한국항해항만학회지 제36권 제6호(Vol. 36, No. 6), pp. 521~526, 2012 (ISSN-1598-5725/eISSN-2093-8470)
Journal of Navigation and Port Research
DOI : http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2012.36.6.521

System Dynamics를 이용한 인천항 양곡화물 물동량 예측에 관한 연구

박성일* · 정현재** · † 여기태

*,** 인천대학교 동북아물류대학원, † 인천대학교 동북아물류대학원 교수

Forecasting the Grain Volumes in Incheon Port Using System Dynamics

Sung-Il Park · Hyun-Jae Jung** · † Gi-Tae Yeo*

*,**, Graduate school of Logistics, Incheon University, Incheon 406-772, Korea
† Graduate school of Logistics, Incheon University, Incheon 406-772, Korea*

요 약 : 최근 FTA 체결로 인해 우리나라는 보다 효율적이고 효과적인 수출입 화물의 물동량 관리가 필요한 시점이다. 그 중 양곡화물은 우리나라 국민들의 식생활에 필요한 주요 화물이며 FTA 협정시 주요 수출입 화물로 지정된 바 있다. 일반적으로 양곡화물은 대부분 인천항을 통해 수출입되고 있어 본 연구에서는 인천항에 취급되는 양곡화물 물동량의 향후 수요에 대한 예측 연구를 진행하였다. 연구방법론은 시스템다이내믹스를 사용하였고 양곡화물 물동량에 영향을 주는 요인으로는 인구, 1인당 연간 양곡소비량, GDP, GRDP, 환율, BDI를 이용하였다. 본 연구모델의 시뮬레이션 기간은 2000년부터 2020년이며 2007년까지의 실제 데이터를 사용하였다. 시뮬레이션 결과 2020년에 인천항에서 취급되는 양곡화물의 물동량은 약 2백만 톤으로 예측 되었으며 결과적으로 인천항에서 취급되는 양곡화물 물동량이 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있다. 그리고 예측된 결과값의 정확도를 측정하기 위해 MAPE 검증을 실시하였으며 6.3%의 결과값을 얻어 매우 정확한 예측으로 판정되었다. 또한 양곡화물 물동량에 영향을 주는 각 요인들의 변동에 따라 양곡물동량에 미치는 요인을 살펴보았으며 인구가 양곡물동량에 가장 큰 영향을 미치고 환율은 거의 영향이 없는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 인천항, 양곡물동량, 수요예측, 시스템다이내믹스, 민감도 분석, 인과관계

Abstract : *More efficient and effective volume management of trade cargo is recently requested due to FTA with foreign country. Above all, the grain is the main cargo needed in Korean food life and was appointed as the core trade cargo during FTA. This study is aimed to forecast future demands of grain volumes which are handled at Incheon port because most of the grain volumes are traded at Incheon port in Korea. System Dynamics (SD) was used for forecasting as the methodology. Also, population, yearly grain consumption per a man, GDP, GRDP, exchange rate, and BDI were used as the factors that influence grain volumes. Simulation duration was from 2000 to 2020 and real data was used from 2000 to 2007. According to the simulation, 2020's grain volumes at Incheon port were forecasted to be about 2 million tons and grain volumes handled at Incheon port were continuously reduced. In order to measure accuracy of the simulation, this study implemented MAPE analysis. And after the implementation, the simulation was decided as a much more accurate model because MAPE value was calculated to be 6.3%. This study respectively examined factors using the sensitivity analysis. As a result, in terms of the effects on grain volume in Incheon Port, the population factor is most significant and exchange rate factor is the least.*

Key words : *Incheon port, Grain volumes, Forecasting, System dynamics, Sensitivity analysis, Causal relationship*

1. 서 론

양곡화물은 국민들의 식생활과 직접적으로 관련이 있는 중요한 화물이다. 양곡화물은 쌀, 밀, 가축 사료용 곡물 등으로 구성된다.(해양수산부, 2004) 최근 식습관의 서구화로 인해 쌀에 대한 수요는 정체 및 감소상태를 보이는 반면, 빵의 원료로 쓰이는 밀 수요는 증가추세를 보이고 있다. 한편 사료용 곡물은 FTA 체결로 이후 점차 감소추세를 보이고 있다. 이는 사료를 수입하여 가축을 기르는 것 보다는 육류를 직접 수입하는 쪽으로 추세가 바뀌었기 때문이다.

양곡화물을 둘러싼 환경변화는 양곡을 주요 처리화물로 취급하고 있는 인천항에 큰 변화를 가져오고 있다. 특히 2010년 평택항 개장으로 인해 인천항과 평택항은 경쟁구도에 접어들었으며, 인천항을 주로 이용하던 양곡화물 화주들의 거점이 상대적으로 임대료 및 제반비용이 저렴한 경기 및 이남 지역으로 이전하는 현상을 보이고 있다. 즉 인천항에서 처리되는 양곡화물은 더욱더 감소될 수 밖에 없는 실정이다(이, 2010). 이러한 상황을 고려할 때 양곡화물의 향후 거동을 파악하는 수요예측이 필요한 상황이다. 하지만 기존의 수요예측에서 사용되는 변수들은 국내 경기추세를 반영하는 변

* 대표저자 : 정회원, sungil_park@naver.com 010)9278-5034
** 정회원, guswo5776@nate.com 010)9663-1043
† 교신저자 : 정회원, ktyeo@incheon.ac.kr 032)835-8196

수들만 사용하고 있어, 세계 경제에 민감하게 반응하는 양곡과 같은 물동량을 예측하는데 무리가 있는 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서는 국내 경기변수 뿐만 아니라 세계 경제를 반영할 수 있는 변수를 추가적으로 사용하여 보다 정확한 수요를 예측하고자 한다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 본 연구의 대상인 인천항의 양곡물동량 및 수요예측에 대한 선행연구를 살펴본다. 그리고 3장에서는 본 연구에서 사용할 기법인 시스템다이내믹스(System Dynamics)를 살펴본 후, 4장에서는 시뮬레이션 분석 및 민감도 분석을 진행한다. 마지막으로 시뮬레이션을 토대로 예측된 인천항 양곡물동량의 결과 및 시사점을 제시하고자 한다.

2. 선행연구에 관한 고찰

2.1 인천항의 양곡화물에 대한 이론적 고찰

인천항은 Table 1과 2에서 나타난바와 같이 국내 최대의 양곡화물 처리 항만으로써 우리나라로 수입되는 양곡의 약 70%에 해당하는 물동량을 처리하고 있다.

Table 1 Core ports′ capability for grain volume

(단위 : 톤)

	2008	2009	2010	2011
부산항	1,702,447	1,500,278	1,759,574	2,179,428
인천항	6,419,543	5,706,337	6,640,920	5,167,022
평택항	3,118	315	1,493	582,801
군산항	470,179	324,253	795,511	740,175

그리고 인천항의 양곡화물에 대한 물동량 추세는 2011년 평택항 개장으로 인해 점차 감소되는 추세를 보이고 있다. 이는 과거 인천항을 이용하는 양곡화물 관련 화주들이 평택항으로 제조기지를 이전함에 따른 결과로 판단된다.

Table 2 Export and import records of grain volumes in Incheon port

(단위 : 톤)

	2008	2009	2010	2011
수입	6,415,671	5,705,269	6,638,976	5,164,289
수출	3,872	1,068	1,944	2,733

임(2007)은 한·중 FTA의 논의에 부응하여 한・중간의 교역추세가 지속적으로 상승할 것으로 분석하였다. 이로 인해 농・수산물 분야에서 중국으로부터 양곡화물 유입이 증가함에 따라 인천항의 지리적 우위가 지속될 것이라 예상하였다. 안(2009)은 증가하는 대중국 양곡화물 물동량은 우리나라 경제에 영향을 미칠 뿐만 아니라 우리나라와 경제협정을 가지고 있는 다른 나라에도 영향을 미치고 있다고 분석하였다. 하지만 인천항의 양곡하역사업의 경우, 하역작업에 필요한 설비들이 부족할 뿐만 아니라, 갑문의 운영으로 인한 입출항 시 발생하는 소요시간 및 체선, 체화현상으로 인해 많은 제약사항이 발생하고 있다고 지적하였다(이, 2010).

하지만 최근 인천항 현황은 선행연구의 예측과는 상당히 거리가 있는 결과를 보이고 있다. 즉, 우리나라 전체 항만에서 처리되는 양곡화물의 추세를 살펴보면, 2000년 약 1천 1백만 톤과 2011년 약 1천만 톤을 각각 처리하여 거의 변화가 없다. 하지만 인천항은 2000년 약 8백 8십만 톤을 처리하였으나, 2011년 약 5백만 톤을 처리하여 큰 폭의 감소세를 나타내고 있다. 이러한 결과는 우리나라 전체 양곡화물의 50% 이상을 처리하고 있는 인천항에 대한 다양한 변수 및 최근 상황을 반영하지 못한 결과로 해석된다.

2.2 화물 물동량 예측에 대한 이론적 고찰

항만물류에서의 물동량 예측은 적정 수준의 항만을 개발하기 위해 필수적으로 선행되어야 하는 과제이다. 기존 연구들을 살펴보면 모(2003)는 우리나라의 국제무역을 강조하는 것과 동시에 해상물동량의 변동에 따른 항만 운영의 손해를 방지하기 위하여 정확한 물동량 예측이 요구된다고 주장하였다. 김(2007)은 2007년부터 2012년까지의 우리나라 항만물동량을 예측하기 위하여 ARIMA를 이용 하였으며, 물동량의 계절적인 요인을 발견하여 ARIMA 계절모형으로 수요를 예측하였다. 그 결과 항만물동량의 증가추세의 둔화현상은 제조업 공동화 진행속도의 억제 및 대체산업의 육성, 적극적인 환적화물의 유치 및 환적체계의 개선, 항만배후부지 개발 및 다국적기업의 유치, 한·중 물류협력의 강화 그리고 복합운송체계를 구축함으로써 극복할 수 있다고 주장하였다.

김(2008)은 2011년부터 2015년까지의 부산 북항에서 처리되는 화물을 보다 세부적으로 예측하기 위하여 화물을 특성에 따라 컨테이너, 유류, 나머지의 기타 화물들을 종합한 일반화물로 나누어서 각각의 시계열 모형을 구축 하였으며, 정(2006)은 마산항의 향후 유치 가능한 컨테이너 물동량을 추정하기 위하여 O-D분석과 권역에 존재하는 화주들의 설문조사 분석을 통해 약 40만TEU가 유치 가능할 것이라 예측하였다.

해양수산부(2004)는 양곡수입물동량을 추정하기 위하여 양곡 수요량과 인구를 설명변수로 이용한 회귀분석을 실시하였다. 분석결과, 2006년 16,399톤에서 2020년 18,648톤까지 양곡수입량이 꾸준히 증가하는 것으로 나타났으며 이는 식생활의 서구화로 인하여 쌀의 수요는 감소하지만 제빵의 원료인 밀이나 기타 식용유와 같은 소비가 증가하기 때문인 것으로 판단하였다. 물동량 예측에 대한 기존연구는 과거 데이터를 가지고 미래의 수요를 예측하는 시계열 모형(Time-series model)이 주를 이루고 있으며, 특히 ARIMA 모형이 주로 이용되고 있다. 하지만 어느 한가지의 방법론도 가장 완벽한 방법론이 될 수는 없으며, 여러 인과관계를 가지고 있는 복

잡한 사회 문제에 대하여 단순히 과거 데이터만을 가지고 미래를 예측하는 것은 예측의 신뢰성을 떨어뜨리는 결론을 가져올 수 있다. 이러한 측면에서 본 연구는 문제대상과 관련된 변수들 간의 인과관계를 이용하여 문제를 해결하는 시스템다이내믹스를 이용하여 인천항의 향후 양곡물동량을 예측하고자 한다.

3. 실증분석

3.1 시스템다이내믹스(System Dynamics)

시스템다이내믹스는 시스템사고(System Thinking)를 통하여 사회문제와 관련된 요인들 간의 인과관계를 분석하고 피드백 루프를 통하여 변수들 간의 영향 관계를 제시함으로써 문제를 해결하는 방식이다(곽, 2005; Forrester, 1961; 1969).

수요예측 측면에서 시스템다이내믹스는 과거 데이터만을 이용하여 정량적인 분석을 수행하는 기존의 연구들과는 달리, 시간의 흐름에 따라 발생하거나 사라지는 관련 변수들의 양상에 초점을 맞추기 때문에 시스템 내에 존재하는 피드백을 기반으로 정성적이고 정량적인 분석이 가능하다(Yang, 2009). 일반적으로 시스템다이내믹스는 인과지도와 Stock-Flow 다이어그램을 통하여 문제를 분석하고 해결한다.

인과지도(Causal Loop Diagram)는 컴퓨터 시뮬레이션 전에 수행되는 단계로써 문제를 접근하는 관계자들 간의 모델의 이해를 돕기 위하여 사용되는 다이어그램으로써 인과지도에서 사용되는 루프는 강화루프(Reinforcing Loop)와 균형루프(Balancing Loop)로 이루어진다(오, 2009).

Stock-Flow 다이어그램은 인과지도에서 얻어진 변수 간의 원인과 영향의 관계로 형성되며 변수는 크게 레벨 변수(Level variable)와 레이트 변수(Rate 변수)로 이루어진다. 레벨 변수는 모델의 중심이 되는 변수로써 시간의 흐름에 따라 변하는 변수들의 값이 저장되는 변수를 의미하며 레이트 변수는 레벨변수에 영향을 주는 변수로써 시간의 흐름에 따라 값이 변하는 변수를 의미한다. 이와 같이 시간의 흐름에 따라 변하는 문제의 양상을 분석하는 시스템다이내믹스의 기본 수식은 다음과 같다.

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

3.2 인과지도

본 연구의 목적인 인천항 양곡물동량을 예측하기 위하여 양곡물동량에 영향을 주는 요인들은 총 6가지로 인구, 1인당 양곡 소비량, 환율, BDI, GDP, GRDP로 정의하고자 한다. 이는 해양수산부(2004) 및 국토해양부(2009)에서 품목별 물동량 예측시 양곡화물에 대한 영향요인으로 인구, 환율, 양곡소비량을 주요 변수로 선정하여 예측한 것을 기반으로 한 것이며, 본 연구에서는 이와 더불어 벌크운임지수인 BDI와 지역경제 성장률, 국가 경제 성장률을 추가하여 진행하였다. 그에 따른 인과지도는 Fig. 1과 같다.

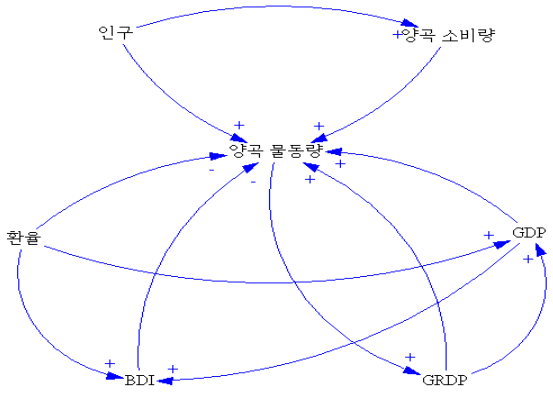

Fig. 1 Causal loop diagram for grain volumes in Incheon port

인천항에서 처리되는 양곡화물은 대부분이 해외에서 수입되고 있으며 주로 국민들의 식용을 목적으로 한다. 따라서 양곡화물의 물동량 증감은 우리나라의 인구에 가장 큰 영향을 받는다고 할 수 있다. 인구는 직접적으로 양곡화물 물동량 증감에 영향을 미칠 수도 있으며 1인당 양곡 소비량을 증가시킴으로써 간접적으로 양곡화물 물동량 증감에 영향을 미칠 수 있다.

양곡화물 물동량 증감에 영향을 주는 경제 변수는 환율, BDI, GDP, GRDP로 이루어진다. GDP와 GRDP의 경우, 증가할수록 양곡화물 물동량을 증가시키는 강화루프관계를 지니고 있으며, 환율 및 BDI는 증가할수록 양곡화물 물동량을 감소시키는 균형루프관계를 지니게 된다. 각 요인들의 영향을 받는 양곡화물 물동량은 다시 인천지역의 GRDP에 영향을 주게 되며 이 GRDP는 다시 GDP에 영향을 미치게 된다.

환율의 경우, 환율이 증가하면 BDI와 GDP를 증가시키며 증가된 GDP는 양곡화물 물동량을 증가시키나 BDI를 증가시키기 때문에 양곡물동량을 감소시키는 요인으로도 작용된다. 따라서 환율, BDI, GDP, GRDP 그리고 양곡물동량은 서로 영향을 주고받는 피드백 양상을 갖게 된다.

3.3 Stock-Flow 다이어그램

인천항에서 처리하는 양곡화물 물동량을 예측하기 위한 Stock-Flow 다이어그램은 Fig.2와 같다.

본 연구의 시뮬레이션 기간은 2000년부터 2020년까지 수행하였다. 2008년도 이후 진행된 세계경제 침체에 따른 영향요인을 배제하기 위해서, 본 연구에서는 2000년부터 2007년까지 구간의 실제 데이터를 이용하여 예측 모델의 정확도 검증을 실시하고자 한다.

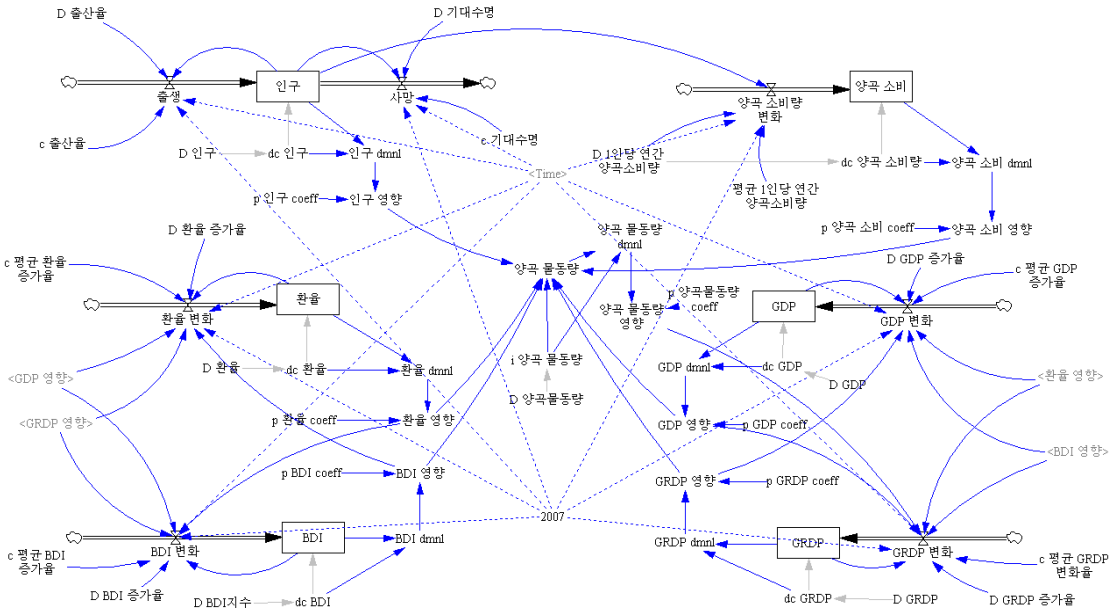

Fig. 2 Stock-flow diagram for forecasting the grain volumes

Table 3 Data of factors used in simulation

	GRDP (십억원)	GDP (십억원)	BDIndex (p)
2000	27,122	603,236	1,608
2001	30,409	651,415	1,217
2002	35,117	720,539	1,137
2003	36,349	767,114	2,617
2004	38,842	826,893	4,510
2005	40,398	865,241	3,371
2006	43,311	908,744	3,180
2007	47,780	975,013	7,070
	환율 (원)	1인당 연간 양곡소비량 (kg)	인구 (명)
2000	1,265	106.5	45,985,289
2001	1,314	101.2	45,985,289
2002	1,186	99	45,985,289
2003	1,193	91.7	45,985,289
2004	1,035	90	45,985,289
2005	1,012	89	47,041,434
2006	930	87.2	47,231,299
2007	936	84.8	47,421,165

자료 : 국토해양부

시간의 흐름에 따라 각 요인들은 루프로 연결된 다른 변수들의 영향을 받아 값이 변하게 되고, 변화된 값을 각 요인의 초기값(2000년도)과 비교함으로써 요인별•연도별 영향 정도를 산출하였다.

3.4 모델결과 및 검증

앞서 언급한 산출된 각 요인들의 연별 영향 정도를 다시 양곡물동량의 초기값과 계산함으로써 얻은 예측수요는 Fig. 3와 Table 4과 같다.

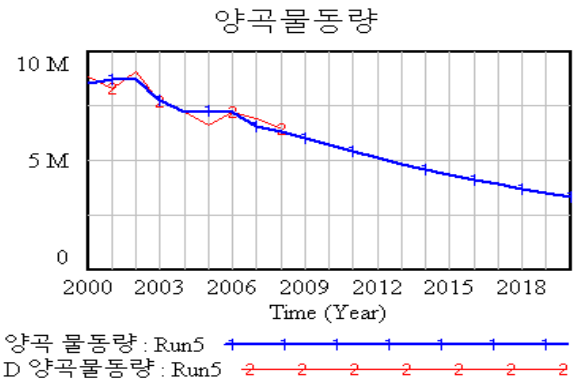

Fig. 3 Real and forecasted values of grain volumes

Table 4 Forecasted grain volumes (단위 : 톤)

2008	6,333,095	2015	4,341,429
2009	6,003,509	2016	4,113,713
2010	5,689,250	2017	3,898,693
2011	5,390,274	2018	3,695,775
2012	5,106,381	2019	5,504,355
2013	4,837,241	2020	3,323,834
2014	4,582,423		

Table 4에서 나타난 바와 같이 인천항의 물동량은 지속적으로 감소될 것으로 예상된다. 시뮬레이션 결과로 나타난 예측치와 실제처리량인 실측치를 2008년부터 2011년까지 나타내면 Table 5와 같다. 즉, 모델의 예측치가 실측치와 거의 유사한 형태로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

Table 5 Accuracy verification (단위 : 톤)

년도	실측치	예측치
2008	6,419,543	6,333,095
2009	5,706,337	6,003,509
2010	6,640,920	5,689,250
2011	5,167,022	5,390,274

보다 정밀한 예측의 정확도를 검증하기 위하여 신뢰도가 높고 예측오차의 비교가 용이한 절대평균오차비율(MAPE : Mean Absolute Percentage Error)을 적용하였다.(Lewis, 1982).

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum\left|\frac{X_t - F_t}{X_t}\right| \times 100 \quad \text{식(2)}$$

0% ≦ MAPE < 10% 매우 정확한 예측
10% ≦ MAPE < 20% 비교적 정확한 예측
20% ≦ MAPE < 50% 매우 합리적인 예측
50% < MAPE 부정확한 예측

검증결과, MAPE값은 6.3%로 나타났으며 값이 0% ≦ MAPE < 10%에 속하므로 매우 높은 정확도를 갖는 예측으로 평가된다.

3.5 민감도 분석

본 장에서는 예측모델의 타당성을 향상시키기 위하여 양곡물동량에 영향을 주는 요인들에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 각 요인들의 평균 증가율에 ±10%의 범위를 주었을 때 변동하는 양곡물동량의 범위는 Fig. 4 ~ Fig. 8와 같다.

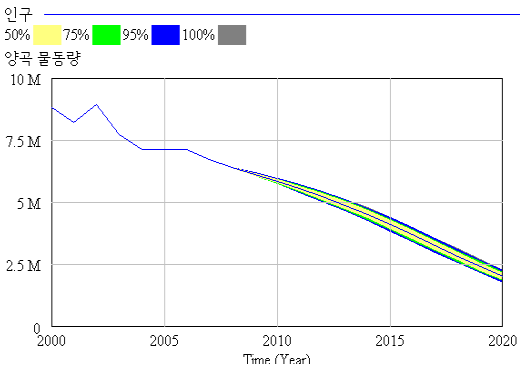

Fig. 4 Sensitivity analysis using Population factor

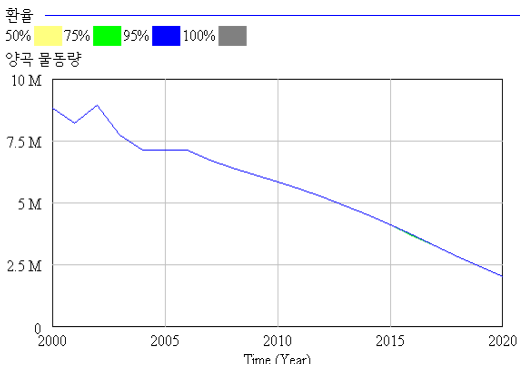

Fig. 5 Sensitivity analysis using Exchange Rate factor

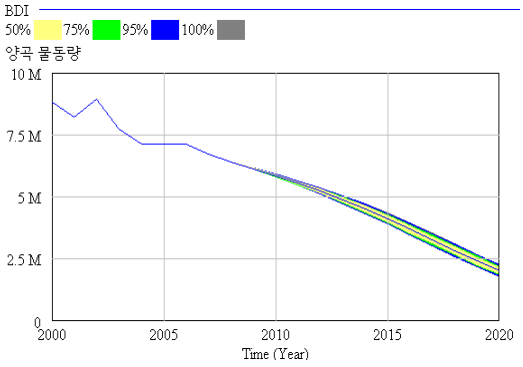

Fig. 6 Sensitivity analysis using BDI factor

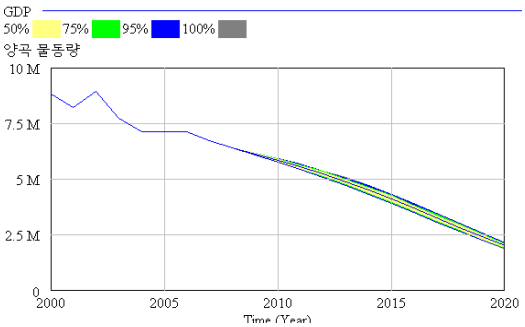

Fig. 7 Sensitivity analysis using GDP factor

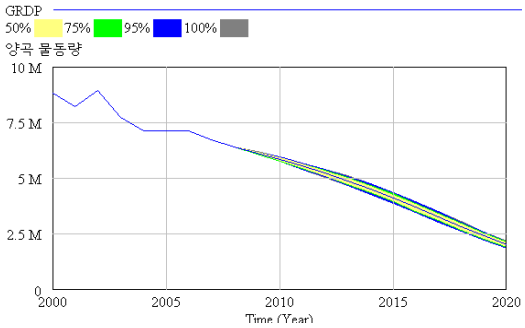

Fig. 8 Sensitivity analysis using GRDP factor

분석 결과, 인구>GRDP>GDP>BDI>환율 순으로 요인의 영향력이 큰 것으로 나타났다. 환율의 경우 인천항에서 처리되는 양곡물동량에 가장 작은 영향을 미치는 것으로 나타났

는데 이는 임(2007)의 연구결과와 맥락을 같이한다. 즉 양곡 물동량의 환율탄력성은 매우 낮은 것으로 분석된다.

4. 연구결과 및 시사점

세계적인 경제 불황에도 불구하고 중국은 지속적인 경제 성장을 이루고 있으며, 무역량을 원활히 처리하기 위한 항만의 중요성은 커져가고 있다. 특히, 중국과 인접하여 지리적인 강점을 가지고 있는 인천항의 역할은 점차 커져가고 있다. 이러한 환경적인 강점에도 불구하고 최대 양곡수입항만인 인천항 물동량은 감소세를 면치 못하고 있으며, 향후 양곡물동량 추이에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 요인간 인과관계를 고려하여 문제를 해결하는 시스템다이내믹스기법을 이용하여 인천항의 향후 물동량 예측하였다. 양곡물동량에 직접적인 영향을 주는 요인으로 인구와 1인당 연간 양곡 수요량을 활용하였다. 또한 인천항 물동량에 영향을 주는 환경요인으로 환율, BDI, GDP, GRDP를 모델에 이용하였다. 시뮬레이션 결과 인천항 양곡물동량은 2020년까지 꾸준히 감소될 것으로 나타났다. 따라서 인천항은 보다 많은 양곡물동량을 유치하기 위하여 보다 공격적인 마케팅 전략 및 양곡산업 유치 전략이 요구된다. 시뮬레이션 모델의 정확도를 검증하기 위하여 신뢰도가 높고 예측오차의 비교가 용이한 절대평균오차비율을 적용하였다. 검증결과 6.3%의 MAPE값으로 매우 높은 정확도를 갖는 모델로 판정되었다. 연구의 대상인 양곡화물의 공시된 자료가 세분화 되지 않고 통합적으로 이루어져있기 때문에 세분화된 품목에 대한 수요를 예측하지 못한 한계점이 있으며 이는 향후 연구의 대상이다. 또한 Stock-Flow 다이어그램에서, 양곡물동량과 영향 요인과의 관계만을 설정하였을 뿐 국내 양곡시장의 구조에 대한 설명이 다소 부족하였고 환율, BDI와 같은 세계경제를 반영하는 요인들의 추가가 필요하므로 이를 보완한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

[1] 곽상만(2005), “제3장 시스템 다이내믹스 이론의 군사적 적용방안 연구”, 한국전략문제연구소, pp.2-368.

[2] 국토해양부(2009), 품목별 항만물동량 예측 보고서/선형별 TOC부두의 하역능력 산정, www.mltm.go.kr.

[3] 김정훈(2008), “시계열 모형을 이용한 부산 북항의 물동량 예측”, 한국항만경제학회지, 24권 2호, pp.1-17.

[4] 김창범(2007), “해상운송의 물동량 예측과 항만물류정책 -승법 계절ARIMA 모형을 이용하여-”, 한국항만경제학회지, 23권 1호, pp.149-162.

[5] 모수원, 김창범(2003), “해상물동량의 추정과 예측”, 한국해운물류학회, 37권, pp.1-18.

[6] 안병일(2009), “한·중·일 농산물 교역동향과 시사점”, 한국국제통상학회-정석물류통상연구원 정기학술대회, pp. 1-447.

[7] 오영민, 정경호(2009), “인과지도를 통한 고준위방사성폐기물처분장과 지역주민의 수용성의 관계 고찰”, 한국 시스템다이내믹스 연구 10권 2호, pp.29-52.

[8] 이목훈(2010), “항만화물 유통시스템 개선 방안에 관한 연구 -인천항 양곡하역사업 및 취급방안을 중심으로-”, 인하대학교 경영대학원 학위논문.

[9] 임준형(2007), “인천항 주요품목의 수입행태”, 한국항만경제학회지, 23권 4호, pp.227-242.

[10] 해양수산부(2004), 전국 항만물동량 예측, www.spidc.go.kr.

[11] Forrester, J.W., “Industrial Dynamics”, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1961.

[12] Forrester, J.W., “Urban Dynamics”, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1969.

[13] Jifeng, W., Huapu, L. and Hu, P.(2008), “System Dynamics Model of Urban Transportation System and Its Application″, Journal of Transportation System Engineering and Information Technology, Vol 8, No.3, pp.83-89.

[14] Lewis, C.D., “Industrial and Business Forecasting Methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting”, Butterworth Scientific, 1982.

원고접수일 : 2012년 6월 28일
심사완료일 : 2012년 8월 28일
원고채택일 : 2012년 8월 28일