

論 文
A 1-2

## 항만과 지역경제간의 동태적 모델에 관한 연구

오세웅\* · 여기태\*\* · 이철영\*\*\*

A Study on Dynamic Models for Ports and Regional Economy

S. W. Oh · K. T. Yeo · C. Y. Lee

**Key Words** : 시스템 다이내믹스(System Dynamics), 지역경제(Regional economy), 구조모델(Structural model), 피드백루프(Feed back loop), 양의 루프(Positive loop), 음의 루프(Negative loop), 인과순환지도(Causal loop diagram), 시스템 사고(System thinking)

### Abstract

If a system such as a port and regional economy has a large boundary and complexity, the system's substance is considered as a black box, forecast accuracy will be very low. Furthermore various components in a port and regional economy exert significant influence on each other. To cope with these problem the form of structure models were introduced by using SD model

This study has the issue of simplifying the regional economic effects of the port as contributing to raising the regional income. The regional economic effects of port have various indirect ones except for this. So, SD(System Dynamics) was presented, and applied to simulate port and regional economy.

### 1. 서론

현재까지 항만과 지역경제에 관한 연구는 많이 있어 왔는데, 예를 들면, 기여도 분석이라든가, 지역산업 연관 분석, 그리고 항만의 존재 여부에 따

른 비교분석 등이 형태로 행해져 왔다. 그러나, 항만과 지역경제간의 관계는 복잡한 요소들간의 상호관계에 의해서 그 영향이 결정이 되기 때문에, 수

\* 정회원, 한국해양대학교 대학원 석사과정

\*\* 정회원, 우석대학교 유통통상학부 전임강사

\*\*\* 정회원, 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

량적으로 나타낼 수 있는 정량적인 요소, 즉, 직접적인 효과 외에도 여러 가지의 간접적인 효과가 있을 것이고, 또한 역기능적이고 부정적인 효과도 있을 것이다. 위에서 언급한 방법들은 이러한 간접적인 효과나 부정적인 효과를 고려하지 않고 수행을 하여 복잡한 사회 시스템을 완벽히 표현하였다고는 볼 수 없다.

이에 본 연구는 정량적인 요소뿐만 아니라, 정성적인 요소, 부정적인 효과도 같이 고려할 수 있는 SD법을 사용하여 항만과 지역경제간에 관계를 구조 모델로 만들어, 그 구조모델의 동적인 관계를 분석하였다. 본 연구의 전개 방법은 항만을 움직이는 원동력, 즉 화물량이 계속적으로 증가를 하여야 항만의 화물을 다루는 항만관련산업이 발전한다는 인과관계를 도출하여 항만과 지역경제 간의 상호관련성에 대해 보다 체계적이고 분석적인 연구를 시도하였다.

## 2. 모델의 설계

### 2.1 요소추출

본 연구에서는 선행연구와 문헌자료를 통해 획득한 다양한 요소들을 바탕으로 모형을 구성하는 경계 내 요소들을 추출하기 위해, 항만관련 연구자(교수, 연구원), 지역경제 관련 연구자, 전문가 집단에게 자문을 구하여 항만과 지역경제를 잘 나타낼 수 있는 대표속성과 이에 포함되는 세부속성의 구조를 파악할 수 있었다. 요소 및 구조추출방법은 KJ법을 사용하였는데, 본 연구에서 이 방법을 채용한 이유는 선행연구에서 살펴본 수많은 요소들을 1:1로 비교하는 기존의 방법들과 달리 수많은 정보로부터 전체적인 의미나 내용을 종합적으로 단시간 내 병렬로 추출하는데 매우 유효한 방법이기 때문이다. 물론, KJ법은 인간의 직관과 경험을 적극 이용하려는 구조화 수법이기 때문에, 획득되는 결과는 상당히 주관적일 수 있으나, 이미 시스템공학의 여러 가지 단계에 널리 이용되고 있으며, 다른 방

법과 비교하여 방법론상의 우위를 가릴 수 없고, 특히 시스템 개발 초기에 부차시스템을 발견한다든지, 목표의 설정, 변수나 구성요소의 정리, 평가항목과 평가기준의 선정 시 대단히 유효한 방법으로 알려져 있다. 무엇보다도 이 방법을 사용한 이유는 기존의 통계학에서 많이 사용하고 있는 인자분석이나, 군집분석으로 문제를 해결하기 위해서는 선행연구에서의 수많은 구성요소 및 KJ법 수행 중에 발견되는 많은 요소를 각각 1 : 1로 비교해야 한다는 비현실적인 문제가 대두되기 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 이 분야의 전문가들을 대상으로 그들의 직관과 경험을 적극 이용하는 보다 현실적인 방법을 채택하기로 하였다.

### 2.2 요소간의 인과관계 루프의 구성

#### 1) 항만부분

항만시스템에서 일어나고 있는 정기선 취항수, 수출입 물동량, 항만자원 서비스, 항만의 경제성의 요소간에 관계를 분석하면, 정기선 취항수의 증가는 항만의 경영상태를 호전시켜 항만의 경제성을 높이는 양의 효과를 가지며, 높은 항만의 경제성은 항만이 다양한 항만자원 서비스를 선주 및 화주에게 제공할 수 있도록 하는 양의 효과를 가진다. 또한 높아진 항만자원 서비스는 항만에서 수출입 물동량을 원활히 처리 할 수 있도록 도와주는 정의 효과를 가지며, 늘어나는 수출입 물동량은 화물을 수송할 수 있는 정기선 취항수를 늘여가는 양의 효과를 가진다.

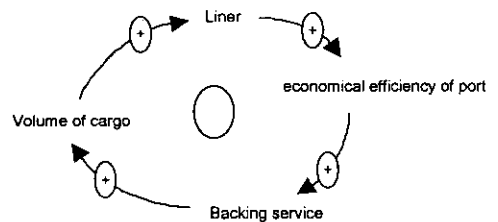


Fig. 1 정기선 루프

즉, 정기선 취항수 → 항만의 경제성 → 항만지원 서비스 → 수출입 화물량 → 정기선 취항수의 루프를 가지며 전체적으로 양의 피드백 루프를 형성함을 알 수 있다.

다음으로, 항만비용의 증가 및 감소에 대해서 살펴보면, 항만 내에서의 선박의 체선, 항만운영 효율성의 정도 및 항만의 민영화 정도 등 다양한 요소를 생각해 볼 수 있다.

즉, 항만에 있어서 경영상태를 호전시키고 효율적인 관리를 하기 위해서는 민영화의 추진의욕이 증대되게 된다. 또한, 민간의 활력이 도입되면 항만의 운영효율이 증대되게 되며, 이러한 증대된 운영효율은 항만 내에서의 재항비용, 선비 등 각종 비용의 절감을 기할 수 있다.

이러한 관계를 루프화해서 고찰해 보면, 항만비용 → 항만의 경제성 → 정부 민영화 추진의욕 → 항만운영효율 → 항만비용의 관계를 가짐을 확인할 수 있으며 전체적으로 양의 피드백 루프를 형성함을 알 수 있다.

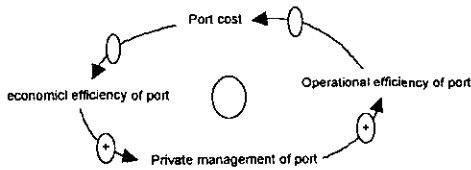


Fig. 2 항만비용 인과루프

체선의 경우, 화물량과 항만처리능력으로부터 얻을 수 있는 체선율, 항만의 장래 확장 및 시설증강을 포함하는 장래개발계획, 그리고 항만이 한해 처리할 수 있는 항만처리능력 등을 생각할 수 있다.

루프를 살펴보면, 장치장 면적과 장치장 면적에 소요되는 하역기기의 증감으로 인한 항만처리능력 역시 증가된다. 그리고, 장래개발계획 및 추진의 증가는 화물처리를 위한 항만처리능력을 증가시키므로 이 효과는 양의 효과라 할 수 있다. 항만처리능력의 증가는 체선의 감소효과를 가져와 음의 효과라 할 수 있다.

간략화해보면, 체선 → 장래개발계획 → 항만처

리능력 → 체선의 전체적으로 음의 피드백 루프를 형성한다. 이를 도식화하면 Fig. 3과 같다.

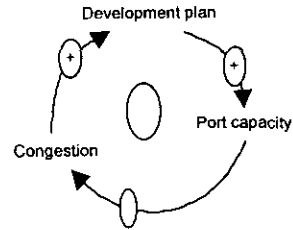


Fig. 3 체선에 관한 루프

항만이 취급하는 수출입 물동량의 증가 및 감소에 영향을 미치는 요소에는, 정기선 취항수, 선석길이, 정부의 투자, 체선율, 항만비용 등이 포함되며, 항만의 모든 인과관계가 거쳐가는 중요한 의미를 포함한다.

레벨변수인 수출입 화물량에 대해서 살펴보면, 만일 이 레벨변수를 제약하는 요인이 없다고 한다면 양의 피드백 루프에 의해서 생성되는 지수 함수적 성장패턴에 따라 수출입 화물량은 영원히 증가하게 될 것이다. 그러나, 항만부분의 모델 내에 포함되는 다양한 마이너스 루프 때문에 수출입 화물량은 줄어들거나, 현상을 유지하기도 하는데, 이러한 영향관계를 보면 다음과 같다.

수출입 화물량은 꾸준히 증가하고, 항만을 통한 이익발생이 커지면, 정부의 입장에서는 규모의 경제차원에서 항만을 지속적으로 개발 및 발전시킬 의욕을 갖게 될 것이다. 이것은 수출입 화물량의 증가가 정부투자의욕을 불러 일으키는 양의 효과이다. 정부투자의욕의 증대는 다시 선석을 확충하게 되고, 선석증가에 따라 항만의 시설여유를 확보할 수 있어, 선사에 대한 전용선석 임대 및 부가서비스 증대, 선석부족으로 인한 체선척수 감소 등 각종 항만의 기항매력을 갖게 하여, 정기선 취항선박의 수는 체선일 발생하는 상황을 맞게 된다. 또한 체선의 증가는 항만에서 지불하게 되는 각종 항비의 상승을 가져오게 되어 항만비용은 증가하게 되고, 결국 항만비용이 늘어나면 수출입 화물량은 감소하게 되는 인과관계를 형성한다.

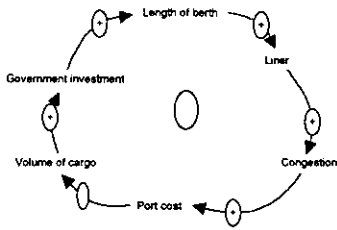


Fig. 4 수출입 화물량 인과지도

이러한 관계를 루프화해서 고찰해 보면, 정기선 취항수 → 체선 → 항만비용 → 수출입화물량 → 정부투자비용 → 선석길이 → 정기선 취항수의 음의 피드백 루프를 형성함을 알 수 있다.

## 2) 지역경제부분

지역경제 부분에서 처음으로 살펴볼 부분은 항만관련산업 루프이다. 항만관련산업 루프에 해당하는 요소로는 항만관련산업체수, 항만산업 총매출액, 항만관련산업 노동자수, 임금 등이고 이 루프는 항만 루프의 화물량과 연결되어 있다.

그 인과관계를 살펴보면, 화물량이 증가하면 할수록 항만 내에서 화물의 처리를 담당하고 있는 항만관련산업 업체수가 증가하게 된다. 항만관련산업 업체수가 증가함에 따라 총 매출액이 상승하고, 상승된 이익으로 부대시설이라든지 기기들을 더 보강하게 된다. 결국 수출입 화물량은 더욱더 증가하게 되는 양의 루프를 형성하게 된다. 또, 항만관련산업의 업체수가 증가함에 따라 각 항만관련산업에서 종사하고 있는 노동자수도 같이 증가하게 된다. 그러나, 증가된 노동자수는 노동비용을 증가시키게 되고, 이는 곧 항만관련산업의 비용적인 요소로 형성을 하여 항만관련산업 업체수를 감소시키는 결과를 낳게 된다. 이 루프는 음의 관계가 홀수개이므로 음의 피드백 루프를 이룬다.

이러한 관계를 고찰해 보면, 수출입 화물량 → 항만관련산업 업체수 → 항만관련산업 총매출액 → 항만관련산업 시설투자 → 수출입 화물량, 항만관련산업 업체수 → 항만관련산업 총노동자수 → 항만관련산업 총임금 → 항만관련산업 비용 → 항만

관련산업 업체수 → 수출입화물량로 형성함으로 알 수 있다.

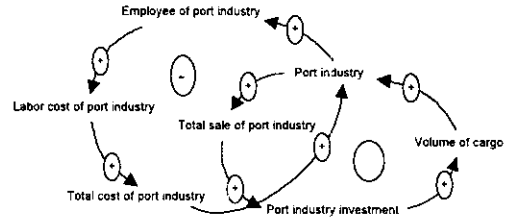


Fig. 5 항만산업 인과지도

다음으로 부산지역 경제를 나타내 주는 루프를 설명한다. 부산지역의 사업체 수가 증가하게 되면 업체에서 필요로 하는 노동수요가 증가하게 된다. 실업율은 노동수요와 총인구 중 경제활동 인구의 비율로서 표현되는데 이 실업율은 노동수요가 증가할 경우 음의 관계를 가진다. 부산지역 내의 실업율이 증가하면 할수록 시장 수요는 줄어드는데 이는 시장활동의 감소를 이끈다. 시장활동이 활발해 지면 질수록 부산의 지역총생산(GRDP)은 증가하게 되고, 이는 결국 사업체수의 증가로 이어지게 된다. 전체적인 루프의 인과관계중 음의 관계가 짝수 개이므로 전체적으로는 양의 피드백 루프를 이루고 있다.

이러한 관계를 다시 정리하면 부산지역 산업체수 → 노동 수요 → 실업율 → 시장수요 → 시장활동 → 지역총생산(GRDP) → 부산지역 산업체수의 양의 피드백 루프를 형성함으로 알 수 있다.

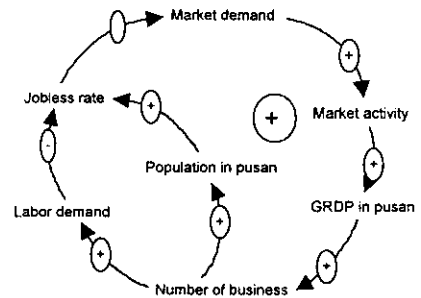


Fig. 6 부산지역경제 인과지도

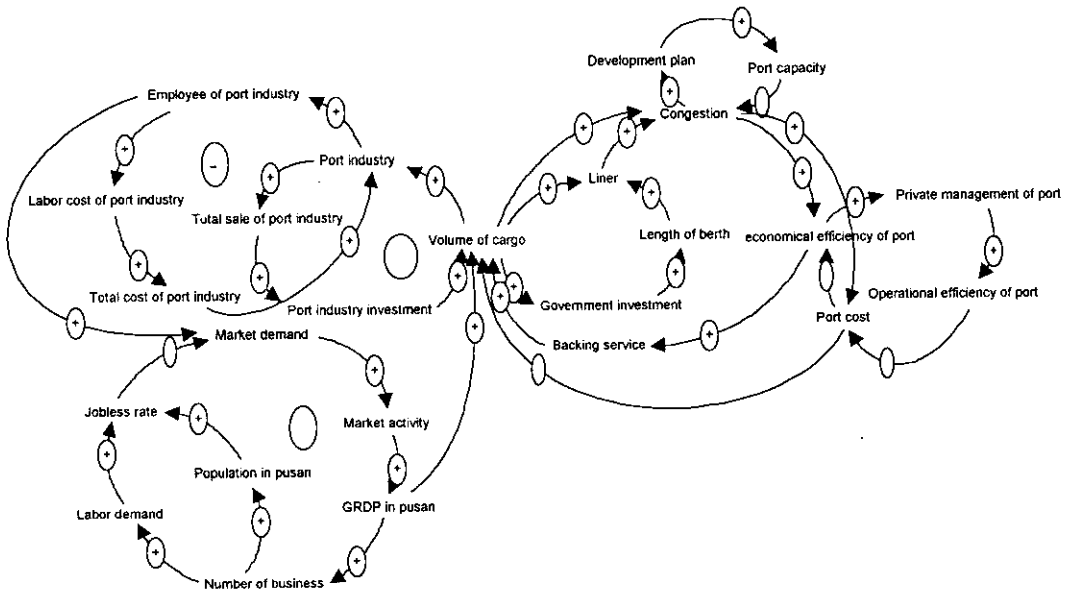


Fig. 7 전체 인과지도

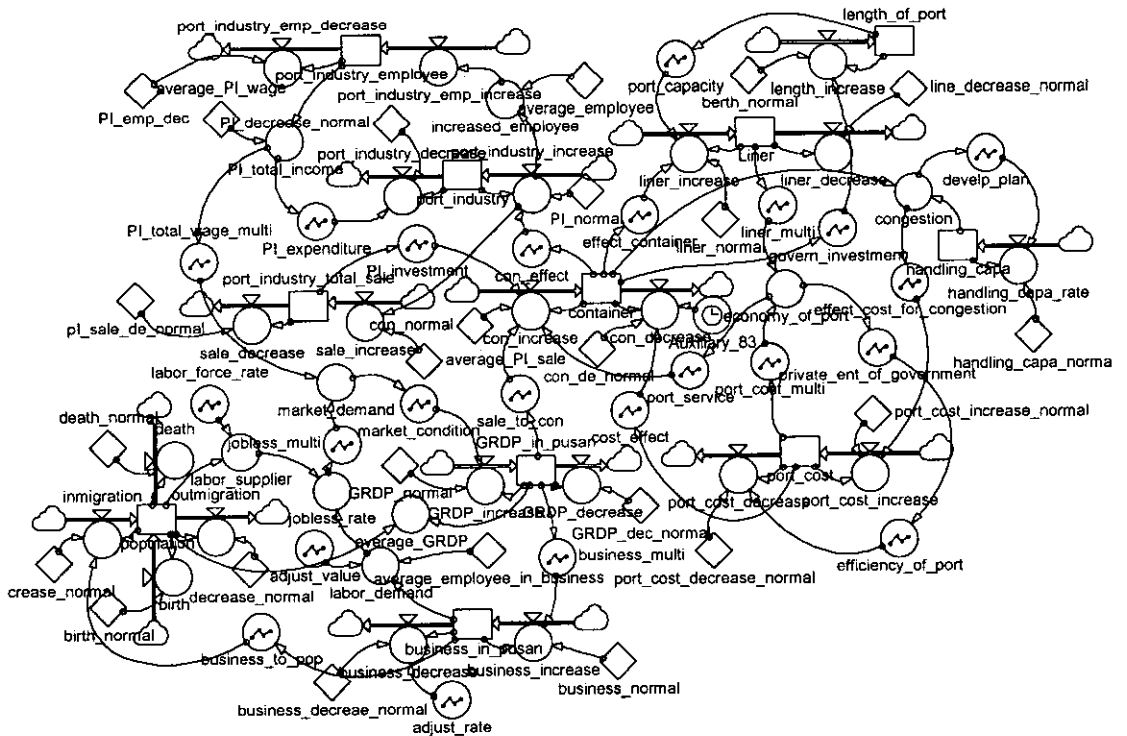


Fig. 8 전체 플로우 다이어그램

### 3) 전체적인 인과관계 루프도

전 절에서 발견할 인과관계 루프도를 종합하면 전체적인 모형 개발을 할 수 있는데, 인과관계 루프도를 정리하면 다음과 같다.

Loop 1 : 정기선 취항수 → 항만의 경제성 → 항만지원 서비스 → 수출입 화물량 → 정기선 취항수

Loop 2 : 항만비용 → 항만의 경제성 → 정부 민영화 추진의욕 → 항만운영효율 → 항만비용

Loop 3 : 체선 → 장래개발계획 → 항만처리능력 → 체선

Loop 4 : 정기선 취항수 → 체선 → 항만비용 → 수출입화물량 → 정부투자의욕 → 선석길이 → 정기선 취항수

Loop 5 : 수출입 화물량 → 항만관련산업 업체수 → 항만관련산업 총매출액 → 항만관련산업 시설투자 → 수출입 화물량, 항만관련산업 업체수 → 항만관련산업 총노동자수 → 항만관련산업 총임금 → 항만관련산업 비용 → 항만관련산업 업체수 → 수출입화물량

Loop 6 : 부산지역 산업체수 → 노동 수요 → 실업률 → 시장수요 → 시장활동 → 지역총생산(GRDP) → 부산지역 산업체수

전체 인과관계 루프도와 SD법의 상세한 기호를 사용한 플로우 다이어그램은 Fig 7, Fig 8.과 같다.

## 3. 시뮬레이션 수행

### 3.1. 모형의 변수 입력치

#### 1) 항만부분 입력치

모델 내의 레벨변수인 수출입화물량의 초기값을 1990년도를 기준값으로 총화물량값 63,371천톤으로 하였고, 수출입 화물량의 평균 증가율은 5.6%로 하였다. 항만하역능력의 경우 초기치를 43,385천톤으로 하였고, 평균 증가율은 11%로 정하였다. 부두길

이의 초기값은 2,800m로 하였고, 평균 증가율은 7%로 정하였다. 비용은 80,000원으로 하고 증가율은 0.015로 두었다.

#### 2) 지역경제부분 입력치

1990년도 기준, 항만관련산업의 초기치는 511, 증가율은 0.018로 하였고, 지역총생산의 경우, 138,460억원으로 하고 증가율은 0.09로 하였다. 그리고, 인구수는 3,798,000명으로 하였다.

## 3.2 시뮬레이션 수행

#### 1) 표준 시뮬레이션시 시스템의 거동

표준 시뮬레이션은 조사한 통계치 데이터의 기본값을 사용하여 1990년 부산항, 부산 배후지역 경제를 기준으로 하여, 실행하였다.

모델 내의 각 변수에 투입한 레벨변수 및 파라메타치는 다음과 같이 하였다. 먼저 레벨변수로, 항만부분에서의 변수 정기선취항수는 394척, 항만처리능력은 43,385,000톤, 수출입화물량은 63,371,302톤이고, 항만비용은 80,000원으로 하였고, 지역경제부분에서 인구수는 3,798,000명, 항만관련산업 업체수는 511개사, 항만관련산업 노동자수는 26,059명, 항만관련산업 총매출액은 643,596,000원, 부산시 지역총생산(GRDP)는 138,460억원, 부산시 제조업체수는 7,072개사로 두었다. 그리고 파라메타 변수로서, 정기선 취항수 증가율 13%, 수출입화물량 증가율 5.7%, 항만하역능력 증가율 11%, 항만관련산업 증가율 5%, 부산시 제조업체 증가율은 7%로 하였다. 시뮬레이션 수행기간은 1990년에서 2011년까지 수행하였다.

실행결과 Level변수 각각의 초기투입치에서 증가 및 감소의 변화를 확인 할 수 있었는데, 2011년도 기준 수출입 화물량은 63,371,302톤에서 165,424,386로 증가하고, 이를 처리할 수 있는 항만처리능력은 43,385,000톤에서 147,627,634톤으로 증가하였다. 부두길이는 2,800m에서 12,848m로 증가

Table 1 표준 시나리오에 의한 시물레이션 결과

구분	1990	1993	1996	1999	2002	2005	2008	2011
수출입화물량 (천톤/년)	63,371	84,263	103,509	106,857	111,397	122,701	141,036	165,424
항만처리능력 (천/년)	43,385	55,272	70,479	89,393	104,938	115,011	128,294	147,627
정기선취항수 (척/년)	394	588	845	1,084	1,284	1,420	1,538	1,625
부두길이 (m)	2,800	3,480	4,327	5,379	6,687	8,313	10,335	12,848
항만비용 (W)	80,000	83,686	87,576	91,564	95,618	99,829	104,230	108,836
항만산업 업체수(개)	511	540	572	607	645	686	733	787
항만산업 노동자수(명)	18,306	19,329	20,466	21,713	23,047	24,494	26,115	28,028
항만산업 총매출(백만)	643,596	671,956	703,471	738,034	775,006	815,104	860,022	913,054
부산시 제조업체수	7,072	8,222	8,852	8,863	8,816	8,798	8,776	8,750
부산시지역총생산 (십억원)	13,846	16,462	19,574	23,273	27,672	32,902	39,120	46,514
부산시 인구수(천명)	3,798	3,847	3,854	3,849	3,843	3,836	3,828	3,820

하였고, 항만비용의 경우에도 증가함을 확인하였다. 그리고, 항만관련산업 업체수는 1990년에 511개 업체에서 2010년에는 787개 업체로 증가하였고, 항만관련산업 업체수가 증가함에 따라 항만관련산업 매출액과 그 노동자 수도 증가함으로 알 수 있다. 이를 표준시나리오라 정한다.

다음은 표준 시나리오 모델에 여러 가지 policy를 적용시켜 모델의 행태를 살펴보겠다. 모델에 policy를 적용시킬 때는 모델의 Normal 값에 적용시켜야 하는데, 본 연구에서는 수출입 화물량의 평균증가율, 항만처리능력의 평균증가율, 항만비용의 평균증가율, GRDP의 평균증가율에 변화를 주어 시물레이션을 수행한다.

2) 수출입 화물량 변화에 따른 모형의 변화

표준 시나리오의 여러 파라미터 중에서 수출입 화물량의 평균 증가율 보조변수를 0.057에서 0.07로 수정하여 시물레이션을 수행하였다. 수출입 화물량의 증가에 따른 시물레이션을 시나리오 1이라 하고, 시물레이션 결과를 표준시나리오와 비교하여 살펴본다.

시물레이션 결과, 2010년 기준으로 수출입 화물

량은 165,424천톤에서 310,992톤으로 증가하였다. 항만관련산업 업체수는 수출입 화물량의 증가로 인해, 787개 업체에서 842개로, 항만관련산업이 증가함에 따라 항만산업 노동자수는 28,028명에서 29,959명으로, 항만관련산업 총매출액은 913,054백만원에서 966,558백만원으로 증가하였다.

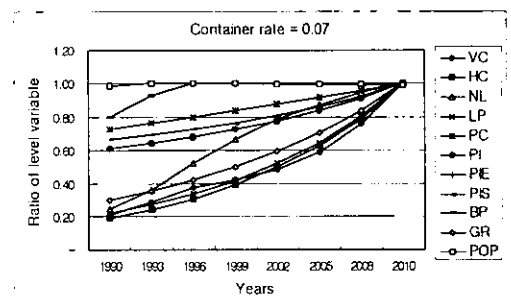


Fig. 9 시나리오 1의 그래프

3) 항만의 처리능력 변화에 따른 모형의 변화  
항만처리능력의 증가율 0.11를 0.3으로 변화시키는 것을 시나리오2로 가정하여 시물레이션을 실행하면 아래와 같다.

시나리오 2의 시물레이션 결과, 2010년 기준으로

수출입 화물량은 165,424천톤에서 183,916천톤으로 증가하였다. 이는 항만처리능력이 증가함에 따라 항만비용의 감소, 정기선의 증가 등의 이유로 화물량이 증가함으로 알 수 있다. 항만관련산업의 경우 787업체에서 801개로 증가하였고, 항만관련산업 총 매출액 또한 913,054백만원에서 927,015백만원으로 다소 증가함으로 알 수 있다.

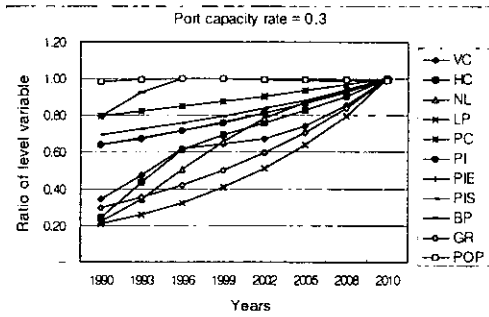


Fig. 10 시나리오 2에 의한 그래프

4) 항만 비용의 변화에 따른 모형의 변화

이번에는 항만에서 화물을 처리할 때 드는 항만비용의 평균 증가율을 0.015에서 0.05로 크게 증가시킬 때의 모형의 행태를 살펴본다.

시뮬레이션 결과 2010년을 기준으로, 항만비용의 증가로 인해 수출입 화물량은 165,424천톤에서 136,920천톤으로 감소되었고, 정기선 척수도 1,625척에서 1,422척으로 감소되었다. 항만관련산업은 787개 업체에서 777개 업체로 다소 감소한 것을 알 수 있다.

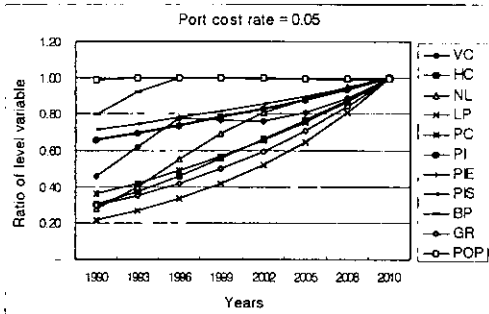


Fig. 11 시나리오 3에 의한 그래프

5) 지역내 총생산의 변화에 따른 모형의 변화  
마지막으로, 지역총생산(GRDP)의 평균 증가율 0.09를 0.2로 변화를 시키면 항만의 물동량과 항만관련산업이 어떠한 변화를 일으키는지를 살펴본다. 지역총생산에 변화를 주어 시뮬레이션을 하는 것을 시나리오 4라 한다.

수행한 결과는 2010년 기준으로, 수출입화물량이 165,424천톤에서 171,206천톤으로 증가하였고, 항만관련산업의 경우 787개 업체에서 797개 업체로 10개 업체가 증가하였다. 그리고, 지역총생산이 증가함에 따라 부산의 제조업체수도 8,750개 업체에서 9,147개 업체로 많이 양의 증가를 보였다. 부산시 인구수도 3,820,750명에서 3,834,630명으로 소폭 증가함으로 알 수 있었다.

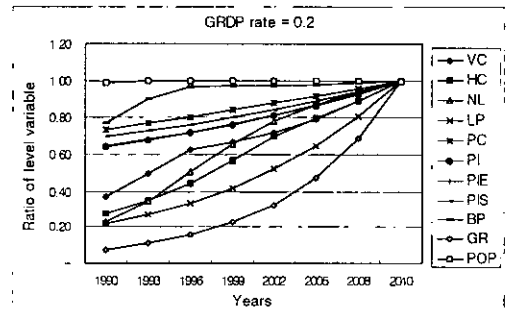


Fig. 12. 시나리오 4에 의한 그래프

5. 결론

모형의 개발 및 개발에 관한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 모형을 구성하는 요소추출은 선행 문헌조사분석 및 실증조사법을 사용하여 획득하였으며, 획득한 구성요소의 인과관계 루프를 항만부분, 지역경제 부분으로 나누어 결정하였고, 인과관계루프의 양의 관계, 음의 관계를 파악하였다.

2. 고찰된 인과관계 루프상의 레벨변수, 레이트변수, 보조변수, 파라미터 등을 확인하여 단위차원을 명확히 한 후 플로우다이아그램을 그려 모형을



구축하였다.

3. 개발된 모형에 실제 통계치 데이터 값을 적용시켜 시뮬레이션을 수행한 결과 기존의 예측치와 작은 오차를 가지면서 양호한 거동을 하는 것을 확인하였으며, 민감도 분석을 행하여 환경변화에 따른 모형의 변화를 예측하였다.

4. 시뮬레이션 실행 결과, 레벨변수 각각의 초기 투입치에서 증가 및 감소의 변화를 확인할 수 있었는데, 수출입 화물량의 경우 기준연도 63,371천톤에서 2011년에는 165,424천톤으로 증가하고, 이에 따라서 항만관련 산업도 511개 업체에서 787개 업체로 증가하고, 부산시 제조업체의 경우 7,072개에서 8,750개로 변화하였다. 항만과 지역경제간의 관계를 SD법을 사용하여 시뮬레이션 수행 결과 항만과 지역경제는 서로 다이내믹한 관계를 갖는 것으로 분석되었다.

본 연구의 연구과제로는 구성요소 추출방법이나 인과관계를 구현시 전문가집단의 의견을 수렴하여 구성을 하였는데, 이를 보다 정형화된 방법으로 분석되어야 하는 것과, 보다 정확한 통계자료의 수집이라 하겠다.

## 참고문헌

- 1) 해운항만청, 해운항만통계연보, 1990~1999.
- 2) 여기태·이철영, System Dynamics법을 이용한 동북아항만 경쟁모델에 관한 연구, 한국항만학회지 제12권 1호, 1998. 6.
- 3) 이철영, 시스템공학 개론, 효성출판사, 1997.
- 4) 이철영, 항만물류시스템, 효성출판사, 1998.
- 5) 김도훈·문태훈·김동환, 시스템 다이내믹스, 대영문화사, 1999.
- 6) 해운산업연구원, 항만이 지역경제에 미치는 영향, 1994. 3.
- 7) 부산발전시스템연구소, 부산항만이 지역경제에 미치는 영향분석, 1989. 8.
- 5) J. W. Forrester, Industrial Dynamics, The MIT Press, 1961.
- 6) J. W. Forrester, Urban Dynamics, The MIT Press, 1969.
- 7) J. W. Forrester, World Dynamics, The MIT Press, 1971.