

Tier 3 방법론을 활용한 BIS 사업의 CO₂ 저감효과 분석

- 대전-청주 간 광역BIS 사업을 중심으로 -

Reduction Effect of CO₂ Emission on BIS Using Tier 3 Methodology

- A Case Study on Daejun-Chungjoo Project -

정연식* · 송태진** · 김정원***
Chung, Younshik · Song, Taijin · Kim, Jeongwan

Abstract

This study presents an analysis of CO₂ emission reduction effect on bus information system (BIS) which is operated to improve various services of bus transit such as rapid and on-time service. Although the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) released three methodological types of models for analyzing the amount of greenhouse gas reduction, this study used the Tier 3 method that is the most concrete one. A case study was performed to a 8.3 km section of Daejun-Chungjoo BIS system, and dataset required to the Tier 3 method was obtained from ITS-based surveillance systems. The study result showed that the reduction effect of CO₂ on BIS operation was yearly 39.45tCO₂/km. Therefore, such effect can be potentially useful to a measurement of effectiveness (MOE) of BIS projects hereafter.

Keywords : intelligent transport systems, bus information system, CO₂ reduction effect, tier 3 method

요 지

본 연구는 ITS(Intelligent Transport Systems) 기술 중 버스대중교통의 신속성 및 정시성 등 서비스 향상을 위해 구축된 버스정보시스템(BIS: Bus Information System) 운영에 대한 CO₂ 저감효과를 분석하였다. IPCC에서는 CO₂ 저감효과 분석을 위해 3가지 방법을 제시하고 있으며, 이 중 가장 구체적인 Tier 3 방법을 활용하고자 하였다. 분석은 대전-청주 간 BIS 구축 노선 중 8.3km 구간에 대하여 진행되었으며, Tier 3 방법에 필요한 교통 관련 자료는 ITS 기반으로 수집된 자료를 활용하였다. 분석결과, BIS사업 시행에 따른 CO₂ 저감효과는 연간 39.45tCO₂/km가 있는 것으로 나타났다. 이러한 CO₂ 저감효과는 향후 BIS 사업의 효과적으로도 사용 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 지능형교통체계, 버스정보시스템, 이산화탄소 저감효과, Tier 3 방법

1. 서 론

2009년 한국에너지기술연구원이 제시한 국내 온실가스 배출 관련 통계자료에 의하면, 전체 이산화탄소(CO₂) 배출량의 약 20%는 수송부문에 차지하고 있으며, 타 부문에 비해 급격한 증가 추세를 보이고 있다¹⁾. 특히 도로 분야 CO₂ 배출량은 수송부문의 약 80% 이상을 차지하고 있어 도로 분야에 대한 CO₂ 저감 대책마련이 시급한 현안으로 부각되고 있다. 이러한 배경 하에 정부는 2008년 8월 “저탄소 녹색성장”이라는 국정 전략을 제시하여 각 분야별로 온실가스 배출을 감소시키는 한편, 녹색산업을 새로운 성장 동력으로 수

립하기 위한 구체적인 전략을 강구 하고 있다. 이러한 국정 전략은 중장기적으로 추진해야 할 전략과 단기적으로 추진해야 할 전략으로 구분하여 진행되어야 한다. 현재 국내뿐 아니라 국제적으로도 이슈가 되고 있는 전기자동차 등 친환경 교통수단 개발에 대한 투자, 기타 저탄소 녹색 교통시설물 등의 투자는 중장기적인 전략의 대표적인 사례일 것이다.

그러나 교통부문의 녹색성장을 위해서는 이러한 장기적인 전략뿐만 아니라 단기적인 전략의 수립도 필요하다. 즉, 현재의 교통 시스템을 효율적으로 운영하는 것은 에너지 이용 효율을 증가시키며, 결과적으로 CO₂ 배출량을 감소시키게 된다. 도로 교통분야에서 지능형교통체계(ITS: Intelligent Transport Systems)는 도로의 운영 효율을 높이고자 하는 대표적인 노력이다. 이러한 사례로는 고속도로 통행요금 자

1) <http://www.kier.re.kr>

*정회원 · 교신저자 · 한국교통연구원 부연구위원 · 공학박사 (E-mail : tpgjist@koti.re.kr)

**정회원 · 한국교통연구원 연구원 (E-mail : tjsong@koti.re.kr)

***국토해양부 사무관 (E-mail : initialx@korea.kr)

동징수 시스템이 대표적이며, 혼잡한 도로구간에 대한 정보 제공으로 혼잡구간의 우회유도, 돌발상황의 신속 감지 및 대응으로 인한 추가혼잡의 최소화 등이 포함된다. 또한 대중교통 서비스 고도화는 승용차 이용자들을 대중교통 분야로의 수단전환을 유도하여 결과적으로 통행에 대한 에너지 소비량을 감소시키는 효과로 이어진다. 이러한 대중교통 서비스 고도화의 대표적 사례로는 버스 운행정보에 대한 실시간 통행정보를 제공하기 위해 구축된 버스정보시스템(Bus Information System: BIS)을 포함한다.

본 연구는 대중교통분야 ITS 요소기술인 BIS 기술도입에 따른 CO₂ 저감효과를 추정하고자 하였다. 일반적으로 CO₂ 배출량 산정을 위해서는 기후변화에 대한 정부간 패널 즉, IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 발간한 가이드라인을 적용한다. 이중 교통부문 CO₂ 배출량 산정을 위해서는 Tier 1, 2, 3방법이 포함된다. ITS 기술은 지역별 상이한 교통상황과 도로상황에 따라 각기 다르게 구축되기 때문에, Tier 1과 Tier 2에 의한 CO₂ 배출량 산정은 한계가 있다고 보는 것이 일반적이다. 결과적으로 본 연구에서는 Tier 3방법을 활용하여 BIS의 시행 전·후에 대한 CO₂ 배출량을 추정하였다. 이를 위해, 현재 운영중인 교통정보수집시스템에서 수집된 실제 교통류 자료를 활용하였다.

2. CO₂ 산출 방법론 검토

2.1 IPCC 가이드

국내외 온실가스 배출량을 산정 하기 위한 방법으로 IPCC에서 발간한 “국가 온실가스 배출량산정 안내 지침서 (IPCC, 2006)”을 적용하는 것이 일반적이다. 이 중 교통부문의 온실가스 배출량 산정 방법은 CO₂ 산정방법과 비 CO₂ 산정방법을 따로 구분하여 제시하고 있다. 교통부문에서 특히 많이 배출하는 CO₂ 배출량에 대한 산정방법은 Tier 1, 2, 3 방법으로 각 국가별로 보유하고 있는 배출계수와 같은 기초자료의 종류 및 형태 등을 고려하여 적절히 사용하는 것으로 권고하고 있다. 국내는 IPCC의 방법론을 적용하여 다음과 같은 계산방법과 자료를 활용한다.

2.1.1 Tier 1 방법

Tier 1 방법의 경우에는 기초자료가 미비할 때 주로 사용하는 방법으로 전체 에너지 소비량에 배출계수를 산출하는 가장 기본적인 방식이다. Tier 1 방법의 산정방법은 식 (1)을 활용하여 산출할 수 있다. 이러한 Tier 1 방법은 차량 유형 및 개별차량의 자료를 고려하지 않기 때문에 녹색성장 사업으로 추진하기 위해 다뤄지는 CO₂ 누출량 계산 등이 불가능하다.

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_a [\text{연료소비량}_a \times \text{배출계수}_a] \quad (1)$$

이 식에서, 연료소비량_a = 연료 a의 소비량(TJ)
 배출계수_a = 연료 a의 탄소함유량 × $\frac{44}{12}$ (kg/TJ)
 a = 연료의 종류(휘발유, 디젤, 천연가스, LPG 등)

2.1.2 Tier 2 방법

Tier 2 방법은 Tier 1 방법과 달리 각 차량종류별 연료 소비에 따른 CO₂ 배출량을 계산한다. 즉 승객 1인당 CO₂ 배출량을 산정하는 방식이며, 이를 평균화하여 1인당 CO₂ 배출량을 산출해 내는 방식이다.

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_{a,b,c} [\text{연료소비량}_{a,b,c} \times \text{배출계수}_{a,b,c}] \quad (2)$$

이 식에서, 연료소비량_{a,b,c} = 주어진 수송수단활동에 대한 연료소비량(연료판매량)(TJ)
 배출계수_{a,b,c} = 연료별 차종별 배출계수 (kg/TJ)
 a = 연료의 종류(디젤, 휘발유, 천연가스, LPG 등)
 b = 차량의 종류
 c = 배출제어기술(제어장치부재, 촉매변화장치 등)

2.1.3 Tier 3 방법

Tier 3 방법은 연료소비를 기준으로 하지 않고 차량 주행 거리 자료를 기반으로 측정된 배출계수와외의 곱으로 계산하는 방법이다. 이러한 Tier 3 방법의 CO₂ 배출량을 산정하기 위한 식은 식 (3)과 같으며, 차종 및 도로에 따른 주행거리와 배출계수를 곱하여 산정하게 된다. Tier 3 방법에는 미국 환경청(EPA: Environmental Protection Agency)의 MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) 모형이나 유럽 환경청(European Environment Agency)의 COPERT(Computer Programme to Calculate Emission from Road Transport) 등과 같은 시뮬레이션에 사용된다.

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_{a,b,c,d} [\text{주행거리}_{a,b,c,d} \times \text{배출계수}_{a,b,c,d}] \quad (3)$$

이 식에서, 배출계수_{a,b,c,d} = a,b,c,d를 반영한 배출계수 (kg/km)
 주행거리_{a,b,c,d} = 주어진 차종, 도로에 따른 주행거리(VKT)
 a = 연료의 종류(디젤, 휘발유, 천연가스, LPG 등)
 b = 차량의 종류
 c = 배출제어기술(제어장치부재, 촉매변화장치 등)
 d = 작동조건(도시, 도로, 기후, 환경요인 등)

2.2 문헌고찰

국내 교통부문 CO₂ 배출량 산정에 관한 연구는 현재 활발히 진행되고 있다. 최상진 외 연구진(2003)은 Tier 2와 Tier 3 방법을 활용하여 CO₂ 배출량을 산정하였다. Tier 2와 Tier 3 방법으로 국가 CO₂ 배출 총량을 산정한 결과 유사한 값이 산출되었다. 김기동 외 연구진(2009)은 경기도 31개 시·군 지역에 대한 도로 교통부문 CO₂ 배출량을 Tier 1과 Tier 3 방법으로 산정하여 결과를 비교하였다. 그 결과

Tier 3 방법으로 산정한 배출량이 Tier 1 방법으로 산정한 배출량보다 많은 것으로 나타났다. 이 연구에서 Tier 3 방법에 사용된 교통량은 차량 등록대수를 활용하였으며, 평균 주행거리도 자동차 검사소에서 차량의 주행기록계로부터 추출된 자료를 활용하였기 때문에 정확한 CO₂ 배출량을 산정하였다고 하기에는 한계가 있다. 또한, 유영숙 외 연구진(2009)은 대기오염물질 통합관리시스템(GHG-CAPSS)을 이용하여 Tier 3 방법으로 차종별, 시도별 CO₂ 배출량을 산정하였다. 분석결과 승용차가 44%로 CO₂를 가장 많이 배출하는 것으로 나타났으며, 그 다음으로 소형 화물차, 대형 화물차 순으로 나타났다.

국내에서는 콜럼비아 보고타 시의 BRT(Bus Rapid Transit) 사업에 대한 CO₂ 배출량 산정 사례가 대표적이다. 이 사업은 도로교통 운영부문 청정개발체제(Clean Development Mechanism: CDM) 사업 중 유일한 사업으로 UN에 등록되었으며, 이 사업에서 베이스라인 산정과 모니터링을 위하여 Tier 2 방법을 활용하였다(2006). 또한, 상파울로 시의 BRT 사업 중 가장 효과적인 상황을 도출하기 위하여 Castro와 Strambi(2010)는 5가지의 가상의 시나리오를 설정하여, 시나리오 별 CO₂ 저감효과를 분석하였으며, CO₂ 배출량 산정을 위해 IVE(International Vehicle Emissions Model)²⁾ 방법을 사용하였다. 미국의 뉴욕 시는 CACP(Clean Air and Climate Protection) 소프트웨어를 사용하여 도로부문의 CO₂ 배출량을 산정하였다³⁾. 이러한 CO₂ 배출량은 차량주행거리와 차종별 평균연비 그리고 연료별 배출계수의 곱으로 계산하고 있다. Farzaneh 외 연구진(2010)은 Tier 3 방법에 사용되는 차종별·속도별 배출계수를 구하기 위하여 실제 차량의 속도에서 수집한 속도별 CO₂ 배출량을 비교하였다.

제시된 기존사례에서 나타난 바와 같이, 교통은 이동오염원이라는 점에 근거하여 Tier 3 방법을 활용한 CO₂ 배출량 산정 및 적정 차량 계수 도출 연구를 수행하고 있다. 그러나 현재까지 ITS 사업으로 인해 발생된 CO₂ 저감효과에 대한 분석 사례는 없는 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 ITS 서비스 분야 중 기존의 대중교통의 서비스를 고도화하여 자동차 수요를 대중교통으로의 수단전환으로 유도하고 있는 BIS운영에 대한 CO₂ 저감효과를 분석하고자 하였다.

3. 교통류 자료를 활용한 CO₂ 저감효과 산정 방법

3.1 개요

BIS는 버스의 운행정보를 실시간으로 이용자에게 제공하는 ITS 요소 기술이다. 이러한 정보에는 버스의 노선정보, 현재 운행위치, 배차간격 등이 포함되며, 이러한 정보를 제공받은 이용자들은 보다 편리하게 버스를 이용하게 된다. 따라서 정시성 향상, 버스 간 간격 유지, 버스 서비스 만족도 향상 등의 효과로 이어지며, 결론적으로 버스 이용률 증가라는 결과를 기대할 수 있다. 한 예로 대전광역시의 경우 BIS 도입으로 버스 승·하차 인원은 28.6%가 증가하였으며, 부천시

는 20%가 상승한 것으로 나타났다⁴⁾. 또한 광주광역시에서는 이용자의 90%가 BIS 도입에 대해 만족하는 것으로 나타났다(광주광역시, 2002). 이러한 결과는 승용차 이용자들이 버스로의 수단전환에 의한 것으로 해석할 수 있으며, 아울러 이러한 결과는 CO₂ 감소로 이어진다.

3.2 BIS의 CO₂ 저감효과 산출 방법론

3.2.1 산출방법

BIS 사업으로 인한 CO₂ 저감효과를 정확하게 도출하기 위해서는 사업 시행 전 베이스라인을 설정하고, 시행 후의 CO₂ 감소 배출량을 측정해야 한다. 그러나 현재 국내 교통 부문에 적용하고 있는 Tier 1 방법으로는 BIS 사업으로 인한 CO₂ 저감효과를 산출하고 평가하는 것이 불가능하다. 반면, Tier 3 방법은 보다 정확하게 효과를 분석할 수 있으나, 이를 위해서는 보다 구체적인 자료의 구축이 요구된다. 본 연구에서는 교통정보 수집 시스템에서 수집되는 정보를 활용하고, 수집된 정보를 Tier 3 방법에 적용하여 BIS사업에 대한 CO₂ 저감 효과를 산출하고자 하였다. 그림 1은 본 연구에 활용된 Tier 3 방법에 의한 CO₂ 배출량 산출과정을 나타낸 것이다.

우선 차종별, 속도별 배출계수(g/km)를 산출하고, 차종별 주행거리(km/yr)를 산출한 후 두 값을 곱하여 차종별 CO₂ 배출량을 산정하게 된다. 다음으로 CO₂ 배출량은 식 (3)의 방법에 의해 산출된다. 차종별, 속도별 배출계수를 산정하기 위해서는 모든 분석 대상구간에 대하여 차종별 속도 자료의 구축이 필요하다. 그러나 모든 구간에 대하여 이러한 자료를 수집하는 것은 한계가 있기 때문에, 국가기관 및 연구기관에서 추정된 배출계수를 활용하는 것이 일반적이다. 표 1은 ‘교통시설 투자평가지침(2009)’에서 제시하고 있는 차종별, 속도별 배출계수를 나타낸 것이다.

3.2.2 산출절차

본 연구에서는 BIS 시행에 따른 CO₂ 저감효과를 분석하기 위하여, 그림 2에 제시된 바와 같이 3단계로 절차를 구

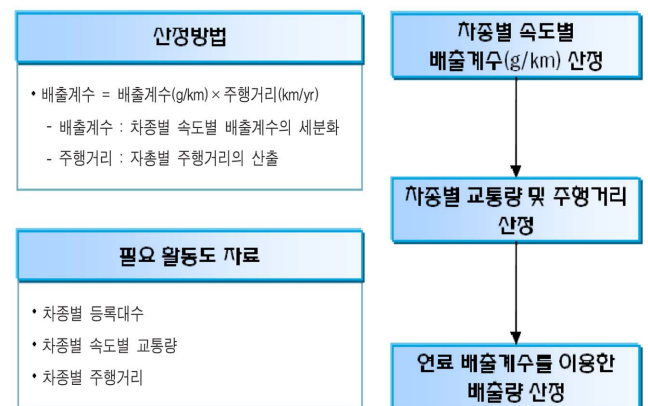


그림 1. Tier 3 방법을 활용한 CO₂ 배출량 산출 과정

2) <http://www.issrc.org/ive/>

3) <http://www.icleiusa.org/cacp>

4) 제4회 공공부문 혁신대회 자료 (2002년) 중 부천시 버스정보 시스템 구축 부문 참조

표 1. 차종별 · 속도별 배출계수

구분		배출계수 (g/km)
승용차	자가	$1391.5 \times V^{(-0.5632)}$
	택시	$1377 \times V^{(-0.5475)}$
승합	소형 (디젤)	$1389 \times V^{(-0.544)}$ (단, $V \leq 30$) $0.0502 \times V^2 - 6.2772 \times V + 363.18$ (단, $30 < V \leq 100$)
	중형	$0.1251 \times V^2 - 15.385 \times V + 646.05$
	대형	시내 ≤ 50 km/h $2426.4 \times V^{(-0.3604)}$
화물차	소형 (디젤)	$1577.5 \times V^{(-0.5621)}$ (단, $V \leq 35$) $0.0462 \times V^2 - 5.6452 \times V + 352.31$ (단, $35 < V \leq 100$)
	중형	$0.1029 \times V^2 - 14.937 \times V + 798.9$
	대형	$7710.2 \times V^{(-0.3898)}$

주: 교통시설 투자평가지침 개정안 2009, 국토해양부

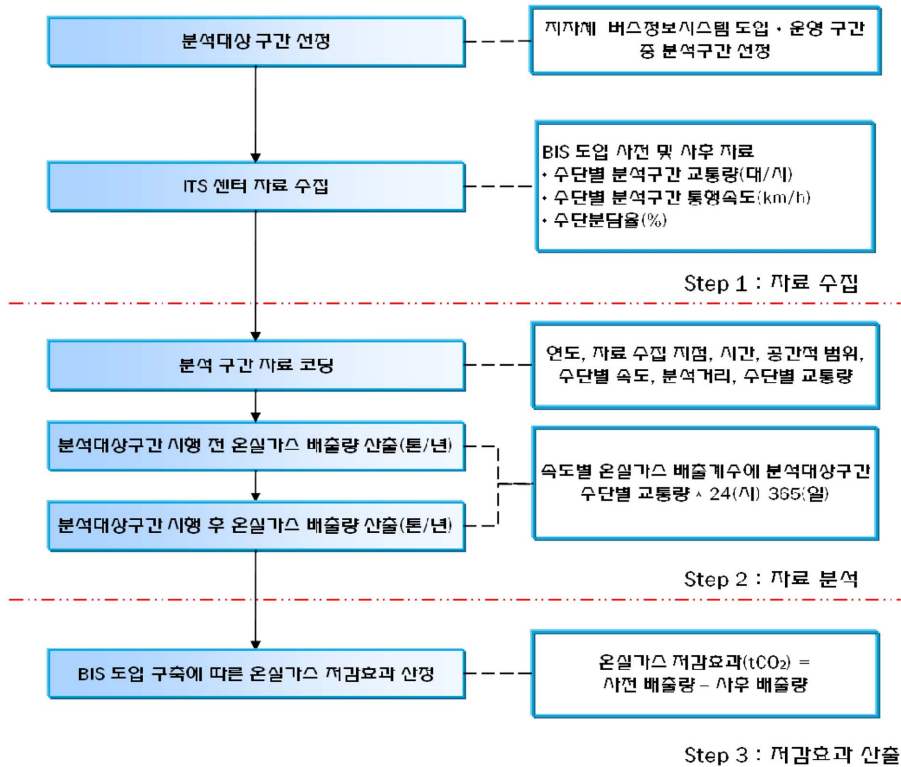


그림 2. BIS 시행에 따른 CO₂ 저감효과 산출 절차

분하였다. 1단계에서는 필요한 자료를 수집하며, 2단계에서는 수집된 자료를 분석하며, 3단계에서는 저감효과를 산출하게 된다.

3.2.2.1 자료수집

자료수집 단계에서는 BIS의 분석구간을 설정하고 관련 자료를 수집한다. BIS 시행 여부에 따른 CO₂ 저감효과를 산출하기 위해 필요한 자료는 수단별 교통량, 수단별 통행속도 및 수단별 분담률 등이 포함된다. 또한 도시부의 경우 교차로마다 유입 및 유출되는 교통량이 다르기 때문에, 저감효과를 분석하기 위해서는 분석구간을 세분화하는 것이 필요하다. 즉 분석구간은 교차로에서 유출 및 유입되는 교통량을 검지할 수 있도록 가능한 최소의 구간으로 세분화시킨다. 그림 3은 세분화된 분석구간에서 분석에 필요한 자료의 수집

방안을 제시한 것이다.

승용차, 트럭, 택시 등의 통행속도는 분석하고자 하는 구간에 설치된 지점 검지기 자료를 활용할 수 있다. 즉, 분석구간에 설치된 지점 검지기로부터 수집되는 속도의 시간 평균속도(식 (4) 참조)를 활용하게 된다. 버스의 경우 BMS(Bus Management System)에서 수집되는 버스 정류장 별 통행시간과 운행거리 정보를 활용하여 구간평균속도를 산출할 수 있다(식 (5) 참조). 교통량은 방향 별 분석구간에 유입되는 교차로 교통량을 반영할 수 있으며, 유입구간에 영상검지기를 설치하여 차종 별 교통량을 수집할 수 있다.

$$V_C = \frac{1}{n} \sum_i^n V_i \quad (4)$$

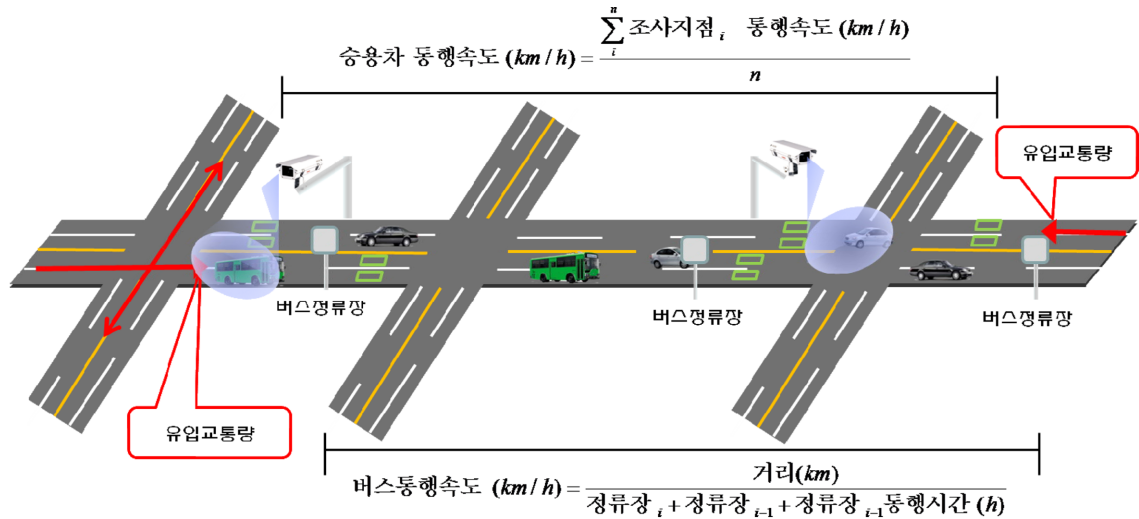


그림 3. CO₂ 배출량 산출을 위한 자료 수집 방안

이 식에서, V_C = 승용차의 세부분석구간 동행속도(km/h)
 V_i = 승용차의 조사지점 i 에서의 동행속도(km/h)
 i = 세부 분석구간 중 대전시 S 센터에 수집되는 검지기 지점
 n = 세부 분석구간에 포함되는 검지기 수

$$V_B = D_d \frac{1}{\sum_i tt_{ij}} \quad (5)$$

이 식에서, V_B = 버스동행속도 동행속도(km/h)
 D_d = 세부 분석구간 거리(km)
 tt_{ij} = 정류장 i 에서 j 까지의 통행시간(h)
 i = 세부 분석구간 정류장 지점
 j = 세부 분석구간 $i+1$ 번째 정류장 지점
 n = 세부 분석구간 정류장 수

3.2.2.2 자료분석

분석구간별로 수집된 자료는 연도, 수집 지점, 시간 및 공간적 범위, 교통수단별 속도, 수집구간 거리, 수단 별 교통량으로 정리한다. 사업 시행 여부에 따른 저감효과를 분석하기 위해서는 시행 전·후에 대한 자료를 활용해야 한다. 수집지점은 교통량이 수집된 지점으로 제시하며, 시간은 30분, 1시간, 혹은 2시간 단위로, 분석하고자 하는 시간적 범위를 설정하여 집계한다. 공간적 범위에 대한 세부 분석구간의 시점과 종점 및 방향에 대한 내용을 정리한다.

분석구간에 대한 BIS 시행 전·후의 CO₂ 배출량 산출은 다음의 4가지 단계에 의해 진행된다.

첫째, 수단별 속도 배출계수를 산출한다. 교통량은 차종별로 분류하여 CO₂ 배출량을 추정해야 한다. Tier 3 방법은 차종별, 속도별 다른 배출계수를 활용하기 때문에, 차량과 연료는 유형별 분류가 필요하다. 본 연구에서는 연료는 휘발유, 경유, 가스로 분류하였으며, 차량은 표 2에 제시된 대로 분류하여 배출계수 산출공식을 적용한다.

둘째, 연간 CO₂ 배출량을 산출하기 위해서는 시간 또는

일일 자료를 연간으로 환산해야 한다. CO₂ 배출량을 지속적으로 모니터링을 한다면 산출된 배출량을 합하여 연간 배출량을 산출할 수 있으나, 이러한 모니터링이 지속적으로 가능하기 위해서는 많은 장비와 노력이 요구된다. 따라서 제한적인 자료를 수집하여 이를 연간 자료로 환산하는 방법을 택하는 것이 일반적이다. 교통량의 경우 연간 교통량을 산출하기 위해서는 시간별 교통량을 일 교통량으로 환산하고 다시 연간 교통량으로 환산해야 한다. 그러나 시간대별 교통량은 다르게 분포되기 때문에, ‘교통시설 투자평가지침(2009)’에 제시된 바와 같이, 첨두 시간과 비첨두 시간대루 구분하여 일교통량을 추정할 수 있다. 즉, 1일 중 첨두 시간을 10시간으로, 비첨두 시간을 9시간으로 설정하여 일교통량을 총 19시간으로 적용하여 환산하는 것이다.

셋째, 분석구간의 연간 CO₂ 배출량을 산출한다. 연간 교통량(대년)으로 환산 후 식 (6)을 활용하여 세부 분석구간별 연간 CO₂ 배출량을 산출한다. 여기에서 산출되는 배출량은 일방향별 배출량이기 때문에 양방향을 합하여 CO₂ 배출량을 산출한다. 세부분석구간별 연간 차종별, 속도별 배출계수가 산출되면 세부분석구간별 거리와 곱하여 주행거리에 따른 연간 CO₂ 배출량을 산출할 수 있다. 세부분석구간별 CO₂ 배출량이 산출되면 분석구간별 CO₂ 배출량을 합하게 된다.

연간 CO₂ 배출량(ton/yr)

$$= \frac{\text{교통량(대년)} \times \text{배출계수(g/km)} \times \text{세부분석구간별}(1,2,3,\dots,n)\text{거리(km)}}{1,000,000} \quad (6)$$

넷째, BIS 사업 시행 전·후의 CO₂ 저감 효과를 산출한다. 즉, BIS사업에 시행 전과 후의 CO₂ 배출량 산출되면 BIS 시행 여부에 따른 CO₂ 저감효과는 시행 전 CO₂ 배출량과 시행 후 CO₂ 배출량의 편차로 계산된다.

4. BIS 도입·운영에 따른 CO₂ 저감 효과 분석

4.1 자료 수집

본 연구에서는 BIS사업에 대한 CO₂ 저감 효과를 분석하

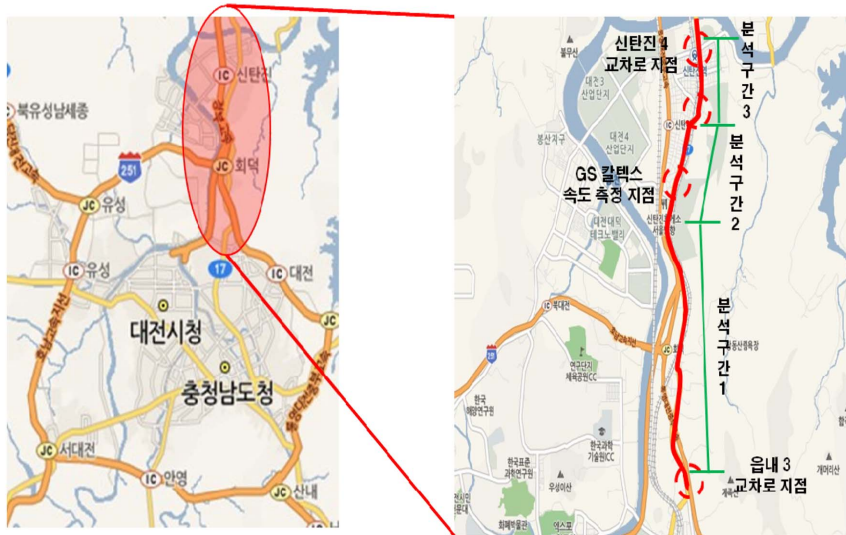


그림 4. 대전-청주간 광역 BIS 구간 중 대전광역시 분석구간 설정

표 2. 분석구간 자료기공

대전광역시 광역 BIS 사업 분석 대상구간												
연도	수집지점	시간	공간적 범위			속도(km/h)		거리(km)	차종별 교통량(대/시)			
			시점	종점	방향	버스	승용차		승용차	택시	...	대형버스
2005	외동주공아파트	13:00	읍내3	GS칼텍스앞	상행	50.2	62.2	6.05	1146	64	...	18
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
2007	외동주공아파트	13:00	읍내3	GS칼텍스앞	상행	34	25	0.86	890	110	...	10
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

기 위하여 대전-청주축 광역 BIS 사업을 분석대상 구간으로 선정하였다⁵⁾. 이 사업은 2005년 12월에 착공하여, 2006년 8월에 준공되어 운영중에 있다. 이 사업은 일민국도 17호선 축에서 발생하는 광역교통문제를 해결하기 위하여 기존의 시내버스에 ITS를 접목시킨 BIS사업이다. CO₂ 저감효과 분석을 위하여 시행 전 시점과 시행 후 시점의 CO₂ 배출량을 산출 및 비교하였다. 즉, BIS 시행 전인 2005년 자료와 시행 후인 2007년 자료를 활용하였다. 공간적인 범위로는 대전광역시내에서 구축 및 운영되고 있는 일부 구간을 선정하였으며, 그림 4는 선정된 구간에 나타낸다. 이 그림에 제시된 바와 같이 1지점(읍내 3지점~GS칼텍스 앞: 6.05km), 2지점(GS 칼텍스 앞~신탄진 IC 앞: 0.85km), 3지점(신탄진 IC 앞~신탄진 교차로: 1.4km)으로 분류하였으며, 분석구간의 총 거리는 8.3km에 이른다. BIS 사업 전·후에 대한 버스 운행속도 자료의 수집을 위해 대전시 ITS 센터에서 수집된 704번 노선 버스의 평균속도(km/h)를 활용하였다. 또한, 본 연구에서는 대전시에서 현장조사를 통해 구축한 차종별 교통량 자료를 활용하였다⁶⁾. 차종별 교통량은 10월과 11월 사이에 현장 조사를 시행한 자료를 활용하였으며, 시간대는 첨두 시간(17:00~19:00)과 비첨두 시간(13:00~15:00)로 구분하였다.

4.2 자료 분석

4.2.1 자료기공

표 2는 분석에 사용된 자료를 나타낸 것이다. 즉, 연도, 자료수집 지점, 시간, 공간적 범위(구간), 수단별 속도, 구간의 거리, 수단 별 교통량으로 정리하였다. 연도는 시행 전 시점인 2005년과 시행 후 시점인 2007년으로 구분하였으며, 수집지점은 교통량이 수집된 지점으로 정리하였으며, 자료는 1시간 단위로 집계하여 활용하였다. 공간적 범위로는 분석구간의 시점과 종점 및 방향에 대한 내용을 정리하였다. 또한, 수집된 승용차 및 버스의 속도 자료를 활용하였으며, 택시의 속도는 승용차와 동일한 속도로 가정하였다. 또한, 교통량은 교차로 지점에서 유입되는 교통량을 반영하였으며, 교통량 조사 지점을 기준으로 분석구간을 세분화하였다.

4.2.2 분석구간 CO₂ 저감효과

제시된 분석 절차에 따라 분석구간의 BIS 사업 시행 전·후에 대한 CO₂ 배출량을 산출하였다. 우선 표 2를 참조하여 차종별, 속도별 배출계수를 산출하였다. BIS사업으로 인한 CO₂ 저감효과는 승용차 이용자들의 버스로의 수단전환에 의한 것으로 가정하였다. 따라서 트럭에 대한 부분은 분석에

5) BIS 시스템 구축으로 인한 CO₂ 저감효과는 승용차를 이용하는 이용객들이 버스대중교통으로 수단전환이 되면서 발생한다. 이러한 수단전환은 버스대중교통으로의 수단전환 뿐만 아니라 지하철의 편리성이 크다면 지하철 대중교통으로의 수단전환이 발생할 것이다. 따라서 BIS 시행에 대한 CO₂ 저감효과를 산정하기 위하여 지하철로 인해 발생하는 수단전환이 최소화되는 구간을 선정하여 대표 분석을 수행하였다.

6) 대전광역시 교통조사 및 분석보고서 시행 전(2005년), 시행 후(2007년)에 제시된 분석구간의 교통량을 활용하였음.

서 제외하였다. 또한, 현장조사에서 수집된 침두 2시간(17:00~19:00) 교통량과 비침두 2시간(13:00~15:00) 교통량을 일 교통량으로 환산하기 위하여 '교통시설 투자평가지침(2009)'에 제시된 방법을 활용하였으며, 이를 다시 연간 교통량으로 환산하였다. 추정 결과, 분석구간(8.3km)에 대한 시행 전 연간 CO₂ 배출량은 27,879tCO₂로 나타났으며, 시행 후 연간 CO₂ 배출량은 27,552tCO₂로 나타났다. 결론적으로 대전-청주 축 광역 BIS 중 분석구간에서는 연간 약 327tCO₂의 CO₂ 저감효과가 발생한 것으로 나타났으며, 이를 원단위 개념으로 환산하면 km당 39.45tCO₂가 저감되는 것으로 정리된다.

5. 결론 및 향후 과제

본 연구는 BIS 사업 운영으로 인한 CO₂ 저감효과를 분석하기 위하여, IPCC에서 제시한 Tier 3 방법과 ITS 교통정보 수집 시스템을 통해 수집된 실제 교통류 자료를 활용하여 CO₂ 배출량 산출방법을 제시하였다. 제시된 방법론은 대전-청주축 광역 BIS 시행 구간 중 8.3km 구간에 대하여 적용하였으며, 그 결과 연간 단위거리(km) 당 39.45tCO₂가 저감되는 것으로 나타났다. 이러한 CO₂ 저감효과 분석은 거시적인 교통지표(자동차 등록대수, 차종별 연료소비량)를 활용하는 Tier 1 및 Tier 2 방법과는 달리 구체적인 교통류 자료를 활용하여 보다 정확한 CO₂ 저감효과를 산출할 수 있다는데 의의가 있다.

이러한 방법을 기반으로 전국에서 운영중인 BIS 사업으로 인한 CO₂ 저감효과를 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 현재 BIS는 정시성, 신속성, 서비스 개선 등으로 인하여 서울을 비롯하여 전국적으로 구축이 확장되고 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 방법을 활용하여 전국에 운영중인 BIS 사업으로 인한 CO₂ 배출량 추정이 가능하며, 그 결과 국가 전체적인 저감효과를 추정할 수 있다. 그러나, 일부 BIS 사업의 경우 교통량, 속도 등을 측정할 수 있는 ITS 기술이 보급되지 않아 CO₂ 배출량을 산출하기 위한 기반자료의 구축에 제약이 따를 수 있다. 이러한 경우 CO₂ 배출량 추정을 위해 지역별 특성(인구규모, 교통패턴 등) 등을 고려하여 유사한 지역별 특성을 가지는 타 지역의 원단위 배출량을 참조하여 전국 단위 CO₂ 저감효과 산출에 보완적으로 활용

할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계점이 존재하기 때문에 향후 이러한 한계점을 보완할 필요가 있다. 첫째, CO₂ 저감 효과에 미치는 여러 상황들을 고려해야 한다. 즉, BIS와 BMS를 포함한 버스기반 ITS 요소 기술의 운영, 버스 중앙차로 운영, 무료 환승혜택, 버스노선개선, 유류비 증감 변화, 수단 분담율 등의 수준에 따라 모든 지역의 CO₂가 다르게 산출된다. 따라서, 보다 현실적인 CO₂ 배출계수를 적용하는 것이 필요하다. 특히, 지하철과 같이 다른 대중교통 수단이 운행되는 지역의 경우, 타 대중교통수단으로 인한 승용차 이용자의 수단전환과 버스와 타 대중교통수단 간의 수단전환 효과 등을 고려한 CO₂ 저감효과 분석이 요구된다.

참고문헌

- 광주광역시(2002) 시내버스도착안내시스템 시범노선 운영평가 보고서, 광주광역시.
- 국토해양부(2009) 교통시설 투자평가지침 개정안, 국토해양부.
- 김기동, 이태정, 김동술, 조진식, 구윤서(2009) 배출방법에 따른 경기지역 도로수송부문 온실가스 배출량 산정 비교, 한국대기환경학회 2009년 추계학술대회, 한국대기환경학회.
- 유영숙, 석광설, 임재현, 이수빈, 이성호, 이지애, 이설아, 홍유덕(2009) Tier 3 방법론에 의한 도로이동원 온실가스 배출량 산정 연구, 한국대기환경학회 추계학술대회, 한국대기환경학회.
- 최상진, 김호정, 홍영실, 장영기(2003) Tier 2-3 수준의 수송부문 온실가스 배출량 추정(2000), 한국대기환경학회 2003년도 추계학술대회, 한국대기환경학회.
- Castro, C. F. C. d., Strambi, O. (2010) Assessing the net effect on emissions of the implementation of a BRT system in São Paulo, Brazil: a case study and some hypothetical scenarios, *Transportation Research Board 89th Annual Meeting* Transportation Research Board, Washington, DC.
- Farzaneh, M., Schneider, W., Zietsman, J. (2010) Field Evaluation of Carbon Dioxide Emissions at High Speeds', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2191, pp. 152-157.
- Grütter (2006) 'BRT Bogota, Colombia: TransMilenio Phase II-IV', *Project Design Document Form(CDM PDD)*, grütter consulting.
- IPCC (2006) '2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories', Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

(접수일: 2011.3.3/심사일: 2011.4.13/심사완료일: 2011.4.13)