

지속가능 물류를 위한 TP-SD 방법론 기반의 복합운송체계 시뮬레이션 모델 개발*

Development of TP-SD Methodology-based Simulation Models to Improve Multimodal Transport Systems for Sustainable Logistics*

정재운** · 김현수*** · 최형림*** · 홍순구***

Jung, Jae Un** · Kim, Hyun Soo*** · Choi, Hyung Rim*** · Hong, Soon goo***

Abstract

Today, the logistics industry has played a critical role in national economy activities. The low cost and high efficiency of the logistics industry are meaningful in the improvement of national competitiveness and the logistics industry. However, efficiency of logistics is lower than that of the United States and Japan since most quantities are processed in road transportation in Korea. With regard to this, existing studies expected a saving of social and environmental costs due to a decrease of road transportation as well as improvement of logistics productivity due to bulk transportation through activation of rail and costal transport. For the expectation, the existing multimodal transport systems should be improved first. Therefore it aimed to develop scenario-based simulation models of multimodal transport systems for decision makers in charge of improvement in the logistics area. For model development, this study utilized Thinking Process and System Dynamics(TP-SD) methodology.

Keywords: 지속가능물류, 복합운송체계, 사고 프로세스, 시스템 다이나믹스, 시뮬레이션 모델

(Sustainable Logistics, Multimodal Transport System, Thinking Process, System Dynamics, Simulation Model)

* 이 논문은 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/차세대 물류IT기술연구사업단)

** 동아대학교 경영정보학과 박사과정 (ace@goodplayer.kr)

*** 동아대학교 경영정보학과 교수 ({hskim, hrchoi, shong}@dau.ac.kr)

I. 서론

오늘날의 물류산업은 국가 경제활동에서의 중추적 역할을 담당하고 있다. 이에 물류산업의 저비용 고효율화는 물류산업뿐 아니라 국가 경쟁력 제고에도 중요한 의미를 가진다. 하지만 국내 물류산업은 대부분의 물동량을 공로운송으로 처리하고 있어 미국, 일본 등의 선진국보다 물류의 효율성이 낮은 것으로 조사되고 있다. 그리고 공로운송의 활성화로 인해 발생하는 사회비용 및 환경비용은 국내외적으로 강화되고 있는 각종 규제와 맞물려 물류산업의 지속가능성에 큰 제약으로 작용할 전망이다. 따라서 물류산업의 지속가능 관점에서 산업자체의 생산성 향상뿐 아니라 물류활동으로 발생하는 사회적, 환경적 외부효과의 개선이 요구된다.

이와 관련하여 기존 연구들은 철송 및 연안운송의 활성화를 통해 대량운송에 따른 물류생산성의 향상과 공로운송의 비중 감소에 따른 사회적, 환경적 비용의 절감을 기대하였다. 그러나 철송 및 연안운송 이용시 발생하는 공로운송과의 연계 비용 및 시간 때문에 화주들은 이를 선호하지 않고 있어 복합운송체계의 효율성 개선이 선행될 필요가 있다.

최근 복합운송체계 개선과 관련된 연구들이 활성화되고 있지만, 이들 대부분은 정부주도의 시범사업 수준에서 진행되는 초기 단계의 연구들로서 지속가능 물류의 합목적성을 기반으로 한 복합운송체계 개선의 의사결정지원 기술이나 연구방법론에 관한 연구들은 미진한 상황이다.

이에 본 연구에서는 물류분야의 의사결정자가 지속가능 관점에서 복합운송체계를 개선하는 데 필요한 의사결정지원 기술의 하나로, 시나리오 기반의 복합운송체계 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 모델 개발에는 복합운송체계 개선에 필요한 정책 및 전략과 같이 추상도가 높은 변수를 정의하는 데 적합한 시스템 다이내믹스의 시뮬레이션 모델링 도구를 활용하였다. 그리고 복합운송체계 시나리오 개발에는 제약이론의 사고프로세스 기법을 연계, 활용하였다. 이는 기존 시스템 다이내믹스가 지원하지 않는 시나리오 개발 방법론을 보완하기 위한 것으로서 이를 TP-SD 방법론이라 하였다.

본 연구는 기존의 복합운송체계 개선에 관한 문제에서 개별적으로 혹은 부문적으로 다루어지던 물류 생산성, 사회비용, 환경비용 등의 여러 관점들을 지속가능 물류라는 포괄적 관점에서 함께 다룸으로써 기존보다 문제영역이 크다는 점과 문제해결을 위해 연구자 개인적 관점이 아닌 범용성 있는 시뮬레이션 모델을 개발하였다는 데 있다. 또한 모델 개발시 시스템 다이내믹스 방법론을 활용함으로써 물류 복합운송체계 시뮬레이션 모델 개발이라는 새로운 응용연구 사례를 제시하였다는 데 의의가 있다. 이와 관련된 세부 내용은 본문을 통해서 논의하기로 한다.

II. 선행연구

1. 물류산업의 변화와 지속가능 물류의 필요성 대두

통계청 자료에 따르면 국내 GDP대비 물류비의 비율은 지속적으로 개선되고 있지만, 미국, 일본 등 선진국보다는 여전히 높은 상황이다. 이는 실물경제의 비용적 관점에서 볼 때 재화의 원가비용에서 물류비가 차지하는 비중이 미국, 일본보다 한국이 많다는 의미로서 물류산업 및 국가 경쟁력 강화를 위해 국내 물류산업의 효율적 개선이 필요함을 의미한다. 특히 국내 국가물류비에서 운송비의 비율이 75.71%로 미국, 일본의 60.57%와 63.48%보다 10% 포인트 이상 높게 나타나고 있어 국내 물류의 효율화를 위해 화물운송체계의 개선이 선행될 필요성이 제기되고 있다(서상범, 권혁구; 2009).

공로운송 위주의 국내 물류산업 활성화는 단위운송비용이 상대적으로 높아 물류비의 증대뿐 아니라 교통 인프라의 부족, 도로혼잡비용과 도로유지보수비용의 증대, 온실가스 배출, 대기오염 등 사회적, 환경적 측면에서도 많은 문제를 야기한다. 미국의 경우 2005년 기준으로 교통혼잡 때문에 42억 시간의 정체시간과 29억 갤런의 연료 낭비로 총 780억 달러의 손실비용이 발생하였다. 일본의 경우 1997년 기준으로 연간 약 38억 시간(1인당 30시간)과 약 12조 엔의 비용이, 캐나다는 전국 9개 도시의 상습 교통정체에 대해 약 23억 달러 ~ 37억 달러의 손실비용이 발생하였다(조한선, 이동민, 2008).

한편 한국의 경우 2007년 기준으로 전국 교통혼잡비용이 25조 8,616억 원 발생(GDP의 2.87%에 해당하는 수치)하였으며, 최근 10년간 연평균 6.99%의 교통혼잡비용이 증가하고 있는 실정이다(건설교통부, 2008). 그리고 환경비용과 관련하여 온실가스(CO₂) 배출이 세계에서 9번째로 많은 국가로서 전체 온실가스 배출량의 20% 이상을 운송산업을 통해 배출하고 있다(OECD, 2009; 박석하, 2005). 특히 공로운송은 CO₂ 기준으로 철도운송보다 3.5배, 연안운송보다 6.5배 많은 양을 배출하기 때문에 국내 공로운송 중심의 운송체계를 철도운송 및 연안운송의 활성화를 통해 개선해나갈 필요가 있다.

이는 최근 국제사회의 지속가능발전 세계정상회의와 국제기후변화협약, 그리고 국제해사기구인 IMO(International Maritime Organization) 등을 통해 경제활동의 외부효과를 규제하려는 추세와 맞물려 그 필요성이 더욱 강조되고 있다. 한국정부도 국제사회의 이 같은 추세에 따라 최근 지속가능 교통물류 발전법, 저탄소 녹색성장 기본법, 물류정책 기본법 등 관련 법제도적 장치들을 신설 및 정비 중에 있는데, 해당 법규들은 기존 물류산업의 저비용 고효율화 추진뿐 아니라 물류활동에 따른 외부효과와 규제까지 함께 고려하고 있어 물류산업의 지속가능성을 위해 기존보다 복잡 다양한 의사결정이 요구되고 있다.

이에 대한 문제적 접근으로 지속가능 물류*의 개념이 대두되고 있는데, 이는 지속가능 교통물류 발전법에서 ‘지속가능성에 기초하여 사람, 화물 등의 이동성과 접근성 향상 등 교통물류의 발전을 이루는 교통물류체계’로 정의되고 있는 ‘지속가능 교통물류체계’에서 그 개념적 출처를 찾을 수 있다. 여기서 지속가능성이란 ‘현재 세대의 필요를 충족시키기 위하여 미래세대가 사용할 경제, 사회, 환경, 교통 등의 자원을 낭비하거나 여건을 저하시키지 아니하고 서로 조화와 균형을 이루는 것을 말한다.’

지속가능 물류의 특징은 기존의 물류산업에서 중점적으로 고려하던 물류의 생산성 측면에 추가하여 외부효과로 발생하는 사회적, 환경적 측면의 외부비용까지 고려하는 데 있다. 기존에는 물류의 외부효과에 따른 손실비용을 사회의 공공영역에서 부담하였지만, 앞으로는 외부비용을 규제하기 위해 물류산업의 직간접적인 투자를 유도하거나 규제위반에 대한 벌과금을 강제할 것이기 때문에 이로 인해 발생하는 모든 비용들은 궁극적으로 물류원가에 반영(내부화)될 것으로 예상된다. 사실 기존에도 대기오염이나 도로혼잡 등의 외부비용을 교통에너지환경세, 주행세 등의 명목으로 유류에 세금을 부과하여 교통물류의 외부비용을 내부화 시키려는 노력을 진행해왔다(이재민 외, 2008). 하지만 화물자동차운송(공로운송)시장의 차량 공급과잉으로 인해 화물자동차운송업체(개인차주 포함)의 경영난이 심화되자 정부가 유류세를 환급해주고 있어 공로운송의 외부발생 비용에 대한 규제가 제대로 효과를 발휘하지 못하고 있는 실정이다. 그러나 앞으로 물류의 지속가능성을 위해 정부의 외부효과에 대한 직접적인 규제와 더불어 탄소배출권 거래제 도입 등의 간접 규제 방식을 도입할 가능성이 크기 때문에 물류의 생산성 및 외부비용의 개선과 관련된 의사결정지원 기술의 필요성이 높아진다.

2. 지속가능 물류를 위한 복합운송체계 연구동향

지속가능 물류체계의 구현을 위해서는 물류의 생산성(질적 요인 포함)과 환경적, 사회적 외부비용에 대한 성과의 개선 및 관리가 필요하다.

이성원(2007)은 경제적 지표(이동거리, 통행속도, 통행비용 등), 사회적 지표(교통사고, 교통시스템 만족도 등), 환경적 지표(에너지소비 및 대기오염 관련 지표 등)로 구성된 지속가능교통 관점에서의 평가지표를 논의하고 있으나, 지속가능 물류에 특화된 성과지표라 보기 어렵다. 하지만 아직 해당 성과지표의 개발이 활성화되지 않은 상황이라 현재로서는 김은미 외(2008), 노학래 외(2000), 박석하(2007), 조계석 외(2000) 등 지속가능 물류의 부분적

* 최근 녹색성장과 더불어 녹색물류의 개념이 함께 대두되고 있으나, 이들은 지속가능 성장, 지속가능 물류의 한 형태임

관점에서 논의되고 있는 물류 성과지표들을 경제적, 사회적, 환경적 관점에서 재분류하여 지속가능 관점의 성과관리 지표로 활용할 필요가 있다.

한편 앞서 기존 공로운송 중심의 물류 생산성을 향상시키고, 외부비용을 감축하기 위해 철송 및 연안운송을 활성화할 필요성을 제기하였다. 그러나 현재의 철송 물동량은 2008년 기준으로 약 46,806천 톤으로 전체 화물의 약 6%에 해당하는 수준이며, 이중 컨테이너 물량은 약 12,443천 톤에 불과하다.* 그리고 연안운송의 경우 전체 물동량의 15%~20%를 담당하고 있으나, 선사들이 수익을 얻을 만큼 충분한 물동량이 거래되지 않아 부산-군산-인천항로(1998년, 대한통운), 부산-광양항로(2004년, 한진), 부산-인천항로(2006년, 한진)의 운항이 중단된 바 있다. 최근 2009년에는 인천항의 적극적인 보조금 지원 정책 등에 힘입어 부산-인천항로 구간에 215 TEU급 피더선 2척의 운항(한진)이 재개되었다.

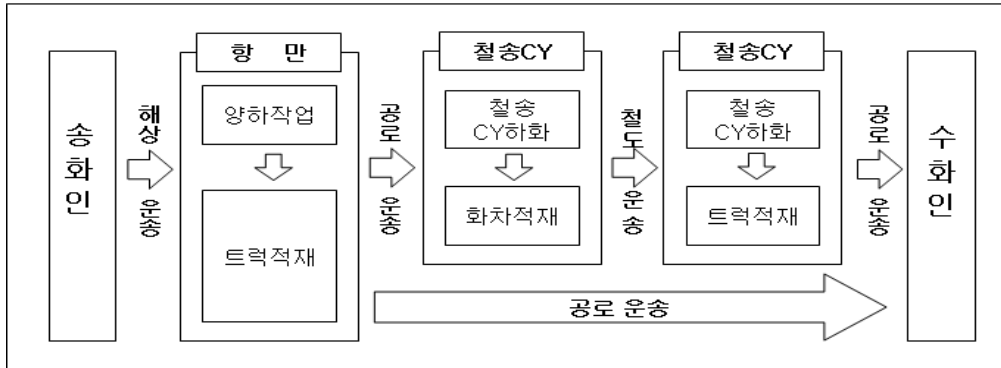
이처럼 철송 및 연안운송의 물동량이 저조한 것은 노학래 외(2000), 백종실(2004), 임광수 외(2004) 등에서 지적하고 있는 철송 및 연안운송의 문전서비스를 위한 일관운송체계의 미흡, 각 운송수단의 인프라 부족, 인프라 부족에 따른 운송/연계 소요시간의 과다, 타운송과의 연계성 부족, 정보전달 체계의 미흡, 이로 인한 정시성 부족 등의 문제들이 해결되지 않고 있기 때문이다.

그러나 이 같은 문제들은 철송 및 연안운송 업체의 고정비 과다로 인한 수익구조의 취약성과 관련이 있다(박용안, 최기영; 2009). 해당 운송업체들은 물동량이 적어 수입은 적은 반면 높은 고정비로 운송사의 적절한 이윤을 확보하기 어렵다. 이는 앞서 언급한 화주나 포워더(fowarder)들의 불만사항을 해소하기 위한 신규(재)투자가 불가한 원인이 된다. 또한 이 같은 상황은 철송 및 연안운송의 물량유치 실패로 이어지는 악순환의 구조적 문제를 야기하는 문제적 특성을 가진다.

그렇다면 기존의 물류체계에 대한 문제를 해결하기 위해 복합운송체계의 어떤 부분을 어떻게 개선할 것인가에 대한 의문이 제기된다. 이와 관련하여 방연근(2002)은 국내 주요 화물 중 수익성과 물동량의 성장성을 고려할 때 컨테이너 화물이 가장 우위적 위치에 있는 것으로 분석하였다. 이에 모든 화물을 대상으로 논의를 진행할 수 없는 연구적 한계와 앞으로의 복합운송체계 개선 논의의 효율성을 고려하여 컨테이너 화물 중심으로 논의를 진행하기로 한다.

다음의 [그림 11]은 국내 화물운송 프로세스를 컨테이너 화물 중심으로 도식화 한 것으로서 각 운송 유형별 물류 프로세스를 설명하고 있다.

* 통계청 통계자료



[그림 1] 국내 컨테이너 화물운송체계

수입 컨테이너 화물의 경우 선박이 항만(부두)에 도착하여 컨테이너를 하역하면 셔틀차량은 이를 받아 컨테이너 야적장(Container Yard, 이하 CY)으로 옮긴다. 옮겨진 컨테이너 화물은 CY에 일정시간 대기 후 컨테이너 운송차량에 의해 화주의 문전까지 배송(공로운송) 되거나, 컨테이너 터미널 인근의 철송CY까지 이동 후 열차로 화주 인근의 철송CY로 보내진다(철도운송). 철도로 운송된 컨테이너는 철송CY에서 다시 트럭에 적재되어 화주의 문전까지 이동된다. 수출 화물의 경우 수입 화물의 역순으로 운송된다.

연안운송의 경우 해외에서 입항한 선박이 항만(부두)에 컨테이너를 하역하면 해당 컨테이너를 터미널 내부의 CY나 외부의 ODCY(Off-Dock Container Yard, 내륙의 컨테이너 임시 장치 공간) 등으로 셔틀운송(트럭이용)한 후, 이를 다시 피더선에 선적하여 화주의 인근 부두로 해상 운송한다. 그리고 연안운송 이후구간부터 화주의 문전까지는 주로 공로운송이 이용된다. 수출의 경우 역순으로 운송된다.

여기서 철송 및 연안운송의 문제점은 단일 운송으로는 물류의 완결성을 보장하기 어렵다는 것이다. 이에 공로운송과 연계된 복합운송체계를 제공해야 하지만, 공로운송과의 연계 과정에서 발생하는 추가 비용 및 시간 때문에 공로운송 및 연안운송의 이점이 줄거나 상쇄되기 때문에 이를 해결하기 위한 복합운송체계 개선 기술 및 운영 전략의 연구가 요구된다.

복합운송체계 효율화 기술에는 크게 개별운송 자체에 대한 성능 효율화 기술과 타운송간의 연계기술 2가지로 구분할 수 있다.

개별운송의 자체적 성능 효율화 기술에는 공로운송 부문에 DST(Double Stack Trailer), MTS(Multi Trailer System), 콤비로드(Combi-Road) 등이 있으며, 철도운송 부문에는 DST(Double Stack Train) 시스템이 대표적이다. 그리고 연안운송에는 초고속선과 대용량의 피더선이 있다. Double Stack Trailer는 컨테이너를 이단으로 최대 4TEU까지 적재할 수 있

는 컨테이너 샷시이며, MTS는 한 번에 5개의 샷시를 연결하여 이송할 수 있는 트랙터 시스템이다. 콤비로드는 네덜란드의 CTT(Centre for Transport Technology)가 개발한 신기술로 항만내의 TP(Transfer Point)*에서 일반 트럭에 분배되어 곧바로 목적지까지 운송할 수 있는 무인트럭운송 시스템으로, 독자적인 트랙(도로)을 이용하여 교통체증 유발 없이 시속 50km로 운송이 가능하다. 그리고 Double Stack Train은 컨테이너를 이단으로 적재할 수 있는 화차 시스템이며, 초고속선과 대용량의 피더선은 기존의 연안운송선보다 속도와 크기를 향상시킨 기술이다.

한편 타운송간의 연계기술에는 공로운송과 철송 연계 기술인 DMT(Dual Mode Train)가 있으며, 철송 및 연안운송 연계 기술인 열차 페리(Ferri-Rail) 시스템이 있다. 그리고 연안운송과 공로운송의 연계기술로는 Ro-Ro(Roll-on Roll-off) 선박 시스템과 자가하역이 가능한 신개념의 연안선 등이 있다. DMT의 종류에는 피기백(Piggyback), 바이모달(Bimodal), 모달로(Modalohr), 카고비머(Cargo Beamer) 등이 있다(양창호 외, 2002). 이는 모두 해외에서 개발된 기술들로 벤치마킹을 통해 해당 기술을 국내에 도입하기 위해 국책과제의 일환으로 양산ICD에 테스트베드를 구축해 놓고, 한국형 DMT를 개발하고 있는 중이다.

열차페리의 경우 영국, 스웨덴, 덴마크, 독일 등에서 활용하고 있는 기술로서 선박과 철도의 대량운송에 대한 이점을 최대화하고, 환적시간과 비용을 줄일 수 있는 복합운송시스템이다(한국과학기술원, 2009).**

이외에 운영 전략 및 정책 관점에서 문대섭 외(2002), Konings et al (2008) 등이 물류 거점과 수배송지 간의 물류 네트워크 설계 및 운영 전략에 관한 연구를 진행하였고, 한국철도공사가 화물운송 업무의 효율성 제고와 대고객 서비스의 질적 향상을 위해 부산진역CY의 운영시스템, 철송 예약 및 위치추적 서비스 제공을 위한 물류정보시스템 등의 IT 인프라를 구축하였다. 그리고 김정태, 유재균(2001)은 중장거리 화물에 대한 철도운임의 거리체감제 도입에 따른 중장거리 화물의 운임인하 효과에 대해서, 전형진, 고현정(2008)은 연안운송의 물동량 유치를 위해 화주에게 항만시설사용료와 운송비 등의 적정 지원수준을 설문하여 물동량 유치 효과를 추정하는 연구를 진행하였다. 이재민 외(2008), 채여라 외(2007) 등은 사회적, 환경적 외부비용을 유류세나 탄소세 등에 반영하여 손실비용 발생자가 해당 비용을 부담토록 하는 외부비용의 내재화 방안을 연구하였다.

복합운송체계 개선과 관련된 의사결정방법과 관련하여 임영태, 이영인(2005)은 비용편익 분석을 비롯하여 자기포락기법, 일차분석, AHP(Analytic Hierarchy Process)의 쌍대비교 평가 등을 논의한 바 있다.

* CY에서 트럭이 컨테이너를 상하차하는 지점

** 각 기술에 대한 추가적인 내용은 양창호 외(2002), 한국과학기술원(2009) 등을 참조하길 바람

실제로 세계 150대 기업에서는 경영 의사결정 문제를 해결하기 위해 통계분석과 시뮬레이션, 선형계획법을 가장 많이 활용하고 있는 것으로 나타났다(다이나믹소프트, 2009). 그러나 복합운송체계 개선의 문제는 복잡도가 높고 문제 영역이 넓기 때문에 최적화 기법보다는 다양한 사례기반의 의사결정을 지원할 수 있는 시뮬레이션 방법이 적절한 것으로 판단된다.

물류분야의 시뮬레이션 모델 연구와 관련해서는 최상희 외(2007)가 스프레드시트(spreadsheet)를 활용한 항만 하역시스템의 설계지원 모형을, Bruzzone & Tremori(2009)가 일반 프로그래밍 언어를 활용하여 냉장제품의 SCM 상에서 배출되는 차량 탄소배출량을 웹기반의 시뮬레이션 모델로 개발한 바 있다. 이 외에 Witness나 Arena 등과 같이 시뮬레이션 모델링에 특화된 범용 S/W 패키지를 활용하여 항만 내부 레이아웃 설계 등을 진행한 연구 사례들이 있다.

3. 선행연구의 시사점

선행연구를 통해 지속가능 물류체계 구현의 필요성과 복합운송체계 개선과 관련된 연구 사례들을 살펴보았다. 그러나 기존의 연구들은 대부분 <표 1>과 같이 도로, 철도, 연안의 복합운송체계를 고려한 시뮬레이션 모델에 관한 연구를 진행한 사례를 찾아보기 어려웠다.

<표 1> 복합운송체계 개선 관련 문헌의 내용분석 결과

구분	운송영역			분석내용			연구모델	연구자
	도로	철도	연안	물류 생산성	환경 비용	사회 비용	시뮬레이션 모델	
분석 내용	○	X	○	○	○	○	X	박용안(2003)
	○	○	○	○	X	X	X	양창호 외(2002)
	○	X	○	○	○	X	X	조계석 외(2000)
	○	○	X	○	X	X	X	하현구 외(2003)
	○	○	X	○	X	X	X	한국건설교통 기술평가원(2007)

기존 연구의 대부분은 통계적, 실증적 분석 기법과 인터페이스가 없는 시뮬레이션 연구 방법을 활용하였다. 이는 주로 분석 모델의 개발자와 모델 이용자가 거의 동일시 되는 연구 환경에서 이뤄져 왔다. 하지만 물류분야의 정책 의사결정자는 복잡한 수리적 모델이나 휴리스틱 알고리즘에 대한 전문적 이해가 없는 경우가 많기 때문에 모델의 개발자와 이용자가 달라도 이용에 불편함이 없는 형태로 기술이 개발되어야 한다. 즉 사용자가 모델의

수정이나 변경 없이도 원하는 내용을 분석할 수 있도록 개발되어야 한다. 그리고 다양한 상황에 대한 분석을 진행하기 위해서는 주로 일회성 분석을 목적으로 활용되는 통계적, 실증적 분석 기법보다는 시뮬레이션 모델을 활용한 의사결정지원이 적합할 것으로 판단된다. 또한 시뮬레이션 인터페이스를 사용자 중심의 대화형으로 개발할 경우 사용자가 모델의 개발 과정과 방법에 상관없이 원하는 내용을 손쉽게 분석할 수 있기 때문에 사용자 인터페이스를 갖는 형태의 모델 개발이 필요하다.

그리고 무엇보다 물류의 지속가능성 관점에서 복합운송체계 시뮬레이션 모델을 개발하기 위해서는 복합운송체계 개선 효과로 물류의 생산성, 환경비용, 사회비용 등을 포괄적으로 제공할 수 있어야 한다.

Ⅲ. 연구모델의 수립

1. 문제의 정의

본 연구에서 개발하고자 하는 지속가능 물류 관점의 복합운송체계 시뮬레이션 모델이 고려하고 있는 문제의 대상과 범위는 다음과 같다.

첫째, 운송화물은 컨테이너 화물을 대상으로 하였다. 현실적으로 모든 화물을 고려할 수 없는 연구적 한계를 감안하여 전체 화물 중에서 비중이 가장 많고, 물동량의 성장 가능성과 수익성이 가장 높을 것으로 전망되는 화물을 연구대상으로 선정하였다.

둘째, 운송종류는 공로운송, 철송, 연안운송의 3가지를 고려하였다. 항공운송의 경우 물류비가 많고, 다량의 컨테이너화물을 운송하는 데 부적합하기 때문에 제외하였다.

셋째, 운송영역은 국내의 대표적 수출입 컨테이너 운송구간인 부산-경인권을 연구대상으로 정하였다. 부산은 국내 수출입 물동량의 70% 정도를 처리하는 한국 대표 항만지역이며, 경인권은 내륙에서 취급하는 물동량이 가장 많은 의왕ICD(Inland Container Depot)가 위치한 지역이다. 그리고 대부분의 수출입 물동량이 해당 구간을 통해 운송되기 때문에 국내 운송구간의 대표성을 가진다고 판단하였다.

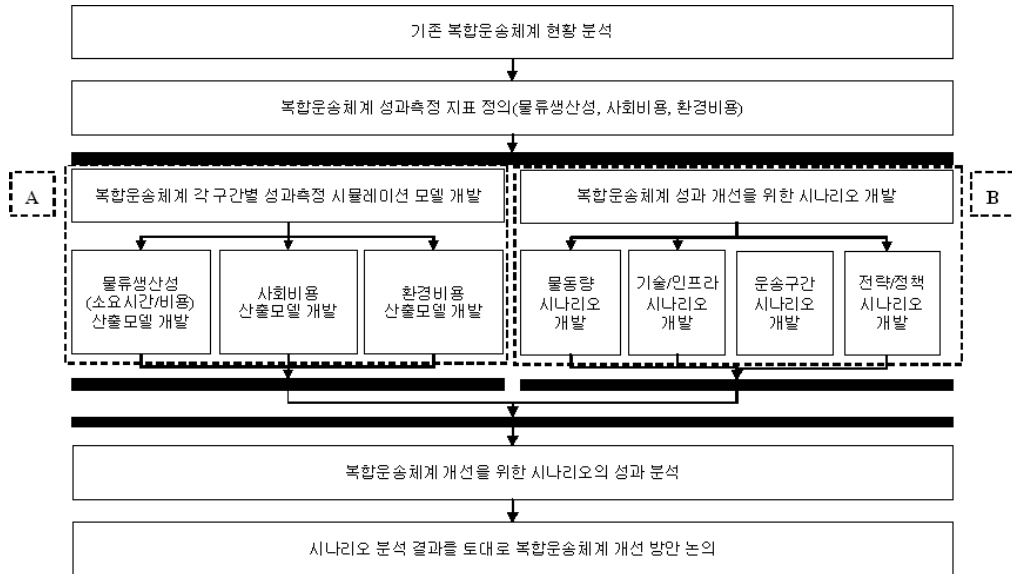
넷째, 복합운송체계의 개선을 위해 필요한 기술에는 공로운송, 철송, 연안운송의 개별 운송 기술과 운송간 연계 기술, 기술 운영에 필요한 전략, 정부 관점의 정책 등이 있다.

다섯째, 복합운송체계 시뮬레이션 모델에서 분석 결과로 제시하는 내용은 크게 물류의 생산성, 환경비용, 사회비용 등 3가지이다. 이는 물류의 지속가능성 관점에서 고려되어야 할 대표적인 성과지표들이다.

2. 문제해결의 절차 및 방법

복합운송체계 성과분석 시물레이션 모델은 다음의 연구적 절차 및 방법을 통해서 개발되었다.

첫째, 문헌조사를 통해 기존 복합운송체계 현황분석과 지속가능 관점의 복합운송체계 성과지표를 선정하였다.



[그림 2] 연구수행 모델

둘째, 앞서 정의한 성과지표 중심으로 기존의 복합운송체계를 기초 시물레이션 모델로 개발하였다. 이는 기초모델의 성과분석 내용과 기존 복합운송체계 성과계측 내용의 비교를 통해 모델의 타당성을 검증하고, 이후 기초 모델에 새로운 복합운송체계 시나리오를 적용하여 개선 효과를 분석하기 위함이다. 모델 개발에는 정책 및 전략과 같이 정성적인 시나리오를 시물레이션 모델로 표현하는 데 적합한 시스템 다이나믹스의 시물레이션 방법론을 활용하였다(그림 2)의 A영역).

셋째, 기존의 복합운송체계를 개선하기 위해 고려할 수 있는 기술, 운영전략, 지원정책 등의 시나리오를 정의하였다(그림 2)의 B영역). 일반적으로 시물레이션 연구방법론에는 시나리오 개발 방법에 대한 이론적 체계가 부족하기 때문에 경영과학의 제약이론에서 제공하는 사고프로세스 기법을 시스템 다이나믹스의 시나리오 개발 이론으로 차용하였다. 이는 기존 시물레이션 모델 연구에서 시도되지 않은 새로운 접근방법으로 본 연구에서는 이를

TP-SD 방법론으로 정의하였다.

넷째, 시뮬레이션 분석시 사용자의 효율적인 시나리오 변경 및 성과분석을 지원하기 위해 대화형 인터페이스를 개발하였다. 이는 사용자가 시뮬레이션 모델을 직접적으로 수정하지 않고서도 다양한 시나리오 분석이 가능한 이점이 있다.

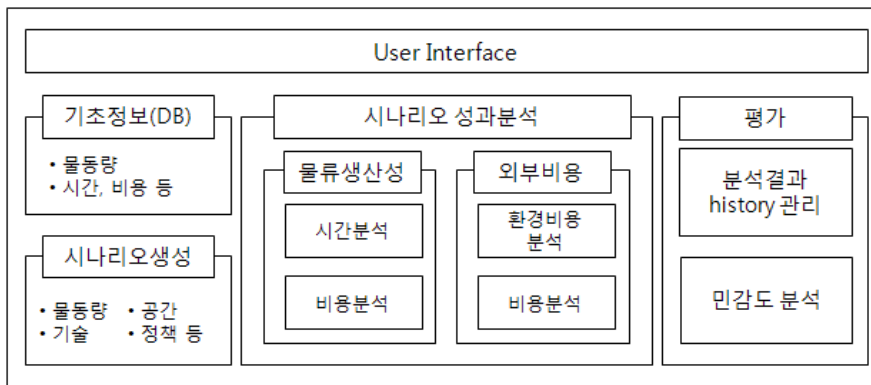
다섯째, 정의된 복합운송체계 개선 시나리오를 기초 시뮬레이션 모델에 적용하여 시뮬레이션 사례분석을 진행하였다.

여섯째, 개발 기술의 활용가치를 파악하기 위해 복합운송체계 개선의 의사결정이 필요한 기관을 대상으로 인터뷰를 진행하였다.

IV. 복합운송체계 시뮬레이션 모델 개발

1. 복합운송체계 시뮬레이션 기초 모델링

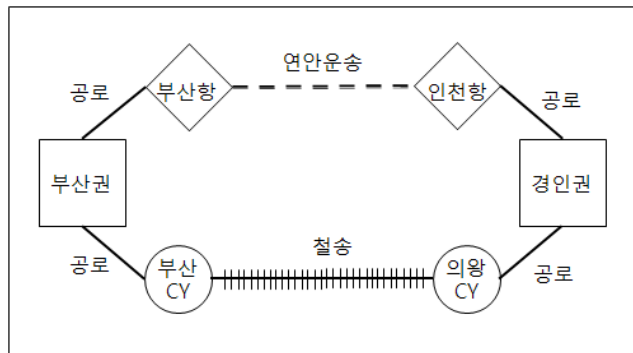
앞에서 정의한 성과측정 지표 중심으로 부산-경인권 구간의 운송체계 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 본 연구를 통해 개발된 시뮬레이션 모델은 기초정보, 시나리오 생성, 시나리오 기반의 복합운송체계 성과분석, 시나리오 분석 결과의 평가, 사용자 인터페이스 등 5가지의 모듈로 구성되어 있다(그림 3) 참조). 그리고 시뮬레이션 모델링에는 Powersim Studio8 을 활용하였다.



[그림 3] 복합운송체계 시뮬레이션 모델 구성도

1) 복합운송체계 공간

서두에서 말한 바와 같이 복합운송체계의 시뮬레이션 공간은 부산-경인권 구간으로 한다. 기초 모델에 반영되는 공간은 개선 전의 공간으로 공로운송의 경우 부산권에서 경인권으로 단일 운송이 가능하며, 철도운송의 경우 부산진 CY에서 의왕 CY구간을 제외하고는 공로운송으로 연계수송 된다. 연안운송의 경우에는 부산항에서 인천항까지 선박으로 연안 운송되며 나머지 구간에 대해서는 공로운송에 의해 연계 운송된다. 이를 도식화한 것이 [그림 4]이다.



[그림 4] 복합운송 공간 시나리오

2) 물류 생산성

물류 생산성을 대표하는 지표로서의 물류 운송시간과 비용은 다음과 같이 정의된다.

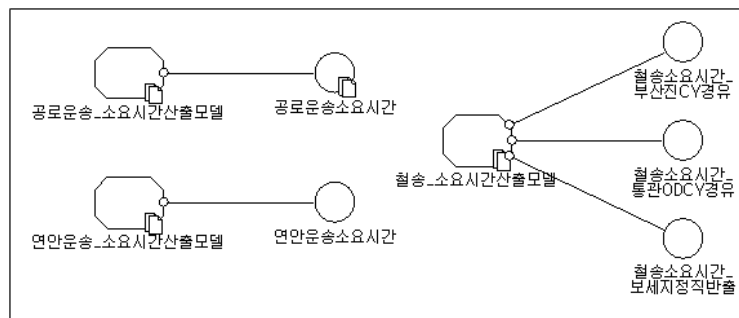
물류의 시간은 부산권-경인권 구간의 전체 운송소요시간을 의미하며, 이는 [그림 5]에서 설명하고 있는 각 운송구간별 소요시간들의 합으로 계산된다.

$$\text{총운송시간} = \sum \text{각 구간별 운송시간}$$

부산항				
하역장치				
공로운송	철도운송			연안운송
통관, 적재 (3일)	통관, 부산진CY경유 (3일)	통관ODCY경유 (3일)	보세지정직반출 (1일)	통관, 적재 (3일)
서플운반 (2시간)	서플운반 (1시간)	서플운반 (1시간)		운항 (28시간)
ODCY장치 (10시간)	열차조성 (7시간)	ODCY장치 (1일)		하역, 장치 (3일)
트럭운송 (10시간)	열차운송 (8시간)	열차조성 (7시간)		트럭운송 (2시간)
	의왕ICD 장치 (1일)	열차운송 (8시간)	열차운송 (8시간)	
	트럭운송 (2시간)	의왕ICD 장치 (1일)	의왕ICD 통관 (3일)	
		트럭운송 (2시간)	트럭운송 (2시간)	
4일 12시간	4일 18시간	5일 18시간	4일 10시간	7일 6시간
수화주(경인지구)				

[그림 5] 부산권-경인권 운송구간의 소요시간

자료: 이용상(2004)



[그림 6] 운송유형별 시간분석 모델

이에 해당 식과 변수의 값들을 활용하여 [그림 6]과 같이 운송수단별 소요시간을 산출할 수 있는 SFD(Stock and Flows Diagram) 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 해당 모델은 추상화 모델로 세부 모델을 요약한 형태이다.

한편 복합운송체계상에서 발생하는 총물류비는 각 구간(<표 2>참조)에서 발생하는 비용들의 합을 의미한다.

$$\text{총물류비} = \sum \text{각 구간별 물류비용}$$

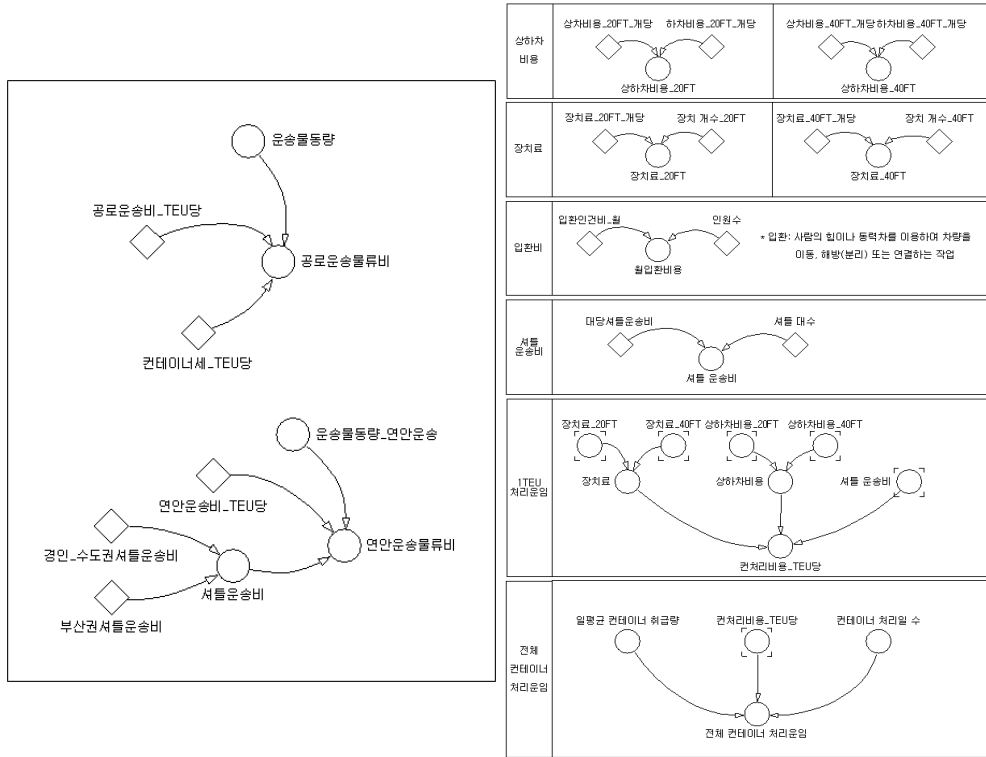
<표 2> 부산권-경인권 물류비 (단위: 원/TEU)

구분	연안운송		공로운송		철도운송	
	상행	하행	상행	하행	상행	하행
수도권서틀운송비	70,000	70,000			70,000	70,000
주운송수단운송비	249,000	196,000	378,000	378,000	160,700	160,700
하역비					18,400	18,400
부산권서틀운송비	37,000	37,000			37,000	37,000
컨테이너세			20,000	20,000	20,000	20,000
합계	356,000	303,000	398,000	398,000	306,100	306,100

자료: 박용안(2003)

복합운송체계의 물류비 분석 모델은 운송소요시간 분석 모델과 마찬가지로 운송경로 상의 각 구간별 소요비용의 합으로 정의된 함수와 <표 2>에서 제시하고 있는 경로상의 물류비를 변수 값으로 하여 [그림 7]의 형태로 SFD 모델을 개발하였다. 왼쪽은 공로운송과 연안운송에 대한 물류비 분석 모델이며, 오른쪽은 철송 물류비 분석 모델이다. 철송 부문의 경우 복합운송체계 개선을 위해 적용할 수 있는 기술적 요건들이 많아 다른 모델보다 구체화하여 개발하였다.

이들은 뒤에서 논의될 복합운송체계 개선 시나리오들이 기존의 복합운송체계 상의 소요 시간 및 비용과 비교되어 성과의 변화 수준을 비교 분석할 수 있도록 지원한다.



[그림 7] 공로운송, 연안운송(좌), 철도운송(우) 물류비 분석 모델

3) 외부비용

물류의 외부비용에는 환경비용과 사회비용 두 가지로 나눌 수 있으며, 이 중 환경비용은 운송과정에서 발생하는 온실가스 발생량과 이로 인한 손실비용으로 정의한다. 그리고 사회비용은 도로혼잡에 따른 손실비용으로 정의한다. <표 3>은 환경비용 및 사회비용 산출에 필요한 주요 계수들이다.

$$\text{환경비용} = \sum \text{각 운송수단별 (환경비용*물동량 처리 실적)}$$

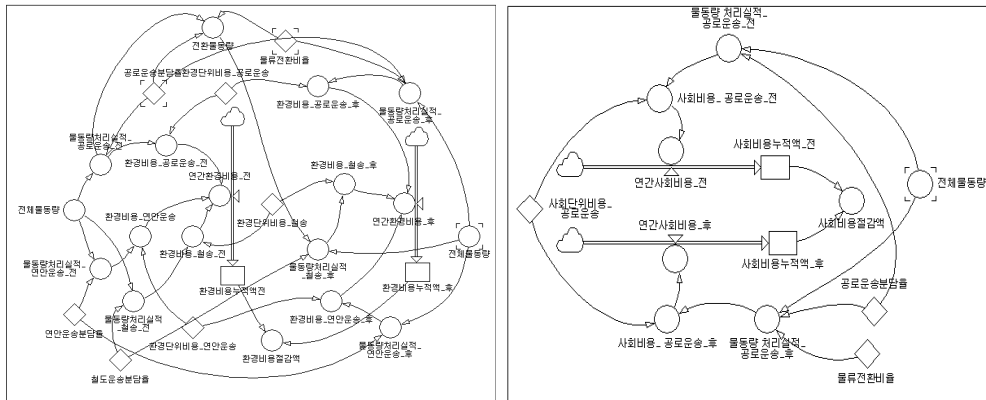
$$\text{사회비용} = \sum \text{각 운송수단별 (사회비용*물동량 처리 실적)}$$

<표 3> 운송수단별 환경비용 및 사회비용 (단위: 원/톤·km)

구분	공로운송	철송	연안운송
환경비용	82.0	12.2	8.1
사회비용	18.0	0.0	0.0
CO2(g/톤·km)	98	28	15

자료: 전형진, 고현정(2008), 김상열, 류동근(2007)

물류의 외부비용을 분석하기 위해 환경비용과 사회비용 함수를 활용하였으며, 변수 및 상수의 값으로 <표 3>의 값을 활용하였다. 개발한 SFD 모델은 [그림 8]과 같다. [그림 8]의 왼쪽은 운송수단별 환경비용을 분석하기 위한 모델이며, 오른쪽은 공로운송의 육상 교통혼잡에 따른 사회비용을 분석하기 위한 모델이다.



[그림 8] 환경비용(좌) 및 사회비용(우) 분석 모델

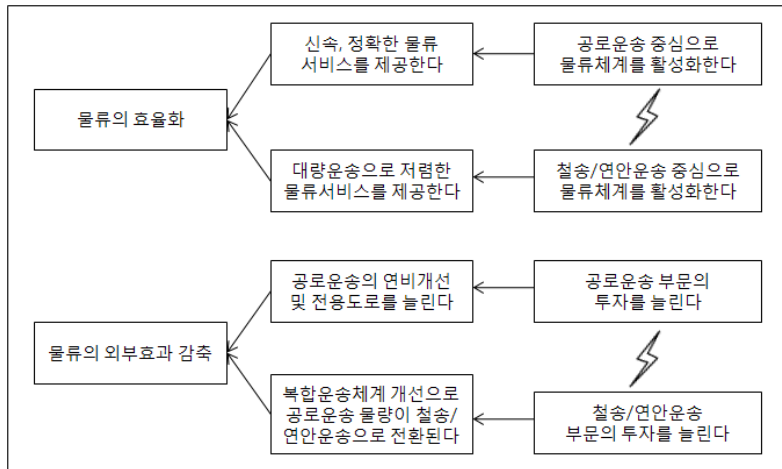
2. 복합운송체계 개선 시나리오 정의

복합운송체계 개선 시나리오 개발에 앞서 지속가능 물류 관점에서 복합운송체계가 지향해야 할 관점(물류생산성의 향상과 외부효과의 감축)에 대해 공로운송, 철송, 연안운송 각각의 기여도와 가능성을 사고프로세스 기법*을 활용하여 [그림 9]와 같이 살펴보았다.

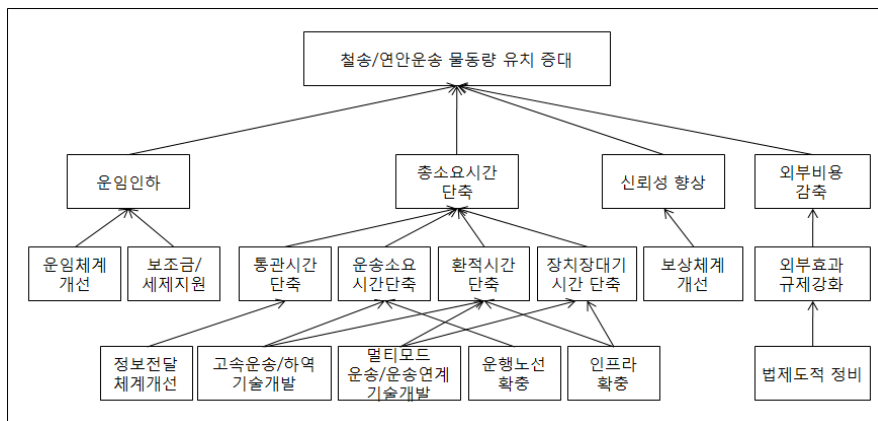
기존 공로운송의 경우 신속, 정확한 문전서비스를 통해 물류의 효율성에 기여하고 있다. 따라서 공로운송의 연비 개선이나 인프라 확장 등으로 환경비용과 사회비용을 절감할 수 있도록 관련 시나리오를 개발할 필요가 있다.

* 사고프로세스에 대한 상세 설명은 조옥래(2008), 최광식(2001) 참조 바람

하지만 공로운송은 연비를 개선하더라도 철송 및 연안운송보다 에너지 효율이 낮고, 인프라의 확장에 있어 국토의 공간적 한계가 있기 때문에 대량운송을 통한 생산성 향상과 외부효과의 절감을 기대할 수 있는 철송 및 연안운송 중심의 복합운송체계 활성화 시나리오의 개발이 더 효과적이다. 따라서 철송 및 연안운송의 활성화 중심으로 시나리오 개발을 진행한다.



[그림 9] 물류체계 개선을 위한 운송유형별 갈등구름(Cloud)



[그림 10] 철송 및 연안운송 활성화를 위한 미래상황나무

[그림 10]은 공로운송이 철송 및 연안운송으로 전환되기 위해 필요한 목표와 이들을 달성하기 위한 중간단계의 전략들을 선행연구 내용을 토대로 정리한 미래상황나무(Future

Reality Tree)이다. 여기에 나타난 복합운송체계 상의 개선 세부 전략 및 목표들을 달성하기 위한 구체적인 기술 및 정책 등의 시나리오를 다음과 같이 정의하였다.

1) 물동량 시나리오

부산-경인권 구간의 복합운송체계 시뮬레이션을 위한 기초 물동량 시나리오로 채희정 외(2008)의 부산항과 수도권 구간의 컨테이너 출발/도착 물동량에 대한 데이터를 사용하였다. 이는 물동량 추정에 많은 불확실성이 내재되어 있기 때문에 이에 따른 오류를 제거하고자 기존의 실측 데이터를 활용하였다. 이 때 해당 물동량은 단위가 TEU인데 외부비용 산출의 단위는 톤·km 이기 때문에 단위 변환의 과정이 필요한데, 컨테이너의 TEU당 무게에 대한 계측 정보가 없기 때문에 박용안(2003)이 사용한 계수 16톤/TEU를 사용하여 단위를 변환하였다. 이를 통해 생성한 최종 물동량 시나리오가 <표 4>과 <표 5>이다.

<표 4> 부산-경인권 물동량 시나리오

구 분	물동량처리실적1 (TEU)	물동량처리실적2 (톤·km)	비고
경인권-부산항	612,828	9,805,248	적·공컨테이너 평균무게 = 16톤/TEU
부산항-경인권	640,308	10,244,928	

자료: 한국해양수산개발원(2006), “해상수출입화물 기종점조사”; 채희정 외(2008) 재인용, 박용안(2003) 수정

<표 5> 운송유형별 물동량 분담율

구분	분담율(%)	물동량처리실적1 (TEU)		물동량처리실적2 (톤·km)	
		상행	하행	상행	하행
공로운송	89.7	549,707	574,356	8,795,307	9,189,700
철송	6.9	42,285	44,181	676,562	706,900
연안운송	3.4	20,836	21,770	333,378	348,327
계	100	612,828	640,307	9,805,247	10,244,928

2) 기술 시나리오

우선 기술 및 설비 관점에서 해결할 수 있는 복합운송체계 상의 문제점은 주로 소요시간 단축 부분이다. 시간과 관련된 주요 세부사항에는 통관시간, 운송소요시간, 환적시간, 장치장 대기시간 등이 있으며, 이 중 통관시간은 세관 업무 프로세스와 연계되는 사항으로 세관의 정보 전달체계 개선을 위해 정보시스템의 도입 및 개선이 진행 중이다. 이에 구체적

인 특정 기술의 언급 없이 개념적으로 관련 정보시스템이 어느 정도 개선된다면 통관시간이 1일, 2일 등의 수준으로 단축될 수 있을 것으로 가정하는 방식으로 시나리오를 생성해서 시뮬레이션 분석에 활용할 계획이다.

한편 개별 운송수단의 자체 운송시간과 이기종 간의 환적시간, 환적을 위해 장치장에서 대기하고 있는 시간들을 개선하기 위해 고려되는 기술에는 선행연구에서 살펴본 바와 같이 많은 기술들이 있다. 이 중 공로운송과 철송, 그리고 연안운송(Ro-Ro선) 간의 연계성이 가장 높은 모달로(Modalohr) 시스템을 대표 기술로 선정하여 다음의 <표 6>과 같이 시나리오를 정의하였다.

<표 6> 복합운송체계 개선 기술 시나리오

구분	작업 준비시간	상하차 시간	공로연계	Ro-Ro선 연계	적용사례	운영비
모달로 시스템	15분	20~30분	가능	가능	있음	보통

3) 정책 및 물동량 전환 시나리오

철송 및 연안운송의 가격 경쟁력 강화를 위해 국내외적으로 운송비와 세제혜택 등이 지원되고 있다. 하지만 이들이 철송 및 연안운송 부문의 물동량 유치와 어떤 관계적 효과(계수)를 나타내는지는 사실상 예측하기 어려운 부분이다. 이에 해당 관계 역시 시나리오 기반으로 예측, 분석할 수밖에 없다. 하지만 다행히 전형진, 고현정(2008)이 화주의 의견을 바탕으로 연안운송의 보조금 지급율에 따른 운송전환(모달시프트)율을 제시한 사례가 있어, 이를 활용하여 운송비 인하 효과에 따른 철송 및 연안운송으로의 물동량 전환비율을 <표 7>과 같이 정의하였다.

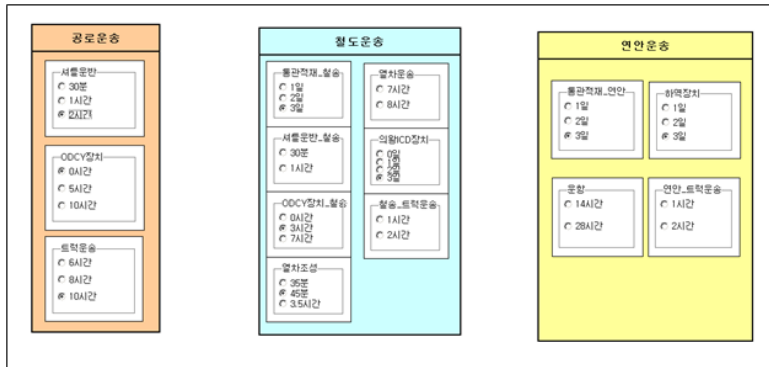
<표 7> 운송비 인하율에 따른 물동량 전환 시나리오

구분	운송비 인하율(%)	운송 전환비율(%)
1	5	0
2	10	5
3	15	10
4	20	15

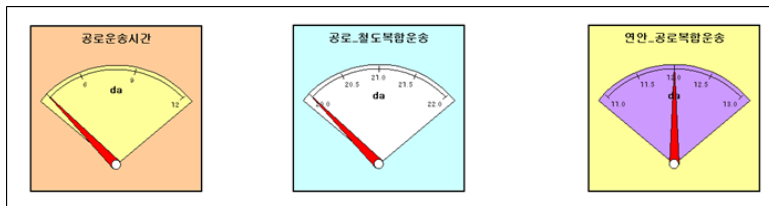
V. 복합운송체계 시뮬레이션 모델 평가

1. 복합운송체계 개선 시나리오 분석

시나리오 기반의 시뮬레이션 분석의 효율성을 높이기 위해 시나리오 생성 모듈과 시나리오 분석 모듈을 활용하여 사용자 중심의 대화형 인터페이스를 개발하였다. <그림 11>은 개발자가 사전에 변수의 값(옵션)을 몇 가지로 정의해두면 사용자는 그 옵션을 선택(조합)해서 여러 개의 시나리오를 생성할 수 있다. 예를 들어 3개의 변수에 옵션이 각각 3개씩 있을 경우 총 9개(3X3)의 시나리오를 생성할 수 있다. 그리고 그 결과 값은 <그림 12>의 대시보드(dashboard) 형태로 확인이 가능하다.

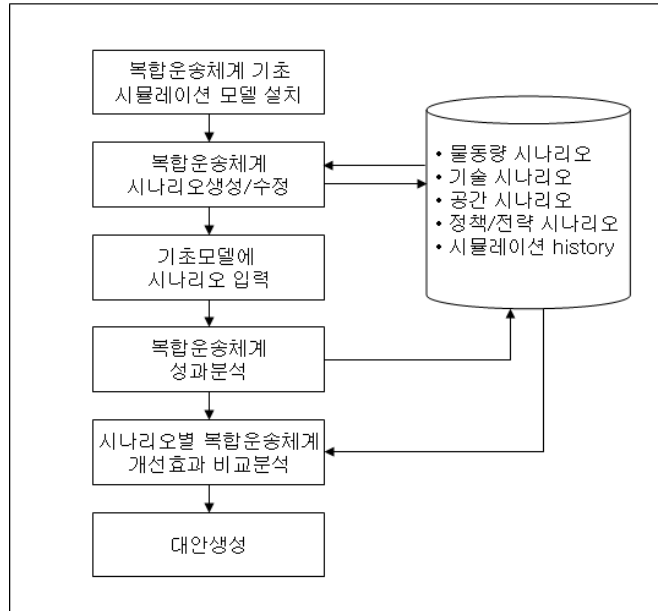


[그림 11] 시나리오 생성 모듈의 예



[그림 12] 시나리오 분석 모듈의 예

해당 시뮬레이션 모델은 [그림 13]의 절차를 거쳐 물류분야의 의사결정자에게 복합운송체계 시뮬레이션 분석 결과를 제공한다.

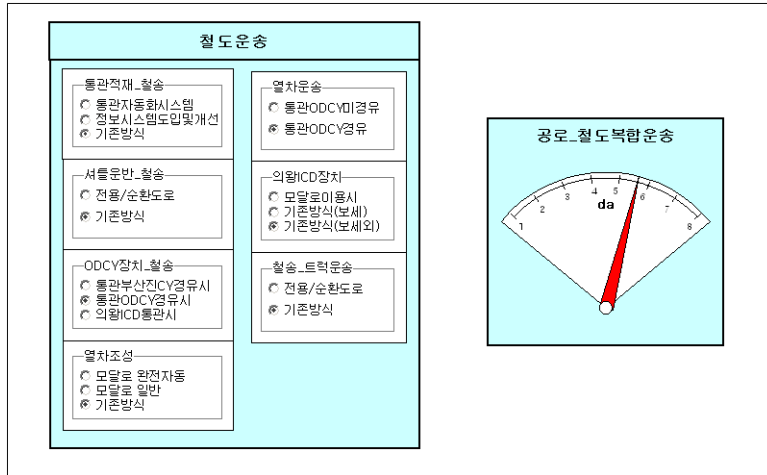


[그림 13] 복합운송체계 시뮬레이션 모델의 활용 절차

1) 운송시간

기존 복합운송체계를 개선하기 위해 모달로 시스템(철송과 공로운송 연계 및 복합운송 시스템)을 복합운송체계 개선 시나리오로 적용할 경우 예상되는 시간적 편익을 분석하기에 앞서 기존 철송에 따른 소요시간을 분석하였다. 이는 시뮬레이션 모델의 운송시간 분석 모델의 타당성을 검증과 향후 개선 시나리오 분석 결과 값과의 비교분석을 진행하기 위함이다.

이 때 적용한 복합운송 시나리오는 부산에서 통관ODCY경유, 셔틀운송, ODCY장치, 열차조성, 열차운송, 의왕ICD장치, 트럭운송의 과정을 거쳐 화주에게 도달하는 시나리오이다. 이 경우 총 5일 18시간으로 계산되어 모델의 구조와 입출력 자료에 대한 문제가 없는 것으로 평가되었다(그림 14).



[그림 14] 복합운송체계 소요시간 분석 결과

한편 모달로 시스템을 활용한 복합운송체계 개선 시나리오를 적용할 경우 공로운송과 철송 간의 연계 프로세스가 간소화 되어 열차조성시간이 단축되고, ODCY 장치시간이 불필요해져 최소 3일 11시간 25분이 소요되어 최대 54.4시간(25량 기준)이 단축되는 것으로 나타났다. 이는 공로운송(4일 12시간)보다 하루 이상 빠른 것으로, 운송시간에서 공로운송보다 경쟁 우위를 확보할 수 있는 방안으로 타당성을 가진다. 부산-경인권 구간에 모달로 시스템을 도입함으로써 얻을 수 있는 연간 물류시간 단축효과를 알아보기 위해 <표 5>의 철송 물동량(86,466TEU)*을 곱하였더니 연간 약 188,184 시간의 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

2) 물류비용

모달로 시스템은 별도의 하역작업이 필요 없지만, 모달로 시스템 역시 투자 설비이기 때문에 전문가들은 하역비가 없어지지 않는 것으로 예상하고 있다.** 이에 모달로 시스템을 적용했을 때 물류비용의 변화(절감)가 없을 수도 있으나, 철도CY의 하역장비***나 인력의 활용이 줄어든다는 측면에서 하역비 18,400원(<표 5> 기준)의 50% 인하를 가정하고, 물류비 절감효과를 분석해보았다. 그 결과 기존 대비 연간 7억 9천5백만 원의 하역비가 절감되는 것으로 분석되었다.

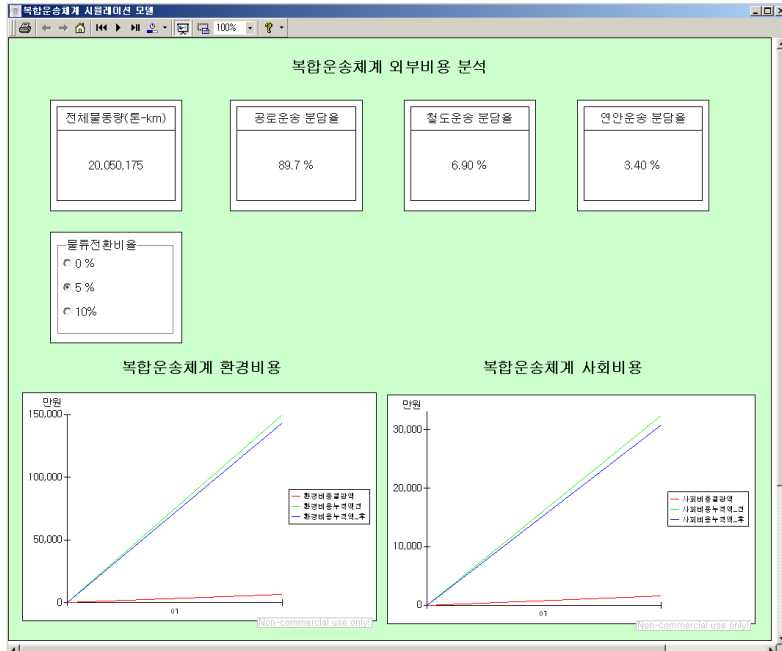
* 상하행 물동량(TEU기준)의 합

** 양산ICD 기획관리팀 인터뷰 내용

*** Reach Stacker, RMGC(Rail Mounted Gantry Crane), RTGC(Rubber Tired Gantry Crane) 등

3)외부비용

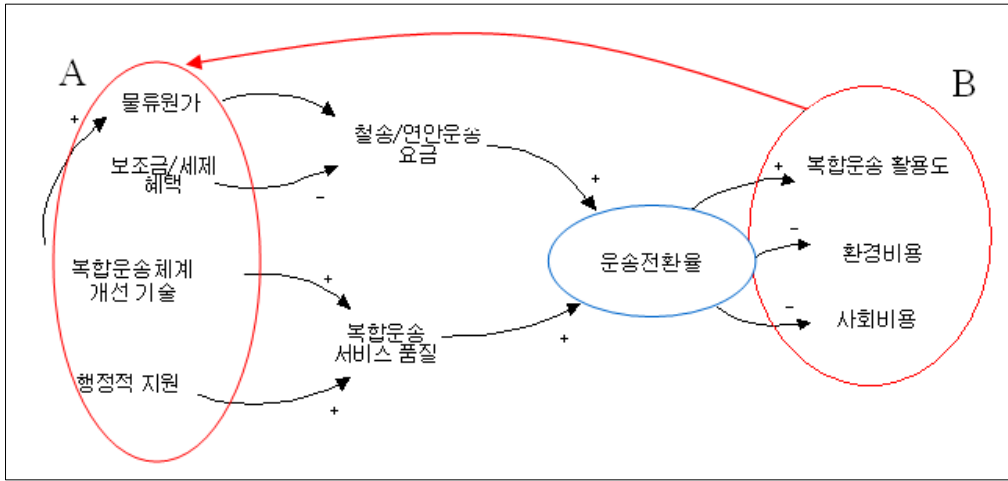
앞에서 모달로 시스템이 적용될 경우 하역비가 50% 인하될 것이라는 가정을 했었다. 여기에 추가로 철송의 활성화를 위한 정책적 지원으로서 컨테이너세(20,000원)를 연안운송과 같은 수준으로 면제해줄 경우 전체운송운임(일관운송운임)의 306,100원에서 9.5%가 인하되는 효과가 있다.



[그림 15] 복합운송체계 외부비용 분석결과

이에 <표 7>의 운송비 ‘인하율 10%’일 경우 ‘물동량 5%’가 전환된다고 가정한 시나리오를 근거로 공로운송 물동량의 5%를 철도운송으로 전환했을 때 발생하는 사회비용과 환경비용을 분석하였다. 이 때 부산-경인권의 전체 물동량을 20,050,175 톤-km로, 각 운송영역별 물동량 분담율을 공로운송 89.7%, 철도운송 6.9%, 연안운송 3.4%로 입력하였다. 그 결과 복합운송체계에 모달로 시스템을 적용함으로써 환경비용은 연간 약 6,390만원, 사회비용은 약 1,619만원이 절감되는 것으로 분석되었다([그림 15]참조).*

* 환경비용= 149,717만원 - 143,327만원, 사회비용= 32,373만원 - 307,544만원



[그림 16] 복합운송체계 개선을 위한 강화 피드백

자료: 정재운 외(2010) 일부 수정

여태껏 본 연구를 통해 개발한 시뮬레이션 모델을 활용하여 지속가능 물류의 3가지 관점에서 복합운송체계 개선 시나리오를 분석해보았다. 이는 어디까지나 사례 분석적 관점에서 진행한 연구로서 궁극적으로는 본 모델을 활용하여 <그림 16>에서 제시하고 있는 바와 같이 복합운송체계 구성과 이를 개선하기 위한 인과적 절차를 규명(학습)하고, 보다 개선된 방향으로 나아갈 수 있도록(의사결정 할 수 있도록) 개선 시나리오의 타당성을 개선, 보완하여 복합운송체계 개선을 위한 실제 정책으로 발전시켜 나가야 한다. 그러나 이에 대한 과정은 후속 연구를 통해 연구내용을 보완하고자 한다.

2. 시뮬레이션 모델의 활용적 가치 평가

한편 본 연구에서 개발한 복합운송체계 시뮬레이션 모델의 활용적 가치를 분석하기 위해 2010년 6월 한 달 동안 부산권역에 위치한 양산ICD 운영사의 기획관리팀과 부산광역시청의 교통물류 정책기획팀을 대상으로 면접과 e-mail, 전화 등의 유무선 장비를 활용하여 인터뷰를 진행하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

1) 긍정적 평가 요인

(1) 정책개발 의사결정지원 도구

첫째, 다양한 기술과 정책적 특성을 시뮬레이션 모델에 적용하여 분석할 수 있기 때문에

복합운송체계에 대한 학습과 의사결정에 필요한 정보를 수집할 수 있어 국토해양부와 항만공사, 내륙컨테이너기지 등에서 의사결정지원도구로서의 가치가 있을 것으로 평가되었다.

둘째, 복합운송체계의 성과와 관련된 물류 생산성, 사회비용, 환경비용 등을 분석하기 위해서는 일반적으로 연구전문기관에 용역을 주거나, 오랜 시간 동안 자료수집 및 분석 과정을 거쳐야 하는 문제가 있었다. 하지만 본 연구 모델은 사용자 인터페이스 상에서 분석하고자 하는 대상의 입력력 값만 통제하면 되기 때문에 사용자 관점에서 편리하게 사용할 수 있을 것으로 평가되었다.

(2) 협상 및 홍보전략 도구

첫째, 양산ICD가 철송의 활성화를 위해 신규기술을 도입할 경우 최고 의사결정자와 외부 투자자들에게 해당 내용에 대한 타당성을 설명해야 하는데, 이 때 내외부 이해관계자들이 분석하기 원하는 다양한 사례를 본 모델로 분석함으로써 상호간의 의사전달이 용이할 것으로 평가되었다.

둘째, 현재 ICD를 출입하는 컨테이너 차량의 경우 인근 배후도로의 톨게이트에서 통행료를 지불하고 있는데, ICD가 철송의 활성화를 통해 사회적, 환경적 비용의 절감 목표치를 제시하고 지방자치단체에 차량의 통행료 감면이나 ICD에 대한 세제혜택 및 기타 시설정책 지원 등을 이끌어 내기 위한 협상 지원 도구로 활용 가능할 것으로 평가되었다. 그리고 이러한 과정을 통해 대내외적으로 ICD의 물류정책이 홍보될 수 있어 이미지 제고에도 긍정적으로 기여할 것으로 보았다.

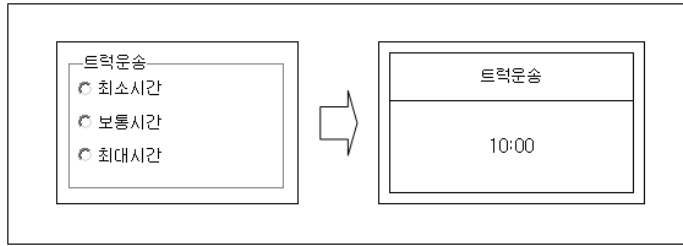
2) 부정적 평가 요인

(1) 손익분석 기능 추가

복합운송체계 개선에 따른 성과분석에 물류비용과 시간, 환경비용, 사회비용 외에 인프라 투자에 따른 경제성 분석 기능이 추가되면, 복합운송체계 개선에 관한 기술 도입의 의사결정에 더 많은 도움이 될 것으로 평가되었다. 이에 해당 모듈을 추가 개발하였으며, 그 결과는 이후 시뮬레이션 모델의 확장 및 응용방안에서 논의된다.

(2) 인터페이스의 개선

복합운송체계는 의사결정자의 다양한 목적에 의해 다양한 형태로 개선될 수 있기 때문에 사전에 시스템적으로 시나리오 값을 정의해두는 것보다 사용자가 원하는 시나리오 값을 입력할 수 있도록 하는 게 더 낫다는 지적이 있었다.



[그림 17] 시나리오 생성 모듈(인터페이스)의 개선안

즉 기존의 라디오 버튼(radio button) 형태([그림 16]의 왼편)로 개발하여 사용자가 간편하게 시나리오를 생성할 수 있도록 지원하는 것도 좋지만, 사전에 정의해놓은 시나리오 값에 사용자가 원하는 값이 포함되어 있지 않을 경우 시뮬레이션의 의미가 사라지기 때문에 사용자가 직접 원하는 값을 입력하는 형태로 개발하는 것이 더욱 실용적일 것이라는 평가 의견이 있었다.

(3) 기술 수요의 한계

복합운송체계가 구성되는 공간은 여러 지방자치단체의 행정구역에 걸쳐 있기 때문에 하나의 지방자치단체가 복합운송체계의 전반적 개선에 관한 의사결정을 수행하는 사례가 거의 없다.*

복합운송체계 개선과 관련된 정책 개발은 주로 국토해양부나 그 산하기관에서 연구된다. 그리고 정책의사결정과 관련된 인원들이 수적으로 많지 않기 때문에 시뮬레이션 모델에 대한 시장의 수요가 한정적일 수밖에 없다는 평가의견이 있었다.

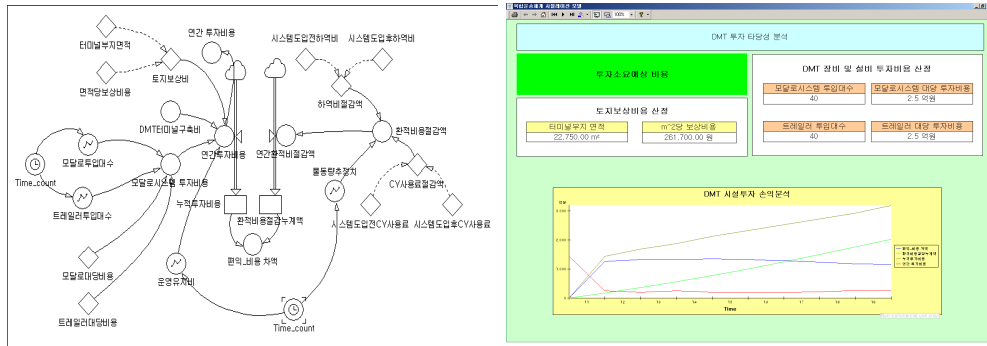
3. 시뮬레이션 모델의 확장 및 응용

1) 모델의 확장

앞서 논의한 모델의 활용적 가치에 대한 평가 내용 중 경제성 분석 기능의 추가에 대한 필요성이 제기됨에 따라 관련 모델을 추가 개발하였다.

해당 모델([그림 18]의 왼쪽)은 한국건설교통기술평가원(2007)에서 진행한 모달로 시스템 도입에 따른 경제성 분석 내용(변수와 함수)을 시뮬레이션 모델로 개발한 것이다.

* 부산의 경우 부산항, 부산진CY, 부산지역의 ODCY 등 부산 행정권역 내에 위치한 물류거점 간의 물류 흐름에 대해서만 관리함



[그림 18] 경제 타당성 분석 모델 및 인터페이스

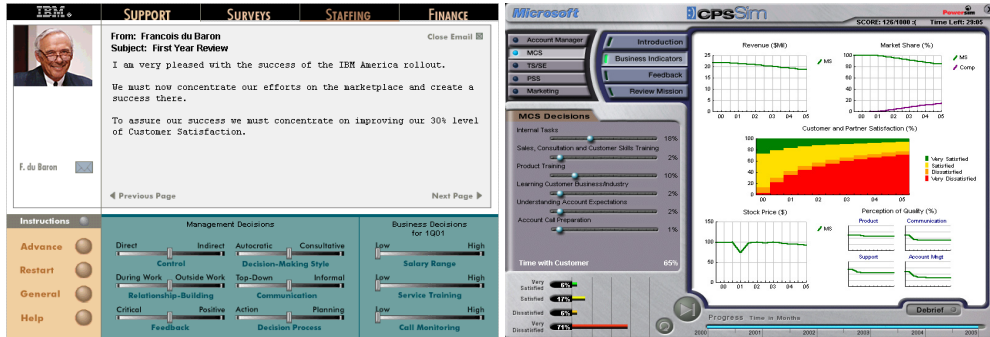
이는 부산-경인권 구간의 복합운송체계 개선을 위해 모달로 시스템을 투자할 때 예상되는 비용(토지보상비, DMT 터미널 구축비, 모달로 설비 및 모달로용 트레일러 구입비, 이들에 대한 유지보수비용 등)과 편익(환적 절차 간소화에 따른 CY사용료 및 하역비 절감액 등)의 비교 분석을 지원한다. [그림 18]의 오른쪽은 경제 타당성 분석 화면으로 사용자가 모달로 시스템을 도입할 때 고려해야하는 비용 터미널구축비용과 설비 운영 대수에 대한 시나리오를 입력할 수 있도록 화면의 상단에 관련 모듈을 구현해 두었다.

2) 모델의 응용

본 복합운송체계 시뮬레이션 모델은 시스템 다이내믹스의 Powersim Studio8이라는 시뮬레이션 모델링 언어로 개발되었다. 따라서 해당 S/W의 설치 없이는 일반 사용자가 자신의 컴퓨터에서 해당 모델을 사용할 수 없다.

따라서 본 시뮬레이션 모델을 보다 범용적으로 활용하기 위한 방안으로 Powersim SDK(Software Development Kit)를 활용하여 웹기반 또는 C/S*기반의 범용 시뮬레이션 모델로 전환하는 방법을 고려해 볼 수 있다.

* Client/Server



[그림 19] 웹기반(좌)과 C/S기반(우)의 시뮬레이션 모델 응용 사례

[그림 19]는 IBM과 Microsoft가 Powersim SDK를 활용하여 웹기반과 C/S기반의 범용 시뮬레이션 모델로 각각 응용, 개발한 사례이다. 이들 시스템은 사용자가 인터페이스 상에서 분석하고자 하는 값(시나리오)을 설정하면, 서버 내의 시뮬레이션 모델이 해당 내용을 분석하여 인터페이스 상에 출력하는 형태로 개발되어졌다. 이는 사용자의 업무 환경에 따라 복합운송체계 시뮬레이션 모델의 응용 형태가 달라질 수 있기 때문에 본 기술의 실사용자에 대한 추가 요구사항 분석을 진행한 후 구체적인 응용 형태를 결정할 계획이다.

VI. 결론

그 동안 물류의 효율성 개선과 외부비용 절감 등의 합목적성을 달성하기 위해 복합운송체계 개선에 관한 많은 연구가 진행되어 왔지만, 정책 의사결정자가 복합운송체계의 개선을 위해 활용할 수 있는 기술적 지원 도구나 방법론의 연구는 미진하였다. 이에 본 연구를 통해 지속가능 관점의 복합운송체계 개선에 관한 의사결정지원 도구로서 시나리오 기반의 복합운송체계 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

모델의 개발을 위해 시스템 다이나믹스의 시뮬레이션 모델링 기법을 활용하였으며, 사용자의 의사결정지원 기능 향상을 위해 사용자 중심의 대화형 인터페이스를 추가로 개발하였다. 이는 사용자가 내부모델에 대한 수정 없이 여러 시나리오를 대상으로 시뮬레이션 할 수 있도록 지원하기 위함이다.

개발된 시뮬레이션 모델의 타당성 평가 및 활용가치 분석을 위해 복합운송체계 개선 시나리오의 사례분석을 실시하였으며, 이후 양산 ICD운영업체와 부산광역시청의 교통물류정책기획 부서를 대상으로 인터뷰를 진행하였다. 그 결과 국토해양부와 항만공사, 내륙컨테

이너지지 등에서 복합운송체계 개선과 관련된 의사결정지원 도구로서의 활용이 가능한 것으로 평가를 받았다. 그러나 복합운송체계의 개선이 전국을 대상으로 고려해야 하는 문제이기 때문에 해당 문제에 대한 정책의사결정자가 많지 않아 본 기술의 수요가 제한적일 수밖에 없다는 평가를 받았다. 그리고 기술의 기능적 보완을 위해서 복합운송체계의 물류생산성과 외부비용 외에 복합운송체계 개선을 위해 발생하는 신기술(인프라 및 설비) 투자에 따른 손익분석 기능이 추가될 필요가 있다는 평가의견이 있어 인프라 투자에 따른 경제성 평가 모듈 일부를 추가 개발하였다. 이 외에도 시뮬레이션 인터페이스 상의 시나리오 생성 모듈의 형태를 선택형에서 사용자가 원하는 값을 직접 입력할 수 있는 입력창 형태로 변경함으로써 사용자의 시뮬레이션 모델 활용도를 보다 향상시킬 필요가 있다는 의견이 있었다.

본 연구는 기존에 연구적 접근이 부족했던 지속가능 관점의 복합운송체계 개선에 관한 문제를 다루었다는 것과 복합운송체계 영역에 시스템 다이내믹스의 시뮬레이션 모델링 방법을 활용하여 의사결정지원 기술을 개발한 새로운 형태의 응용연구라는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다. 또한 기존의 시스템다이내믹스의 연구들은 분석하고자 하는 대상과 그 현상에 대해 주로 초점을 맞춰 연구를 진행하였으나, 본 연구는 그 대상과 현상을 분석하기 위한 도구로서의 시뮬레이션 모델을 시스템 개발 관점에서 연구를 진행하였다는 점에서 시스템 다이내믹스의 새로운 연구 사례로 볼 수 있다.

한편 본 시뮬레이션 모델은 부산-경인권 구간의 컨테이너 화물을 대상으로 복합운송체계의 성과를 총량적 관점에서 분석하도록 개발되었기 때문에 보다 범용적인 의사결정을 지원하기 위해서는 화물의 종류와 운송영역을 확장하고, 모델을 구체화하는 등의 후속연구가 필요하다.

【참고문헌】

- 건설교통부(2008). 건설교통연계연보
- 김경태, 유재균(2001). 거리체감제 도입에 따른 체감을 산정에 관한 연구, 한국철도학회 2001년 추계학술대회논문집, pp.91-96.
- 김상열, 류동근(2007). 연안운송 활성화를 위한 Modal Shift 정책 개발에 관한 연구, 해운물류연구, 제55권, pp.27-42.
- 김은미, 박동주, 고영승(2008). 철도의 수송경쟁력 분석 - 컨테이너, 양회, 철강을 중심으로-, 컨테이너, 양회, 철강을 중심으로, 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.2323-2338
- 노학래, 이용상, 최나나(2000). 철도화물 활성화를 위한 고객 Needs 파악 및 전략 수립, 한국철도학회 2000년도 추계학술대회논문집, pp.60~67.
- 다이나믹소프트(2009). 시뮬레이션 소개 & Simulation Based Lean SCM
- 문대섭, 정병현, 조혜진(2002). 철도 연계 및 복합운송을 위한 물류운영시스템, 한국철도학회 학술대회발표논문집, pp.307-313.
- 박용안(2003). 경인권 컨테이너화물의 연안운송 활성화 방안, 한국해양수산개발원.
- 박용안, 최기영(2009). 컨테이너 연안운송의 비용구조와 경제적 제약 분석, 한국항만경제학회지, 제25집, 제3호, pp.321-338.
- 박석하(2005). 수·배송 물류의 환경부하 산출과 성과지표 활용에 관한 사례 연구, 물류학회지, 제15권, 제3호, pp.173-194
- 박석하(2007). 환경물류비 계산과 성과지표 활용에 관한 사례연구, 해운물류연구, 제52호, pp.83-106.
- 방연근(2002). 철도화물활성화 방안에 관한 연구, 한국철도학회 2002년도 추계학술대회 논문집
- 백종실(2004). 고속철도 개통후 철도화물수송체계 개선방안 연구, 해양정책연구, 제19권, 제2호, pp.161-210.
- 서상범, 권혁구(2009). 2007 국가물류비 산정 및 추이 분석, 한국교통연구원
- 양창호, 윤동한, 최종희, 최상희, 김우선, 하태영(2002). 항만-내륙간 첨단 연계 운송시스템 개발 방안 연구, 한국해양수산개발원.
- 이성원(2007). 지속가능 교통·물류정책 추진을 위한 제도정비 방안, 한국교통연구원
- 이용상(2004). 철도화물수송체계의 현황과 개선방안, 한국철도학회논문집, 제7권, 제1호, pp.37-48
- 이재민, 한상용, 신희철(2008). 사회적 비용을 고려한 교통부문 유류세제 합리와 방안, 한국교통

연구원

- 임광수, 강상근, 안승범(2004). 연안운송 활성화 제약요인에 관한 연구 - 화주의 연안운송기피 원인을 중심으로, 한국항만경제학회지, 제20집, 제2호, pp.253-273.
- 임영태, 이영인(2005). 연계성을 고려한 수송물류결절점 평가기법 연구, 국토연구원
- 전형진, 고현정(2008). 국가 친환경 물류체계 구축을 위한 Modal Shift 활성화 방안, 한국해양수산개발원
- 정재운, 김현수, 최형림, 홍순구(2010). TP와 SD를 활용한 친환경 복합운송체계 개선 연구모델 제언, 한국 시스템다이내믹스 연구, 제11권, 제1호, pp.59-83.
- 조계석, 박용안, 전형진(2000). 컨테이너화물의 연안운송 제약요인 분석, 한국해양수산개발원.
- 조옥래(2008). 의왕ICD 철도수송 활성화 방안에 관한 연구: TOC 사고프로세스를 이용한 의왕 ICD 공용CY 철도수송 활성화 방안, 서울사업대학교 석사학위논문
- 조한선, 이동민(2008). 2007년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석, 한국교통연구원
- 채여라, 김정은, 김승래, 원종학, 임수진, 김정현, 주한미(2007). 탄소세 도입가능성에 대비한 조세·재정정책의 방향에 관한 연구, 한국환경정책·평가연구원
- 채희정, 안기명, 김광희(2008). 부산항 컨화물의 연안환적운송 활성화에 관한 연구, 한국항해항만학회지, 제32권, 제3호, pp.159-165.
- 최광식(2001). 기업 회생을 위한 패스워드, TOC, 한국언론자료간행회
- 최상희, 심기섭, 김우선, 하태영(2007). 국내 컨테이너 항만기술개발 로드맵 수립 연구 - 항만물류 및 장비기술을 중심으로 -, 한국해양수산개발원
- 하현구, 이경미, 이재민(2003). 국가경쟁력 강화를 위한 국가물류비 감소대책(1단계) - 국가물류비 결정요인 분석-, 교통개발연구원
- 한국건설교통기술평가원(2007). 교통체계효율화사업-철도물류 활성화 DMT 수송시스템-기획 보고서
- 한국과학기술원(2009). 모바일하버 기반 수송시스템 혁신 사업 예비타당성조사보고서
- Bruzzone and Tremori(2009). Modeling Green Logistics, 2009 Third Asia International Conference on Modeling & Simulation, pp.543~548.
- Konings, R., Priemus, H. and Nijkamp., P.(2008). The Future of Intermodal Freight Transport, Edward Elgar Publishing
- OECD(2009). OECD Factbook 2009: Economic, Environmental and Social Statistics