

## 화물열차의 경제속도 결정에 관한 연구

### A Study on Determining Economical Speed of Diesel Freight Locomotive

김광태<sup>1</sup> · 김영훈<sup>1\*</sup>

Kwang-Tae Kim · Young-Hoon Kim

**Abstract** Rail transport has been considered an environmental-friendly transport mode compared with other transport modes such as ship, truck, and aircraft. However, air pollutions emitted by diesel locomotives have emerged as social issues. In addition, the railway industry may not be able to avoid a duty of alleviating greenhouse gases emission owing to the Korean government policies for green growth which is an economic paradigm that simultaneously pursues growth and environmental improvement. Moreover, rising oil prices has burdened a train operating company. The purpose of this paper is to develop a methodology of determining an economical speed of diesel freight locomotive from the viewpoint of the train operating company. In the methodology, we first define an operational cost function based on various cost factors and then suggest formula to calculate an economical speed of diesel freight locomotive. To estimate the influence of cost factors such as diesel price, carbon taxes, and time costs on the speed of diesel freight locomotive, sensitivity analysis was conducted.

**Keywords** : Diesel freight locomotive, Eco-drive, Green logistics, GHG emissions

**초 록** 철도운송은 오랜 기간 동안 도로운송, 해상운송, 항공운송보다 친환경 운송수단으로 인식되어 왔다. 하지만 최근 디젤유를 사용하는 점화기관에서 배출되는 오염물질이 대기오염의 주범으로 밝혀지면서 사회적 문제로 인식되고 있으며 녹색성장을 위한 정부 정책으로 철도분야도 온실가스 배출의 감축 의무를 피할 수 없을 것으로 전망되고 있다. 또한, 지속적인 고유가는 운영비를 상승시켜 운영기관에 큰 부담이 되고 있다. 본 논문에서는 온실가스 배출 감소와 유류비 절감을 위해 운영기관 입장에서 화물열차의 경제속도를 결정하기 위한 방법론을 제안한다. 경제속도를 추정하기 위해 유류비, 화물열차의 시간가치, 탄소세를 고려하여 비용 함수를 추정하였다. 비용 함수를 바탕으로 화물열차의 경제속도를 도출하기 위한 식을 제안하고 유류비, 화물열차의 시간가치, 탄소세의 변화가 속도에 미치는 영향을 알아보기 위해 민감도 분석을 하였다.

**주요어** : 디젤기관 화물열차, 에코 드라이브, 녹색물류, 온실가스

## 1. 서 론

온실가스 배출로 지구 온난화 문제가 심각하게 대두되면서 철도물류분야에서도 녹색물류에 대한 정책적 기조가 강화되고 있다. 정부는 2006년 9월 ‘국가물류기본계획 수정계획(2011~2020)’을 수립하고 발표하였다. 이 계획에서는 ‘21세기 녹색성장을 선도하는 글로벌 물류강국’의 비전을 제시하고 세부목표로 저탄소 녹색성장을 견인하기 위해 물류부문에서 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출을 배출전망치(BAU: Business As Usual) 대비 16.7%를 감축하는 계획을 수립하였다. 이는 전 세계적으로 강화되고 있는 환경규제에 대응하기 위해 친환경 물류체계를 구축함으로써 미래 환경에 대응하기 위한 한국형 녹색 물류의 중장기 계획을 수립하고 이산화탄소 감축을 위한 사회적·제도적 기반을 마련하기 위한 조성 계획을 수립하는 것이다. 또한, 물류인프라의 녹색화를 추진하

기 위해 도로화물을 철도화물로 전환을 유도하고 물류시설 개발계획을 수립할 때 철도역, 내륙화물기지 등 다양한 물류거점에서 에너지 사용을 줄이기 위한 대책 마련을 의무화하였다.

디젤기관의 화물운송에 따른 오염물질 배출량은 Table 1 과 같이 도로운송 대비 약 22.9%로 적은 수치이다. 하지만 최근 디젤유를 사용하는 점화기관에서 배출되는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 미세먼지(PM) 등이 대기오염의 주범으로 밝혀지면서 사회적 문제로 인식되고 있다[2]. 이러한 환경문제는 철도운송이 친환경 운송수단이라는 이미지에 대립할 뿐만 아니라 녹색성장을 위한 정부정책으로 철도물류분야에서도 온실가스의 감축은 피할 수 없을 것으로 전망된다. 또한, 지속적인 고유가로 인한 운영비의 상승은 운영기관에게 큰 부담이 되고 있다. 따라서 디젤차량에서 발생하는 온실가스 감축과 운영비를 줄일 수 있는 에코 드라이브를 실천하기 위한 디젤기관 화물열차의 경제속도를 결정하기 위한 방법론의 개발이 필요하다.

본 논문은 운영기관의 관점에서 온실가스 배출 감축과 운

\*교신저자 : 한국철도기술연구원 융복합연구단  
E-mail : yhkim@krii.re.kr

<sup>1</sup>한국철도기술연구원 융복합연구단

**Table 1 [1] Pollutant emissions for driving means**

		CO	HC	NOx	PM	SO <sub>2</sub>	Total
Freight	Truck	2.462	0.296	2.216	0.432	0.046	5.452
	Rail	0.307	0.124	0.750	0.049	0.019	1.250

Unit: g/ton·km

영비 절감을 동시에 해결하기 위해 디젤기관 화물열차의 경제속도를 결정하기 위한 방법론을 제시하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 디젤기관 화물열차를 중심으로 국내 철도 시설과 차량 현황을 분석하고 연료비 절감과 온실가스 감축을 위한 기존 연구에 대해 살펴보기로 한다. 제3장에서는 화물열차의 경제속도를 산정하기 위한 방법론을 제안하고, 제4장에서는 현실상황을 근거로 수집된 데이터를 기반으로 경제속도를 산출해 보고 각 비용요소에 대한 민감도 분석을 하고 그 결과를 제시한다. 제5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

## 2. 현황분석 및 기존연구

화물운송에 이용되는 디젤기관 차량을 전기기관 차량으로 전환하는 것이 오염물질의 배출 감소와 연료비 절감을 실현할 수 있는 가장 확실한 대안이다. 하지만 국내의 철도 시설과 장비 현황 등 현실적 측면에서 단기간에 모든 디젤기관 차량을 전기기관 차량으로 전환하는 것은 어려워 보인다. 이를 차량 현황, 전철화 구간의 현황, 견인력의 세 가지 측면에서 분석해 보았다. 첫째, 국내의 연도별, 차종별, 차량별 보유 현황을 분석해 보면 Table 2와 Table 3에 제시된 것처럼 2002년 이후로 디젤기관 차량의 감소와 전기기관 차량의 증가 추세는 철도운송이 더욱더 친환경 운송수단으로 변화하고 있는 것으로 분석되었다. 하지만 디젤기관 차량은 내구연한 25년을 기준으로 약 10~15년의 기대수명을 가진 차량이 다수이다. 둘째, 전철화 구간의 현황을 살펴보면 다음과 같다. Table 4에 제시된 것처럼 2004년부터 전철화 구간이 증가하고 있지만 여전히 비전철화 구간이 약 45%에 육박한다. 셋째, 전기기관 차량으로 전환하는데 가장 큰 어려움은 디젤기관 차량이 전기기관 차량보다 견인력에서 우수하다는 점이다[4]. 이러한 현실적 측면은 중단기적으로 디젤

**Table 2 [3] Rolling stock by classification**

	Diesel locomotive	Diesel rail car	Electric locomotive	Electric Rail car
2002	482	610	96	1,662
2003	468	606	106	1,858
2004	462	602	204	1,824
2005	455	592	131	1,850
2006	438	576	151	2,086
2007	422	566	151	2,086
2008	396	500	179	2,088
2009	335	476	179	2,184

**Table 3 [3] Rolling stock by age**

	Diesel locomotive	Diesel rail car	Electric locomotive	Electric rail car
Total	335	476	179	2,184
1~5 year	8	-	55	482
6~10 year	113	20	30	330
11~15 year	110	150	-	956
16~20 year	31	306	1	265
21~25 year	27	-	3	151
26~ 30 year	5	-	-	-
Over 31 year	41	-	90	-
Cars over its service life	46	-	-	-
Cars under its service life	289	476	179	2,184
Average age	16.5	15.1	20.4	11.7

기관을 이용한 화물운송은 불가피한 사항임을 알 수 있다.

화물운송에 디젤기관 차량을 사용해야 하는 상황에서 고유가와 녹색성장을 위한 정부시책은 운영기관에 큰 부담이 되고 있다. 비용적 측면에서 고유가는 운영비를 증가시키고 있으며 앞으로 탄소세가 부과될 경우 운영비가 더욱 상승하게 될 것이다. 환경적 측면에서는 디젤기관의 집회기관에서 배출되는 오염물질의 감소는 저탄소 녹색성장을 국가 정책을 위해 운영기관이 반드시 해결해야 하는 과제이다.

철도 차량의 에너지 소비를 줄이기 위한 다양한 연구가 진행되고 있는데, 이는 크게 기술적 접근방법과 운영적 접근방법으로 구분된다. 전력소비를 줄이기 위한 기술적 방법에는 대체에너지의 개발, 고효율 엔진의 개발, 회생인버터의 개발, 차량의 경량화[5], 배기연돌 커버 개폐장치[6] 등이 있고, 운영적 방법으로는 속도 프로파일러의 개발, 실시간 운행 제어, 운행 스케줄의 조정방식[7-9] 등이 있다. 본 논문에서는 디젤기관 화물열차의 운영비와 연료 소비량을 줄이기 위한 운영적 접근방법으로 기존 연구의 검토 범위를 한정하기로 한다.

디젤기관 화물열차에서 운영비와 연료 소비량을 줄이기 위한 운영적 접근방법으로 공기저항을 줄이기 위한 컨테이너 적재패턴에 관한 연구와 화물열차의 급유계획에 관한 연구가 있다. 주행저항을 줄이기 위한 컨테이너 적재에 관한 연구로 Lai and Barkan [10]은 화차의 이용률, 효율성 등을 고려하여 화물열차의 효율성을 증대시키기 위한 방법론을 제안하였다. Lai et al [11,12]은 정적인 환경하에서 화물열차

Table 4 [3] Route length by year

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Route Length (km)	3,034	3,041	3,255	3,264	3,264	3,258	3,240	3,239
Electrified (km)	669	683	1,588	1,588	1,597	1,818	1,843	1,889

의 컨테이너 적재계획을 수립하기 위한 정수계획모형을 제안하였고 확장된 연구로 불확실한 환경하에서 적재계획을 수립하기 위해 계획기간을 연동적으로 고려한 모형을 제안하였다. Nourbakhsh and Ouyang [13]은 운영비의 상당 부분을 차지하는 유류비를 절감하기 위해 화물열차의 효율적인 급유계획을 수립하는 연구를 수행하였다. 혼합정수계획모형을 제안하고 해법으로 라그랑지안 완화 기법(Lagrangian relaxation method)을 제시하였다. Raviv and Kaspi [14]는 화물열차의 급유역과 급유량을 결정하는 혼합정수계획모형을 제안하고 모형의 개선을 위해 유효부등식(Valid inequality)을 제안하였다.

기존 연구의 고찰을 통해 알 수 있듯이 화물열차의 유류비용을 줄이기 위한 방법론으로 주행저항을 줄이기 위한 연구와 급유계획에 대한 연구는 진행되고 있지만, 화물열차의 경제속도를 추정하기 위한 연구는 많지 않은 것으로 판단된다.

### 3. 경제속도를 산정하기 위한 방법론

본 장에서는 운영기관의 관점에서 디젤기관 화물열차의 경제속도를 결정하는 방법론을 제시하기로 한다. 이를 위해 화물열차의 운영비에서 상당 부분을 차지하는 유류비, 화물열차의 시간가치, 향후 부과될 수 있는 탄소세를 고려하여 경제속도를 결정하고자 한다. 방법론을 설명하기에 앞서 가정사항은 다음과 같다. 화물열차는 평평한 선로에서 1,000마일을 주행한다. 이와 같은 가정사항은 본 연구에서 사용하는 연료소비 추정식을 인용한 기존 연구[15]에 기초한다.

다음의 기호를 바탕으로 디젤기관 화물열차의 경제속도를 산출하는 방법론을 설명하기로 한다.

• 파라미터(Parameter)

- $w$  열차중량(단위: lbf)
- $r$  공기저항면적 (단위:  $ft^2$ )
- $g$  경사 계수
- $k$  연료소비 계수(단위: gallons/1,000miles/lbf)
- $c_t$  화물열차의 감가상각비(단위: USD per hour)
- $c_e$  탄소세(단위: USD per gallon)
- $c_f$  연료비(단위: USD per gallon)
- $v_{min}$  화물열차의 최저속력
- $v_{max}$  화물열차의 최대속력

• 결정변수(Decision variable)

- $V$  화물열차의 속력(단위: mile/hour)
- $F$  연료소비량(단위: gallons/1,000miles)

화물열차의 운행에서 소비되는 연료량은 온실가스 배출과 운영비에 영향을 미치게 되는데, 이는 열차의 주행저항과 관련이 있다. 주행저항의 증가는 열차의 연료소비를 증가시켜 궁극적으로 운영비와 온실가스 배출의 상승을 가져온다. 다시 말해 주행저항을 줄이는 경제속도를 찾는 것이 연료비의 절감과 온실가스 배출의 감소를 동시에 달성할 수 있는 가장 효율적이며 효과적인 대안이다.

주행저항은 열차의 운행 속도, 무게, 주행구간의 구배, 곡선 등 다양한 요인에 영향을 받는데, 운행 속도를 제외한 다른 요인은 운행구간에 따라 주어진 조건으로 간주하면 운행 속도의 변화를 통해 주행저항을 변화시키는 것이 가능하다. 식(1)은 잘 알려진 Davis의 공식을 변형한 식[15]으로 주행저항을 기반한 연료소비량 추정식이다. 괄호 안의 첫 번째와 두 번째 항은 구름마찰과 공기저항을 나타내고 마지막 항은 등판저항을 나타낸다.

$$F = k \cdot (0.0015 \cdot w + 0.00256 \cdot r \cdot V^2 + g \cdot w) \tag{1}$$

연료소비량 추정식(1)을 기반으로 유류비용( $FC$ )과 탄소세( $EC$ )는 각각 식(2)와 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$FC = c_f \cdot F \tag{2}$$

$$EC = c_e \cdot F \tag{3}$$

화물열차의 시간가치( $DC$ )는 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$DC = c_t \cdot 1,000/V \tag{4}$$

탄소세, 유류비용, 화물열차의 시간가치를 고려한 화물열차의 운영비용( $TC$ ) 함수는 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$TC = EC + FC + DC \tag{5}$$

$$= (c_e + c_f) \cdot k \cdot (0.0015 \cdot w + 0.00256 \cdot r \cdot V^2 + g \cdot w) + c_t \cdot 1,000/V$$

위의 비용함수를 이용하여 운행구간에서 속도 제한(Velocity limit)이 없는 경우 화물열차의 경제속도는 다음과 같이 정의된다.

**Proposition 1.** 속도 제한이 없는 경우 화물열차의 경제속도( $V^*$ )는  $\sqrt[3]{195,312.5 \cdot c_t / \{(c_e + c_f) \cdot k \cdot r\}}$  이다.

**증명.** 비용함수(5)를  $V$ 로 미분을 하면 식(6)에 의해 1차 조건(first order condition)을 만족하는  $V^*$ 는 극값이다. 식(7)에

의해 2차 조건(second order condition)이 만족하며,  $V^*$ 를 도출하면  $\sqrt[3]{195,312.5 \cdot c_f / \{(c_e + c_p) \cdot k \cdot r\}}$ 이다. □

$$\frac{dTC}{dV} = 0.00512 \cdot (c_e + c_p) \cdot k \cdot s_d \cdot V - c_t \frac{1,000}{V^2} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{d^2TC}{dV^2} = 0.00512 \cdot (c_e + c_p) \cdot k \cdot s_d \cdot V + c_t \frac{2,000}{V^3} > 0 \quad (7)$$

화물열차가 운행될 때 구간의 특성에 따라 속도의 제한 또는 시간의 창(Time window)이 존재한다. 시간의 창은 주어진 운행거리에 대해 속력과 시간의 관계식으로 속도의 제한으로 표현할 수 있다. 즉, 속도의 제한과 시간의 창은 같은 제약 조건으로 표현할 수 있다. 운행구간에서 속도의 제한이 존재하는 경우 화물열차의 경제속도는 다음과 같이 정의된다.

**Proposition 2 [16].** 속도 제한이 있는 경우 화물열차의 경제속도( $V^*$ )는 식(8)에 의해 정의된다.

$$V^* = \begin{cases} v_{\min} & \text{if } V < v_{\min} \\ V & \text{if } v_{\min} \leq V \leq v_{\max} \\ v_{\max} & \text{if } V > v_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

여기서,  $V = \sqrt[3]{195,312.5 \cdot c_f / \{(c_e + c_p) \cdot k \cdot r\}}$

**증명.** 비용 함수는 볼록 함수이며 화물열차의 속도는 제한속도를 만족해야 한다. □

#### 4. 화물열차 경제속도의 민감도 분석

본 장에서는 기존 연구에서 사용된 데이터와 현실에 근거하여 수집된 데이터를 이용하여 운영기관의 입장에서 화물열차의 경제속도를 추정해 보기로 한다. 비용 데이터로 유류비, 화물열차의 시간가치, 탄소세는 각각 4.142달러/갤런 [17], 16.843달러/시간 [18], 1.119달러 [19], 연료소비계수( $k$ )는 0.2038 [15]을 사용하였다. 컨테이너 적재패턴에 따른 공기저항면적 계수( $r$ )는 Table 5에 제시되어 있는데, 이는 2단 적재열차의 노출된 면적에 따른 공기저항 계수를 나타내며 본 연구에서는 70.60ft<sup>2</sup>를 사용하였다. 화물열차의 시간가치는 감가상각비를 사용하여 반영하였다. 감가상각비는 7400대호 디젤기관차의 구매원가 2,264,897달러 [18]와 화차의 구매원가 47,460달러 [18]에 기초하여 식(9)을 통해 도출하였다. 식(9)에서 분자는 디젤기관차와 화차 10개의 구입비용이며 분모는 내구연한을 시간단위로 환산한 것이다. 화차 10개를 반영한 이유는 기존연구의 연료소비량 추정식은 화차 5개에 컨테이너가 2단 적재된 상황을 반영하였기 때문이다.

**Table 5 [15]** Drag area reduction for 5-unit well-type intermodal car

Load case	Drag area (ft <sup>2</sup> )	Drag area (ft <sup>2</sup> )
	smooth sides	exposed sides posts
Two 40' long, 9.5' high containers stacked in the well	71.60	93.20
One 40' long, 8.5' high container in the well and one 40' long, 9.5' high container on top	70.60	92.30
Two 20' long, 8.5' high containers in the well and one 40' long, 8.5' high container on top	69.70	91.30

여기서,  $F_c$ : 화물열차의 구매원가  
 $R_c$ : 화차의 구매원가

$$c_t = \frac{F_c + R_c \times 10}{25 \times 365 \times 24} \quad (9)$$

수집된 데이터를 적용하여 도출된 경제속도와 민감도 분석 결과는 Table 6에 제시되어 있다. 화물열차의 경제속도는 약 51.54km/h (32.02mile/h)으로 추정되었으며 국내의 대표적 수출입 컨테이너 운송구간인 의왕-부산 구간의 운행속도는 약 52km/h [20]이며, 운송에 사용되는 화차는 20~30개이다. 연료소비량 추정식과 관련 데이터를 기존 문헌에서 인용하여 산출된 경제속도가 국내 실정과 맞지 않는 부분이 있어 지표모색 한계가 있다. 하지만 추정된 속도는 각 비용요소의 변화가 속도에 미치는 영향을 알아보기 위한 기준 값으로 사용이 가능하므로 각 비용요소에 대한 민감도 분석을 하였다. Table 6에 제시된 수치는 두 개의 비용요소는 고정시키고 한 개의 비용만 변화시켰을 경우에 대한 속도이다.

민감도 분석에 대한 결과는 다음과 같은 해석이 가능하다. 첫째, 유류비와 탄소세가 상승하면 화물열차의 감속운행이 경제적이고 화물열차의 시간가치가 상승하면 화물열차의 속도를 높이는 것이 경제적이다. 즉, 화물열차의 시간가치가 상승하게 되면 속도를 높여 운행빈도를 늘리는 것이 운영기관에 유리하다. 둘째, 화물열차의 시간가치가 연료비와 탄소세보다 속도에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었고 탄소세는 그 영향이 미비한 것으로 나타났다. 이는 앞으로 탄소세의 부가가 운행속도의 변화에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 셋째, 유류비의 하락이 상승보다 속도 변화에 더 민감하며 제시된 유류비에서 약 10% 감소할 때 마다 화물열차의 속도를 약 1.42~2.41km/h를 증가시키는 효과가 있는 것으로 분석되었다. 이는 유류비의 하락은 화물의 수요가 충분하다는 가정하에 화물열차의 운행빈도를 증가시켜 운영사의 이익을 증가시킬 수 있다는 것을 의미한다. 마지막으로 화물열차의 시간가치에 민감하다는 것은 시간가치의 산출 방식이 화물열차의 속도와 운행빈도에 대한 운행전략의 수립에 큰 영향을 미친다는 것이다. 즉, 화물열차의 운행계획을 수립할 때 적정한 화물열차의 시간가치 산정이 중요하다는 것을 의미한다.

지금까지 국내 철도 운영기관은 수요, 선로용량, 운행시각 등을 고려하여 화물열차 운행계획을 수립하고 운영하였다.

**Table 6** Estimated economical speed and effect of cost factors

%*	$c_e$	$V^{**}$	$c_f$	$V^{**}$	$c_t$	$V^{**}$
-50	0.560	33.27(53.54)	2.026	37.80(60.83)	6.255	25.42(40.91)
-40	0.671	33.01(53.12)	2.431	36.30(58.42)	7.505	27.01(43.47)
-30	0.783	32.75(52.71)	2.836	35.02(56.35)	8.756	28.43(45.76)
-20	0.895	32.50(52.30)	3.241	33.90(54.55)	10.007	29.73(47.84)
-10	1.007	32.26(51.92)	3.646	32.91(52.96)	11.258	30.92(49.76)
0	1.119	<b>32.02(51.54)</b>	4.051	<b>32.02(51.54)</b>	12.509	<b>32.02(51.54)</b>
10	1.231	31.80(51.17)	4.456	31.23(50.26)	13.760	33.06(53.20)
20	1.343	31.58(50.82)	4.861	30.51(49.10)	15.011	34.03(54.77)
30	1.455	31.36(50.47)	5.266	29.85(48.04)	16.262	34.95(56.25)
40	1.567	31.15(50.13)	5.671	29.24(47.06)	17.513	35.83(57.66)
50	1.679	30.95(49.80)	6.077	28.68(46.16)	18.764	36.66(59.00)
60	1.790	30.75(49.48)	6.482	28.16(45.33)	20.015	37.46(60.28)
70	1.902	30.55(49.17)	6.887	27.68(44.55)	21.266	38.22(61.51)
80	2.014	30.36(48.87)	7.292	27.23(43.82)	22.516	38.96(62.69)
90	2.126	30.18(48.57)	7.697	26.81(43.14)	23.767	39.66(63.83)
100	2.238	30.00(48.28)	8.102	26.41(42.50)	25.018	40.35(64.93)

\*Percent change in the price or cost,

\*\*Unit: mile/hour, km/hour

그러나 고유가 시대에 연료비 절감과 저탄소 녹색성장 기조에 따른 탄소절감에 대한 대응, 고속철도 운행에 따른 기존 화물열차 운행계획과 화물철도 수송분담률 증대 계획에 따라 본 논문에서 제시한 분석결과를 열차 운행계획 수립 시 함께 고려하여 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 앞으로 국내 실정에 맞는 연료소비량 추정식이 개발되면 본 논문에서 제안한 방법론을 활용하여 친환경과 연료비 절감을 고려한 에코 드라이브에 관한 의사결정에 활용할 수 있을 것이다.

### 5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 정부의 녹색성장 정책에 따라 철도운송의 활성화가 예상되는 상황에서 화물열차에서 배출되는 온실가스 감축과 운영비 절감을 동시에 해결해야 하는 운영기관의 관점에서 화물열차의 경제속도를 결정하는 방법론을 제안하였다. 전기기관 차량으로의 전환, 고효율 엔진의 개발, 전철화 구간의 증대는 현실화되기 위해 많은 비용과 시간의 투자가 필요하다. 제안한 방법론은 인프라 구축과 기술 개발의 기간 동안 연료비의 절감과 온실가스의 감축에 기여할 것으로 기대된다. 또한, 각 비용요소가 화물열차의 속도에 미치는 영향에 대한 분석은 앞으로 운영기관이 화물열차의 속도 결정에 관한 의사결정과 화물의 시간가치를 고려한 화주 관점의 속도를 비교하기 위한 연구에 활용할 수 있을 것이다.

제안한 방법론은 현장에서 적용이 쉽다는 장점이 있지만 본 연구는 여러 가지 한계점을 가지고 있다. 기존 연구에서

도출된 연료소비량 추정식을 사용하여 운행구간을 1,000마일로 가정하였고 공기저항면적은 2단 적재열차의 컨테이너 적재된 계수를 적용하여 2단 적재열차가 보편화되지 않은 국내 실정과 맞지 않는 부분이 있다. 하지만 현재 국내에서도 화물열차의 속도에 따른 오염물질 배출계수와 연료소비량을 추정하는 연구가 활발히 진행되고 있고 앞으로 연료소비량 추정식이 개발되면 제안한 방법론이 경제속도를 결정하는 기초 연구의 역할을 할 것으로 기대된다.

향후 연구로 다수의 화물열차와 구간별 수요, 화물의 시간가치 등 화물운임과 화주의 의사가 반영된 운행속도를 추정하는 연구가 필요하며, 열차 운행과 관련된 현실적 제약 사항을 추가적으로 고려한 방법론의 개발이 필요하다. 마지막으로 운영기관의 운영비 부담을 해결하기 위해 화물열차의 급유계획을 고려한 연구가 필요하다.

### 후 기

본 논문은 한국철도학회 2011년 추계학술대회(2011. 10. 20)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

### 참고문헌

- [1] Korea Railroad Research Institute (2008) A study on the railroad policy and logistics system in Korea, pp. 143.
- [2] Korea Railroad Research Institute (1997) A study on the emission factors and reducing methods of air pollutants on the die-

- sel rolling stocks, pp. 1-2.
- [3] Korea Railroad (2010) 2009 Statistical yearbook of railroad, pp. 102-119.
- [4] Y.M. Cho, S.B. Kwon, D.S. Park, E.Y. Park, I.G. Lim (2007) Relationships between characteristics of emission gases and engine load condition of diesel locomotive engine, *Proceedings of the conference of the Korean Society for Railway*, pp. 48-53.
- [5] D.S. Kim, T.S. Kim, G.R. Kim (2009) A study on fuel reduction for diesel locomotive, *Proceedings of the conference of the Korean Society for Railway*, pp. 821-829.
- [6] K.B. Park (2011) A review of urban railway light-weight technology trends, *Journal of the Korean Society for Railway*, 14(5), pp. 32-40.
- [7] J.F. Chen, R.L. Lin, Y.C. Liu (2005) Optimization of an MRT trains schedule: reducing maximum traction power by using genetic algorithms, *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(3), pp. 1366-1372.
- [8] K.M. Kim, S.M. Oh (2009) A model and approaches for smoothing peaks of traction energy in timetabling, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(6), pp. 1018-1023.
- [9] K.T. Kim, K.M. Kim, S.M. Hong (2011) A Study on Revising Train Departure Time for Reducing Electric Power Consumption, *Journal of the Korean Society for Railway*, 14(2), pp. 167-173.
- [10] Y. C. Lai, Christopher. P. L. Barkan (2005) Options for Improving the Energy Efficiency of Intermodal Freight Trains, *Transportation Research Record*, 1916, pp. 47-55.
- [11] Y.C. Lai, Christopher. P.L. Barkan, H. Önal (2008) Optimizing the aerodynamic efficiency of intermodal freight trains, *Transportation Research Part D*, 44(5), pp. 820-834.
- [12] Y.C. Lai, Y. Ouyang, Christopher. P.L. Barkan (2008) A rolling horizon model to optimize aerodynamic efficiency of intermodal freight trains with uncertainty, *Transportation Science*, 42(4), pp. 466-477.
- [13] S.M. Nourbakhsh, Y. Ouyang (2010) Optimal fueling strategies for locomotive fleets in railroad networks, *Transportation Research Part B*, 44(8-9), pp. 1104-1114.
- [14] T. Raviv, M. Kaspi (2012) The locomotive fleet fueling problem, *Operations Research Letters*, 40(1), pp. 39-45.
- [15] F. Browand, R. McCallen, J. Ross (2009) The aerodynamics of heavy vehicles II: Trucks, Buses, and Trains, Springer, Heidelberg, pp. 259-297.
- [16] H.J. Kim, Y.T. Chang, K.T. Kim, H.J. Kim (2010) An epsilon-optimal algorithm considering greenhouse gas emissions for the management of a ship's bunker fuel, *Transportation Research Part D*, 17(2), pp. 97-103.
- [17] U.S. Energy Information Administration (2012) <<http://www.eia.gov/petroleum/gasdiesel>> (accessed 12.02.07)
- [18] Ministry of Construction & Transportation (2007) Transportation Infrastructure Investment Evaluation Guidelines.
- [19] Australia (2012) <[http://climatelab.org/Carbon\\_tax](http://climatelab.org/Carbon_tax)> (accessed 12.04.05)
- [20] Korea News (2007) <<http://www.ikoreanews.com/news/articleView.html?idxno=11441>> (accessed 12.05.20)
- 접수일(2012년 4월 29일), 수정일(2012년 6월 7일),  
게재확정일(2012년 6월 16일)