2014년도 공동학술대회 논문집 pp. 175~177

시스템 다이내믹스를 이용한 부산항 환적물동량 예측모델에 관한 연구

† 송 상근 · 류 동근*

† 대통령 비서실 해양수산비서관실 행정관, *한국해양대학교 해운경영학부 교수

요 약 : 본 연구는 부산항에서 차지하는 환적물동량의 위상을 고려하여 환적화물에 대한 정확한 예측을 위한 모델을 수립하는데 그 목적이 있다. 환적물량을 결정짓는 요소로는 부산항의 경쟁력 뿐 아니라 중국 등의 수출입 물동량 증가량과 중국항만의 경쟁력도 중요요소이며, 이들 요소들이 상호간에 영향을 주고 받음에 따라 그러한 순환적 인과관계 분석에 적합한 시스템 다이내믹스(SD) 기법을 활용하여 환적화물에 대한 예측을 시도해 보고자 한다.

핵심용어 : 부산항, 환적화물, 컨테이너항만, 시스템다이내믹스

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경

- ㅇ 세계경제의 글로벌화로 해상물동량 급증 추세
- ㅇ 부산항 : 우리나라 대표 컨테이너항만, 2012년 1,705만TEU 처리
  - 이중, 환적 물량은 815만TEU로 47.8%를 차지
- ㅇ 2000년대 이후 중국항만의 대대적 인프라 확충과 막대한 자체 물량
  → 글로벌 선사의 중국항만 직기항 → 부산항의 위기와 도전
- ㅇ 휘발성이 강한 환적 화물, 환적 화물 유치가 부산항 미래 결정
- ㅇ 환적 화물에 대한 정확한 예측 중요
- ㅇ 기존, 항만물동량 예측 : 회귀분석, 시계열 분석 활용
  - 단일 시나리오, 단일 물동량 예측이라는 한계

* 부산항 자체 경쟁력 이외에 중국 물동량과 중국 항만경쟁력 요소도 상호 영향을 미침

2. 연구의 목적

- ㅇ 부산항 환적물동량에 영향을 미치는 경쟁요소 도출
  → 요소간의 상호 순환적 인과관계를 고려
  → 시스템 다이내믹스(SD) 기법을 활용
  → 부산항 환적물동량 예측

□ 부산항의 최대 환적 교역항(2012)

ㅇ 텐진항(1위, 84만TEU), 칭다오항(2위, 55만TEU), 다롄항(3위, 43만TEU), 상하이항(4위, 25만TEU), 닝보항(9위, 15만TEU)

□ 2004-2012년 9년간 부산항과 중국항만 환적물량 평균 증가율

ㅇ 텐진항(10.9%), 칭다오항(11%), 다롄항(11%), 상하이항(2.8%), 닝보항(2.7%)

⇒ 북중국 3개 항만은 환적물량과 비중확대 : 61%(2004) → 72%(2012)

⇒ 상하이항, 닝보항은 원양항로의 급증으로 부산항 환적비중 감소(각 3%씩 감소)

□ 부산항과 중국간 환적화물중 최대 환적지역은 북미지역(81만TEU, 37%), 중남미 포함한 미주지역 전체는 120만TEU(55%)

* 미주노선의 경우 마지막 기항지인 부산이 아시아-미주간 환적 거점, 구주항로의 경우, 상하이, 닝보항이 부산항보다 항로상의 경쟁력 보유

Ⅱ. 부산항 컨테이너 항만산업의 환경변화

1. 부산항 컨테이너물동량 처리 현황

ㅇ 2012년, 1,705만TEU 처리(수출입 880만, 환적 815만, 연안 9만TEU)

- 전체 증가율 : 18.5%(2010), 14.0%(2011), 5.3%(2012)
- 환적 증가율 : 16.8%(2010), 17.1%(2011), 10.8%(2012)

ㅇ 2004-2012년 9년간 연평균 5.1% 증가(수출입 3.7%, 환적 6.9%)
⇒ 환적화물의 증가가 부산항 전체화물의 증가세 주도

ㅇ 2006-2012년 7년간 연평균 경제성장률 3.9%, 교역액 증가율 9.7%(2.5배), 컨테이너물동량 증가율 5.8%(1.5배)

	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년
경제성장률	5.2%	5.1%	2.8%	0.8%	6.2%	3.8%	2.2%
교역액 증가율	18.6%	14.7%	17.7%	△20.0%	29.9%	21.4%	△1.84%
수출입물량 증가율	7.8%	11.2%	8.1%	△10.7%	19.1%	5.6%	1.9%

<표 2-1> 우리나라 경제성장률, 교역 및 컨테이너 수출입물량 증가율 비교(2006-2012)
• 출처 : 해양수산부, 항만컨테이너 물류 주요 통계(2013. 11)

Ⅲ. 선행 연구 고찰

➢ 항만경쟁 유발요인 선행연구

ㅇ 정일수 외2(1993) : 항만입지, 항만인프라, 항만비용, 서비스 수준, 항만관리주체 등

ㅇ 방희석 외2(2003) : 항만운영 효율성, 항만시설 조기확보(항만투자의 적시성) 등

ㅇ 여기태 외4(2004) : 항만운영 서비스, 항만배후지 현황, 항만 가용성·편의성 정도, 물류비용, 지역적 연계성

ㅇ 허윤수(2006) : 항만시설, 항만요율, 항만서비스, 선박입출항, 지정학적 위치, 배후경제 규모

➢ 선사의 환적항 선택에 관한 선행연구

ㅇ 박병인 외1(2008) : 컨테이너비용, 주항로 근접성, 선사전략, 터미널 계약정책, 피더항 근접성, 항만보안 및 선박회항 시간

ㅇ 임일규 외2(2010) : 환적 비용의 저렴성과 정부의 지원정책, 통관 간소화, 세제혜택과 환적 인센티브

➢ 항만경쟁유발요인 : 선행연구를 통해 도출

① 항만입지 : 주 간선항로상 위치 여부
② 수출입 물동량 : 자체 Local 화물
③ 발달한 피더 서비스망
④ 수심, 항만시설 등 항만인프라
⑤ 항만 생산성 : 운영의 효율성
⑥ 항만비용 : 하역료, 입출항료 등 항비
⑦ 기상여건 등 자연적 요인
⑧ 정부와 항만당국의 정책적 의지

† 주저자 : 종신회원, ssk960@bmail.or.kr
* 교신저자 : 종신회원, dkryoo@kmou.ac.kr

Ⅳ. 항만물동량 예측의 이론적 고찰

1. 항만물동량 예측의 필요성

○ 항만은 대규모의 투자액과 장기간 소요되는 SOC 시설
- 물동량 과다추정 → 과잉 개발 → 예산 낭비
- 물동량 과소추정 → 항만투자 위축 → 항만경쟁력 상실
⇒ 정확한 물동량 예측 필요

2. 항만물동량 예측 이론

○ 정성적 예측방법 : 델파이법, 시장조사법, 패널조사법
○ 정량적 예측방법
- 인과 예측방법 : 회귀분석, 상관분석
- 시계열 예측방법 : 단순이동평균법, 가중이동평균법, 지수평활법

3. 항만물동량 예측 선행연구

○ 전일수 외2(2004) : 현실세계의 불확실성 고려시 단순한 과거 시계열 자료 분석적
○ 김종길(2011) : 정량적 시계열 분석방법인 ARIMA와 정성적 인과모형 SD모델 사용하여 정부 예측치와 비교

4. 항만기본계획상의 컨테이너물동량 예측

○ 수출입 컨테이너물동량 예측
i) GDP를 이용, 수입과 수출의 積컨테이너물동량 예측
ii) 수입과 수출의 積컨테이너물동량 차이를 이용하여 空컨테이너물동량을 예측한 후 합산한 전체 물동량 예측
iii) 전국 컨테이너물동량 예측치에 항만별 배분비율 적용 → 항만별 예측

○ 환적 물동량 예측
i) 중국, 미국, 일본 3국의 수출입 컨테이너물동량을 이용, 회귀모형 활용 예측
ii) 항만별 배분은 환적화물 실적비율을 적용(부산항 95.9%, 광양항 3.8%)

5. 시사점

○ **기존 방식** : 회귀분석(인과모형), 시계열 분석을 활용하는데 독립변수가 종속변수에 영향을 미치는 **단선적, 일방향 인과관계**

○ 반면, 부산항 환적물동량(종속변수)에 영향을 미치는 요소(독립변수)는 부산항 자체 경쟁력, 부산항 물동량, 중국의 물동량, 중국항만의 경쟁력 등 다양
- **독립변수들 상호간 영향**을 주고 받고, **독립변수들과 종속변수간 서로 영향**을 주고 받음

⇒ **상호 순환적 인과관계, 동태적 관계 고려시** 시스템 다이내믹스(SD) 기법 유용성 부각됨

Ⅴ. SD를 이용한 환적물동량 예측모델 구축 및 전망

1. SD 연구방법 개요

□ SD 개요

○ 시스템 다이내믹스 : 1961년 미 MIT대학 Jay W. Forrester의 『산업동태론(Industrial Dynamics)』에서 출발
- 시스템 구조를 모델화하여 컴퓨터에서 시뮬레이션하여 정책 효과를 분석하는 방법론

○ 시스템(System), 다이내믹스(Dynamics)라는 두 개의 단어 합성
- 시스템 : 관찰하고자하는 대상이나 공간상의 영역이며, 경계에 의하여 다른 사물과 구분
- 다이내믹스 : 시간의 변화에 따라 대상이 변화하는 것을 의미

□ SD의 특징

① 피드백 구조 : 변수들간의 인과관계가 상호 연결되어 하나의 폐쇄회로를 형성(회귀분석, 시계열분석 등 단선적 관계에서 순환적 인과관계를 강조)
② 동태적 변화 : 시간의 경과에 따른 시스템의 행태변화에 관심을 둠. 즉, 시스템의 변화, 진화, 발전, 쇠퇴라는 실천적인 측면 중시

* SD는 동태성(Dynamics)의 원인으로 피드백(Feedback Loop)과 시간지연(Time Delay)으로 보며, 피드백 구조를 이루는 인과관계 대부분이 비선형적(Non-Linear)임을 강조

2. SD를 이용한 부산항 환적물동량 예측

(1) 인과지도 작성

□ 문제의 정의

○ 시뮬레이션 목표와 범위 : 부산항 환적물동량 예측을 위해 SD 기반의 모델링과 시뮬레이션을 통하여 도출되는 변수
① 한국 경제성장률, 중국 경제성장률에 따른 2030년까지 부산항 환적물동량 예측치
② 중국 항만시설 증가수준 고려시 2030년까지 부산항 환적물동량 예측치

○ SD 기법 이용한 모델링, 시뮬레이션 통해 부산항 환적물동량 예측 연구가설 (Hypothesis)

- "중국의 항만시설 증가와 중국항만 경쟁력 증가로 중국항만으로의 직기항이 늘어나게 되면, 상대적으로 부산항의 환적물량 증가세가 둔화될 것이다."

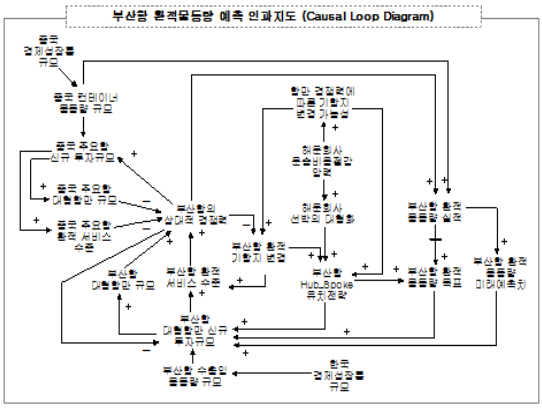
□ 부산항 환적물동량에 영향을 미치는 주요변수 선정

① 물동량 요소 : 우리나라 경제성장률에 따른 수출입물동량 증가율, 중국의 경제성장률에 따른 중국의 물동량 증가율

② 선사 선박운항전략 요소 : 선박대형화를 통한 비용절감을 위해 중심항만 기항전략(Hub & Spoke), 직기항 전략(Direct), 전략적 제휴에 따른 공동운항 전략

③ 항만경쟁력 요소 : 항만입지, 수출입 물동량, 피더 서비스망, 항만인프라, 항만생산성, 항만비용, 기상여건 등 자연적 요인, 항만 당국의 정책적 의지 등 8가지 항만경쟁력 요소

□ 부산항 환적물동량 예측 인과지도(Causal Loop Diagram)



(2) 저량-유량 흐름도(Stock-Flow Diagram)

□ 개념

○ 인과지도에서 제시된 개념을 바탕으로 변수들간의 관계를 계량화하여 컴퓨터 모델을 작성하고 컴퓨터상에 다양한 시뮬레이션을 할 수 있도록 모형화 (Stock-Flow Modeling)

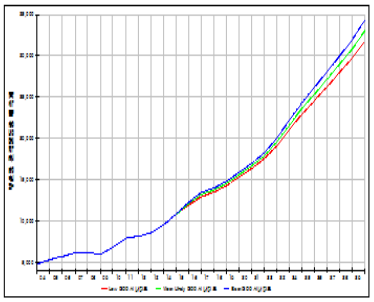
○ Stock 변수 : 저량 또는 수준(Level) 변수, 스톡은 시간에 따른 변화량의 결과값으로 현재 시점의 누적량(댐의 저수량은 유입량과 유출량의 차이를 누적적으로 보전하게 되는데 그 결과를 '수위'라는 값으로 표현하다. 이 때 댐의 수위가 스톡)

○ Flow 변수 : 스톡의 변화를 일으키는 유입량(Inflow)과 유출량(Outflow), 플로우는 시간에 따른 변화량임

	스톡 변수 (Stock variable)	플로우 변수 (Flow variable)
1	부산항 환적 물동량	부산항 환적 물동량의 시간에 따른 변화량
2	부산항의 상대적 경쟁력	상대적 항만경쟁력의 시간에 따른 변화량
3	중국 주요항만의 대형항만 규모	중국 주요항만의 대형항만 규모의 시간에 따른 변화량
4	중국 주요항만의 환적서비스 수준	중국 주요항만의 환적서비스 수준의 시간에 따른 변화량
5	부산항 대형항만 규모	부산항 대형항만 규모의 시간에 따른 변화량
6	부산항 환적서비스 수준	부산항 환적서비스 수준의 시간에 따른 변화량
7	부산항 환적 물동량 미래 예측치	기간별 부산항 환적 물동량의 시간에 따른 변화량

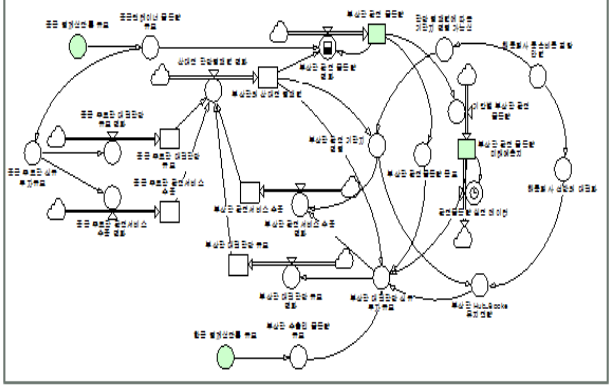
부산항 환적물동량 예측결과

* 예측 결과 : 2004년부터 2030년까지 부산항 환적물동량 예측치



환적물동량(천TEU)	GDP Forecasts		
년도	Low	Most Likely	High
2004	4,792	4,792	4,792
2005	5,340	5,340	5,340
2006	5,734	5,734	5,734
2007	6,161	6,161	6,161
2008	6,217	6,217	6,217
2009	5,959	5,959	5,959
2010	6,840	6,840	6,840
2011	7,888	7,888	7,888
2012	8,147	8,147	8,147
2013	8,570	8,570	8,570
2014	9,517	9,517	9,517
2015	10,813	10,813	10,813
2016	11,886	12,065	12,245
2017	12,928	13,192	13,456
2018	13,485	13,742	14,001
2019	14,260	14,526	14,791
2020	15,296	15,584	15,872
2021	16,344	16,654	16,965
2022	17,507	17,855	18,206
2023	19,097	19,533	19,975
2024	21,046	21,616	22,195
2025	22,898	23,592	24,297
2026	24,569	25,363	26,169
2027	26,256	27,152	28,062
2028	27,975	28,976	29,990
2029	29,709	30,815	31,940
2030	31,771	33,027	34,305

□ Stock-Flow Diagram



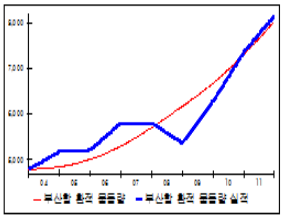
부산항 환적물동량 예측결과 분석 (예측 모형의 신뢰성 분석)

MAPE(mean absolute percentage error)

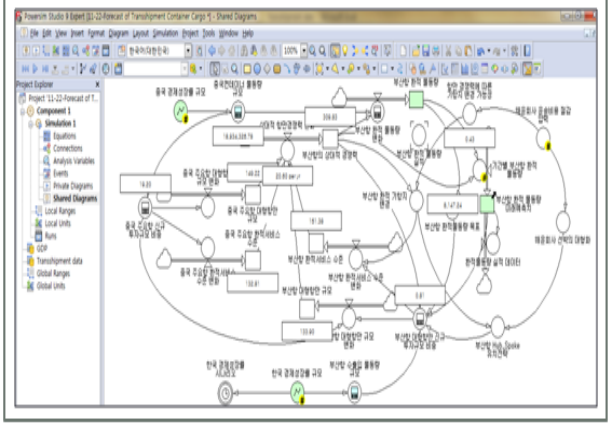
A : 실적치
F : 예측치

$$M = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{A_t - F_t}{A_t}\right|$$

Year	Actuals	Forecasts		
2004	4,792	4792		
2005	5,179	5340.347		
2006	5,208	5734.397		
2007	5,811	6160.545		
2008	5,808	6217.283		
2009	5,372	5959.064		
2010	6,276	6839.827		
2011	7,353	7887.959	MAPE	Reliability
2012	8,148	8147.238	0.059424	0.940576



Powersim 프로그램을 이용한 부산항 환적물동량 예측 화면



Ⅵ. 결 론

1. 연구의 요약 및 시사점

○ 부산항 환적물동량에 영향을 미치는 요소는 부산항 물량과 시설규모 등 부산항 자체 경쟁력과 중국의 물동량 증가율과 시설규모 등 중국항만의 경쟁력에 영향을 받음
- 변수는 단선적 인과관계가 아닌 독립변수간 상호 영향, 독립변수와 종속변수간에도 상호 영향을 미침(SD기법을 활용하여 부산항 환적물동량 예측을 시도)

○ 중국의 항만시설과 부산항 항만시설이 물동량을 처리하는데 지장이 없을 정도로 충분히 개발된다고 가정할 경우, 중국 항만시설이 대규모로 확충되어도 부산항 환적 물동량 증가세는 크게 둔화되지 않음을 알 수 있음

→ 중국 항만시설 확충으로 중국 항만경쟁력이 증가하더라도 기상악화에 따른 Port Closing 등 중국항만의 약점과 부산항의 강점(주 간선항로, 저렴한 항만비용)이 지속 유지된다면 동북아 환적 중심항으로서의 부산항의 비전은 여전히 유효함

2. 연구의 한계

○ 개념적으로 SD기법은 모든 요소를 고려하나, 현실 분석시에는 많은 변수에 대해 가정과 조건을 부여할 수밖에 없어 분석상의 한계와 자료상의 한계를 지니고 있음

→ 향후 연구에서는 현실에 부합되는 조건을 지속 개발·검증할 필요가 있음