

지속가능 도로 구현을 위한 녹색도로기술 투자평가시스템



백종대

한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원
jdbaik@kict.re.kr

1. 서론

전 세계적으로 지구온난화와 기후변화의 원인으로 지목되는 이산화탄소 등의 온실가스 배출을 저감하기 위하여 다각적인 노력을 기울이고 있다. 에너지 사용은 온실가스 배출과 직접적으로 연관되어 있기 때문에 에너지의 효율적 사용을 위한 노력도 병행되고 있다.

우리나라의 경우 2011년 기준으로 온실가스 총배출량은 약 698백만 톤 CO₂eq.이며, 이 중 에너지 분야의 온실가스 배출량이 85.7%를 차지하고 있다[1]. 따라서, 한국 정부에서도 온실가스 감축목표를 세우고 '온실가스/에너지 목표 관리제'를 2011년부터 시행하고 있다. 이 제도는 특정 배출량/소비량 이상의 기업을 "관리업체"로 지정하여 각 기업에게 절약 목표를 부여하고 체계적으로 관리하는 제도로서 관리 대상 업체의 범위를 점차적으로 넓힐 예정이다.

이렇듯 에너지 위기와 기후변화에 대응하고자 하는 세계적인 추세 속에서 도로 분야에서도 친환경적인 또는 지속가능한 녹색도로로의 전환 요구가 증대되고 있다. 따라서 도로의 건설 및 유지관리와 운영 등 전 생애주기 동안의 에너지 사용 절감과 탄소배출량 저감을 위한 대책을 수립하여 시행하는 것이 필요하다.

실제로 도로 건설, 유지관리, 운영 과정에서 대규모의 에너지와 자원이 투입되고 그에 따라 많은 양의 탄소가 배출되고 있지만 그 값을 정량화하기는 쉽지 않았다. 또한 에너지 사용 절감과 탄소배출량 저감을 위한 대책으로 제안되고 있는 녹색도로기술(친환경 도로기술)의 개발효과와 적

용효과를 평가할 수 있는 적절한 방법이 없었다. 이에 본 연구에서는 도로 전 생애 주기(시공, 유지보수, 운영) 동안의 에너지 사용량과 탄소배출량을 산정하는 방법론을 개발하였고, 이를 바탕으로 녹색 도로 기술의 개발 가능성 및 적용 효과를 평가하는 기능을 개발하였다. 또한, 이러한 기능을 사용할 수 있도록 서비스를 제공하는 웹기반 프로그램인 녹색도로기술 투자평가 시스템(G-TIES, Green highway Technology Investment Evaluation Systems)을 개발하였다.

2. 관련 연구 동향

기존의 도로와 환경에 관련한 연구에서는 차량운행에 따른 에너지와 탄소배출이 주로 평가되어 왔다. 그러나 도로 건설 공사 과정과 도로 시설물의 유지 관리와 운영 부분을 모두 포함하여 에너지와 탄소배출 저감 대책을 수립하고 시행하는 것이 바람직하다는 의견이 제기되었다.

국외에서는 이미 이와 같은 필요성을 인식하여 관련 프로그램이 개발되어 사용되고 있다. 유럽의 ECRDP프로젝트에서 개발한 JouleSAVE가 대표적인 사례이다[2]. 이 프로그램은 도로 노선 설계안에 따라 도로 건설 전 과정에서의 에너지 소비량과 도로를 운행하는 차량의 에너지 소비량을 산정한다. 이 프로그램은 설계 소프트웨어 패키지에 통합되어 도로의 노선을 설계할 때 노선 대안별로 총 에너지 소비량을 산정하여 비교할 수 있도록 개발되었다.

미국 FHWA에서 개발한 INVEST(Infrastructure

Voluntary Evaluation Sustainability Tool)는 각 주의 교통국, 대도시 계획 위원회, 지역 교통국 등이 도로사업의 지속가능성을 평가하고 개선할 때 도로의 지속가능성 요소에 따라 점수를 부여하여 개략적으로 평가할 수 있도록 지원하는 웹 형식의 평가도구이다.

세계은행에서는 ROADEO(Road Emissions Optimization)[4]를, 세계도로 연합(International Road Federation, IRF)에서는 CHANGER(Calculator for Harmonised Assessment and Normalisation of GHG emissions for Road)[5]라는 소프트웨어를 개발하였다. 두 프로그램 모두 도로의 건설시 사용되는 자재의 물량과 건설장비 사용으로 인한 연료사용량을 입력하여 탄소배출량을 산정하는 방식이다. 다만, 자재의 물량을 ROADEO는 부피단위(m³)로 CHANGER에서는 무게단위(ton)로 입력을 하는 차이가 있다.

우리나라 국토교통부에서는 “시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인”[6]에 건설부문 탄소배출량 산정 방법을 제시하였다. 그러나 자동 산출 프로그램이 없기 때문에 도로 건설공사에 사용되는 자재별 물량을 설계 내역서에서 일일이 확인하고 자재별로 탄소배출 계수를 찾아 물량과 곱하여 합산하는 일을 수동으로 해야 하는 단점이 있다.

우리나라 도로 설계서의 경우 자재 물량을 자재의 종류에 따라 길이, 부피, 무게, 규격 등으로 다양하게 기재하기 때문에 다른 단위를 사용하는 외국의 자동 산정 프로그램을 사용하여 탄소배출량을 산정하기도 쉽지 않다. 따라서 우리나라 도로 설계 현실을 반영한 탄소배출량 및 에너지 사용량 산정 프로그램의 개발이 필요하다.

3. G-TIES의 개발

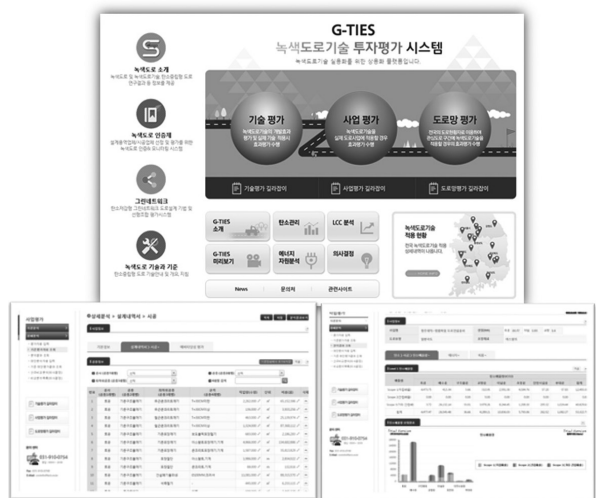
3.1 시스템 개요

녹색도로기술 투자평가 시스템(G-TIES)은 ‘녹색도로기술을 개발하는 개발자’ 또는 ‘녹색도로기술의 도로 적용을 검토하는 정책결정자(공무원, 설계사 등)’를 주 사용자로 하여 개발하였다. 이 시스템을 개발하기 위하여 기존에 건설된 도로의 공사 내역서와 유지보수 통계자료 및 도로 운영 자료를 수집하고 분석하여 도로의 종류별, 생애주기별 에너지 사용량과 탄소배출량 인벤토리를 구축하였다. 이

를 토대로 도로의 계획과 설계시 해당도로 전 생애주기의 에너지 소모량과 탄소배출량을 예측하고, 저감 대책을 평가해 볼 수 있는 기능을 개발하였다.

G-TIES의 기능은 사용 목적에 따라 ‘기술평가(Technology evaluation)’, ‘사업 평가(Road project evaluation)’, ‘도로망 평가(Road network evaluation)’로 분류된다. 각 평가 기능에서는 다음과 같은 기능을 수행할 수 있도록 개발되었다.

- 기술평가 : 기술개발자가 녹색도로기술 개발 계획을 평가하여 기술 개발 여부를 결정할 수 있도록 판단자료를 제공하는 ‘기술개발 효과평가(Develop plan evaluation)’와 개발이 완료된 녹색도로기술을 기존 기술과 비교하여 적용효과를 분석하는 ‘기술적용 효과평가(Implement plan evaluation)’ 기능이다.
- 사업평가 : 도로건설사업의 기본적인 정보의 입력만으로 도로건설에 따른 에너지 소모량과 탄소배출량을 분석할 수 있는 ‘기본 분석(Simple analysis)’ 기능과 상세한 값을 얻고자 하는 사용자를 위하여 도로설계 상세내역을 입력하여 분석하는 ‘상세분석(Complex analysis)’으로 개발되었다.
- 도로망평가 : 보다 범위를 넓혀 단위 노선이나 관리대상 구역 내의 도로를 대상으로 탄소배출량과 에너지 사용량을 산정하고 저감 대안을 비교하는 기능이다.



〈그림 1〉 녹색도로기술투자평가시스템(G-TIES) 실행 화면 예

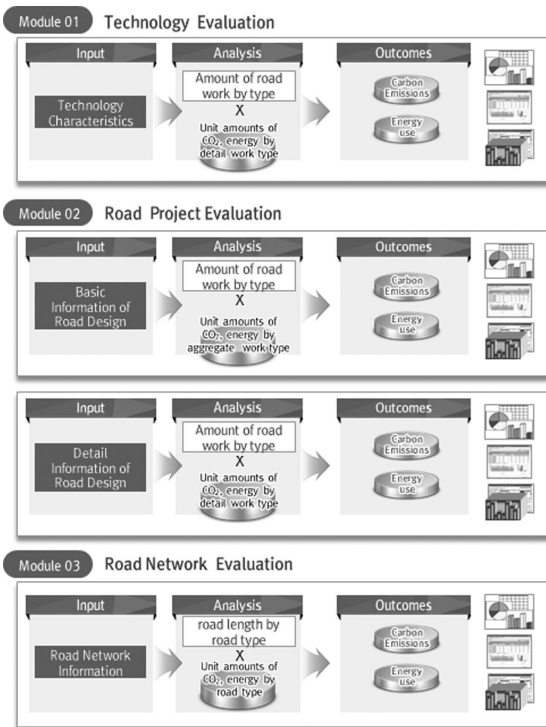
G-TIES는 다양한 이용자가 동시에 사용할 수 있도록 웹기반 프로그램으로 개발되었다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 웹사이트의 메인 화면에서 각 평가 기능을 선택하여 사용할 수 있도록 하였고, 필요한 입력 자료의 종류와 구조를 테이블 구조로 제공하여 자료 입력의 편의성을 갖추었다. 또한, 다양한 분석결과를 편하게 이동하면서 볼 수 있는 탭 형식으로 구성하고 표와 그래프의 형태로 분석결과를 표출하도록 개발되었다.

3.2 탄소배출량, 에너지사용량 산정 모듈

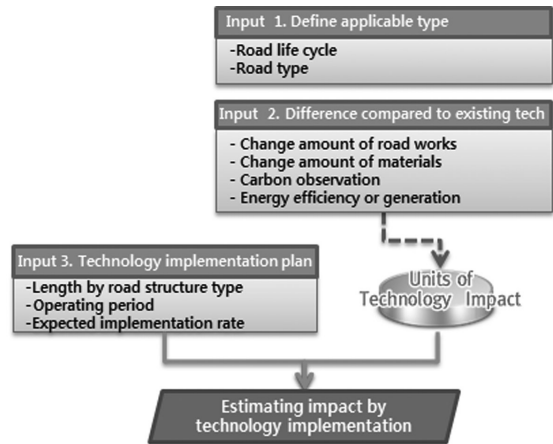
탄소배출량, 에너지사용량 산정 모듈은 <그림 2>에서 보는 바와 같이 사용자가 분석 목적에 따라 해당 자료를 입력하면 시스템에서 관련된 인벤토리를 활용하여 분석을 한 후 분석결과인 탄소배출량과 에너지 사용량 산정 결과를 표출하는 방식으로 개발되었다.

(1) 기술평가 분석모듈 (Module 1)

녹색 기술의 탄소배출량과 에너지 사용량은 도로 1km



<그림 2> 탄소배출량 및 에너지사용량 산정 모듈



<그림 3> 녹색도로기술 효과 평가 기능 설계

에 그 기술을 적용할 때를 기준으로 산정한다. 해당 기술을 도로 1km에 적용할 때의 세부공종별 물량을 입력하면 데이터베이스의 세부 공종별 탄소배출량 및 에너지 사용량 인벤토리 자료를 참고하여 탄소배출량과 에너지 사용량을 산정한다.

(2) 사업평가 분석모듈 (Module 2)

도로사업의 기본분석과 상세분석 기능의 입력자료와 분석방법은 다르다. 기본분석에서는 도로의 기본정보인 도로의 종류, 연장, 차로수 등을 입력하면 도로의 상위 공종별 물량이 자동 계산되어 데이터베이스의 상위 공종별 탄소배출량 및 에너지 사용량 인벤토리 자료를 참조하여 탄소배출량과 에너지 사용량을 산정한다.

상세분석에서는 도로설계내역을 참고하여 세부 공종별 물량을 입력하면 세부 공종별 탄소배출량 및 에너지 사용량 인벤토리 자료를 참고하여 탄소배출량과 에너지 사용량을 산정한다. 상세분석에서는 기술평가 분석모듈에서 사용하는 것과 같은 상세한 인벤토리를 참조한다.

(3) 도로망평가 분석모듈 (Module 3)

도로망평가 분석모듈에서는 도로관리통합시스템 (HMS)[7]의 데이터베이스에 있는 도로의 종류, 연장, 차로수 등의 정보를 연계하도록 설계하였다. 사용자가 현재 운영중인 도로 중 관심 도로를 선택하면 도로정보 데이터베이스로부터 선택한 도로의 정보를 불러오고 도로 종류

별 탄소배출량 및 에너지 사용량 인벤토리 자료를 참고하여 탄소배출량과 에너지 사용량을 산정한다.

3.3. 저감대안 효과 분석 모듈

(1) 기술평가에서의 녹색도로기술 효과 분석

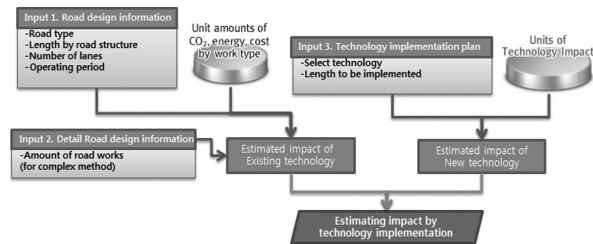
기술적용 효과평가는 개발이 완료된 녹색도로 기술 자체에 대하여 탄소배출량 저감 및 에너지 사용량 절감 효과를 평가하고자 하는 것으로 도로 1km를 기존 기술로 건설할 경우와 개발된 녹색도로기술로 건설할 경우를 비교하는 기능이다.

<그림 3>에 나타난 바와 같이 기술이 적용되는 도로의 종류와 생애주기를 지정하고(Input 1), 기존 기술을 적용할 때와 비교하여 달라지는 공종별 물량과 자재 변화량, 자재의 탄소흡수량 또는 에너지 생산량 등의 기술 특성자료를 입력하면(Input 2) 해당 녹색도로기술을 도로 1km에 적용할 때의 기술효과 원단위가 산정된다. 다음으로 녹색도로기술이 적용될 도로 종류별 연장, 운영기간, 예상 상용화 비율을 입력하면(Input 3) 녹색기술이 상용화되어 적용될 경우의 효과를 예측하여 볼 수 있다.

(2) 사업평가에서의 녹색도로기술 효과 분석

사업평가 기능은 단위 기술이 아닌 도로 사업의 탄소배출 및 에너지 사용량 등을 산정한 후 해당 도로에 녹색도로기술을 적용했을 경우의 저감 효과를 산정하는 기능이다.

<그림 4>에 나타난 바와 같이 기본 분석의 경우는 도로의 종류, 연장, 차로수, 운영 기간 등만 입력하고(Input 1), 상세분석을 할 경우는 상세설계내역서의 자재 및 물량 정



<그림 4> 도로설계안 평가시 녹색도로기술 적용 효과 분석 기능 설계

보까지 입력한다(Input 2). 다음으로 적용할 녹색도로기술을 선택하고 적용할 구간의 길이를 입력하면(Input 3) 기존 기술을 사용하여 도로를 건설, 운영, 유지보수 하는 경우와 비교하여 녹색도로기술을 적용할 때의 탄소배출량 저감과 에너지 사용량 절감 효과가 산정된다.

(3) 도로망 평가에서의 녹색도로기술 효과 분석

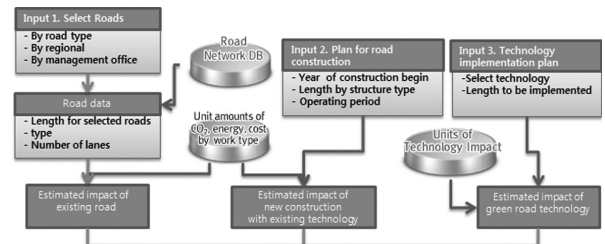
현재 운영되고 있는 도로 중 관심 도로구간을 선정하여 탄소배출량과 에너지 사용량을 산정한 후 추가적인 도로 신설 계획과 녹색도로기술 적용에 따른 도로의 탄소배출량과 에너지 사용량의 변화를 예측하는 기능이다.

<그림 5>에서 보는 바와 같이 분석하고자 하는 도로를 선택하여(Input 1) 도로현황정보 데이터베이스에서 선택한 도로의 정보를 불러온 후 도로의 종류별 탄소배출량과 에너지 인벤토리를 이용하여 현도로 유지관리, 운영 시의 탄소배출량과 에너지 사용량을 분석한다.

신설할 도로의 도로종류별 연장과 건설착수 시기, 운영기간을 입력하고(Input 2), 적용할 녹색기술을 선택한 다음 적용할 구간의 길이를 입력하면(Input 3) 기존 기술을 사용하여 도로를 건설, 운영, 유지보수 하는 경우와 비교하여 녹색도로기술을 적용할 때의 탄소배출량 저감과 에너지 사용량 절감 효과가 산정된다.

4. 결론

본 논문에서는 도로 전 생애 주기의 에너지 사용량과 탄소배출량을 산정하고 이를 바탕으로 녹색 도로 기술의 개발과 적용에 따른 저감 효과를 평가할 수 있는 기능을 갖



<그림 5> 도로망 평가시 녹색도로기술 적용 효과 분석 기능 설계

는 녹색도로 투자평가 시스템(G-TIES)을 소개하였다.

이 시스템의 데이터베이스에 도로 종류별, 생애주기별, 구간 유형별, 세부 공종별 에너지 사용량과 탄소배출량 인벤토리를 탑재하고, 이를 이용하여 도로의 계획과 설계 시 대상 도로의 녹색성(에너지와 탄소)을 평가할 수 있도록 하였다. 또한 사용자의 분석 목적에 따라 시스템의 기능을 구분하였고 웹포탈 플랫폼으로 구현하여 여러 이용자가 편리하게 자료를 입력하고 분석결과를 조회할 수 있도록 하였다.

도로 건설은 대규모의 에너지와 자원이 투입되고 많은 양의 탄소를 배출하나 그 값을 정량화하기는 쉽지 않았었다. 본 시스템을 사용하여 도로의 종류와 생애주기에 따른 탄소배출량과 에너지 사용량 감축 효과를 정량화할 수 있게 되어 새로운 친환경 도로 기술의 개발과 개발된 기술의 현장 적용으로 인한 효과를 사전에 분석하고 평가할 수 있게 되었다.

본 시스템은 녹색도로 기술과 정책을 고안하고 선택하는 의사결정 단계에서 매우 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 시스템의 활용도가 높을수록 지속가능한 도로 구현의 가능성도 높아질 것으로 보이나, 본 시스템의

상용화를 위한 고도화 연구와 시스템 활용을 위한 홍보와 제도적 뒷받침이 필요하다. ☺

♣ 참고문헌

- [1] Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea (2011), Korea's Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- [2] ECRPD(2010), Energy Conservation in Road Pavement Design, Maintenance & Utilization(ECRPD), EC project report.
- [3] US FHWA, "INVEST(Infrastructure Voluntary Evaluation Sustainability Tool)", <https://www.sustainablehighways.org/>.
- [4] Fei Deng(2010), Greenhouse Gas Emissions Mitigation in Road Construction and Rehabilitation: A Toolkit for Developing Countries, World Bank Group.
- [5] IRF, "CHANGER(Calculator for Harmonised Assessment and Normalisation of Greenhouse-gas Emissions for Roads", <http://www.irfghg.org/index.php>.
- [6] Ministry of Land(2011), Transport and Maritime Affairs, A Guideline for Estimating Carbon Emissions – Road Facilities.
- [7] Ministry of Land(2014), Transport and Maritime Affairs, "Highway Management System", <https://hms.molit.go.kr/>, Accessed Jul.