

System Dynamics법을 이용한 동북아항만 경쟁모델에 관한 연구

여 기 태* · 이 철 영**

On the Competitive Model among Northeast Asia Port
by System Dynamics Method

K. T. Yeo · C. Y. Lee

Key Words : 동북아항만(Northeast Asia Port), 단위항만모델(Unit Port Model) , SD(System Dynamics)법, 구조모델(Structure Model), HFP(Hierarchical Fuzzy Process)법, 항만경쟁력(Port'competitive power), 사회 기술 지리 생물영역도(STGB Map)

Abstract

If a system has a large boundary and complexity, forecast's accuracy will be very low when consider the system's substance as black box. Thus, it is necessary that analysis by structure model. To examine competition in Northeast Asia Ports, it has assumed that the form of structure model, For which the System Dynamics method is adapted in this paper. Northeast Asia Ports Model includes five ports - Pusan, Kobe, Yokohama, Kaoshiung, Keelung, - which are adjacent to each other by geographically and has a competition relation. The Northeast Asia Ports Model has several sub-systems which consists of each unit port models. And, each unit port model found by quantitative, qualitative factors and their feedback loops.

All effects which components of one port have influence to components of the rest ports must be surveyed in order to construct Northeast Asia Ports Model, but it may be impossible currently. In this paper Northeast Asia Ports Model was simplified by HFP-Hierarchical Fuzzy Process Method -adapted to integration of level variables of unit port model. Container cargo volumes in Northeast Ports Model is distributed by results of HFP method. And, distributed container cargo volumes effected to unit port model. Developed model can estimate change of container cargo volumes in competitive relation by alternation of simple parameter, and reflects dynamics characteristics which are included in model.

* 정회원, 양산대학 교통물류정보과 전임강사

** 정회원, 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

1. 서론

시스템의 경계가 작고, 시스템에 작용하는 힘이 단순할 때에는 시스템의 내용이 불확실하더라도, 시스템을 Black Box로 취급하여 시스템으로부터 발생하는 자료 또는 정보를 통계적으로 처리함으로써 장래를 예측할 수 있으며, 이러한 외삽법(Extrapolation)에 의해서도 매우 정도가 높은 시스템의 장래의 움직임을 예측할 수 있다. 그러나, 시스템의 경계가 크고, 거기에 작용하는 힘이 복잡해지면, 시스템의 내용을 Black Box로 생각하여 예측하는 것은 그 정확도가 매우 낮아진다. 따라서, 시스템의 구조를 파악하여 예측할 필요가 생기게 되는데, 이러한 구조모델은 구성요소들이 복잡하게 상호작용 해가면서 동적으로 변화하는 시스템의 내부구조를 해석하는데 유효하다. 본 연구에서는 복잡하고 동적으로 변화하는 구조모델 형태를 가진 동북아 항만들 사이에 존재하는 경쟁을 규명하기 위하여 System Dynamics 법을 도입하였으며, 모델의 경계는 부산항을 기준으로 지리적으로 인접하고, 경쟁관계에 있는 요코하마, 고베, 카오슝, 기륭항으로 하였다. 구조모델은 전체시스템을 비교적 소수의 서브시스템으로 분할할 수 있고, 서브시스템사이에는 다이나믹한 상호작용을 갖는 특성이 있는데, 동북아항만 경쟁모델 역시, 각 단위항만모델을 서브시스템으로 하여 구성되는 구조모델로 파악할 수 있다. 또한, 각 단위항만모델은 경쟁의 구성요소를 획득 및 이를 이용한 인과관계의 구축을 통하여 개발되는데, 많은 수의 변수, Table 함수, Parameter가 필요하다. 동북아항만 경쟁모델을 구성하기 위해서는 단위항만모델에서 구현된 모든 구성요소가 각각 다른 단위항만모델에 미치는 영향을 모두 조사하여 결정하여야 하는데, 이는 현실적인 한계가 있다. 따라서, 본 논문에서는 System Dynamics법의 가장 중요한 변수인 각 단위항만의 레벨변수만의 통합으로 간략화하여 항만간 경쟁을 모델화하였는데, 시스템내의 모든 단위항만모델의 레벨변수의 통합을 위하여 HFP(Hierarchical Fuzzy Process)법을 사용하였다. 대상 동북아항

만 사이에 경쟁적으로 유치되는 물동량의 변화는 HFP법의 결과치로서 대상항만 전체물동량을 배분함으로써 구할 수 있으며, 배분된 물동량은 다시 단위항만모델로 Feed-Back되어 영향을 미친다. 본 연구에서 개발된 모델은 각각의 항만에서 일어나고 있는 다양한 정량적, 정성적변수를 고려할 때 각 항만간에 경쟁적으로 유치되는 물동량의 변화를 간단한 Parameter의 변경만으로도 예측해 낼 수 있는 특징을 갖는다. 본연구의 Model개발은 Fig. 1.1 과 같은 흐름으로 구성하였다.

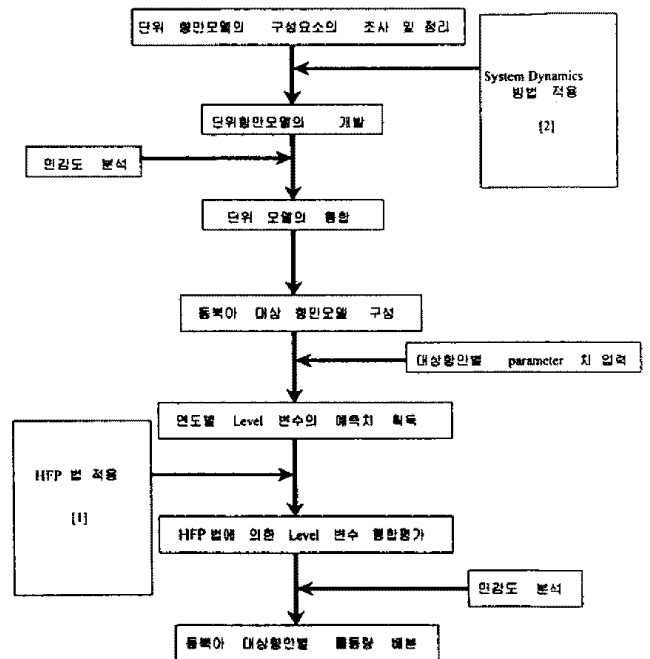


Fig. 1.1 Flow chart of Model Establishment

2. 대상항만별 단위항만모델의 개발

2.1 단위항만모델의 구성요소 추출

항만의 경쟁력 향상면에서 살펴보면, 오늘날 Container 항만은 항만의 대형화, 하역장비의 현대화, 대형 컨테이너 운항선사에 Terminal 임대, 지선망 개발, 효율인하, 무료장치기간 연장, 해륙 복합 일관수송을 위한 EDI 서비스(서비스 향상), 선박 체선시간의 zero화, 충분한 장치일수 제공, 트럭에 의한 반출시간 축소, 특수화물의 신속 안전한 작업 등

의 여건을 갖추어 치열한 유치경쟁을 벌여가고 있으며, 대형 컨테이너선사 또한, 규모경제의 실현방편으로 소수의 대형항만에만 기항하고, 소형 항만은 Feeder선에 의한 수송을 행하고 있다. 동북아항만 경쟁모델의 서브시스템인 단위항만모델을 작성하기 위해서는 경쟁력 평가에 사용되는 구성요소를 정의하고 이를 사용하여, 인과관계를 규명하여야 한다. 먼저, 기존의 연구문헌의 내용을 살펴보면, Allen은 수송거리를, Murphy는 항만체선, 항만규모, 항만 근접도, 선박기항빈도 등을, French는 내생적 구성요소로서 터미널시설, 효율, 항만혼잡, 서비스, 연계 수송능력, 항만관리운영자를 제시하였고, 외생적 구성요소로서 배후지 경제규모, 국민 경제상태, 통상정책, 세계경기를 고려하였다. 또한, Peters는 내적 구성요소로서 서비스, 이용가능한 설비의 능력, 설비의 상태, 항만운영전략, 항만인적 요소를, 외적 구성요소로서, 국제정치, 사회환경변화, 무역시장, 경제요인, 경쟁가능항만에 대한 특성, 수송 및 하역기능 변화 등을 생각하였다. Slack은 기항항차수, 효율, 항만 접근용이성, 항만혼잡, 연계수송망 등을 고려하였으며, 김학소는 항만시설, 장비보유 현황, 생산성, 가격경쟁력, 서비스 질을, 이석태는 지리, 시설, 물동량, 비용, 서비스, 운영형태 등을 경쟁력의 구성요소로서 정의했다. 본연구에서는 최근 국내에서 발표된 논문의 구성요소인 입지, 시설, 물동량, 비용, 운영형태를 기준으로 하여, 단위항만 모델을 작성하였는데 구성요소의 세부사항은 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 Detail items of Port's competitive power

항만입지	항만시설	물 동 량	항만비용	서비스수준	종 합
정기선취항수 이로거리 입항수로거리 전면수심 확장계획 배후접근성	안벽길이 G/C수 CY면적 CFS 면적 리퍼 수 철도인입	취급물동량 환적화물량	항만시설사용료 하역료 경과보관료	취항선사수 체선척수 무료장치기간 ·수입 ·수출 ·환적 EDI 수준	항만입지 항만시설 물동량 항만비용 서비스수준

2.2 인과 관계 loop획득 및 단위항만모델 개발

기술정보에서 System의 구성요소를 추출하고

STGB 영역을 사용해서 정리하면 인과관계를 포함한 시스템의 구조가 분석과정 초기에 명확하게 되는데, STGB 영역상 Keyword Network를 사용하여, 구성요소간의 인과관계 loop도를 작성하면 Fig. 2.1과 같다. 인과관계 loop도에서는 몇 개의 인과관계 loop를 발견할 수 있는데, 「loop 1」은 「정기선 취항수 → 체선 → 항만비용 → 수출입화물량 → 정부투자이익 → 부두길이 → 정기선 취항수」로서 負(minus) loop가 되고, 「loop 2」는 「항만비용 → 항만의 경제성 → 정부 민영화 추진의욕 → 항만운영효율 → 항만비용」으로 되고, 正(plus)의 feedback loop가 형성된다. 「loop 3」은 「체선 → 장래개발계획 → 정보서비스 → 항만지원서비스 → 체선」으로 負(minus)의 feedback loop를 가지며, 「loop 4」는 「체선 → 장래개발계획 → 장치장면적 → 하역기기수 → 체선」으로 負(minus)의 feedback loop를 가진다. 「loop 5」는 「수출입화물량 → 정기선 취항수 → 항만의 경제성 → 항만지원서비스 → 수출입화물량」으로 正(plus)의 feedback loop를 가진다. feedback loop가 추출되면 level 변수를 결정하는 작업이 진행되는데, level 변수는 flow의 누적치로서 파악 가능한 구성요소를 선택한다. 즉, 정기선 취항수, 체선척수, 수출입화물량, 부두의 길이, 항만비용을 level 변수로써 선택하였다. 경쟁력 구성요소를 사용하여, 상세한 항만모델을 작성하기 위해서는, 사용되는 변수와 Parameter의 기호, 변수명 단위차원 정량치를 명확하게 정의해야 하는데, 단위항만별로 실증자료 및 전문가자문을 통해 입력치를 산정한다.

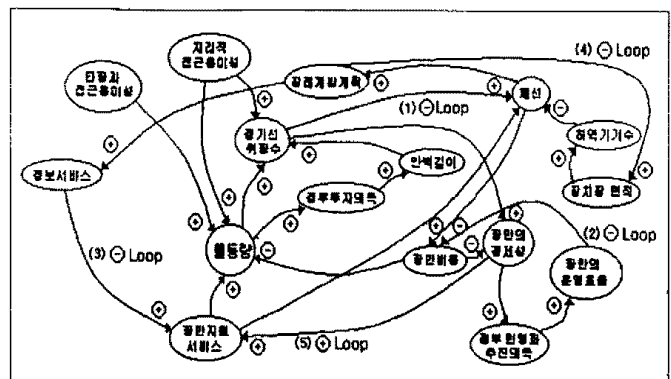


Fig. 2.1 Feedback Loops of Components

2.2 단위항만별 시뮬레이션

2.2.1 부산항

시뮬레이션은 개발된 항만모델을 사용하여 1995년 부산항을 기준으로 하여, Level변수의 초기투입치로서, 1000TEU급 이상의 컨테이너선을 대상으로 하는 정기선취항수 829척, 채선척수 79척, 컨테이너처리물동량 4,559,748TEU, 부두길이 2,162m, 1TEU 당 항만비용 117,349원으로 설정하였으며, Parameter변수로서, 정기선 취항수 증가율 3.1%, 채선증가율 7.4%, 컨테이너 물동량 증가율 14%, 부두시설증가율 7% 등을 각각 변수의 초기치로 투입하였고, 시뮬레이션기간은 1996~2003년까지 실행하였다.

실행결과 각각의 Level변수의 초기투입치에서 증가 및 감소의 변화를 확인 할 수 있었는데, 정기선척수는 838척에서 2003년에는 1500척으로 증가하고, 이에 따른 물동량 또한 4.84백만 TEU에서 7.73백만TEU로 증가함을 실행결과에서 얻을 수 있었다. 정기선 척수와 물동량의 연도별 증가에 따라, 1995년 초기투입치인 부두길이 2,294m 또한 2003년에는 4,729m로 확장해 주어야 함을 확인할 수 있었으며, 이에 따라 항만의 채선척수는 79척에서 연도별로 감소해 2003년에는 12척이 되었고, 항만비용은 파동성을 가짐을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션을 실행한 결과는 Table 2.2 및 Fig. 2.2와 같다.

Table 2.2 Fluctuation of components in Pusan

Level변수	항만	정기선취항수 (척/년)	채선척수 (척/년)	컨테이너물동량 (TEU/년)	안벽길이 (m)	항만비용 (원)
부산	1997	838	79	4,840,570	2,294	116,664
	1998	852	61	5,154,527	2,454	122,794
	1999	883	44	5,539,037	2,684	128,665
	2000	941	29	5,973,805	2,997	132,937
	2001	1,037	19	6,457,357	3,419	134,719
	2002	1,193	14	7,021,476	3,980	133,955
	2003	1,500	12	7,735,482	4,729	131,256

부산

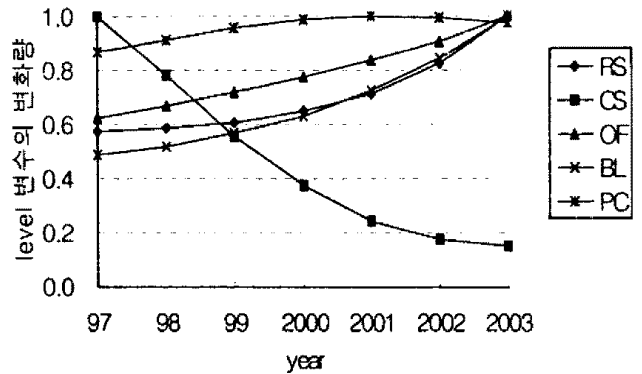


Fig. 2.2 Graph for fluctuation of components in Pusan

2.2.2 기타 단위항만별 시뮬레이션 실행결과

부산항 이외의 기타의 단위항만별로 시뮬레이션을 실행한 결과는 Table 2.3과 같다.

Table 2.3 Fluctuation of components in other competitive ports

Level변수	항만	정기선취항수 (척/년)	채선척수 (척/년)	컨테이너물동량 (TEU/년)	안벽길이 (m)	항만비용 (원)
고베	1997	766	149	1,368,780	10,276	113,526
	1998	793	147	1,394,440	10,385	116,312
	1999	830	143	1,428,011	10,531	119,982
	2000	879	137	1,468,555	10,718	124,542
	2001	943	127	1,514,830	10,946	129,869
	2002	1,025	113	1,565,175	11,218	135,685
	2003	1,128	95	1,617,620	11,537	141,485
	요코하	1997	851	9	2,859,190	5,206
1998		894	9	3,020,795	5,275	128,955
1999		953	9	3,245,712	5,370	133,014
2000		1,028	8	3,542,178	5,490	138,012
2001		1,119	8	3,921,202	5,639	143,732
2002		1,225	6	4,396,692	5,818	149,734
2003		1,344	5	4,986,413	6,031	155,295
카이슈	1997	711	19	5,264,382	5,727	95,605
	1998	753	18	5,503,264	5,873	98,909
	1999	809	17	5,828,162	6,073	102,408
	2000	879	15	6,246,099	6,333	106,117
	2001	962	13	6,766,625	6,660	109,239
	2002	1,052	10	7,405,573	7,063	110,575
	2003	1,141	7	8,192,166	7,557	108,709
기타	1997	765	8	2,038,876	3,287	94,884
	1998	818	7	2,130,236	3,384	97,793
	1999	885	5	2,254,617	3,519	99,849
	2000	963	4	2,416,363	3,693	10,050
	2001	1,043	3	2,623,058	3,913	99,089
	2002	1,114	2	2,887,504	4,184	95,314
	2003	1,158	1	3,229,808	4,516	89,313

3. 동북아항만 경쟁모델의 개발

3.1 흐름도

동북아항만 경쟁모델을 구성하기 위해서는 단위항만모델에서 구현된 모든 구성요소 즉 변수, Table 함수, Parameter 등이 각각 다른 단위항만 모델에 미치는 영향을 모두 조사하여 결정하여야 하는데, 이는 현실적인 한계가 있다. 따라서, 본 논문에서는 System Dynamics법의 가장 중요한 변수인 각 단위항만의 레벨변수만의 통합으로 간략화하여 항만간 경쟁을 모델화하며, 시스템내의 모든 단위항만모델의 레벨변수의 통합을 위하여 HFP (Hierarchical Fuzzy Process)법을 사용한다.

대상 동북아항만 사이에 경쟁적으로 유치되는 물동량의 변화는 HFP법의 결과치로서 대상항만 전체물동량을 배분함으로써 구할 수 있으며, 배분된 물동량은 다시 단위항만모델로 Feed-Back되어 영향을 미친다. 모델의 개념도는 Fig 3.1과 같다.

SD방법에서 채택된 레벨변수 통합 평가를 위한 계층퍼지 분석법(HFP)의 도입은 평가속성별 중요도 $w(\cdot)$ 와 평가속성간 상호작용계수 λ 가 필요한데, 구성요소간의 쌍대비교를 하게 하는 설문조사를 통해 산정한 값을 입력치로 하였다. 또한 평가속성별, 연도별, 각 단위항만별 $h(\cdot)$ 치는 System Dynamics법에서 획득한 Level변수의 결과치를 사용하였다.

3.2 시뮬레이션

3.2.1 표준시뮬레이션시 시스템거동

단위 항만별로 항만의 여건을 살펴보면, 한국의 컨테이너 취급실적은 1990년 254만TEU에서 1995년 492만TEU로 연평균 14.1%의 높은증가율을 나타내고 있는데, 항만별로는 부산항의 비중이 약간

씩 줄어들고 있으나, 1995년 현재 전체 취급물량의 92.7%의 높은 비중을 차지하고 있으며, 나머지는 대부분 인천항에서 처리되고 있다. 일본 항만의 경우 1995년에 있었던 한신대지진의 영향으로 큰 변동이 초래되었는데, 고베항의 컨테이너 취급실적은 1990년 260만TEU에서 1994년에 292만TEU로 연평균 2.9% 증가되었다가 1995년 지진이 발생한 후로는 물량이 대폭 감소되었고, 오오사카, 요코하마, 나고야 등은 1990년부터 1994년까지 연평균 8~9% 정도의 비교적 큰 폭의 물량 증가세를 보여 왔는데, 특히 1995년 부터 중진 고베항에서 처리되던 물량이 대폭 전배되어 매우 큰 폭의 증가세를 기록했다. 대만 항만의 컨테이너 취급실적은 1990년 545만TEU에서 1995년에는 763만TEU로 연평균 7.0%씩 증가되었다. 대만 제1의 컨테이너항인 카오슝항의 컨테이너 취급량은 1995년 505만TEU로 전체의 66%를 차지하고 가류항은 217만TEU로 28%를 차지하고 있다. 이와같이 지리적으로 인접하고 경쟁관계에 있는 항만간에 일어나는 물동량의 변화치를 간단한 parameter의 변경만으로도 쉽게 파악 할 수 있는 동북아경쟁 항만 모델이 필요하게 되는데, 본 절에서는 단위 항만에서 발생할 수 있는 항만체선율의 증가, 또는 항만비용의 증가 등의 다양한 상황을 가정하여 개발된 모델에 의한 시뮬레이션을 실행한다. 각 항만의 실증치를 단위항만 모델에 입력하여 표준시뮬레이션을 실시하면 Table 3.1과 Fig 3.2와 같다.

Table 3.1 Estimated container cargo volumes according to fuzzy integral values
(unit : TEU)

구분	부 산	고 베	요코하마	카오슝	가류
1997	5,144,025	1,644,494	3,435,118	5,283,036	2,449,568
1998	5,330,683	1,696,016	3,674,101	5,634,301	2,590,942
1999	5,488,376	1,732,855	4,149,002	6,004,287	2,735,920
2000	5,770,688	1,794,571	4,328,534	6,530,510	2,952,790
2001	6,001,327	1,826,597	4,728,225	7,014,239	3,162,909
2002	6,223,604	1,848,608	5,192,878	7,509,121	3,410,394
2003	6,563,581	1,904,682	5,871,299	7,592,208	3,802,968

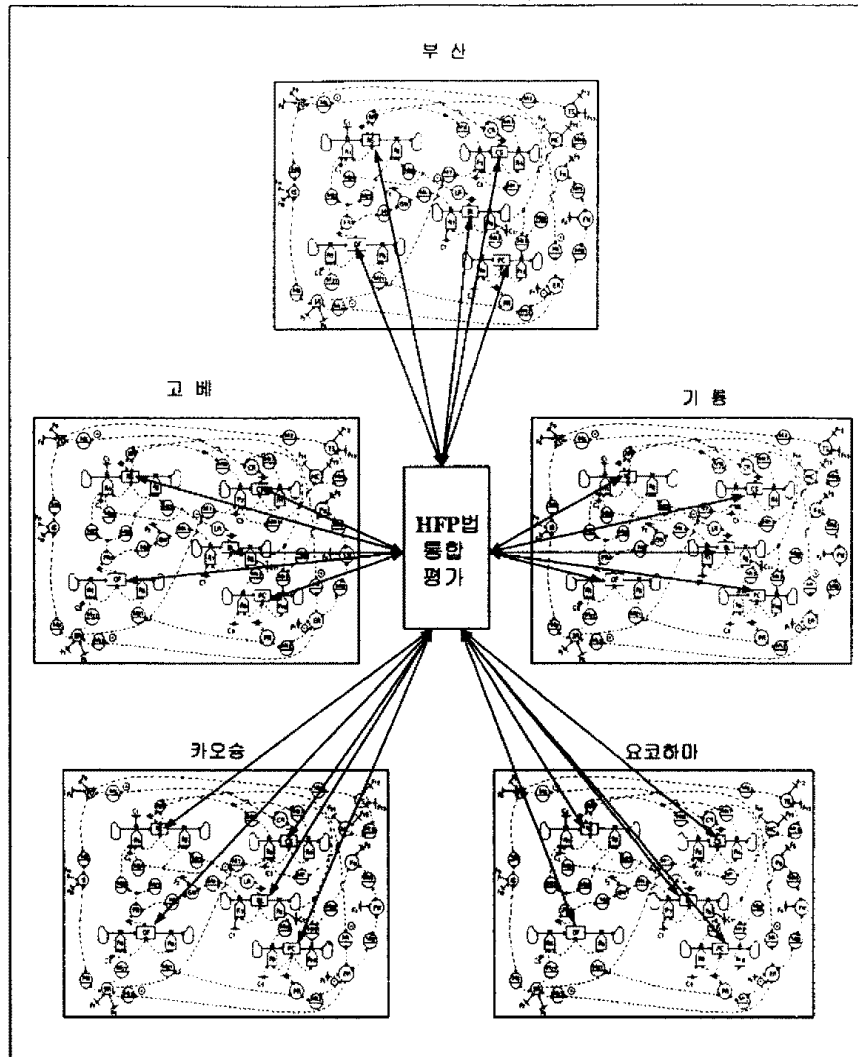


Fig. 3.1 Unification concept of each unit port models by HFP method

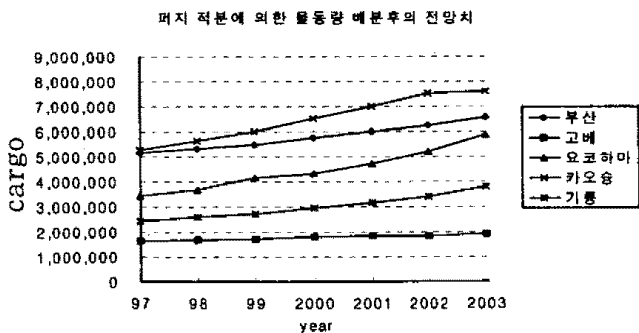


Fig. 3.2 Change of estimated container cargo volumes at basic simulation

위의 결과로부터 동북아 항만간 경쟁상황을 고려하여 System Dynamics법에 의해서 시물레이션한 부산항의 물동량 예측치와 단순히 자료에 의존하여 예측한 기존의 전문기관의 물동량예측치를 비교하면 Table 3.2와 같다.

Table 3.2 Comparison of estimated container cargo volumes (unit : TEU)

구분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
KMI 예측치	5,169,681	5,595,313	6,020,945	6,446,577	6,872,209	7,297,841	7,723,473
시물레이션결과치	5,144,025	5,330,683	5,488,376	5,770,688	6,001,327	6,223,604	6,563,581

위와같이 동북아 인접항만간 경쟁상황을 가정하여 부산항의 물동량을 예측하여 보면 기존의 예측치 보다는 다소 작은 규모로 물동량이 전망되는 것을 알 수 있다.

3.2.2 부산항 항만비용 c_9 변경에 따른 변화

특정항만의 항만비용증가에 따른 경쟁항만으로의 물동량 이동현상을 알아보기 위해 특정항만의 항만비용 c_9 을 증가시켜서 시뮬레이션을 실시한다. 즉, 경쟁관계에 있는 본 연구의 대상항만 중 부산항의 항만비용 증가율을 표준모델에 비해서 15% 증가시키고, 이외의 항만은 실증자료를 채택한다. 이 경우에는 부산항의 항만비용 증가에 따라서 물동량은 인접 경쟁항만으로 전배 될 것이라는 예측을 할 수 있는데, 본 모델에서는 Parameter c_9 을 증가율만큼 수정해줌으로써 쉽게 변화를 파악 할 수 있다.

연도별 각 단위항만별 물동량 변화치는 Table 3.3 및 Fig. 3.3과 같이 나타난다.

Table 3.3 Estimated container cargo volumes by increase of parameter c_9 (unit : TEU)

구분	부 산	고 배	요코하마	카오슝	기 룡
1997	4,388,975	1,741,407	3,637,557	5,594,377	2,593,926
1998	3,879,516	1,877,048	4,066,275	6,235,706	2,867,499
1999	3,212,406	2,002,579	4,794,806	6,938,872	3,161,774
2000	2,572,045	2,162,381	5,215,698	7,868,985	3,557,985
2001	4,603,569	1,979,188	5,123,212	7,600,196	3,427,133
2002	3,887,217	2,069,077	5,868,372	8,485,915	3,854,022
2003	4,232,518	2,099,839	6,472,880	8,736,872	4,192,625

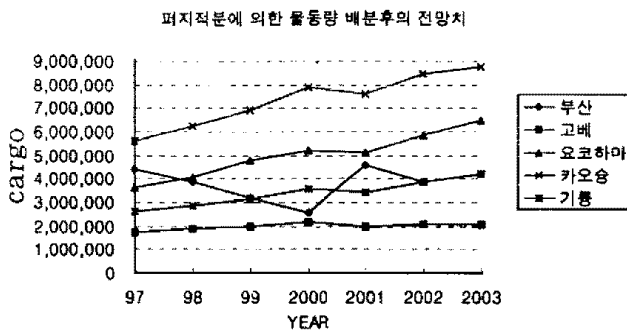


Fig. 3.3 Change of Estimated container cargo volumes by increase of parameter c_9

위의 변화량에서도 알 수 있듯이, 부산항 표준모델의 실증자료보다 항만비용증가율이 15% 증가할 때에는 부산항의 물동량은 감소해가는 파동성을 가지며, 이때 감소된 물동량은 인접 경쟁항만으로 전배됨을 파악 할 수 있는데, 부산항의 항만비용증가라는 변화요인이 인접 경쟁항만에 어떠한 영향을 미치는지를 명확하게 파악 할 수 있다.

3.2.3 부산항 체선율 c_3 변경에 따른 모델의 변화

경쟁관계에 있는 본 연구의 대상항만 중 부산항의 항만체선율을 표준모델에 비해서 20% 증가시키고, 모델내의 다른 항만들은 실증자료를 사용하였을 경우, 부산항의 항만체선율 증가에 따라서 물동량은 인접 경쟁항만으로 전배 될 것이라는 쉽게 예측을 할 수 있는데, 연도별 각 단위항만별 물동량 변화치는 Table 3.4 및 Fig. 3.4와 같이 나타난다.

Table 3.4 Estimated container cargo volumes by increase of parameter c_3

(unit : TEU)

구분	부 산	고 배	요코하마	카오슝	기 룡
1997	5,058,683	1,655,448	3,457,999	5,318,227	2,465,884
1998	4,887,266	1,751,332	3,793,934	5,818,065	2,675,446
1999	4,504,162	1,849,494	4,428,272	6,408,437	2,920,076
2000	4,035,433	1,994,107	4,809,818	7,256,629	3,281,107
2001	3,368,835	2,113,982	5,472,131	8,117,810	3,660,540
2002	5,116,371	1,962,568	5,513,000	7,972,031	3,620,633
2003	4,359,560	2,087,432	6,434,637	8,685,253	4,167,854

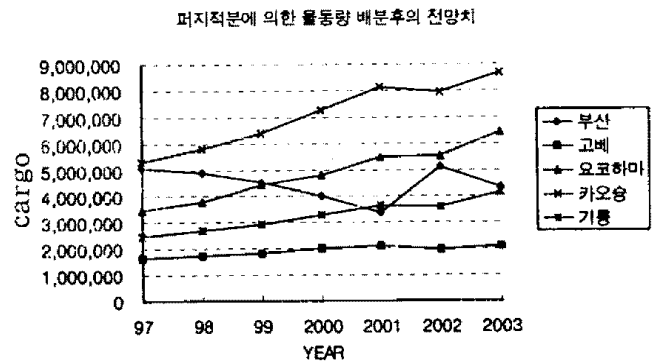


Fig. 3.4 Change of Estimated container cargo volumes by increase of parameter c_3

4. 결 론

본 연구는 부산항을 기준으로 지리적으로 인접하고, 경쟁관계에 있는 요코하마, 고베, 카오슝, 기륭항을 모델의 경계로 하여 다양한 경쟁의 요소를 추출하고, 요소간의 인과관계를 구현하여 동북아 항만 모델을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다.

또한, 본 연구에서는 구성요소가 복잡하고, 요소간에 다양한 동적인 변화가 존재하는 동북아항만 모델을 개발하기 위해 SD(System Dynamics)법을 사용하였으며, 이를 통하여 하나의 요소치의 변화가 각각의 Subsystem인 단위항만의 다른 요소치의 변화에 어떠한 영향을 미치는지와 더 나아가 전체 System인 동북아항만모델에는 어떠한 영향을 미치는지를 파악할 수 있었다. 개발된 단위항만 모델에 대한 시뮬레이션을 실시하면 항만별, 연도별 각종 Parameter들의 동적인 움직임이 반영된 레벨변수의 변화치를 구해낼 수 있었는데, 각 항만별 레벨변수의 통합은 HFP법을 사용하여 수행하였으며, HFP의 평가치로서 대상항만의 전체 물동량을 배분하였다. 개발된 동북아항만모델은 각각의 항만에서 일어나고 있는 선석의 길이, 정기선 취항수, 장래개발계획 등의 다양한 정량적 정성적변수를 고려할 때 각 항만간에 경쟁적으로 유치되는 물동량의 변화는 어떠한가를 간단한 Parameter의 변경만으로도 예측해 낼 수 있는 특징을 갖는다.

참고문헌

- 1) 이철영 · 이석태, 상호연관성을 지닌 계층구조형 문제의 평가 알고리즘, 한국항만학회지 제9권 제1호, 1993. 6, pp.5-12
- 2) 여기태·노홍승·이철영, 퍼지적분을 도입한 계층구조의 평가 알고리즘, 해양안전학회지, 제2권 제1호, 1996
- 3) 해운항만청, 해운항만통계연보, 1990~1996.
- 4) 이철영, 시스템공학 개론, 효성출판사, 1997, pp. 121-175.
- 5) 이철영, 항만물류시스템, 효성출판사, 1998, pp. 66-95.
- 6) J. W. Forrester, *Industrial Dynamics*, The MIT Press, 1961.
- 7) J. W. Forrester, *Urban Dynamics*, The MIT Press, 1969.
- 8) J. W. Forrester, *World Dynamics*, The MIT Press, 1971.
- 9) Taylor, A, J, *System Dynamics in shipping, Operation Research*, Vol.27, N0.1, 1976.
- 10) 阪神港研究會, システムの シミュレーション的 考察, (大阪港, 神戸港の場合), 關西物流近代化Center, No.18, 1978
- 11) 三木橋彦, “コンテナ・タミナルにおける コンテナの在庫管理の研究”, 日本航海學會, 1979.
- 12) 三木橋彦, “國際物流 システムの最適化に 關する 研究”, 1984, pp. 58-128.
- 13) 小玉陽一, “パソコン Basic システム ダイナミックス”, 東海大學出版社, 1985, pp. 1-50.
- 14) 大江秀房, “システム ダイナミックス ノート”, マダロウヒル 好學社, 1985, pp. 13-141.
- 15) 島田俊郎, “システム ダイナミックス 入門”, 日科技連, 1994, pp. 71-177.
- 16) S·D モデルによる 中長期 豫測, 海事産業研究所 SD研究會.
- 17) 海上輸送の構造變化とSD モデル, 海事産業研究所 SD研究會.
- 18) 여기태, 이철영, 컨테이너터미널 물류체계의 최적화를 위한 전략적고찰, 한국항만학회지, 11권 2호, 1997, pp. 145-156.
- 19) 여기태, 이철영. System Dynamics법을 이용한 동북아항만 경쟁모델의 개발에 관한연구, 한국항만학회 학술발표지, 1998, pp. 3-7.