

SD 기법을 활용한 컨테이너터미널 경쟁력 강화 모델 개발

System Dynamics Modeling for Improving the Competitiveness of a Container Terminal

최형림* · 박병주* · 유동호*

Choi, Hyung-Rim* · Park, Byung-Joo* · Yoo, Dong-Ho*

Abstract

A container terminal should concentrate on efficient terminal operation in the long view and analyze an effect through introduction of hi-technology, automated equipments and intelligent information system, when they want to improve their reliability and competitive power in intense global competition. To do this, first this study finds out factors which affect competitive power of a container terminal, and relation between them. And then we used System Dynamics method to analyze an effect according to a value fluctuation of the factors in the long term.

Keywords: container terminal, reliability, System Dynamics

I. 서론

세계 경제의 성장에 힘입어 항만 물동량은 꾸준히 증가하고 있으며, 동북아 지역 특히, 심천과 상하이와 같은 중국의 일부 컨테이너터미널은 1999년 이후 연평균 20%를 상회하는 물동량 처리율의 증가를 보이고 있다. 한편 규모의 경제를 추구하는 컨테이너 선사들은 초대형 컨테이너 선박을 일부 지역의 거점항만에만 기항시키고, 나머지 지역은 피더선을 이용하는 중계형 운송 형태를 취하고 있다. 이와 같은 해운·항만 환경의 변화에 따라 세

* 동아대학교 경영정보학과. hrchoi@dau.ac.kr, a967500@dau.ac.kr, eastsky@dau.ac.kr

계 주요 항만들은 초대형 컨테이너 선박을 유치하고, 증가하는 물동량을 선점할 수 있는 거점항만으로 자리매김하기 위해 많은 투자를 하고 있다. 특히 고객 (선사, 화주, 포워더, 운송사 등)의 요구에 대응하기 위한 다양한 서비스 개발에 주력하고 있으며, 또한 다양한 고객의 요구를 원활하게 충족시킬 수 있도록 첨단기술의 도입, 자동화 장비의 도입, 지능형 정보시스템 구축 등과 같은 차별화를 위한 노력을 하고 있다.

이러한 노력들은 경쟁 환경 하에서 불가피한 상황으로, 컨테이너터미널은 장기적으로 안정적인 경쟁력 확보를 위해서는 컨테이너터미널의 효율적인 운영에 초점을 맞추고 각 부문별 첨단기술 및 자동화 장비 도입, 지능형 정보시스템 구축 등이 컨테이너터미널의 신뢰도와 경쟁력 향상에 어떠한 영향을 미치는지 장기적인 관점에서의 분석이 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 먼저 컨테이너 터미널 경쟁력 향상에 영향을 미치는 요인들을 찾고, 그들 간의 인과관계를 규명하고자 한다. 컨테이너터미널의 경쟁력에 영향을 미치는 요인들은 문헌연구 및 컨테이너터미널 운영경험이 풍부한 실무전문가를 통해 파악하였으며, 이들 요인의 변화가 컨테이너터미널 신뢰도와 경쟁력에 어떠한 영향을 미치는지를 장기적으로 분석하기 위해 SD(System Dynamics)기법을 활용하였다. 특히 SD 기법의 모델링 방식 중 피드백 루프 사고방식을 강조하는 Top-down방식을 채택하여 컨테이너터미널 경쟁력 향상을 위한 모델을 개발하였다.

II. 컨테이너터미널의 경쟁력 향상을 위한 요인

컨테이너터미널 경쟁력 강화를 위해 수행된 기존 연구를 통해 경쟁력 강화 요인을 도출하고, 컨테이너터미널 운영적 측면에서의 경쟁력 강화에 영향을 주는 요인들을 살펴본다.

1. 관련 연구

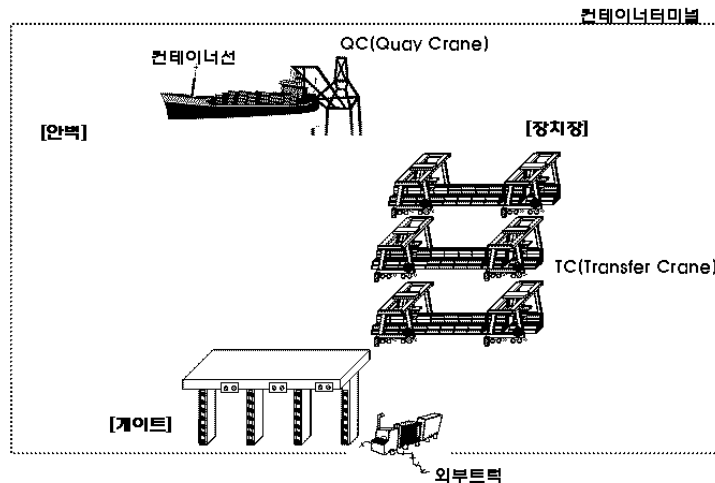
최근 국내 컨테이너터미널을 둘러싼 급격한 환경변화는 주변 항만들간의 경쟁에 초점을 맞추게 되었고, 이로 인해 부산항을 중심으로 주변 항만과의 경쟁에서 우위를 점하기 위한 연구들이 지속적으로 수행되고 있다. 권능중과 안기명[1]은 부산항 컨테이너터미널의 경쟁력 제고 전략을 제시하기 위해 터미널 미래 전망, 서비스 수준, 터미널 우수성 등의 요인들을 중심으로 컨테이너터미널 종사자와 이용자 측면에서 비교·분석하고 회귀분석을 통해 컨테이너터미널 전망 및 변화 방향에 대한 결과를 제시하였다. 여기태와 이철영[2]은 항만 경쟁의 종류를 정의하고, 단위 항만에 관한 모형을 제시하고 경쟁관계에 있는 항만들 (부산, 고베, 요코하마, 카오슝, 기룽)의 다양한 측면의 변화에 대한 결과를 SD법과 HFP법의

융합을 이용하여 제시하였다. 오성동과 박노경[3], 박노경[4]은 컨테이너 항만의 경쟁력 확보를 위해 생산성 및 서비스 만족도 등에 초점을 맞추어 분석하였고, 한철환[5], 김창완 등 [6]은 항만간의 경쟁에서 우위를 확보하는 방안으로 선사의 입장에서 항만경쟁력을 비교·분석한바 있다. 이외에도 한국과 중국의 경쟁상황, 동북아 물류 환경변화를 고려한 경쟁력 강화 방안에 초점을 맞추어 연구가 다수 수행되었다.

이들 연구를 통해 도출된 항만 경쟁력 강화 요인은 항만입지, 위치, 서비스, 배후지, 편의성, 비용 등으로 요약될 수 있다. 그러나 이들 연구들은 변화하는 항만환경에서 각 항만이 경쟁력 확보를 위해서는 어떠한 노력이 필요한지에 초점이 맞춰져 있어 컨테이너터미널의 구체적인 변화에 대해 깊이 다루고 있지 않다. 본 연구는 컨테이너터미널의 경쟁력을 향상시키기 위해 거시적 시각과 함께 세부적인 컨테이너 운영에 대한 미시적 시각으로 컨테이너터미널 경쟁력에 영향을 미치는 요인들의 정도를 분석하고자 한다.

2. 컨테이너터미널 운영 관점에서의 경쟁력 강화 요인

컨테이너터미널의 전체 운영 프로세스를 중심으로 컨테이너터미널 경쟁력에 영향을 주는 다양한 요인(변수)들을 도출하고, 도출된 요인을 중심으로 향후 인과지도 및 모델에 활용될 수 있도록 한다. 컨테이너터미널의 경우 다양한 업무가 존재하는데, 그림 1과 같이 크게 반출·입 작업, 장치장 작업, 양·적하 작업으로 구분 지을 수 있다. 그러나 이러한 작업들의 작업시간이나 생산성 등은 각 작업들은 적용되는 기술 및 장비, 기계의 노화정도에 영향을 받는다.



[그림 1] 컨테이너터미널 작업영역 개념도

1) 게이트 작업

반출·입 작업은 수출 컨테이너를 외부트럭에 신고 컨테이너터미널 게이트를 통과할 때의 반입 작업과 선박으로 신고 온 컨테이너를 게이트를 통해 가지고 나갈 때인 반출작업으로 구분 지을 수 있다. 컨테이너터미널 게이트에서는 통과 차량 및 컨테이너에 대한 인식, 확인, 보안업무를 수행하며 외부차량 반출·입 승인, 외부트럭 진입방향 지시 등의 기능을 보유함과 동시에 권한의 이양이 이루어지는 관문이라 할 수 있다[7].

이러한 반출·입 업무의 수행은 게이트에서 뿐만 아니라 해당 야드의 TP (Transfer Point)까지의 이동, TP에서의 작업대기, 야드 크레인의 상하차 작업, 작업완료 후 반출 게이트를 통해 빠져나가는 일련의 과정이 포함된다. 표 1은 이러한 작업을 세분화하고 각 작업별 담당인력 및 기술을 구분하였다.

[표 1] 반출·입 업무 구분 및 관련기술

구분	수행업무	관련작업자 및 기술	비고
반입작업	차량번호 인식	수작업, Bar-Code, OCR, RFID	각 작업별 오류유형별 대처방안 필요
	컨테이너번호 인식		
	컨테이너 손상확인	ACDI	
	장치위치정보제공	Digital Media	
Seal Check	작업자 육안, e-Seal		
반출작업	차량번호 인식	수작업, Bar-Code, OCR, RFID	
	반출위치정보제공	Digital Media	
	반출컨테이너 확인	육안, Bar-Code, RFID	
반출입시 공통작업	TP 이동시간	Slip 정보에 표기된 위치로 이동	
	TP 대기시간	지정된 위치에 도착 후 작업시까지 대기	
	야드 크레인 상하차 작업시간	야드 크레인의 반출입 컨테이너 상하차 작업 수행	

2) 장치장 작업

장치장 작업은 크게 반출·입 작업, 양·적하 작업, 이적(Remashalling)작업으로 구분될 수 있고, 이적작업은 다시 베이 내, 블록 내, 블록 간 이적으로 구분 지을 수 있다. 반출·입 작업은 게이트 작업과 연계되는 부분으로서 장치장 블록의 TP에 외부트럭이 도착했을

때 외부트럭에 대한 상하차 작업을 수행하는 것을 말하며, 양·적하 작업은 안벽에 선박이 도착했을 때 신고 온 컨테이너의 양하(Unloading)와 신고 갈 컨테이너의 적하(Loading)작업을 지원하는 것을 말한다. 이때에는 컨테이너터미널 내부차량(YT: Yard Tractor)와의 인터페이스 작업도 포함된다. 그리고 신속한 양·적하 작업지원을 위해서는 여유시간에 각 컨테이너의 목적항, 무게, 크기 등을 고려한 이적작업이 필수적인데 이러한 이적작업은 컨테이너터미널 운영형태에 따라 달라질 수 있다. 표 2는 이러한 작업을 세분화하고 각 작업별 담당인력 및 기술을 구분하였다.

[표 2] 장치장 업무 구분 및 관련기술

구분	수행업무	관련작업자 및 기술	비고
육측TP작업	컨테이너번호 확인	크레인 작업자, OCR	작업 오더와 비교
	컨테이너 상하차 작업	크레인 작업자(원격작업자)	
양·적하 작업	컨테이너번호 확인	크레인 작업자, OCR	
	컨테이너 상하차 작업	크레인 작업자(원격작업자)	
이적작업	컨테이너번호 확인	크레인 작업자(자동)	베이내 또는 블록내 작업의 경우 상하차 작업 제외
	이적위치 확인		
	상하차 작업		
	장치작업		

3) 양·적하 작업

양·적하 작업은 크게 선박이 신고 온 컨테이너를 내리는 양하(Unloading)작업과 장치장에 장치되어 있는 컨테이너를 선박에 싣는 적하(Loading)작업으로 구분 지을 수 있다. 양·적하 작업에는 QC(Quay Crane)와 터미널 내 이송장비(YT, AGV(Automated Guided Vehicle), Shuttle Carrier 등), 그리고 야드 크레인의 작업지원이 필요하다. 이러한 장비의 구성을 통해 양·적하 작업을 수행하게 되는데 대개 양하작업이 선행된 후 적하작업을 수행하게 된다. 따라서 QC가 컨테이너를 내리면 이송장비가 장치장 블록으로 이송하고, 야드 크레인이 장치장에 장치하게 된다. 적하의 작업 흐름은 역순이다. 표 3은 이러한 작업을 세분화하고 각 작업별 담당인력 및 기술을 구분하였다.

[표 3] 양·적하 업무 구분 및 관련기술

구분	수행업무	관련작업자 및 기술	비고
양·적하작업	컨테이너번호 확인	크레인 작업자, OCR	작업 오더와 비교
	컨테이너 상하차 작업		
이송작업	컨테이너번호 확인	이송장비 작업자, OCR, RFID	
	컨테이너를 해당 블록으로 이송	크레인 작업자(원격작업자)	
장치작업	컨테이너번호 확인	크레인 작업자 또는 자동	최적위치 선정필요
	장치위치 확인		
	상하차 작업		
	장치작업		

이상과 같이 제시된 컨테이너터미널에서 수행되는 주요 작업 및 관련 기술들은 컨테이너터미널 내부 효율성, 생산성, 신뢰도 등 다양한 효과를 측정하기 위한 주요 변수가 될 수 있으며 이러한 변수들 간의 인과관계를 규명하고, 다양한 관점에서의 측정을 위한 모델 개발을 할 것이다.

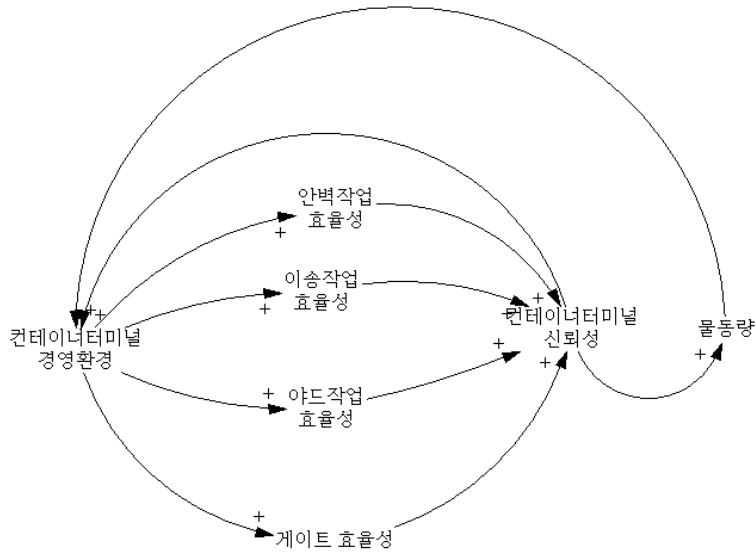
III. 컨테이너터미널의 경쟁력 향상을 위한 요인들의 인과관계 분석

컨테이너터미널의 전체 운영 프로세스를 중심으로 컨테이너터미널 경쟁력에 영향을 주는 다양한 요인들 간의 인과관계를 Top Down 방식으로 분석하고, 분석된 인과관계를 통해 각 요인들이 컨테이너터미널의 신뢰도, 생산성, 그리고 경제성 등에 어떤 영향을 미치는지 파악한다.

1. 컨테이너터미널 작업들 간의 인과관계

먼저 컨테이너터미널의 반출·입, 장치장, 그리고 양적·하 작업들이 컨테이너터미널의 신뢰도와 어떠한 연관관계를 가지고 있는지, 또한 각 작업 간의 관계는 어떠한지를 분석한다. 컨테이너터미널의 각 작업들의 효율성은 컨테이너터미널의 신뢰도에 정(正)의 영향을 미치게 되고, 이러한 영향은 컨테이너터미널 수익에 직·간접적인 영향을 미치게 된다. 한편 수익이 창출될 경우는 신뢰도를 더욱 향상시키기 위해 컨테이너터미널 내 작업 효율성

향상을 위한 투자를 하게 되고, 이는 다시 각 작업별 효율성 향상에 기여하게 되는 관계로 분석할 수 있다.



[그림 2] 컨테이너터미널 작업과 신뢰도에 관한 인과관계

2. 컨테이너터미널의 세부작업들 간의 인과관계

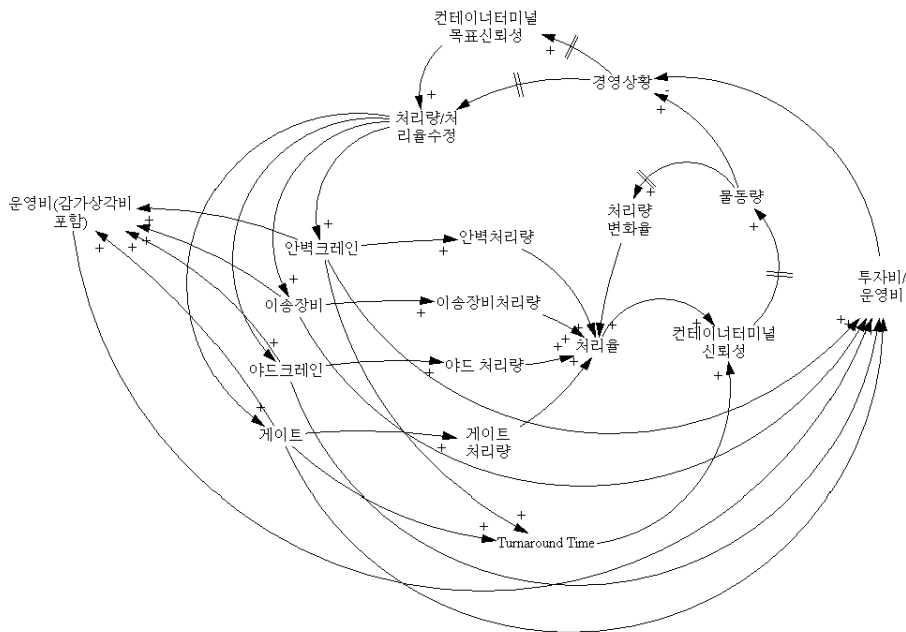
컨테이너터미널내의 각 작업들은 세부적인 작업들 간에도 연관관계가 있고, 이를 시스템 다이내믹스 측면에서 파악하면 <그림 3>과 같은 인과관계로 나타낼 수 있다. 각 작업의 시간, 처리물량 등이 컨테이너터미널 신뢰도에 영향을 미치게 되고, 이는 다시 첨단기술 및 설비를 도입할 의지를 높여주어 컨테이너터미널 내부 능력을 극대화할 수 있는 시점 및 한계 등을 파악할 수 있는데 이때에는 각각 지연이 발생되어 일정기간동안 작업생산성 및 신속성, 고객서비스의 질 등이 하락할 우려가 있다.

<그림 3>에서 제시된 바와 컨테이너터미널 내부 작업을 중심으로 인과관계를 도출해보았을 때 각 작업은 최종적으로 컨테이너터미널 신뢰도에 영향을 미치게 된다. 먼저 반출·입 작업은 컨테이너터미널에 도착되는 외부트럭의 대수와 게이트에 적용된 기술, 인식·확인·보안관련 작업의 오류 유무에 따라 게이트 통과시간이 결정되고, 이후 야드 TP까지의 거리, 상하차 작업을 위한 대기시간 및 상하차 작업시간 그리고, 반출게이트를 통해 외부트럭이 빠져나가는 시간들이 컨테이너터미널 신뢰도 측정에 주요 지표인 Turnaround Time에 영향을 미치게 된다. 이러한 과정에서 컨테이너터미널의 주요 시설 및 장비인 게이트 라인 수, 야드 크레인의 사용률에 따른 야드 크레인 적정대수의 산출이 가능하고, 추후 모델 개

발을 통해 컨테이너터미널 운영기간 동안 게이트 레인 증설 또는 첨단기술 도입 및 추가 야드 크레인 도입을 위한 의사결정지원정보를 도출 할 수 있을 것으로 판단된다.

다음으로 장치장(야드)작업은 외부트럭에 대한 상하차 작업을 위한 시간과 선박에 대한 양·적하 작업 지원과 관련한 시간당 처리량 등이 컨테이너터미널 신뢰도에 영향을 미치게 된다. 마지막으로 컨테이너터미널의 주요 작업 중 가장 중요한 양·적하 작업의 경우 선박도착 대수(양·적하 물량)에 따른 안벽크레인의 시간당 작업 처리량, 이송장비와의 원활한 연계 등이 중요한 지표가 되고 이를 통해 선박의 체항 시간 단축이 컨테이너터미널 신뢰도에 중요한 영향을 미친다.

따라서 컨테이너터미널 각 요소 간 인과관계를 통해 신뢰도가 향상될 때 이는 곧바로 컨테이너터미널 수익 창출과 직결되고, 이러한 수익은 약간의 지연시간이 있은 후에 다시 각 부문별 생산성 향상을 위한 설비 및 장비의 투자가 발생하게 되어 컨테이너터미널 신뢰도 향상에 영향을 미친다.



[그림 3] 컨테이너터미널 장비 및 시설과 신뢰성에 관한 인과지도

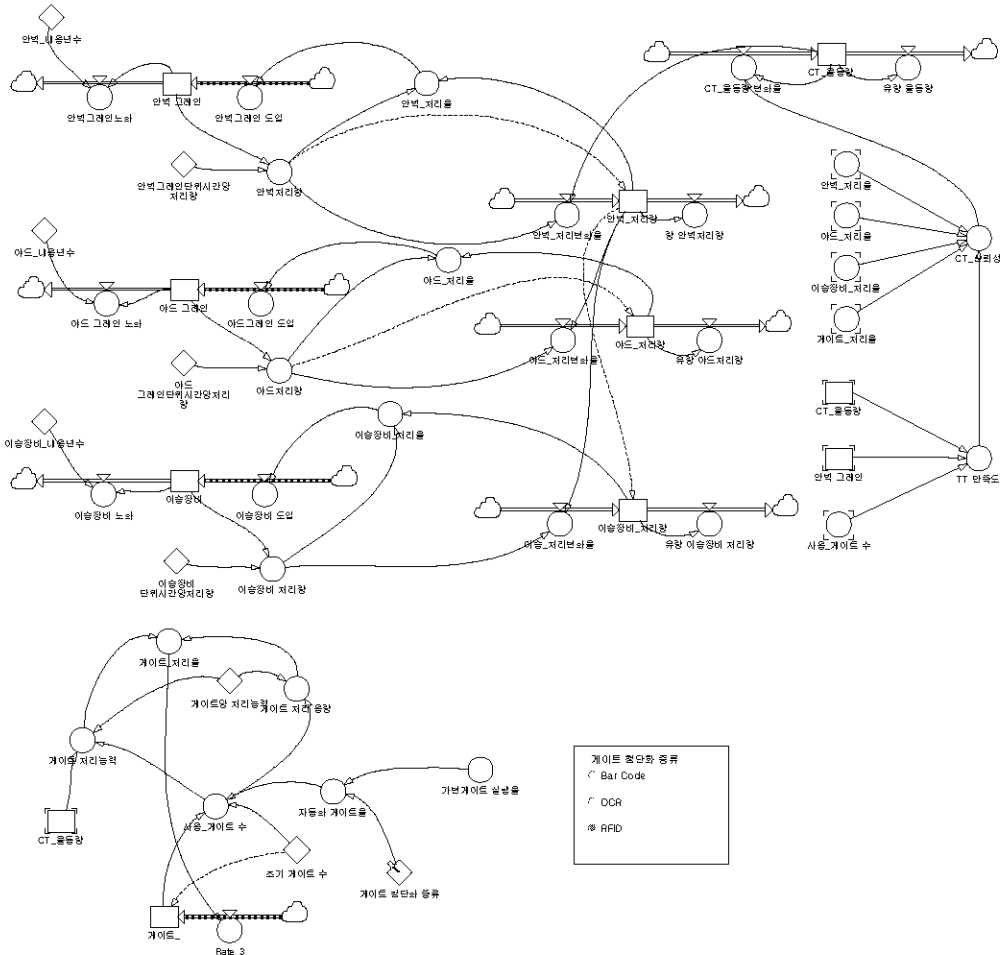
IV. 컨테이너터미널 신뢰도 측정을 위한 SD 모델 개발

<그림 3>에서 제시된 컨테이너터미널 각 요소 간 관계를 표현한 인과지도를 기반으로

각 영역(장비 및 시설, 기술 등)별 효율성이 컨테이너터미널 신뢰도에 미치게 되는 영향과 측정된 신뢰도가 컨테이너터미널 경영환경에 영향을 주어 향후 장비 및 시설의 첨단화를 추진하는 것과 어떠한 관계가 있는지 분석한다.

1. 시뮬레이션 모델링

컨테이너터미널 신뢰도 측정을 위한 시뮬레이션 모델은 <그림 4>와 같다. 본 연구를 위해 개발된 모델은 컨테이너터미널의 주요 장비 및 시설의 처리량과 컨테이너터미널 신뢰도 측정에 중요한 영향을 미치게 되는 Turnaround Time을 중심으로 개발하였다.

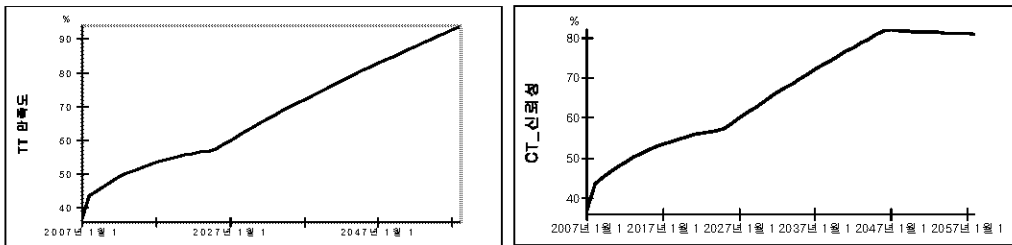


[그림 4] 컨테이너터미널 신뢰도 측정을 위한 SD 모델

제시된 SD 모델은 컨테이너터미널의 주요 영역 및 작업 중에서 핵심이 될 수 있는 안벽 크레인, 이송장비, 야드 크레인, 게이트의 처리율이 컨테이너터미널 신뢰도에 미치는 영향과 고객(선사, 운송사 등) 중심 관점인 Turnaround Time에 관한 만족도가 컨테이너터미널 신뢰도에 미치는 영향을 파악하였다.

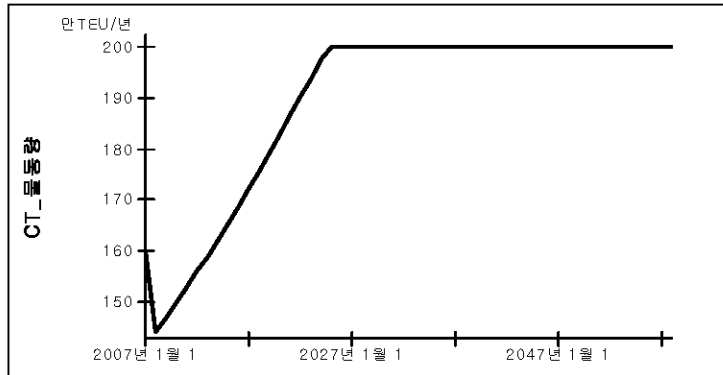
2. 결과분석

시뮬레이션은 컨테이너터미널이 개장하여 폐장할 때까지의 기간인 약 50년을 기준으로 시뮬레이션 하였고, 안벽과 게이트의 컨테이너터미널 TT(Turnaround Time) 만족도와 전체 작업 처리율에 따른 컨테이너터미널 신뢰도를 측정해 보았다. TT 만족도에 따른 컨테이너터미널의 신뢰도의 변화는 <그림 5>와 같다.



[그림 5] 컨테이너터미널 TT 및 신뢰성 변화 추이

<그림 5>와 같이 초기 TT 만족도 및 신뢰성의 경우 40%이하로 저조한데 이는 터미널 개장 초기 부족한 장비 및 시설과 운영 효율성의 저하가 원인이나 이러한 부분이 개선되면서 점차 TT 만족도 및 신뢰성이 개선되어 감을 파악할 수 있다. 이렇게 개선된 TT 만족도 및 신뢰성은 향후 해당 컨테이너터미널로 더 많은 선사 및 운송사를 유치할 수 있게 되어 처리할 수 있는 물동량 또한 증가하게 된다. <그림 6>에서 나타내고 있는 그래프의 초기 물동량 감소 요인은 초기 TT만족도 및 신뢰성이 낮은 이유와 유사하다. 그리고 증가하는 물동량은 컨테이너터미널 영역의 한계, 장비 및 시설을 무한정 도입이 어렵기 때문에 일정 시점이 지나면 처리물량은 일정하게 되는 곡선을 띄게 된다.



[그림 6 TT만족도와 신뢰성에 따른 물동량 변화 추이

V. 결론

무한경쟁시대라 일컬어지고 있는 현재 항만 환경은 컨테이너터미널들로 하여금 선사유치, 고객서비스 개선 등 다양한 노력을 기울이게 하고 있다. 이에 본 연구는 기존 연구들이 다루고 있는 국가 간 경쟁, 항만 간 경쟁 관점과는 다른 컨테이너터미널의 효율적인 운영의 관점에서 신뢰성에 영향을 미치는 요인을 도출하고, 이들 간의 관계를 파악하였다. 컨테이너터미널의 경우 각 장비의 형태가 터미널별로 상이하고, 운영방식 또한 상이하므로 생산성에 관한 논의는 많이 있었으나, 본 연구와 같은 컨테이너터미널 전체를 대상으로 신뢰도에 영향을 주는 요인 간 관계를 규명한 연구는 부족했다. SD를 통한 거시적인 관점에서 문제를 해결하려는 새로운 시도에는 분명 연구의 의의를 찾을 수 있으나, 연구를 위한 시간적인 한계와 컨테이너터미널 내 다양한 요소에 대한 데이터의 부족으로 인해 보다 현실적인 연구결과를 도출하는데 미흡한 것도 사실이다. 따라서 향후 더욱 현실적인 결과 산출을 위해 컨테이너터미널 운영 전문가들과의 면담, 각 요소에 필요한 데이터의 수집, 컨테이너터미널과 관련된 외부 요인들을 연결한 모델의 개발 및 실험을 계속 할 것이다.

[참고문헌]

- 권능중, 안기명, "부산항 컨테이너터미널의 경쟁력 제고 전략에 관한 실증 연구", 해양한국, 2002. 2, pp.90-98
- 여기태, 이철영, "SD法과 HFP法の 融合을 利用한 港灣競爭모델의 開發", 한국 시스템 다이내믹스 연구, 창간호, pp.103-131, 2005.
- 오성동과 박노경, "컨테이너 항만의 국제경쟁력분석방법: DEA 접근 -생산효율성분석을 중심으로-", 한국항만경제학회지 제17집 제1호, pp.27-51
- 박노경, "국내항만의 서비스만족도와 생산효율성과의 관계분석", 해운연구: 이론과 실천, 2002년 가을, pp.69-96
- 한철환, "동북아 항만들의 경쟁전략에 관한 연구", 해운연구: 이론과 실천, 2002년 가을, pp.33-67
- 김창완, 김진만, 하명신, "船社の 컨테이너 터미널選擇 決定要因分析 -釜山港 터미널을 中心으로-", 2005년 한국항만경제학회 국제학술대회
- 최형림, 박남규, 박병주, 유동호, 권해경, 신중조, "RFID 기반의 자동화 게이트시스템 개발", 해양정책연구, 21, 1, pp.83-108, 2006.