

전기차 보급전망에 따른 고속도로 온실가스 저감효과 분석

이진각^{1*} · 한동희² · 오창권¹ · 정철기¹ · 오관교³

¹ (주)로드코리아 교통사업본부, ² 한국도로공사 도로교통연구원, ³ 서울대학교 환경대학원

Expressway Greenhouse Gas Reduction Effect Analysis According to the Electric Vehicle Supply

LEE, Jin Kak^{1*} · HAN, Dong Hee² · OH, Chang Kwon¹ · JUNG, Chul Ki¹ · OH, Kwan Kyo³

¹ Department of Transportation, RoadKorea Inc., Gyeonggi 446-982, Korea

² Transportation Research Division, Korea Expressway Corporation, Gyeonggi 445-812, Korea

³ Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

Abstract

This Study analyzed the electric car effect on the Korea Expressway System in terms of year 2020 CO₂ emission. The analysis was based on the green car dissemination goal by the government and year 2010 emission statistics. Major contents performed in the study area were as follows. First, the greenhouse gases emitted from the highways were found to be approximately 17.3 million tons of CO₂ as of 2010. Analysis showed the emission would be 17.4 million tons in 2015 and 16.2 million tons in 2020. The results in the pattern reflect the effect of O/D on the KTBD and the trend of traffic increase from 2015 to 2020 followed by decrease in 2020. Second, in the case of greenhouse gas emission with the anticipated supply of electric cars, the amount of emission in 2015 will be 17.1 million tons, which is about 2.0% reduction compared to the lack of introduction of electric cars. The analysis also showed that in 2020, the amount of emission will be 14.2 million tons, which indicates the effect of reduction is 12.8% compared to non implementation of the program.

본 연구에서는 현재 대두되고 있는 온실가스 저감에 초점을 맞추어 고속도로상에 배출되고 있는 CO₂에 대해 정부정책 목표를 기준에 따른 전기차 보급전망과 2010년 기준 배출 현황을 토대로 장래 분석(2020년)을 하였다. 연구에서 수행한 주요 내용은 다음과 같다. 첫째, 고속도로에서 배출하는 온실가스의 경우 2010년 기준으로 약 17.3백만톤의 CO₂ 배출량이 발생하는 것으로 나타났으며, 이후 2015년 17.4백만톤, 2020년 16.2백만톤으로 분석되었다. 이러한 패턴의 결과는 KTDB 상의 O/D의 영향과 교통량 변화가 2015년 이후 2020년까지 증가하다가 2020년부터 감소하는 추세가 반영된 결과이다. 둘째, 전기차 보급전망에 따라 배출될 온실가스의 경우에는 2015년은 17.1백만톤으로 미시행(전기차 반영없음) 대비 약 2.0%의 저감효과가 발생하는 것으로 분석되었으며, 2020년에는 14.2백만톤으로 미시행 대비 약 12.8% 저감효과가 분석된 것을 알 수 있었다.

Key Words

CO₂, Electric Vehicle, Emme 3, Greenhouse Gas, Traffic Demand Forecasting
이산화탄소, 전기차, Emme 3, 온실가스, 교통수요예측

* : Corresponding Author
leejinkak@naver.com, Phone : +82-31-378-4851, Fax : +82-31-378-4854

Received 30 November 2012, Accepted 23 July 2013

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

현재 전 세계적으로 지구온난화 및 환경문제에 대한 의식들이 변화됨에 따라 온실가스 감축을 위한 여러 노력들이 이루어지고 있다. 교통시스템과 운영에 있어서도 보다 지속가능하고 친환경적인 정책들이 구축되고 진행되고 있는 실정이다.

우리나라의 경우, 저탄소 녹색성장이라는 기조와 국가 정책을 달성하기 위해 온실가스 감축 목표치를 정하고, 각 분야별 부문별 목표치도 세계적인 추세에 발맞추고자 노력하고 있다. 최근 국가 온실가스 통계관리 위원회는 “온실가스종합정보센터(이하 센터)”가 검증한 '09년 국가 온실가스 통계를 확정·발표(2011. 11. 22)하였다.

여기에서 '09년 온실가스 총배출량은 607.6백만톤 CO₂eq로 낮은 경제성장(GDP 0.3% 성장)에도 불구하고 전년 대비 약 0.9% 증가하였고, 분야별로는 에너지(84.9%)의 배출량이 가장 많고, 산업공정(9.3%), 농업(3.3%), 폐기물(2.5%) 순¹⁾이었다.

고속도로를 포함한 수송 분야는 이 중 에너지 분야에 포함되어 있는데, '09년 에너지 분야 총배출량은 516.0백만톤, 전년대비 1.3% 증가하였고, 부문별 배출비중은 에너지산업(발전)이 44.3%로 가장 높았으며, 그 다음으로는 제조 및 건설업 27.3%, 수송 16.0%, 기타 11.2%, 탈루성 배출 1.2% 순으로 나타났다(수송 부분의 배출량은 전년 대비 1.0% 증가).

이러한 온실가스(GHG : Greenhouse Gas) 증가에 대한 원인에는 날로 지속적으로 증가하고 있는 자동차 배기가스 중 이산화탄소(CO₂)가 주요한 원인인 것으로 알려져 있다.

이에 전반적인 대책의 일환으로 정부에서는 2010년

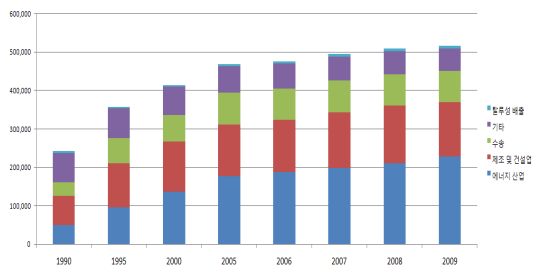


Figure 1. Greenhouse gas emission(thousand ton)

1) 이 중 온실가스별로는 CO₂(89%), CH₄(4.6%), SF₆(3.1%), N₂O(2.1%), HFCs(1.0%), PFCs(0.4%)

12월 6일 정부차원의 그린카 발전 로드맵 등을 발표하고, 향후 전기차를 포함한 그린카 산업을 크게 육성하려는 노력들을 보이고 있다.

따라서 본 연구에서는 고속도로의 온실가스 배출량 중 이산화탄소만을 대상(Tier 3 방식 선정)으로 하여 기준년도를 비롯, 향후 목표연도에 따라 예상 배출량을 산정하고, 향후 전기차가 보급될 것을 가정한 시나리오를 바탕으로 고속도로에 미치는 온실가스(이산화탄소) 저감 효과가 어떻게 변화되는지 분석하고자 한다.

2. 연구의 범위

본 연구의 시간적 범위는 기준년도는 2010년으로 하고, 목표연도는 2020년으로 하되, (2010-2020년) 현황 자료 및 기타 국외 자료의 경우에는 가장 최신 업데이트된 내용을 수록하도록 한다.

- 기준년도 : 2010년
- 중간목표년도 : 2015년
- 최종목표년도 : 2020년

최종목표년도를 2020년으로 한 이유는 국가차원에서 온실가스 배출량에 대한 목표치 설정이 2020년이기 때문이다.

아울러, 공간적 범위는 현재 한국도로공사가 관리, 운영하는 고속도로를 대상(폐쇄식 구간, 개방식 구간 구분하여 분석)으로 하였으며 총 31개 노선, 세부구간 441개로 선정하였다.

그러나 장래 예측의 경우에는 폐쇄식 구간의 TCS자료를 활용하였는데, 이는 개방식 구간의 Emme/3 모형의 O/D 구축의 한계점으로 인함이다.

3. 연구의 방법

본 연구의 방법은 크게 4가지로 구분할 수 있으며, 이는 첫째 고속도로 온실가스 배출량을 산출하기 위하여 산정 방법론을 살펴보고 그에 맞는 배출량 산정 방법을 선정하였다.

둘째로, 고속도로 온실가스 배출량을 산정하기 위해 필요한 배출계수를 속도, 차종 등을 고려하여 본 연구에 맞게 적용하였다.

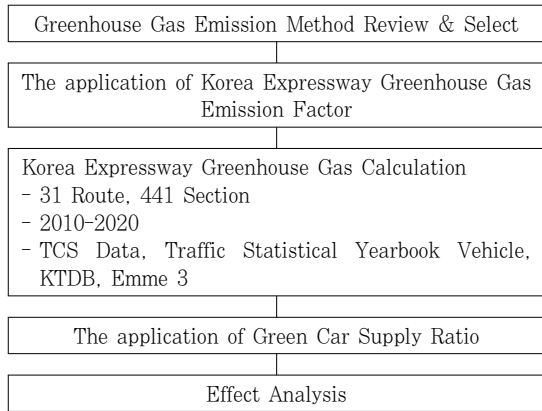


Figure 2. Study process

셋째로, 한국도로공사 관리구간의 활동자료(통계연보, 속도 자료 등)등을 토대로 2010년 기준 배출량 산정과 더불어 향후 장래의 온실가스 배출량을 산정하였다.

마지막으로, 정부정책의 그린카 보급전망을 통하여 고속도로 온실가스 배출량을 산출하고, 미시행시(그린카 보급 없음)와의 비교 분석을 통해 그 효과가 어느정도인지 분석하였다.

II. 본론

1. 고속도로 온실가스 배출량 산정

1) 온실가스 배출량 산정 방법 검토

고속도로 온실가스 배출량이란 한국도로공사에서 관리하는 고속도로를 이용하는 차량으로 발생된 온실가스를 의미하며, 이에 대해 배출량 산정을 위해서는 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

- 온실가스 배출량 산정방법 검토
- 배출량 산정을 위한 기초 데이터 구축(노선별, 구간별, 차종별 교통량, 속도, 구간 거리 등)
- 기존 여러 문헌에서 제시된 속도에 따른 배출계수식 중 고속도로에 적합한 최적의 배출계수식 선정 등

현재, 온실가스 배출량을 산정하기 위한 방법은 전세계적으로 공통적으로 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 가이드라인에서 제시한 것을 사용하고 있다(Table 1 참조).

Tier 1과 Tier 2의 경우에는 유류사용량을 고려하여 배출계수를 적용하도록 되어 있는데, Tier 1은 IPCC 배출계수를, Tier 2는 국내 배출계수를 적용하고 있다.

Table 1. IPCC guideline emission equation

| Method | Emission Equation |
|--------|--|
| Tier 1 | $Emissions = \sum (Fuel_a \times EF_a)$ <p> <i>Emissions</i> : CO₂ Emission (kg) <i>Fuel_a</i> : Fuel a Consumption (TJ), <i>EF_a</i> : Emission Factor(kg/TJ) <i>a</i> : Fuel Type(Ex : Gasoline, Diesel, LPG) </p> |
| Tier 2 | $Emissions = \sum (Fuel_{a,b,c} \times EF_{a,b,c})$ <p> <i>Emissions</i> : CO₂ Emission (kg) <i>Fuel_{a,b,c}</i> : Fuel a, b, c Consumption (TJ) <i>EF_{a,b,c}</i> : Emission Factor(kg/TJ) <i>a</i> : Fuel Type(Ex : Gasoline, Diesel, LPG), <i>b</i> : Vehicle Type <i>c</i> : Emission Control Technic </p> |

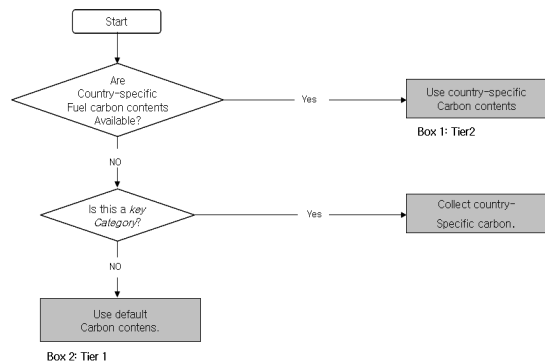


Figure 3. IPCC guideline emission method(tier 1, tier 2)

이러한 Tier 1과 Tier 2와 같은 방법은 국가단위의 온실가스 총량을 산정하는 측면에서는 자료의 명확성을 기하기 위해서 자동차에 의해 소비된 유류사용량을 사용하여, 단단위의 공간에서 자동차에 의해 배출되는 온실가스를 산정하는데 적합한 방법으로 판단된다.

만약 유류사용량의 자료를 활용하기 어려운 경우와 도로교통부문의 온실가스 배출량과 같이 주행속도와 따라 개별 도로구간의 교통특성에 큰 영향을 받는 경우에는 링크중심 또는 선적인 네트워크측면에서의 온실가스를 산정하는 별도의 방식이 필요하다

이러한 경우, 사용할 수 있는 방식이 주행조건으로 추정하는 Tier 3방식이 있을 수 있는데, 이는 특정 도로 구간에서의 교통량과 주행속도, 차종별 배출계수를 통해 온실가스를 계산하는 방법론(Tier 3)이 본 연구의 목적 즉, 교통요인에 따른 온실가스 변화 및 감축효과를 분석하는데 적합하다고 판단하였다.

IPCC에서는 도로부문의 온실가스 산정시 Tier 3 방법론을 별도로 정의하고 있지 않다. 이는 자동차에 의한

이산화탄소 배출량이 차량의 종류, 속도, 감가속, 도로경사 등 다양한 용인에 의해 크게 영향을 받으므로 이를 단일한 모형으로 정의하기 어렵기 때문에 판단된다.

따라서, 국외에서는 도로, 차량 조건에 따른 온실가스를 위해 MOVES 또는 CMEM 모형 등에 대한 다양한 모형을 구축하고 이를 이용하여 온실가스 분석에 활용하고 있는 실정이다.

국내에서도 도로시설투자지침, 예비타당성 지침 등에 차량의 속도와 국립환경과학원에서 도출한 차종에 따른 배출계수를 활용하여 국가 도로사업의 환경편익을 산정하는데 사용하도록 정하고 있다.

이에 본 연구에서는 Tier 3의 온실가스 산정방법론을 국내 지침에서 활용하는 방법론으로 활용하였으며, 이는 IPCC에서 규정한 방법론은 아니나 특정 도로구간의 교통특성을 반영한 온실가스 방법론으로 충분히 활용가능할 것으로 판단하였다.

이는 Tier 3의 방식이 차종별 연료별 교통량을 고려할 수 있을 뿐 아니라 차량의 주행거리를 고려할 수 있는데, 고속도로와 같은 연속류 상황에서는 IC-IC, IC-JC, JC-JC 등 구간별 교통상황(차종별 교통량, 평균 주행속도, 주행거리 등)이 크게 변화하지 않는 상황에서 Tier 3 방식이 제일 적합한 추정식(모형)이 될 수 있다.

또한 본 연구에서는 자동차 연비기술 개선에 따른 온실가스 배출량을 분석하는데 있어 특정도로구간의 교통특성(교통량, 차종, 주행속도 등)을 반영하기 위하여 Tier3 방법론을 적용하였으며, 도로구간에 따른 차량활동도 수준(VKT)과 차종별 배출계수를 산정하여 기준년도와 장래 년도에 대한 배출량을 산정하였다.

다만, 활동자료 중 고속도로 이용차량은 예열 중 배출량과 배출제어기술은 없다고 가정하였다.

2) 고속도로 온실가스 배출량 방식(Tier 3 방식)

고속도로 온실가스 배출량 방식은 Tier 3방법론을 준용하되, 본 연구의 목적과 특성에 맞추어 식(1)을 구성하여 연구를 수행하였다.

$$\text{Emission} = \Sigma(A*B*C) \tag{1}$$

여기서,

A : 차종별 연료별 교통량(대)

B : 거리 (km), 구간별 거리

C : 차종별 연료별 속도에 따른 배출계수(g/대-km)

고속도로 온실가스 배출량 산출방법에 사용된 Tier 3방식은 아래와 같이 크게 3가지의 변수와 기초데이터가 필요하다.

(1) 노선별 구간별 차종별 교통량(A)

온실가스 배출량 산출에 필요한 교통량은 기준년도와 장래 목표연도의 예측이 필요하므로, Emme/3 모형에서 산출된 구간별 교통량을 토대로 다시 시간대(4개 시나리오 구성 : 07-09시, 09-18시, 18-20시, 20-07시, 첨두, 비첨두시 반영)별 교통량을 기초로 하였다.

이러한 시간대별 교통량 구분은 각 시간대(첨두시, 비첨두시, 심야시간대)별로 교통상황(예 : 통행속도, 차종별 교통량의 비율)에 따라 탄소 배출량의 변화가 다르게 나타날 수 있음을 고려한 것이다.

이에 시간대별 교통량은 한국도로공사에서 수집된 TCS 데이터를 기준으로 구분하여 구분하였으며, 개방식 구간의 경우에는 차량의 기종점 데이터(O/D)를 확인할 수 있는 방법이 없으므로, 도로교통량 통계연보를 활용하였으며, 장래 예측의 경우에는 기존 문헌의 "KOTI(2008) 고속도로 통행요금제도 및 법령에 관한 개선방안 모색을 위한 교통수요분석 연구" 등을 토대로 장래 변화율을 고려한 교통량 자료를 적용하였다.

(2) 거리(B)

도로 교통량 통계연보(2010년)에서 제시하고 있는 고속도로 구간별(IC-IC, IC-JC, JC-JC)거리를 적용하였다.

(3) 배출계수(C) : 속도

배출계수는 국립환경과학원에서 제시한 2009년 차종별 연료별 배출계수를 적용하였다.

이를 위해, Table 2와 같이 차종별 배출계수 적용방법을 표시하였다.

또한 이를 위해 적용한 속도는 구간별 시간대별 속도를 적용하였고, 개방식의 경우 통계연보 속도를 활용하였다.

3) Emme/3 모형을 활용한 배출량 산정방법

(1) 네트워크 및 O/D 구성

Emme/3 모형을 활용하기 위해서 네트워크의 경우, KTDB 전국권 자료 활용하였으며, 본 연구 특성에 맞추어 고속도로 네트워크만을 활용하였다.

또한 O/D데이터는 한국도로공사에서 구축되어 있는 TCS 자료의 5일치 자료를 일 평균하여 활용하였다(2010년 평일 자료).

Table 2. Vehicle emission factor & application

| Vehicle Type | | Classification | | Statistical Yearbook Vehicle ratio(%) | CO ₂ Emission Factor Calculation Formula ²⁾ | |
|--------------|--------------------|----------------|------|---------------------------------------|---|--|
| | | Vehicle axes | Unit | | | |
| 1 | Cars Mini Truck | 2 | 1 | 69.08 | Car-Midsize-Gasoline | 65.4Km/h or less $y = 1555.5x^{-0.578}$ |
| | | | | | | 65.4Km/h or higher $y = 0.0797x + 144.19$ |
| 2 | Bus | 2 | 1 | 3.44 | Bus-Diesel | 65.4Km/h or less $y = 2676.7x^{-0.3344}$ |
| | | | | | | |
| 3 | Small Cargo A | 2 | 1 | 10.29 | Cargo-Small-Diesel | 65.4Km/h or less $y = 1135.2x^{-0.4668}$ |
| | | | | | | |
| 4 | Small Cargo B | 2 | 1 | 7.61 | Cargo-Mid-Diesel | $y = 0.1029x^2 - 14.937x + 798.9$ |
| 5 | Medium Cargo A | 3 | 1 | 3.36 | Cargo-Large- Diesel | $y = 6240.3x^{-0.3829}$ x : Speed(km/h) |
| 6 | Medium Cargo B | 4 | 1 | 1.78 | | |
| 7 | Medium Cargo C | 5 | 1 | 1.75 | | |
| 8 | Large Cargo A | 4 | 2 | 0.49 | | |
| 9 | Large Cargo B | 4 | 2 | 0.04 | | |
| 10 | Large Cargo C | 5 | 2 | 1.72 | | |
| 11 | Large Cargo D | 5 | 2 | 0.09 | | |
| 12 | Large Cargo E | 6 | 2 | 0.36 | | |

(2) 네트워크 및 O/D 수정

KTDB의 전국권 자료에는 네트워크를 구성하는 존 센트로이드가 행정구역 기반으로 되어있다.

이에 고속도로 네트워크를 기반으로 연구를 수행하기 위해서는 KTDB 상에 기재된 존의 위치를 TCS 영업소 위치로 수정해야 한다. 이에 존 센트로이드를 TCS영업소(IC 등)로 이동하여 수정 설정하였다.

O/D의 경우에도 네트워크 교통량 정산을 위해 기 수집된 TCS 5일 자료를 1일 평균 O/D로 변환하였다. 또한 링크 통행특성을 최대한 반영하기 위하여 평일 O/D 중 랜덤하게 선정하여 분석을 시행하였다(2010년 9월 29일, 10월 6일, 27일, 11월 3일, 10일(5일)).

아울러, TCS에서 제공된 O/D자료를 4개의 시간대로 구분하여 분석을 하였다.

4) 고속도로 온실가스 배출량 산정결과

(1) 교통량 정산결과

각 구간별 교통량 및 배출량 산정을 위해 고속도로의 동서축과 남북축 대표구간을 선정하고, 주요 JC를 중심으로 전국권 60개 지점을 선정하여 교통량 정산을 수행

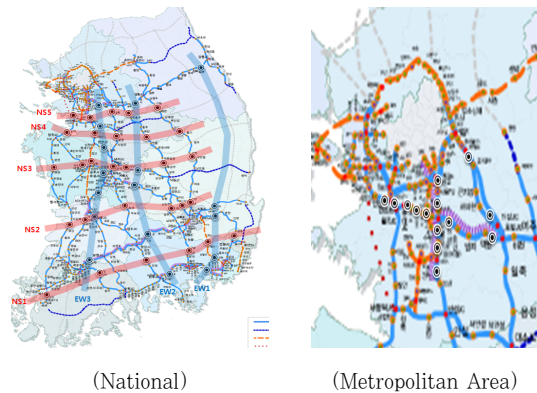


Figure 4. Traffic volume calibration spot

하였다.

교통량 정산을 수행한 결과, 수도권은 ±15%, 전국권은 ±30%내외로 비교적 현실을 잘 반영하고 있다는 결과를 얻게 되었다(전체 노선의 경우에는 -4.3%의 오차를 보임).

(2) 노선별 온실가스 배출량 산출결과

고속도로 온실가스 배출량을 산정한 결과 2010년 기

2) Hong J. H., Kang E. I., Lee T. W., Lee D. M., Lee S. E., Moon J. H. et al. (2009). Establishment of Climate Change Responding System for Transportation Sector(II) -Development of Bottom-up type GHGs Emission Factor for Vehicles-, 64-65.

Table 3. Calibration result

| No. | Section | Length (km) | Traffic counts | Assigned traffic | Error (%) |
|-----|----------------------|-------------|----------------|------------------|-----------|
| 1 | HampyeongJC-Muan | 1 | 24,194 | 27,261 | 12.7 |
| 2 | Gokseong-SeokGok | 6 | 27,670 | 29,167 | 5.4 |
| 3 | Sancheong-Danseong | 4 | 20,003 | 20,637 | 3.2 |
| 4 | Changnyeung-Youngsan | 9 | 41,688 | 41,551 | -0.3 |
| 5 | Cheongdo-Milyang | 5 | 30,888 | 28,918 | -6.4 |
| 6 | Gyeongju-EonyangJC | 10 | 48,749 | 43,129 | -11.5 |
| 7 | SeoGimjea-Buan | 3 | 20,091 | 17,100 | -14.9 |
| - | | | | | |
| 55 | AnsanJC-DunnaeJC | 3 | 160,720 | 128,463 | -20.1 |
| 56 | DonggunpoJC-Bugok | 2 | 156,094 | 114,442 | -26.7 |
| 57 | Buksuwon-Dongsuwon | 4 | 175,713 | 150,488 | -14.4 |
| 58 | Dongsuwon-SimgalJC | 3 | 161,078 | 134,649 | -16.4 |
| 59 | SimgalJC-Masung | 4 | 125,190 | 123,670 | -1.2 |
| 60 | Deokpyeong-HobeobJC | 5 | 83,263 | 66,517 | -20.1 |
| Sum | | | 4,295,154 | 4,109,452 | -4.3 |

Table 4. Greenhouse gas emission result(expressway)

| Route | Volume (v/day) | CO ₂ Emmission (tCO ₂) | Ratio (%) |
|---------------------------|----------------|---|-----------|
| Total | 25,437,579 | 17,323,342 | 100.0 |
| Gyeongbu routes | 4,084,925 | 3,728,045 | 21.5 |
| Yeodong routes | 2,683,974 | 1,722,754 | 9.9 |
| Seohaean routes | 2,041,475 | 1,592,399 | 9.2 |
| Jungbunaeryuk routes | 868,173 | 1,421,068 | 8.2 |
| Jungbu routes | 1,689,661 | 1,379,294 | 8.0 |
| Namhae routes | 1,762,033 | 1,232,232 | 7.1 |
| Seoulolgwak routes | 4,562,523 | 1,218,130 | 7.0 |
| Honam routes | 1,199,574 | 816,047 | 4.7 |
| Jungang routes | 692,550 | 707,835 | 4.1 |
| Dangiinsangu routes | 467,485 | 553,020 | 3.2 |
| Pyeongtaekjacheon routes | 412,151 | 325,767 | 1.9 |
| 88 routes | 330,498 | 271,927 | 1.6 |
| Gyeongin routes | 865,966 | 233,296 | 1.3 |
| Iksanpohang routes | 171,140 | 218,951 | 1.3 |
| Second Gyeongin routes | 815,849 | 208,140 | 1.2 |
| Second Jungbu routes | 66,399 | 206,286 | 1.2 |
| Honamjiseon | 301,204 | 198,224 | 1.1 |
| Seoulchuncheon Route | 490,832 | 189,313 | 1.1 |
| Namhae2jiseon | 332,375 | 183,555 | 1.1 |
| Donghae routes | 251,484 | 181,440 | 1.0 |
| Jungbunaeryuk routes | 396,517 | 174,488 | 1.0 |
| Suncheonwanju routes | 69,609 | 107,295 | 0.6 |
| Ulsan routes | 90,930 | 82,891 | 0.5 |
| Jungangjiseon | 263,951 | 80,566 | 0.5 |
| Namhae1jiseon | 165,690 | 70,504 | 0.4 |
| Gochangdamyang routes | 63,215 | 57,370 | 0.3 |
| Seocheongongju routes | 41,138 | 55,964 | 0.3 |
| Pyeongtaekhwaseong routes | 94,905 | 42,150 | 0.2 |
| Daejeonnambu routes | 98,043 | 41,021 | 0.2 |
| Je2sunhwan routes | 56,261 | 21,858 | 0.1 |
| Osanhwaseong routes | 7,049 | 1,512 | 0.0 |

준 총 17,323,342톤/년이 산출되었으며, 노선별로 살펴보면 경부선이 배출량 1위로 전체 배출량의 21.5%를 차지하였으며, 이후 영동선, 서해안선, 중부내륙선 순으로 나타났다(폐쇄식 구간 + 개방식 구간).

2. 전기차 보급전망에 따른 온실가스 배출량 산출

1) 전기차 보급전망 및 수요예측 방법론

(1) 전기차 보급전망

2011.09 기획재정부 등 정부합동계획이 발표한 전기차를 포함한 그린카 로드맵의 보급비율을 적용하였다 (Table 8 참조).

(2) 수요 예측 전제

본 연구에서 고속도로 그린카 통행수요를 예측하기 위해서는 몇 가지 가정이 필요하다. 이는 전체 차량등록대수와 향후 신차 판매 등과의 연계를 통한 장래 목표연도의 차량등록대수를 우선적으로 산출하고, 그에 따른 그린카 보급 전망을 함께 고려해야 하기 때문이다.

아울러 고속도로상에서 통행패턴 역시 기존 승용차(그린카 보급을 승용차로 제한)와 유사한 패턴을 따른다는 전제가 필요한 사항이다. 이에 고속도로 그린카 통행수요를 예측하기 위한 몇 가지 가정을 하면 아래와 같다.

- 전국 자동차 등록대수의 증가량과 고속도로 통행량의 장래 증가량은 일정한 비율로 증가할 것임
- 그린카의 고속도로 통행량은 기존과 유사한 통행패턴을 따를 것임(O/D 분포 비율 활용)
- 그린카 보급대수는 정부의 정책 목표치(전망치)를 기준으로 함
- 고속도로 차종별 구성 중 그린카의 차종은 승용차로 제한함

(3) 그린카 수요예측 방법론

전기차를 포함하여 2015년 2020년 고속도로의 이용차량의 대수를 예측하기 위한 방법론은 식(2)을 활용하였다.

이 수식은 전국 총 차량대수 중 목표연도에 고속도로를 이용할 것이라 판단되는 통행량 비율을 구하고, 그 중에서 전기차의 경우 승용차라고 가정한 수식이다.

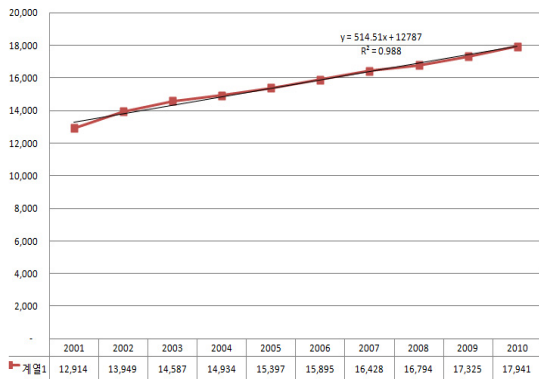


Figure 5. Vehicle registration trend

$$GV_{(E, P, H, F)i} = TV_i * HVR_i * HVPR_i * GVR_{(E, P, H, F)i} \quad (2)$$

여기서,

$GV_{(E, P, H, F)i}$: i 년도의 고속도로 그린카 이용대수(대)

TV_i : i 년도의 전국 총 차량등록대수(대)

HVR_i : i 년도의 고속도로 통행량 비율(%)

$HVPR_i$: i 년도의 고속도로 통행량 중 승용차 비율(%)

$GVR_{(E, P, H, F)i}$: i 년도의 그린카(E : Electric Car, P : Plug-in Hybrid Car, H : Hybrid Car, F : Fuel Cell Car) 전망치에 따른 보급 비율(%)

● 자동차 등록대수 전망(2015년, 2020년)

그린카 수요예측을 위해 우선 전국의 자동차 등록대수를 구해야 한다. 지난 10년간의 자동차 등록대수 추이를 살펴보면, 전국 자동차 등록대수는 꾸준히 증가하고 있는 것으로 파악되었으며, 시계열 분석결과 연간 약 514.51천대씩 증가하는 것으로 분석되었다.

이에 장래 목표연도인 2015년에는 2010년에 비해 약 2,572천대 증가한 약 20,000천대가 될 것으로 예상되며, 2020년에는 5,145천대 증가한 약 23,000천대가 될 것으로 분석되었다.

Table 6. Expressway vehicle type ratio

| Division | '06 | | '07 | | '08 | | '09 | | '10 | |
|---------------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
| | AADT | Ratio (%) | AADT | Ratio (%) | AADT | Ratio (%) | AADT | Ratio (%) | AADT | Ratio (%) |
| Passenger Car | 28,883 | 64.7 | 28,016 | 65.1 | 27,400 | 65.6 | 27,669 | 67.1 | 28,928 | 66.5 |
| Bus | 2,028 | 4.5 | 1,913 | 4.4 | 1,945 | 4.7 | 1,719 | 4.2 | 1,814 | 4.2 |
| Truck | 13,750 | 30.8 | 13,131 | 30.5 | 12,400 | 29.7 | 11,853 | 28.7 | 12,733 | 29.3 |
| Sum | 44,661 | 100 | 43,060 | 100 | 41,745 | 100 | 41,241 | 100 | 43,475 | 100 |

Table 5. Expressway use vehicle (unit : thousand, %)

| | '06 | '07 | '08 | '09 | '10 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Vehicle Registration | 15,895 | 16,428 | 16,794 | 17,325 | 17,941 |
| Expressway use Vehicle | 4,667 | 4,983 | 5,081 | 5,239 | 5,776 |
| % | 29% | 30% | 30% | 30% | 32% |

* Note: Korea Expressway Corporation Internal Data

본 연구에서 2015년에는 총 차량대수 : 20,000천대, 2020년에는 총 차량대수 23,000천대로 가정하였다.

● 고속도로 이용차량 비율 산출

각 노선별로 고속도로를 이용하는 차량의 총 대수를 파악해 보면 Table 1과 같으며, 2006년 이후 2010년까지 약 5년간 꾸준히 증가하는 것으로 나타났으며, 지난 5년간의 전국 차량등록대수와 비교하여 이용차량 대수 비율을 살펴보면 29-32%가 이용한 것으로 분석되었다.

이에 본 연구에서는 장래 고속도로 이용차량의 비율이 지난 5년간의 비율과 동일하게 유지될 것으로 가정하였다(본 연구에서는 0.3의 비율 적용).

● 고속도로 차종별 구성비율

2010년 도로교통량 통계연보상에서 제시하고 있는 고속도로 일평균교통량(AADT)의 차종별 구성을 살펴보면, 총계는 2006년부터 2009년까지 감소하다가 다시 2010년부터 증가하는 추세인 것으로 나타났다. 또한 차종별로 살펴보면 승용차의 비율이 2010년 기준 66.5%로 대부분을 차지하고 있으며, 화물차가 29.3%, 버스가 4.2%로 나타났다.

기타 다른 년도에서도 승용차의 비율은 약 65% 내외로 분석되었다.

이에 본 연구에서는 향후 그린카가 보급되어 고속도로를 통행하게 될 경우, 이러한 차종구성이 그대로 유지될 것으로 가정하였으며, 승용차의 비율이 대부분 그린카로 전환 될 것을 전제로 하였다(본 연구에서는 2010년 기준 0.665 적용).

Table 7. Ratio for highway use vehicle forecasting

| Year | Vehicle Registration | Highway use ratio | Highway use ratio only cars | Highway use vehicles (General Car) |
|------|----------------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 2015 | 20,000,000 | 0.3 | 0.665 | 3,990,000 |
| 2020 | 23,000,000 | 0.3 | 0.665 | 4,589,000 |

Table 8. EV forecasting result

| Division | 2015 | | |
|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| | Dissemination goals | Green car type ratio | Expressway use vehicles |
| Electric car | 85,700 | 6.1% | 25,700 |
| Plugin Hybrid car | 44,000 | 3.2% | 13,200 |
| Hybrid car | 151,500 | 10.9% | 45,500 |
| FeulCell car | 10,100 | 0.7% | 3,000 |
| Clean Diesel | 1,104,200 | 79.1% | 331,300 |
| General car | | | 3,571,400 |
| Sum | | 100% | 3,990,000 |
| Vehicle Type | 2020 | | |
| | Dissemination goals | Green car type ratio | Expressway use vehicles |
| Electric car | 1,046,200 | 28.6% | 313,900 |
| Plugin Hybrid car | 248,000 | 6.8% | 74,400 |
| Hybrid car | 405,005 | 11.1% | 121,700 |
| FeulCell car | 98,800 | 2.7% | 29,600 |
| Clean Diesel | 1,853,500 | 50.8% | 556,100 |
| General car | | | 3,493,400 |
| Sum | 4,589,000 | 100% | 4,589,000 |

* Note: Green car dissemination goals(Ministry of strategy and finance, 2011.09)

● 그린카(전기차 포함) 보급 비율

2011.09 기획재정부 등 정부합동계획이 발표한 전기차를 포함한 그린카 로드맵에서는 Table 8과 같이 전기차, 플러그인 하이브리드, 하이브리드, 연료전지, 클린디젤차로 구분하여 보급비율을 제시하였다.

이중 본 연구에서 분석하고자 하는 전기차의 보급비율을 살펴보면, 2015년에는 전체 그린카 보급 비율 중 약 6.1%에 해당하는 것으로 나타났으며, 2020년에는 28.6% 수준을 나타내는 것으로 분석되었다.

이에 2015년에 고속도로를 이용하게 될 예상 전기차 수요는 약 25,700대로 나타났으며, 2020년에는 313,900대로 나타났다.

(4) Emme 3모형 적용을 위한 전기차 거리제약 반영

● 거리제약 및 통행비율 고려

장래 O/D 중 승용차(TCS 1종) 중 전기차(EV)에 대한 신규 O/D를 산출함에 있어, 영업소간 통행비율과 영업소간 거리를 고려하여 고속도로 통행비율을 적용하였다.



Figure 6. O/D table modification considering EV distance

현재, 시장에 상용화된 전기차의 1회 충전 시 한계이동거리는 약 160km로 고려되고 있으나, 운전자의 충전 습관 및 차량 안전을 고려하게 될 경우 고속도로를 이용하는 전기차의 실제적인 이동거리는 100km를 넘지 않을 것으로 예상된다. 때문에 장래 O/D 중 전기차에 대한 신규 O/D를 산출함에 있어 영업소간 거리에 대한 제약은 둬으로써 전기차의 실제적인 이동 이동행태를 반영할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 반경 100km를 고속도로를 이용하는 전기차의 한계이동거리로 가정하였으며, 영업소 간 거리가 100km 이내의 승용차통행이 전기차 통행으로 전환되는 것으로 설정하였다.

이에 본 연구에서 적용한 한국도로공사의 100km 이내의 영업소 매트릭스는 19,690개로 전체의 약 50%수준이다(351개 영업소 테이블 중 100km 이내 영업소 추출).

● 분석방법

분석방법의 경우에는 아래와 같이 4단계 모형을 일부 수정하여 사용하였다.

- 통행발생 : 승용차 비율 중 EV 비율 (보급비율 고려) 적용
- 통행분포 : TCS 존간 통행분포를 따른다고 가정
- 수단선택 : 기존 TCS 1종에서 승용차와 EV 분리 (통행발생에서 고려)
- 통행배정 : EMME/3 모형식에서 산출된 링크 교통량 준용

2) 전기차 반영에 따른 온실가스 배출량 결과

(1) 장래 교통량 증가율 선정

장래의 전기차 반영에 따른 온실가스 배출량을 산정하기 위한 선결과정으로써, 일반차량의 장래 교통량을 먼저 예측하여야 한다.

이에 본 연구에서는 고속도로의 통행특성을 반영하기 위하여 기존의 연구문헌의 “고속도로 통행요금제도 및

법령에 관한 개선방안 모색을 위한 교통수요분석 연구, 2008. 한국교통연구원”의 분석결과를 준용하였다.

분석결과 기준연도인 2010년에 비하여 2016년 19.3%, 2021년(11.5%)의 교통량 증가된다는 결론이 도출되었으며, 통행수요를 예측하기 위한 분석은 아래와 같이 시계열 분석을 통해 추정된 결과이다.

○ 추정모형

$$\ln y_t = \beta_0 + \beta_1 \ln exhya_t + \beta_2 \ln gdp_t + \beta_3 \ln cnc_t + \beta_4 \ln rwag_t + \beta_5 \ln rlti_t + \beta_6 \ln exraa_t + u_t$$

여기서,

- y : 월별 고속도로 이용대수(대)
- exhya : 월별 고속도로 차로환산 연장(km)
- gdp : 계절조정을 감안한 월별 실질 국내총생산(십억원)
- cnc : 월별 자동차 대수 증가량(대)
- rwag : 월별 실질가중평균 유류가격(원/리터)
- rtli : 월별 실질 통행요금 계수
- exraa : 월별 유효철도연장(km)
- ln : 자연로그
- u : 교란항
- t : 시간

이 선형함수는 로그선형함수로 고속도로 통행량 예측을 한 것으로 월별 차로환산 고속도로 연장은 월별 고속도로 연장을 차로 감안하고, 월별 GDP는 한국은행의 산업생산지수 이용하였으며, 월별 자동차 대수 증가량은 통계청의 자료 이용, 유류가격 및 통행요금, 상대적인 철도연장 고려된 것이다.

2010년의 고속도로망을 기준(신규노선 제외)으로 2016년 및 2021년 고속도로 통행량의 증가율을 분석한 결과 2010년 통행량 대비 2015년에는 19.3%, 2020년에는 11.5% 증가하는 것으로 분석되었다.

(2) 장래 교통량 및 배출량 산정 결과

장래 교통량 및 배출량을 Emme/3 모형을 통해 산정해 본 결과(폐쇄식 구간만 적용), 교통량은 2010년에 비해 2015년에는 18.76%, 2020년에는 11.19%가 증가하였으며, 이산화탄소 배출량 산정결과 2010년 대비 2015년에 19.91% 증가, 2020년에는 11.74% 증가하는 것으로 산출되었다.

Table 9. Result summary

| 구분 | Traffic Volume(a thousand count/day) | | |
|-------------|--------------------------------------|--------|--------|
| | 2010 | 2015 | 2020 |
| Sum | 16,348 | 19,415 | 18,178 |
| Origin | 8,022 | 9,519 | 8,919 |
| Destination | 8,326 | 9,896 | 9,258 |
| Ratio | | 18.76% | 11.19% |

| 구분 | Emission(tCO ₂ /year) | | |
|-------------|----------------------------------|--------|--------|
| | 2010 | 2015 | 2020 |
| Sum | 14,550 | 17,448 | 16,259 |
| Origin | 7,146 | 8,541 | 7,982 |
| Destination | 7,404 | 8,906 | 8,277 |
| Ratio | | 19.91% | 11.74% |

Table 10. Greenhouse gas emission result(with EV)

| Category | non-Implementation Emission(tCO ₂ /year) | Implementation Emission(tCO ₂ /year) | Reduction (%) |
|----------|---|---|---------------|
| 2015 | 17,462,530 | 17,120,339 | -2.0 |
| 2020 | 16,273,842 | 14,193,520 | -12.8 |

전기차 통행 유무에 따른 장래의 고속도로 온실가스 배출량 분석결과는 다음과 같이 2015년 2%, 2020년 12.8%의 온실가스 배출량 저감효과를 가져오는 것으로 분석되었다.

III. 결론

1. 결과 요약

본 연구에서는 현재 대두되고 있는 온실가스 저감에 초점을 맞추어 고속도로상에 배출되고 있는 CO₂에 대해 Emme 3 모형을 활용(전기차 보급전망과 더불어 장래 분석을 위해 활용)하여 분석하였다.

분석결과, 현재 2010년 기준으로는 약 17.3백만톤의 CO₂ 배출량이 고속도로에서 발생하는 것으로 나타났으며, 이후 전기차 보급전망을 반영하지 않은 결과로는 2015년 17.4백만톤, 2020년 16.2백만톤으로 분석되었다.

이러한 패턴의 결과는 KTDB 상의 O/D의 영향과 교통량 변화가 2015년 이후 2020년까지 증가하다가 2020년부터 감소하는 추세가 반영된 결과이다.

아울러 전기차 보급전망에 따라 배출된 온실가스의 경우에는 2015년은 17.1백만톤으로 미시행(전기차 반영없음) 대비 약 2.0%의 저감효과가 발생하는 것으로 분석되었으며, 2020년에는 14.2백만톤으로 미시행 대비 약 12.8% 저감효과가 분석된 것을 알 수 있었다.

향후 지속적으로 친환경 자동차(그린카 포함)들이 점차 도로교통 분야에서 이슈가 될 뿐 아니라 정부 정책적인 차원에서 그린카의 시장확대와 증가추세로 전환될 것 등을 감안한다면 본 연구에서 지향하고자 하는 온실가스 저감효과 분석에는 어느 정도 의미있는 결과가 도출되었다고 판단된다.

2. 본 연구의 한계점 및 향후 연구과제

1) 본 연구의 한계점

아직 국내외적으로 전기차의 보급이 활성화되어 있지 않은 외부적인 상황과 더불어, 이에 대한 연구에 대한 내용이 부족한 현실이다.

이에 본 논문에서 다루었던 가정들에 대한 철저한 검증을 하지 못한 한계점을 지니고 있다. 특히, 전기차의 고속도로 통행패턴의 경우 기존 승용차와 유사한 패턴을 따른다는 것과 고속도로 차종 구성비가 그대로 유지될 것이라는 가정들이 그 예가 될 수 있다고 할 수 있겠다.

이에 본 연구에서는 현재 유추할 수 있는 사실과 근거를 과거 통계자료(과거 차종별 교통량 추이, 고속도로 이용차량 구성비의 변화율 등)와 정부정책에 의거한 목표치 등을 통해 최대한 논리적으로 전제 및 가정을 하고자 하였다.

그러나 본 논문의 세부적인 분석내용 및 가정 내용은 향후 지속적인 연구가 필요하다고 판단되며 이를 통해 세부적인 검증과 내용보완이 수행해야 할 것으로 보인다.

2) 향후 연구과제

본 연구에서는 장래 분석을 위해 Emme 3모형과 고속도로 TCS 기반의 자료를 활용하였으나, 개방식의 경우에는 통계연보 자료에 의존한 한계가 있다.(특히, 장래 예측치를 산출할 때는 O/D추정에 대한 어려움)

이에 고속도로 전반에 대한 효과분석을 위해서는 기종점간 데이터 처리에 있어서 개방식 구간에 대한 자료 구축이 필요할 것으로 보인다.

특히, 도로의 경우 링크와 같이 축별로 구성되어 있을 뿐만 아니라 각 구간별 특성이 상이하게 나타나므로, 각 구간을 대표할 수 있는 데이터 취득이 필요할 것으로 보인다.

또한, 차종별 배출계수 적용식에 대해서도 일반적인 실험환경 구축이 아닌 현실적이고, 각 도로특성과 등급

에 맞춘 계수식이 개발되어야 할 것으로 보이며, 차종별 구성에 있어서도 교통특성에 맞춘 적용방식 검토가 면밀히 이루어져야 할 것이다.

아울러, 전기차에 국한되어 연구가 진행된 측면이 있으므로, 향후 전기차의 전력생산단계에서의 배출량과 함께 그린카 전반에 대한 보급전망과 그린카의 연비 및 속도에 따른 배출계수에 대한 선행 연구 등이 있어야 할 것으로 보인다.

REFERENCES

- Greenhouse Gas Inventory and Reserch Center of Kores (2011), (<http://www.gir.go.kr/>), 2009 national greenhouse gas emissions.
- Hensher D. A. (2008), Climate change, enhanced greenhouse gas emissions and passenger transport What can we do to make a difference, Transportation Research D, 13(2), 95-111.
- Hong J. H., Kang E. I., Lee T. W., Lee D. M., Lee S. E., Moon J. H. et al. (2009), Establishment of Climate Change Responding System for Transportation Sector(II) -Development of Bottom-up type GHGs Emission Factor for Vehicles-, 64-65.
- Investigate the car's greenhouse gas emissions(National Institute of Environmental Research (2001).
- KDI (2008), Improvement Study on the expressway toll system, and laws and regulations, 62-101.
- KOTI (2008), Highway traffic plan research also sought for the Improvement and ordinances on traffic demand analysis, 21-67.
- Lee D. M., You J. B., Yeon J. Y. (2009), Development of New Highway Paradigms to Embody Green Growth, Future Society Cooperative Research Series, 09-06-29, 81-95.
- Lutsey N., Sperling D. (2009), Greenhouse gas mitigation supply curve for the United States for transport versus other sectors, Transportation Research D, 14(3), 222-229.
- Ministry of strategy and finance (2011), Green Car Roadmap.
- National Institute of Environmental Research (2008), Development of Greenhouse Gas Inventory and

Emission Factors, 26-37.

Park J. Y., Lee J. H., Lee C. W. (2009), Proactive Transport Strategy for Low Carbon and Green Growth of Korea, Future Society Cooperative Research Series, 09-06-25, 84-87.

Shifan Y., Kaplan S., Hakkert S. (2003), Scenario building as a tool for planning a sustainable transportation system, Transportation Research D, 8(5), 323-342.

Transportation Facility Investment Evaluation Guidelines (2009), Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs 25-36.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제67회 학술발표회(2012. 10.20)에서 발표된 내용을 수정 · 보완하여 작성된 것입니다.

☞ 주 작성자 : 이진각

☞ 교신저자 : 이진각

☞ 논문투고일 : 2012. 11. 30

☞ 논문심사일 : 2013. 1. 11 (1차)

2013. 4. 24 (2차)

2013. 6. 17 (3차)

2013. 7. 23 (4차)

☞ 심사판정일 : 2013. 7. 23

☞ 반론접수기한 : 2014. 2. 28

☞ 3인 익명 심사필

☞ 1인 abstract 교정필