

論 文

## 컨테이너 터미널의 물류체계의 최적화를 위한 전략적 고찰

여 기 태\* · 이 철 영\*\*

### A Strategic Considerations for Optimization of Physical Distribution in Container Terminal

*G. T. Yeo · C. Y. Lee*

**Key Words** : 시뮬레이션기법(System dynamics), 항만모델(Model of container terminal), 사회 기술 지리 생물영역도(STGB Map), 항만경쟁력(Port's competitive power), 정의 루프(Positive Loop), 부의 루프(Negative Loop), 모델의 상세 흐름도(Detail Flow Diagram), 표준거동(Basic Behavior)

#### Abstract

The purpose in this study is development of model for the Container Terminals of Pusan Port. First of all, Quantitive and Qualitative factors are characterized which effects on Physical Distribution System in Container Terminals. The System Dynamics method is used to develop the model by using these factors. This model is able to present the timing of investment in Container Terminals of Pusan Port. Six models are showed by change of parameters in System Dynamics, in this paper. In the model, Five feedback loop were found.

Loop 1 : Number of Liners → Number of Congested ships → Port's Charges → Export & Import Cargo Volumes → Number of Liners → The will to investment of government → Length of berth → Number of Liners. Negative loop was acquired.

Loop 2 : Port's Charge → Economic of Port → The will to Private management → Efficiency for Port's Operation → Port's Charges. Positive loop was acquired.

Loop 3 : Number of Congested ships → Planning for future development → Information Service → Support service for port's user → Number of Congested ships. Negative loop was acquired.

---

\* 정희원, 한국해양대학교 물류시스템 공학과 박사과정

\*\* 정희원, 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

Loop 4 : Number of Congested ships → Planning for future development → Extent of stacking area → Number of handling equipment → Number of Congested ships. Negative loop was acquired.

Loop 5 : Export & Import Cargo Volumes → Number of Liners → Economic of Port → Support service for port's user → Export & Import Cargo Volumes. Positive loop was acquired.

System's level variables were selected as followings ; Number of Liners, Number of Congested ships, Export & Import Cargo Volumes, Length of berth, and Port's Charges. As result of simulation of model, fluctuation of respective year was found in level variables. This fluctuation can be used properly to present timing of investment.

## 1. 서론

본 연구의 목적은 첫째, 시기 적절한 투자시기를 제시하기 위하여 부산항 컨테이너 전용부두의 물류체계에 영향을 주는 정량적 구성요소 및 정성적 구성요소를 추출하고, 추출된 요소를 사용하여, 항만 모델을 개발한다. 둘째, 개발된 모델을 이용한 감도 분석을 행하여 물류체계를 체증현상없이 최적화하기 위한 필요 시설량 및 그에 따르는 다양한 구성요소의 변화량을 제시한다. 본 연구에서는 항만모델의 개발을 위하여, 항만을 고려할 때 가장 핵심적인 내용인 경쟁력 평가요소를 기존 문헌을 통하여 추출하고, 이를 구성요소로 설정하였다. 구성요소를 사용한 항만모델은 시뮬레이션 방법인 System Dynamics법을 사용하여 개발하였으며, 모델의 구동은 C언어로 작성하여, PC환경에서 구동하여 해를 도출하였다. 또한 구성요소의 입력치는 대상항만의 최근 실증적자료를 이용하였다. 모델은 부산항 컨테이너 전용부두인 자성대부두와 신선대부두를 범위로 하여 적용하였으며, 감도분석을 행하여 여섯가지 모델을 제시했다.

## 2. 방법론

내부구조를 가지고 있는 시스템을 해석하기 위해서는 시뮬레이션 모델을 구성하여 그것을 움직여 볼 필요가 있는데 이러한 대규모의 사회시스템을 시뮬레이션 할 수 있는 방법이 System dynamics이며 항만모델은 Fig. 2.1 과 같은 흐름으로 구성하였다.

## 3. 물류체계 최적화를 위한 항만모델의 개발

### 3.1 항만모델의 구성요소 추출

Table 3.1 ~ Table 3.3은 국외 및 국내에서 연구된 구성요소이다.

### 3.2 구성요소간 인과 관계 loop도의 작성

기술정보에서 System의 구성요소를 추출하고 STGB 영역을 사용해서 정리하면 인과관계를 포함한 system의 구조가 분석과정 초기에 명확하게 되는데, 경쟁력구성요소를 STGB 영역에 위치시키면 Fig. 3.1과 같고, 이를 통해 상세한 key-word network를 작성하면 Fig. 3.2와 같다.

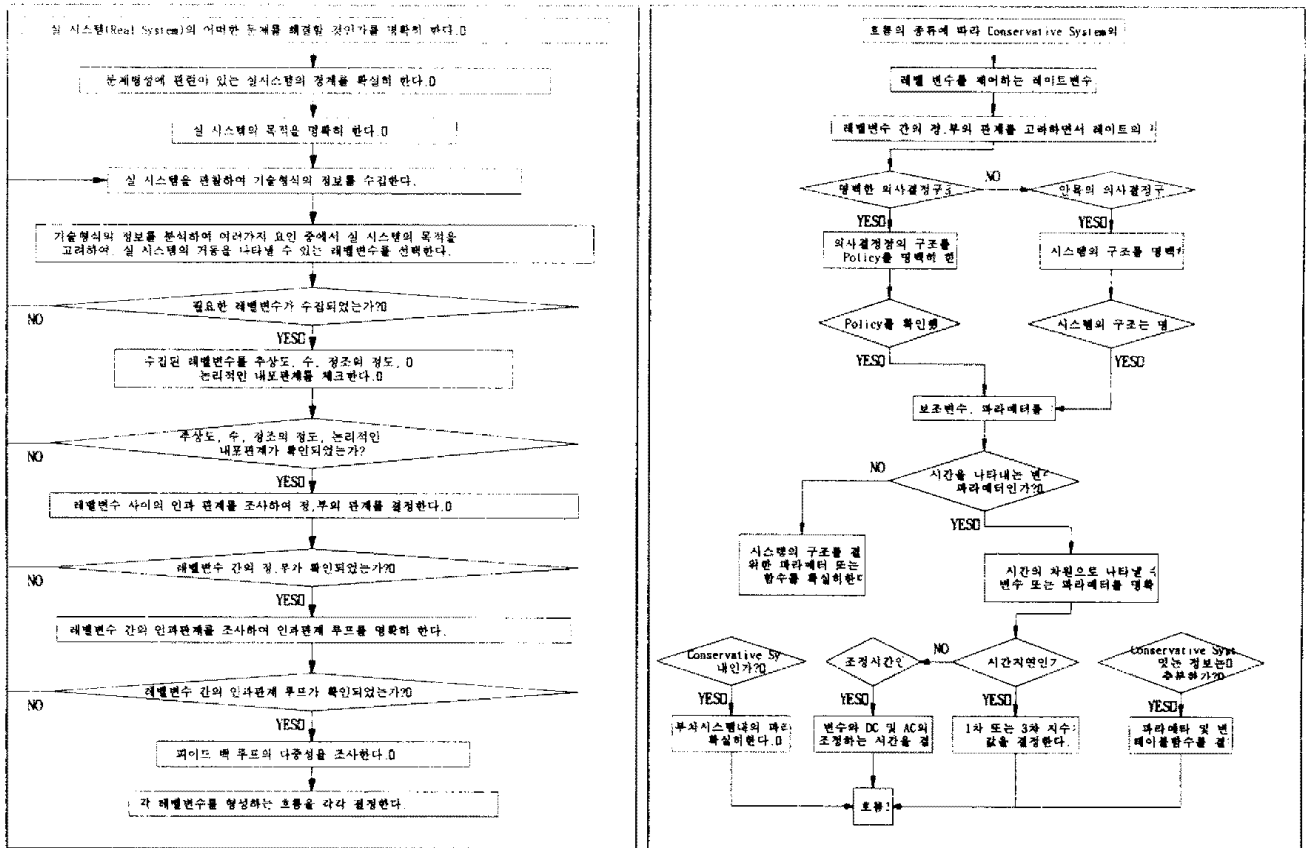


Fig. 2.1 Flow chart of System Dynamics.

Table 3.1 Components of Port's competitive power(Case of foreign study)

구 분	Willingale(1982)	B.Slack(1985)	Murphy(1987)	Murphy(1992)
분석대상국가	유럽지역	미국, 캐나다	세계 각국	세계 각국 (단, 화주는 미국)
구성요소	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항해거리</li> <li>- 지역내 시장위치</li> <li>- 배후지 근접성</li> <li>- 항만 접근성</li> <li>- 항만시설</li> <li>- 선석터미널 가용성</li> <li>- 터미널 운영</li> <li>- 항만당국의 반응</li> <li>- 기존항로 패턴</li> <li>- 항만요율</li> <li>- 항만이용자 합의</li> <li>- 항만소유권</li> <li>- 개인적 접근도</li> <li>- 항만규모</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 선박기항빈도</li> <li>- 내륙수송운임</li> <li>- 항만근접도</li> <li>- 항만체선</li> <li>- 복합연계수송</li> <li>- 항만장비시설</li> <li>- 항만비용</li> <li>- 통관</li> <li>- 항만안전도</li> <li>- 항만규모</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 장비의 보유</li> <li>- 손상 손해의 빈도</li> <li>- 적기 인도 처리</li> <li>- 화물 처리비용</li> <li>- 대형선 입항가능</li> <li>- 특수한 수요에 대한 융통성</li> <li>- 선적에 대한 정보 제공</li> <li>- 대량, 비정형적 화물의 선적하역 능력</li> <li>- 클레임 처리시의 지원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 장대, 비규격화, 화물처리</li> <li>- 대량화물취급</li> <li>- 소량화물취급</li> <li>- 저손상, 저손실</li> <li>- 항만정비</li> </ul>

Table 3.2 Components of Port's competitive power(Case of domestic study)

구분	전일수 외2(1993)	김학소 (1993)	이석태 외1(1993)	여기태 외2(1996)
분석방법	복합효용함수모델	확률선택모형	HFI	HFP
구성요소	- 항해시설 및 장비 보유현황 - 항만의 생산성 - 가격경쟁력 - 항만서비스질 (컨테이너장치, 허용기간, EDI 시스템, 통관시스템)	- 연간발송량 - 톤당화물가격 - 해상수송거리 - 내륙수송비용 - 선적시간 - 항만평균 체선시간	- 입지 - 시설 - 물동량 - 비용 - 서비스 - 운영형태	- 입지 - 시설 - 물동량 - 비용 - 서비스 - 운영형태

Table 3.3 Detail items of Port' competitive power

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

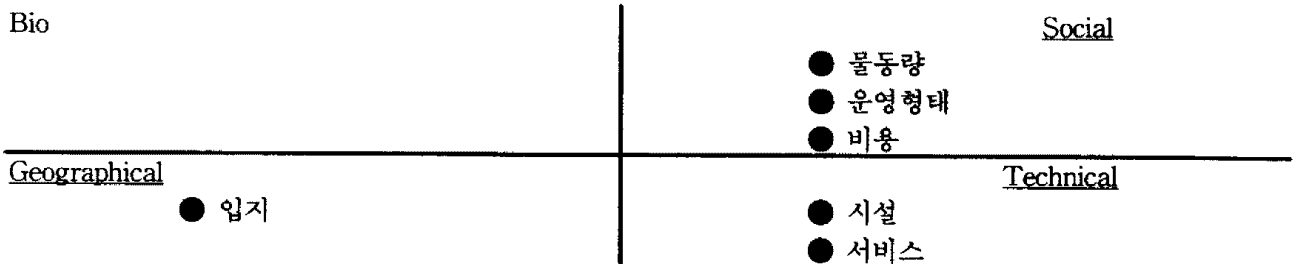


Fig. 3.1 Component's location on STGB map

Fig. 3.2의 STGB 영역상 Keyword network를 사용하여, 구성요소간의 인과관계 loop도를 작성하면 Fig. 3.3과 같다. 인과관계 loop도에서는 몇 개의 인과관계 loop를 발견할 수 있는데, 「loop 1」은 「정기선 취항수 → 체선 → 항만비용 → 수출입화물량 → 정부투자비용 → 부두길이 → 정기선 취항수」로서 負(minus) loop가 되고, 「loop 2」는 「항만비용 → 항만의 경제성 → 정부 민영화 추진비용 → 항만운영효율 → 항만비용」으로 되고, 正(plus)의 feedback loop가 형성된다. 「loop 3」은 「체선 → 장래개발계획 → 정보서비스 → 항만지원

서비스 → 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 진행된다, level 변수는 flow의 누적치로서 파악 가능한 구성요소를 선택한다. 즉, 정기선 취항수, 체선량, 수출입화물량, 부두의 길이, 항만비용을 level 변수로써 선택하였다.



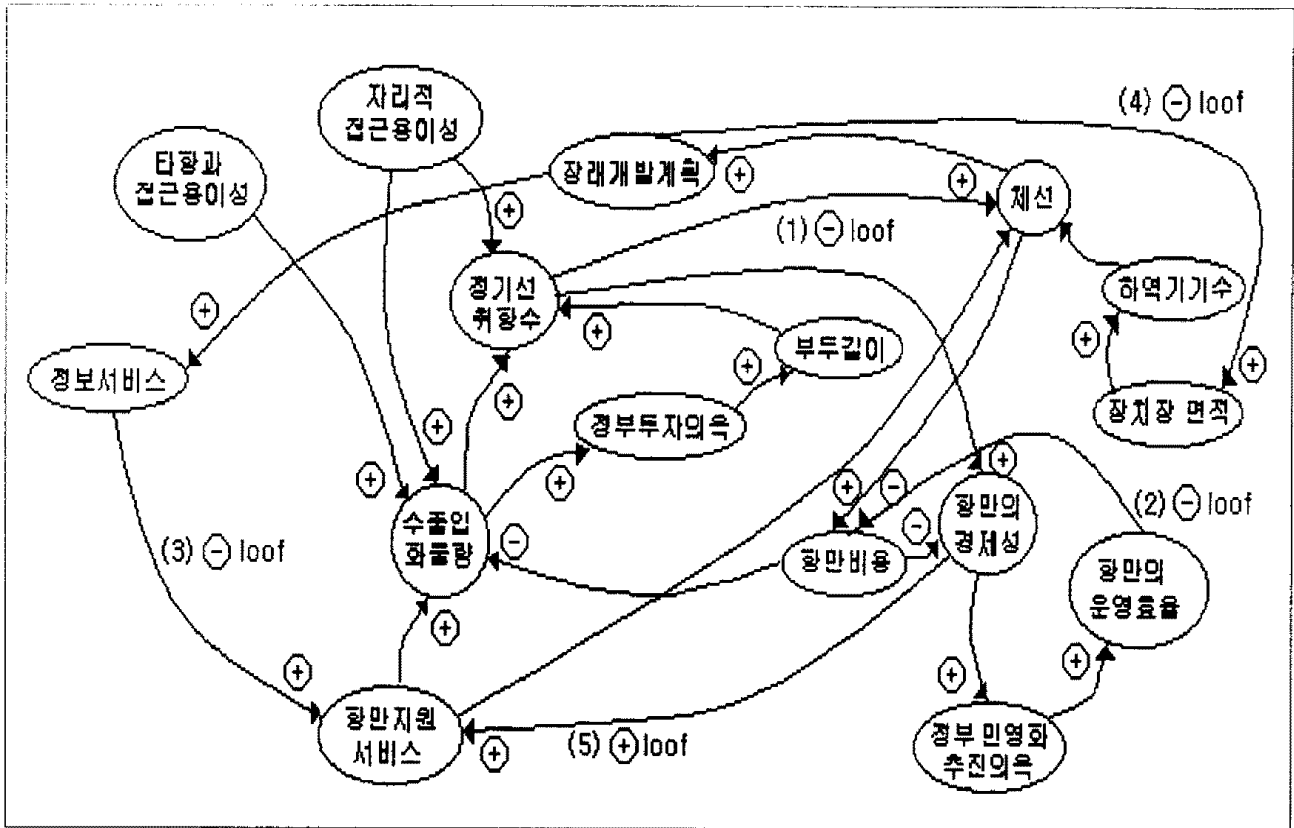


Fig. 3.3 Feedback Loops of Components

3.3 parameter 정의

경쟁력 구성요소를 사용하여, 상세한 항만모델을 작성하기 위해서는, 사용되는 변수와 Parameter의 기호, 변수명 단위차원 정량치를 명확하게 정의해야 한다. 항만모델의 변수 및 Parameter 정의는 아래와 같다.

3.4 항만모델의 개발

인과관계 loop도를 사용하여 상세한 항만모델을 작성하면, Fig. 3.4와 같이된다. 이 그림중에서 변수명 M으로 시작하는 것이 Table함수인데, 이것

은 복잡한 시스템중에 존재하는 구성요소간에 비선형관계를 표시한다.

4. 항만모델을 사용한 시스템 분석

4.1 PC에 의한 실행 흐름도

Fig. 3.4에 표시된 복잡한 항만모델을 패턴인식해서, 변수사이의ダイナミク한 관계를 추적하는 것은 불가능하다. 따라서, Flow-diagram을 컴퓨터가 알 수 있는 프로그램으로 변환시킬 필요가 있는데, 변환순서는 Fig. 4.1과 같다.

<변수명의 정의>

[I] Level 변수

- RS : 정기선 취항수 (척수) 초기치 : 2,806(척/년)
- CS : 채선 (척수) 초기치 : 269(척/년)
- OF : 컨테이너 물동량 (TEU/년) 초기치 : 2,801,000(TEU/년)
- BL : 집안시설길이 (m) 초기치 : 2,347
- PC : 항만비용 (달러) 초기치 : 33.22(\$/TEU)

[II] Rate 변수

- R<sub>1</sub> : 정기선 취항수 증가율 (척수/년)
- R<sub>2</sub> : 정기선 취항수 감소율 (척수/년)
- R<sub>3</sub> : 채선 증가율 (척수/년)
- R<sub>4</sub> : 채선 감소율 (척수/년)
- R<sub>5</sub> : 수출입 화물량 증가율 (TEU/년)
- R<sub>6</sub> : 수출입 화물량 감소율 (TEU/년)
- R<sub>7</sub> : 부두 길이 증가율 (m/년)
- R<sub>8</sub> : 부두길이 감소율 (m/년)
- R<sub>9</sub> : 항만비용 증가율 (\$/년)
- R<sub>10</sub> : 항만비용 감소율 (\$/년)

[III] 보조변수

- RR : 정기선 취항수의 비율 [차원 없음]
- ER : 항만 경제성 비율 [차원 없음]
- SR : 항만 지원 서비스 비율 [차원 없음]
- FR : 수출입 화물량 비율 [차원 없음]
- GW : 정부투자자의 의욕단위
- LR : 부두길이 비율 [차원 없음]
- CR : 채선비율 [차원 없음]
- FD : 장래개발계획 비율 [차원 없음]
- IS : 정보서비스 비율 [차원 없음]

- TS : 장치장면적 비율 [차원 없음]
- MC : 하역기기사 비율 [차원 없음]
- PR : 항만비용비율 [차원 없음]
- FW : 민영화 추진의욕 [의욕단위]
- PO : 항만운영효율 [차원 없음]

[IV] Table 함수

- M<sub>1</sub> : RR-ER 승수 [차원 없음]
- M<sub>2</sub> : ER-SR 승수 [차원 없음]
- M<sub>3</sub> : FR-GW 승수 [차원 없음]
- M<sub>4</sub> : GW-R<sub>7</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>5</sub> : CR-FD 승수 [차원 없음]
- M<sub>6</sub> : FD-IS 승수 [차원 없음]
- M<sub>7</sub> : SR-R<sub>3</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>8</sub> : IS-SR 승수 [차원 없음]
- M<sub>9</sub> : FD-TS 승수 [차원 없음]
- M<sub>10</sub> : TS-MC 승수 [차원 없음]
- M<sub>11</sub> : MC-R<sub>3</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>12</sub> : PR-ER 승수 [차원 없음]
- M<sub>13</sub> : ER-FW 승수 [차원 없음]
- M<sub>15</sub> : FW-P<sub>0</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>16</sub> : RR-R<sub>3</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>17</sub> : RR-R<sub>4</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>18</sub> : CR-R<sub>9</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>19</sub> : CR-R<sub>10</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>21</sub> : PR-R<sub>6</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>22</sub> : FR-R<sub>1</sub> 승수 [차원 없음]

- M<sub>23</sub> : FR-R<sub>2</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>24</sub> : LR-R<sub>1</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>25</sub> : LR-R<sub>2</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>26</sub> : PO-R<sub>10</sub> 승수 [차원 없음]
- M<sub>27</sub> : SR-R<sub>3</sub> 승수 [차원 없음]

[V] Parameter

- C<sub>1</sub> : 정기선 취항수의 증가 fluction (척/수) 3.1%
- C<sub>3</sub> : 채선의 증가 fluction (척/년) 7.4%
- C<sub>5</sub> : 컨테이너 물동량 증가 fluction (TEU/년) 14%
- C<sub>7</sub> : 부두시설의 증가 fluction (m/년) 7%
- C<sub>9</sub> : 항만 비용의 증가 fluction (원/년) 10%
- C<sub>11</sub> : 부두시설 손실율 (m/년) 0.085m
- F<sub>1</sub> : 항만 경제성 단위 0.5
- F<sub>2</sub> : 정부투자자의 의욕 단위 0.7
- F<sub>4</sub> : 민영화 추진의욕 단위 0.5
- F<sub>5</sub> : 항만운영 효율 표준 0.5
- F<sub>6</sub> : 항만지원 서비스현실 60
- F<sub>7</sub> : 항만지원 서비스 최선책 100
- F<sub>8</sub> : 장래개발계획 현실 70
- F<sub>9</sub> : 장래개발계획 최선책 100
- F<sub>10</sub> : 정보서비스 현실 60
- F<sub>11</sub> : 정보서비스 최선책 100
- F<sub>12</sub> : 장치장면적 현실치 49.2
- F<sub>13</sub> : 장치장면적 최선책 100
- F<sub>14</sub> : 하역기기사 68.5
- F<sub>15</sub> : 하역기기사 최선책 100

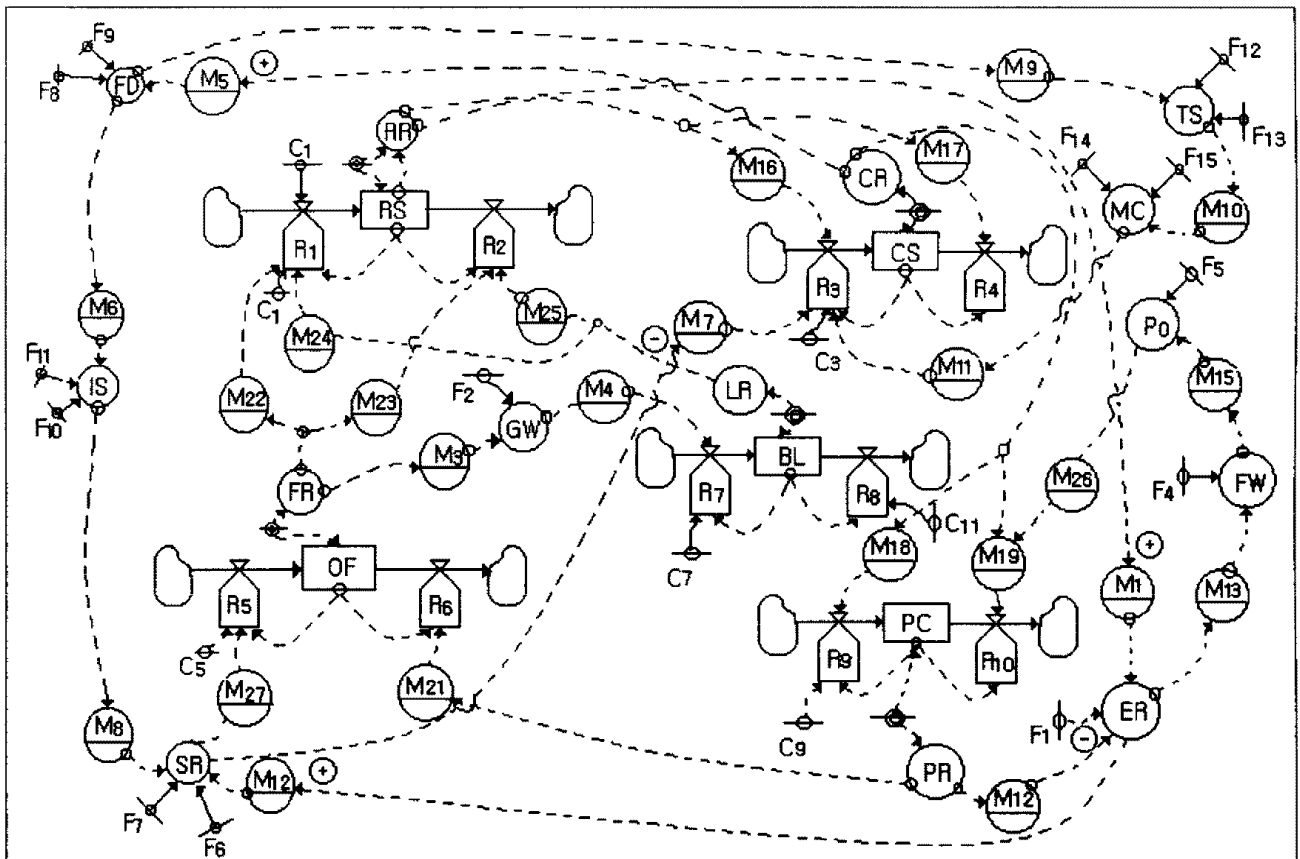


Fig. 3.4 Detail Flow Diagram of the container terminals of the Pusan Port

4.2 감도분석 및 전략적분석

4.2.1 표준 시뮬레이션시 시스템 거동

Fig. 4.1과 같은 흐름도에 의하여 항만모델을 프로그래밍 했으며, 표준 시뮬레이션은 개발된 항만모델을 사용하여 1995년 부산항 컨테이너 전용부두인 자성대부두 및 신선대부두를 기준으로 하여, Level변수의 초기투입치로서, 정기선취항수 2,806척, 체선척수 269척, 컨테이너처리물동량 2,801,000 TEU, 부두길이 2,347m, 1TEU 당 항만비용 33.22\$로 설정하였으며, Parameter변수로서, 정기선 취항수 증가율 3.1%, 체선증가율 7.4%, 컨테이너 물동량 증가율 14%, 부두시설증가율 7% 등을 각각 변수의 초기치로 투입하였고, 시뮬레이션의 실행기간은 1996~2003년까지이며, 실행결과 각각의 Level변수의 초기투입치에서 증가 및 감소의 변화를 확인 할 수 있었다. 즉, 정기선척수는 2809척에서 2003년에는 4613척으로 증가하고, 이에 따른 물동량 또한 2.78백만 TEU에서 3.11백만TEU로 증가함을 실행결과에서 얻을 수 있었다. 정기선 척수와 물동량의 연도별 증가에 따라, 1995년 초기투입치인 부두길이 2,377m 또한 2003년에는 4,953m로 확장해 주어야 함을 확인할 수 있었으며, 이에따라 항만의 체선척수는 265척에서 연도별로 감소해 2003년에는 104척이 되었고, 항만비용은 파동성을 가짐을 확인할 수 있었다.

시뮬레이션을 실행한 결과는 Table 4.1 및 Fig. 4.2와 같다.

4.2.2 물동량증가율  $C_5$  및 부두증가율  $C_7$ 의 변경에 따른 항만모델의 변화

경쟁력 평가 구성요소를 사용한 항만 시스템의 개발은, 복잡한 구성요소를 갖고, 동적으로 변화하는 컨테이너 전용부두의 현상자체를 시스템화함으로써 간단한 parameter의 변경만으로도 여러 가

지 중요구성요소의 장래변화를 쉽게 파악 할 수 있다는데 있다. 본 절에서는 2장에서 개발한 항만모델의 물동량 및 부두의 Parameter변경이 장래 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 감도분석을 행한다. Parameter치의 변화에 따른 Level변수의 추이를 알아보기 위해, 컨테이너 물동량 증가율을 14~16%로, 부두증가율을 7~9%로 각각 변화시켰으며, 결과는 Table 4.2 ~ Table 4.4 와 같다. model 2에 대해서 살펴보면 기본모델(model 1)에서 물동량증가 15%에 대해 부두증가율 8%로 대처해도 기본모델에 비해서는 체선 및 항만비용이 증가함을 알 수 있다.

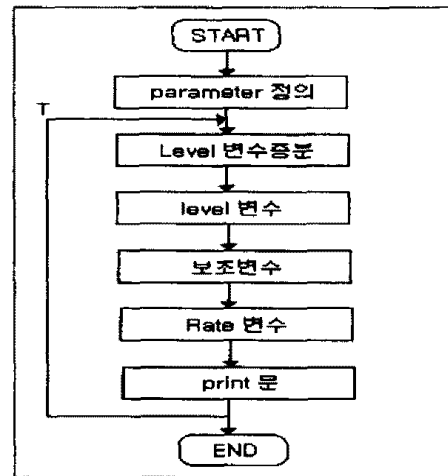


Fig. 4.1 Flow-chart of SD Programming

4.2.3 정기선 척수 증가율  $C_1$  변경에 따른 항만 모델의 변화

물동량증가율 및 부두길이 증가율을 고려한 것에 정기선 취항수의 증가율을 추가로 고려할 때, 모델의 추이를 알아보기위해 정기선취항수 증가율  $C_1$ 을 3~5%까지 변화시켜 가면서 모델의 추이를 검토하였으며, 실행결과는 Table 4.5 ~ Table 4.6 과 같다.





Table 4.3 Fluctuation of componets by change of parameter value( Model 2)

구	분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
model 2	물 동 량 증가율15% ⊕ 부두증가율 8%	RS	2,823	2,869	2,988	3,246	3,769	4,641	5,939
		CS	246	219	187	157	136	132	157
		OF	2,898,788	3,033,092	3,218,863	3,461,245	3,771,012	4,161,151	4,649,851
		BL	2,592	2,884	3,318	3,942	4,834	6,110	7,957
		PC	36.5	39	41.7	44.1	45.6	46.1	46.3

주 : RS : 정기선취항수 (척/년), CS : 체선척수(척/년), OF : 컨테이너물동량(TEU/년)

BL : 부두길이(m), PC : 항만비용(\$)

Table 4.4 Fluctuation of componets by change of parameter value( Model 3)

구	분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
model 3	물 동 량 증가율16% ⊕ 부두증가율 9%	RS	2,827	2,891	3,065	3,458	4,174	5,273	7,034
		CS	246	219	188	161	146	155	212
		OF	2,996,873	3,240,879	3,590,886	4,070,831	4,720,064	5,593,878	6,774,084
		BL	2,701	3131	3,794	4,800	6,330	8,687	12,392
		PC	36.5	38.9	41.7	44.1	45.8	46.9	48.8

주 : RS : 정기선취항수 (척/년), CS : 체선척수(척/년), OF : 컨테이너물동량(TEU/년)

BL : 부두길이(m), PC : 항만비용(\$)

Table 4.5 Fluctuation of componets by change of parameter value( Model 4)

구	분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
model 4	정 기 선 증가율4%	RS	2,948	3,128	3,445	4,008	5,031	6,764	9,537
		CS	247	222	198	182	186	235	416
	물 동 량 증가율15% 부두증가율 8%	OF	2,898,788	3,033,092	3,218,945	3,461,865	3,772,740	4,166,048	4,662,900
		BL	2,591	2,884	3,318	3,943	4,834	6,110	7,957
		PC	36.5	39.0	41.8	44.7	47.5	51.1	59.5

주 : RS : 정기선취항수 (척/년), CS : 체선척수(척/년), OF : 컨테이너물동량(TEU/년)

BL : 부두길이(m), PC : 항만비용(\$)

4.2.4 항만지원 서비스율 변경에 따른 항만모델의 변화

표준모델의 parameter중 항만지원서비스율을 향상시켰을 때 컨테이너 전용부두를 대상으로 한 항만모델의 구성요소에는 어떠한 변화가 일어나는지 알아보기위해, parameter치를 표준모델

에 비해 30% 향상 시켰다. 항만지원서비스 향상의 결과를 표준모델과 비교하여 살펴보면, 정기선 척수 및 부두길이는 증가함을 확인할 수 있었으며, 컨테이너 물동량 측면에서는 향상 전보다 222천TEU 정도의 물량이 증가함을 알 수 있다. 상세한 결과는 Table 4.7과 같다.

Table 4.6 Fluctuation of componets by change of parameter value( Model 5)

구	분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
model 5	정기선 증가율4% 물동량 증가율16% 부두증가율9%	RS	3,094	3,457	4,111	5,320	7,516	11,328	18,343
		CS	248	22.7	212	219	282	522	1,045
		OF	2,996,873	3,240,879	3,591,085	4,072,458	4,724,870	5,609,082	6,836,183
		BL	2,701	3,130	3,794	4,800	6,329	8,686	12,393
		PC	36.5	39.0	41.9	45.4	50.2	60.5	89.4

주 : RS : 정기선취항수 (척/년), CS : 체선척수(척/년), OF : 컨테이너물동량(TEU/년)  
BL : 부두길이(m), PC : 항만비용(\$)

Table 4.7 Fluctuation of componets by change of parameter value( Model 6)

구	분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
model 6	항만지원 서비스율 90%	RS	2,819	2,847	2,917	3,059	3,328	3,818	4,709
		CS	245	216	182	150	122	103	99
		OF	2,816,812	2,872,015	2,945,101	3,034,293	3,141,201	3,266,310	3,410,939
		BL	2,484	2,649	2,886	3,207	3,636	4,204	4,956
		PC	37	39	42	44	45	45	43

주 : RS : 정기선취항수 (척/년), CS : 체선척수(척/년), OF : 컨테이너물동량(TEU/년)  
BL : 부두길이(m), PC : 항만비용(\$)

5. 결 론

모델내 인과관계루프는 5가지를 획득하였는데, 「loop 1」은 「정기선 취항수 → 체선 → 항만비용 → 수출입화물량 → 정부투자비용 → 부두길이 → 정기선 취항수」로서 負(minus) loop가 는 「항만비용 → 항만의 경제성 → 정부 민영화되었고, 「loop 2」 추진의욕 → 항만운영효율 → 항

만비용」으로 되고, 正(plus)의 feedback loop로서 형성되었다. 「loof 3」은 「체선 → 장래개발계획 → 정보서비스 → 항만지원서비스 → 체선」으로 負(minus)의 feedback loop를 가졌으며, 「loof 4」는 「체선 → 장래개발계획 → 장치장면적 → 하역기 기수 → 체선」으로 負(minus)의 feedback loop를 가졌다. 「loof 5」는 「수출입화물량 → 정기선 취항수 → 항만의 경제성 → 항만지원서비스 → 수출입

화물량」으로 正(plus)의 feedback loop를 가짐을 확인하였다. 또한, level 변수로서는 정기선 취항수, 체선량, 수출입화물량, 부두의 길이, 항만비용을 선택하였다. 표준 시뮬레이션은 1995년 부산항 컨테이너 전용부두를 기준으로 하여, Level변수의 초기투입치로서, 정기선 취항수 2,806척, 체선척수 269척, 컨테이너처리물동량 2,801,000TEU, 부두길이 2,347m, 1TEU 당 항만비용 33.22\$로 설정하였으며, 시뮬레이션의 실행기간은 1996~2003년으로 하였다. 실행결과 각각의 Level변수의 초기투입치에서 증가 및 감소의 변화를 확인 할 수 있었는데, 정기선척수는 2809척에서 2003년에는 4613척으로 증가하고, 이에 따른 물동량 또한 2.78백만 TEU에서 3.11TEU로 증가함을 실행결과에서 얻을 수 있었다. 정기선 척수와 물동량의 증가로 필요한 부두의 길이 또한 2,377m의 초기치에서 4,953m로 확장해 주어야 시스템이 운영됨을 확인 할 수 있었다. 특히, 표준 시뮬레이션 실행결과 중에서 컨테이너 물동량의 연도별 변화치는 해운산업연구원에서 예측한 결과치와 비교를 행하여도 근접한 결과를 보일 만큼, 표준모델이 양호한 예측거동을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 감도분석을 행하위하여 컨테이너 물동량 증가율을 14~16%로, 부두증가율을 7~9%로 각각 변화시켜, 모델의 거동을 확인 하였다. 앞으로의 연구과제로는 비선형함수인 테이블함수의 좀 더 면밀한 검토가 필요하며, 모델의 범위를 부산항전체 또는 동북아 항만간의 관계로 확장하는 문제가 남아있다.

### 참고문헌

- 1) 박진수·박병인, "컨테이너 터미널 능력산정에 관한 연구", 해운산업연구원, 1990, pp. 36-44.
- 2) 김학소, "우리나라 수출입화주의 항만선택 결정요인에 관한 연구", 해운산업연구원, 1993.
- 3) 항만의 적정능력산정 및 개발기본계획, 해운산업연구원, 1993
- 4) 해운항만청, "해운항만통계연보", 1990~1996.
- 5) 해운항만청, "해운항만정책 자료집", 1996.
- 6) 해운항만백서, 해운항만청, 1996
- 7) 한국 컨테이너 부두공단, "컨테이너 화물취급 및 유통추이 분석 (91~95)", 1996.
- 8) 가덕신항만 개발기본계획용역, 해운산업연구원, 1996
- 9) 신항만개발투자 우선순위 평가, 해운산업연구원, 1996.
- 10) 해사년감, 코리아쉬핑가제트, 1996.
- 11) 이철영, "시스템공학 개론", 효성문화사, 1997, pp. 121-175.
- 12) 자성대부두 기능시설 기본계획 최종보고서, 해운산업연구원, 1997
- 13) J. W. Forrester, Industrial Dynamics, The MIT Press, 1961.
- 14) J. W. Forrester, Urban Dynamics, The MIT Press, 1969.
- 15) J. W. Forrester, World Dynamics, The MIT Press, 1971.
- 16) Taylor, A, J, System Dynamics in shipping, Operation Research, Vol.27, NO.1, 1976.
- 17) 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
- 18) 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.
- 19) 小玉陽一, "Basicによる システム ダイナミックス", 共立出版株式會社, 1980, pp. 43-112.
- 20) 三木橋彦, "국제물류 시스템의最適化에 關する 研究", 1984, pp. 58-128.
- 21) 市川廣一, "港灣開發 效果 評價 モデルとその適用, 計測自動制御學會, 1984
- 22) 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.
- 23) 大江秀房, '시스템 다이내믹스 노트', 好學社, 1985, pp. 13-141.
- 24) 島田俊郎, "시스템 다이내믹스 入門", 日科技連, 1994, pp. 71-177.
- 25) S·D 모델による 中長期 豫測, 海士産業研究所 SD研究會.
- 26) 海上輸送の構造變化とSD 모델, 海士産業研究所 SD研究會.