

## 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술의 개발방안 연구

A Study on the Development of Green Network Road Design Technology for Carbon Reduction



손원표



강전용



박현준



박경석

### I. 서론

지구온난화로 인한 이상기후는 자연재해의 발생 등 큰 피해를 초래하여, 범지구적 차원의 기후변화 협약이 체결되고 세계 각국은 온실가스 배출을 저감하기 위한 가시적인 노력을 경주하고 있다.

특히 탄소배출의 주요 원인으로 교통부문이 부각되면서 도로는 자연환경을 훼손하고 자동차는 탄소발생을 증대시키는 요인으로 인식되고 있다.

실제 기존의 도로는 기능성과 경제성, 안전성 위주로 조성되어 주변 자연환경을 훼손하고 탄소배출에 대한 고려가 소홀하여, 도로건설에 따른 자연환경의 훼손을 최소화하고 자연환경에 순응하여 탄소발생을 저감시키는 설계기술의 개발이 요구되고 있으나 현재 도로부문에서의 탄소저감을 위한 기술개발은 일부 시설물에 국한된 초기단계에 있다.

본 연구는 탄소중립과 생태계 보전을 목표로 하

는 ‘탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술’ 개발을 위한 기초연구로서, 관련제도와 기술현황, 문헌 조사를 통해 탄소저감 및 흡수가 가능한 그린네트워크 도로설계요소를 도출하고 이를 도로설계에 적용할 수 있는 설계 프로세스를 제안하는 것이다.

### II. 본론

#### 1. 탄소저감형 그린네트워크 도로의 정의

본 연구에서 ‘탄소저감형 그린네트워크 도로’의 정의는 다음과 같다.

생태계 보전을 목표로 하여 도로건설에 따른 자연환경 훼손을 최소화 하고, 도로변에 녹지조성 등 환경복원을 통해 탄소발생을 저감하는 도로

손원표 : 동부엔지니어링(주) 기술연구소, wpshon@dbeng.co.kr, Phone: 02-2122-6786, Fax: 02-2122-6960  
강전용 : 동부엔지니어링(주) 기술연구소, kangdazzy@dbeng.co.kr, Phone: 02-2122-6977, Fax: 02-2122-6960  
박현준 : 동부엔지니어링(주) 기술연구소, park94@dbeng.co.kr, Phone: 02-2122-6746, Fax: 02-2122-6960  
박경석 : 동부엔지니어링(주) 기술연구소, kspark@dbeng.co.kr, Phone: 02-2122-6784, Fax: 02-2122-6960

탄소저감형 그린네트워크 도로의 구성요소는 탄소중립과 지속가능한 사회의 녹색도로 구현을 위한 자연환경에 순응하는 도로환경을 조성하고, 동물종의 서식지 훼손을 최소화하기 위한 내적설계요소(횡단면설계기법, 최적구조물)와 외적설계요소(생태이동공간)를 포함한다.

## 2. 관련 제도 및 기술현황

### 1) 관련 제도 현황

도로부문의 탄소저감을 위한 관련 제도는 초기 단계 수준으로 도시분야에서 탄소중립도시 등을 실현하기 위한 탄소저감방법으로 대중·녹색교통, 녹지조성 등을 다루는 수준에 머물러 있다.

한편 친환경적인 도로, 경관과 디자인을 반영한 도로공간을 창출하기 위해 ‘환경친화적인 도로건설편람(건설교통부, 2004)’, ‘고속도로경관설계 매뉴얼(한국도로공사, 2009)’, ‘도로설계편람 제11편 경관(국토해양부, 2013)’ 등 다양한 연구가 진행되어 관련분야에서 진일보한 성과를 보이고 있다.

2010년에는 녹색성장에 필요한 기반을 조성하고 녹색기술과 녹색산업을 새로운 성장동력으로 활용함으로써 국민 삶의 질을 높이고 국제사회에 책임을 다하는 성숙한 선진 일류국가로 도약하는데 이바지하고자 「저탄소녹색성장기본법」이 제정되었으며, 각 부처는 다양한 정책을 수립하고 관련 사업을 시행하고 있다.

관련 사업으로는 도로를 대상으로 한 ‘경관도로 정비사업(국토해양부)’, 도시숲사업의 일환인 ‘가로수사업(산림청)’, 국토전체를 대상으로 한 ‘녹색길사업(환경부)’, ‘친환경생활공간조성사업(행정안전부)’ 등이 있다.

경관도로 정비사업은 2008년 ‘경관도로 정비사업 업무편람’의 제정과 함께 31개소의 경관도로 정비사업 구간을 선정하여 연차적으로 수행하고 있다.

산림청 가로수사업은 도시숲사업의 일환으로 매년 가로수를 식재하여 도시주변 산림과 연계한 녹

표 1. 주요 연구과제 및 간행물

주요 연구과제 및 간행물	주요내용
도로설계편람 제11편 경관편 (국토해양부, 013)	· 아름답고 새로운 도로경관의 실현을 위하여 도로의 계획 및 설계를 위한 경관설계 기법과 도로시설물에 대한 디자인 기법을 제시
도로경관디자인 기술개발 (국토해양부, 2010)	· 경관과 디자인을 반영하기 위한 설계 기법과 평가방법을 개발하여 도로 본체 및 도로시설물의 경관디자인을 위한 설계기법과 VR을 활용한 평가방법을 제시
고속도로 경관설계 매뉴얼 (한국도로공사, 2009)	· 고속도로에 대한 경관설계 기법을 제시하고, 고속도로 경관설계에 관한 실무 차원의 기본적인 지식과 방법론적 접근
생태계를 생각하는 도로건설 (도로 및 공학 기술사회, 2008)	· 토목공학, 도로공학 차원에만 머무르고 있는 도로건설을 경제학문인 생태학, 환경공학, 경관공학 등과 영역을 공유한 생태공학 측면에서의 접근방안을 모색
스마트하이웨이 연구개발사업 디자인 기술개발 (국토해양부, 2009)	· 스마트하이웨이를 구현하는 과정에서 주변 경관을 고려하는 경관설계와 도로시설물에 대한 디자인을 반영하는 관점에서 접근하고 현실화하는 연구
인간중심의 도로에서 생각해야 할 과제들 (한국도로학회, 2007)	· 모든 사람을 위한 디자인(Design for All)을 기본개념으로, 접근 가능성과 안전 지향성이 확보되는 가로공간을 확보하기 위한 기법 제시
스마트하이웨이 연구개발사업 고속주행 여건을 고려한 환경시설 설치방안 (국토해양부, 2010)	· 로드킬을 예방할 수 있는 생태통로의 설계기법 개발을 위해 생태통로의 유형별 특성 및 동물종류별 침입방지 유도물타리 등의 설치방법을 제시
환경친화적인 도로건설지침 (건설교통부·환경부, 2004)	· 환경친화적인 도로건설의 실천을 위한 지침으로서 친환경 도로노선 선정, 설계 시 고려해야 할 각 항목별 설계기법에 대해 지형, 지질, 동·식물, 수리·수문 등 항목별로 지침을 제시하여 설계에 반영토록 하고 있음
환경친화적인 도로건설 편람 (건설교통부, 2004)	· 환경친화적인 도로건설 지침의 실천을 위한 구체적인 편람으로 친환경 도로노선 선정, 설계 시 고려해야 할 각 항목별 설계기법에 대해 지형, 지질, 동·식물, 수리·수문 등 항목별로 상세한 기법을 사례로 제시하고 있음

색네트워크를 구축하고 있으며, 환경부의 녹색길 조성사업은 2012년까지 녹색길 30개소를 조성하여 지자체의 탄소배출 완화 기여율 10% 달성을 목표로 하고 있다.

표 2. 관련 법령

관련법령	주요내용	담당기관
저탄소녹색성장기본법	· 녹색생활, 지속가능발전에 대한 규정을 체계적으로 마련함으로써 녹색국도, 녹색건축물, 녹색교통, 지속가능한 물관리 등 푸르른 한반도에서 삶을 영위할 수 있는 기반을 갖출 수 있도록 하였으며 이를 근거로 국가의 저탄소 녹색성장을 위한 정책목표·추진전략·중점추진과제 등을 포함하는 국가전략을 수립·시행함	국무총리실
국도의 계획 및 이용에 관한 법률	· 국도의 이용·개발 및 보전을 위한 계획의 수립 및 집행 등에 관하여 필요한 사항을 정함으로써 공공복리의 증진과 국민의 삶의 질을 향상시키는 것을 목적으로 제정되었으며, 세부항목에서 자연보호에 관한 계획을 수립할 수 있도록 하였음	국토해양부
환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법	· 제29조에서 환경영향평가의 항목은 환경부령으로 정하도록 규정하고 있으며, 이에 따라 제정된 환경영향평가 작성 등에 관한 규정에서 도로주변 환경훼손을 최소화하고자 하였음	환경부
자연환경보전법	· 자연환경을 인위적 훼손으로부터 보호하고, 생태계와 자연경관을 보전하는 등 자연환경을 체계적으로 보전·관리함으로써 자연환경의 지속가능한 이용을 도모하고, 국민이 쾌적한 자연환경에서 여유 있고 건강한 생활을 할 수 있도록 함을 목적으로 함	환경부
경관법	· 2007년에 제정된 경관법은 경관계획의 수립, 경관사업의 시행, 경관형정 등 경관자원의 보전·관리 및 형성에 관한 사항을 규정함으로써 지역특성에 맞는 국토환경 및 지역환경을 조성하고자 함	국토해양부



그림 1. 경관도로정비사업 시범구간 : 경기도 남양주시, 국도45호선)

표 3. 관련 사업

경관도로 (국토해양부)	가로수사업 (산림청)	녹색길사업 (환경부)
· 도로와 주변 환경이 어우러져 도로를 이용하면서 시각적·심미적으로 쾌적하고 아름다운 느낌을 느낄 수 있는 도로경관 창출	· 도시숲사업의 일환으로 가로수를 대상으로 가로경관을 연출하고, 녹색네트워크를 조성하여 도시생태계 기능 강화	· 녹지생태계와 도시생태축을 보전, 창출하고 생태네트워크를 연계하여 여가활동 및 녹색교통의 기능을 증진

## 2) 기술 현황

### ① 국내

현재 도로부문의 탄소중립, 탄소저감 관련 기술 개발 및 연구는 미비한 수준이며 일부 도로시설물의 유지·관리에 자연에너지를 활용하는 수준에 머물러 있다.

2004년 ‘환경친화적인 도로건설 지침’의 제정으로 친환경 도로설계기법이 실무분야에 전파, 보급

되었으나 기술자들의 관심과 인식 부족으로 설계·시공 일괄입찰(T/K), 대안입찰 등에서 품질 차별화 수단으로 제한적으로 적용되고 있는 실정이다.

### ② 국외

일본은 「도로의 Green화」를 국토교통성의 주요시책으로 책정하여 도로공간의 녹화를 추진하고 있으며, 중국은 총 3억 위안을 지원하여 생태경관도로(10개소, 240km)를 건설하고 있다.

유럽연합은 그린로드 통행세 징수제도를 도입하고 ‘녹색도로 및 교량’ 건설계획을 수립하였고, 핀란드는 세계최초로 ‘녹색도로’ 건설계획을 수립하여 고속도로의 생태화 계획을 130km 구간에 2016년까지 조성할 예정이다.

호주는 ‘EastLink Trail’이라는 연장 35km의 오솔길을 도로교통시설과의 유기적인 연결을 통해 보행 및 자전거를 통해 시내의 다른 목적지와의 연결을 용이하게 하였으며, 오픈스페이스 및 공원 조성을 통해 휴식공간으로 활용할 수 있도록 하였다.

## 3. 그린네트워크 도로 설계요소 도출

### 1) 선행연구 분석

도로분야의 탄소중립, 탄소저감을 위한 관련 연구는 도시분야에서 탄소중립도시 등을 실현하기

표 4. 선행연구의 관련분야 설계요소

구분	탄소흡수형 설계요소	탄소저감형 설계요소
기후변화에 대응한 국토 및 도시개발 전략 (반영은 외, 2008)	· Green way · 경관림 조성 · 생물이동통로 · 바람길 조성	· 자전거도로 · 보행자도로
기후변화 대응을 위한 지구단위계획 차원에서의 탄소완화 계획요소 개발에 관한 연구 (이재준 외, 2009)	· Green way · 경관림 조성 · 바람길 조성	· 자전거도로 · 보행자도로
저탄소 녹색도시 모델개발 및 기본구상 연구 (국토연구원, 2009)	· 그린매트리스 · Green way · 녹지와 비오톱 연결 · 탄소흡수림 식재	· 도로변 완충녹지 · 보행자전용도로/구역 · 자전거전용도로/주차장 · 자전거네트워크
저탄소 에너지 절약형 신도시 해외사례 및 조성전략 연구 (변병설, 2009)	· 바람길 고려 녹지축 · 공원녹지 네트워크 · 공원녹지 접근성 제고 · 생활권 여유/휴식 공간 확보	· 자전거도로시스템 · 보행공간시스템

위한 탄소저감방법으로 대중·녹색교통, 녹지조성 등을 다루는 수준에 머물러 있다.

반영은 외(2008)는 Green way, 경관림 조성, 생물이동통로, 바람길 조성을 탄소흡수형 계획요소로 제시하였고, 탄소저감형 계획요소로 자전거도로 및 보행자도로를 제시하였다.

이외에도 이재준 외(2009) 및 국토연구원(2009), 변병설(2009) 또한 바람길, 녹지축, 공원녹지, 휴식공간을 탄소흡수형으로 제시하였으며, 탄소저감형 계획요소로 자전거도로 및 보행자도로를 제시하였다.

선행연구의 설계요소는 도시계획 측면에서 접근하여 탄소흡수형과 탄소저감형으로 구분하였으며 자전거도로, 보행자도로 등 탄소발생이 일어나지 않는 요소를 '탄소저감형 설계요소'로 제시하였고 Green way, 경관림 조성 등 녹화요소를 '탄소흡수형 설계요소'로 제시하였다.

도로분야에 있어서는 도로본체, 도로구조물을 탄소저감형 설계요소로 제시하고 가로수식재 등의

표 5. 기능에 따른 도로설계요소

구분	도로의 주요 설계요소	탄소저감형 그린네트워크 설계요소
기하구조	· 평면 및 종단선형 · 횡단구성요소 (중앙분리대, 차로, 길어깨, 측대, 환경시설대)	· 횡단구성요소(중앙분리대, 차로, 길어깨, 측대) · 환경시설대(분리대, 식수대, 보도, 자전거도로, 비탈면, 측도 등)
토공	· 비탈면	
배수	· 통로 및 수로 BOX, 파이프, 측구, 도수로 등	
구조물	· 교량, 터널, 생태통로	· 교량, 생태통로
포장	· 아스팔트 포장, 콘크리트 포장	
부대시설	· 안내표지판, 방음벽 등	
안전시설	· 중앙분리대, 노측용방호울타리, 교통표지판, 시선유도시설 등	· 중앙분리대
기타	· 가로수, 조명시설 등	· 가로수

표 6. 형태에 따른 도로설계요소

형태	도로의 주요 설계요소	탄소저감형 그린네트워크 설계요소
면	· 인터체인지 및 분기점 · 휴게소	· 녹지대 · 환경시설대
면+선	· 비탈면 · 환경시설대	· 비탈면 · 환경시설대
선	· 중앙분리대 · 띠녹지	· 중앙분리대 · 띠녹지

도로녹화, 생태이동공간 등을 탄소흡수형 설계요소로 제시할 수 있다.

## 2) 그린네트워크 도로설계요소 도출

탄소중립과 생태계 보전을 목표로 하여 도로개설에 따른 자연환경 훼손을 최소화하고 도로변에 녹지조성 등 환경복원을 통해 탄소발생을 저감하는 도로공간의 조성을 위해 도로의 주요 설계요소 중 탄소 저감 및 흡수를 위한 설계요소는 표 5와 같다.

## 4. 탄소저감형 그린네트워크 도로설계 프로세스 개발

### 1) 탄소배출 여건분석

탄소중립과 생태계 보전을 목표로 도로 및 주변

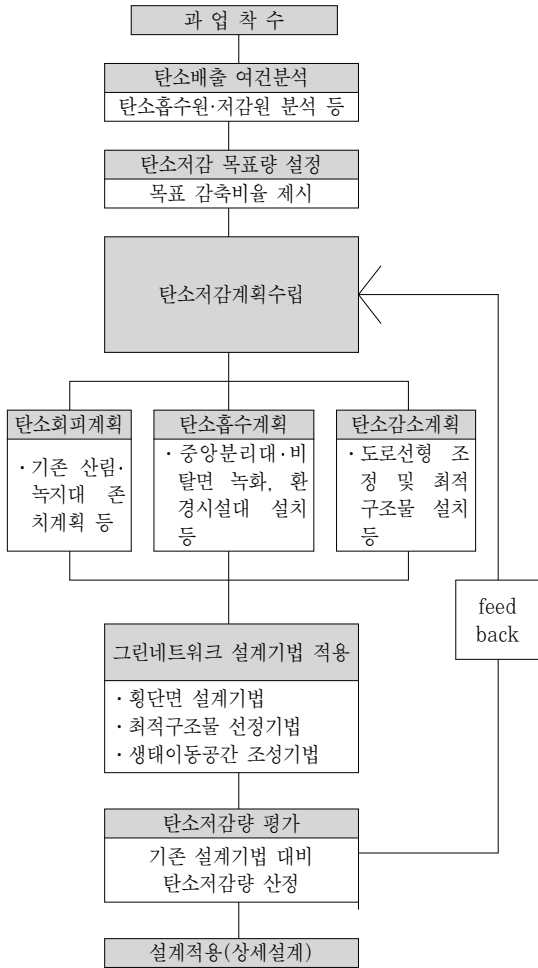


그림 2. 탄소저감형 그린네트워크 도로설계 프로세스

지역의 자연·인문환경 분석 등을 통해 탄소흡수원, 탄소저감원을 도출한다.

탄소흡수원은 식물의 광합성 작용에 의해 탄소가 흡수되기 때문에 도로 및 주변지역의 산림, 녹지대 등을 주요 요소로 하며, 탄소저감원은 자동차 배기가스가 주요 탄소배출원인 도로상의 탄소발생 최소화를 위한 탄소배출을 저감하는 도로선형을 포함한 도로본체, 도로개설에 따른 지형훼손을 최소화 하는 도로구조물 등을 주요요소로 한다.

## 2) 탄소저감 목표량 설정

탄소저감 목표량은 세부적인 탄소저감계획이 수립되지 않은 단계이므로 개략적인 감축비율을 제

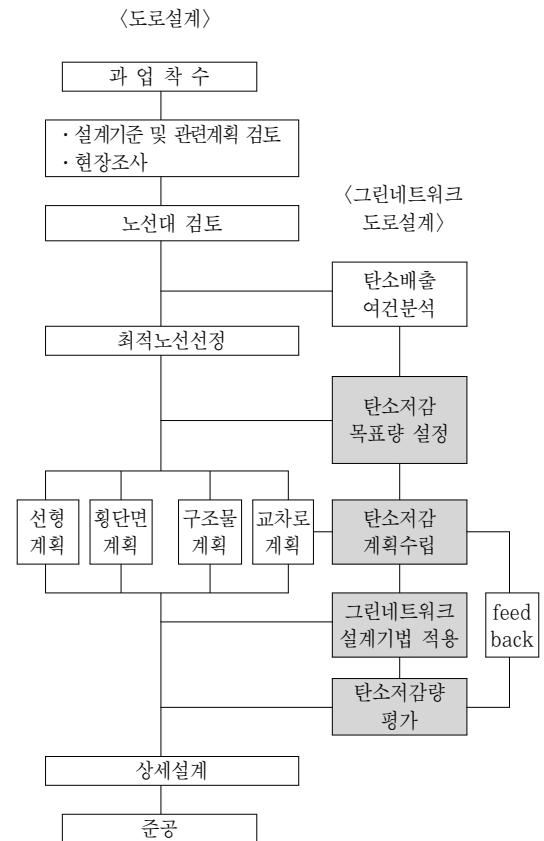


그림 3. 도로설계와 그린네트워크 도로설계의 업무 흐름도

시하는 방법을 사용하며, 이 비율은 정부, 지자체에서 정한 감축 목표치 등을 참조할 수 있으며 발주자·설계자의 실무경험, 감축의지 수준을 종합적으로 판단하여 설정한다.

## 3) 탄소저감계획수립

탄소저감계획은 탄소배출 여건분석 결과와 탄소저감 목표량을 반영하여 탄소회피·흡수·저감계획으로 구분하며 수립한다.

- ① 탄소회피계획 : 기존 산림 및 녹지대의 존치, 환경적·생태적 영향 최소화 등
- ② 탄소흡수계획 : 중앙분리대 및 비탈면의 녹화, 환경시설대 설치 등
- ③ 탄소감소계획 : 도로선형 조정, 교량 등 탄소저감형 최적구조물 설치 등

#### 4) 그린네트워크 설계기법 적용

수립된 탄소저감계획에 따라 녹지중분대 조성기법, 비탈면 설계기법, 환경시설대 설계기법, 최적구조물 선정기법, 생태이동공간 조성 기법 등을 적용한다.

#### 5) 탄소저감량 평가

기존 설계기법 대비 탄소저감량을 산정하고 feed back을 통해 설정된 탄소저감 목표량을 만족하는 탄소저감형 그린네트워크 도로를 실현한다.

### III. 결론

본 연구에서는 도로부문의 탄소저감을 위한 관련제도와 기술현황을 파악하고, 문헌조사 등을 통해 탄소저감형 그린네트워크 도로의 설계요소를 도출하였다.

또한, 그린네트워크 도로 설계프로세스를 개발하고, 일반적인 도로설계에 적용할 수 있는 프로세스를 제안하여, 그린네트워크 도로설계기술 개발을 위한 기초연구로서 의의가 있다.

우리나라는 온실가스 배출량이 세계 10위 수준에 해당되며 국제기후변화협약에 의거, 2020년 배출전망치 기준 온실가스의 30% 감축을 목표로하고 있다.

도로부문의 온실가스 배출량은 주요 온실가스 배출부문인 교통물류 온실가스 배출량(2009년 기준 8,256만톤 CO<sub>2</sub>eq)의 94.4%에 해당하는 7,794만톤 CO<sub>2</sub>eq(94.4%)을 배출하고 있으며, 이러한 수치는 선진국에 비해 절대적으로 부족한 도로시설에 대한 투자제한으로 연결되고 있다.

온실가스 감축을 위하여 도로의 신설을 제한하

거나 도로사용을 억제하는 근시안적이고 단편적인 정책시행에서 벗어나, 도로의 기능성과 안전성을 만족시키면서 온실가스 저감이 가능한 탄소저감형 그린네트워크 조성기술은 온실가스 감축 잠재력이 큰 도로부문에서 시급히 개발되어야 하며 이러한 기술의 적용을 통하여 저탄소녹색성장의 뉴트랜드에 대한 국가경쟁력이 강화될 것이다.

앞으로의 연구는 탄소중립과 생태계 보전을 목표로 하는 탄소저감형 그린네트워크 도로의 설계요소별 설계기법을 개발하고, 개발된 설계기법의 탄소저감효과를 정량적으로 평가함으로써, 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술에 대한 검증이 구체화 될 것으로 예상된다.

### 참고문헌

건설교통부 (2004), 환경친화적인 도로건설 편람.  
 건설교통부, 환경부 (2004), 환경친화적인 도로 건설 지침.  
 국토해양부 (2009), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설.  
 국토해양부 (2010), 스마트하이웨이 디자인 기술개발.  
 국토해양부 (2011), 경관도로 정비 시범사업 평가 개선방안 연구.  
 국토해양부 (2013), 도로설계편람 제11편 경관. 손원표 (2010), 경관·환경·디자인·인간중심 「도로경관계획론」.  
 손원표 (2010), 아름답고 새로운 「도로공학원론」.  
 이상문 (2012), 탄소중립도시.  
 환경부 (2009), 도시녹지네트워크를 위한 녹색길 조성사업 가이드라인 작성 연구.  
 환경부 (2010), 생태통로 설치 및 관리지침.