
- Yang, F., "Study on Model of Supply Chain Inventory Management Based on System Dynamics," *Information Technology and Computer Science*, 2009, pp. 209-212.
- Zhao, S. Z., Ni, T. H., and Gao, X. T., "A new approach to the prediction of passenger flow in a transit system", *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 61, 2011, pp. 1968-1974.

## 국문요약

# System Dynamics를 활용한 인천항 철재화물 물동량 예측에 관한 연구

박성일 · 정현재 · 전준우 · 여기태

제조산업의 핵심 원자재인 철재화물은 항만의 처리 물동량 증대를 위한 주요화물로 자리 잡고 있다. 특히 인천항의 경우 철재화물 처리실적이 타 화물에 비해 비중이 높아 항만 활성화를 위한 주요 화물이라 할 수 있다. 이러한 측면에서 인천항을 운영하는 인천항만공사는 인천항 북항지역에 철재화물과 같은 주요 벌크화물을 처리할 수 있는 전용선석 및 배후지를 북항지역에 개발하여 운영하고 있다. 하지만 실제 처리물동량이 개발 당시 예측되었던 물동량에 비해 저조한 실적을 보이면서 운영상 어려움에 직면해있다. 이러한 결과는 국내외 다양한 경제지표를 반영한 벌크화물의 수요예측이 이루어지지 못한 결과로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 시스템 다이내믹스 기법을 이용하여 국내 철재화물 관련 산업 경기 및 세계 경제상황을 고려한 인천항 철재화물 예측을 시도하였다. 그 결과 인천항에서 처리되는 철재화물 물동량은 2011년 약 8백만 톤을 시작으로 2020년 약 1천만 톤이 처리될 것이라 예측되었다. 예측치의 정확도를 검증하기 위해 절대평균오차비율을 적용한 결과 0.0013으로 정확도가 매우 높은 것으로 나타났다.

**핵심 주제어 :** 철재화물 물동량, 물동량 예측, 시스템 다이내믹스, 시뮬레이션