

운송수단별 내륙운송의 CO₂ 배출량 산출 및 비용분석

† 김환성* · 조민지**

*한국해양대학교 물류시스템공학과 교수, **한국해양대학교 대학원

A study on calculating emission CO₂ and Analysis Logistics Cost in inland transportation

† Hwan-Seong Kim* · Min-Ji Jo**

*Division of Logistics automatic, National Korea Maritime University, Busan, Republic of Korea

**Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 410-4914, Republic of Korea

요약 : 최근 물동량의 증가로 인하여 항만 산업과 내륙 운송산업은 발전을 하였지만 우리나라 내륙운송은 80% 이상을 공로운송이 담당하고 있다. 최근 지구 온난화의 영향으로 인하여 세계적으로 기후 변화에 대한 여러 규제와 협약들이 생겨났으며, 우리나라는 2013년부터 비준하게 되는 포스트 교토의정서에 이산화탄소 의무 감축국으로 포함될 전망이다. 이로서 국내 내륙 운송분야에서의 이산화탄소 배출량에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 현재 운송수단별 내륙운송의 이산화탄소 배출량을 산정하고 국내의 컨테이너 기종점 분석을 바탕으로 내륙운송의 이산화탄소 저감 방안을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 물동량, 내륙운송, CO₂ 배출량, 교토의정서

ABSTRACT : As the quantity of goods transported, port industry and inland transport industry have developing still, but almost 80% of inland transport industry consists of ground transport. According to issue "global warming", many regulations and agreements with countries in the world are becoming necessary and it is being fulfilled now. It is sure that Korea will have duty to reduce CO₂ emission from 2013. And inland transport have to cut CO₂ emission down. Therefore, this paper will address that calculate CO₂ emission under route of transportation container at Korea by using O/D analysis. And then, it will predict routes of transportation containers which can reduce CO₂ emission.

KEY WORDS : container traffic, inland transportation, CO₂ emission, Kyoto protocol

1. 서 론

연간 물동량이 1,300만 TEU를 넘어서는 시대에 도래하면서 항만 산업은 연간 10% 이상의 성장률을 예측하고 있다. 이에 대해, 정부에서는 도로, 철도, 공항 항만 등 물류 시설에 확충에 막대한 재원을 투자하고 있으나, 내륙과 항만과의 화물 흐름을 파악할 수 있는 기본 자료는 미미한 실정이다(신, 2006).

즉, 항만자체의 기능으로 선석의 확충, 장치장의 적재능력 향상 등을 향상에만 주력했을 뿐, 내륙운송과의 연계를 통하여 화물의 총 운송비를 감소시키는 물류시스템 관점에서의 발전은 아직 미약하다.

따라서 국내에 들어오는 수출입 화물 중 90% 이상이 선박을 통한 수송으로 항만이 내륙과 해상을 연결해주는 gateway의 역할을 충실히 해주고 있지만, 내륙운송과 연계한 시스템의 미미함으로 합리적인 수송계획 수립 및 확보가 어려운 실정이다. 특히 국내 내륙운송의 80% 이상이 공로 운송에 의지하고 있어 주요물류 거점마다 교통 체증 뿐 만아니라 이산화탄소 다량 배출 때문에 환경오염에도 심각한 영향을 주고 있다(김, 2009).

특히 1997년 12월 교토의정서가 채택되면서 온실가스 배출량 규제는 강화되고 있으며, 2013년부터는 우리나라에서도 온실가스 의무 감축국에 포함 될 것으로 예상되므로 환경문제에 대한 각별한 관심이 요구되어진다.

본 논문에서는 항만을 거점으로 내륙의 컨테이너 기종점 분석 자료와 이산화탄소 배출 비용을 고려하여 내륙운송의 총 물류비를 산정하였으며 시물레이션을 통하여 총 물류비용을 줄이

† 중신회원, kimhs@hhu.ac.kr, 010-7540-2409

**일반회원, mij624@hotmail.com, 051)410-4914

기 위한 방안을 도출하였다.

2. 국내 내륙운송의 현황

현재 국내에서 컨테이너 수송은 공로, 철도 및 연안으로 크게 3가지 방법으로 이루어지고 있다. 그러나 실제 연안운송의 비율은 2007년 기준으로 전체 내륙운송 중 0.1% 정도 차지한다. (김, 2009). 그래서 본 논문에서는 철도운송과 공로 운송만 고려한다.

Table 1 Container traffic in inland transportation

단위 : 천TEU, %

구분	2003	2004	2005	2006	2007
합계 (비중)	6,157 100	6,700 100	6,664 100	6,831 100	7,444 100
연안 (비중)	122 2	105 1.6	85 1.3	28 0.4	7 0.1
철도 (비중)	636 10.3	631 9.4	686 10.3	750 11	801 10.8
도로 (비중)	5,399 87.7	5,964 89	5,893 88.4	6,053 88.6	6,636 89.1

자료 : 부산항만공사, 2008

3. CO2 저감을 위한 내륙운송 모델 구축

3.1 CO2 배출 비용을 고려한 내륙운송 물류비 산정

본 논문에서는 부산항을 기점으로 국내에 운송되어지는 컨테이너의 기종점 분석 데이터를 이용하여 철도와 공로의 운임비를 산정하여 우리나라의 총 물류비용 관점에서 공로 운송과 철도 운송시의 물류비용을 비교하였다.

또한, 향후 포스트 교토의정서에 우리나라가 포함되면 국내의 내륙 운송 산업이 CO2 배출량에 대한 규제대상이 될 것이라 예상하고 운임비 산정시, CO2 배출비용까지 고려하였다. 모델 구축을 위하여 다음과 같은 6가지 가정을 하였다.

- (1) 각 운송모드에서 매일 운송량은 연간 총 물동량에 비례한다.
- (2) 각 권역지역내의 평균공로 운송거리는 권역 내 행정지역 위치를 기준으로 한다.
- (3) 각 권역지역내의 평균 서틀 운송거리는 권역 내 행정지역 위치와 철도역 간의 거리를 기준으로 한다.
- (4) 공로운송의 경우 1일 최대 운송량은 무한으로 한다.
- (5) 철도운송의 경우 1일 최대 운송량은 철도차량 편수에 비례한다.
- (6) 각 운송에서의 운송단위는 1일내로 하며, 수송시간을 기준으로 한다.

또한 본 논문에서는 이용하는 기호는 다음과 같다.

i = 운송모드(1: 육송, 2: 철송)

j = 발송 거점

k = 도착 거점

n = 공로 거점의 개수

m = 철송 거점의 개수

C_{ijk} = 거점 j 에서 거점 k 까지 i 운송모드를 이용하는 경우 운임비용

E_{ijk} = 거점 j 에서 거점 k 까지 i 운송모드를 이용하는 경우 탄소발생비용

$$= \text{dist}(j,k) \times Q_i \times \text{TEU당 평균 화물톤수} \times 34,433 (\text{원})$$

$\text{dist}(j,k)$ = 거점 j 에서 거점 k 사이의 거리[km]

Q_i = i 운송모드에서 톤키로당 탄소 발생계수

Q_{jk} = 거점 j 에서 거점 k 로 운송되는 물동량[TEU]

위의 계수를 이용하면, 각 운송모드에 따른 총 비용은 다음과 같이 산출된다.

$$J = \sum_{i=1}^2 \left\{ \sum_{j=1}^{t-1} \sum_{k=j+1}^t E_{ijk} + C_{ijk} + E_{ikj} + C_{ikj} \right\} \quad (1)$$

$$\text{단, } t = \begin{cases} n, & i=1 \\ m, & i=2 \end{cases}$$

3.2 내륙운송 총 비용 저감을 위한 시뮬레이션

위의 (1)식에서 운송모드를 변경하는 경우에 대한 판별은 다음과 같이 행할 수 있다. 먼저, P 거점에서 공로에서 철송으로 운송모드를 변경하는 경우를 가정한다.

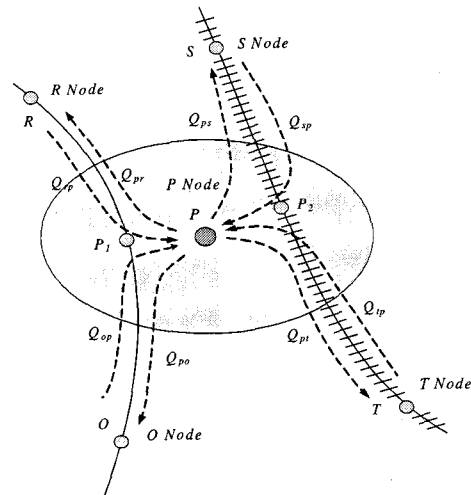


Fig. 1 Transportation mode change at P node

즉, 위의 그림에서 공로운송을 이용한 화물 운송량 Q_{RS} 를 철도운송으로 변경하는 경우, 공로운송시의 물류비용이 철도운송시의 물류비용보다 크다면, 운송모드를 철도운송으로 변경하

1) 1톤CO₂는 20유로로 산정 및 1유로는 1721.69원으로 환산('09.10).

는 것이 바람직하다.

$$C_{1RS} + E_{1RS} > C_{1RP} + C_{2RP} + E_{1RP} + E_{2RP} \quad (2)$$

식 (2)을 만족하는 경우는, R거점에서 S거점으로 화물 운송량 Q_{RS} 를 운송할 때 철도운송이 유리함을 알 수 있다.

3.3 내륙운송 비용저감 고찰

운송모드를 변경함에 따라 내륙운송비용 저감을 고찰하기 위하여, 본 논문에서는 운송모드에 따른 물류비용을 Table 2와 같이 나타내었으며, 각 운송모드 별 이산화탄소 발생량을 Table 3과 같이 나타낸다.

Table 2 Total logistics cost for transportation modes

철도 운송		공로 운송
셔틀비	100,000원/40Km, 이후 2,000원/Km	컨테이너육상운임 요금표를 기준(2008.6.1) (국해부, 2008)
ICD	상차료 : 29,200원/1TEU, 31,500원/2TEU	
역	하차료 : 12,000원/1TEU, 15,000원/2TEU	
운송비	운임 : 1TEU 449원/Km, 2TEU 741원/Km	
부산항 셔틀비	20ft : 48,000원, 40ft : 60,000원	

자료: 한반도 대운하 물동량 추정(2008), 조정래

Table 3 CO2 factor for transportation modes

운송모드	단위(kgCO ₂ /톤키로)	
	공로운송(O ₁)	철도운송(O ₂)
탄소발생계수	0.4749	0.0356

자료: 건교부 발표자료(2006)

운송모드의 변경에 따른 총비용 저감 효과를 검토하기 위하여 본 논문에서는 3가지 시나리오에 대하여 검토를 행하였다. 이때 이용된 각 지역별 화물 물동량은 해운항만물류통계 자료와 KMI 자료를 이용하였다.

시나리오 1 : 경남 지역 공로운송 → 신창원역, 울산역을 통한 철도운송

(수입 1,119,470 TEU, 수출 1,174,785 TEU)

시나리오 2 : 경기도 지역 공로운송 → 오봉역을 통한 철도운송
(수입 602,141 수출 559,162 TEU)

시나리오 3 : 경북 지역 공로운송 → 약목역을 통한 철도운송
(수입 583,972 TEU, 수출 591,661 TEU)

위 시나리오별 총비용은 Table 4와 같이 나타낸다.

Table 4 Total cost for transportation scenarios

시나리오	단위(백만원, %)			
	물류비용	탄소비용	총비용	저감율
현행	4,961,083	216,265	5,177,348	-
시나리오1	2,902,448	200,556	3,103,005	40.07
시나리오2	4,140,625	114,501	4,255,126	17.81
시나리오3	4,698,889	286,352	4,985,241	3.71

부산항을 기점으로 하는 경남지역의 수출입 물동량을 철도로 전환했을 경우 총 비용이 3,103,005(백만원)으로 40.07%로 절감이 되었고 경북지역 물동량을 철도로 전환하였을 경우에는 4,985,241(백만원)로 3.71% 정도를 절감시킨다.

위의 시나리오별 결과로부터, 국내의 컨테이너 운송을 공로운송에서 철도운송으로 전환을 했을 경우 탄소배출비용과 컨테이너 운송비가 절감되고, 이에 따라 총비용이 절약됨을 알 수 있다.

4. 결 론

국내의 내륙운송의 80%은 공로운송을 이용하며, 이로서 교통 체증문제 뿐만 아니라 많은 이산화탄소 발생시켜, 환경적인 문제를 발생시키고 있다. 본 논문에서는 국내 컨테이너 내륙운송에서 이산화탄소 배출량을 감소시키기 위한 방안으로 철도 운송으로의 운송방법의 변경에 관하여 고찰하였다.

먼저 총비용으로 물류비용과 CO₂ 발생비용을 고려하였으며, 시뮬레이션 결과, 부산항을 기점으로 물동량 흐름이 많은 상위 3개 지역의 물동량을 철도운송으로 전환했을 때 평균 20.53% 정도 감소될 수 있었다. 즉, 총 물류비를 절감시키기 위해서는 부분적으로 공로운송을 철도운송으로 전환하는 것이 필요함을 확인하였다.

본 연구의 한계점으로는 각 운송별 정확한 타임 스케줄 및 운송시간을 고려하지 않았으며, 이를 위해서는 보다 복잡한 수리적 해법을 필요로 한다. 또한, 실제 적용을 위해서는 실시간으로 발생하는 물동량 예측이 어려울 뿐만 아니라, 효율적 관리를 위해서는 온라인상 통제가 필요로 한다.

참 고 문 헌

- [1] 김재진, 강원도 물류효율화를 위한 철도사업 조기추진의 필요성, 강원발전연구원
- [2] 김경중(2009), 광역권별 컨테이너화물 내륙운송수단의 경쟁력에 관한 연구, 한국해양대학교
- [3] 신승식(2002), 우리나라 해상 수출입 컨테이너의 내륙 기-중점과 환경비용 비교분석, 국토연구 제35권
- [4] 컨테이너육상운임요금표(2008), 국토해양부