

## 차량주행주기를 감안한 환경오염물질 산정 및 적용 - 타당성 평가 적용을 중심으로 -

### Application and Estimation of Environment Pollutant Emission Considering Vehicle Driving Cycle - Focusing on Feasibility Study -

정 성 봉  
Sungbong Chung

서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도경영정책학과

Department of Railroad Management and Policy, Graduate of Railroad, Seoul National University of Science and Technology

(2011년 3월 30일 접수, 2011년 4월 27일 채택)

**Abstract :** According to EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook,<sup>1)</sup> the emissions produced by vehicle in cold start phase should be calculated differently compared to hot start phase. In this study, considering this driving cycle, more appropriate procedures for estimating Environmental Benefits was suggested. Using Tier 3 standard, all links within the impact area were included in estimating emissions. Traffic volume and travel distance were analyzed using EMME/3 software. For application of the procedures in this study, the case study was carried out with real transportation project. As a result, the Environment-Benefits increased by 30%. If the methodology suggested in this study is applied to feasibility study it will help to activate the investment of the environment-friendly modes like railway in the future.

**Key Words :** Hot Start, Cold Start, Environmental Benefits, Feasibility Study, Environment-friendly Modes

**요약 :** EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook<sup>1)</sup>에 의하면 자동차 주행에 따른 총 대기오염물질 배출량을 Hot Start와 Cold Start로 구분해 산출하도록 하고 있다. 본 연구에서는 이러한 자동차 주행주기 특성을 감안하여 교통사업의 타당성 분석 시 환경비용절감편익의 현실적인 산정방안에 대해 검토하였다. 이를 위해 교통수요 분석모형(EMME/3)을 이용하여 분석영향권 내 모든 링크단위의 교통량과 통행속도 자료를 활용하는 Tier 3 방식으로 환경오염 물질을 선출하였다. 본 연구에서 제안된 방법론의 적용성검토를 위해 현재 계획중인 철도 투자평가사업에 적용하였으며, 적용결과 환경부문의 편익이 기존 대비 약 30% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 향후 본 연구에서 제안한 방법론이 투자평가과정에서 적용된다면 철도와 같은 친환경 교통수단의 투자활성화에 기여할 것으로 기대한다.

**주제어 :** Hot Start, Cold Start, 환경비용절감편익, 투자평가, 친환경 교통수단

## 1. 서론

교통부문은 연간 30조원의 규모로 도로·철도·공항·항만 등 교통시설에 대한 투자가 이루어지고 있다. 지금까지 50% 이상<sup>2)</sup>의 예산이 매년 도로부문에 집중되고 있으며, 이에 따라 철도 등 친환경 교통수단에 대한 투자는 상대적으로 미미한 실정이다.

하지만, 최근 교통혼잡의 가중, 대기오염 및 지구온난화, 그리고 이용자의 의식변화 등 교통부문에 있어서의 여건이 급속도로 변하고 있으며, 이는 친환경 교통수단의 이용확대와 새로운 수단의 도입 필요성을 야기했다.

도로중심의 부문별 투자불균형은 현 교통정책의 방향 및 목표가 친환경·지속가능 교통체계구축으로 정립되어 있음에도 불구하고, 교통SOC 투자여부를 결정하기 위한 투자평가방법 및 기준의 경우 효율성 위주의 기존 평가방식을 그대로 고수하고 있기 때문이다. 하지만, 최근 들어 교통시설 투자평가 부문에서도 환경성에 대한 중요성이 부각되고

있으며, 이러한 관심은 환경부문의 가치를 제대로 평가하고자 하는 노력으로 연결되고 있다.

일례로 교통사업의 추진여부를 판단하는 타당성 평가제도의 경우 국토해양부의 『교통시설투자평가지침(제3판)』에 따라 수행하도록 규정되어 있다.<sup>3)</sup> 최근 개정된 제3판에서는 대기오염물질 중 CO<sub>2</sub>를 온실가스로 분리시켜, 국제적 탄소세 거래가격 및 국가별 CO<sub>2</sub>의 사회적 가치분석 등을 통해 사회적 비용을 톤당 15만원으로 설정함으로써 지구온난화에 대한 관심을 반영하였다.<sup>4)</sup> 이처럼 친환경 교통수단의 도입을 위한 노력은 신규편익반영 및 사회적 비용의 개선 등 교통 외적인 측면에서 주로 이루어지고 있어 교통계획적 측면에서의 환경적 영향을 객관적·합리적으로 반영할 수 있는 방법론 개발 또한 필요하다고 할 수 있다.

현재 교통계획에서 활용하는 프로그램의 경우 거시적인 관점에서 접근하기 때문에 미시적인 통행특성을 반영하기에는 다소 무리가 있다. 하지만, 국립환경과학원<sup>5)</sup> 의하면 엔진 가열(Hot-start)과 엔진 미가열(Cold-start)과 같은 주행조

† Corresponding author E-mail: sbchung@seoultech.ac.kr Tel: 02-970-6875 Fax: 02-975-6696

건에 따라 대기오염물질의 배출량이 다르다고 제시하고 있다. 이에 따라 현재 국내 투자평가 과정에서 적용하고 있는 환경부문의 편익이 과소 산정될 수 있으며, 최근 투자동향을 감안하여 합리적인 평가방법의 개선이 필요한 시점이다.

이에 본 연구에서는 국내 교통사업의 시행여부를 결정하는 예비타당성 조사와 타당성 평가 등에서 사용하는 환경비용절감편익의 현실적인 산정을 위해 교통계획적 측면에서 개선방안을 모색하고 이를 통해 합리적인 환경비용절감편익 산정방법을 제시한 후 실제 사업에 적용할 경우 어떠한 효과가 있는지 살펴보고자 한다.

이를 위해 제2장에서는 대기오염물질 배출과 관련된 국내외 연구동향과 국내 투자평가제도에서 고려하고 있는 환경성 평가방법을 검토한다. 제3장에서는 교통계획 과정에서 고려할 수 있는 도로이동원별 배출유형을 감안한 배출량 분석방법을 구축하며, 제4장에서는 구축된 방법을 토대로 국내 대도시권에 직접 적용하여 그 효과를 살펴본다. 제5장에서는 연구결과를 종합하고 향후 이러한 방법의 적용가능성 등에 대한 정책제언을 도출한다.

## 2. 선행연구검토

최근 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 환경오염의 주원인인 자동차에 대한 배기가스 배출과 관련된 연구가 많이 이루어졌다. 이 중 본 장에서는 차량의 주행주기(Driving cycle)에 따른 오염물질 배출량 분석방법과 관련하여 미국, 일본, 영국 등 주요 선진국 사례를 검토하도록 한다.

### 2.1. 미국

미국의 경우 1960년대 말부터 환경측면에 많은 관심을 가지기 시작하였다. 이에 따라 차량유형별 다양한 주행패턴 및 대기오염물질 배출량 등에 대한 연구 및 규제가 이루어지고 있다. 특히, 디젤연료사용차량에 대해 대기오염물질 배출기준을 규정하고 이에 따른 검사를 FTP-75 (Federal Test Procedure)를 활용하여 시행하고 있다. FTP-75에서는 차량의 주행패턴을 Fig. 1과 같이 cold start phase, transient phase, hot start phase로 구분하고 있으며, 이러한 주행상태에 따라 오염물질 배출량을 조사·분석하고 있다.<sup>6)</sup>

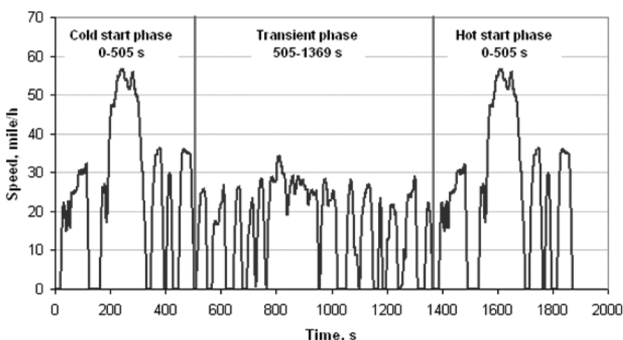


Fig. 1. FTP-75 Cycle (U.S.)<sup>6)</sup>

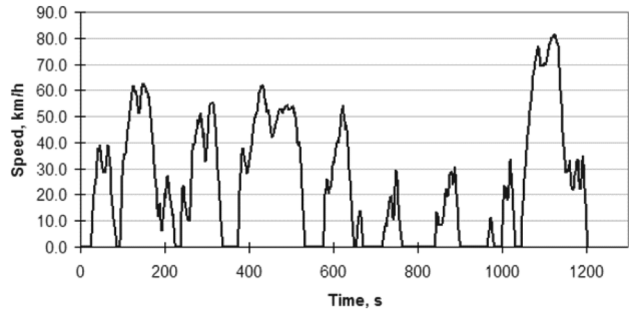


Fig. 2. JC08 Test Cycle (Japan, 2007).<sup>8)</sup>

조사결과 각 단계별 가중값으로 Cold-start단계에서는 0.43, transient 단계의 경우 1.0, 그리고 Hot-start 단계에서는 0.57의 가중치를 가지는 것을 제시하였다. 이러한 주행패턴의 주기는 호주에서도 ADR-37 (Australian Design Rules)로 알려져 있다.

또한, U.S EPA (Environmental Protection Agency)에서 2009년에 발간한 정책수행지침에는 주 단위의 시행계획 (SIP, State Implementation Plan)과 교통부문 사업시행결정 과정에서 MOVES 2010 (Motor Vehicle Emissions)을 활용하여 분석하도록 권고하고 있으며, 현재 미 교통국(DOT, Department of Transportation)과 긴밀하게 협의 중에 있다.

MOVES2010은 육상교통수단에서 배출하는 VOCs, NO<sub>x</sub>, CO, PM<sub>10</sub> 그리고 PM<sub>2.5</sub> 등의 오염물질의 배출량을 추정하는 모형으로 2009년 현재 EPA에서 도입하고 있는 방법으로 기존 MOBILE6가 개선된 모형이다. MOVES2010<sup>7)</sup>에서는 차량의 배기가스물질 배출유형을 cold/hot/stabilized start로 구분하여 차량별/오염물질별 배출량을 산정하고 있다.

### 2.2. 일본

일본의 경우 2005년에 대기오염물질 규제관련 법에서 3.5톤 이하의 경차량에 대해 새로운 JC08 chassis dynamometer test cycle을 도입<sup>8)</sup>하였다. 분석을 위한 실험은 정체가 빈번한 도심부에서 idling시간과 가·감속에 따른 주행행태까지 포함하여 이루어졌다. 측정은 Cold-start와 Warm-start에 대해 2번씩 수행되었는데 휘발류와 디젤 차량에 대해 배기가스 배출량과 연료소모량 등에 대해 조사되었다.

### 2.3. 영국

영국에서는 TRAMAQ (Traffic Management and Air Quality) 프로그램의 일환으로 수행된 연구<sup>9)</sup>에 따르면, 승용차 주행 시 cold start의 상태로 주행하는 비율이 매우 높기 때문에 차량의 엔진 온도에 따라 배출되는 배기가스량을 분석함에 있어, 이러한 주행조건을 감안하여 분석할 필요가 있음을 제시하였다. 이 연구에서는 특정한 주행주기로부터 총 배출가스량을 계산하고, Cold/Warm-start 상태와 어느 정도의 차이가 나는지를 비교하였다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 엔진의 온도 차가 클수록 기하급수적으로 배기가스의 배출량 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 Fig. 4에

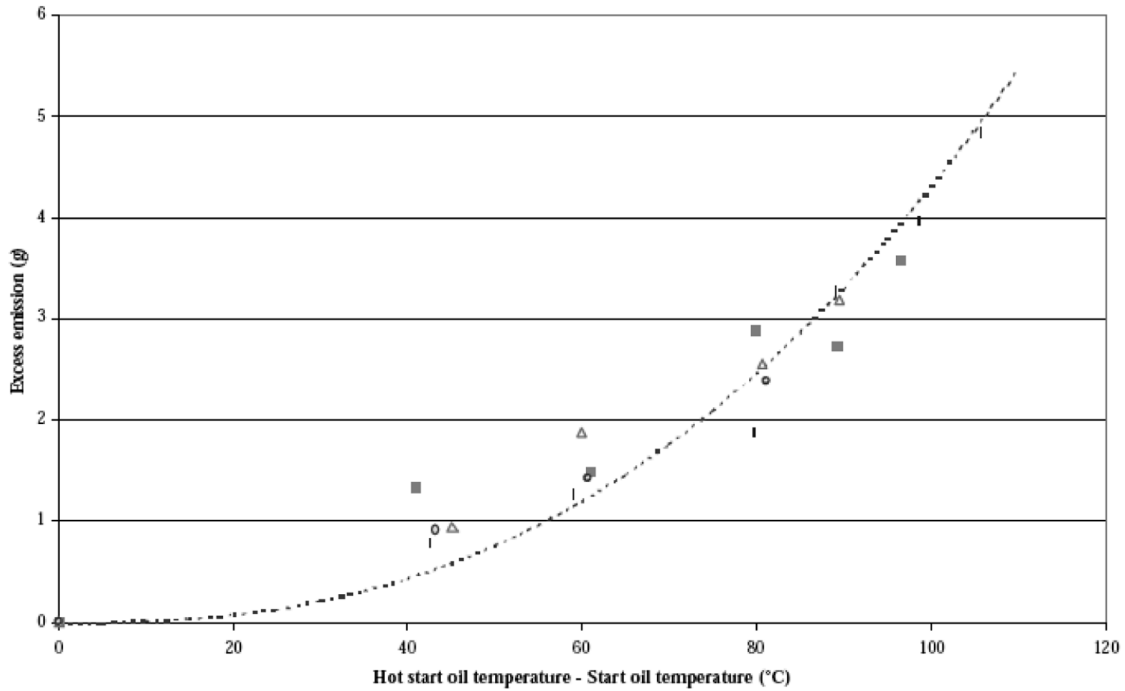


Fig. 3. Total CO excess emissions.<sup>9)</sup>

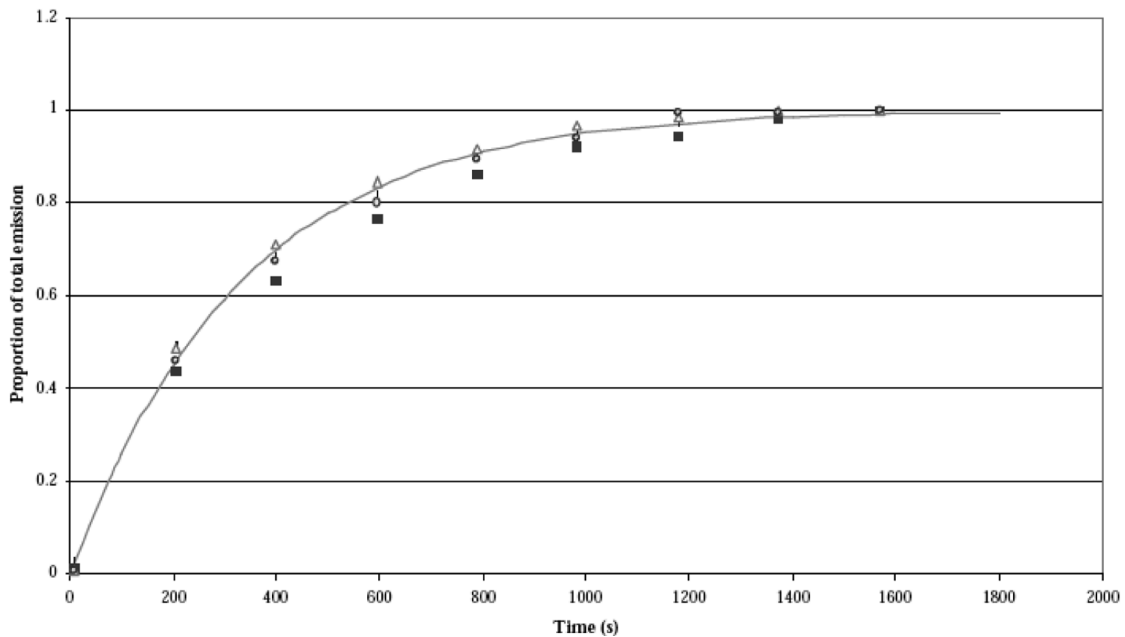


Fig. 4. Proportion of total CO<sub>2</sub> emissions as a function of time into cycle.<sup>9)</sup>

서 볼 수 있듯이 처음 출발에서부터 약 10분(600초)동안 총 배출량의 약 80%가 배출되는 것으로 조사하여, 도심통행과 같은 단거리 통행에서는 총 주행시간 중 초반대 즉 cold start에서 80% 정도의 대기오염물질이 배출됨을 시사하였다.

### 3. 국내 오염물질별 배출량 및 편익 산정기준

본 장에서는 교통시설의 투자평가과정에서 활용하고 있는 배출계수 및 배출량 산정 방법에 대해 검토하였다.

#### 3.1. 배출계수 산정기준

현행 국내 자동차 규제오염물질에 대한 배출계수는 차종별(승용차, 택시, 승합, 화물), 오염물질별(CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM) 배출량을 차량시험에 의한 실측을 통해 차량연식에 따른 상관회귀식을 이용하여 단위거리(km)당 배출질량(g)으로 산정하고 있다.<sup>10)</sup>

**Table 1.** Emission coefficient of passenger car (Unit : g/km)

	Speed	CO	NOx	HC	PM	CO <sub>2</sub>
Car	10	4,341	1,168	0.691	0.000	380,437
	20	1,915	0,670	0,237	0,000	257,480
	30	1,187	0,483	0,127	0,000	204,913
	40	0,845	0,384	0,082	0,000	174,262
	50	0,649	0,321	0,058	0,000	153,682
	60	0,524	0,277	0,044	0,000	138,685
	70	0,437	0,245	0,034	0,000	127,152
	80	0,373	0,220	0,028	0,000	117,940
	90	0,324	0,200	0,023	0,000	110,371
	100	0,287	0,184	0,020	0,000	104,012

현재 대기오염물질의 감소로 인한 효과는 예비타당성 조사와 타당성 평가 등에서 활용되고 있다. 각 제도는 개별 지침서를 발간하여 평가의 일관성과 객관성을 확보하고 있는데, 「예비타당성 조사지침」<sup>11)</sup>과 「교통시설 투자평가지침」<sup>11)</sup> 모두 철도청에서 발간한 「철도투자 평가편람」<sup>13)</sup>에서 제시한 값을 기반으로 하고 소비자 물가지수로 보정한 후 사용하고 있다. 예비타당성 조사지침<sup>11)</sup>에서는 자동차에서 발생하는 대기오염물질로 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 아황산가스(SO<sub>2</sub>), 탄화수소(HC), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 그리고 미세먼지(PM) 등을 고려하고 있다. 한편 철도청<sup>13)</sup>의 「철도투자 평가편람」은 국립환경과학원(2001)의 『자동차 오염물질 산정연구』에서 제시하고 있는 배출계수를 인용하고 있다.

이러한 방식으로 산정한 승용차/속도별 오염물질 배출계수는 Table 1과 같다.<sup>11)</sup>

### 3.2. 배출량 및 대기오염 절감편익 산정방법

현행 국예비타당성 조사지침과 교통시설 투자평가지침<sup>11)</sup>에서는 교통수요예측을 통해 계산된 링크별·차종별 교통량에 차종별 통행속도의 배출계수를 적용하여 링크별 배출량을 산정하며, 각 링크별 배출량을 합산하여 전체 배출량을 산정하고 있다.

$$\text{배출량} = \sum_l \sum_{k=1}^3 (VKT_{lk} \times EF_k) \quad (1)$$

여기서,  $VKT_{lk}$  = 링크별( $l$ ), 차종별( $k$ ) 대- $km$   
 $EF_k$  = 차종별( $k$ ) 해당 링크 주행속도의  $km$ 당 배출계수  
 $k$  = 차종(1:승용차, 2:버스, 3:화물차)

또한 대기오염절감편익은 앞에서 제시한 배출계수와 오염물질별 대기오염비용 원단위를 이용하여 대기오염비용을 산출하고, 교통사업 시행으로 인한 오염원별, 오염물질 배출량의 변화에 오염물질별 대기오염비용 원단위를 곱하여 식 (2)와 같이 산정한다.

**Table 2.** Social cost of emissions (Base year 2007)

(Unit: won/kg)					
Pollutants	CO	HC	NOx	PM	CO <sub>2</sub>
Cost	7,877	9,155	9,477	30,941	42,4

$$VOPCS = VOPC_{\text{사업 미시행}} - VOPC_{\text{사업 시행}} \quad (2)$$

여기서,  $VOPC = \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{lk} \times VT_k \times 365)$

$D_{lk}$  = 링크별( $l$ ), 차종별( $k$ ) 대- $km$

$VT_k$  = 차종별( $k$ ) 해당 링크 주행속도의  $km$ 당 대기오염비용

$k$  = 차종(1:승용차, 2:버스, 3:화물차)

일반적으로 오염물질별 대기오염비용 원단위를 추정하는데 여러 방법이 있을 수 있으나, 현 지침<sup>11,12)</sup>에서는 한국환경정책평가연구원<sup>14)</sup>과 철도청<sup>13)</sup>에서 제시된 원단위를 적용하고 있다(Table 2).

## 4. 분석방법론 설정

본 연구에서는 교통수요 분석모형을 이용하여 분석영향권내 모든 링크단위의 교통량과 통행속도 자료를 이용하는 Tier 3 방식을 기본으로 적용하되, 기존 연구들에서 고려하지 않았거나 고려하였더라도 불완전하게 반영되었던 Cold-start 상태의 대기오염물질 배출량을 개별 링크단위로 별도로 산정함으로써 기존 연구들과의 차별성을 갖도록 한다.

국내 여러 관련 연구들에서 지속적으로 인용되어왔던 EMEP/EEA<sup>1)</sup>에 의하면 주행에 따른 총 대기오염물질 배출량을 Cold-start와 Hot-start로 구분해 산출하도록 하고 있다. 본 연구에서도 이러한 가정을 적용하되, 교통분석 모형을 이용해서 출발지로부터 도착지까지 개별링크 단위로 대기오염물질 배출량을 산출하도록 한다.

### 4.1. Tier 3 방식을 적용한 대기오염물질 배출량 산정 방법

#### 4.1.1. 총 대기오염물질 배출량(Total exhaust emission)

주행에 따른 총 대기오염물질 배출량은 다음의 식 (3)에 의해 안정된 상태와 과도기 상태로 구분하여 계산된다.

$$E_{Total} = E_{Hot} + E_{Cold} \quad (3)$$

여기서,  $E_{Total}$  = 총 대기오염물질 배출량  
 $E_{Hot}$  = 안정된(stabilized, Hot-start) 상태의 주행중 대기오염물질 배출량  
 $E_{Cold}$  = 과도기(transient thermal, Cold-start) 상태의 주행중 대기오염물질 배출량

4.1.2. 안정된 상태의 배출량(Hot-start emission)

위의 식 (3)에서 안정된(Hot-start) 상태의 대기오염물질 배출량은 다음의 식 (4)에 따라 차량대수, 주행거리, km당 배출계수를 이용한다. 배출계수에 영향을 미치는 요인은 차량의 주행속도, 차량(age), 엔진크기, 차량중량, 차량에 적용된 오염물질 배출기준 등 다양한 요소가 존재하는데, 그 중 가장 큰 영향을 미치는 요인은 속도로서 속도와 의 함수관계를 갖는다.

$$E_{Hot; i,k,r} = N_k \times M_{k,r} \times e_{Hot; i,k,r} \quad (4)$$

여기서,  $E_{Hot; i,k,r}$  = 안정된(Hot-start) 상태의 대기오염물질 배출량  
 $N_k$  = 차량대수(vehicle)  
 $M_{k,r}$  = 차량당 주행거리(km/vehicle)  
 $e_{Hot; i,k,r}$  = 대기오염물질 배출계수(g/km)  
 $i$  = 대기오염물질 종류  
 $k$  = 차량군  
 $r$  = 도로유형

4.1.3. 과도기 상태의 배출량(Cold-start emission)

과도기 상태(Cold-start)는 안정된(Hot-start) 상태에 비해 추가적인 대기오염물질(exhaust emission)을 배출하는 것으로 알려져 있다. 추가 대기오염물질 배출량은 안정된 상태 일 때의 배출량 대비 배율과 과도기적(cold) 상태로 주행하는 거리를 이용하여 계산하며, 다음의 식 (5)와 같다.

$$E_{Cold; ij} = \beta_{i,k} \times N_k \times M_k \times e_{Hot; i,k} \times [(e^{Cold} / e^{Hot})_{i,k} - 1] \quad (5)$$

여기서,  $E_{Cold; ij}$  = 과도기(cold) 상태의 대기오염물질 배출량  
 $\beta_{i,k}$  = 전체 주행거리 중 과도기(cold) 상태의 주행거리 비율  
 $N_k$  = 차량대수(vehicle)  
 $M_k$  = 차량당 주행거리(km/vehicle)  
 $(e^{Cold} / e^{Hot})_{i,k}$  = cold/hot 대기오염물질 배출지수

4.2. 교통분석모형을 이용한 대기오염물질 배출량 산정 방법

4.2.1. 교통분석 모형을 이용한 배출량 산정의 개요

앞서 살펴본 Tier 3 방식을 기본적으로 적용하되, 교통분석 모형을 이용함에 있어서 Hot-start emission은 분석영향권내 모든 개별 링크단위의 교통량과 속도 정보를 이용하여 산출하고, Cold-start emission은 경로정보를 이용하여 출발지로부터 Cold-start 상태의 거리까지만 산출한다. 이를 개념적으로 모식화하면 Fig. 5와 같다.

출발지로부터 도착지까지의 통행행태는 통상적으로 Fig. 5에 제시된 바와 같이 단일 도로만을 이용하는 것이 아니라 여러 구간의 도로와 교차로를 지나게 마련이다. 이때 각 구간별로 통행속도는 서로 상이한데, 국내의 기존의 연구들은

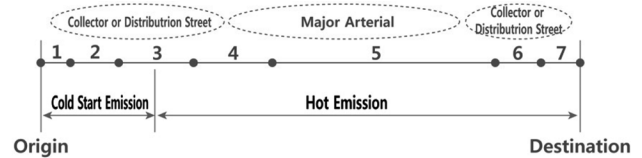


Fig. 5. Emission estimation concept diagram for using EMME/3.

대부분 전체 도로의 평균적인 속도를 가정하거나, 개별 링크 단위의 정보를 이용할 경우에도 Cold-start 구간에 대한 속도를 개별적으로 분석에 적용하지 않음으로써 속도에 따른 배출량 차이를 실질적으로 구현하지 못하였다.

본 연구에서는 Hot-start emission은 개별링크 단위로 분석대상권 전체를 계산하며, Cold-start emission은 Fig. 5 예제에서의 1번, 2번 링크와 3번 링크의 속도자료를 각각 이용하되 3번 링크는 Cold-start 상태의 연장까지만 계산에 반영함으로써 Cold-start emission을 현실적으로 구현하고자 한다.

4.2.2. 분석영향권내 총 Hot-start emission 산출

교통분석모형결과를 이용하여 영향권내 총 Hot-start emission을 산출하는 방법은 식 (6)과 같다.

$$E_{Hot; i,l,k} = \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{l,k} \times e_k) \quad (6)$$

여기서,  $D_{l,k}$  = 링크별(l), 차종별(k) 대-km  
 $e_k$  = 차종별(k) 해당 링크 주행속도의 km당 대기오염계수  
 $k$  = 차종(1:승용차, 2:버스, 3:화물차)

4.2.3. Cold-start 상태의 Emission 산출

Cold-start emission은 기종점 경로정보를 이용하여 Cold-start 상태일 때까지의 링크 연장과 교통량 자료를 이용하여 대기오염물질 배출량을 산출한다. Cold-start 상태의 거리는 앞서 살펴본 EMEP/EEA<sup>1)</sup>에서 제시하는 기준인  $\beta$ 값을 이용하는데, 이 값은 대기온도와 차량의 주행패턴(평균주행거리  $l_{trip}$ )에 영향을 받는다. 평균주행거리는 각 나라별로 다른데, 8~15 km의 사이값을 가지며, 확실한 값이 존재하지 않을 경우 12.4 km를 적용하도록 하고 있다. 국내의 연구결과 또한 이와 큰 차이를 보이지 않고 있어 본 연구에서도 12.4 km를 기준 값으로 적용하였다.  $\beta$ 값을 산출하는 식은 식 (7)과 같다.

$$0.6474 - 0.02545 * l_{trip} - (0.00974 - 0.000385 * l_{trip}) * t_a \quad (7)$$

여기서,  $l_{trip}$  = 차량의 평균주행거리  
 $t_a$  = 대기온도

Cold-start 상태일 때 추가적으로 배출하는 양을 산출하기

**Table 3.** Emission coefficient (Cold start)

Pollutants	$(e^{Cold} / e^{Hot})_{i,k}$	
	Pre Euro (Conventional)	Closed Loop
CO	3.7-0.09 $t_a$	9.04-0.09 $t_a$
NOx	1.14-0.006 $t_a$	3.66-0.006 $t_a$
VOC	2.8-0.06 $t_a$	12.59-0.06 $t_a$
Fuel consumption	1.47-0.009 $t_a$	1.47-0.009 $t_a$

위한 Cold-start 대기오염물질 배출량 산출계수( $e^{Cold} / e^{Hot}$ )<sub>i,k</sub>는 대기오염물질 종류에 따라 다르며, 대기온도와의 관계를 갖는다.

휘발유 승용차 중 기본형식이라 할 수 있는 Pre Euro (Conventional) 차종(재래식 수동제어)과 현재 대부분의 승용차에 장착된 Closed Loop 차종(자동제어)에 대한 Cold-start 대기오염물질 배출량 산출계수는 Table 3과 같다.<sup>15)</sup>

### 5. 사례분석

앞서 제시한 방법론을 토대로 실제 사례에 적용하여 환

**Table 4.** Project summary for case study

Classification	Description
Project Name	Metropolitan Single-Rail Construction Project
Length	20.79 km
Construction Period	2011~2016
Base Year	2010 year
Analysis Period	30 years after opening

**Table 5.** Emission ratio by vehicle engine type

Classification	Pre Euro (Conventional)	Closed Loop (New Type)
CO	2.58	8.93
NOx	1.07	3.59
VOC (HC)	2.05	11.84
Fuel consumption (CO <sub>2</sub> )	1.36	1.36

**Table 6.** Unit cost of emissions of passenger car by speed

Speed	Pre Euro (Conventional)						Closed Loop (New type)					
	CO	NOx	HC	PM	CO <sub>2</sub>	Total	CO	NOx	HC	PM	CO <sub>2</sub>	Total
10	61.54	0.86	7.86	0.00	6.13	76.39	244.12	27.79	71.98	0.00	6.13	350.02
20	27.16	0.49	2.70	0.00	4.15	34.50	107.74	15.94	24.73	0.00	4.15	152.56
30	16.83	0.35	1.45	0.00	3.30	21.93	66.76	11.52	13.30	0.00	3.30	94.88
40	11.97	0.28	0.92	0.00	2.81	15.98	47.48	9.15	8.46	0.00	2.81	67.90
50	9.20	0.24	0.66	0.00	2.48	12.58	36.49	7.64	6.04	0.00	2.48	52.65
60	7.43	0.20	0.49	0.00	2.23	10.35	29.49	6.58	4.51	0.00	2.23	42.81
70	6.19	0.18	0.38	0.00	2.05	8.80	24.56	5.82	3.52	0.00	2.05	35.95
80	5.29	0.16	0.32	0.00	1.90	7.67	20.99	5.23	2.97	0.00	1.90	31.09
90	4.61	0.15	0.26	0.00	1.78	6.80	18.28	4.76	2.42	0.00	1.78	27.24
100	4.05	0.14	0.23	0.00	1.68	6.10	16.07	4.39	2.09	0.00	1.68	24.23

경비용 절감편익을 산출하고, 기존의 방법론과의 편익차이를 분석하였다. 분석시 버스나 트럭은 시동을 장시간 정지하지 않고 운행하기 때문에 Cold-start 상태에서의 대기오염물질 배출량은 없다고 가정하고 승용차의 Cold-start 상태에서 발생하는 대기오염물질 배출량을 산출하였다. 적용 사례는 Table 4에서 제시한 바와 같이 수도권 지역의 연장 20.79 km 단선전철 건설사업<sup>16)</sup>을 대상으로 분석하였다.

본 연구에서 제시한 Cold-start 상태의 대기오염물질 배출량 산정을 위하여 대기온도는 우리나라의 평균기온인 12.5°C, 주행거리는 12.4 km를 적용하였으며, 그 결과 β값은 0.269745, 대기오염물질 배출량 산출계수는 Table 5와 같이 제어 형식에 따라 증가율을 산출하였다.

산출된 계수를 적용하여 예비타당성 조사지침(제5판)에서 제시하고 있는 승용차 속도별 대기오염비용을 보정한 결과 Table 6과 같이 산출되었다.

편익산출을 위해 교통수요분석을 수행하였으며, 분석 패키지 프로그램인 Emme/3<sup>17)</sup>를 이용하였다. 분석 결과 Fig. 6과 같이 영향권내 사업 시행에 따라 영향권내 통행패턴이 일부 변화하였으며, 영향권내 평균 통행속도는 미시행시 25.18 km/h에서 시행시 25.21 km/h로 속도 변화는 거의 없는 것으로 분석되었다. 환경비용 절감편익 산출의 기초자료가 되는 영향권내 총 대-km는 Table 7과 같이 분석되었다.



**Fig. 6.** Traffic volume diagram.

**Table 7.** Total vehicle-km within impact area

	Do Nothing (A)	Do Action (B)	Difference (B-A)	Ratio ((B-A)/A)
2017	16,144,834	16,043,575	▼101,259	▼0.63%
2021	16,727,161	16,619,236	▼107,925	▼0.65%
2026	17,416,467	17,302,838	▼113,629	▼0.65%
2031	17,929,580	17,806,482	▼123,098	▼0.69%
2036	18,319,484	18,199,994	▼119,490	▼0.65%

**Table 8.** Results of Environmental benefits (Unit: 100million won/year)

Classification	Present Value	Pre Euro (Conventional)	Closed Loop (New type)
Environmental Benefit	621.47	665.30	820.66
Portion	7.00%	7.46%	9.05%
Increasing Amount	-	▲43.83	▲199.19
Increasing Rate	-	7.05%	32.05%

교통수요분석 결과를 토대로 환경비용 절감편익을 산출한 결과 Table 8과 같이 분석기간(30년) 동안 재래식 수동제어의 경우 665.30억원/년, 자동제어의 경우 820.66억원/년이 산출되었으며, 기존의 방법론과 비교하여 볼 때 각각 43.83억원/년(7.05%), 199.19억원/년(32.05%)이 증가한 것으로 나타났다.

사례 분석결과 재래식 수동제어 적용시 증가율보다 자동제어 적용시 증가율이 크게 높은 것으로 나타났다. 자동제어 적용시 증가율이 크게 높지만, 타당성 평가에서의 교통수요분석은 장래의 교통패턴의 변화를 분석하고 그에 따른 사회적 편익을 산출하여 사업의 타당성을 검토하는 것으로 현재 운행하는 차량의 대부분은 자동제어 방식의 차량임을 감안하면, Cold-start 상태에서의 편익산출 방법은 자동제어 적용시를 따르는 것이 타당하다고 판단된다.

## 6. 결론 및 제언

본 연구에서는 차량주행주기특성을 교통계획과정에 고려하기 위해 EMME/3라는 교통수요 분석모형을 이용하여 Tier 3 기준으로 자동차 배기가스 배출량을 분석하였다. 이를 위해 분석영향권내 모든 링크단위의 교통량과 통행속도 자료를 계산하여 분석에 적용하였으며, 이를 통해 지금까지 불안정하게 반영되었던 Cold Start 상태의 대기오염물질 배출량을 개별 링크단위로 별도로 산정하여 기존 연구들과의 차별성을 확보하였다.

국내에서 교통사업의 시행여부는 비용/편익 분석방법에 의한 경제성 분석결과에 따라 결정된다. 이 때, 편익항목 중 하나로 고려되는 환경비용절감편익의 경우 hot-start 상태에서의 배출계수를 이용하여 계산되어 실제 배출량에 비해 과소추정 될 가능성이 존재한다. 이에 따라 본 연구에서는 Cold-start 상태일 때 추가적으로 배출하는 양을 산출하

기 위하여 Cold-start 대기오염물질 배출량 산출계수( $e^{Cold}/e^{Hot}$ )<sub>i,k</sub>를 기존 연구자료를 토대로 도출하여 편익산정과정에 적용하였다.

본 연구에서 개발한 방법론의 활용성을 검토하고, 기존 방법론과의 차이를 분석하기 위해 사례분석을 수행하였다. 사례분석은 최근 타당성 평가가 수행된 실제 사업을 대상으로 하였으며, 분석과정에서 버스나 트럭은 시동을 장시간 정지하지 않고 운행하기 때문에 Cold-start 상태에서의 대기오염물질 배출량은 없다고 가정하였다. 또한, 사례분석 시 경제성 분석을 위한 기본적인 전제는 예비타당성 조사지침(제5판)을 준용하였다.

일반적으로 철도사업의 편익은 사업시행·미시행시의 공로부문의 통행량전환에 의해 발생하는데, 사례분석결과 환경편익의 경우 재래식 수동제어의 경우 665.30억원/년, 자동제어의 경우 820.66억원/년이 산출되었으며, 기존의 방법론과 비교하여 볼 때 각각 43.83억원/년(7.05%), 199.19억원/년(32.05%)이 증가한 것으로 분석되었다. 두 가지 방법에 대해 분석한 결과 자동제어상태에서의 환경편익 증가율이 크게 높게 나타났는데, 타당성 평가에서의 교통수요분석은 장래의 교통패턴의 변화를 분석하고 그에 따른 사회적 편익을 산출하여 사업의 타당성을 검토하는 것으로 현재 운행하는 차량의 대부분은 자동제어 방식의 차량임을 감안하면, Cold-start 상태에서의 편익산출 방법은 자동제어 적용시를 따르는 것이 타당하다고 판단된다.

본 사례분석에서는 철도사업을 대상으로 하였으며, 실제 사업시행으로 인한 전환효과가 상대적으로 미미하였기 때문에 본 연구에서 개발한 방법론에 의한 효과 또한 상대적으로 작게 나타난 것으로 보인다. 향후 본 연구에서 제안한 방법론이 실제 투자평가과정에 적용된다면 경제적 효율성 위주의 편익구조에서 환경편익의 비중이 좀 더 높아질 것으로 기대하며, 이는 철도 등 친환경 교통수단의 투자활성화에 기여할 것으로 기대한다.

KSEE

## 참고문헌

1. EMEP/EEA, "Emission Inventory Guidebook," (2009).
2. 국토해양부, "철도업무편람," (2010).
3. 국토해양부, "국가통합교통체계효율화법," 제18조(2009).
4. 국토해양부, "교통시설투자평가지침(제3판)," (2009).
5. 국립환경과학원, "대기오염물질 배출량 산정방법 편람(II)," (2010).
6. <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.html>
7. EPA, "Policy Guidance on the Use of MOVES2010 for State Implementation Plan Development, Transportation Conformity, and Other Purpose," (2009).
8. [http://www.dieselnet.com/standards/cycles/jp\\_jc08.html](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/jp_jc08.html)
9. AEA Technology, "UG219 TRAMA Q-cold start emissions," (2001).

10. 국립환경과학원, “이동오염원의 유해대기오염물질(HAPs) 배출계수 산정연구(II),” (2005).
11. 한국개발연구원, “도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판),” (2008).
12. 국토해양부, “교통시설 투자평가지침(제3판),” (2009).
13. 철도청, “철도투자 평가편람,” (2003).
14. 한국환경정책평가연구원, “육상교통수단의 환경성 비교분석,” (2002).
15. EPA, “MOBILE6 On-Road Motor Vehicle Emission Model,” (2009).
16. 국토해양부, “○○~○○ 복선전철 타당성조사 보고서,” (2011).
17. INRO, Emme Prompt Manual Beta Release 3.3, (2010).