

TP와 SD를 활용한 친환경 복합운송체계 개선 연구모델 제언*

A Study Model Proposal with TP and SD to Improve Multimodal Transport System for Green Logistics*

정재운** · 김현수*** · 최형림*** · 홍순구***

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

Abstract

The Korean Government decided to reduce 30% of carbon emissions as of 2020, tightening regulations to reduce greenhouse gas in the international society. Therefore it will burden Korean logistics industry that overland trucking freight covers 70~80% of all, to lower emissions. As known, rail and coast(feeder) transport systems can be substituted for road transport but there are many problems to solve in Korean multimodal (intermodal) transport system such as time, cost, etc. Because of this, multimodal transport system should be improved systematically. For the reason, it aims to study a conceptual model with Thinking Process of TOC(theory of constraints) and System Dynamics to help improve the existing multimodal transport system for green logistics.

Keywords: 친환경 물류, 복합운송체계, 사고 프로세스, 시스템 다이내믹스, 연구모델
(Green Logistics, multimodal transport system, thinking process, system dynamics, study 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

전체 경제활동에서 물류산업의 비중이 점차 증대되고 있는 가운데 지구온난화 방지를 위한 국제사회의 온실가스 배출 규제 강화 활동은 물류산업의 새로운 변화를 요구하고 있다. 1992년 라우데자이네루(브라질)에서 시작된 UN 국제기후변화협약은 1997년 교토(일본), 2009년 코펜하겐(덴마크) 등의 협약을 거치면서 세계 각국의 온실가스 배출 저감에 대한 책임 있는 대응을 요구하였다. 이와 관련하여 한국은 2020년까지 2020년 온실가스 배출 전망치의 30%를 자발적으로 감축함으로써 국제사회에서의 친환경 성장에 대한 선도적 입지를 구축하겠다는 입장이다. 그리고 정부는 이에 대한 후속조치로 이미 저탄소 녹색성장 기본법을 모태로 하여 관련 법안을 정비하고 있어 온실가스 배출이 많은 물류산업에 앞으로 상당한 부담으로 작용할 전망이다.

국내 물류의 경우 공로운송 부문의 인프라가 상대적으로 잘 갖춰져 있어 운송비는 다소 비싸지만 물류서비스의 완결성과 정시성, 속도 면에서 우수한 공로운송¹⁾이 전체 물동량의 70~80%를 처리하고 있다. 그러나 공로운송은 교통체증, 대기오염, 도로 유지보수 비용 등의 사회적 문제를 야기하기 때문에 오래전부터 철송²⁾ 및 연안운송으로의 전환(modal shift)을 강구해왔다. 그럼에도 불구하고 철송 및 연안운송의 단점인 화주 문전서비스 제공, 물류서비스의 정시성, 소요시간(속도) 등의 문제가 여전히 해결되지 않아 해당 운송의 활성화가 어려운 상황이다. 그러나 최근 온실가스 배출 규제가 물류산업의 당면 과제로 부각됨에 따라 철송 및 연안운송의 친환경적 이점을 살려 기존의 물류생산성을 유지, 개선함과 동시에 친환경성을 확보하기 위한 연구가 시급해졌다.

친환경적인 철송 및 연안운송을 활성화하기 위해서는 타 운송과 연계한 복합운송체계의 구축이 필수적이다. 이에 기존의 복합운송체계에 대한 문제점을 체계적으로 도출, 해결하는 과정이 필요하다. 그러나 복합운송체계 개선과 관련된 기존 사례를 살펴보면 학술적 가치를 중시하는 논문형태보다는 주로 실용성을 중시하는 보고서 형태의 연구내용이 많고, 체계적인 연구를 위한 연구방법론상의 이론적 논의가 부족하다. 이에 본 논문에서 친환경 화물운송체계(컨테이너 화물 기준)를 구현함에 있어 제약이론의 사고프로세스와 시스템 다이내믹스 방법론을 토대로 이론적 체계를 갖춘 복합운송체계 개선 연구모형을 제안하였다. 이는 개념적 제언 수준으로 향후 모델의 확장 및 구체화를 통해 친환경 복합운송체계 개선에 관한 의사결정지원 도구로 발전시킬 계획이다.

1) 도로운송

2) 철도운송

II. 문헌연구

1. 국제사회의 환경규제 강화와 물류산업의 변화

물류는 상적 유통과 물적 유통으로 구성된 유통의 개념 중 후자의 줄임말로써 1910~1920년대 Shaw, Clark 등에 의해 이론적으로 마케팅 관점에서 물적 자원의 수송과 보관에 관한 개념으로 처음 사용되었으며(로지스틱스21, 2009), 그 개념이 점차 확대되어 현재 국내 물류정책기본법에서는 ‘재화가 공급자로부터 조달·생산되어 수요자에게 전달되거나 소비자로부터 회수되어 폐기될 때까지 이루어지는 운송·보관·하역 등과 이에 부가되어 가치를 창출하는 가공·조립·분류·수리·포장·상표부착·판매·정보통신 등’으로 정의되고 있다. 본문에서는 국내물류에서 화물 유형별로 구분했을 때 가장 많은 비중을 차지함과 동시에 표준 규격에 의해 정량적으로 관리되는 컨테이너 화물의 운송, 보관, 하역 기능을 중심³⁾으로 논의가 진행된다.

한편 국제사회의 온실가스 배출 저감을 위한 기후변화협약의 결과가 가시적인 형태를 띠기 시작하면서 물류산업에도 친환경적 관점에서 새로운 대응 방안이 필요하게 되었다.

〈표 1〉 2009년 12월 현재 각 국가들의 온실가스 감축 목표

의무감축국(1990년 대비)		비의무감축국	
노르웨이	30~40%	한국	BAU ⁴⁾ 대비 30%(조건 없음)
뉴질랜드	10~20%(타국 참여시)	중국	2005년 대비 40~45% 감축 (탄소 집약도 방식, 조건 없음)
러시아	20~25%		
스위스	20~30%	인도	2005년 대비 20~25% 감축 (탄소 집약도 ⁵⁾ 방식, 선진국 지원 전제)
아이슬란드	15%		
일본	25%(주요국 동참 전제)	인도네시아	BAU 대비 26~41% (선진국 지원 없으면 26%)
캐나다	3%		
호주	2~22%(타국 참여 정도 따라)	브라질	BAU 대비 36.1~38.9% (선진국 지원 전제)
EU	20~30%(모두 참여시 30%)		
미국	3%(2005년 대비 17%)	멕시코	BAU 대비 20.6%

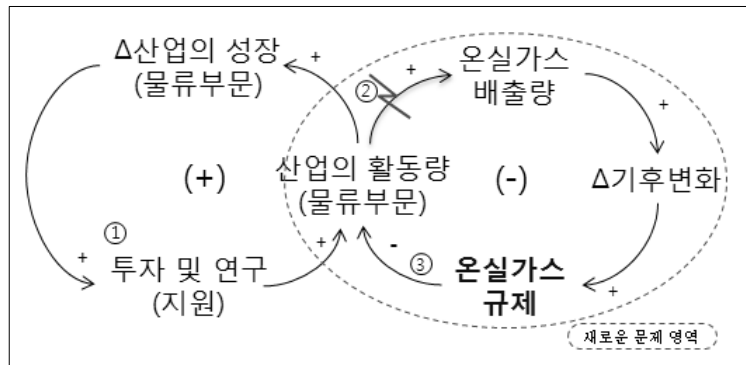
출처: 지식경제부, 김현진(2010)의 p. 134 재인용

3) 역방향의 폐기물의 수거 및 처리 과정 제외한 순방향의 화물 수배송 과정만 고려

4) Business As Usual : 별도의 감축 노력이 없을 경우의 온실가스 배출 전망치

UN의 국제기후변화협약은 1992년 라우데자이네루(브라질)를 시작으로 1995년 베를린(독일), 1997년 교토(일본), 2007년 발리(인도네시아), 2009년 코펜하겐(덴마크) 등의 과정을 거쳐 2009년 12월 현재 세계 각국의 온실가스 배출 저감 목표치를 <표 1>과 같이 이끌어 냈다(일부 국가는 추가 논의 필요).

EU, 일본 등 이미 산업발전이 상당히 이루어진 선진국들은 의무감축국으로 분류되어 탄소배출에 대한 감축 의무목표치를 명문화하고, 이를 준수하기로 하였으며 비의무국으로 분류된 국가들은 자발적인 목표치를 설정하여 탄소배출 저감활동을 전개하기로 하였다. 비의무국인 한국의 경우 2020년까지 자발적으로 2020년의 BAU 대비 30%⁶⁾를 감축하기로 결정하였는데, 이는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)⁷⁾의 권고안 중 가장 높은 목표치이다. 이 같은 한국 정부의 움직임은 지구온난화 문제와 관련하여 국제사회에서의 책임감 있는 대응자세로 정부 이미지를 개선시키고, 친환경 경제성장에 대한 선도적 입지를 구축하겠다는 의지로 풀이된다. 한국 정부는 이와 관련된 후속조치로 저탄소 녹색성장 기본법을 비롯하여 물류 부문의 물류정책 기본법, 지속가능 교통물류 발전법 등의 법령을 신설 및 정비 중에 있어 환경규제에 대한 물류산업의 상당한 부담으로 작용할 전망이다.



[그림 1] 환경규제로 인한 물류산업의 변화

[그림 1]은 기존 물류 산업과 최근 급부상하고 있는 온실가스 배출 규제 문제와의 역학 관계를 표현한 인과지도로서 현 문제 상황에 대한 이해와 문제 해결의 실마리를 찾는 데

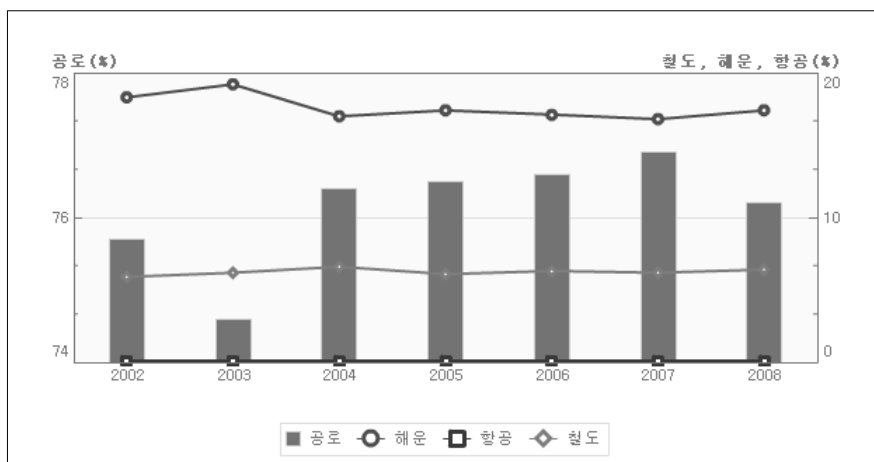
- 5) 탄소 집약도란 탄소 배출량을 국내총생산(GDP)으로 나눈 것으로 GDP 1단위를 생산할 때 탄소가 배출 되는 정도를 말함.
- 6) 2005년 탄소배출량의 4%와 동일 수치임.
- 7) 정부간기후변화위원회: 기후 변화와 관련된 전 지구적 위험을 평가하고 국제적 대책을 마련하기 위해 세계기상기후(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동으로 설립한 유엔 산하 국제 협의체(출처 : 두산 백과사전 EnCyber & EnCyber.com)

도움을 준다. 이를 보면, 물류산업의 경제활동과 이로 인해 발생하는 온실가스 배출량, 온실가스 배출 증가에 따른 환경변화의 심각성, 이를 억제하기 위한 온실가스 배출 규제는 일련의 인과선상에서 정(+)의 관계를 가지고 있다. 여기서 규제는 반드시 준수해야 하는 제약 요건이기 때문에 물류산업이 온실가스 배출을 줄여 환경규제에 따른 경제성장의 동력을 훼손(③)하지 않으면서 지속적으로 발전할 수 있는 방안을 모색해야 한다. 이를 위해서는 물류 활동량과 온실가스 배출량의 상관관계(상관계수)를 약화(②)시키는 방안이 필요하며, 이는 물류산업의 활성화를 위해 진행되는 기존의 연구 및 투자(지원) 활동을 온실가스 저감 부문으로 확대(①)함으로써 구체적인 방안 마련이 가능하다. 하지만 전력분야의 경우 2009년 진행된 탄소배출권 모의거래를 통해 6.1%의 탄소배출 저감효과를 얻는 데 발전원가의 20~24% 상승을 경험한 바 있다(연합뉴스, 2009). 이를 통해 물류산업 역시 온실가스 저감을 위한 신규 투자(R&D)로 물류원가 상승될 것임을 충분히 예상할 수 있다. 물류원가는 물류의 경쟁력의 핵심요인이기 때문에 친환경 물류 구현에 있어 물류 생산성 확보와 온실가스 배출 저감이라는 상충되는 두 가지 목표를 동시에 충족해야 하는 어려움이 있다.

2. 친환경 복합운송체계의 현황 및 문제점

1) 친환경 복합운송체계 현황

국내 수출입 화물운송은 공로운송, 철송, 해운의 연안운송, 항공운송으로 이루어진다. 다만 본 연구에서는 공로운송을 철송 및 연안운송으로 전환하는 데 필요한 복합운송체계 개선을 논의할 것이기 때문에 항공운송은 논의의 대상으로 한다.



[그림 2] 국내 화물운송 부문별 분담률(국토해양부, 국토해양통계연보)

한편 [그림 2]는 운송부문별 물동량 처리 동향을 나타낸 것으로, 이를 보면 전체 물동량의 70~80%를 공로운송이 처리하고 있으며, 나머지는 철송 및 연안운송이 분담하고 있다. 그리고 운송부문별 운송체계와 특징(컨테이너 화물 기준)은 <표 2>와 같다.

<표 2> 운송유형별 화물운송체계

구 분	화물운송체계2	특 징
공로운송		<ul style="list-style-type: none"> · 전국 평균 5시간 35분 소요 (서울-부산 : 9시간 29분) · 운임(2009년 4/4분기, 20ft, 순방향 기준) <ul style="list-style-type: none"> - 부산-수도권 : 36만 원 (한국교통연구원 제공)
철 송		<ul style="list-style-type: none"> · 운송단계 : 3~4단계 · 총소요시간: 4일 <ul style="list-style-type: none"> - 주운송 : 8시간 - 서틀운송 : 4시간 - 체제 : 2.6일 · 운임제 : 거리비례제, 최소운임 100km · 정기, 부정기 열차 운영
연안운송		<ul style="list-style-type: none"> · 운송단계 : 5~6단계 · 총소요시간: 3일 8시간 <ul style="list-style-type: none"> - 주운송 : 28시간 - 서틀운송 : 4시간 - 체제 : 2일 · 부산-인천 : 피더선 2척 운행 (출처: 인천항만공사)
비 고	<ul style="list-style-type: none"> · ODCY : Off Dock Container Yard · ICD : Inland Container Depot 	

자료 : 양창호 외, 2002.

국내의 경우 도로인프라가 잘 발달되어 있고 전국 각지의 배송 지점이 1일 배송권역 내에 위치하고 있다. 또한 화물(수요)보다 운송차량(공급)이 많고 개별 단위⁸⁾로 컨테이너 화물을 처리하기 때문에 공로운송 과정에서의 대기시간이 짧아 실제 운송은 하루면 충분하다.

철송 및 연안운송의 경우 대량 운송이 가능하지만 화물 운송에 필요한 인프라가 상대적으로 적어 운행 스케줄이 많지 않다. 이에 화물이 운송 가능 시간대까지 기다려야 하며, 문전 수송을 위한 타 운송과의 연계 과정에서도 하역에 의한 작업시간과 연계 스케줄까지의 대기시간이 발생하기 때문에 전체적으로 3~4일의 운송시간이 소요된다. 따라서 소요시간을 기준으로 비교했을 때 공로운송에 비해 경쟁력이 없다.

일반적으로 철송 및 연안운송의 운임이 공로운송보다 저렴한 것으로 알려져 있지만 이들은 물류 서비스에 대한 완결성(문전 수송 능력)이 부족하기 때문에 공로운송과의 연계를 통한 복합운송이 필수적이다. 따라서 철송 및 연안운송을 위해서는 추가적인 공로운송 비용(환적 운임 포함)이 발생하고, 이 때문에 전체 운송비용은 공로운송과 거의 비슷하거나 더 비싸져 공로운송과의 가격경쟁에서 우위를 점하기 어렵다.⁹⁾ 그러나 최근 강조되고 있는 물류분야의 친환경성을 생각한다면 온실가스 배출이 훨씬 적은 철송 및 연안운송의 적극적인 활용이 요구된다. <표 3>은 운송수단별 온실가스 배출 현황을 나타낸 것으로서 철송 및 연안운송으로의 물동량 전환에 대한 당위성을 뒷받침하고 있다.

<표 3> 운송유형별 온실가스 배출 현황

(단위: g/톤·km)

구 분	공로운송	철 송	연안운송
CO	0.5	0.2	0.04
CO2	98	28	15
HC	0.2	0.1	0.01
NOx	1	0.5	0.3
SO2	0.03	0.04	0.3

자료 : Eurostat Trends Project; OECD, Short Sea Shipping in Europe, 2001. p. 64 재인용; 박용안(2003)의 p. 38, <표4-5> 재인용 및 일부수정

최근 진행된 안경아(2009)의 연구에서도 화물운송주체들이 운송부문에서 친환경 물류를 구현하는 데 가장 효과적(1순위)인 방법으로 모달 쉬프트(modal shift: 운송 모드의 전환)를

8) 일반적으로 1회에 컨테이너 20FT 기준으로 2TEU 혹은 40FT 기준으로 1TEU가 운송됨.

9) 공로운송의 운임이 상대적으로 비싸지만 차량공급 과잉으로 가격인하 경쟁이 이루어지고 있어, 이 또한 철송 및 연안운송의 가격 경쟁력에 부정적인 영향을 미침.

고려하고 있는 것으로 조사되었다. 아울러 노학래 외(2000), 박용안(2003), 양창호 외(2002), Rondinelli & Berry(2000) 등을 통해 철송 및 연안운송의 활성화 및 친환경 물류 구현 관점에서 많은 연구가 진행되었으나, 국내에서는 아직 연구의 성숙단계에 이르지 못해 그 실효성을 거두지 못하고 있는 실정이다.

2) 복합운송체계 구현의 문제점

복합운송체계는 기본적으로 철송 및 연안운송이 문전 서비스를 하기 위해 타 운송수단과 연계된 구조를 가지고 있다. 이에 철송 및 연안운송의 활성화를 위해서는 복합운송체계의 개선을 통해 물류의 생산성(시간, 비용 등) 측면과 환경적 측면에서 공로운송 대비 우위요인을 창출해야 한다.

〈표 4〉 철송 및 연안운송의 문제점

구 분	문제점	연구자
철 송	<ul style="list-style-type: none"> · 철도연계 수송에 따른 추가 비용 및 시간 발생 · 화차 부족 · 정시성 부족 · 상하역 시설 미비 · 화물 도착통보 미흡 	노학래 외(2000)
	<ul style="list-style-type: none"> · 선로용량 부족 · 저속 운행 · 철도 연계 운송 네트워크 부족 · 중단거리 운송에 적합한 운임체계 미비 	방연근 외(2003)
	<ul style="list-style-type: none"> · 여객 중심의 열차 운송 · 항만, 산업단지, 화주문전까지의 인입선/지선 구축 미흡 · 공급자 중심의 철도운영 · 연계수송서비스 체제 미흡 	백종실(2004)
연안운송	<ul style="list-style-type: none"> · 연안전용선 부족 · 전용선석 및 장치장 부족 · 운송 속도/시간 · 일관운송(복합운송)을 위한 타 운송수단과의 연계 미흡 	양창호 외(2002)
	<ul style="list-style-type: none"> · 정시성 부족 · 운송시간 과다소요(일관운송체계 미비) · 정보체계 미흡 등 	임광수 외(2004)
	<ul style="list-style-type: none"> · 연안운송 수익구조 열악(고정비 과다) 	박용안, 최기영(2009)

<표 4>는 기존의 철송 및 연안운송의 문제점으로 향후 복합운송체계 개선시 요구사항으로 활용될 내용들이다. 해당 자료를 보면 주로 철송 및 연안운송의 시간과 비용에 관한 문제점들이 지적되고 있으며, 이외에는 타 운송과의 연계성 및 정보전달체계 등의 운송품질에 관한 문제점이 지적되고 있다. 시간과 관련해서는 인프라의 부족으로 인한 연계수송시 대기시간 발생, 이로 인한 정시성 부족 등의 문제점이 지적되고 있다. 비용과 관련해서는 철송 및 연안운송의 수익구조상 고정비의 비중이 높은 반면 적은 물동량 때문에 화차 및 선박의 활용률이 낮아 적자운영의 위험성이 높다는 문제점이 지적되고 있다. 이는 운송주체의 수익구조 악화로 이어져 운행 스케줄을 늘리지(재투자) 못해 운송 대기 시간을 개선하지 못하는 문제로 귀결된다.

그러나 앞으로는 앞서 지적한 문제 외에 온실가스 배출에 의한 행정적 규제(penalty)와 온실가스 저감에 따른 경제적 가치 등도 함께 고려될 필요가 있기 때문에 다양한 관점에서 친환경 복합운송체계 개선의 연구가 요구된다.

3. 친환경 복합운송체계의 성과지표와 구현 기술

1) 친환경 복합운송체계의 성과지표

복합운송체계 개선을 위해서는 개선하고자 하는 대상(성과지표)이 먼저 정의되어 있어야 이를 기준으로 효율적인 개선 방안을 강구할 수 있다. 친환경 복합운송체계 개선에 활용할 수 있는 지표로는 <표 5>의 물류의 생산성과 서비스 품질, 그리고 친환경성 등에 관한 지표들이 있다.

물류의 생산성 및 품질 관점에서는 주로 비용¹⁰⁾과 시간이, 사회적/환경적 관점에서는 도로혼잡도와 온실가스 배출량 등의 요인이 지표로 활용된다(박석하, 2007; 조계석외, 2000). 그리고 철송 및 연안운송으로의 전환 자체가 사회적/환경적 문제를 해결하는 방법으로 간주될 수 있기 때문에 모달쉬프트율(modal shift rate)을 지표로 활용하는 사례도 있다.

10) 단위 시간당 및 개를 처리하느냐의 문제는 결국 단위처리 비용으로 귀결됨

〈표 5〉 기존 문헌상의 친환경 복합운송체계 관련 성과지표

구분	지표	출처
물류 생산성/ 서비스 품질 부문	연계운송(환적)에 따른 추가 비용 및 소요시간, 철도-도로간 연계수송의 시간차 등	노학래 외(2000)
	운송속도, 문전수송능력, 신뢰도, 화물 경비, 안전성, 유연성, 이용가능성	조찬혁, 김은채(2005) 재인용 ¹¹⁾
	물류비 개선, 고객만족도 향상, 주문에서배송까지의 시간단축, 배송지정시간 준수, 수발주 착오, 물품파손율, 곁폼율	통계청
	물류비용, 고객서비스	하창승, 정이상(2007)
사회/환경 부문	단위수송비 변화율, 재고유지관리비 변화율, 포장비 변화율, 하역비 변화율, 물류정보비 변화율, 단위수송비, 통행속도 등	하헌구 외(2003)
	대기오염 비용, 소음 비용, 교통사고 비용, 교통혼잡 비용, 유지보수 비용, 사회비용 감소치, 환경이득 등	전형진, 고현정(2008)
	CO ₂ 배출량(산정 공식) · 연료사용량, 단위발열량, 배출계수(연료법) · 수송량, 개량톤키로법 연료사용원단위, 단위발열량, 배출계수(개량톤키로법-트럭) · 종래 톤키로법CO ₂ 배출원 단위(종래 톤키로법) · 수송요금, CO ₂ 배출원단위(수송요금법) · 모달쉬프트화율=(철도+해운+페리)의 수송량 / (자동차+철도+해운+페리)의 수송량	문대섭(2008)

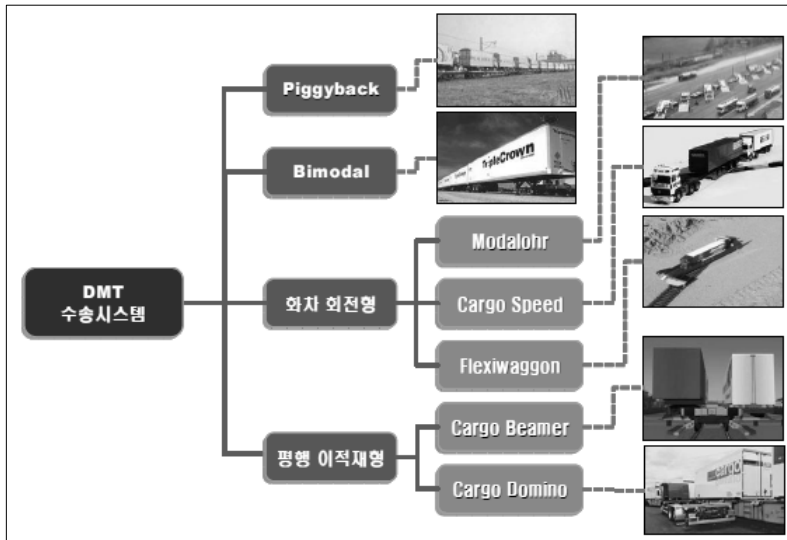
2) 복합운송체계 개선을 위한 지원 기술 및 전략

앞서 언급한 바와 같이 친환경적인 철송 및 연안운송 활성화에 가장 큰 제약은 비용과 시간이다. 철송 및 연안운송의 경우 문전서비스를 위해 추가적인 환적작업과 공로운송이 필요한데, 이때 발생하는 비용이 철송 및 연안운송의 대량운송에 의한 비용 절감분을 상쇄하거나 초과하는 데 문제가 있다. 그리고 상대적으로 인프라가 취약한 철송 및 공로운송은 공로운송에 비해 운행 속도가 느리고, 연계 운송을 위한 대기시간 발생으로 문전서비스가 이루어질 때까지 많은 시간이 소요되어 정시성, 긴급성을 요하는 화물의 처리가 곤란하다는 문제점이 있다. 운송시간의 경우 투자를 통해 속도 개선, 연계운송 네트워크 구축, 스케줄 확대 등으로 소요시간을 단축시킬 수 있지만 이는 물류원가 상승으로 이어져 공로운송 대비 비용 측면에서의 경쟁력 악화로 귀결되는 문제점이 있다. 그리고 시간적 제약에 비교

11) 원출처: UNCTAD, Multimodal Transport, Fifth edition, March 1995, p. 97.

적 자유로운 화물이라 할지라도 기존 복합운송 활용에 비용적 이점이 없는 상황에서 철송 및 연안운송을 활용하여 복잡하고 소요시간이 긴 복합운송할 이유가 없기 때문에 비용과 시간적 측면의 우위적 입지를 구축하기 위한 기술 및 전략의 개발이 중요하다.

이에 복합운송과정상의 연계성을 높이기(환적작업 및 대기시간 단축) 위해 철송과 공로 운송 간의 DMT(Dual Mode Trailer)¹²⁾ 기술과 연안운송과 공로운송 간의 Ro-Ro선박 기술, 해상운송과 철송 간의 항만 철송 인입 인프라 기술 등이 국내외적으로 연구되고 있다(이경철, 민재홍, 2002). 이는 운송수단 간의 환적작업을 줄임으로써 환적으로 인해 발생하는 시간과 비용을 절감하기 위함이다. [그림 3]은 현재 상용화 되었거나 개발 중인 DMT 모델로 상세 내용은 신승권 외(2007), 한국건설교통기술평가원(2007) 등을 참조하길 바란다.



[그림 3] DMT 수송 시스템의 종류(한국건설교통기술평가원, 2007)

그리고 운송영역별 자체 운송 능력을 향상시키기 위해 철송 부문에서는 DST (Double Stack Train), Cargo Sprinter 등이, 연안운송 부문에서는 고속피더선에 관한 연구가 진행되고 있다. 그리고 기술적 운영전략과 함께 철송 및 연안운송의 물동량을 유치하기 위한 전략적 방안으로 정부 지원금 및 세제 혜택 등의 지원 방안에 관한 연구가 진행되고 있다.

한편 연구 방법론상의 관점에서 Bruzzone & Tremori(2009)¹³⁾는 냉동(장) 제품의 운송 과

12) 철송과 공로운송 간의 전환을 용이하게 하는 장비 및 설비들을 총괄적으로 표현하는 용어로서 아직 표준화된 용어는 없는 상태이며, 현재 일본 및 유럽 등 일부 국가에서 적용 사례가 있음

13) Bruzzone and Tremori(2009). Modeling Green Logistics, 2009 Third Asia International Conference on

정에서 배출되는 탄소량을 산출하는 웹기반의 시뮬레이션 모델을 개발하는 연구를 진행한 바 있으며, 김상현 외(2001)¹⁴⁾는 연안운송의 화물운송 분담율(modal shift rate) 변화에 따른 이산화탄소(CO₂) 및 질소산화물(NO_x) 배출량 저감 효과 분석을 위해 조건 기반의 정적 시뮬레이션 기법¹⁵⁾을 활용하였다. 이들은 친환경 관점에서의 복합운송체계 개선 시뮬레이션 모델 중 탄소배출 성과 측정 모델을 연구하는 데 응용 가능하다.

4. 선행연구의 시사점

선행연구를 통해 친환경 물류 구현 관점에서 철송 및 연안운송의 활성화를 위해 복합운송 프로세스상의 개선을 위한 기술, 기술운영전략, 정책 및 제도적 개선 방안 등에 관해 많은 연구가 진행되었음을 알 수 있었다. 그러나 친환경 복합운송체계와 관련된 기존의 문헌들을 살펴보면 이론적 체계를 갖춘 논문 형태보다는 주로 정부 산하 연구소에서 작성된 연구보고서 형태의 자료가 대부분이었다. 그리고 이들은 친환경적 복합운송체계를 체계적으로 개선하기 위한 방법과 절차의 안내가 부족한 실정이다. 따라서 의사결정자가 친환경 복합운송체계를 개선함에 있어 체계적인 절차와 방법에 의해 연구를 진행할 수 있도록 이와 관련된 연구모델의 개발이 필요하다. 이에 다음 장에서는 친환경적 복합운송체계 구현을 위해 활용 가능한 연구모델에 대해 논의를 진행하고자 한다.

Ⅲ. 친환경 복합운송체계 구현을 위한 연구모델

1. 연구수행 모델 설계

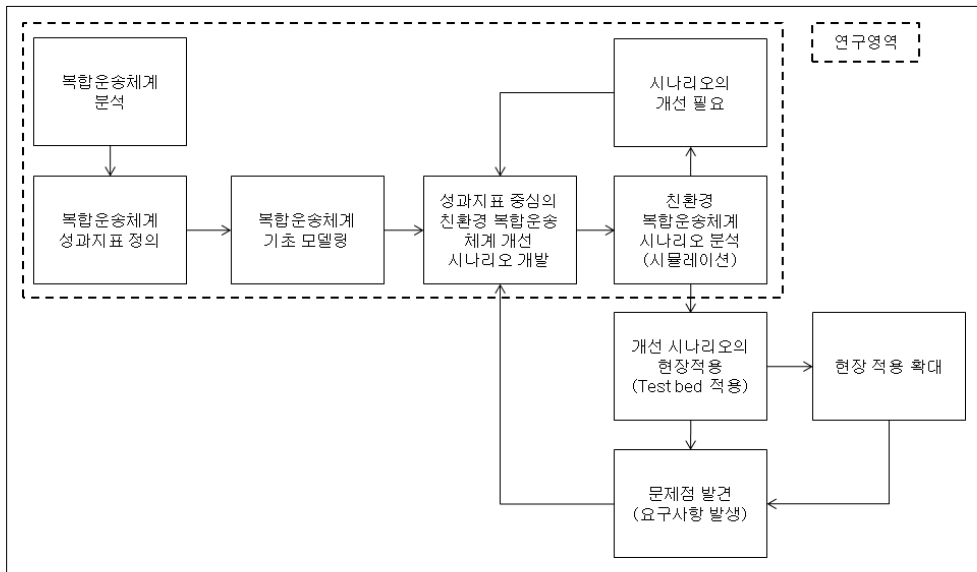
친환경 복합운송체계를 구현하기 위해서는 기존의 복합운송체계를 분석하고 이를 모델링하는 작업, 성과지표 중심의 복합운송체계 개선 시나리오 개발, 시뮬레이션을 통한 시나리오의 타당성 분석, 검증된 시나리오의 현장 적용(테스트베드 구축 및 시범사업 포함), 현장 적용 범위의 확대 등의 연구적 방법 및 절차가 요구된다. [그림 4]는 이를 도식화 한 것이다. 이 중 검증된 시나리오의 현장적용과 관련된 연구영역은 많은 투자비용을 필요로 하

Modeling & Simulation, pp. 543~548.

14) 김상현 · 고창두 · 조용진 · 반석호(2001). Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 4, No. 4, pp. 42~50.

15) 분담율이 0, 10, 20, 30%, ..., 90%, 100%일 때 온실가스 배출량 계산 산출 방식

며 성과추정에 오랜 시간이 걸리기 때문에 학술적 연구 영역에서 다루기 쉽지 않다. 따라서 이처럼 현실적 제약이 많은 문제는 실증적 관점보다는 주로 시나리오 기반의 시뮬레이션 관점에서 연구적 접근이 이루어진다.



[그림 4] 친환경 복합운송체계 구현을 위한 연구 모델

* 하태영 외(2003)의 연구 모델 일부 참조

기존의 연구에서는 주로 시간이 개념이 없는 조건 기반의 정적 시뮬레이션을 진행하는 경우가 일반적이었으며, 시간적 개념이 있다고 하더라도 스프레드시트(sheet)상에서 다뤄질 정도의 적은 요인을 대상으로 시뮬레이션 되는 수준이다. 또한 국내 친환경 복합운송체계 개선을 위해 필요한 기술과 전략적 요구사항이 무엇인지, 그리고 이를 해결할 수 있는 방안(시나리오) 도출, 해결책의 예상결과 분석(시뮬레이션) 등 일련의 연구과정을 체계적으로 안내할 총괄적인 관점에서의 연구방법론이 이론적으로 제시되지 못하고 있다.

이에 본 연구에서는 복합운송체계 개선을 위해 진행되는 시뮬레이션 과정을 보다 체계적으로 진행하기 위한 연구모델(방법론)에 대한 논의를 진행하고자 한다. 이는 기존의 복합운송체계 분석을 통한 기초 모델링, 기초 모델을 개선하기 위한 성과지표 중심의 시나리오 개발, 시나리오의 타당성 분석을 위한 시뮬레이션 과정([그림 4]에서 점선 사각형으로 표기된 영역)에 제약 이론의 사고프로세스와 시스템 다이내믹스의 방법론이 활용된다.

기존의 복합운송체계 기초 모델링과 시나리오 성과 분석에 시스템다이내믹스의 시뮬레

이전 연구 방법론이, 친환경 물류 구현을 위한 복합운송체계 개선 시나리오는 사고프로세스의 세부 실행도구들이 활용된다.

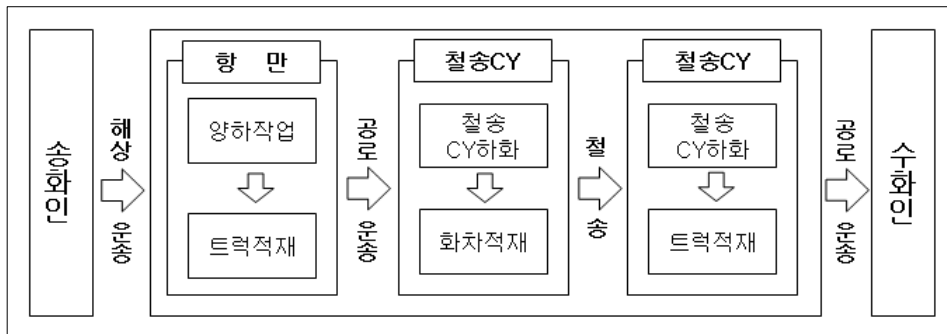
2. 복합운송체계 기초 모델링 : 시스템 다이내믹스 접근

1) 친환경 복합운송체계 성과측정 지표 정의

복합운송체계의 개선을 위해서는 개선의 판단 기준이 되는 성과측정 지표의 정의가 선행되어야 하며, 이를 위해 앞서 여러 성과지표들을 살펴보았다. 본 연구에서는 화주의 운송 수단 선택의 주요 고려사항인 운송시간 및 비용을, 친환경 관점에서는 온실가스 배출량탄소배출량을 친환경 복합운송체계의 개선을 판단할 수 있는 주요 성과지표로 활용한다.

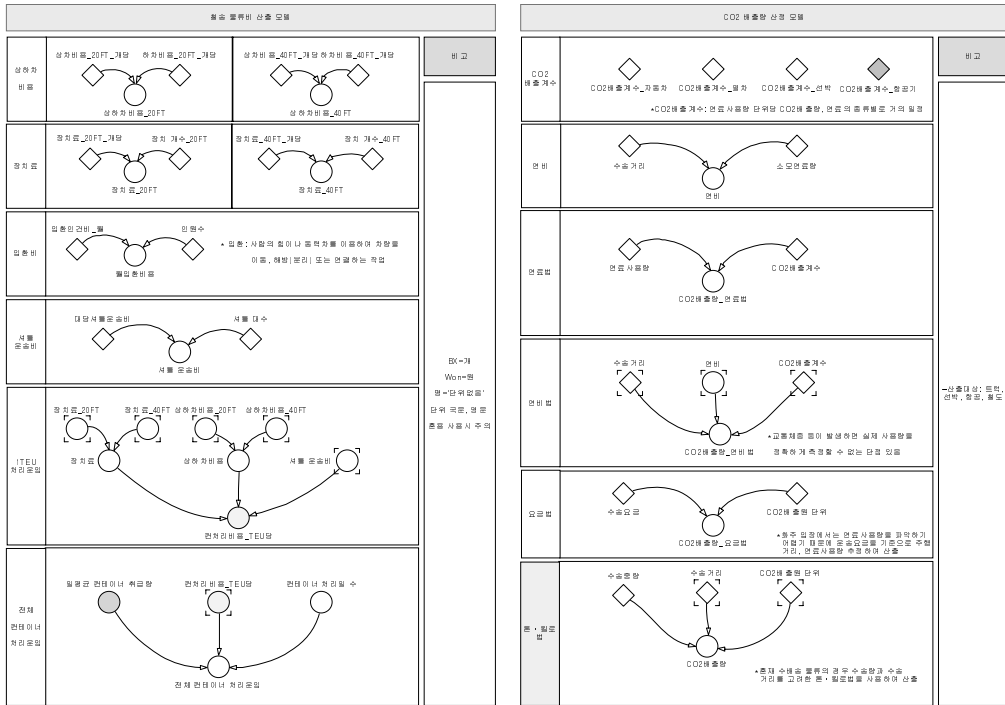
2) 복합운송체계 성과 측정을 위한 시뮬레이션 모델링

친환경 복합운송체계 구현을 위해 기존의 복합운송체계에 대한 시뮬레이션 모델링이 이루어져야 한다. 이는 이후 복합운송체계를 개선할 수 있는 시나리오를 해당 모델에 적용함으로써 개선효과를 분석하고, 검증된 시나리오를 개선 방안으로 선택하기 위해 가장 우선적으로 진행되어야 할 연구적 절차이다.



[그림 5] 컨테이너 복합운송체계

[그림 6]은 현재 수출입 컨테이너 화물이 국내에서 운송되고 있는 상황을 도식화 한 것으로, 이를 토대로 기본 복합운송체계 시뮬레이션 모델을 개발한 것이다.



[그림 6] 복합운송체계 시뮬레이션 기초 모델 (예: 비용 및 CO2배출량 산출 부문)

해당 모델은 복합운송체계 시뮬레이션을 위한 시스템 다이내믹스 기반의 기초모델 개발 사례로서 Powersim Studio 8을 활용하여 철송 부문의 물류비와 이산화탄소(CO2) 배출량 산출 모델을 개발하였다. 이는 연안운송과 공로운송 부문의 모델과 통합되어 전체 복합운송체계 기초모델로 활용되며, 이후 개발될 친환경 복합운송체계 개선 시나리오의 물류 생산성과 온실가스 배출에 대한 저감 효과를 분석하는 시뮬레이션 모델로 활용된다.

3) 성과지표 중심의 시뮬레이션 인터페이스 개발

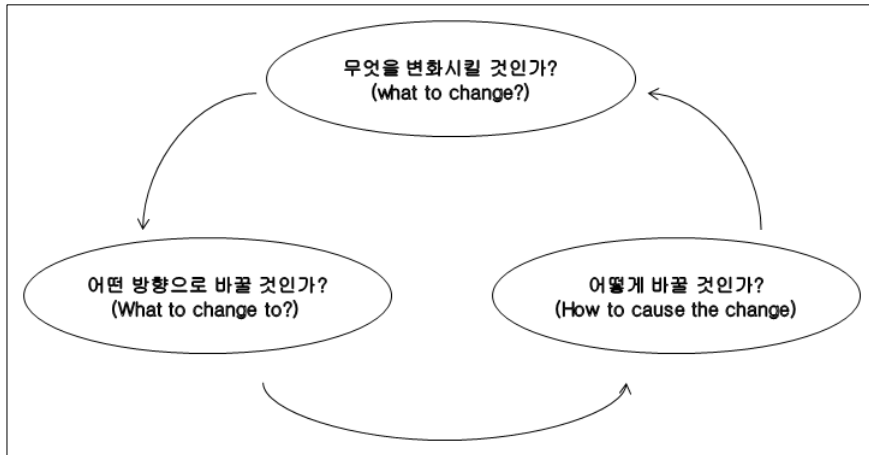
기존 복합운송체계 모델을 대상으로 성과지표를 개선하기 위한 다양한 시나리오를 시뮬레이션하기 위해 필요한 입출력하기 위한 인터페이스의 개발이 필요하다.

인터페이스 구성 항목에는 운송유형별 소요시간, 운송속도, 운송거리, 운송비용, 대기 및 환적 구간의 대기시간, 환적 시간 및 환적 비용, 온실가스 배출 측정을 위한 운송수단별 배출 계수, 연료 소모량, 연비 등이 포함된다.

3. 친환경 복합운송체계 개선 시나리오 개발 : 사고프로세스 접근

복합운송체계 개선 시나리오 개발을 위해서는 성과지표 기준으로 어디에서 무엇을 어떻게 개선시킬 것인가에 대한 논의가 필요하다. 이와 관련하여 시스템 다이내믹스는 시스템의 구조와 메커니즘 분석을 통한 시뮬레이션 모델링으로 추이분석은 가능하지만, 시뮬레이션 이전에 도출되어야 하는 시나리오(무엇을 어떻게 어떤 형태로 변화시켜야 하는지)를 체계적으로 연구하기 위한 이론적 체계는 갖추지 않고 있다. 연구자의 휴리스틱(heuristic) 관점에서 시나리오가 연구되기 때문에 이에 대한 보다 체계적인 방법론의 연구가 필요하다.

조옥래(2008)의 경우 제약이론의 사고프로세스(Thinking process) 기법만을 활용하여 의왕 ICD의 철송 활성화를 위한 방안을 도출한 바 있다. [그림 7]은 사고프로세스를 도식화한 것이다.



[그림 7] 사고프로세스의 과정(출처: 조옥래, 2008; 최광식, 2001)

사고프로세스 기법은 기존의 경영학에서 조직의 성과를 제한하는 요인(제약요인)을 찾아 집중적으로 개선함으로써 조직 전체의 성과를 향상시키고자 개발된 기법으로, 시스템 다이내믹스와 마찬가지로 인과성을 바탕으로 문제해결을 모색한다는 특징이 있다. 사고프로세스는 Current Reality Tree(CRT), Cloud, Future Reality Tree(FRT), Prerequisite Tree(PRT), Transition Tree (TRT) 등의 세부 방법론적 도구를 가지고 있다(엘리 골드렛, 2002; 최광식, 2001). 이에 대한 설명은 <표 6>을 참조하길 바란다.

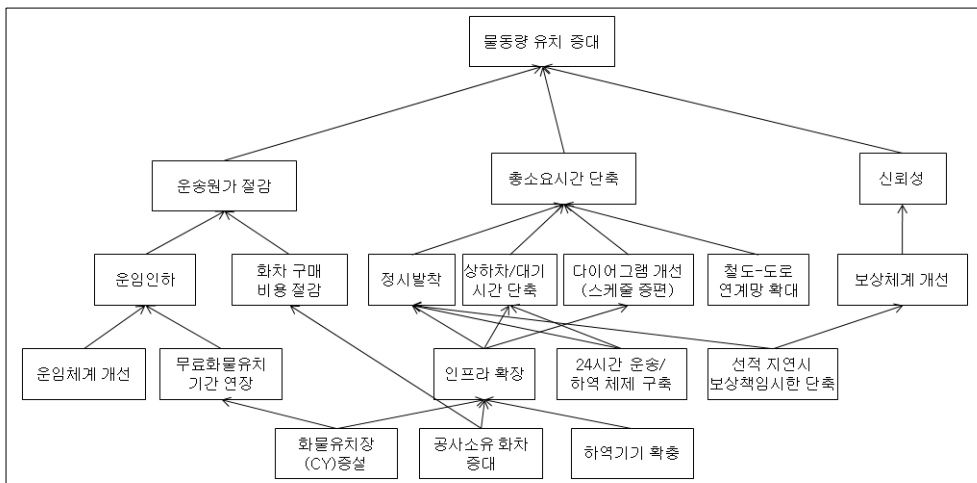
사고프로세스는 시스템 다이내믹스 방법론에서 제공하지 못하는 멘탈 모델링에 의한 문제 해결 대안(시나리오) 생성체계를 제공하며, 시스템 다이내믹스는 사고프로세스가 제공하

〈표 6〉 사고프로세스 실행 도구

구분	도구	내용
1	Current Reality Tree(CRT)	현재의 문제점(바람직하지 않은 결과)을 열거하고 이들의 인과관계를 파악함으로써 개선해야 할 근본적인 문제를 도출함. 무엇을 바꿔야 최선의 결과를 얻을 수 있을지를 명확하게 드러내기 위한 수단
2	Cloud	문제의 근본적인 원인이 되는 모순이나 대립 관계를 표현하고, 이를 해소하기 위한 아이디어를 추가함. 이를 활용하여 무엇으로(어떤 방향으로) 바꿀 것인가를 생각함
3	Future Reality Tree(FRT)	Cloud를 이용해 발견한 문제해결책을 실행에 옮기면 어떻게 될지를 검증하기 위한 수단으로 새로운 문제가 발생하지 않는지 검증함
4	Prerequisite Tree(PRT)	사고프로세스에서 어떻게 바꿀 것인가를 생각하기 위한 수단으로 목표달성 과정에서 발생하는 장애(전제조건)와 이를 극복하기 위한 중간목표를 설정함
5	Transition Tree(TRT)	사고 프로세스의 마지막 단계로 PRT에 표현한 각각의 중간 목표를 달성하기 위해 어떤 행동을 취해야 하는지를 표현함

지 못하는 시뮬레이션 모델링 및 분석 체계를 제공하기 때문에 상호 보완적 체계를 구성할 수 있다는 이점이 있다.

[그림 8]은 철송 및 연안운송의 활성화를 위해 기존의 문제점을 도출하고 이를 개선하기 위해 양창호외(2002)의 개선 요구사항을 사고프로세스의 TRT로 표현한 것이다. 이는 사고프로세스의 FRT를 AND-OR 그래프로 표현한 것으로 물류원가, 소요시간, 품질에 대한 신



[그림 8] 복합운송체계 개선 시나리오(예-철송 부문)

되성을 달성하기 위한 중간 전략(시나리오)들이 열거되어 있다.

한편 이들을(시나리오) 기반으로 통해 철송 및 연안운송의 물동량이 증가되면, 즉 공로운송에서 철송 및 연안운송으로의 모달쉬프트가 이루지게 되면 물류생산성의 변화와 친환경 관점에서의 온실가스 배출 저감 효과 등에 대한 시물레이션을 통해 현실적 타당성을 분석할 필요가 있다. 이 때 세부전략들의 계량적 시물레이션 분석을 위해서는 기술의 사양(spec)과 전략의 정성적 효과를 계량적으로 표현할 수 있도록 구체적인 수준으로 정의하는 게 필요하다. 또한 온실가스 배출 규제가 본격화될 경우에 대비해 온실가스 배출 규제에 따른 벌과금, 온실가스 저감으로 얻는 경제적 이득 등을 활용한 시나리오의 개발도 필요하다.

4. 친환경 복합운송체계 개선 시물레이션 사례

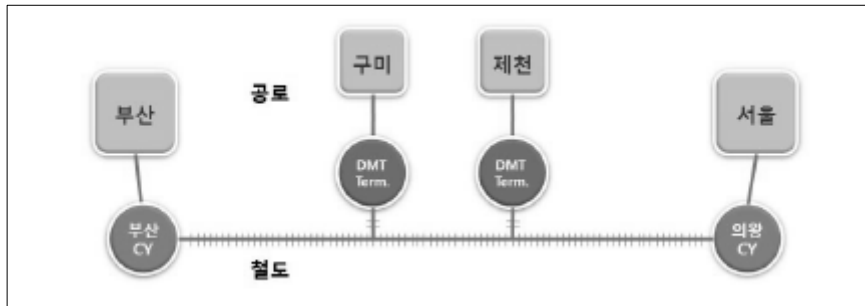
〈표 7〉은 친환경 복합운송체계 개선 시물레이션 분석에 앞서 철송 부문의 복합운송체계 중 환적 작업 및 소요시간 단축을 위한 방안으로 DMT 세부 기술 시나리오의 개발 사례이다.

〈표 7〉 철도-도로 연계망 구축 및 인프라 확장을 위한 기술 시나리오(예-DMT 기술 Spec)

방식 항목	기존 적하방식	수동 이적재 방식	
		화차구동형	트레일러구동형
관절대차의 필요성	×	×	
현화차 활용 가부	○	△(일부개조)	
기존 트레일러새시 활용 가부	○	△	
실제 적용례	○	○	
작업시간(30량 기준)	78분	54분	
기존 철송장 활용 가부	○	○	
컨테이너의 CY 장치 필요 면적	다단 적재로 필요면적이 적음	다단 적재로 필요면적이 적음	
소요시설	장비	T/C(1대), 트랙터(3대), R/S(2대)	트랙터(6대), R/S(2대)
	인력	기사: 6명, 보조인력: 2명	기사: 8명, 보조인력: 2명
동시작업성	×	△(부분적 동시작업 및 순차적방식)	
축중(220ton이하)저축여부	○	○	
차량한계 저축여부	○	○	
컨테이너만 수송 가부	○	○	
공중가설하 작업 가부	×	○	

출처: 김종만, 이용상(2009)

[그림 9]는 철송 및 공로운송 연계망 구축을 위한 DMT 터미널 신축을 위한 지리적 위치 선정 시나리오의 개발 사례이다. 이는 기존의 부산권의 부산진CY(container yard)와 경기권의 의왕CY 간의 철송 간선을 활용하여 구미 및 제천 지역의 철송 활성화를 해당 지역 인근에 DMT 터미널을 구축하고 해당 지역까지 철도 지선 인프라를 구축하는 내용을 포함하고 있다.



[그림 9] 복합운송 연계망 구축 시나리오의(예-철송, 공로 구간)
출처 : 김태원(2007)

<표 8>는 공로운송의 물동량을 연안운송으로 전환 유치하기 위한 운임인하 효과 창출 시나리오 개발 사례이다. 이는 기존의 복합운송체계 상에서 연안운송에 의해 발생하는 전체 물류비용이 단일 공로운송보다 대체로 많기 때문에 이를 극복하기 위한 대안으로 정부 및 운송주체의 운송비 및 시설료 지원을 고려한 것이다. 이는 철송의 운송비 지원 시나리오와 통합되어 철송 및 연안운송으로의 전환비율에 따른 물류생산성 및 온실가스 저감 효과를 분석하기 위한 시나리오로 활용된다. 앞서 작성된 복합운송체계 개선 시나리오를 복합운송체계 기초 시뮬레이션 모델에 적용하여 운송 시간 및 비용, 온실가스 배출량의 성과 지표 중심으로 시뮬레이션 분석을 진행하게 된다.

<표 8> 운송비 보조율에 따른 물동량 전환 시나리오(예-연안운송 부문)

시나리오	운송비 보조율(%)	항만시설사용료 감면	연안운송전환비율(%)
A	5	전액	0
B	10	전액	5
C	15	전액	10
D	20	전액	15

자료 : 전형진, 고현정(2008), 철강제품 기준

〈표 9〉 DMT 기술 적용을 통한 복합운송체계 개선 효과 분석의 예

구 분	B역의 물류비 절감 효과 분석
내용	<ul style="list-style-type: none"> · 1일 컨테이너 취급량 : 1,000TEU · 40FT 컨테이너 1량당 상차비용+하차비용=17천 원+17천 원=34천 원 · 20FT 컨테이너 1량당 상차비용+하차비용=12천 원+12천 원=24천 원 · 장치료:4,600원(20FT), 6,400원(40FT) · 셔틀운송비 : 12천 원/1대 · 입환비: 12명×300만 원=3,600만 원(1월) · 1TEU당 상하차비용=24천 원(A) · 장치료=5천 원(B) · 셔틀운송비 = 12천 원(C) · A+B+C=41천 원(1TEU) · 100TEU×41천 원=4,100만 원(1일) · 4,100만 원×25일 =10억 2,500만 원(1월) · 10억 2,500만 원×12개월=150억(12개월)

출처: 박필준(2007)

<표 9>는 철송 및 공로운송 연계 구간에 DMT 기술을 적용함으로써 연계에 필요한 셔틀운송, 환적작업 등의 제거에 따른 예상 가능한 비용 절감 효과를 분석한 예이다. 이는 물동량 및 운임 변화에 따른 다양한 분석이 필요한 경우 사람 손으로 사례별로 일일이 계산해야 하는 정적 시뮬레이션 방식이다. 이는 시스템 다이내믹스의 시뮬레이션 모델링 패키지를 활용함으로써 정적 시뮬레이션의 한계를 극복할 수 있다. 또한 시간, 온실가스 배출량의 시뮬레이션 모듈을 함께 활용하여 다양한 관점에서 복합운송체계 개선 효과를 분석할 수 있다.

4. 친환경 복합운송체계 구현 방안에 대한 논의

1) 친환경 복합운송체계 구현 시나리오 및 기초 모델의 개선

친환경 복합운송체계 구현을 위해서는 기존의 복합운송체계를 물류생산성과 친환경 관점에서 측정되는 성과지표 중심의 개선 시나리오 발굴이 중요하다. 시나리오는 주로 철송 및 연안운송과 공로운송 연계 간의 시간과 비용을 줄이기 위한 DMT 및 Ro-Ro 선박 기술 및 운용전략이 고려되고 있다. 하지만 이들이 현장에 적용되기까지는 최소 수년이 소요될 것으로 예상됨에 따라 철송 및 연안운송으로의 전환이 미미한 상황(물동량이 충분하지 않은 상황)에서의 온실가스 저감 방안에 대한 시나리오 개발도 필요하다. 이와 관련해서는

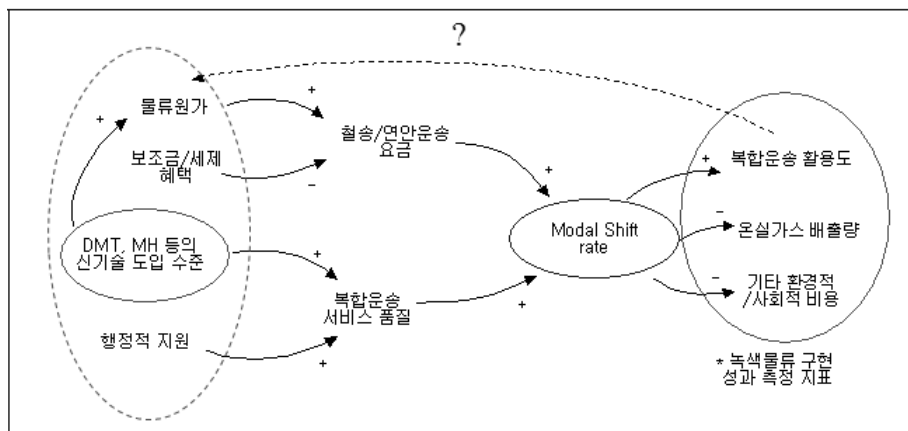
각 운송수단의 저황연료 사용, 연비가 높은 운송수단(설비) 사용에 관한 시나리오가 검토 가능하다.

친환경 물류 구현의 관점은 공로운송의 물동량을 철송 및 연안운송으로 전환하는 데 큰 의미가 있다. 하지만 공로운송 시장의 경우 기존시장이 이미 공급과잉 상태이기 때문에 추가적인 물동량 확보가 필요한 상황이다. 하지만 기존 대부분의 시나리오는 공로운송의 물동량 유치 전략을 전혀 고려하지 않은 상황에서 공로운송의 물동량을 철송 및 연안운송으로 전환하는 방향으로만 연구가 되었다. 하지만 공로운송이 공급과잉에 따른 운임인하 경쟁이 심화되면 그만큼 철송 및 연안운송의 물동량 유치가 어려워진다. 따라서 문제의 범위를 보다 확대하여 현실적 문제를 해결하기 위한 시나리오 개발 영역을 넓힐 필요가 있다.

한편 현실적인 친환경 복합운송체계 개선 방안을 분석하기 위해서는 시나리오 영역의 확대, 다양화(세분화)는 복합운송체계의 기초 모델 영역의 확장 및 구체화와 함께 진행되어야 성과지표 중심의 개선효과를 제대로 분석(시뮬레이션)할 수 있다.

2) 시나리오 기반의 시뮬레이션 분석과 시나리오 개선 과정의 피드백

친환경 복합운송체계의 구현은 특정 시점의 고정된 상태를 의미하는 것이 아니라 동적인 상황에서 지속적인 개선과정을 통해 표현될 수 있는 개념이다. 따라서 지속 가능한 친환경 복합운송체계를 구현하기 위해서는 시나리오의 단편적 효과 분석이 아니라 [그림 10]처럼 복합운송체계 개선 시나리오(기술, 정책 등)와 성과지표 간의 지속적인 피드백 연구과정이 뒷받침되어야 한다. 이에 대한 상세 설명은 다음과 같다.



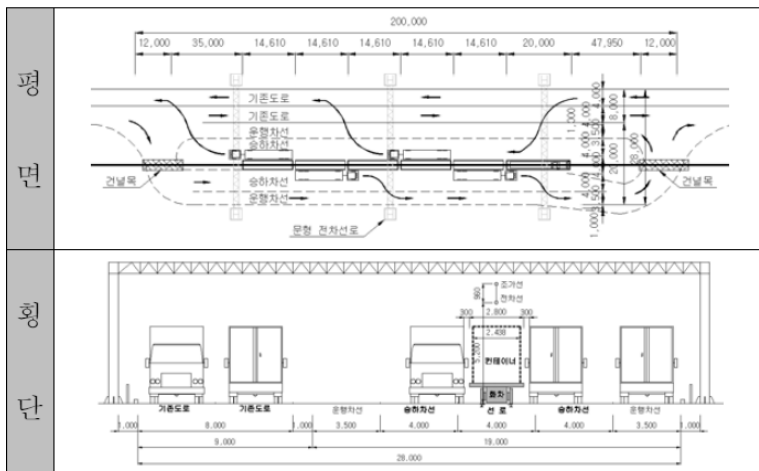
[그림 10] 친환경 복합운송체계 구현을 위한 피드백

친환경 복합운송체계는 기본적으로 철송 및 연안운송의 활성화를 대전제로 하며, 현재로서는 공로운송의 물동량을 철송 및 연안운송으로 전환(modal shift)하는 것이 주요 대안이다. 따라서 모달쉬프트를 촉진하기 위해 보조금 및 세제혜택 지원, 신규 기술 및 인프라 투자 등을 고려할 수 있다. 그리고 이러한 대안들이 중장기적인 관점에서 친환경 복합운송체계를 구현하는 데 지속적인 영향력을 갖기 위해서는 친환경 물류 성과가 철송 및 연안운송의 물동량 유치 동인으로 연결되어 연계성(피드백)을 강화시킬 전략적 연구가 뒷받침되어야 한다. 즉 다양한 후속연구를 통해 현재 물음표(?)로 표기되어 있는 인과관계 구조를 명확히 규명하고, 이를 활용하여 지속 가능한 친환경 복합운송체계 구축에 활용할 필요가 있다.

3) 테스트 베드 운영을 통한 현실적 제약 도출 및 해결방안 연구

친환경 복합운송체계의 지속 가능성 확보를 위해서는 무엇보다 현실적 제약을 지속적으로 해결하는 피드백 과정이 중요하다. 이에 전문가(실무자) 집단 토론이나 테스트 베드 구축을 통해 연구과정에서 고려하지 못했던 문제점(제약)들의 발굴 및 해결과정이 요구된다. 물리적 제약이 있는 기술 부문의 경우에는 현장 적용을 통한 테스트가 기술 개선에 중요한 수단이며, 논리적인 전략 및 정책적 제약을 발굴하기 위해서는 복합운송에 참여하는 주체들로 구성된 전문가 토론(세미나, 워크숍 등)이 주요 대안이 된다.

[그림 11]은 DMT 기술의 테스트 베드에 관한 레이아웃의 일례로, 이를 활용함으로써 DMT의 기술적 효과를 이론적으로만 연구했을 때 고려하지 못한 문제점(예외적 상황)들을 도출하여 보다 성공적인 복합운송체계의 개선을 이룰 수 있다.



[그림 11] 복합운송체계 개선을 위한 테스트 베드(예)
출처: 김종만, 이용상(2009)

V. 결론

국내외적으로 온실가스 배출에 대한 규제가 심화됨에 따라 국내 물류산업 역시 이에 대한 대응방안의 마련이 시급해졌다. 국내 물류산업의 경우 공로운송 중심에서 철송 및 연안운송으로의 물동량 전환이 온실가스 배출을 효과적으로 저감할 수 있는 방안으로 고려되고 있다. 하지만 철송 및 연안운송의 경우 자체 운송만으로는 물류서비스의 완결성을 보장할 수 없기 때문에 타 운송과의 연계가 필수적이다. 하지만 복합운송의 경우 타 운송과의 연계과정에서 환적에 따른 추가 비용 및 시간이 발생하고, 철송 및 연안운송 이후 구간에 대한 별도의 운임이 발생하기 때문에 철송 및 연안운송의 활용이 저조한 상황이다. 따라서 이들을 활성화하기 위해서는 물류 서비스의 비용과 소요시간을 개선하기 위한 기술적, 전략적 방안 마련이 요구된다.

인프라 투자규모가(현실적 제약이) 큰 연구는 주로 시뮬레이션 방법론에 의해 연구가 진행된다. 하지만 기존의 연구는 주로 정적인 시뮬레이션 기법으로 다요인에 대한 동시 비교 분석, 시계열의 추이 분석 등을 진행하기가 어렵다. 따라서 이와 관련된 방법론적 논의가 필요하다. 이에 친환경 복합운송체계 연구를 동적인 연구관점에서 체계적으로 연구할 수 있도록 본문을 통해 제약이론의 사고프로세스와 시스템 다이내믹스의 방법론을 활용한 연구모형을 제안하였다. 두 기법은 모두 인과성을 증시하는 연구방법론이지만, 시스템 다이내믹스는 시뮬레이션에 의한 문제 분석 및 해결방안 모색을, 사고프로세스의 경우 멘탈 모델링에 의한 문제 분석 및 해결방안 모색을 추구한다는 점에서 서로 차별화되며, 이러한 이유로 상호 보완 가능한 이론적 체계를 가지고 있다.

이에 시나리오 개발에 대한 이론적 체계가 충분하지 않은 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 방법론에 제약이론의 사고프로세스 기법을 응용, 추가함으로써 친환경 복합운송체계 개선에 관한 새로운 연구모형의 활용 가치를 타진해보고자 하였다. 이는 아직 개념적 단계로서 실제 구체적인 적용을 해보지 않은 상황이기 때문에 향후 연구를 통해 연구모형의 확장 및 구체화와 사례연구를 진행함으로써 해당 모델을 친환경 복합운송체계 개선에 관한 의사결정지원 도구로 발전시켜 나갈 계획이다.

【참고문헌】

- 김종만 · 이용상(2009). 「철도물류활성화를 위한 DMT 수송시스템 개발에 관한 연구」, 『한국철도학회 2009년도 추계학술대회논문집』: 1691-1707.
- 김태원(2007). 「교통체계효율화사업-철도물류 활성화 DMT 수송시스템개발 기획보고서」, 한국건설교통기술평가원.
- 김현진(2010). 『녹색경영』, 민음사.
- 노학래 · 이용상 · 최나나(2000). 「철도화물 활성화를 위한 고객 Needs 파악 및 전략 수립」, 『한국철도학회 2000년도 추계학술대회논문집』: 60-67.
- 박용안(2003). 「경인권 컨테이너화물의 연안운송 활성화 방안」, 한국해양수산개발원.
- 박용안 · 최기영(2009). 「컨테이너 연안운송의 비용구조와 경제적 제약 분석」, 『한국항만경제학회지』, 제25집 제3호: 321-338.
- 박석하(2007). 「환경물류비 계산과 성과지표 활용에 관한 사례연구」, 『해운물류연구』, 제52호: 83-106.
- 박필준(2007). 「철도 운송 중 서비스 완결성 획득을 위한 DMT(Dual Mode Trailer) 수송시스템 연구」, 한국유통과학회 학술대회: 963-978.
- 방연근 · 유재균 · 이순철(2003). 「중단거리 화물운송시장에서의 철도물류 경쟁력 강화방안」, 한국철도학회 추계학술대회: 319-325.
- 백종실(2004). 「고속철도 개통후 철도화물수송체계 개선방안 연구」, 『해양정책연구』, 제19권, 제2호: 161-210.
- 신승권 · 김석원 · 서승일(2007). 「철도물류 효율화를 위한 DMT수송시스템 현황분석」, 한국철도학회, 『한국철도학회 2007년도 추계학술대회논문집』: 1662-1667.
- 안경아(2009). 「환경친화적 물류관리 요인의 우선순위에 대한 연구」, 부산대학교 석사학위논문.
- 양창호 · 윤동한 · 최중희 · 최상희 · 김우선 · 하태영(2002). 「항만-내륙 간 첨단 연계 운송시스템 개발 방안 연구」, 한국해양수산개발원.
- 엘리 골드렛(2002). 『It's Not Luck』, 강승덕 · 김일운 역, 동양문고.
- 연합뉴스(2009). 「탄소배출권 거래해보니... 배출량 6.1% 감소」, 2009. 09. 23 인터넷판.
- 이정철 · 민재홍(2002). 「철도물류 활성화를 위한 철도와 항만의 연계사례 연구」, 『한국철도학회 추계학술대회논문집』: 290-229.
- 임광수 · 강상근 · 안승범(2004). 「연안운송 활성화 제약요인에 관한 연구-화주의 연안운송기피 원인을 중심으로」, 『한국항만경제학회지』, 제20집 제2호: 253-273.

- 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.
- 최광식(2001). 「기업 회생을 위한 패스워드」, TOC, 한국언론자료간행회.
- 하태영 · 최용석 · 김우선(2003). 「시뮬레이션을 이용한 컨테이너 터미널의 장치장 설계」, 『한국시뮬레이션학회 03추계학술대회 논문집』: 35-40.
- Rondinelli & Berry(2000). Multimodal Transportation, Logistics, and the Environment: Managing Interactions in a Global Economy, *European Management Journal*, Vol. 18, No. 4, pp. 398~410.