

# 기후변화영향평가 기법 마련 연구

## 도로 건설 부문

Development of Climate Change Impact Assessment Techniques:  
The Road Construction Sector

최현진 | 이영수 | 강유진 | 주용준 | 김유미

K O R E A  
E N V I R O N M E N T  
I N S T I T U T E

## 저자

최현진, 이영수, 강유진, 주용준, 김유미

## 연구진

연구책임자 최현진 한국환경연구원 연구위원  
참여연구원 이영수 한국환경연구원 선임연구위원  
강유진 한국환경연구원 전문연구위원  
주용준 한국환경연구원 연구위원  
김유미 한국환경연구원 연구위원

## 연구자문위원(가나다순)

김미정 환경부 기후적응과 사무관  
신문식 (주)도화엔지니어링 상무  
신민석 한국도로공사 차장  
조한나 한국환경연구원 연구위원  
백동해 한국환경연구원 부연구위원

| 정책보고서 2024-11 |

### 기후변화영향평가 기법 마련 연구: 도로 건설 부문

Development of Climate Change Impact Assessment Techniques: The Road Construction Sector

© 2024 한국환경연구원

발행인 이 창 훈  
발행처 한국환경연구원  
(30147) 세종특별자치시 시청대로 370  
세종국책연구단지 B동(과학·인프라동)  
전화 044-415-7777 팩스 044-415-7799  
www.kei.re.kr

인쇄 2024년 10월 26일  
발행 2024년 10월 31일  
등록 제 2015-000009호 (1998년 1월 30일)  
ISBN 979-11-5980-957-6 93530  
인쇄처 세일포커스(주) 02-2275-6894

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처를 표시해 주십시오.  
최현진 외(2024), 「기후변화영향평가 기법 마련 연구: 도로 건설 부문」, 한국환경연구원.

값 7,000원

# 서 언

기후변화는 이미 전 지구 모든 지역의 날씨와 기후에 영향을 미치고 있으며, 우리나라 역시 이상고온, 이상저온 발생 일수가 점차 증가하고 있습니다. 아울러 복합적이고 극한의 기후가 과거보다 더 자주 발생함에 따라 이로 인한 인명과 재산 등의 피해 역시 점차 증가하고 있는 상황입니다.

2022년 9월 25일 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」에 따라 국가 탄소중립 이행을 위한 주요한 제도적 수단 중 하나로 기후변화영향평가제도가 시행되었습니다. 동 제도는 온실가스 배출이 많거나 기후위기에 취약한 계획 및 개발사업을 대상으로 계획수립 기관의 장 또는 사업자가 온실가스를 보다 적극적으로 감축하고, 실효적인 기후위기 적응방안을 수립하도록 요구하고 있습니다.

기후변화영향평가 대상 사업 중 2023년 9월 신규 대상 사업으로 포함된 도로 건설 사업은 대표적인 선형사업입니다. 이 사업은 도시의 개발, 산업입지 및 산업단지 조성 사업과 같은 면적 개발사업과 비교하여 공사 및 운영할 때의 특성과 야기되는 환경영향, 온실가스 감축과 기후위기 적응을 위해 고려해야 하는 요소가 다른 특성이 있습니다. 이에 도로 건설사업에 대한 기후변화영향평가 기법을 마련하고, 특히 사업의 특성을 고려한 실효적인 온실가스 감축 방안과 기후위기 적응방안을 제시한 본 연구는 매우 시의적절하다고 할 수 있으며, 앞으로도 기후변화영향평가제도의 발전과 안정적인 운영을 위한 관련 연구가 지속해서 이루어지길 기대합니다.

끝으로 본 연구를 수행한 한국환경연구원 환경평가본부 공공인프라평가실의 최현진 실장과 이영수 선임연구위원, 주용준 연구위원, 강유진 전문연구원, 국토정책평가실의 김유미 실장께 감사를 표합니다. 아울러 바쁘신 중에도 자문을 통해 연구에 큰 도움을 주신 환경부 기후적응과 김미정 사무관, 한국도로공사 신민석 차장, (주)도화엔지니어링 신문식 상무께도 깊은 감사를 드립니다. 또한 우리 원의 조한나 연구위원, 백동해 부 연구위원의 자문에도 감사를 표합니다.

2024년 10월  
한국환경연구원  
원장 이창훈

---

# 기후변화영향평가 기법 마련 연구

## 도로 건설 부문

최현진 외

### 1. 연구의 배경 및 목적

「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」에 따라 전략환경영향평가 또는 환경영향평가 대상 정책, 개발사업 중 온실가스를 다량 배출하는 사업 등 대통령령으로 정하는 계획 및 개발사업에 대해 기후변화영향평가를 실시해야 한다. 이는 국가 탄소중립 이행을 위한 주요한 제도적 수단 중 하나로 마련되었다.

기후변화영향평가 제도와 관련한 법령과 규정이 비교적 최근 제정됨에 따라, 사업의 특성과 유형을 고려한 온실가스 감축, 기후위기 적응 부문에 대한 평가기법은 현재로서는 미흡한 상황이다. 특히 2023년 9월 기후변화영향평가 대상으로 신규 포함된 도로 건설사업은 대표적인 선형사업으로 도시의 개발, 산업입지 및 산업단지 조성사업과 같은 면적 개발사업과 비교하여 공사 및 운영 시의 특성과 야기되는 환경영향, 온실가스 감축과 기후위기 적응을 위한 고려 요소가 다른 특성이 있다.

본 연구에서는 기후변화영향평가 대상으로 신규 포함된 도로 건설사업의 특성을 고려한 기후변화영향평가 기법을 마련하고자 하였다. 특히 도로 건설의 특성을 고려한 공사 및 운영 시 기후변화영향평가 방법론을 정립하고자 하였으며, 사업에 대한 실효적인 온실가스 감축 및 기후위기 적응방안을 제안하고자 하였다.

### 2. 친환경적 도로 건설 기법 및 환경영향평가 현황

#### 2.1 친환경적 도로 건설 기법

기존 친환경적 도로 건설과 관련된 정부의 지침과 선행연구 사례를 조사하여 분석하였다. 문헌에서는 공통으로 도로 건설사업에서 주로 고려되어야 할 환경적 요소로 지형·지질과 수리·수문 항목을 언급하고 있음을 확인하였다.

지형·지질 항목은 지형에 순응하는 노선계획을 우선하여 수립하되, 불가피한 지형 훼손과 장대 비탈면 발생에 대해서는 터널 등을 통해 이를 최소화하도록 요구하고 있다. 아울러 사면과 지반의 안정성에 대한 사전 조사와 면밀한 검토가 필요하며, 해당 결과를 토대로 안정성 확보, 비탈면 녹화 등을 위한 적절한 대책을 수립해야 함을 명시하였다.

수리·수문 항목의 경우 사업노선이 하천에 인접한 경우 자연재해를 당하거나 재해 유발 위험에 노출될 수 있으므로, 수리·수문 측면의 부정적 영향을 사전에 파악하고 사업계획 초기부터 이를 고려할 것을 명시하고 있다. 특히 교량 설치계획이 포함된 도로 건설사업은 홍수 시 안정성 확보, 세굴, 침식 등을 방지할 수 있는 관련 계획수립이 필요함을 제시하고 있다.

이러한 사항은 기후변화영향평가 수행 시에도 충분히 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 특히 기후 변화영향평가의 경우, 폭우·산사태 등의 극한 기후와 재해를 가정하여 평가가 수행되므로, 더욱 보수적인 여건을 고려하여 관련 내용을 검토하고, 적절한 저감방안 및 적응대책을 수립하는 것이 필요하다.

## 2.2 도로 건설사업의 온실가스 항목 환경영향평가 현황

도로 건설사업에 대한 기존 환경영향평가서의 온실가스 항목의 작성 현황을 분석하였다. 분석대상 항목으로는 도로 길이에 따른 공사 및 운영 시 온실가스 배출량, 감축 대책 수립 내용과 이에 따른 감축률, 온실가스 항목에 대한 환경영향평가 협의 의견을 선정하였다.

온실가스 배출량 산정의 분석 결과 사업의 온실가스 총배출량의 대부분은 차량 운행에 따른 것으로 산정되었다. 그러나 이를 감축하기 위해 차량 운행을 제한하거나, 개별 사업 단위에서 전기차·수소차와 같은 친환경 차량을 운행하도록 유도하는 것은 매우 제한적이므로, 차량 통행 외 배출원인 휴게소, IC 등의 부대시설 운영 과정에서 배출이 예상되는 온실가스를 더욱 적극적으로 감축하는 것이 필요하다. 아울러 사업노선의 선정·설계 시 양호한 탄소 저장·흡수원의 훼손을 최소화하고, 가용한 토지를 대상으로 수목 식재 및 녹지조성을 확대하는 것이 중요하다.

도로 건설사업에 대한 온실가스 항목의 협의 의견 대부분은 공사 및 운영 시 온실가스 감축 대책을 적정히 이행하는 것과 관련된 사항이다. 그러나 도로의 길이나 유형 등에 따른 경향성과 사업별 일관성 등을 찾기는 어려웠으며, 온실가스 항목에 대한 협의 의견 자체가 제시되지 않은 사례 역시 다수인 것으로 확인되었다.

**표 1** 도로 건설사업의 길이별 공사·운영 시 온실가스 배출량

(단위: 톤CO<sub>2</sub>eq/연)

길이(km)	공사 시 배출량	운영 시 배출량	차량 운행 배출량	차량 운행 배출량 / 총배출량 (%)
12~20	23,754	40,518	30,360	74.93
20~30	105,380	89,022	76,609	86.06
30~40	409,672	144,995	140,143	96.65
40~50	399,040	200,642	195,787	97.58
50~	360,803	298,243	287,640	96.44
평균	259,730	154,684	146,108	90.33

자료: 저자 작성.

### 3. 도로 건설사업의 기후변화 관련 국외 평가

국외에서 이루어진 도로 건설사업에 대한 환경영향평가서 내 기후변화 관련 내용을 분석한 결과, 조사된 국외 사례는 온실가스 배출량 산정 시 정부에서 제공하는 모델을 활용하여 온실가스 배출량을 산정·제시하였다.

모델을 활용한 배출량 산정은 온실가스 배출량 산정 과정을 포함한 평가서의 질적 차이(배출계수 및 산정식의 적정성, 누락 항목 발생 등) 발생을 예방할 수 있을 것으로 판단된다. 단, 모델을 통한 배출량 산정 역시 배출계수·산정식 등을 지속해서 최신화하여야 하므로, 이를 제공하는 정부 또는 기관 차원의 지속적인 유지·관리가 필요하다.

기후위기 적응 부문에 있어 조사된 해외사례는 국내와 같은 취약성 평가 결과를 활용하지는 않고 있으나, 사업노선이 속한 지역의 특성, 과거 재해 이력 등을 토대로 적절한 대책을 수립하고 있는 것으로 확인되었다. 단, 국내와 같이 매우 다양한 기후변화 리스크를 세부적으로 고려하지는 않는 것으로 확인되며, 홍수나 해수면 상승, 폭염과 강풍 등 일부 대표적인 도로 건설사업에 대한 리스크를 정성적으로 평가하고, 관련한 적응방안을 간략하게 기술하고 있다.

### 4. 온실가스 감축 부문 기후변화영향평가 기법

도로 건설사업의 가장 큰 온실가스 배출 부문인 수송 부문에 대한 감축 대책 수립은 제한적이므로, 가용한 토지를 대상으로 수목 식재 및 녹지조성을 적극적으로 확대해야 한다. 본 연구에서는 선행연구 결과를 토대로 탄소흡수를 고려한 수종 선정 및 식재 계획, 도로의 중앙분리대와 측면부의 여건을 고려한 적정한 수목 식재 방안을 정리하여 제언하였다. 아울러 수목 식재를 통한 탄소 저장·흡수의 지속성을 확보할 수 있도록 적절한 유지·관리방안을 함께 제시하였다.

선행연구를 통해 마련된 기후변화영향평가 기법을 토대로 도로 건설사업에 대한 현황분석-공사 및 운영 시 배출량 산정-감축목표 설정-감축 대책 수립으로 이루어진 온실가스 감축 부문 전 과정의 평가기법을 마련·정리하여 제시하였다. 수목 식재와 녹지 조성 외에도 휴게소 등 부대시설에 대한 신재생에너지 활용시설 설치, 지능형 교통시스템 및 스마트 톨링 설치, 회전교차로 등 도로 사업에 적용할 수 있는 다양한 온실가스 감축 방안을 도출·정리하였으며, 이에 따른 정량적 감축 효과 역시 도출하여 제시하였다.

### 5. 기후위기 적응 부문 기후변화영향평가 기법

도로 인프라에 대한 기후변화 리스크와 관련된 다양한 해외 문헌을 조사·분석하여, 도로 건설사업에 대한 기후변화영향평가 시 고려되어야 할 주요 리스크를 도출하고 리스크별 영향을 검토하였다. 문헌에서는 공통으로 폭염, 폭설, 폭우 및 홍수, 강풍, 해수면 상승 등을 도로의 주요 기후변화 리스크로 평가하고 있으며, 해당 리스크는 주로 도로 시설물의 파손과 같은 1차적 영향과 더불어 교통 흐름 방해, 도로 폐쇄 등의 2차적 영향을 미치는 것으로 조사됐다. 이를 고려하여 기후변화영향평가 수행 시 사업의 기후위기 취약성 평가 결과를 토대로 해당 리스크를 중점적으로 평가하는 것이 타당하며, 이에 따른 적절한 적응대책을 사업계획 내 포함하는 것이 실효적인 것으로 판단되었다.

**표 2** 도로 건설사업의 주요 기후변화 리스크와 영향

기후변화 리스크	리스크에 따른 도로 영향
폭우	도로 침수, 도로 포장면 및 노반으로의 침투 증가, 도로의 유체역학적 압력 증가, 토양 다짐의 응집력 감소, 교통 방해 및 안전 위협
강우	토양 수분 영향에 따른 구조적 파손, 도로 고임 현상, 강우 유출, 산사태, 경사면 붕괴 및 도로 손상, 홍수 위험
폭설	폭설과 결빙으로 인한 도로 표면 균열, 포트홀 형성, 눈의 하중으로 인한 도로 시설물 (교량, 터널)의 구조적 스트레스 증가, 도로 폐쇄, 교통 방해 및 안전 위협, 제설 작업에 따른 수질 오염
폭염 (폭염일수 증가)	도로의 물리적 강도 영향, 아스팔트 연화 및 균열, 도로 및 구조물 침하, 교량 조인트 및 표면 열팽창, 도로변 가로수 등 조경 영향, 온도 변화에 따른 토양 응집력 변화와 이에 따른 미세먼지 발생 증가, 건강 영향 및 교통사고 증가
가뭄 (건조일수 증가)	산불 발생 개연성 증가와 이에 따른 도로, 교통 관련 인프라 영향, 산불로 인한 산림 벌채 지역 증가와 이에 따른 산사태 취약성 증가, 스모그 증가, 다짐 작업 등에 대한 용수 부족, 도로 보수 작업 제한, 식물 폐사 증가
강풍	교량 안전성 위협, 표지판, 조명기구, 지지대 등 손상, 풍속의 증가에 따른 파도의 월류와 도로 침수, 그 외 도로 관련 네트워크 및 안전 영향
안개	교통 방해, 도로 안정성 감소, 스모그 증가

자료: WORLD BANK GROUP(2017), p.9를 활용하여 저자 작성.

선행연구를 통해 마련된 기후변화영향평가 기법을 토대로 도로 건설사업에 대한 현황분석-기후변화 취약성 평가 및 리스크 분석-적응대책 수립으로 이루어진 기후위기 적응 부문 전 과정의 평가기법을 마련·정리 하여 제시하였다. 특히 본 연구에서는 도로 건설사업의 기후위기 적응 부문 평가 시 지자체 취약성 평가 결과 외에도 사업노선의 구간별 입지 특성(예: 사면 발생, 하천 인접 지역 통과 등)과 여건, 사업노선에 포함된 교량, 터널, 지하차도 등의 시설물 조성계획을 면밀하게 고려하는 것이 중요함을 제안하였으며, 이러한 여건에 따른 적절한 적응방안을 도출하여 제시하였다.

## 6. 결론 및 정책 제언

본 연구를 통해 마련된 도로 건설사업의 기후변화영향평가 방법론을 통해 도로 건설사업의 추진 시 기후 변화를 고려한 강화된 온실가스 감축과 기후위기 적응방안의 수립을 유도할 수 있을 것이다. 또한 신규 평가 대상 사업의 평가기법 마련을 통해 기후변화영향평가 제도 운용의 실효성을 제고할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 제도와 관련된 다수 이해관계자의 업무 수행 시 효과적인 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구의 수행 과정에서 조사된 국외 환경영향평가 사례를 참조하여, 국내에서도 국가 차원의 특정 사업 맞춤형 온실가스 배출량 산정(공사 및 운영 시)을 위한 모델을 개발하여 보급하는 것을 검토할 필요가 있다. 단, 모델을 통한 배출량 산정 역시 배출계수·산정식 등을 지속해서 최신화하여야 하므로, 이를 제공하는 정부 또는 기관 차원의 지속적인 유지·관리가 수반되어야 한다.

기후변화영향평가 대상 사업으로 포함된 개발사업의 유형과 특성을 고려한 평가기법을 지속해서 개발하여야 한다. 본 연구를 통해 마련된 도로 건설사업 외에도 공항, 폐기물 처리시설, 발전시설 등에 대한 온실 가스 감축, 기후위기 적응 부문의 평가기법을 마련·정립하는 것은 시급한 사안이다.

기후위기 적응 부문 평가 시 주로 활용되고 있는 지자체 취약성 평가 결과 외에도 사업의 입지 여건과 토지이용계획, 시설물 조성계획을 함께 고려하는 적응 부문 평가기법을 지속해서 고민·마련할 필요가 있으며, 이를 함께 고려한 평가가 이루어져야 제도의 실효성을 더욱 제고할 수 있을 것으로 판단된다.

**주제어** 기후변화영향평가, 도로 건설사업, 온실가스 감축, 기후위기 적응

# CONTENTS

기후변화영향평가 기법 마련 연구:  
도로 건설 부문

---

국문요약	i
------	---

---

제1장	서론	
	1. 연구의 필요성 및 목적	1
	2. 연구 내용 및 수행체계	7

---

제2장	친환경적 도로 건설 기법 및 환경영향평가 현황	
	1. 친환경적 도로 건설 기법	9
	2. 도로 건설사업의 환경영향평가 현황	17

---

제3장	도로 건설사업의 기후변화 관련 국외 평가 및 사례	
	1. 기후변화를 고려한 국외 평가제도	22
	2. 도로 건설사업의 국외 환경영향평가 사례	25
	3. 기후변화를 고려한 국외 도로 건설 사례	37

<b>제4장</b>	<b>도로 건설사업의 온실가스 감축 부문 평가기법</b>	
	1. 탄소 저장·흡수를 고려한 도로설계	42
	2. 온실가스 감축 부문 평가기법	51
<b>제5장</b>	<b>도로 건설사업의 기후위기 적응 부문 평가기법</b>	
	1. 도로 건설사업의 주요 기후변화 리스크와 영향	71
	2. 기후위기 적응 부문 평가기법	76
<b>제6장</b>	<b>결론 및 정책 제언</b>	
	1. 결론	106
	2. 정책 제언	109
<b>참고문헌</b>		111
<b>부 록</b>	Ⅰ. 온실가스 감축 부문 기후변화영향평가 예시	119
	Ⅱ. 기후위기 적응 부문 기후변화영향평가 예시	151
	Ⅲ. 저탄소 녹색 도로를 위한 국외 정책 사례	170
<b>Executive Summary</b>		175

## ■ 표차례

표 1-1	기후변화영향평가제도 근거법	2
표 1-2	전략환경영향평가 대상 정책계획 중 기후변화영향평가 대상	3
표 1-3	전략환경영향평가 대상 개발기본계획 중 기후변화영향평가 대상	3
표 1-4	환경영향평가 대상사업 중 기후변화영향평가 대상	4
표 2-1	지형·지질 항목의 주요 검토사항	10
표 2-2	산악지 도로 선형 계획 시 자연 지형 조건 및 자연재해 부문 고려사항	14
표 2-3	도로 건설사업에 대한 입지 타당성 측면의 계획 요소	15
표 2-4	도로 건설사업의 길이별 공사·운영 시 온실가스 배출량	19
표 2-5	도로 건설사업의 길이별 온실가스 감축량	20
표 2-6	도로 건설사업의 환경영향평가서 내 공사 및 운영 시 온실가스 감축 대책	21
표 2-7	도로 건설사업의 온실가스 항목 관련 환경영향평가 협의 의견	21
표 3-1	캐나다의 환경영향평가 중 온실가스 및 기후변화 영향 고려사항	24
표 3-2	일본의 온실가스 항목 평가 단계별 고려사항	25
표 4-1	기능에 따른 도로설계 요소	43
표 4-2	형태에 따른 도로설계 요소	43
표 4-3	수종별 이산화탄소 흡수량	44
표 4-4	탄소흡수율이 높은 주요 수종의 환경적응성	44
표 4-5	지피식물의 연간 탄소 흡수량	45
표 4-6	지역 특성을 고려한 이산화탄소 흡수를 위한 적정 수종	46
표 4-7	중앙분리대 유형별 도로 중앙부 설계	47
표 4-8	도로변 인접 지역의 특성을 고려한 평지형 측면부 식재 가능 수종	49
표 4-9	경사형 측면부 유형	50
표 4-10	도로 건설사업 온실가스 현황분석 관련 참조 사이트	53
표 4-11	부문별 산정대상 온실가스	54
표 4-12	공사 시 온실가스 배출량 산정 부문	57
표 4-13	수송 부문 온실가스 배출량 산정식	57
표 4-14	운영 시 온실가스 배출량 산정 부문	58
표 4-15	도로 시설물별 온실가스 배출원단위	58
표 4-16	감축량 총괄표 예시	60
표 4-17	공종별 온실가스 감축 대책	60
표 4-18	공회전 금지에 따른 온실가스 감축률	61

표 4-19	순환골재 및 순환골재 재활용제품 의무 사용 용도 및 사용량	62
표 4-20	가로등 광원 비교	65
표 4-21	터널 조명 광원 비교	65
표 4-22	에너지 이용효율 향상설비 도입계획(안)	66
표 4-23	하이패스 및 스마트 톨링 개요	68
표 5-1	기후변화 시나리오(SSP)	78
표 5-2	자연재해 위험개선지구 등급 분류 기준	80
표 5-3	산사태 등급위험 기준	82
표 5-4	도로 건설사업의 주요 기후변화 리스크와 영향	85
표 5-5	도로 시설물, 입지 여건을 고려한 주요 기후변화 리스크와 영향	86
표 5-6	지형 조건과 자연재해를 고려한 도로 설계 사항	86
표 5-7	발생 가능성 척도 및 확률	87
표 5-8	폭염 대응 적응대책 예시	88
표 5-9	폭우, 호우 대응 적응대책 예시	89
표 5-10	한파, 폭설 대응 적응대책 예시	92
표 5-11	도로 내 특이 구간에 대한 제설 대책	94
표 5-12	안개 대응 적응대책 예시	95
표 5-13	강풍에 따른 도로표지 피해 유형 및 적응대책	96
표 5-14	비탈면 보강공법 특성과 적용 예시	98
표 5-15	비탈면 보호를 위한 식생 보호 공법 종류 및 특징	100
표 5-16	세굴 방지공법 비교	102
표 5-17	공종별 기후변화 관련 설계 요소	103



## ■ 그림차례

그림 1-1	탄소중립기본법의 체계 중 기후변화영향평가 .....	2
그림 1-2	연구수행 체계도 .....	8
그림 2-1	구간별 적정 배수시설 설치 .....	12
그림 2-2	자연재해 요소를 고려한 도로 선형계획 .....	15
그림 2-3	온실가스 항목 환경영향평가등 평가지침 개요 .....	17
그림 2-4	환경영향평가등의 작성 등에 관한 안내서 부록8 .....	18
그림 2-5	도로 길이에 따른 운영 시 온실가스 배출량 .....	19
그림 3-1	영국의 온실가스 항목 평가 범위 및 절차 .....	23
그림 3-2	US Highway101/Produce Avenue Interchange Project의 사업노선 .....	26
그림 3-3	US Highway101/Produce Avenue Interchange Project의 운영 시 온실가스 배출량 산정 결과 .....	27
그림 3-4	100년 빈도 폭풍으로 인한 US Highway101/Produce Avenue Interchange Project의 최대 침수 깊이 분석 결과 .....	28
그림 3-5	South Fresno State Route 99 Corridor Project의 사업노선 .....	29
그림 3-6	Bradford Bypass의 사업노선 .....	31
그림 3-7	Bradford Bypass의 운영 시 온실가스 배출량 산정 결과 .....	32
그림 3-8	NH 516E Paderu-Araku road 구간의 현황 .....	33
그림 3-9	NH 516E Paderu-Araku 구간 .....	33
그림 3-10	NH 516E Paderu-Araku road 사면 안정 대책 예시 .....	34
그림 3-11	NH-208 Khowai-Sabroom 구간 .....	35
그림 3-12	NH 516E Paderu-Araku road의 운영 시 온실가스 배출량 산정 결과 .....	36
그림 3-13	오리건주 태양열 고속도로 .....	38
그림 3-14	오스트레일리아 이스트링크 소개자료 .....	38
그림 3-15	그리스 아티카 톨웨이 .....	39
그림 3-16	오니고베 에코로드의 지형변화 최소화를 위한 터널과 교량 .....	40
그림 3-17	오니고베 에코로드의 동물 이동 경사로, 유도 펜스 .....	41
그림 3-18	E18 Green Highway의 Ahvenkoski 다리와 Markkinamaki 터널 .....	41
그림 4-1	도로 중앙분리대 유형 .....	47
그림 4-2	중앙분리대 수목 식재유형 .....	48
그림 4-3	평지형 측면부 식재유형 .....	49
그림 4-4	경사형 측면부 식재유형 .....	50

그림 4-5	온실가스 감축 부문 평가 절차	51
그림 4-6	온실가스 배출량 전망치 산정 절차	55
그림 4-7	온실가스 배출량 산정 방법	56
그림 4-8	휴게소 태양광 발전시설 적용 예시	63
그림 4-9	영업소 및 휴게소 지열 활용시설 적용 예시	63
그림 4-10	도시형 소형풍력 발전시설 적용 예시	64
그림 4-11	태양광 방음터널 설치 예시(동부간선도로)	64
그림 4-12	태양광 표지병, 태양광 안개 경보등 도입 예시	66
그림 4-13	건축물 에너지의 효율적 사용 방안	67
그림 4-14	지능형 교통 시스템 응용 사례	67
그림 4-15	수목 식재, 녹화 및 초지화 예시	69
그림 4-16	회전교차로 구성요소	69
그림 5-1	도로에 영향을 미치는 주요 기후변화 리스크	73
그림 5-2	기후변화 리스크의 복합적 영향으로 인한 싱크홀 발생	73
그림 5-3	폭우를 고려한 사면 보강, 노선 대안 검토 및 배수계획	74
그림 5-4	구포교, 송천교 붕괴 사례	75
그림 5-5	기후변화가 교량에 미치는 영향	75
그림 5-6	기후위기 적응 부문 평가 절차	77
그림 5-7	산사태 위험지도를 활용한 사업노선 산사태 위험성 분석 예시	82
그림 5-8	사업노선 배수구역 구분 예시	91
그림 5-9	강풍 대비 표지판	96
그림 5-10	강풍 발생 시 차량 운행 통제	96
그림 5-11	도로 동공 탐사 장비: 차량형 GPR	97
그림 5-12	비탈면 표준경사 기준	98
그림 5-13	비탈면 붕괴 경보시스템 설치	100
그림 5-14	산사태 방재 대책	101
그림 5-15	『제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023-2025)』 중 사회기반시설 관리 강화 부문	105



## ■ 약어

Caltrans	California Department of Transportation (캘리포니아 교통국)
EEA	European Environment Agency (유럽 환경청)
IEMA	Institute of Environmental Management and Assessment (환경관리 및 평가 연구소)
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (국토교통성, 일본)

# 제 1 장 서론

1. 연구의 필요성 및 목적
2. 연구 내용 및 수행체계

## 1. 연구의 필요성 및 목적

온실가스 감축을 통한 지구온난화의 완화, 지속가능성의 확보를 위해 세계 여러 국가는 포괄적 정책 방향으로 '탄소중립(Carbon Neutrality)'을 선언하였으며, 이를 위한 다양한 정책을 적극적으로 마련하여 추진하고 있다.<sup>1)</sup> 우리나라 역시 '장기저탄소발전전략'을 통해 '2050년 탄소중립 비전'을 선언하고 이를 법제화한 후 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(이하, 탄소중립기본법)을 제정하였다(2022년 9월 시행). 아울러 「탄소중립기본법」 제23조에 따라 전략환경영향평가 또는 환경영향평가 대상 정책, 개발사업 중 온실가스를 다량 배출하는 사업 등 대통령령으로 정하는 계획 및 개발사업에 대해 기후변화영향평가를 실시해야 하며(표 1-1 참조), 이는 국가 탄소중립 이행을 위한 주요한 제도적 수단 중 하나로 마련되었다(그림 1-1 참조). 기후변화영향평가는 해당 법에 정의된 바와 같이 기존 전략환경영향평가 또는 환경영향평가 대상 정책과 개발사업 중 온실가스를 다량 배출하거나, 기후변화로 인한 영향이 클 것으로 예상되는 정책·사업을 대상으로 실시되며, 제도의 운용 역시 기존 환경영향평가 협의 절차를 따르도록 규정하고 있다.<sup>2)</sup>

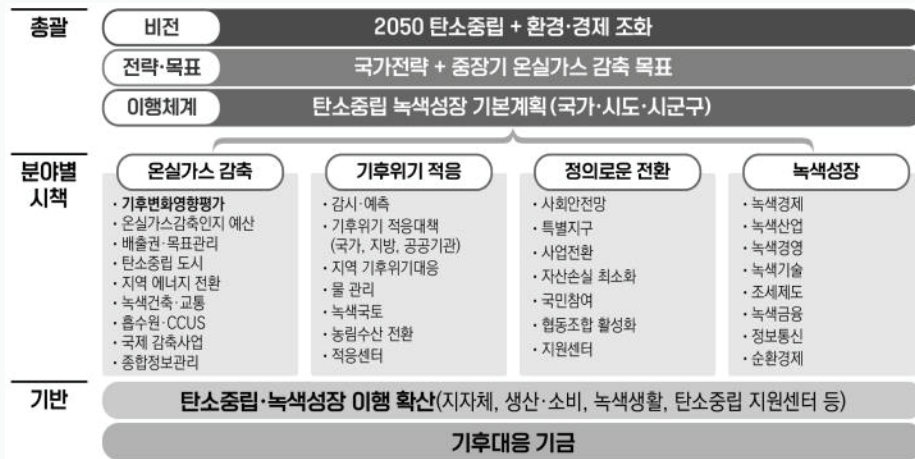
1) 최현진 외(2022), p.3.

2) 이영수 외(2023a), p.2.

**표 1-1** 기후변화영향평가제도 근거법

구분	「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제23조(기후변화영향평가)
조문	<p>① 관계 행정기관의 장 또는 「환경영향평가법」에 따른 환경영향평가 대상사업의 사업계획을 수립하거나 시행하는 사업자는 같은 법 제9조·제22조에 따른 전략환경영향평가 또는 환경영향평가의 대상이 되는 계획 및 개발사업 중 온실가스를 다량으로 배출하는 사업 등 대통령령으로 정하는 계획 및 개발사업에 대하여는 전략환경영향평가 또는 환경영향평가를 실시할 때, 소관 정책 또는 개발사업이 기후변화에 미치는 영향이나 기후변화로 인하여 받게 되는 영향에 대한 분석·평가(이하 “기후변화영향평가”라 한다)를 포함하여 실시하여야 한다.</p> <p>② 제1항에 따라 기후변화영향평가를 실시한 계획 및 개발사업에 대하여 관계 행정기관의 장 또는 사업자가 환경부장관에게 「환경영향평가법」 제16조·제27조에 따른 전략환경영향평가서 또는 환경영향평가서의 협의를 요청할 때에는 기후변화영향평가의 검토에 대한 협의를 같이 요청하여야 한다.</p>

자료: 국가법령정보센터, “기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법”.



자료: 탄소중립녹색성장위원회 보도자료(2022.3.22), p.8.

**그림 1-1** 탄소중립기본법의 체계 중 기후변화영향평가

「탄소중립기본법 시행령」 제15조 제1항에 따른 [별표 2]의 기후변화영향평가 대상 계획 및 개발사업은 전략환경영향평가 대상 정책계획 및 개발기본계획, 환경영향평가 대상사업에 따라 구분되며 각각 <표 1-2>, <표 1-3> 및 <표 1-4>와 같다.

표 1-2 전략환경영향평가 대상 정책계획 중 기후변화영향평가 대상

구분	법령	기후변화영향평가 대상 정책계획의 종류
가. 도로의 건설	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제1호 (다)목 2)	대도시권 광역교통기본계획
나. 수자원의 개발	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제1호 (라)목	물 재이용 기본계획
		대권역 물환경관리계획
		지하수 관리기본계획
		유역하수도 정비계획
		수자원 장기종합계획
다. 산지의 개발	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제1호 [(바)목 4는 제외한다]	수변구역 관리기본계획
		사방사업 기본계획
		산림기본계획
		산림문화·휴양기본계획
		전국임도 기본계획
라. 폐기물·분뇨·가축분뇨 처리시설의 설치	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제1호 (아)목	산림복지진흥계획
		자원순환 기본계획
마. 에너지 개발	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제1호 (자)목	가축분뇨 관리기본계획
		전력수급 기본계획

주: 「환경영향평가법」 제9조 제2항 제1호에 따른 전략환경영향평가 대상 정책계획 중 기후변화영향평가 대상.  
 자료: 국가법령정보센터, “환경영향평가법 시행령”.

표 1-3 전략환경영향평가 대상 개발기본계획 중 기후변화영향평가 대상

구분	법령	기후변화영향평가 대상 정책계획의 종류
가. 도시의 개발	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제2호 (가)목[면적이 100만 $m^2$ 이상인 경우만 해당하고, (가)목 1) 중 고속국도 건설공사는 제외한다]	국가 또는 지방자치단체가 타당성 조사를 실시하는 총공사비 500억 원 이상의 건설공사계획
		혁신도시개발예정지구의 지정
		도시·군 관리계획
		도시개발구역의 지정 및 개발계획
		재정비 촉진지구의 지정
나. 산업입지·산업단지 조성	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제2호 (나)목[면적이 50만 $m^2$ 이상인 경우만 해당하고, (나)목 7)은 제외한다]	재정비 촉진계획 등
		공장의 건축이 가능한 지역의 지정
		문화산업진흥지구의 지정
		국가산업단지의 지정
		일반산업단지의 지정
다. 에너지 개발	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제2호 (다)목	도시첨단산업단지의 지정
		농공단지의 지정 등
		전원개발사업 예정구역의 지정

표 1-3 계속

구분	법령	기후변화영향평가 대상 정책계획의 종류
라. 항만의 건설	1) 「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제2호 (라)목 5) 2) 「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제2호 (라)목 7)	항만 기본계획
		항만재개발 사업계획
마. 도로의 건설	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제2호 (마)목(마)목 1)과 2)는 도로의 길이가 12km 이상인 경우만 해당한다	도로 기본계획
		도로(고속국도는 제외한다)의 건설공사 계획
		도시교통정비 기본계획
바. 하천의 이용 및 개발	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제2호 (자)목(하천의 길이가 20km 이상인 경우만 해당한다)	소하천정비 종합계획
		하천 기본계획
사. 폐기물·분뇨·가축분뇨 처리시설의 설치	「환경영향평가법 시행령」 [별표 2] 제2호 (거)목	폐기물처리시설의 입지 선정
		공공폐수처리시설 기본계획

주: 「환경영향평가법」 제9조 제2항 제2호에 따른 전략환경영향평가 대상 개발기본계획 중 기후변화영향평가 대상.

자료: 국가법령정보센터, “환경영향평가법 시행령”.

표 1-4 환경영향평가 대상사업 중 기후변화영향평가 대상

구분	법령	기후변화영향평가 대상 개발사업의 종류
가. 도시의 개발사업	「환경영향평가법 시행령」 [별표 3] 제1호(면적이 100만m <sup>2</sup> 이상인 경우만 해당한다)	도시개발사업 또는 공공지원민간임대주택 공급촉진지구 조성사업
		정비사업(주거환경개선사업은 제외한다)
		도시·군계획시설사업 중 다음의 어느 하나에 해당하는 시설에 관한 사업
		1) 운하
		2) 유통업무설비
		3) 주차장시설
나. 산업입지 및 산업단지의 조성사업	「환경영향평가법 시행령」 [별표 3] 제2호(면적이 50만m <sup>2</sup> 이상인 경우만 해당하고, 같은 표 제2호 (가)목의 사업 중 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제2조제11호의 산업단지 재생사업은 제외한다)	주택건설사업 또는 대지조성사업
		택지개발사업 또는 공공주택지구조성사업
		공동집배송센터 조성사업 등
		산업단지 개발사업
		단지조성사업
		자유무역지역을 지정하는 경우
공장을 설립하는 경우		
도시개발사업 중 공업용지조성사업		
산업기술단지의 조성사업		

표 1-4 계속

구분	법령	기후변화영향평가 대상 개발사업의 종류
다. 에너지 개발사업	1) 「환경영향평가법 시행령」 [별표 3] 제3호 (가)목	해저광업 개발사업 중 에너지개발을 목적으로 하는 사업
	2) 「환경영향평가법 시행령」 [별표 3] 제3호 (나)목	광업 중 에너지개발을 목적으로 하는 광업으로서 채광면적이 30만제곱미터 이상인 사업
	3) 「환경영향평가법 시행령」 [별표 3] 제3호 (다)목 1) (「에너지법」에 따른 신·재생에너지와 「원자력 안전법」에 따른 원자력의 개발 사업은 제외한다)	전원개발사업 중 다음의 어느 하나에 해당하는 시설에 관한 사업 1) 발전시설용량이 1만 킬로와트 이상인 발전소
	4) 「환경영향평가법 시행령」 [별표 3] 제3호 (라)목 1) (「에너지법」에 따른 신·재생에너지와 「원자력 안전법」에 따른 원자력의 개발 사업은 제외한다)	전기설비 중 다음의 어느 하나에 해당하는 설비의 설치사업 1) 발전시설용량이 1만킬로와트 이상인 발전소
	5) 「환경영향평가법 시행령」 [별표 3] 제3호 (마)목	공급시설 중 발전시설용량이 1만킬로와트(공장용지 또는 산업용지 안에 설치하는 경우에는 3만킬로와트) 이상인 열발생설비의 설치사업
라. 도로의 건설사업	「환경영향평가법 시행령」 [별표 3] 제5호 (도로의 길이가 12km 이상인 경우만 해당한다)	도로의 건설사업
마. 공항 또는 비행장의 건설	「환경영향평가법 시행령」 [별표 3] 제8호	공항개발사업 또는 비행장개발사업 중 다음의 어느 하나에 해당하는 사업 1) 공항 또는 육상비행장의 신설 2) 길이가 500미터 이상인 활주로의 건설 3) 그 밖의 공항개발사업 또는 비행장개발사업으로서 사업면적이 20만제곱미터 이상인 것
바. 폐기물 처리시설· 분뇨 처리 시설 및 가축분뇨 처리 시설 의 설치	「환경영향평가법 시행령」 [별표 3] 제15호	폐기물처리시설 중 다음의 어느 하나에 해당하는 시설의 설치사업 1) 최종처분시설 중 매립시설로서 폐기물매립 시설의 조성면적이 30만제곱미터 이상이거나 매립용적이 330만 세제곱미터 이상인 것 2) 최종처분시설 중 매립시설로서 지정폐기물 처리 시설의 조성면적이 5만제곱미터 이상이거나 매립용적이 25만 세제곱미터 이상인 것 3) 중간처분시설 중 소각시설로서 처리능력이 1일 100톤 이상인 것 4) 시멘트 소성로[1일 시설규격(능력)이 100톤 이상인 시설로 한정한다]
		다음의 어느 하나에 해당하는 시설로서 처리용량이 1일 100톤 이상인 것 1) 분뇨처리시설 2) 처리시설 또는 공공처리시설 3) 폐기물처리시설 중 중간처분시설 또는 재활용 시설로서 음식물류 폐기물의 처리시설

※ 제1호 (가)목 및 (라)목, 제2호 (사)목 및 (마)목, 제3호 (라)목부터 (바)목까지의 규정은 2023년 9월 25일 이후 「환경영향평가법」 제11조 또는 제24조에 따라 평가준비서를 작성하는 경우부터 적용한다.

※ 기후변화영향평가 대상 개발기본계획 및 개발사업의 규모 산정에 필요한 사항은 환경부 장관이 정하여 고시한다.  
주: 「환경영향평가법」 제22조 제1항에 따른 환경영향평가 대상사업 중 기후변화영향평가 대상.

자료: 국가법령정보센터, “환경영향평가법 시행령”.

기후변화영향평가 대상 계획 및 사업 중 제도가 시행된 2022년 9월의 경우 수자원의 개발, 산지의 개발, 에너지 개발, 도시의 개발, 산업입지 및 산업단지 조성사업, 항만의 건설, 하천의 이용 및 개발이 평가 대상 계획·사업으로 우선 시행되었으며, 2023년 9월 도로의 건설과 폐기물 처리시설(분뇨처리시설 포함), 공항 건설이 신규 평가 대상으로 포함되었다.

한편 기후변화영향평가 제도와 관련한 법령과 규정이 비교적 최근 제정됨에 따라 제도의 취지에 부합할 수 있는 온실가스 감축, 탄소 저장 및 흡수원의 보전, 기후위기 적응방안 등을 위한 구체적인 평가 방법론은 현재로서는 미흡한 상황으로 볼 수 있다. 제도와 관련한 선행 연구를 살펴보면 이창훈 외(2022)가 수행한 ‘기후변화영향평가 관련 추진체계 마련 연구’는 기후변화영향평가 제도의 도입 필요성과 근거를 검토·마련하였으며, 온실가스 감축과 기후 위기 적응을 고려한 기후변화영향평가 대상 계획과 사업, 규모 등을 선정하였다. 그러나 사업의 유형과 특성 등을 고려한 구체적인 평가 방법론은 미제시되었다. 이영수 외(2023b)가 수행한 ‘기후변화영향평가 제도 도입을 위한 시범사업’ 연구는 기후변화영향평가 제도의 실효적 운영을 위한 세부 규정 마련, 대상 계획과 사업 전반에 걸쳐 통용 가능한 평가 방법 안내서의 발간, 시범사업 추진을 통한 산업단지 개발사업의 시범평가서를 마련하였다. 그러나 이 연구 역시 산업단지를 제외한 타 대상 계획과 사업의 특성을 고려한 구체적인 평가기법 등은 다루지 못한 한계가 일부 있다.

현재 기후변화영향평가와 관련된 다수의 이해관계자가 활용 가능한 자료에는 이영수 외(2023b)의 선행연구를 통해 마련된 ‘기후변화영향평가 등에 관한 안내서’, ‘협의기관 검토 기관 고려사항’, ‘오송 제3생명과학 국가산업단지 조성사업 기후변화영향평가서 시범사업 보고서’가 있다. 그러나 2023년 9월 평가 대상에 포함된 도로의 건설과 폐기물 처리시설(분뇨 처리시설 포함), 공항 건설에 대한 평가기법과 안내서, 지침 등을 포함한 활용 가능 자료는 부재한 상황이다. 특히 도로 건설은 대표적 선행사업으로 도시의 개발, 산업입지 및 산업단지 조성사업과 같은 면적 개발사업과 비교하여 공사 및 운영 시의 특성과 야기되는 환경영향, 온실가스 감축과 기후위기 적응을 위해 고려해야 하는 요소가 상이할 수 있다. 기후변화영향평가 대상 사업의 규모 특성(길이 12km 이상)상 계획된 도로의 노선 내 양호한 탄소 저장 및 흡수원의 분포 지역이 저축되거나 포함될 개연성이 크고, 기후위기 적응 측면에서 도로 건설로 발생이 예상되는 사면의 안정성 저하 및 취약성, 터널과 교량에 대한 기후 특성(특히 홍수)을 고려한 적응방안 등을 면밀하게 검토하여 마련할 필요가 있다. 또한 도로 건설 후 가장 주요한 온실가스 배출원인 차량 운영을 온실가스 감축을 목적으로 제한 또는 조정하는 것은 실질적 한계가 있다. 이에 노선의 특성과 도로 외 시설(터널, 휴게시설 등) 조성계획을 고려하여 온실가스 감축을 최대화할 수 있는 적절한 방안과 기법의 마련이 필요하다.

본 연구에서는 그간 선행연구를 통해 마련된 기후변화영향평가의 평가기법과 연계하여 평가

대상에 신규 포함된 도로 건설사업의 특성을 고려한 기후변화영향평가 기법을 마련하고자 하였다. 특히 도로 건설의 특성을 고려한 공사 및 운영 시 기후변화영향평가 방법론을 정립하고자 하였으며, 사업에 대한 실효적인 온실가스 감축 및 기후위기 적응방안을 제안하고자 하였다. 이를 통해 도로 건설사업의 추진 시 기후변화를 고려한 강화된 온실가스 감축과 기후위기 적응방안의 수립을 유도할 수 있을 것이며, 신규 평가대상 사업의 평가 방법을 마련하여 기후변화영향평가 제도 운용의 실효성을 제고할 수 있을 것이다. 아울러 제도와 관련된 다수 이해관계자의 업무 수행 시 효과적인 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 연구 내용 및 수행체계

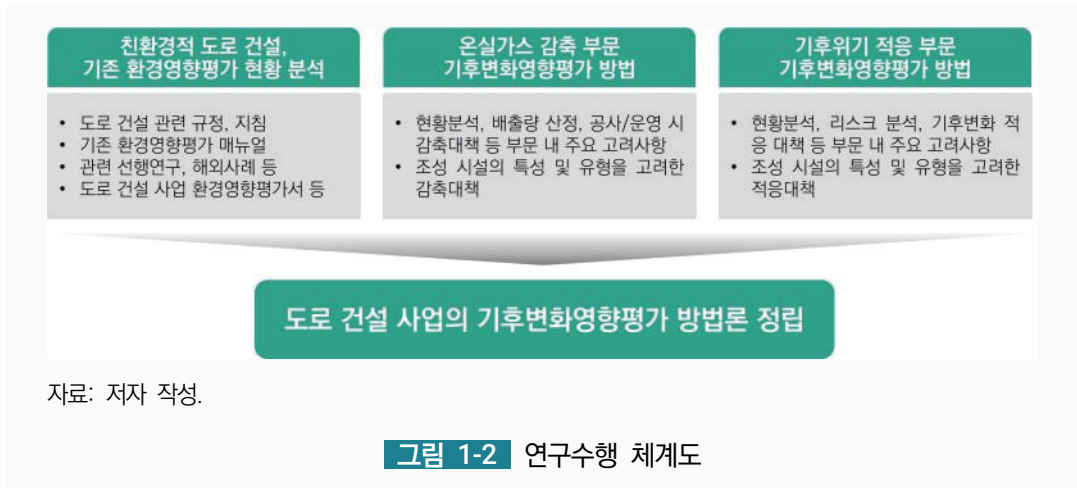
본 연구는 도로 건설사업의 개발 특성을 반영한 공사 및 운영 시 기후변화영향평가 방법론을 정립하고, 효과적인 온실가스 감축 및 기후위기 적응방안을 제안하고자 한다. 특히 기후변화영향평가 내 온실가스 감축과 기후위기 적응 부문별 구체적인 평가기법 마련이 목적이므로, 환경영향평가 중 기후변화영향평가 시 방법론의 마련을 주요 내용으로 연구를 수행하였다.<sup>3)</sup> 이에 대한 세부 내용 및 추진체계는 다음과 같다(그림 1-2 참조).

- 제1장은 서론으로 연구의 배경 및 필요성, 목적과 구성, 내용을 담고 있다.
- 제2장은 친환경적 도로 건설을 위한 기존 지침 및 선행연구, 도로 건설사업과 관련한 환경영향평가 매뉴얼 등을 조사·분석하여 기후변화영향평가 시 적용할 수 있는 주요 사항들을 도출하였다. 또한 도로 건설사업에 대한 기존 환경영향평가 시 온실가스 항목의 작성 현황 및 내용, 주요 협의 의견을 파악하였다.
- 제3장은 도로 건설사업의 기후변화 관련 국외 평가현황 및 사례 등을 분석하였다. 특히 본 연구에서는 실제 도로 건설사업에 관한 환경영향평가서 사례를 중점적으로 분석하여, 국내 기후변화영향평가 시 온실가스 감축과 기후위기 적응 부문에 도입할 수 있는 사안들을 파악하였다.
- 제4장은 도로 건설사업에 대한 기후변화영향평가 시 온실가스 감축 부문에 대한 평가 기법을 마련하고자 하였다. 도로 건설사업의 주요한 온실가스 감축 수단인 탄소 저장·흡수원의 조성방안을 고찰하였으며, 현황분석-배출량 산정-감축목표 수립-감축 대책 수립으로 이루어진 기후변화영향평가의 구성에서 요소별 주요 고려사항과 평가 방법을 마련·제안하였다.
- 제5장은 도로 건설사업에 대한 기후변화영향평가 시 기후위기 적응 부문에 대한 평가 기법을 마련하고자 하였다. 도로 건설에서 주요하게 고려할 기후변화 리스크와 이에

3) 전략환경영향평가 중 기후변화영향평가 기법은 본 연구에서 제외하였음.

다른 영향을 살펴보았으며, 현황분석-취약성 평가-적응대책 수립으로 이루어진 기후 변화영향평가의 구성에서 요소별 주요 고려사항과 평가 방법을 마련·제안하였다.

- 제6장은 연구의 결론과 정책 제언 사항을 기술하였다.
- 부록에는 연구를 통해 마련된 도로 건설사업의 기후변화영향평가서 작성 방법·내용에 관한 표준(안) 및 예시와 도로·수송 부문의 기후변화 대응을 위한 국외 정책 사례를 수록하였다.



# 제 2 장

## 친환경적 도로 건설 기법 및 환경영향평가 현황

1. 친환경적 도로 건설 기법
2. 도로 건설사업의 환경영향평가 현황

### 1. 친환경적 도로 건설 기법

도로 건설사업은 전 국토에 걸쳐 네트워크를 형성하는 대표적 선형사업으로 도시 개발, 산업 단지와 같은 면적 개발사업과는 차별화된 사업 특성을 갖는다.<sup>4)</sup> 그간 도로 건설사업은 도로의 기능과 교통 안전성 확보, 건설비용의 최소화와 같은 경제적인 논리가 우선시되고, 환경의 훼손을 최소화하기 위한 노력은 상대적으로 부족했던 것이 현실이라 할 수 있다. 도로 건설 사업은 자연환경과 생활환경 모두에 상당한 영향을 미치는 사업이므로, 지역의 환경용량 등을 고려하여 환경친화적으로 추진할 필요가 있다.<sup>5)</sup> 아울러 당면한 기후변화, 극한 기후의 발생 빈도 증가와 맞물려 도로 건설사업은 이를 함께 고려하여 추진·설계·시공될 필요가 있다. 본 절에서는 친환경적 도로 건설과 해당 기법 마련을 위한 선행연구, 관련 지침 사례를 조사·분석하여 기후변화영향평가 시 적용할 수 있는 사항들을 도출하고자 한다.

#### 가. 환경친화적인 도로건설 지침(환경부·국토교통부, 2015.8)

환경친화적인 도로 건설을 위해 도로 설계자, 관련 행정기관 등이 계획·설계·시공 시 활용할 수 있고 현장에 적용할 수 있는 도로 노선 선정방안과 항목별 도로설계기법을 제시하고자 마련되었다. 항목별 도로설계기법은 다양한 검토 요소 중 도로 사업과 관련한 10개 주요

4) 최준규 외(2016), p.3.

5) 건설교통부(2003), p.1-1.

평가항목에 대하여 환경훼손 저감방안에 대한 설계기법을 제시하였으며, 이를 회피, 완화로 구분하였다. 10개의 평가항목은 ① 지형·지질, ② 동·식물상, ③ 수리·수문, ④ 토지이용, ⑤ 대기질, ⑥ 수질, ⑦ 토양, ⑧ 폐기물, ⑨ 소음·진동, ⑩ 위락·경관을 선정하였다. 본 연구에서는 이 중 기후변화영향평가와 상대적으로 관련성이 높은 것으로 판단되는 지형·지질, 동·식물상, 수리·수문 항목에 대하여 중점적으로 살펴보고자 한다.

### 1) 지형·지질

지형·지질 항목의 환경영향평가 시 기본 방향은 물리적 측면에서 지형·지질의 변화, 도로 건설에 따라 발생할 수 있는 지반침하와 오염물질 유출 가능성 등의 환경적 영향을 함께 고려하는 것이다. 지형·지질 항목에서 도로 노선 선정 시 주요 검토사항은 다음과 같다.

**표 2-1** 지형·지질 항목의 주요 검토사항

구 분	주요 내용
보전 가치가 있는 지형·지질 유산의 보전	• 보전 가치가 있는 지형·지질 존재 여부 파악
지역의 특이한 지형 형상 (습지, 해안선, 계곡 등)	• 희소성, 특이성을 갖는 지역의 지형 형상
지반 안정성	• 계획노선의 영향범위 내 광산, 갱도 등으로 인한 붕괴 위험성 • 지진 현황, 지반균열 지역, 지반침하 지역, 지하공동 지역
대규모 지형 변화를 가져오는 땅깍기, 흙쌓기 최소화	• 비탈면 붕괴를 일으킬 수 있는 장대비탈면 형성 최소화

자료: 국가법령정보센터, “환경친화적인 도로건설 지침”.

이 중 지반 안정성 검토 및 장대 비탈면 형성 최소화와 관련된 사안은 기후변화영향평가 수행 시에도 충분히 고려되어야 할 것으로 판단된다. 특히 기후변화영향평가의 경우 폭우, 산사태 등의 극한 기후와 재해를 가정하여 평가가 수행되므로, 더욱 보수적인 여건을 고려하여 해당 내용을 평가하고, 적절한 저감방안 및 적응대책을 수립하는 것이 필요하다. 동 지침에서 제시하는 지형 훼손에 대한 주요 저감방안으로는 노선의 일부 조정, 종단경사의 조정 등을 통한 터널이나 교량의 적용, 옹벽 등 구조물 설치를 검토하도록 하고 있다. 특히 땅깍기 및 편측 비탈면의 높이·연장이 일정 수준 이상인 경우 터널을 설치하도록 명시하고 있으며, 장대 비탈면 발생이 불가피한 경우에는 지질재해 측면에서 안정성 검토를 수행하고, 피암터널, 방호벽 등의 적절한 대책을 수립하도록 요구하고 있다. 아울러 비탈면 붕괴와 강우 시 토사 유출의 방지를 위한 비탈면 안정 대책 수립, 토질조사 결과에 근거한 연약지반 처리대책을 도로설계 시 고려하도록 제시하고 있다.

### 2) 동·식물상

선형사업인 도로 건설은 한 지점의 변화량이 많지 않더라도 결과적으로 동물의 생활과 행동

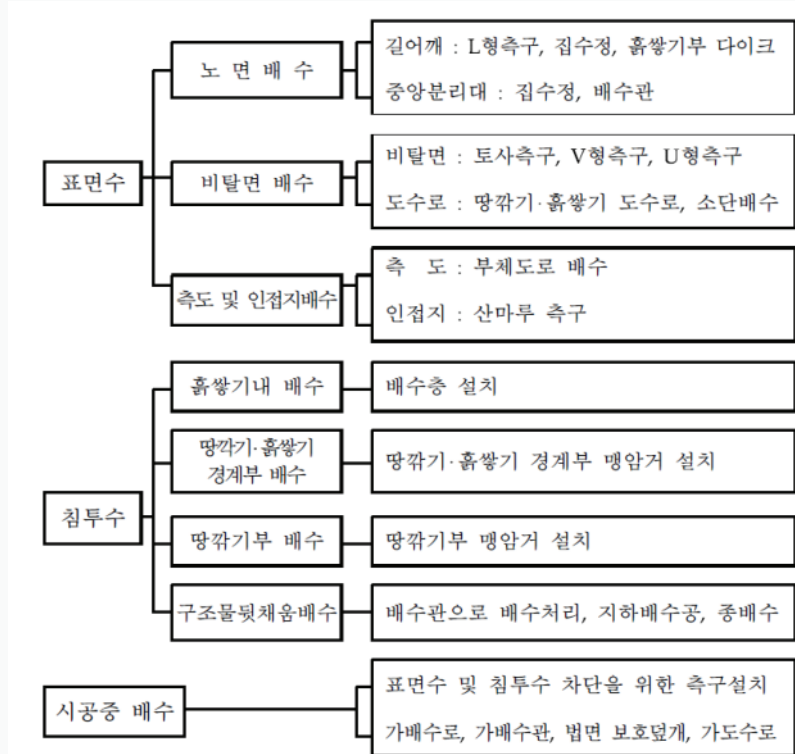
권을 축소하는 사례가 발생한다. 특히 이동 범위가 비교적 넓은 중형 이상 포유동물은 낮은 흙쌓기가 연속된 구조를 횡단하기 위해 도로에 침입하지 않고서는 이동이 어려우므로, 노선 계획 초기 단계부터 이를 고려하는 것이 바람직하다. 동 지침에서는 이를 고려한 설계기법으로 자연생태계 보전지역 회피 및 녹지축 보존, 생태통로, 동물 침입 방지시설, 도로변 조명시설 및 반사기 설치 등의 영향 완화, 훼손된 수목 재활용, 식생제거지 복원, 도로변 대체서식지 조성 등의 방안을 명시하고 있다.

녹지축의 보전을 위한 주요 방안으로는 대절토 및 고성토 발생 최소화, 우회가 어려운 지역에 대한 터널화·교량화 등이 있다. 이 중 습지대 통과구간의 경우 습지대 내 교각을 세우는 것은 되도록 피하도록 제시하고 있다. 식생제거지는 비탈면의 토사유출, 비탈면 붕괴, 암석의 붕괴, 표면침식 등으로 안정성을 잃을 수 있으므로, 지역의 지형·지질 특성, 비탈면의 식생 상태, 토지이용 현황, 기상 특성 등을 토대로 적절한 방법으로 복원하도록 하고 있으며, 도로 건설에 따라 발생하는 교차로, 터널 입·출구 등의 여유 공간을 대상으로 대체서식지를 조성하도록 요구하고 있다. 이 중 식생제거지 복원은 기후변화영향평가 수행 과정에서도 충분히 고려할 사항으로 볼 수 있다. 특히 비탈면의 붕괴를 사전 예방할 수 있도록 지형·지질 항목과 연계하여 비탈면 발생을 최소화할 수 있는 노선계획을 수립하되 불가피한 경우 적절한 복원 계획을 시행하는 것이 필요하다.

### 3) 수리·수문

도로 건설사업은 하천을 횡단하거나 하천 또는 호소에 인접하여 건설되는 경우가 빈번하다. 특히 노선이 하천에 인접한 경우 자연재해를 당하거나 재해 유발위험에 노출될 수 있으므로, 수리·수문 측면의 부정적 영향을 사전에 파악하고 사업계획 초기부터 이를 고려하여야 한다. 동 지침에서는 수리·수문 측면의 부정적 영향을 완화하기 위한 저감방안으로 수로 차단에 대한 대책, 하천 이설 시 자연형 하천 공법 적용, 침수 방지를 위한 노면배수 대책 수립을 제시하고 있다.

이 중 기후변화영향평가와 상대적으로 연관성이 큰 것으로 판단되는 수로 차단에 대한 대책과 노면배수 대책을 살펴보면, 우선 수로 차단 대책의 경우 수로의 본래 기능이 훼손되지 않도록 충분한 규모의 배수시설을 설치하되 교량 등을 계획할 때는 재해 영향과 친환경성을 함께 고려하도록 명시하고 있다. 노면배수 대책은 강우 시 노면의 원활한 배수를 위해 표면수 침투 배수 대책을 수립하고 배수시설을 설치하도록 제시하고 있다. 도시지역, 개발예정지역 등에서의 도로 건설 시에는 우수 유출 저감을 위한 침투시설물을 적극적으로 활용하는 것이 바람직하며, 시공 및 공용 중 도로 시설물에 영향이 없도록 배수를 원활하게 하기 위한 관련 배수 시설물의 누락이 없도록 구간별 기능을 고려하여 적정 위치에 설치하도록 적시되어 있다.



자료: 환경부, 국토교통부(2015.8), p.30.

**그림 2-1** 구간별 적정 배수시설 설치

## 나. 국도의 노선계획·설계지침(국토해양부, 2012.2)

동 지침은 국도의 노선을 계획할 때 국도가 적정한 간선 기능을 갖도록 노선 선정 기준과 그에 따른 도로의 기하구조, 교차 형식 등 세부 시설 기준에 관한 사항을 정함을 목적으로 한다. 지침의 적용기준은 국도의 신설 및 확장, 읍·면급 우회도로, 국도 대체 우회도로 등 국도 건설에 대한 일반적인 설계에 적용한다. 동 지침은 국도의 노선계획 시 고려해야 할 16개의 사항을 제시하고 있다. 이 중 기후변화영향평가와 관련성이 큰 것으로 확인되는 사항은 다음과 같다.<sup>6)</sup>

01. 계획노선은 도로정비기본계획 등 국가 및 지역 차원의 도로 사업계획과의 연계성, 교통용량, 교통 특성, 도로 간 간격 등을 면밀히 분석하여 그 노선의 기능을 먼저 설정한 다음 지역 및 지형 여건 등을 고려하여 선정한다.
10. 계획노선은 '환경친화적인 도로건설 지침'에 따라 자연환경과 조화되며 환경훼손이 최소화되도록 선정하고 땅깎기랑 및 흙쌓기랑이 지나치게 많은 구간은 평면 또는 종단 선형을 분리하거나 교량 및 터널 등으로 처리하는 등 환경을 고려한 도로를 계획한다.

<sup>6)</sup> 국토해양부(2012.2), pp.1-21.

다만 보조기능을 갖는 국도 III·IV등급은 현지 자연 지형을 최대한 이용하여 노선을 선정함으로써 높은 흙쌓기, 높은 땅깍기를 최소화하는 환경친화적인 설계가 되도록 하여야 한다.

15. 계획노선은 과거 홍수 이력 등을 면밀히 조사하여 홍수 발생 시 도로 침수를 예방할 수 있는 노선으로 계획한다.

아울러 지침은 도로와 함께 조성되는 기타 시설에 대해서도 계획 시 참조 사항을 제시하고 있다. 이 중 토공 계획 부문은 땅깍기 높이가 높고 비탈면의 지반 조건이 불리한 지역에 대해서 장기적 안정성이 확보되도록 비탈면 안정성을 검토하도록 명시하고 있으며, 우수에 따른 비탈면 침식 예방을 위한 월류 방지대책, 적정 규모의 도수로를 계획하도록 제시하고 있다. 아울러 연약지반에 대해서는 사전에 지반조사와 현장 및 실내시험을 시행하여 연약지반에 대한 정확한 설계 정수를 확보하여야 함을 명시하고 있다. 배수시설 부문은 수문조사 내용과 기존 배수 구조물에 대한 조사자료를 기초로 집중호우에 대비한 충분한 통수단면을 확보하여 홍수 시에도 안전한 규격으로 계획하도록 규정하고 있다. 교량공에 대해서는 세굴 영향을 분석하고 하천정비기본계획을 검토하여 세굴방지 대책을 마련하고 기초위치, 기초깊이, 세굴반경 등을 계획하여야 함을 제시하고 있다. 특히 수해에 대비하여 하천 횡단 교량은 하천기본계획 등 관련 계획과 계획홍수량 및 지역 여건 등을 고려하여 우수 소통에 지장이 없도록 경간장 및 교각 형태 등을 결정하여야 한다. 아울러 하천의 만곡부에는 수충력, 홍수 위와 세굴을 검토하여 홍수에 의한 도로 침식, 세굴, 월류 등을 방지할 수 있는 방호시설과 도로 계획고를 계획하여야 한다.

동 지침을 살펴본 결과 지형, 수리·수문 측면의 다양한 검토사항을 계획·설계 시 고려하도록 제시하고 있음을 알 수 있다. 지침에서는 특히 교량에 대하여 홍수 시 안정성 확보, 세굴, 침식 등을 방지할 수 있는 관련 계획수립을 요구하고 있는바, 해당 사안은 도로 건설사업의 기후변화영향평가 시 교량 설치가 계획되어 있는 경우 면밀한 검토가 필요한 내용이다.

#### 다. 수해 예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼(건설교통부, 2007.7)

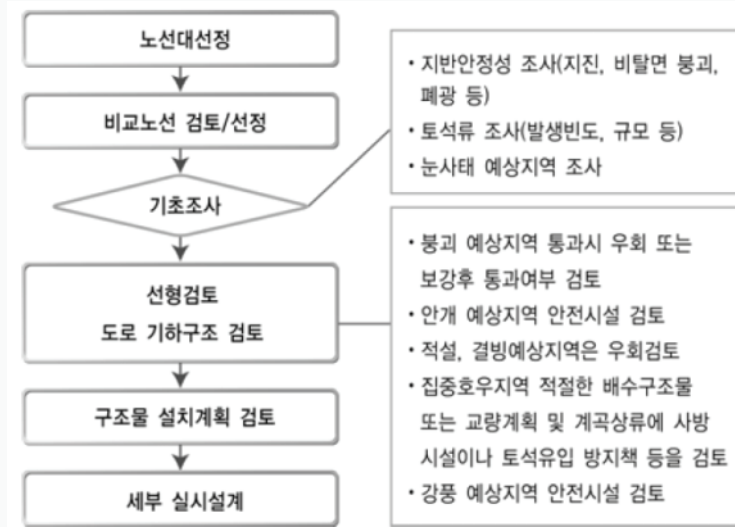
산악지 구간에 도로를 신설하거나 개량하는 도로설계에 관한 사항을 기술함으로써, 산악지의 도로 기능을 원활히 유지하여 이용자의 편의를 도모하고 수해를 대비한 도로를 조성하고자 마련되었다. 산악지 도로의 특성과 집중호우에 따른 도로 피해 유형, 산악지 도로 계획 및 조사 시 고려사항, 산악지의 도로 선형 설계기준, 자연재해 요소를 고려한 선형계획, 비탈면에 대한 설계 및 안전대책 방안, 산악지 도로 배수, 교량·터널 설계 시 고려사항 등을 담고 있다. 매뉴얼에 제시된 산악지 도로 선형계획 시 제약 요소 및 고려사항 중 자연 지형 조건과 자연재해 부문의 고려·설계 시 반영사항은 다음과 같다.

**표 2-2 산악지 도로 선형 계획 시 자연 지형 조건 및 자연재해 부문 고려사항**

선형 제약 요소		주요 고려사항	선형 설계 반영사항
자연 지형 조건	• 산 또는 산마루	• 산마루 통과 위치 • 터널 편도압	• 터널 통과 또는 우회 절취 통과
	• 대규모 비탈면	• 한쪽 깎기, 한쪽 쌓기 • 편측 비탈면 높이, 편도압	• 터널 및 토공 통과 • 피암터널 계획
	• 하천(호수, 소류지)	• 교량 가설 지점 결정	• 하천에 영향을 최소화할 수 있는 교량 위치 선정
	• 협소하고 좁은 계곡	• 좁은 계곡 통과 위치 • 계곡 횡단 위치 • 분리 선형	• 어떤 계곡 및 어떤 쪽의 비탈면을 통과할 것인지 판단 • 구조물 및 토공 통과
자연 재해	• 붕괴지역	• 대규모 및 부분적 슬라이딩이 생기는 지대	• 좁은 장소에서 횡단 • 우회 또는 보강 후 통과
	• 적설지역	• 폭설, 결빙 지역	• 제설 작업을 고려한 선형계획
	• 안개(다무) 지대	• 안개 다발 지역	• 시거 확보 및 안전시설을 고려한 선형계획
	• 결빙	• 일조량, 편경사 검토	• 결빙 예방을 고려한 선형계획
	• 집중호우	• 과거 집중호우 피해 분석	• 집중호우에 대비해 하폭, 배수시설 설치계획을 고려한 선형계획 • 토석류 및 유송잡물 차단을 고려한 선형계획
	• 바람	• 최근 기상 조사자료 및 방풍벽 설치	• 안전시설을 고려한 선형계획

자료: 건설교통부(2007.7), p.34.

산악지 도로는 폭설 또는 호우로 인한 붕괴 등 여러 자연재해로 인한 도로의 교통중절과 정체로 인한 시간 손실, 물류 지연 등에 따른 사회적·경제적인 간접적 손실이 매우 클 수 있다. 이에 따라 매뉴얼은 도로 건설 시 선형계획 단계에서부터 자연재해의 영향과 안전시설 설치를 고려한 선형계획을 시행하도록 명시하고 있다.



자료: 건설교통부(2007.7), p.50.

**그림 2-2** 자연재해 요소를 고려한 도로 선형계획

### 라. 친환경 계획기법 개발연구(II)(최준규 외, 2016)

본 연구는 도로 건설계획 수립 시 친환경적 계획기법을 개발하기 위한 목적으로 수행되었으며, 계획 요소 도출과 사례 분석, 적용기법 개발의 세 부문으로 구성되어 있다. 도로 건설사업에 대한 기존 법과 행정규칙, 전략환경영향평가 사업에 대한 전문기관 검토의견, 그 외 연구 결과, 전문가 자문 의견 등을 종합적으로 고려하여 연구의 결과물을 도출하였으며, 계획 요소의 적용기법은 전략환경영향평가의 핵심적 기능이 대안의 설정 및 평가를 중심으로 개발되었다. 이 중 본 연구에서 제시한 도로 건설사업의 입지 타당성 측면의 계획 요소는 다음과 같다.

**표 2-3** 도로 건설사업에 대한 입지 타당성 측면의 계획 요소

평가항목	주요 내용	
자연 환경의 보전	생물다양성 서식지 보전	<ul style="list-style-type: none"> <li>생태계보전지역, 습지보전지역, 야생생물보호지역 등 환경·생태 보전 관련 각종 용도지역</li> <li>생태·자연도 1등급, 국토환경성평가 1등급 등 생태적 보전가치가 높은 지역</li> <li>법정보호종(멸종위기 야생동식물, 철새 등) 및 서식지역</li> <li>식생보전등급 1, 2등급 등 식생우수지역</li> <li>생태적으로 보전가치가 높은 자연자원(조간대, 사구, 하구언, 갯벌, 습지, 하천, 호소 등)</li> <li>생태 네트워크 보전</li> </ul>

표 2-3 계속

평가항목		주요 내용
자연 환경의 보전	지형 및 생태축의 보전	• 학술적·문화적·자연적 보전가치가 있는 특이지형 및 지질유산
		• 백두대간·정맥 등 주요 산줄기
		• 생태축·산림녹지축을 형성하고 있는 지역
		• 야생 동식물의 주요 이동로(능선, 계곡 등)
		• 광산, 산사태위험지역 등 지질재해 우려 지역
	• 연속적인 절토로 인한 과도한 지형훼손 우려 지역	
주변 자연경관에 미치는 영향	• 생태계 보전지역, 자연공원, 경관지구 등 경관 보전 관련 용도 지역	
	• 지역을 대표하는 수려한 경관, 특색 있는 자연경관 지역	
	• 생태·자연도 1등급(G) 등 보전가치가 있는 경관자원(해안, 사구, 사빈, 계곡, 호소 등)	
	• 사적, 명승 등 역사·문화적 가치가 있는 지역 및 건축물	
수환경의 보전	• 대규모 절토와 성토로 인한 심각한 경관 부조화 및 조망 차단 우려 지역	
	• 상수원보호구역, 특별대책지역, 수변구역 등 각종 수환경 관련 보호 지역	
	• 주거시설, 교육시설, 요양시설 등에 대한 대기질 환경기준	
생활 환경의 안정성	생활 환경의 안정성	• 주거시설, 교육시설, 축사 등의 정온시설에 대한 소음진동 환경기준
	사회경제환경과의 조화성	• 생활권 단절 방지 및 연결성 확보
• 농업진흥지역 등 우량 농경지의 편입 최소화		
• 계획노선 관련 주민과 관련 기관 등의 의견 수렴		

자료: 최준규 외(2016), pp.43-44.

본 절에서는 기존 친환경적 도로 건설과 관련된 3건의 정부 지침과 1건의 선행연구를 조사·분석하여 기후변화영향평가 시 적용 가능한 사항을 검토하였다. 지침과 연구 결과에서는 공통으로 도로 건설사업에서 주로 고려되어야 할 환경적 요소로 지형·지질과 수리·수문 항목을 언급하고 있음을 확인하였다. 지형·지질 항목은 지형에 순응하는 노선계획을 우선하여 수립하되, 불가피한 지형 훼손과 장대 비탈면 발생에 대해서는 터널 등을 통해 최소화하도록 요구하고 있다. 아울러 사면과 지반의 안정성에 대한 사전 조사와 면밀한 검토가 필요하며, 해당 결과를 토대로 안정성 확보, 비탈면 녹화 등을 위한 적절한 대책을 수립해야 함을 명시하고 있다. 수리·수문 항목의 경우 사업노선이 하천에 인접하는 경우 자연재해를 당하거나 재해 유발위험에 노출될 수 있으므로, 수리·수문 측면의 부정적 영향을 사전에 파악하고 사업계획 초기부터 이를 고려할 것을 명시하고 있다. 특히 교량 설치계획이 포함된 도로 건설사업은 홍수 시 안정성 확보, 세굴·침식 등을 방지할 수 있는 관련 계획수립이 필요함을 제시하고 있다. 이러한 내용은 기후변화영향평가 수행 시에도 충분히 검토되어야 할 것으로 판단된다. 특히 기후변화영향평가의 경우 폭우, 산사태 등의 극한 기후와 재해를 가정하여

평가가 수행되므로, 더욱 보수적인 여건을 고려하여 관련 내용을 검토하고, 적절한 저감방안 및 적응대책을 수립하는 것이 필요하다.

## 2. 도로 건설사업의 환경영향평가 현황

### 가. 환경영향평가 제도 내 온실가스 항목 평가

#### 1) 온실가스 항목 환경영향평가등 평가지침

우리나라는 「환경영향평가법」 시행령 개정(2008.12.31)을 통해 2011년 1월 1일부터 환경영향평가 항목에 온실가스를 신규 추가하였다. 2011년 제정, 2015년 개정되어 현재까지 운용 중인 환경부 ‘온실가스 항목 환경영향평가등 지침’은 온실가스 항목의 환경영향평가 기본원칙, 온실가스 항목 평가 여부 결정, 현황분석-배출량 산정-저감목표 설정-저감방안 수립-사후환경영향조사계획 수립의 부문별 평가 방법, 배출량 산정 방법, 저감대책 수립 시 고려사항 등을 제공하고 있다.

#### 〈온실가스 항목 환경영향평가등 평가지침〉

- 기본원칙: 온실가스 환경평가를 실시하는 사업자는 **온실가스 배출 영향을 평가**하고, 이를 **최소화**할 수 있는 방안을 적극 강구, 온실가스 환경평가 시 사업시행에 따른 배출량, 감축목표, 저감방안에 따른 감축효과 등은 **가급적 정량적으로 제시**, 배출량 등 산정을 위한 **방법론, 인용자료, 참고문헌** 등 환경평가 시 활용한 자료는 그 출처를 **명확히** 제시
- 온실가스 항목 평가 여부 결정: 온실가스 환경평가 대상사업(“이하 권고사업”)을 참고하여 **환경영향평가협의회에서 논의 결정**함, 권고사업에 대한 평가준비서에는 **온실가스 항목에 대한 평가 여부, 평가범위·방법** 등을 **제시**하여야 함. 사업자는 **환경영향평가협의회에서 제시된 의견을 반영**하여 전략환경영향평가서 및 환경영향평가서를 작성하여야 함
- 온실가스 영향예측 및 평가: 환경영향평가서 작성은 현황 조사, 온실가스 배출량 영향 예측, 저감 목표 설정, 저감방안 수립의 내용을 포함함
- 사후관리계획 수립: 평가협의 이후 사업자는 협의내용 이행시기, 이행주체, 감축효과 모니터링 등에 관한 구체적인 이행계획을 제출하고, 협의기관은 이행 시기별 조치 내용을 주기적으로 점검하여야 함

자료: 이창훈 외(2022), p.20을 활용하여 저자 작성.

#### 그림 2-3 온실가스 항목 환경영향평가등 평가지침 개요

## 2) 환경영향평가등의 작성 등에 관한 안내서 부록8

환경부의 2022년 발간물인 ‘환경영향평가등의 작성 등에 관한 안내서’의 부록8은 환경영향평가의 온실가스 항목에 대한 표준 가이드라인을 제공하고 있다. 이는 환경영향평가 대상 사업 중 온실가스 배출이 상대적으로 큰 5개 유형의 사업(개발·점·선·면)에 따라 구분하였으며, 사업에 따른 현황조사 방법 및 내용, 공사 및 운영 시 배출량 산정 방법, 공사 및 운영 시 저감방안, 사후환경영향조사계획 수립 방법을 제시하고 있다. 아울러 사업별 실질적인 평가 예시를 수록하여 평가서 작성자가 좀 더 손쉽게 온실가스 항목의 평가를 수행할 수 있도록 하였다.



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2022.5.20), “환경영향평가서등의 작성 등에 관한 안내서”, 검색일: 2024.7.15를 활용하여 저자 작성.

그림 2-4 환경영향평가등의 작성 등에 관한 안내서 부록8

현재까지 협의가 이루어지고 있는 환경영향평가서 내 온실가스 항목은 위에 서술한 지침과 안내서를 토대로 작성되고 있다. 그러나 동 자료의 발간 시기가 2015년과 2022년임을 고려할 때, 배출량 산정식 및 배출계수, 가용한 온실가스 감축 대책 등에 대한 최신화가 필요한 것으로 보인다. 아울러 도로 건설사업의 특성을 고려한 공사 및 운영 시 온실가스 감축 대책의 추가적인 도출과 더불어 기후변화영향평가에서 새롭게 도입된 기후위기 적응 부문에 대한 평가기법의 마련이 필요한 것으로 판단된다.

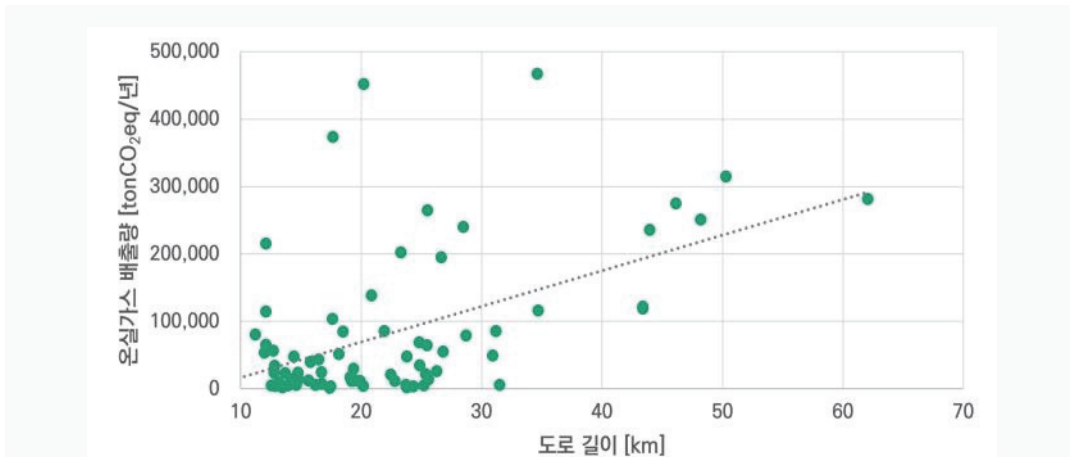
### 나. 도로 건설사업의 온실가스 항목 평가현황

본 연구에서는 2011~2023년 ‘환경영향평가정보지원시스템(EIASS)’ 내 등록된 도로 건설사업의 환경영향평가서 본안 중 기후변화영향평가 대상(길이 12km 이상)에 해당하는 74건의 사업에 대한 환경영향평가서의 온실가스 항목 작성 현황을 분석하였다. 분석대상 항목으로는 도로 길이에 따른 공사 및 운영 시 온실가스 배출량, 감축 대책 수립 내용과 이에 따른 감축률,

7) 산업단지, 도시 개발, 도로 건설, 폐기물 처리시설(소각, 매립), 에너지(LNG 발전시설).

온실가스 항목에 대한 환경영향평가 협의 의견 등을 포함한다.

〈그림 2-5〉는 도로 길이에 따른 운영 시 온실가스 배출량 산정 결과를 나타내며, 〈표 2-4〉는 도로 길이별 공사 및 운영 시 배출량을 세부적으로 구분하여 나타낸 결과이다. 도로 길이가 늘어날수록 온실가스 배출량은 대체로 증가하는 경향을 보인다(그림 2-5 참조). 도로 건설 사업의 운영 시 온실가스 배출은 크게 차량 운행에 따른 배출과 휴게소·IC 등의 부대시설 운영에 따른 배출로 구분할 수 있으며, 대부분 차량 운행에 따른 배출로 예상할 수 있다. 이를 확인하고자 운영 시 총 온실가스 배출량 대비 차량 운행에 따른 배출량의 비율을 살펴 보았다. 그 결과 도로 건설사업의 경우 총 온실가스 배출량 대비 차량 운행에 따른 온실가스 배출량의 비율은 평균 90.33%로 대부분 차량 운행에 따른 배출로 나타났다.



자료: 저자 작성.

**그림 2-5** 도로 길이에 따른 운영 시 온실가스 배출량

**표 2-4** 도로 건설사업의 길이별 공사·운영 시 온실가스 배출량

(단위: 톤CO<sub>2</sub>eq/년)

길이(km)	공사 시 배출량	운영 시 배출량	차량 운행 배출량	차량 운행 배출량 / 총배출량 (%)
12~20	23,754	40,518	30,360	74.93
20~30	105,380	89,022	76,609	86.06
30~40	409,672	144,995	140,143	96.65
40~50	399,040	200,642	195,787	97.58
50~	360,803	298,243	287,640	96.44
평균	259,730	154,684	146,108	90.33

자료: 저자 작성.

이는 도로 건설사업에 대한 온실가스 감축 대책 수립이 매우 제한적임을 의미하는 결과로 볼 수 있다. 현실적으로 온실가스의 감축을 위해 배출 부문 중 가장 큰 부분을 차지하는

차량 운행을 제한하거나, 개별 사업 단위에서 전기차·수소차와 같은 친환경 차량을 운행하도록 유도하는 것은 불가능하기 때문이다. <표 2-5>는 도로 건설사업의 운영 시 온실가스 감축 대책을 고려한 평균 감축률과 수목 식재를 통한 탄소 저장·흡수량, 비율 등을 정리하여 나타낸 결과이다. 도로 건설사업의 운영 시 온실가스 평균 감축률은 불과 약 2.2%이며, 해당 감축률의 약 86%는 수목 식재를 통한 탄소·저장·흡수를 통해 이루어지고 있음을 알 수 있다. 즉 도로 건설사업 시 온실가스를 감축하기 위해서는 차량 통행 외 배출원인 휴게소, IC 등의 부대시설 운영 과정에서 배출이 예상되는 온실가스를 더욱 적극적으로 감축하는 것이 필요하다. 더불어 사업노선의 선정·설계 시 양호한 탄소 저장·흡수원의 훼손을 최소화하고, 가용한 토지를 대상으로 수목 식재 및 녹지조성을 확대하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

**표 2-5** 도로 건설사업의 길이별 온실가스 감축량

(단위: 톤CO<sub>2</sub>eq/연)

길이 (km)	수목 식재를 통한 탄소 저장·흡수량	운영 시 온실가스 감축량	운영 시 온실가스 감축률 (%)	총 감축량 중 수목식재를 통한 감축량의 비율 (%)
12~20	1,605	1,991	6.56	53.49
20~30	881	881	1.15	100.00
30~40	139	139	0.10	100.00
40~50	1,025	1,308	0.67	78.34
50~	7,165	7,165	2.49	100.00
평균	2,055	2,297	2.19	86.37

자료: 저자 작성.

<표 2-6>은 앞서 언급한 74건의 도로 건설사업 환경영향평가서의 온실가스 항목 내 수립·제시된 공사 및 운영 시 감축 대책을 도출하여 목록화한 결과이다. 다수의 개별 평가서는 아래 제시된 감축 대책 중 일부를 평가서 내에 제시하고 있다. 공사 시의 경우 크게 공중 계획, 건설장비 운용, 근로자 및 현장사무소의 관리 측면에서 온실가스 감축 대책을 제시하고 있음을 알 수 있다. 운영 시의 경우 사업노선의 계획에 따라 일부 차이가 있음을 확인하였다. 예를 들어 사업노선 내 터널이나 휴게소의 조성이 계획된 경우 터널 관리사무소·휴게소의 운영 시 신재생에너지를 사용하여 온실가스를 감축하는 대책을 수립·제시하거나, 고속도의 하이패스 시스템 설치 등을 수립·제시하였다. 도로의 길이 또는 부대시설의 유·무와 관계없이 공통으로 적용이 가능한 감축 대책으로는 탄소흡수·저장 능력이 우수한 수목을 식재하거나, 에너지 효율이 우수한 LED 조명을 가로등으로 활용하는 등의 대책 수립을 들 수 있다.

<표 2-7>은 도로 건설사업에 대한 환경영향평가 협의 의견 중 온실가스 항목과 관련된 내용을 발췌하여 정리하였다. 대부분의 협의 의견은 제시된 공사 및 운영 시 온실가스 감축 대책을 적정히 이행하도록 요구하고 있으며, 일부 의견의 경우 사후환경영향조사를 통해 감축 효과를

확인할 것을 제시하고 있다. 단, 도로의 길이나 유형 등에 따른 경향성이나 사업별 일관성 등은 찾기 어려웠으며, 온실가스 항목에 대한 협의 의견 자체가 제시되지 않은 사례 역시 다수인 것으로 확인되었다.

**표 2-6** 도로 건설사업의 환경영향평가서 내 공사 및 운영 시 온실가스 감축 대책

공사 시 감축 대책	운영 시 감축 대책
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공회전 금지, 건설기계 대형화, 최신장비 사용</li> <li>• 자동화 및 정보화를 통한 1일 시공량 증가</li> <li>• 자재 운반 및 적재 효율화</li> <li>• 효율적인 건설장비 사용, 시공 방법으로 에너지 사용 저감</li> <li>• 저탄소 재료 사용, 공중별 저감방안 수립</li> <li>• 건설장비 에너지 절약 교육, 운행 교육</li> <li>• 건설폐기물, 공사 시 폐기물 저감 및 재활용</li> <li>• 토사, 암석 등 현장 발생 재료 재사용</li> <li>• 공사 시 저감목표 설정</li> <li>• 순환골재 의무 사용량 준수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 훼손 수목 이식, 녹지대 조성</li> <li>• 탄소흡수·저장 능력이 우수한 수목 식재</li> <li>• 에너지 고효율 시설 설치(LED)</li> <li>• 신재생에너지 사용 시설 설치(휴게소 등)</li> <li>• 스마트 톨링(하이패스) 시스템 설치</li> <li>• 지능형 교통시스템 설치(교차로 신호체계 등)</li> <li>• 터널 관리사무소 태양열 급탕 설비 설치</li> <li>• 에너지 절약형 기기 설치</li> <li>• 자체 발광표지판, 터널 진입 유도등 및 터널 내부 LED 설치</li> </ul>

자료: 저자 작성.

**표 2-7** 도로 건설사업의 온실가스 항목 관련 환경영향평가 협의 의견

길이 (km)	등록 건수	유형	협의 의견 개진 건수	주요 협의 의견
12~20	39	고속도로 7건, 국도 32건	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로변, 교차로 등 녹지공간 확보,</li> <li>• 온실가스 감축목표 설정</li> <li>• 지능형 교통 시스템 및 고효율 에너지 제품 설치</li> <li>• 탄소흡수·저장 능력이 우수한 수목 식재, 훼손 수목 나무은행에 기증</li> <li>• 바이오차(폐도복원지역) 사용, 사후환경영향조사 시 훼손 수목 정이식 확인</li> </ul>
20~30	23	고속도로 13건, 국도 10건	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공사 시 공회전 금지, 저탄소 자재 및 친환경 인증제품 사용</li> <li>• 공중별 구체적인 감축대책 수립, 운영 시 교통 효율화 방안 수립</li> <li>• 휴게시설 등 신재생에너지 사용, 에너지 소비 저감 대책 수립</li> <li>• 도로변, 교차로 등 녹지공간 확보</li> <li>• 정온 시설 주변 수목 식재</li> <li>• 지능형 교통 시스템 설치</li> </ul>
30~40	5	고속도로 4건, 국도 1건	-	-
40~50	5	고속도로 5건	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공사 시 에너지 사용 저감</li> <li>• 저탄소 재료 및 친환경 인증제품 사용</li> <li>• 사후환경영향조사를 통한 감축 효과 확인</li> </ul>
50~	2	고속도로 2건	-	-

자료: 저자 작성.

# 제3장

## 도로 건설사업의 기후변화 관련 국외 평가 및 사례

1. 기후변화를 고려한 국외 평가제도
2. 도로 건설사업의 국외 환경영향평가 사례
3. 기후변화를 고려한 국외 도로 건설 사례

### 1. 기후변화를 고려한 국외 평가제도

영국, 캐나다, 미국, 일본 등 주요 선진국들 기후변화 완화를 고려하여 실시한 평가제도와 그 배경, 법적 근거 등에 대한 구체적인 조사 및 분석은 이창훈 외(2022)와 이영수 외(2023b)의 선행연구를 통해 수행된 바 있다. 이에 본 연구에서는 해당 연구 결과물의 내용 중 국외의 온실가스 항목의 평가 방법과 고려사항 등을 간략히 발췌·기술하고자 한다.

#### 가. 영국

영국의 온실가스 관련 환경영향평가 절차 및 방법은 IEMA(Institute of Environmental Management and Assessment)의 2017년, 2022년 발간물인 ‘Environmental Impact Assessment Guide to: Assessing Greenhouse Gas Emissions and Evaluating their Significance’에서 세부적으로 소개하고 있으며, 평가 절차는 ① Screening ② EIA scoping ③ GHG emission assessment ④ Significance & Mitigation ⑤ Communication & Reporting 단계로 구성되어 있다. 온실가스 배출량에 대한 영향 예측 시 범위는 아래와 같이 규정한다.<sup>8)</sup>

- 시간적 범위: 베이스라인(기준 배출량), 공사 및 운영 시, 해체 시

8) 이창훈 외(2022), p.25.

- 공간적 범위: 대상 사업지역, 대상 사업으로 인한 영향 예상 지역
- 배출량 산정범위: 직접배출 / 간접배출 / 내재탄소(Embodied carbon)
- 배출량 산정식: GHG emission factor × Activation data = Emission or Removal

배출량 예측 결과를 바탕으로 온실가스 감축을 위해 탄소발자국(Carbon footprint)을 활용하여 저감목표 및 대책을 마련하며, 탄소발자국은 다음의 식을 통해 산정한다.

- 탄소발자국 배출량: Activity data × Emission factor × Global warming potential



## 나. 캐나다

캐나다는 Federal-Provincial-Territorial Committee(연방-주-지방 위원회)에 의해 환경영향평가에 기후변화 관련 고려사항을 포함하도록 2003년 ‘Incorporating Climate Change Considerations in Environmental Assessment: General Guidance for Practitioners’라는 지침을 마련하였다. 주요 대상 사업으로는 에너지(수력, 화력, 원자력,

풍력, 태양광, 지력 등)와 광산개발(각종 광물, Oil sand 등), 어업개발, 산업단지 개발, 도로 건설사업이 이에 해당한다. 단, 이는 확정이 아니며 개별 사업에 대한 스코핑 과정을 통해 항목을 선정한다. 온실가스 항목은 기존 대기질 항목이 관련법에 근거한 기준으로 배출농도를 절대평가하는 것과 달리, 더 나은 대안 또는 기술(기법)을 마련·적용하기 위하여 상대평가의 개념으로 운영된다. 온실가스 항목의 평가 절차는 ① 온실가스 고려사항을 위한 예비 스코핑(Preliminary Scoping for GHG Considerations) ② 온실가스 고려사항의 파악(Identify GHG Considerations) ③ 온실가스 고려사항 평가(Assess GHG Considerations) ④ 온실가스 관리계획 수립(GHG Management Plans) ⑤ 모니터링, follow-up, 적응 관리(Monitoring, Follow-Up and Adaptive Management)로 이루어져 있다.<sup>9)</sup>

**표 3-1** 캐나다의 환경영향평가 중 온실가스 및 기후변화 영향 고려사항

절차	온실가스 고려 (사업에서 온실가스가 배출되는 경우)	기후변화 영향 고려 (기후변화가 영향을 미치는 경우)
스코핑	• 온실가스 배출 고려사항을 위한 예비 스코핑	• 기후변화 영향 요소에 대한 예비 스코핑
온실가스 고려사항 파악	• 동종산업 기준 배출량 확인 • 사업의 특성 파악	• 지역의 기후 및 환경조건 파악
온실가스 고려사항 평가	• 직간접 온실가스 배출량 평가 • 탄소 저장고 평가	• 사업에 미치는 영향평가 • 공공·환경에 미치는 위험도 평가
저감/적응대책 수립	• 온실가스 관리계획 수립 (법제적, 사업의 특성 고려)	• 영향 관리계획 수립 (사업의 특성 고려)
모니터링 및 적응 관리	• 모니터링, 후속 조치, 적응 관리	• 모니터링, 후속 조치, 적응 관리

자료: 이창훈 외(2022), p.30.

## 다. 일본

일본은 1997년 「환경영향평가법」에 따라 온실가스 항목을 도입·운영하고 있으나, 중앙정부 차원의 구체적인 기술지침 또는 가이드라인은 없다. 온실가스 항목의 주요 평가 대상 사업은 발전소와 에너지 사용이 많은 사업이나, 평가항목은 미리 선정되는 것이 아니며, 스코핑 과정이나 필요에 따라 선정된다. 또한 온실가스 배출량, 에너지 사용량에 대해 에너지 저감 정도에 따라 평가를 수행한다. 도로 사업의 경우 온실가스 배출량 산정대상으로 가정하며, 직접 배출(건설기계 가동, 자동차 주행에 따른 연료 소비에 의한 배출)과 간접 배출(건설기계 가동과 도로 유지관리에 필요한 전기 사용에 의한 배출)을 고려한다.<sup>10)</sup>

9) 이창훈 외(2022), p.30.

10) 이창훈 외(2022), pp.34-35.

표 3-2 일본의 온실가스 항목 평가 단계별 고려사항

구 분	주요 내용
기본적인 사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>개발 면적의 최소화를 도모하고 있는가</li> <li>시설의 규모, 배치와 구조는 적정한가, 과도하지 않은가(자원절약 측면)</li> <li>교통량의 유발과 집중을 억제하고 있는가</li> <li>다른 환경요소도 포함하여 종합적 관점에서 환경부하를 억제하는가</li> </ul>
공사 관련 사전적 고려	<ul style="list-style-type: none"> <li>수목의 벌채는 최소 한도인가</li> <li>건설기계, 공사 차량 등이 환경부하가 낮은 것이 선정되었는가</li> <li>환경부하의 낮은 공법이 사용되고 있는가</li> <li>토량 밸런스는 확보되고 있는가</li> <li>단계적인 건설이 바람직한가</li> </ul>
공간 측면의 사전적 고려	<ul style="list-style-type: none"> <li>시설의 장기 수명화를 고려하고 있는가</li> <li>재이용이 용이한 자재, 재생 자재가 사용되고 있는가</li> <li>시설의 해체철거 시의 분리자원화를 고려하고 있는가</li> <li>충분한 녹지나 오픈 스페이스를 확보하고 있는가</li> </ul>
평가 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>온실가스의 배출량 또는 에너지 사용량 산출</li> <li>환경보전을 위한 조치내용별로 평가지표에 따른 영향 및 타당성 평가</li> </ul>
공용 관련 고려	<ul style="list-style-type: none"> <li>사용하는 에너지 기기는 환경부하가 낮은 것이 선정되었는가(효율이 좋은 에너지 시스템의 도입, 자연 에너지의 활용, 재생에너지의 활용 등)</li> <li>시설의 운용관리에 환경부하가 낮은 방법이 채용되고 있는가(사용연료의 선택, 온도·통풍·조명·엘리베이터 등의 제어 등)</li> <li>자동차 이용의 억제, 저공해차의 도입이 고려되고 있는가</li> <li>폐기물의 발생 억제자원화가 고려되고 있는가</li> </ul>

자료: 이창훈 외(2022), p.35.

## 2. 도로 건설사업의 국외 환경영향평가 사례

본 절에서는 실제 도로 건설사업에 대한 국외 환경영향평가서 내 온실가스, 기후변화에 대한 평가서 작성 내용과 평가 방법 등을 분석하여, 국내 기후변화영향평가 시 도입·적용이 가능한 사항들을 살펴보고자 한다.

### 가. US Highway101/Produce Avenue Interchange Project (미국, 캘리포니아)

#### 1) 사업개요

본 사업은 미국 캘리포니아주 San Mateo 카운티 South San Francisco시 내 US101의 21.3~21.7마일 구간을 대상으로 US101을 가로지르는 추가 동-서 방향 연결로를 건설하는 사업이다. US101 동쪽 지역의 고용 증가 전망에 따른 교통량 수용, 기존 동-서 연결로를 이용하는 차량 외 교통수단이 이용할 수 있도록 추진되었다. 본 사업은 도심 내에 추진되는 사업으로 주거시설과 상업시설이 인근에 고루 분포하고 있다.



자료: Caltrans(2022), p.1-6.

**그림 3-2** US Highway101/Produce Avenue Interchange Project의 사업노선

## 2) 평가항목

본 사업의 환경영향평가 항목으로는 토지이용, 사회환경(사업 시행에 따른 이주, 토지 매입 등), 환경정의, 교통 및 운송, 경관 및 도시 외관, 수리·수문, 수질 및 폭우 유출, 지질·토양·지진, 폐기물, 대기질, 소음, 에너지, 동·식물, 기후변화 등 총 27개 항목에 대한 평가가 이루어졌다. 이 중 기후변화 항목의 경우 사업 시행으로 인한 온실가스 배출 특성과 기후위기 적응 부문을 모두 다루었으며, 기후위기 적응은 해수면 상승과 홍수·폭풍, 산불을 주요 내용으로 평가하였다. 아울러 수리·수문, 지질 등 기후위기 적응 부문과 밀접한 연관이 있는 타 항목에서 관련 내용을 일부 다루었으나, 국내와 같이 극한 기후 현상의 발생은 고려하지 않은 것으로 조사되었다.

수리·수문 항목 내 도심지역에 위치한 사업노선의 특성상 본 사업이 중대한 홍수 범람을 유발하지는 않을 것으로 평가하였으며, 본 사업으로 인해 불투수층이 증가하더라도 큰 영향은 없을 것으로 예상하였다. 아울러, 지질 항목의 경우 사업지역에서 지반침하, 토양 액상화 등 일부 잠재적인 지질 위험이 확인됨에 따라 이를 도로의 설계 및 건설 과정에서 충분히 고려하여 사업을 시행할 것을 명시하고 있다.

## 3) 기후변화 항목 평가

평가서 내 기후변화 항목의 경우 온실가스 감축과 기후위기 적응 부문을 모두 평가하고 있다. 온실가스 감축의 경우 우선 수송 부문의 온실가스 배출을 감축하기 위한 연방 및 주 정부의 관련 정책을 검토하였으며, 미국 환경보호청(EPA)에서 제공하고 있는 국가 온실가스 인벤토리, 캘리포니아주의 온실가스 인벤토리를 기술하고 있다. 특히 수송 부문에 대한 온실가스

배출량을 중점적으로 작성하였으며, 이러한 내용은 국내 기후변화영향평가 작성 지침과 유사한 것으로 확인된다. 온실가스 배출량 산정은 공사 시와 운영 시로 구분하고 있으며, 모두 특정 모델을 활용하여 배출량을 산정하였다. 공사 시의 경우 RCEM(Road Construction Emissions Model)을 활용하였고, 이는 도로 건설 프로젝트의 공사 시 대기오염물질 및 온실가스 배출량을 추정하기 위한 엑셀 기반의 스프레드시트로서 SMAQMD (Sacramento Metropolitan Air Quality Management District)에 의해 개발 및 유지관리되고 있다. 운영 시의 경우 사업 시행 유·무로 구분하여 개통연도(2025년), 목표연도(2040년), 설계연도(2045년)의 교통량을 각각 구분하여 온실가스 배출량을 산정·제시하고 있다. 운영 시 온실가스 배출량은 Caltrans CT-EMFAC2017 모델을 활용하였다. 이 모델은 캘리포니아 교통국(Caltrans)이 개발한 것으로 도로의 교통량에 따른 대기오염물질 및 온실가스 배출량을 추정한다. 공사 시와 운영 시 모두 모델링 결과에 따른 배출량 값을 간략히 명시하고 있으며, 이는 배출 부문별로 활용되는 배출계수, 산정식 등 배출량 산정 시 일련의 과정을 모두 평가서에 작성하는 국내의 방식과는 상이한 것으로 판단된다.

	2020 Existing	2025 No Build	2025 Build	2040 No Build	2040 Build	2045 No Build	2045 Build
Daily VMT	1,117,915	1,127,743	1,126,771	1,157,225	1,156,578	1,167,053	1,166,514
CO <sub>2</sub>	135,925	121,718	121,376	109,098	108,760	109,015	108,666

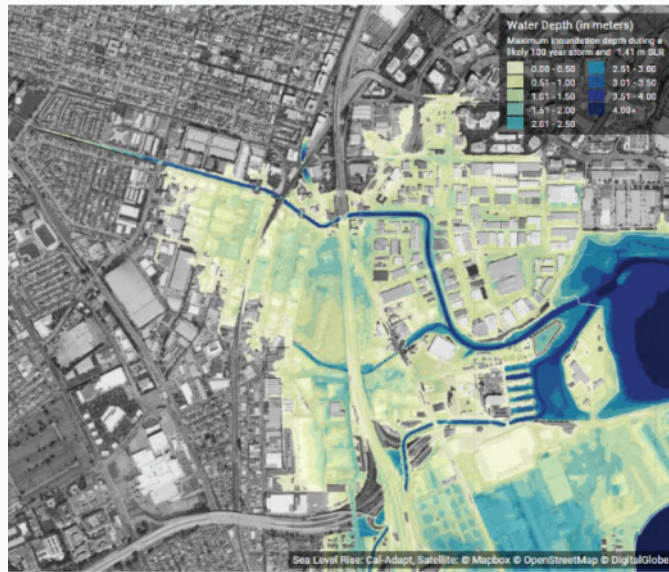
자료: Caltrans(2022), p.3-49.

**그림 3-3** US Highway101/Produce Avenue Interchange Project의 운영 시 온실가스 배출량 산정 결과

사업 시행에 따른 온실가스 감축 대책은 연방 및 주 정부의 온실가스 감축 전략 외 당해 사업에 대한 감축 대책으로 건설 시 관련 규정 준수(공회전 제한 등)를 정성적이며 간략하게 기술하고 있는 것으로 확인되었다.

기후위기 적응 부문 역시 온실가스 감축 부문과 유사하게 연방 및 주 정부의 기후위기 적응 관련 정책을 검토하였으며, 사업 시행 주체인 캘리포니아 교통국의 기후위기 적응 관련 주요 업무를 평가서에 수록하였다. 본 사업의 기후변화 리스크는 해수면 상승과 홍수·폭풍, 산불을 다루고 있다. 해수면 상승은 캘리포니아 내 해안지역이 분포함에 따라 이를 고려한 것으로 기술하고 있으나, 해안지역 외에 위치한 사업노선의 특성상 큰 영향은 없을 것으로 예상하고 있다. 단 사업노선과 연결되는 타 도로의 경우 해일, 해수면 상승 등에 취약할 수 있어 이에 따른 간접적 영향을 기술하고 있으나, 매우 개략적으로 명시하고 있다. 홍수·폭풍의 경우 비교적 구체적인 평가를 수행한 것으로 판단된다. 이는 사업노선이 Colma Creek 범람원과 인접해 있고, 사업노선 일부가 100년 빈도 홍수에 의해 침수될 수 있는 지역에 포함되기

때문으로 확인된다. 특히 사업노선과 인접한 US101은 기후변화에 따른 장래 폭풍과 해일에 취약한 것으로 평가하고 있으며, 홍수에 따른 교량의 세굴과 침식 등이 위험 요인으로 작용할 수 있음을 기술하고 있다. 산불은 도심지역에 위치한 사업노선의 입지 여건상 우려 사항이 아닌 것으로 간략히 명시하고 있다. 이와 같은 리스크 평가 결과를 토대로 국내의 경우 적절한 적응대책을 수립하도록 요구하고 있으나, 본 평가서는 적응대책에 관한 내용은 제시하지 않았다. 단, 현실적으로 본 사업은 평가된 기후변화 리스크와 관련하여 사업 위치 변경, 사업을 시행하지 않는 것 외에는 적절한 적응대책을 도출하기 어려울 것으로 판단된다.



자료: Caltrans(2022), p.3-56.

**그림 3-4** 100년 빈도 폭풍으로 인한 US Highway101/Produce Avenue Interchange Project의 최대 침수 깊이 분석 결과

## 나. South Fresno State Route 99 Corridor Project(미국, 캘리포니아)

### 1) 사업개요

캘리포니아주 프레스노시의 남부지역과 프레스노 카운티에 위치한 American avenue와 North Avenue의 기존 인터체인지를 확장·개선하고, 현재의 캘리포니아 교통국의 설계 기준에 부합하도록 재건설하여 해당 지역의 교통환경을 개선하기 위한 사업이다. 해당 인터체인지는 1965년 건설되어 관련 시설 및 도로포장이 노후화되었으며, 각 방향당 1차로씩만 도로가 개설되어 현재의 교통량을 수용하기 매우 어려운 실정이다. 아울러 진출입로가 매우 제한적이어서 차량이 지방도로로 우회하는 사례가 다수 발생하고, 대형트럭의 통행이 어려워 시급한 개선이 필요해 보인다.



자료: Caltrans(2023), p.4.

**그림 3-5** South Fresno State Route 99 Corridor Project의 사업노선

## 2) 평가항목

본 사업의 환경영향평가 항목은 토지이용, 사회환경(사업 시행에 따른 사업체 및 주택 이주), 도시 경관, 폐기물, 교통·운송, 대기질, 동물종, 기후변화 등 총 11개 항목에 대한 평가가 이루어졌다. 기존 노후 시설을 새롭게 개선하는 사업이므로 수질 및 수리·수문, 지형·지질, 토양, 식물상 등 자연환경 측면의 항목들은 다수 제외된 것으로 판단된다. 동물종의 경우 이동성 조류와 박쥐에 미치는 영향의 검토가 이루어졌다. 기후변화 항목의 경우 온실가스 감축과 기후위기 적응 부문을 모두 평가하고 있는 것으로 확인되었다.

## 3) 기후변화 항목 평가

기후변화 항목은 온실가스 감축과 기후위기 적응 부문을 모두 평가하고 있다. 온실가스 감축은 앞 절의 평가서와 마찬가지로 수송 부문의 온실가스 감축을 위한 연방 및 주 정부의 관련 정책을 검토하였으며, 국가 및 캘리포니아의 온실가스 인벤토리(배출원 및 배출량)를 서술하였다. 아울러 프레스노시 차원의 지역 단위 수송 부문의 온실가스 감축 계획을 작성하였다. 온실가스 배출량 산정은 공사 시와 운영 시로 구분하고 있으며, 모두 특정 모델링 기법을 활용하여 산정하였다. 공사 시의 경우 캘리포니아 교통국에서 개발한 CALCET(Caltrans Construction Emissions Tool)을 활용하였으며, 이는 공사 시 발생하는 대기오염물질 및 온실가스 배출량을 산정하는 모델이다. 해당 모델은 캘리포니아 교통국에서 시행하는 도로 건설사업에 특화된 모델로서 캘리포니아의 지역적 조건과 주의 정책 및 규제 사항을 반영한

것이 특징이다. 운영 시는 사업 시행의 유·무에 따라 American Avenue와 North Avenue를 구분하여 2019년, 2026년 2046년의 예상 교통량에 따른 온실가스 배출량을 산정하였으며, Caltrans CT-EMFAC2017을 활용하였다. 본 평가서 역시 모델링 결과에 따른 배출량 값을 간략히 명시하고 있다. 온실가스 감축대책은 비교적 다양한 방안을 제시하고 있다. 온실가스 감축과 관련한 캘리포니아 교통국의 규정을 준수하는 것 외에도 조경, 지능형 교통 시스템 설치, 공사 중 공회전 제한, 폐기물 처리 및 재활용, 고효율 LED 조명 설치 등 도로 건설사업에 적용할 수 있는 다양한 온실가스 감축 대책을 수립·제시하고 있는 것으로 확인된다. 아울러 정성적이나마 인터체인지의 현대화에 따른 교통량 분산과 교통 흐름 개선 등에 따른 온실가스 감축 효과를 기술하고 있는 것이 특징이라 볼 수 있다.

기후위기 적응 부문에서도 연방 및 주 정부의 기후위기 적응 관련 정책을 검토하였으며, 캘리포니아 교통국의 기후위기 적응 관련 주요 업무를 기술하였다. 본 사업에 대한 기후변화 리스크로는 해수면 상승, 홍수, 산불을 선정하였다. 해수면 상승 관련 리스크의 경우 사업 지역이 해안지역 외부에 위치하므로 직접적 영향은 없을 것으로 예상하고 있으며, 산불 역시 도심지역에 위치한 특성을 고려하여 특별한 영향은 없을 것이나, 공사 중 화재 발생을 예방할 수 있도록 관련 규정을 준수할 것임을 명시하고 있다. 홍수에 대한 리스크를 대비하기 위한 본 사업은 강수량 및 유량 증가가 예상되는 지점에 배수관의 크기를 확대하거나, 대형 배수관을 신규 설치할 것을 계획하였으며, 교량의 경우 증가된 세굴 영향을 고려할 것을 정성적으로 기술하고 있다. 본 평가서는 온실가스 감축과 기후위기 적응대책에 대하여 비교적 다양한 방안들을 제시하고 있는 것으로 판단되나, 국내 기후변화영향평가와 달리 구체적이고 명확한 관련 계획은 평가서 내 작성이 이루어지지 않는 것으로 확인된다.

#### **다. Highway 400 to Highway 404 Link(Bradford Bypass)** **(캐나다, 온타리오)**

##### **1) 사업개요**

본 사업은 캐나다 온타리오주 남부의 Highway 400과 Highway 404를 연결하는 4차선 고속도로를 신규 건설하는 사업으로 총 연장은 16.2km로 계획되었다. 사업노선 내 신규 인터체인지와 교량 건설계획이 포함되었으며, 지역 간 연결성의 확보 및 접근성 개선이 주요 목적이다. 아울러 사업노선 시설을 통해 지역 경제 발전과 일자리의 신규 창출을 모색하였으며, 특히 물류 및 운송의 효율성 향상을 기대하고 있는 것으로 명시하고 있다.



자료: Lake Simcoe Region conservation authority(2022.11.22), "Statement on the Bradford Bypass Project", 검색일: 2024.8.20.

**그림 3-6** Bradford Bypass의 사업노선

## 2) 평가항목

평가항목은 생태계·사회경제 환경·문화 환경으로 구분하여 분야별 세부 항목을 평가하였다. 생태계 분야는 육상 생태계, 어류(서식지 포함), 지하수 및 수리 지질 분야를 다루고 있다. 사회경제 환경 분야는 토지이용, 소음·진동, 대기질, 폐기물, 기후변화, 건강 항목이 포함되어 있다. 문화 환경 분야의 경우 건축 유산 및 문화유산, 교통 및 운송, 고고학 및 지반공학 등을 다루고 있다.

## 3) 기후변화 항목 평가

기후변화 항목은 온실가스 배출과 기후위기 적응 부문으로 구분되나, 본 평가서의 경우 온실가스 배출량 산정은 대기질 항목에 포함되어 있다. 공사 시 배출량 산정은 실시되지 않았으며, 운영 시의 경우 사업노선의 장래 건설 연도(2041년)의 교통량과 제한속도(100km/h)를 고려하여 2019년 대비 온타리오 수송 부문의 온실가스 배출량 대비 사업노선의 기여도(약 6%)를 평가한 것이 가장 큰 특징으로 확인된다. 배출량 산정은 MOVES(Motor Vehicle Emission Simulator)라는 모델을 활용하였으며, 이는 미국 EPA에서 개발된 도로 및 비도로 이동오염원의 대기오염물질 및 온실가스 배출량 추정 모델이다.

Contaminant	Future Build (2041) (Mt) <sup>1</sup>	Ontario 2019 Reported Greenhouse Gas Emissions for the Transportation Sector <sup>3</sup> (Mt CO2 eq.)	% Future Build Project Contribution
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	2.87	-	-
Methane (CH <sub>4</sub> )	5.68E-03	-	-
Nitrous Oxide (N <sub>2</sub> O)	3.06E-05	-	-
CO <sub>2</sub> equivalent <sup>2</sup>	3.04	51.8 <sup>3</sup>	5.55%

Notes: 1. Mt = Megatonnes  
 2. CO<sub>2</sub> equivalent was calculated for the Future Build Condition using GWP conversion for N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> (298 and 25, respectively)

자료: Ontario Ministry of Transportation(2023), p.346.

**그림 3-7** Bradford Bypass의 운영 시 온실가스 배출량 산정 결과

온실가스 감축 대책은 공사 시와 운영 시로 구분하여 각각 제시하고 있다. 공사 시의 경우 최신 연식의 건설장비 사용, 공회전 최소화 등을 주요한 감축 대책으로 기술하였다. 운영 시의 경우 사업노선 신설에 따른 교통량 재분해, 기존 운영 중인 타 도로의 교통량 감소, 교통 흐름 개선 등을 통해 온실가스 배출량이 감소할 것임을 정성적으로 예측하고 있다. 아울러 사업노선 단위의 관점에서 봤을 때 교통량에 따른 온실가스 배출은 불가피하며, 이에 대한 감축 대책 수립은 제한적임을 평가서에 명확히 명시하고 있는 점이 특징이다. 차량의 연료 전환과 전기차 및 하이브리드 차량의 확대, 대중교통의 증설 등을 통해 수송 부문의 온실가스 감축을 유도할 수 있을 것으로 기술하고 있으나, 이는 정부 차원의 정책적 방안임을 명시하고 있다.

기후위기 적응 부문은 폭염과 강풍을 주요한 기후변화 리스크로 선정하여 관련 대책을 기술하였다. 우선 폭염의 경우 공사 시 냉각 스테이션 설치, 자외선 차단 장비 제공 등을 명시하였으며, 운영 시의 경우에는 내열성이 우수한 아스팔트를 시공할 것임을 계획하였다. 강풍의 경우 공사 시 크레인 작업을 고려한 제한 풍속을 설정·적용할 것임을 명시하였고, 운영 시의 경우 특정 구간을 선정하여 방풍벽 및 방풍 울타리의 설치를 계획하였다.

## 라. Two Lane Upgradation with Paved Shoulders of Paderu-Akaru (up to Bhalluguda) Section of NH 516E in Andhra Pradesh(인도)

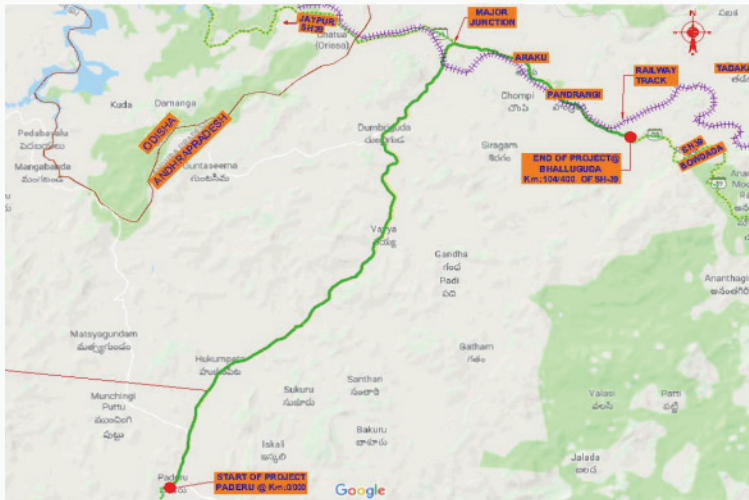
### 1) 사업개요

기존 NH 516E 고속도로의 Paderu~Araku 구간은 연장 49.512km로, 일부 구간을 제외하고 모두 선형 개량이 필요한 도로다. 본 사업은 해당 도로를 포장된 갓길을 갖춘 2차선 도로로 개선함과 동시에 선형 개량, 배수로 정비, 교량과 제방 정비, 교통안전 관련 시설 설치가 주요한 내용이며, 이를 통해 안전하고 원활한 교통환경 제공과 지역·국가의 지속가능한 발전에 기여하고자 한다.



자료: Ministry of Road Transport and Highways Government of India(2019), p.2-6.

**그림 3-8** NH 516E Paderu-Araku road 구간의 현황



자료: Ministry of Road Transport and Highways Government of India(2019), p.2-1.

**그림 3-9** NH 516E Paderu-Araku 구간

## 2) 평가항목

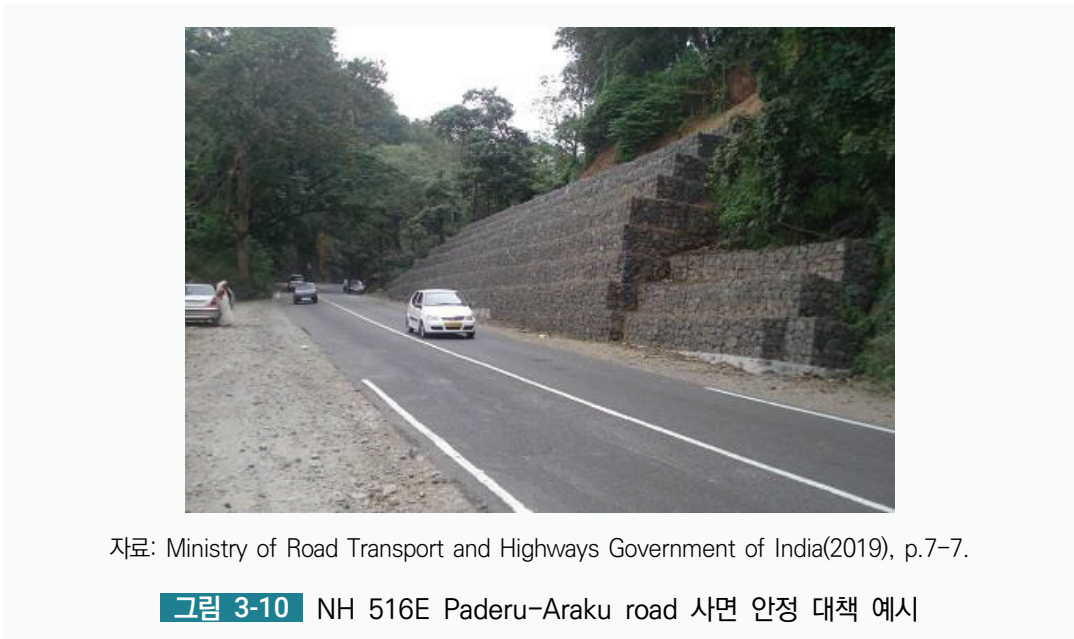
평가항목은 토양 및 지질, 지형, 배수/홍수, 수질, 대기질, 소음, 식생 등을 포함하고 있다. 본 사업은 기존 도로의 선형 개량 및 재포장 사업에 해당하느바, 매체별 특별한 환경영향이 있을 것으로 예측하지는 않는 것으로 확인된다. 기후변화 또는 온실가스 관련 항목이 별도의 평가 대상 항목으로 명시되지는 않으나, 본 평가서의 경우 'Green Initiatives'라는 별도의 챕터를 통해 본 사업에 따른 온실가스 배출을 다루고 있는 것으로 확인된다.

## 3) 기후변화 관련 평가

전술한 미국, 캐나다의 평가서의 경우 대상 사업의 공사 및 운영 시 특정 모델링 기법을 활용하여 온실가스 배출량을 산정하였으나, 본 평가서의 경우 공사 시 탄소발자국(Carbon Foot Print)의 개념을 적용하여 원자재의 생산-운반-건설의 과정을 모두 고려하여 온실가스 배출량을 산정·제시한 것이 큰 특징이다. 단 배출량 산정에 적용된 배출계수, 각 단위 공종별

배출량 산정 과정 등은 구체적으로 작성되지 않았으며, 배출량 산정 결과는 표를 활용하여 단순 작성하였다. 운영 시 교통량 등을 고려한 온실가스 배출량 산정은 본 평가서에서 실시되지 않았다.

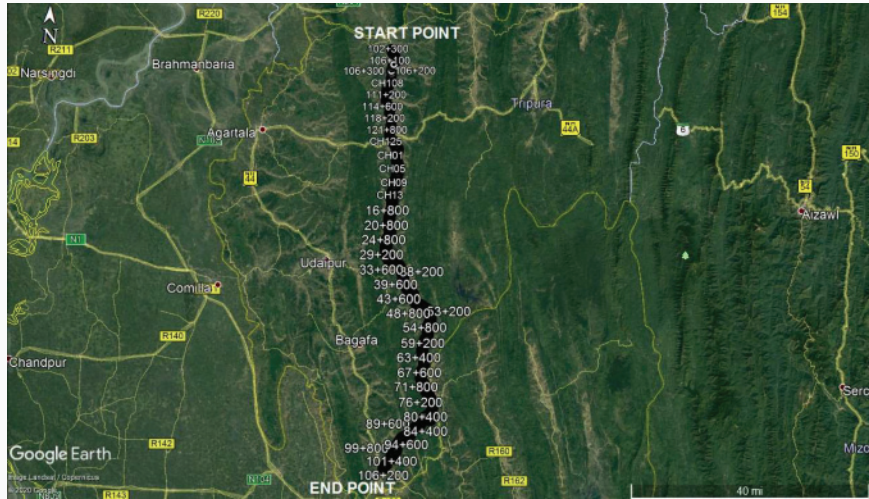
기후위기 적응은 본 평가서에서 다루어지지 않은 것으로 확인되나, 사면 발생에 따른 위험을 예방하고자 관련 대책을 제시하고 있다. 도로 건설사업에 대한 환경영향평가 및 기후변화영향평가에서도 사면 발생을 고려한 적절한 대책을 요구하고 있는바, 해당 내용은 국내와 유사한 것으로 판단된다.



#### 마. Improvement/Widening of two lane with paved shoulder of Khowai to Sabroom section of newly declared NH-208(인도)

##### 1) 사업개요

본 사업은 NH 208호선 내 Khowai-Sabroom 구간(연장 134.71km)을 대상으로 도로 기반 시설을 개선하는 사업이다. 주요 사업 내용으로는 기존 2차선 도로의 확장 및 신규 포장, 표지판과 가드레일, 신호 체계 등 교통안전 관련 시설의 개선, 도로 배수 시스템 개선이며, 이를 통해 도로의 교통 혼잡을 완화하고 도로의 안정성을 확보하고자 한다.



자료: National Highways & Infrastructure Development Corporation Ltd.(2020), p.1.

**그림 3-11** NH-208 Khowai-Sabroom 구간

## 2) 평가항목

토지이용, 위험/재난, 대기질 및 악취(공사 시), 수질, 토양, 폐기물, 소음·진동, 그 외 다양한 사회환경 요소에 관한 평가가 수행되었다. 기후변화의 경우 스코핑 과정에서 본 사업에 대한 영향이 무시할 수 있는 수준으로 평가되어 제외하였으나, 교통량에 따른 온실가스 배출량은 평가서에 산정하여 제시하고 있다. 위험/재난 평가항목에서 홍수, 지진 등으로 인한 피해를 일부 다루고 있어 해당 내용은 기후위기 적응 부문과 일부 부합하는 것으로 판단된다.

## 3) 온실가스 배출량 산정, 자연재해 평가

운영 시 교통량을 고려하여 온실가스 배출량을 산정하였다. IPCC의 배출계수를 적용하였으며, 목표연도별 경유 차량의 운행에 따른 온실가스 배출량만을 도로 구간별로 각각 구분하여 산정·제시하고 있다. 이를 통해 기준 연도 대비 2040년은 온실가스 배출량이 약 2.58배 증가하는 것으로 평가하고 있다.

GHG Inputs				Emission Calculations (Tonnes)				
GHG	Factor(g/l)	Diesel Fuel consumption Litre per Km travelling	Travelling Distance(Km)	2020	2025	2030	2035	2040
CO <sub>2</sub>	2701	0.25	108.670	81.07	102.68	129.97	164.69	209.33
Ch <sub>4</sub>	0.153	0.25	108.670	0.0044	0.0053	0.0072	0.0092	0.0117
N <sub>2</sub> O	0.102	0.25	108.670	0.0029	0.0037	0.0048	0.0061	0.0078

자료: National Highways & Infrastructure Development Corporation Ltd.(2020), p.165.

**그림 3-12** NH 516E Paderu-Araku road의 운영 시 온실가스 배출량 산정 결과

위험/재난 항목의 평가는 사업노선이 속한 트리푸라주가 인도 내에서 지진의 위험도가 상대적으로 높은 지역으로 과거 중간~대규모 지진이 자주 발생한 지역임을 명시하고 있으나, 대응 방안(예: 설계강도 강화, 대피체계 수립 등)을 포함한 추가 내용은 기술되어 있지 않은 것으로 확인된다. 홍수 역시 마찬가지로 트리푸라주가 홍수 발생이 쉬운 지역으로 분석하고 있으며, 과거 홍수로 인한 토지 침식, 도로 파손, 통신수단 두절 등의 피해를 겪은 사례가 있음을 기술하고 있다.

본 연구에서는 미국, 캐나다, 인도에서 이루어진 총 5건의 국외 도로 건설사업에 관한 환경영향평가 사례를 살펴보았다. 우선 온실가스 감축 부문 현황분석의 경우 국내 기후변화영향평가는 사업 시행 전 온실가스 배출원, 탄소 저장·흡수원 산정을 통해 사업 시행 전·후 배출량 산정 결과를 비교·제시하도록 하고 있으나, 본 연구에서 조사된 해외사례들은 이러한 현황 분석이 이루어지지 않음을 확인했다. 단, 국내와 마찬가지로 온실가스 감축 관련 정부의 정책을 검토하여 기술하고 있다. 미국과 캐나다의 온실가스 배출량 산정은 공사 및 운영 시 정부에서 제공하는 모델을 활용하여 온실가스 배출량을 산정·제시하고 있으며, 인도는 IPCC의 배출계수를 활용하여 이를 산정하고 있는 것으로 나타났다. 모델을 활용한 배출량 산정은 온실가스 배출량 산정 과정을 포함한 평가서의 질적 차이(배출계수 및 산정식의 적정성, 누락 항목 발생 등) 발생을 예방할 수 있을 것으로 판단된다. 단, 모델을 통한 배출량 산정 역시 배출계수·산정식 등을 지속해서 최신화하여야 하므로, 이를 제공하는 정부 또는 기관 차원의 지속적인 유지·관리가 필요할 것이다. 도로 건설사업에 대한 온실가스 감축 대책은 공사 시의 경우 공회전 금지, 최신 건설기계 활용 등 국내와 유사한 대책을 수립하고 있다. 운영 시 교통량에 따른 온실가스의 감축은 단일 사업 차원에서 이행할 수 없는 사안으로 명확하게 명시하고 있으며, 친환경 차량으로의 전환 등 수송 부문에 대한 정부의 관련 정책으로 해결해야 함을 기술하고 있다. 도로의 신규 건설에 따른 교통량 분산, 교통 흐름의 개선은 온실가스 감축에 긍정적인

효과를 가져올 것임을 정성적으로나마 명시하고 있는 것은 바람직한 것으로 판단된다.

기후위기 적응 부문에 있어 국내 기후변화영향평가는 취약성 평가 결과, 과거 재해 이력 등을 활용하여 사업대상 지역에 대한 기후변화 리스크를 도출하고, 리스크별 적절한 적응 대책을 수립하도록 유도하고 있다. 조사된 해외 사례는 국내와 같은 취약성 평가 결과를 활용하지는 않고 있으나, 사업노선이 속한 지역의 특성, 과거 재해 이력 등을 토대로 적절한 대책을 수립하고 있는 것으로 확인되었다. 단, 국내와 같이 매우 다양한 기후변화 리스크를 세부적으로 고려하지는 않는 것으로 확인되며, 홍수나 해수면 상승, 폭염과 강풍 등 일부 대표적인 도로 건설사업에 대한 리스크를 정성적으로 평가하고, 관련한 적응방안을 간략하게 기술하고 있는 것으로 나타났다.

### 3. 기후변화를 고려한 국외 도로 건설 사례

#### 가. 미국 오리건주 태양열 고속도로(The Oregon Solar Highway)

태양열 고속도로는 고속도로 주변 유휴 부지를 대상으로 태양광 발전시설을 설치·적용하여 도로 시설 운영에 소요되는 전력을 모두 자력으로 충당하는 고속도로 운영 프로젝트를 의미한다. 2007년 오리건주 의회가 주의 온실가스 배출량을 제한하고 이를 감축하는 법안을 통과시킴에 따라 당시 주지사는 관공서의 전기 소비를 100% 신재생에너지를 활용하여 충당하도록 지시하였으며, 고속도로 기금의 사용이 법적으로 제한된 상황에서 태양열 고속도로가 부각되었다. 특히 오리건주는 매년 신호, 조명, 램프 미터링 등 교통시설 부문에서 시간당 약 4,700만kW 이상의 전력이 필요하였으며, 이를 해결하기 위한 다양한 방안을 모색하는 과정 중 태양열 고속도로가 제안·채택되었다. 프로젝트는 오리건주 교통국(ODOT: The Oregon Department of Transportation)과 Portland General Electric(PGE), PGE의 자본 파트너인 미국은행(US Bank)이 참여한 공공-민간 합작 프로젝트로서, PGE의 유한책임 회사인 SunWay1, LLC가 운영하고 있다. 해당 프로젝트의 성공으로 PGE는 다음의 사업에 대해 시행 순서를 조정하여 추진하였다.<sup>11)</sup>

- Sunway1 프로젝트 확대(104kW 용량의 추가 전력 확보를 위한 658개 패널 추가)
- Wilsonville 북쪽 I-5 Baldock 휴게소 뒤편 ODOT 소유 용지에 1.97MW 규모의 태양광 프로젝트 개발
- Clackamas County의 West Linn I-205 고속도로 인접 지역의 3MW 태양광 프로젝트 개발

11) 박신, 조진우(2011), pp.94-97.

태양열 발전설비에서 생산되는 전력량은 일별·주별·월별·연도별 등 다양한 기준으로 측정되어 인터넷을 통해 공개하고 있다.

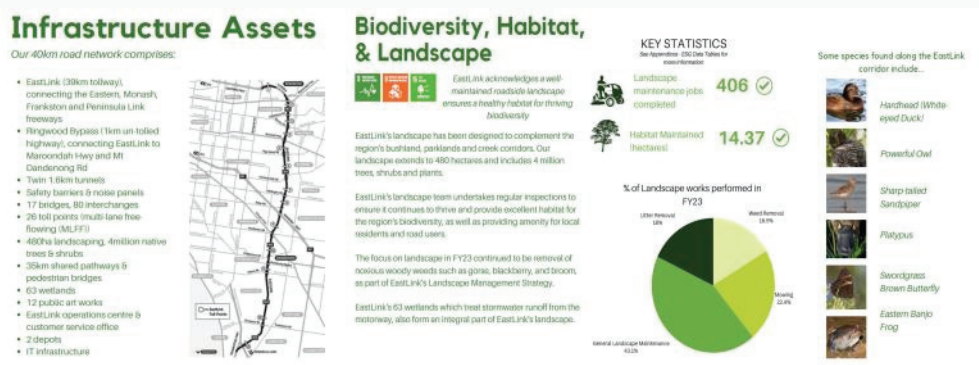


자료: 박신, 조진우(2011), p.101; ODOT(2016), pp.6-7을 활용하여 저자 작성.

**그림 3-13** 오리건주 태양열 고속도로

### 나. 오스트레일리아 이스트링크(Eastlink)

이스트링크는 2005년 착공하여 2008년부터 개통·운영되고 있는 39km의 도로로서 멜버른에서 2번째로 완전 전자요금 지불방식으로 운영되고 있다. 이스트링크는 효율적인 투자를 통해 통행료를 저렴하게 책정하였음은 물론, 도로 건설 시 습지대 조성, 오픈스페이스 및 공원을 통한 식생 재생 등 환경에 대한 고려를 프로젝트의 핵심 요소로 추진하였다. 특히 70개의 상시·계절형 습지대가 조성되어 도로로부터 흘러나오는 빗물을 여과하도록 하였으며, 480만m<sup>2</sup>에 달하는 습지대에서는 450만 그루의 나무와 오스트레일리아의 토종식물이 자란다. 습지의 면적은 멜버른 전체의 공원과 정원의 면적보다 넓은 규모이다.<sup>12)</sup>



자료: EastLink(2023), p.10, p.45를 활용하여 저자 작성.

**그림 3-14** 오스트레일리아 이스트링크 소개자료

12) 박신, 조진우(2011), p.102.

## 다. 그리스 아티카 톨웨이(Attical Tollway)

아티카 톨웨이는 2001년 3월 1구간이 개통되어 2003년 12월 전 구간이 개통된 그리스 아테네를 중심으로 순환하는 도로로, 총 130km(중심 구간 65km)의 길이에 비상시를 대비한 별도 1개 차로가 추가된 편도 3차선 도로이다. 매일 약 28만 대의 차량이 통과하며, 195개의 톨게이트(ETC 방식 징수 가능 톨게이트 92개)가 배치되어 도시부 구간은 본선 유입 전 요금을 지불하는 폐쇄식으로 운영되고 있다. 주요 구간 도로 상부를 녹지 및 휴식공간으로 조성하였고, 기존 다른 도심지역 고속도로와 비교하여 교통혼잡 및 소음을 크게 감소(약 60% 이상)시켰다. 아티카 톨웨이에 적용된 주요 성과는 다음과 같다.<sup>13)</sup>

- 도로 조명에 의한 전력 사용 최소화: 고압축 나트륨 조명 사용
- 도로상 발생하는 각종 재활용품 활용 극대화
- 생태계 피해 최소화: 각종 생태터널, 울타리 등 설치
- 지역의 기존 식생을 고려한 도로 식재 및 휴식공간 녹지화: 100만 그루 이상의 식재 식수, 재활용 수자원을 활용한 도로 식재 관리
- 도로 건설에 따른 자연 습지 및 문화재 훼손 최소화
- 도로 미관을 고려한 방음벽 설치, 대기오염측정소 설치
- 대기오염물질 배출량 24시간 모니터링, 에코 드라이빙 교육 시행



자료: 박신, 조진우(2011), p.105.

**그림 3-15** 그리스 아티카 톨웨이

13) 박신, 조진우(2011), pp.104-105.

## 라. 일본 오니고베 에코로드(Eco-Road)

일본 동북 지방 미야기현과 아키타현을 통과하는 13.7km 길이의 일반국도로, 표고 820m에 설치된 구도로가 겨울철 5m 이상의 적설량으로 연간 6개월 이상 통행이 불가능한 점을 해소하기 위해 개설되었다. 너도밤나무 군락지, 일본 특별천연기념물 등이 서식하는 구리코마 공원을 통과하기 때문에 자연환경에 대한 영향을 최소화하기 위한 특별한 노력이 이루어진 도로이기도 하다. 또한 급경사·급커브 없는 안전한 도로를 만들고자 하는 지역 주민의 숙원과 자연환경을 고려한 기술·지혜가 융합된 대표적인 친환경적 도로로 손꼽힌다. 오니고베 에코로드의 주요 방향성은 다음과 같다.<sup>14)</sup>

- 자연환경을 고려한 노선계획 수립
- 자연의 영향을 최소화하기 위한 터널·교량 형식 채택
- 동물 횡단을 위한 야생이동로 설치
- 동물과 자동차의 접촉사고 방지를 위한 동물 이동 경사로, 유도 펜스 설치
- 지역 특유의 식물 종자 및 토양생물이 포함된 표토 활용
- 잠재자연식생을 활성화하기 위한 법면 등의 녹화



자료: 박신, 조진우(2011), p.113.

**그림 3-16** 오니고베 에코로드의 지형변화 최소화를 위한 터널과 교량

14) 박신, 조진우(2011), pp.109-114.



자료: 박신, 조진우(2011), p.114.

**그림 3-17** 오니고베 에코로드의 동물 이동 경사로, 유도 펜스

### 마. 핀란드 E18 Green Highway

북유럽과 러시아를 연결하는 고속도로로 핀란드 통과 구간은 핀란드 남부의 공항 및 항구, 도시를 상호 연결한다. 프로젝트 계획 단계부터 자연에 미치는 영향, 소음방지 대책, 동물의 이동 경로 등을 면밀하게 검토하였다. 그린 고속도로를 콘셉트로 지속 가능한 발전을 위해 생태학적 측면, 재생가능 에너지의 사용과 전기자동차의 주행을 고려하였다. 다수의 건설 시 다수의 재활용 자재를 활용하였고, 재생 전지 패널과 LED 조명을 사용하여 전기 소비량을 줄였으며, 서비스 지역 및 건축물의 난방은 지열에너지를 활용하였다. 68개의 교량이 56개소에 조성되었으며, 그중 14개소가 수로, 26개소가 교차, 5개소가 그린 교량, 동물이동공간을 고려한 지하통로가 4개소 조성되었다. 건설 과정 중 지하수 영향, 소음도를 지속해서 측정·관리하며, 직원들에게 환경보전에 관한 교육을 함으로써 그 효과를 극대화하고자 하였다.<sup>15)</sup>



자료: 동부엔지니어링 기술연구소(2015), p.172.

**그림 3-18** E18 Green Highway의 Ahvenkoski 다리와 Markkinamaki 터널

15) 동부엔지니어링 기술연구소(2015), pp.171-172.

# 제4장

## 도로 건설사업의 온실가스 감축 부문 평가기법

1. 탄소 저장·흡수를 고려한 도로설계
2. 온실가스 감축 부문 평가기법

### 1. 탄소 저장·흡수를 고려한 도로설계

도로 건설사업의 환경영향평가서 내 온실가스 항목의 분석 결과에서 전술한 바와 같이 도로 건설사업의 온실가스 감축 대책 수립은 매우 제한적이다. 이는 현실적으로 온실가스 감축을 위해 가장 큰 배출 부문을 차지하는 차량 운행을 제한하거나, 개별 사업 단위에서 전기차·수소차와 같은 친환경 차량을 운행하도록 유도하는 것은 불가능하기 때문이다. 따라서 차량 통행 외 배출원인 휴게소, IC 등의 부대시설 운영 과정에서 배출이 예상되는 온실가스를 더욱 적극적으로 감축하는 것이 필요하며, 사업노선의 선정·설계 시 양호한 탄소 저장·흡수 원의 훼손을 최소화하고, 가용한 토지를 대상으로 수목 식재 및 녹지조성을 확대하는 것이 도로 건설사업의 온실가스 감축에 매우 중요한 사안이다. 본 절에서는 도로 분야의 탄소저감, 탄소 저감을 위한 선행연구 결과를 토대로 온실가스 감축을 최대화하기 위한 수목 식재, 녹지 조성 방안을 중점적으로 살펴보고자 한다.

2015년 수행된 선행연구에서는 지속 가능한 사회의 녹색 도로 구현을 위한 탄소 저감형 그린 네트워크(Green-Network 도로)를 제안하였으며,<sup>16)</sup> 이는 '생태계 보전을 목표로 하여 도로 개설에 따른 자연환경 훼손을 최소화하고, 도로변에 녹지 조성 등 환경복원을 통해 탄소 발생을 저감하는 도로'로 정의된다.<sup>17)</sup> 도로의 주요 설계 요소 중 탄소 저감·흡수를 위한

16) 동부엔지니어링 기술연구소(2015), p.2.

17) 손원표 외(2013), p.75.

설계 요소는 다음과 같다.

**표 4-1** 기능에 따른 도로설계 요소

구분	도로의 주요 설계 요소	탄소 저감형 그린 네트워크 설계 요소
기하구조	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 평면 및 종단선형</li> <li>• 횡단구성요소(중앙분리대, 차로, 길어깨, 측대, 환경시설대)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 횡단구성요소(중앙분리대, 차로, 길어깨, 측대)</li> <li>• 환경시설대(분리대, 식수대, 보도, 자전거 도로, 비탈면, 측도 등 포함)</li> </ul>
토공	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비탈면</li> </ul>	-
배수	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 통로 및 수로박스, 파이프, 측구, 도수로 등</li> </ul>	-
구조물	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 교량, 터널, 생태통로</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 교량, 생태통로</li> </ul>
포장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아스팔트 포장, 콘크리트 포장</li> </ul>	-
부대시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안내표지판, 방음벽 등</li> </ul>	-
안전시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중앙분리대, 노측용방호울타리, 교통표지판, 시선유도시설 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중앙분리대</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가로수, 조명시설 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가로수</li> </ul>

자료: 동부엔지니어링 기술연구소(2015), p.28.

**표 4-2** 형태에 따른 도로설계 요소

형태	도로의 주요 설계 요소	탄소 저감형 그린 네트워크 설계 요소
면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IC, JCT, 휴게소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 녹지대(식재)</li> </ul>
면+선	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비탈면, 환경시설대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비탈면, 환경시설대</li> </ul>
선	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중앙분리대, 띠녹지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 중앙분리대, 띠녹지</li> </ul>

자료: 동부엔지니어링 기술연구소(2015), p.28.

### 가. 탄소흡수를 고려한 수종 선정 및 식재 계획

도로 주변 대표적으로 식재되는 가로수의 기능은 주로 경관개선, 교통안전, 환경보전 등과 같은 순기능과 도로 및 연도에 대한 도복, 시야 차단 등의 역기능으로 구분할 수 있다. 이 중 탄소흡수와 가장 관련성이 높은 것은 환경보전 기능이라 할 수 있으며, 세부 기능으로는 미기후 조절, 소음 완화, 대기오염물질 정화를 꼽을 수 있다. 경기도 지역에 가로수로 가장 많이 식재된 수종을 대상으로 이산화탄소 흡수 효과를 비교한 선행연구(박은진, 강규이, 2010)에서는 가로수 중 툼리나무(목백합), 메타세콰이어, 양버즘나무, 은행나무, 느티나무, 회화나무 등의 탄소흡수율이 상대적으로 높으며, 식재가 많이 되고 있는 소나무의 경우 이산화탄소의 흡수량이 낮은 것으로 나타났다(표 4-3 참조).<sup>18)</sup>

18) 한국건설기술연구원(2015), p.427.

**표 4-3** 수종별 이산화탄소 흡수량

수종		탄소저장량 (kgC/tree)	연간생체증가율 (kg/tree/year)	CO <sub>2</sub> 흡수량 (kg/tree/year)
수종별	평균 수령(년)			
왕벚나무	19.4	171.4	17.7	32.4
은행나무	19.1	207.4	21.7	39.7
느티나무	18.4	194.7	21.2	38.8
양버즘나무	24.1	355.4	29.5	54.1
단풍나무	15.3	90.6	11.8	21.7
메타세쿼이아	15.7	289.9	37.0	35.5
회화나무	19.2	158.1	19.4	67.8
튤립나무	16.3	518.0	54.0	99.1
소나무	19.8	40.8	4.1	7.6
평균	18.6	225.1	24.0	44.1

자료: 한국건설기술연구원(2015), p.428.

**표 4-4** 탄소흡수율이 높은 주요 수종의 환경적응성

수종	CO <sub>2</sub> 흡수량 (kg/tree/year)	성장속도 ***	도로 적응성			
			내공해성	내음성	내한성	내건성
느티나무	38.8	+	중	중	강	중
은행나무	39.7	+	강	약	강	강
메타세쿼이아	35.5	+++	중	약	약	약
양버즘나무	54.1	+++	강	중	강	중
회화나무	67.8	++	강	중	강	중
튤립나무	99.1	+++	강	중	강	중
침엽수	54.0	++	중	중	강	중
상수리나무	51.0	+	중	중	강	중

자료: 한국건설기술연구원(2015), p.428.

도로변과 그 외 도심지역을 대상으로 적정 수목과 함께 지피식물을 식재하는 것은 탄소 흡수 효과를 더욱 높일 수 있다. 지피식물은 토양을 덮어 바람이나 물로 인한 피해를 막아주는 키 50cm 이하의 식물을 명명하는데, 자라면서 나무 아래나 경사면, 건물 옥상 등을 푸르게 가꾸는 역할을 한다. 농촌진흥청이 경관 조성을 위해 많이 활용되는 주요 지피식물 30종을 대상으로 식물별 연간 탄소 흡수량을 비교 분석한 결과 1m<sup>2</sup>당 연간 탄소 흡수량이 3.0~3.5kg으로, 비교적 높은 식물은 박하, 구절초, 노랑꽃창포, 붓꽃 등 11종으로 나타났다. 아울러 탄소 흡수량이 2.0~2.5kg으로 중간인 식물은 두메부추와 비비추, 호스타 등으로 확인되었다. 톱풀과 범부채, 꽃댕강나무, 제라늄 등은 1m<sup>2</sup>당 연간 탄소 흡수량이 1.0~1.5kg에 머물러 조사대상 식물 가운데 상대적으로 낮게 나타났다. 해당 연구는 지피식물의 탄소 흡수량이 토양과 수분 관리에도 영향을 받음을 확인하였다. 도심지 화단에 많이 식재되는 붓꽃류는

일반 토양(3.2kg/m<sup>2</sup>)보다 물 빠짐이 좋은 토양(7.2kg/m<sup>2</sup>)에서 탄소 흡수량이 2배 이상 높은 것으로 나타났으며, 구절초 등 10종은 불량한 토양 환경에서 연간 탄소 흡수량이 50% 이상 감소하는 결과를 보였다.<sup>19)</sup>

**표 4-5** 지피식물의 연간 탄소 흡수량

연간 탄소 흡수량(kg/연)		식물군(흡수량 순)
1m <sup>2</sup> 단위면적	200m <sup>2</sup> 화단	
3.0±0.5	500kg 이상	박하, 자엽국수, 구절초, 노랑꽃창포, 붓꽃, 억새, 무늬사초, 수크령, 꼬리풀, 국수나무 '타이니와인', 리아트리스
2.0±0.5	300~500kg	두메부추, 호스타, 비비추, 아스틸베, 노루오줌, 배초향, 약모밀, 국수나무 '황금국수', 기린초, 큰김의털, 한국잔디
1.0±0.5	200kg 이하	톱풀, 범부채, 꽃댕강나무, 삼색조팝, 꽃향유, 뱀무, 제라늄, 휴게라

자료: 농촌진흥청 보도자료(2021.9.3), p.4.

선행연구(한국건설기술연구원, 2015)는 박은진, 강규이(2010)의 연구 결과를 활용하여 이산화탄소 흡수량 기준과 도로 환경에 대한 적응성을 종합적으로 고려하되, 알레르기를 유발하는 꽃가루를 분산하거나 불쾌한 냄새 등으로 최근 식재되지 않는 수종(버드나무, 수양버들, 기중나무 등)을 제외할 경우, 온실가스 감축을 위한 식재를 목적으로 선정할 수 있는 수종을 다음과 같이 제안하였다.<sup>20)</sup>

19) 농촌진흥청 보도자료(2021.9.3), pp.1-2.

20) 한국건설기술연구원(2015), p.429.

**표 4-6** 지역 특성을 고려한 이산화탄소 흡수를 위한 적정 수종

수종 선정 원칙	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수목은 아름다운 경관 측면보다는 이산화탄소 저감 기능에 중점을 두어 선정</li> <li>• 조경용으로 사용되는 수종보다는 탄소 흡수능력이 우수한 자생수종 도입</li> <li>• 침엽수종보다는 낙엽활수종을 다양하게 활용</li> <li>• 단기 및 장기적으로 탄소 흡수기능을 높일 수 있는 수종 조합을 고려</li> <li>• 지역적 특성(기후적 특성)을 고려한 수종 선정</li> </ul>								
	CO <sub>2</sub> 흡수 능력 우수 수종	교목	• 툼리나무, 메타세쿼이아, 양버즘나무, 은행나무, 느티나무, 복자기, 칠엽수, 참나무류(상수리나무), 팔배나무						
		관목	• 남천, 화살나무, 쥐똥나무, 명자나무, 산수국, 낙상홍 등						
		초본	• 돌단풍, 마가렛꽃잔디, 붓꽃, 앵초, 톱풀, 할미꽃, 패랭이, 노루오줌, 달부리풀, 마타리, 참좁쌀풀 등						
지역 특성을 고려한 대표 수종 선정	구분	수종	기후적 특성		도양 특성		지형적 특성		
			한랭지	온랭지	적윤지	건조지	산지형	평지형	
	교목	툼리나무	●		●			●	
		메타세쿼이아		●	●			●	
		양버즘나무		●	●			●	
		은행나무	●		●			●	
		느티나무	●	●					
		팔배나무	●			●	●		
		복자기		●		●		●	
		칠엽수		●	●			●	
		참나무류	●	●			●		
	관목	남천		●	●			●	
		화살나무	●			●	●		
		쥐똥나무	●		●			●	
		명자나무	●		●		●		
		산수국		●	●		●		
		낙상홍	●			●	●		

자료: 한국건설기술연구원(2015), p.429.

### 나. 도로 중앙부(중앙분리대) 수목 식재

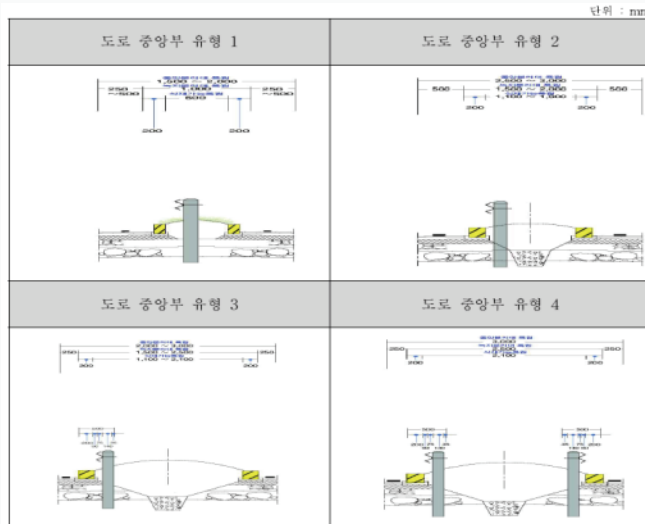
탄소 저감을 위한 도로 중앙부의 식재유형은 중앙분리대의 폭원, 녹지분리대 폭원, 식재 가능 폭원 등에 따라 4개의 유형으로 구분할 수 있다. 유형별 특성과 구분은 <표 4-7>과 같다.

**표 4-7** 중앙분리대 유형별 도로 중앙부 설계

유형	폭원	녹지 분리대 폭원	식재 가능 폭원	비고
1	1.5~2.0m	1.0m	0.6m	분리대 중심부 가드레일 설치
2	2.5~3.0m	1.5~2.0m	1.1~1.6m	한쪽 측면 가드레일 설치
3	2.0~3.0m	1.5~2.5m	1.1~2.1m	한쪽 측면 가드레일 설치
4	3.0m	2.5m	2.1m	양 끝 구조물 가드레일 설치

자료: 한국건설기술연구원(2015), p.430을 활용하여 저자 작성.

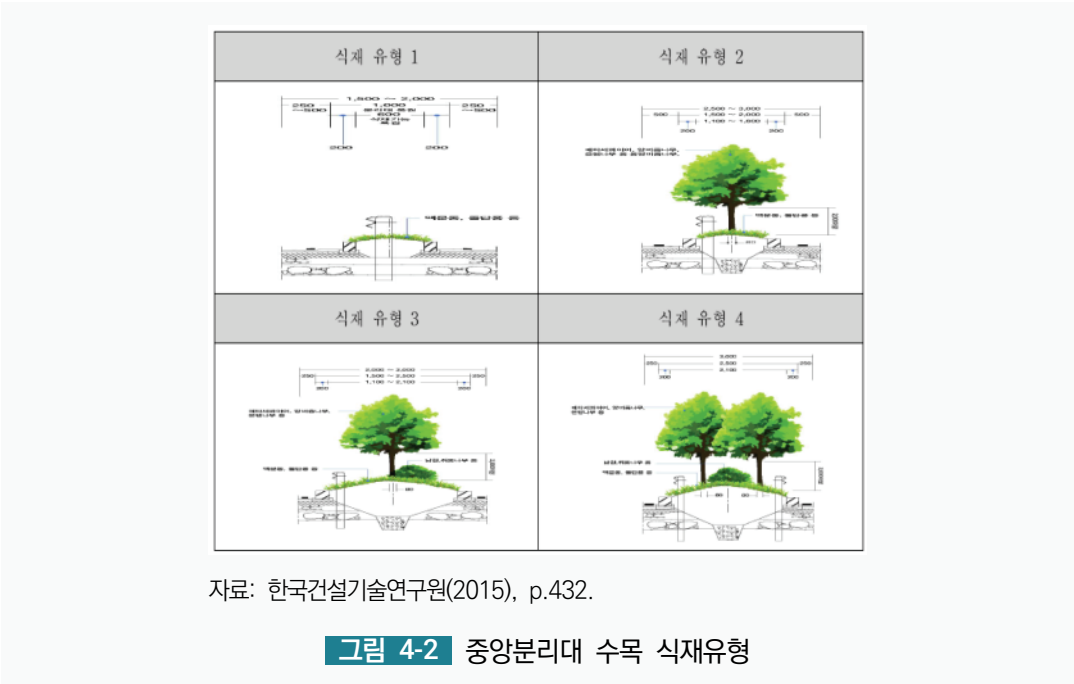
선행연구는 <표 4-7> 같은 4개의 유형별 수목 식재 방법을 기술하고 있으며, 구체적인 내용은 다음과 같다. 우선 유형 1은 식재 가능 폭원이 상대적으로 협소하므로(0.6m), 교목과 관목보다는 맥문동·돌단풍 등의 지피류를 식재하며, 차량 회전지점이나 시계 확보가 필요한 지점은 유형 1과 같이 지피류만을 식재한다. 유형 2는 식재 가능 폭원이 1.1~1.6m로 툼립나무, 메타세쿼이아, 양버즘나무, 은행나무 등 수고 2.0m 이상의 이산화탄소 흡수 능력이 우수한 수목을 식재하고, 하부는 유형 1과 같은 지피류를 식재한다. 유형 3의 식재 가능 폭원은 1.1~2.1m로 유형 2와 같이 이산화탄소 흡수 능력이 우수한 교목을 식재하고 하부에는 남천, 쥐똥나무 등의 관목과 맥문동, 돌단풍 등의 지피류를 식재한다. 유형 4의 경우 식재 가능 폭원이 상대적으로 넓으므로 도로에서 발생하는 이산화탄소를 더 많이 흡수할 수 있도록 교목은 2열로 식재하며, 유형 3과 같이 관목과 지피류를 식재한다.<sup>21)</sup>



자료: 한국건설기술연구원(2015), p.431.

**그림 4-1** 도로 중앙분리대 유형

21) 한국건설기술연구원(2015), p.432.



## 다. 도로 측면부 수목 식재

### 1) 평지형

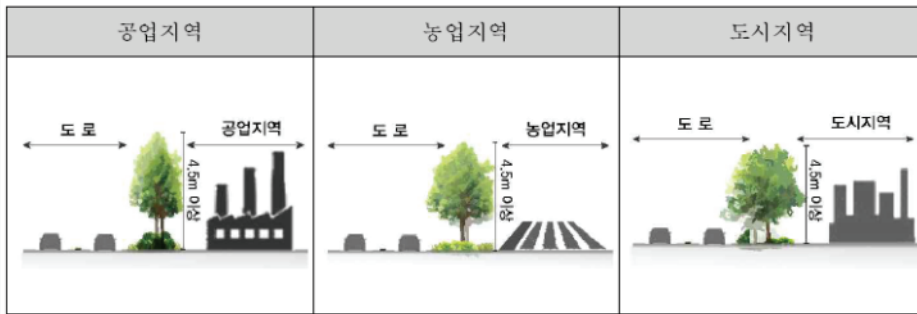
도로 측면부가 평지형인 구간은 도로와 인접한 지역의 현황과 특성(공업/농업/도심)에 따라 수종을 달리하는 것이 바람직하다. 공업지역 인접 도로변은 공장지대에서 발생하는 공해와 도로에서 발생하는 대기오염물질, 이산화탄소를 완화·저감할 수 있도록 다층구조의 식재가 이루어지도록 하며, 도시 미관·경관의 측면을 고려하여 공장 건물을 차폐할 수 있도록 수고가 높은 수종을 선택하는 것이 좋다. 농업지역 인접 도로변 식재는 도로에서 발생하는 각종 오염원과 탄소를 흡수하는 수정, 농업 경관과 어우러질 수 있는 수종을 고려하며, 농경작지와 조화를 이루는 수종을 선택한다. 도심지역은 우선 인접 도심과 도로에서 발생하는 이산화탄소의 저감 능력이 뛰어난 수종을 우선 식재하고, 저감 효과를 높일 수 있도록 다층구조로 식재한다. 아울러 보행자의 통행을 고려하여 지하고가 높고, 수목의 수관폭이 넓으며 관상적 기능이 뛰어난 수종을 우선하여 선택한다.<sup>22)</sup>

<sup>22)</sup> 한국건설기술연구원(2015), p.433.

**표 4-8** 도로변 인접 지역의 특성을 고려한 평지형 측면부 식재 가능 수종

구분	필요한 기능	분류	적용 수종	수종(CO <sub>2</sub> 흡수율) (kgCO <sub>2</sub> /tree/year)
공업	차폐, 내공해성	교목	향나무, 칠엽수, 상수리나무, 소나무, 양버즘나무, 메타세쿼이아 등	칠엽수(54), 상수리나무(51), 소나무(49), 양버즘나무(33) 은행나무(18)
		관목	회양목, 쥐똥나무, 명자나무, 화살나무 등	쥐똥나무(11), 명자나무(9)
농업	내수성, 조경수	교목	왕버들, 고리버들, 낙우송, 회화나무, 느티나무 등	회화나무(29), 화백나무(24), 느티나무(22)
		관목	회양목, 식나무, 화살나무, 눈향나무 등	눈향나무(8), 화살나무(7)
도심	소음방지, 내공해성, 조경수	교목	사철나무, 뽕나무, 단풍나무, 신나무, 양버즘나무 등	양버즘나무(33), 목련(18), 느티나무(22), 이팝나무(18), 왕벚나무(18)
		관목	사사(관목류), 영산홍, 낙상홍 등	눈향나무(8), 낙상홍(6)

자료: 한국건설기술연구원(2015), p.433.



자료: 한국건설기술연구원(2015), p.433.

**그림 4-3** 평지형 측면부 식재유형

## 2) 경사형

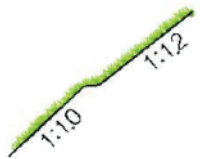


도로 가로변 사면의 식재는 사면의 경사율(비탈면 높이 : 비탈면 길이)에 따라 <표 4-9>와 같이 3개의 유형으로 구분할 수 있다. 유형 1은 다소 급경사지로 교목이나 관목 등이 생육하기 다소 어려움이 있으므로 돌단풍, 억새, 쭉, 자주개자리, 비수리, 새류 등의 초본류 위주로 식재하는 것이 바람직하다. 유형 2는 유형 1보다 비교적 완경사지이기 때문에 새류, 비수리, 구절초, 쭉부쟁이, 한지형단지 등의 초화류와 병꽃나무 등의 관목을 혼합하여 식재한다. 유형 3은 완경사지로 교목, 관목, 지피류 등 다층구조로 식재하며, 교목은 이산화탄소 흡수 능력이 뛰어난 수종을 선정하고, 지피와 관목은 내공해성이 우수한 수종을 선정한다.<sup>23)</sup>

23) 한국건설기술연구원(2015), pp.433-434.

**표 4-9** 경사형 측면부 유형

유형	구분
1	2개의 경사면이 소단을 사이에 두고 1:1.0과 1:1.2의 경사면으로 이루어짐
2	1:1.2~1:1.5와 1:1.5~1:1.8의 경사면으로 이루어짐
3	1:2.0~1:2.5와 1:2.0~1:2.5의 경사면으로 이루어짐

자료: 한국건설기술연구원(2015), p.433을 활용하여 저자 작성.

식재 유형 1	식재 유형 2	식재 유형 3
		
초본 위주형 초화류: 돌단풍, 익새, 쑥, 자주개자리, 비수리 새류 등	초본·관목 혼합 관목류: 병꽃나무 등 초화류: 새류, 비수리, 구절초, 쑥부쟁이, 한지형잔디 등	목본군락형 아교목·교목류: 자귀나무, 붉나무, 소나무 등 관목류: 병꽃나무 등 초화류: 쑥류, 까치수염, 양지꽃, 산마늘, 마타리, 한지형잔디 등

자료: 한국건설기술연구원(2015), p.434.

**그림 4-4** 경사형 측면부 식재유형

## 라. 탄소 저감형 수목 식재 유지관리

탄소 저감을 위해 식재된 수목의 적절한 유지관리를 위해서는 다음의 사항을 고려해야 한다.<sup>24)</sup>

- 수목 식재, 지피 및 초화류 식재지에 대해 식생 고사와 병충해 발생을 억제하고, 조속한 활착 및 양호한 생육환경 조성을 위해 시행한다.
- 전정은 수목의 활착과 녹화량의 증가를 목적으로 수목의 미관, 수목생리, 생육 등을 고려하면서 가지치기와 수형을 정리하는 작업을 의미한다.
- 수간 보호는 수분 증발과 병충해 및 일소 피해 등을 예방하기 위하여 수간에 수간 보호재를 둘러 단단히 결속한다.
- 관수는 식물의 건강한 생육을 위해 토양 상태 및 식물의 생육상황 등을 고려하여 수목, 잔디 및 초화류 등에 실시하는 물주기 작업을 의미한다.
- 시비는 수목, 지피 및 초화류의 성장을 촉진하고, 쇠약한 식물에 활력을 주기 위하여 퇴비 등 유기질 비료와 화학비료를 주는 것을 의미한다.
- 병충해 방제는 병원균이 기주체 내에 침입하는 것을 저지하고, 이미 기주체 표면에

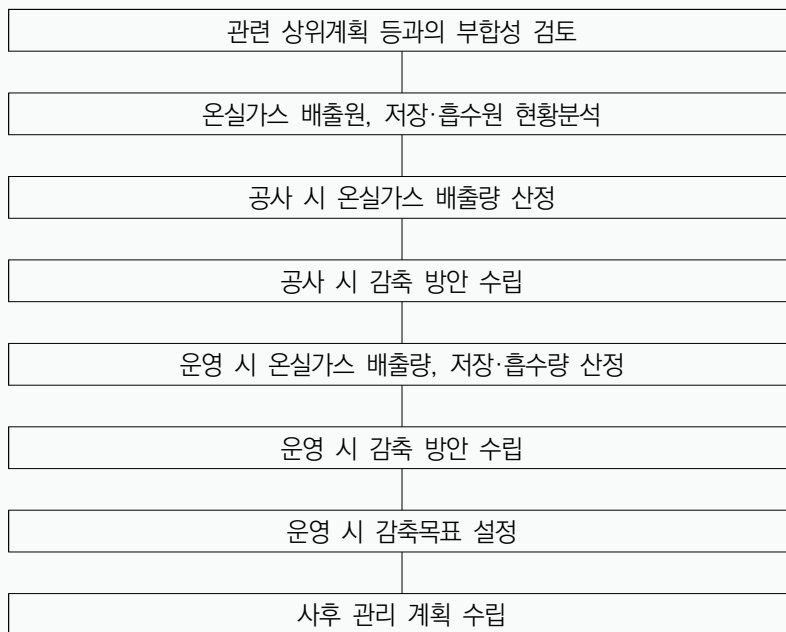
24) 한국건설기술연구원(2015), p.439.

부착하였거나 그 위에 형성된 병원균을 죽이거나 활동을 억제하여 병의 발생을 사전에 방지하고, 발생 후의 확산을 방지하기 위하여, 또는 해충으로 인한 피해를 최소화하기 위해서 약제, 미생물 제제 등을 살포하는 것을 의미한다.

- 제초는 식재지 내에 번성한 잡초류를 제거하는 것을 말하며, 잔디 깎기는 잔디밭의 치밀한 생육과 부드럽고 균일한 표면 유지 및 잡초 방제 등을 목적으로 잔디 면을 일정한 높이로 깎아주는 것을 의미한다.

## 2. 온실가스 감축 부문 평가기법

도로 건설사업은 대표적 선형사업으로, 기후변화영향평가 시 세부적인 평가 요소·기법은 도시의 개발, 산업입지 및 산업단지 조성사업 등의 면적 개발사업과 비교하여 상이하나, 일반적 관점에서 평가하면 고려사항, 평가 절차는 내용과 구조가 동일하다. 아래 <그림 4-5>는 기후변화영향평가 중 온실가스 감축 부문에 대한 평가 절차를 나타낸다.<sup>25)</sup>



자료: 이영수 외(2023b), p.248을 활용하여 저자 작성.

**그림 4-5** 온실가스 감축 부문 평가 절차

25) 본 연구에서 수립·제시한 온실가스 감축 부문의 평가기법은 환경부(2023)의 '기후변화영향평가 방법 등에 관한 안내서'의 평가 방법과 절차·구조를 토대로 마련되었음.

## 가. 배출원 및 흡수원 현황조사

### 1) 조사항목

- 조사항목은 사업노선의 길이(연장, km), 사업노선 및 주변 지역의 환경적 특성을 반영하여 온실가스 배출원 현황, 온실가스 저장량·흡수량 현황을 적절히 파악할 수 있도록 아래의 사항을 고려하여 설정한다.
  - 온실가스 배출원 현황
  - 온실가스 배출원단위 현황
  - 온실가스 배출량 현황
  - 온실가스 저장량·흡수량 현황

### 2) 조사범위

- 공간적 범위: 사업노선 및 주변 지역
- 시간적 범위: 기후변화영향평가 시점(해당 연도)

### 3) 조사방법

- 기존 문헌 및 통계자료, 유사사례 등을 수립하여 분석·정리한다.

#### 가) 기존 문헌 및 통계자료

- 국가 및 지자체 등에서 온실가스 감축 목표 설정, 감축 계획 수립을 위해 적용한 조사 방법 및 배출계수
- ‘온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침’ 등 국가 및 지자체에서 정한 지침

#### 나) 유사사례 조사

- 공공기관 등에서 해당 기관과 관련된 온실가스 발생량 및 흡수량 조사와 관련한 분류 체계, 조사 방법 등을 활용

표 4-10 도로 건설사업 온실가스 현황분석 관련 참조 사이트

사이트명	주소	관련 내용
온실가스종합정보센터	<a href="http://www.gir.go.kr">http://www.gir.go.kr</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가 온실가스 관련 통계</li> <li>• 국가 온실가스 관련 정책</li> <li>• 온실가스 배출계수</li> </ul>
전력통계정보시스템	<a href="http://epsis.kpx.or.kr">http://epsis.kpx.or.kr</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 발전량, 전력 수요, 전력 부문 온실가스 배출계수</li> </ul>
흙도람 (토양환경정보시스템)	<a href="http://soil.rda.go.kr">http://soil.rda.go.kr</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토양 분류, 토지이용</li> </ul>
환경공간정보서비스	<a href="https://egis.me.go.kr">https://egis.me.go.kr</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토지 피복도</li> </ul>
산림공간정보서비스	<a href="https://map.forest.go.kr/forest/">https://map.forest.go.kr/forest/</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산림지도, 임상도</li> </ul>
국토교통정보시스템	<a href="https://www.molit.go.kr/network/">https://www.molit.go.kr/network/</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 교량 및 터널 현황정보</li> <li>• 국토지반정보포털</li> <li>• 하천정보관리시스템</li> <li>• 국토정보플랫폼</li> </ul>
대한전문건설협회	<a href="https://www.kosca.or.kr/">https://www.kosca.or.kr/</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건설 관련 법령 현황</li> <li>• 건설공사 표준품셈</li> </ul>
교통량정보제공시스템	<a href="https://www.road.re.kr/main/main.asp">https://www.road.re.kr/main/main.asp</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 교통 관련 통계자료</li> <li>• 도로 종류별 교통량</li> </ul>
지역환경정보시스템	<a href="http://eiaresearch.kei.re.kr/welcome">http://eiaresearch.kei.re.kr/welcome</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분석대상 지역 주변 개발사업 현황</li> <li>• 산출기 이격거리, 토양유실량</li> <li>• 환경입지자가진단서비스</li> </ul>
탄소공간지도	<a href="https://www.carbonmap.kr/index.do">https://www.carbonmap.kr/index.do</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시 내 부문별 탄소배출량, 탄소흡수량 현황을 공간단위로 나타낸 지도</li> </ul>

자료: 최현진 외(2022) p.142를 활용하여 저자 작성.

- 평가대상 노선, 주변 지역의 토지이용 현황을 고려하여 수송, 공공/상업, 가정, 폐기물, 농업, LULUCF 부문으로 구분하여 기술한다. 온실가스 배출 부문별 온실가스 산정대상 물질은 아래와 같다.
  - <표 4-11>의 산정대상 온실가스는 현황조사 외 공사 및 운영 시 배출량 산정에서도 동일하게 적용한다.
  - 기존 도로의 확장, 노선 개량 사업 등의 경우 당해 노선의 교통량을 고려하여 수송 부문의 배출량을 산정한다.

**표 4-11** 부문별 산정대상 온실가스

부문	배출 구분	배출 요인	산정대상 온실가스	
수송	이동배출원	이동 연소시설의 에너지(연료) 사용에 따른 온실가스 배출	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	
공공/상업	직접 배출	고정 연소시설의 에너지(연료) 사용에 따른 온실가스 배출	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	
	간접 배출	전기	외부 공급된 전기, 열, 수도 사용에 따른 온실가스 배출	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
		열 수도		
산업	직접 배출	고정 연소시설의 에너지(연료) 사용에 따른 온실가스 배출	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	
	간접 배출	전기	외부 공급된 전기, 열, 수도 사용에 따른 온실가스 배출	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
		열 수도		
가정	직접 배출	고정 배출원	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	
	간접 배출	전기	외부 공급된 전기, 열, 수도 사용에 따른 온실가스 배출	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
		열 수도		
폐기물	매립	사업지역 배출 폐기물의 매립, 소각, 생물학적 처리, 하·폐수 처리 과정에서의 온실가스 배출	CH <sub>4</sub>	
	소각		CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	
	하·폐수 처리		CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	
	생물학적 처리		CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	
농업	장내 발효	가축 장내 발효에 의한 메탄 배출	CH <sub>4</sub>	
	가축 분뇨 처리	가축 분뇨 처리에 의한 메탄 배출	CH <sub>4</sub>	
	비료 사용	비료 사용으로 인한 온실가스 배출	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	
	작물 잔사 소각	바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	

자료: 국가법령정보센터, “온실가스 배출원거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침”.

#### 4) 조사결과

- 조사결과는 조사항목별로 정리하여 기술하고, 되도록 정량적으로 이해가 쉽도록 표, 그림 등을 함께 작성한다.
  - 사업노선에 편입되는 지장물, 기존 토지 피복 현황, 훼손되는 식생 현황 등을 고려하여 부문별 온실가스 배출량, 흡수·저장량 산정 과정(배출계수, 산정식 등)을 구체적으로 작성

## 나. 온실가스 배출량 산정

### 1) 산정 항목

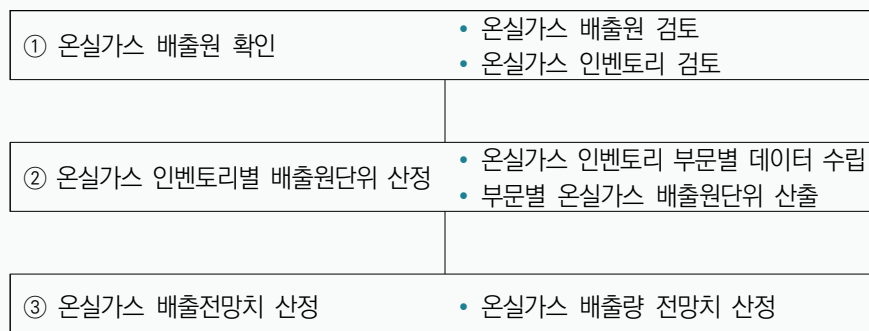
- 도로 건설사업의 특성에 맞추어 국가 온실가스 인벤토리를 재구성하여 배출량 산정을 위한 항목을 선정한다. 구체적인 예는 다음과 같다.
  - 산업: 교통량(공사 시 건설장비 운용 포함)
  - 공공/상업: 공공시설 및 상업시설(휴게소, 터널, 관리사무소, 현장사무소 등)
  - 폐기물: 폐기물 처리(휴게소, 터널, 관리사무소, 현장사무소의 운영 등)
  - LULUCF: 녹지 조성, 수목 식재 등

### 2) 산정 범위

- 공간적 범위: 사업노선과 부대시설을 원칙으로 하되, 해당 사업 시행에 따른 인근 지역의 토지이용 변경, 녹지 훼손, 교통량 변화 등이 있는 경우 인근 지역을 포함할 수 있다.
- 시간적 범위: 공사 시와 운영 시로 구분한다. 목표 시점은 전략환경영향평가 시 수립된 온실가스 감축목표 시점, 또는 「탄소중립기본법」 제7조에 따른 국가 비전의 목표 시점(2050년)을 고려하여 설정한다.

### 3) 산정 절차

- 온실가스 배출량 전망치의 산정 절차는 다음과 같다.

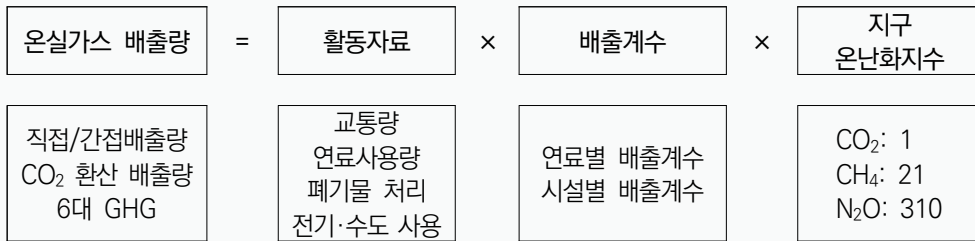


자료: 환경부(2023a), p.53.

**그림 4-6** 온실가스 배출량 전망치 산정 절차

#### 4) 산정 방법

- 온실가스 인벤토리 부문별 데이터를 수집하여 각 부문 특징이 반영된 온실가스 배출원 단위의 기준을 설정한다.
- 온실가스·에너지 목표관리운영지침(환경부 고시), 국가 고유 배출계수, 지자체 온실가스 배출량 산정지침, 온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침, IPCC 국가 온실가스 인벤토리 가이드라인 등의 문헌조사, 유사사례에서 제시된 방법론과 배출계수를 활용하여 산정한다.
  - 부문별 배출계수, 흡수계수는 되도록 최신 배출계수를 적용하되, ‘기후변화영향평가 방법 등에 관한 안내서(환경부, 2023)’의 부록2를 참조할 수 있다.
  - 도로 건설사업의 특성상 휴게소, 터널 등의 부대시설을 유지·관리하며 배출되는 온실 가스에 대한 국가 고유 배출계수는 부재하므로, ‘고속도로 건설사업 환경영향평가 적용을 위한 온실가스 예측 및 저감대책 연구 용역(한국도로공사, 2009)’의 연구 결과를 활용할 수 있다.



자료: 환경부(2023a), p.54를 활용하여 저자 작성.

**그림 4-7** 온실가스 배출량 산정 방법

#### 가) 공사 시

- 공사 장비의 운용 등으로 인한 배출량을 우선으로 고려하여 배출량을 산정하되 실제 토공이 이루어지는 기간을 고려한다. 이때 공사 장비의 종류, 수 등은 해당 사업의 환경영향평가서의 ‘대기질’ 항목의 자료와 연계한다.
- 공사 장비를 운용하는 경우 일반적으로 Tier 1 수준<sup>26)</sup>의 배출량 산정 방법을 준용하되, 구체적인 산정식은 아래와 같다.
- 공사 장비 운용 외 현장사무소 운영에 따른 가정 부문, 공사 인부 및 건설폐기물 발생을 고려한 폐기물 부문 온실가스 배출량을 산정한다(산정 방법은 부록 I 참조).

26) 연구진의 내부 회의, 자문위원 및 관계 전문가의 의견 수렴을 통해 기존 안내서와의 부합성, 타 사업과의 형평성을 고려하여 Tier 1 수준의 평가를 수행하는 것으로 결정함(운영 시에도 동일하게 적용).

**표 4-12** 공사 시 온실가스 배출량 산정 부문

부문	배출 구분	산정 여부	
산업	이동배출원(건설장비 운용)	●	
가정	직접 배출	●	
	간접 배출	전기	●
		열	●
		수도	●
폐기물	매립	●	
	소각	X	
	하·폐수 처리		
	생물학적 처리		

자료: 저자 작성.

**표 4-13** 수송 부문 온실가스 배출량 산정식

$$E_{i,j} = Q_i \times EC_i \times EF_{i,j} \times 10^{-6}$$

$E_{i,j}$ : 연료(i)의 연소에 따른 온실가스(j)의 배출량(tGHG)  
 $Q_i$ : 연료(i)의 사용량(KL-연료)  
 $EC_i$ : 연료(i)의 열량계수(순발열량, MJ/L-연료)  
 $EF_{i,j}$ : 연료(i)에 따른 온실가스(j)의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)  
 $i$ : 연료 종류

자료: 국가법령정보센터, “온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침”, [별표6].

### 나) 운영 시

- 도로 건설 후 차량 운행을 고려한 수송 부문, 터널 및 휴게소 등의 부대시설을 고려한 공공/상업 부문, 부대시설 운영 과정에서 발생하는 폐기물을 고려한 폐기물 부문을 배출원으로 산정하며, 녹지조성 및 식재에 따른 LULUCF 부문을 저장-흡수원으로 산정한다(산정 방법은 부록I 참조).
- 차량 운행의 경우 일반적으로 Tier 1 수준의 배출량 산정 방법을 준용하되, 구체적인 산정식은 공사 시와 동일하다(표 4-13 참조).
  - 차량 운행으로 인한 연료 사용량은 보수적인 여건이 반영될 수 있도록 최대 예측교통량에 유종별 평균 연비와 도로 연장을 적용하여 산정<sup>27)</sup>
  - 구간별 교통량이 상이할 수 있으므로 되도록 구간별로 구분하여 배출량을 산정
- 터널 운영, 휴게소, 영업소 운영 등에 따른 온실가스 배출량 산정은 ‘고속도로 건설사업 환경영향평가 적용을 위한 온실가스 예측 및 저감대책 연구 용역(한국도로공사, 2009)’

27) 출입시설(분기점, 나들목)이 존재하는 구간별로 구분하는 등 구간별 최대 예측교통량을 적용하여 배출량 산정을 실시하는 것이 바람직함.

의 연구 결과 내 배출원단위를 활용한다.

- 단 해당 연구 결과의 배출원단위는 연료 및 전력의 사용만을 고려하였으므로, 폐기물 부문(오·폐수, 생활폐기물)은 해당 사업의 환경영향평가서 내 '친환경적 자원순환', '수질 및 수리·수문' 항목과 연계하여 타 문헌 및 유사사례를 활용한다.

**표 4-14** 운영 시 온실가스 배출량 산정 부문

부문	배출 구분	산정 여부	
수송	이동배출원	●	
가정	직접 배출	●	
	간접 배출	전기	●
		열	●
		수도	●
폐기물	매립	●	
	소각	●	
	하·폐수 처리	●	
	생물학적 처리	X	
흡수원	LULUCF	●	

자료: 저자 작성.

**표 4-15** 도로 시설물별 온실가스 배출원단위

부문	배출 구분	산정 여부
휴게소	798 톤CO <sub>2</sub> eq/개소·연	1개소당
관리사무소	2.6 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연	단위연장(1km)당
유지관리 차량	4.5 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연	단위연장(1km)당
영업소	20차로 이상	430 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연
	11차로 이상~20차로 미만	267 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연
	10차로 이하	133 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연
가로등	IC	38 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연
	JC	107 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연
터널	2km 이상	371 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연
	1km 이상~2km 미만	442 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연
	1km 미만	421 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연

자료: 한국도로공사(2009), pp.60-68을 활용하여 저자 작성.

## 다. 온실가스 배출량 평가

### 1) 온실가스 감축 목표 설정

- 운영 시 온실가스 감축 목표는 국가 전략, 상위 계획 및 관련 계획과의 정합성, 연계성을 최대한 유지할 수 있도록 설정한다.
  - 「탄소중립기본법」 제7조에 따른 국가비전 및 국가전략
  - 「탄소중립기본법」 제8조에 따른 중장기 국가 온실가스 감축 목표 등
  - 「탄소중립기본법」 제10조에 따른 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획
  - 「탄소중립기본법」 11조에 따른 시·도계획, 제12조에 따른 시·군·구계획
  - 기후변화에 관한 국제협약, 국제사회의 기후위기 대응 동향
  - 현재의 기술적 상황과 여건, 최신 기술 동향 및 수준, 저감방안 유·무 등을 고려한 온실가스 감축목표 실현 가능성
- 감축목표 달성을 위한 감축 전략은 국가 온실가스 감축 전략(2050 탄소중립 시나리오, 2030 NDC), 유사 사업 사례, 기존 흡수원의 훼손 정도를 고려하여 사업자가 수행할 수 있는 최대한의 감축 전략을 수립한다.

### 2) 감축 전략 및 방안 수립

- 탄소중립 달성을 위한 정부(중앙, 지자체)의 온실가스 감축 대책을 적극적으로 반영하되, 국가 및 지자체의 감축 전략 외 사업자가 직접으로 추가 적용할 수 있는 감축 전략을 별도로 수립한다.
- 수송, 공공/상업, 폐기물 등 부문별 온실가스 배출량 산정, 평가 결과를 토대로 사업 시행에 따른 온실가스 감축 방안을 부문별로 구분하여 구체적으로 수립하고, 28) 가용지를 대상으로 수목 식재, 녹지조성 등 탄소 흡수원의 확대 방안을 적극적으로 강구한다.
  - 상세 온실가스 감축 전략은 ‘기후변화영향평가 방법 등에 관한 안내서(환경부, 2023)’의 부록3을 참조할 수 있다.
  - 감축량은 제시된 감축목표와 연계되어야 하며, 가능한 한 정량적으로 제시한다. 정량적 산정이 어려운 경우 정성적으로 제시할 수 있다.

28) 도로 건설사업의 운영 시 온실가스 배출이 가장 큰 부문은 수송(차량 운행)이나, 해당 부문에 대한 감축은 개별 사업 단위에서의 대책 수립이 제한적이므로, 그 외 부문(공공/상업, 폐기물 등)에 대한 적극적인 감축 대책을 수립함.

**표 4-16** 감축량 총괄표 예시

구분	감축 전략	감축량(연도)
총 감축량	당초 대비 배출량 0% 감축	●
수송	당초 대비 배출량 0% 감축	●
공공/상업	당초 대비 배출량 0% 감축	●
폐기물	당초 대비 배출량 0% 감축	●
LULUCF	녹화	●

자료: 환경부(2023a), p.64를 활용하여 저자 작성.

### 3) 공사 시 감축 전략

- 공사 시 온실가스 배출은 장비의 운용을 위한 에너지 사용, 구조물 건설을 위한 재료의 사용과 밀접하게 연계된다. <표 4-17>은 공사 시 온실가스 감축을 위한 공종별 대책을 나타낸다.

**표 4-17** 공종별 온실가스 감축 대책

대책 관점		공종	토공	배수 및 옹벽공	교량공	포장 및 부대공	터널공
에너지 측면	건설기계 대형화		◎	△	○	△	○
	자동화·정보화 등에 의한 고효율화		○	○	○	○	○
	고효율 건설기계로의 전환		△	△	○	△	◎
	상용 전원 이용		△	△	◎	△	◎
	기자재 적정 배치		○	△	△	△	△
	에너지 절약 운전 장려		◎	○	○	○	○
	저연비 운전 시행		◎	○	○	△	○
재료 선택 및 확보 측면	자재의 프리캐스트화		-	◎	○	○	○
	저탄소 재료 선택		-	○	◎	○	◎
	현장발생 자재 재사용 등		○	○	△	◎	○

주: ◎ = 정량적 효과 기대 가능, ○ = 정성적 효과 기대 가능, △ = 효과 없음, - = 검토대상 외  
 자료: 한국도로공사(2009), p.81을 활용하여 저자 작성.

#### 가) 에너지 사용량 저감 공사

- 건설기계 대형화: 1일 시공량 증가, 연료 소비율을 향상시켜 온실가스 배출 최소화
- 자동화 및 정보화: 건설기계를 자동화하여 작업 효율 향상, 사용 장비를 정보화하여 필요에 따른 적재적소 배치를 통해 효율적으로 운영함
- 장비와 재료, 토사 운반의 효율화: 현장 내 사용되는 장비와 재료를 일괄 운반하여 주행 대수 및 거리를 저감, 적재의 효율화를 통한 온실가스 배출 저감, 발생하는 토사를 현장 내 또는 현장 간 활용함으로써 운반 거리를 최소화할 수 있도록 계획함

- 작업장 진입로, 공사장 내 이동 도로: 작업장 내 토공 운반, 콘크리트 운반 등 장비와 차량이 적절한 속도로 운용될 수 있도록 이동통로를 수시로 정비하여 효율적 운송 체계를 확보함
- 에너지 고효율 장비 사용: 공사 시 효율적인 건설장비 사용 및 시공 방법 선택, 노후 건설장비 사용 지양, 투입 장비의 철저한 유지관리
- 공회전 금지, 장비 운전자에게 에너지 절약 및 고효율 운전 교육을 시행함

**표 4-18** 공회전 금지에 따른 온실가스 감축률

구 분		10톤 덤프트럭	0.7m <sup>3</sup> 백호우(굴착기)
ID 시간율 (%)		55	30
공회전 시	연비 (L/H)	1.6	1.9
	CO <sub>2</sub> 배출량 (gC/H)	4,100	4,900
실 가동 시	연비 (L/H)	25.0	17.5
	CO <sub>2</sub> 배출량 (gC/H)	66,100	47,600
삭감률 (%)		7.0	4.2

자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2019.8.1), “세종-포천[세종-안성] 고속도로 건설공사 환경영향평가서 본안”, p.7.2.3-24, 검색일: 2024.7.1.

#### 나) 저탄소 재료 사용

- 건설자재는 생산·수송·시공·폐기 과정에 이르기까지의 비용과 에너지 발생을 고려하여 환경부하가 적은 재료를 사용함
- 천연 및 재활용 재료, 반복 사용이 가능한 재료를 최대한 활용함
- 조경, 비구조물 등에 필요한 콘크리트 제품에 에코 콘크리트, 무시멘트 벽돌 등 적용
- 중온 개질 아스팔트를 적용하여 온실가스 및 유해가스 발생 저감함
  - 중온 아스팔트를 활용하면 시공 과정에서 1톤당 6~7kg의 이산화탄소가 감소하여,<sup>29)</sup> 기존 아스팔트 대비 약 20% 이상의 탄소저감 효과를 거둘 수 있음<sup>30)</sup>

#### 다) 건설자재 및 폐기물 재활용, 폐기물 적정 처리

- 공사 시행 시 발생하는 건설폐기물 발생을 최소화하고, 폐기물 재활용을 극대화하기 위한 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」 관련 규정을 준수함
- 도로보조기층재로 사용하는 순환골재는 적용 기간별 의무사용량에 맞추어 최대한 재활용, 「순환골재 등 의무사용건설공사의 순환골재·순환골재 재활용제품 사용용도 및 의무사용량에 관한 고시」(환경부고시 제2017-175호) 관련 규정을 준수함

29) 청색경제뉴스(2024.7.17), “기후위기 대응 탄소저감 도로 포장 기술 대폭 확대된다”, 검색일: 2024.9.5.

30) 국토교통부 보도자료(2024.7.17), p.1.

**표 4-19** 순환골재 및 순환골재 재활용제품 의무 사용 용도 및 사용량

순환골재 의무 사용 건설공사	사용 용도	의무 사용량
가. 「농어촌도로 정비법」 제2조에 따른 농어촌도로, 「도로법」 제2조제1호 또는 제108조에 따른 도로 및 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 제2조제2항제1호에 따른 도로 중 다음의 어느 하나에 해당하는 공사 1) 공사구간의 폭이 2.75미터 이상이고 길이가 1km(농어촌 도로의 경우 200m 이상) 이상 2) 포장면적이 9천m <sup>2</sup> (농어촌도로의 경우 2천m <sup>2</sup> ) 이상	도로 보조기층용, 동상방지층 및 차단층용	사용 용도별로 각 골재 소요량의 40% 이상
순환골재 재활용제품 의무 사용 건설공사	사용 용도	의무 사용량
가. 「농어촌도로 정비법」 제2조에 따른 농어촌도로, 「도로법」 제2조제1호 또는 제108조에 따른 도로 및 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령」 제2조제2항제1호에 따른 도로 중 다음의 어느 하나에 해당하는 공사 1) 공사구간의 폭이 2.75m 이상이고 길이가 1km(농어촌 도로의 경우 200m 이상) 이상 2) 포장면적이 9천m <sup>2</sup> (농어촌도로의 경우 2천m <sup>2</sup> ) 이상	아스팔트콘크리트 포장용	제품 소요량의 40% 이상

자료: 국가법령정보센터, “순환골재 등 의무사용건설공사의 순환골재·순환골재 재활용제품 사용용도 및 의무사용량에 관한 고시”.

- 현장사무소 등의 운영 과정에서 근로자들이 배출하는 생활폐기물에 대한 재활용 및 적정 처리방안 수립함

**라) 친환경 인증제품 사용**

- 우수재활용제품인증마크(GR마크), 환경마크를 획득한 친환경 인증제품을 사용함

**4) 운영 시 감축 전략**

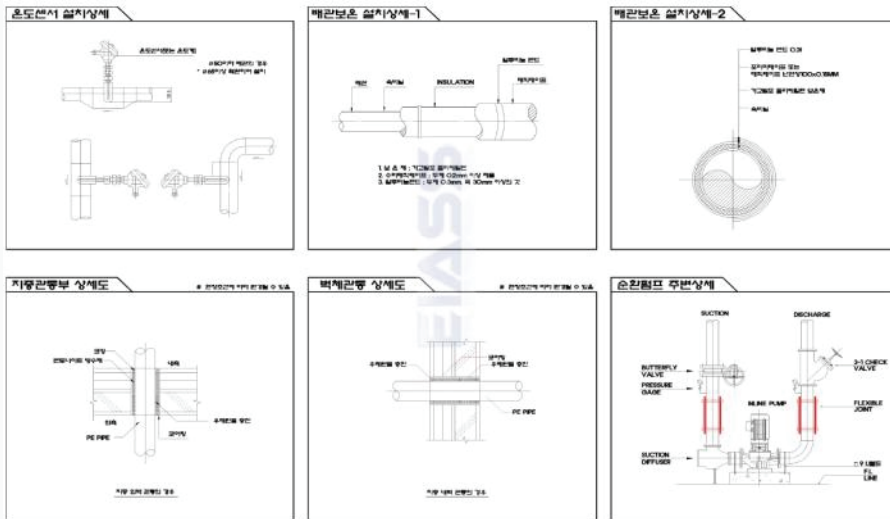
**가) 신재생에너지 활용**

- 휴게소, 영업소, 관리사무소 등 건물의 옥상 또는 유휴 부지에 태양광 발전시설을 설치하여 시설물 유지에 필요한 전력을 공급, 생산전력은 휴게소 내 자체 전원 사용 및 차량 충전 시스템 등으로 활용, 태양광 이외 태양열을 이용하여 온수 및 난방에 활용하는 방안을 함께 수립함
- 고속도로 영업소, 관리사무소의 냉·난방 시 지열에너지, 도시형 소형풍력 발전시설을 활용하는 방안을 수립함



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2019.8.1), “세종-포천[세종-안성] 고속도로 건설공사 환경영향평가서 본안”, p.7.2.3-26, 검색일: 2024.7.1.

**그림 4-8** 휴게소 태양광 발전시설 적용 예시



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2019.11.29), “평택동부고속화도로 민간투자사업 환경영향 평가서 본안”, p.517, 검색일: 2024.7.1.

**그림 4-9** 영업소 및 휴게소 지열 활용시설 적용 예시



자료: 머니투데이(2013.6.19), “LH아파트에 소형풍력발전...650만원 절약”, 검색일: 2024.9.5.

**그림 4-10** 도시형 소형풍력 발전시설 적용 예시

- 도로 방음터널 상부에 태양광 패널을 설치하여 발전설비로 활용하는 방안을 수립함



자료: 서울특별시 보도자료(2020.6.19), p.5.

**그림 4-11** 태양광 방음터널 설치 예시(동부간선도로)

**나) 에너지 이용효율 향상설비 도입**

- 터널, 나들목 및 분기점, 관리사무소 등에 설치되는 조명을 LED로 설치하는 등 조명 기기 효율화를 도모하고, 고효율 기기 설치·교체 등을 통해 에너지 소비량 감소가 가능하므로, 사업 시행 후 유지 및 보수에 필요한 전기와 조명시설을 LED로 설치하는 계획을 수립함

- 태양광, 풍력 등으로 가동할 수 있는 하이브리드 보안등 활용 검토
- 태양광 표지병, 태양광 안개 경보등 사용 검토

**표 4-20** 가로등 광원 비교

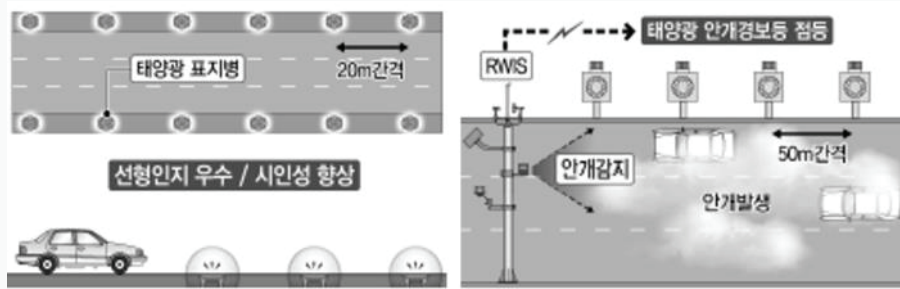
구 분	고압나트륨 램프	무전극 램프	메탈할라이드 램프	LED 램프
평균수명	12,000시간	60,000시간	10,000시간	50,000시간
효율	90(lm/w)	80(lm/w)	82(lm/w)	95(lm/w)
광색	동백색	백색	백색	엠버백색
연색성	보통	좋음	좋음	매우 좋음
휘도	높음	낮음	높음	매우 높음
주위 온도 영향	효율	없음	없음	없음
	시동	없음	보통	없음
사용장소	안개, 매연 지역, 시가지	조경, 시가지	조경, 시가지	조경, 안개, 매연 지역, 시가지

자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2018.10.29), “다사-왜관 간 광역도로 건설 환경영향평가서 본안”, p.400, 검색일: 2024.7.1.

**표 4-21** 터널 조명 광원 비교

구 분	LED 램프	형광램프	세라믹 메탈 램프	무전극 램프
광효율	95(lm/w)	93(lm/w)	100(lm/w)	80(lm/w)
램프 수명	50,000시간	16,000시간	12,000시간	60,000시간
광색	주백색	백색	백색	주백색
연색성	86Ra	76Ra	80Ra	86Ra
눈부심	우수	아주 우수	우수	나쁨
배광제어	횡방향 가능 종방향 불가능	횡방향 가능 종방향 불가능	종·횡방향 가능	횡방향 가능 종방향 불가능
램프 교체비	수명이 아주 높음	수명이 낮음	수명이 낮음	수명이 아주 높음
외부 온도 영향	영향 없음	영향 없음	영향 없음	영향 없음
전압 변동	다소 있음	다소 있음	다소 있음	다소 있음

자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2019.5.29), “국도5호선 신림-판부 도로건설공사 환경영향평가서 본안”, p.455, 검색일: 2024.7.1.



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2018.9.12), “새만금 남북도로(2단계) 건설공사 환경영향평가서 본안”, p.577, 검색일: 2024.7.1.

**그림 4-12** 태양광 표지병, 태양광 안개 경보등 도입 예시

- 고속도로 영업소, 휴게소, 관리사무소 등에 고효율 에너지 이용설비 도입계획을 수립하며, 「건축물의 에너지절약설계기준(국토교통부 고시 제2023-104호)」에 제시된 의무사항을 포함하여 적용 가능한 절약형 기기 등을 검토하고 최대한 반영하여 온실가스 배출을 저감함

**표 4-22** 에너지 이용효율 향상설비 도입계획(안)

구 분	대상 설비	설치 장소	예상 저감 효율
의무사항	조도 자동조절 조명기구	비상계단 등	약 1.75%
	변압기	변압기 사용처	
	펌프	펌프 사용처	
에너지 효율 향상설비 도입계획	LED 가로등	도로, 주차장, 공원	약 10.08%
	LED 신호등	도로	
	옥상 녹화	공공/상업시설	
	건축물 에너지 효율 인증	공공/상업시설	
	건물용 가스보일러	공공/상업시설	
	건물 자동 제어	공공/상업시설	
	인버터	사용처	
	매립형 및 고정형 LED 램프	사용처	
	컨버터 내장형 LED 램프	사용처	
	컨버터 외장형 LED 램프	사용처	
	삼성 유도전동기	사용처	
	LED 투광등 기구	사용처	
	송풍기	공조기 팬	
냉동기	사용처		

주: 공공/상업시설은 휴게소, 영업소, 관리사무소 등을 의미함.  
 자료: 환경부(2023b), p.77을 활용하여 저자 작성.

- 고속도로 영업소, 관리사무소의 마감 재료를 로이복층유리, 알루미늄 복합 패널로 계획하여 냉·난방 에너지에 대한 효율적 사용 방안을 수립함



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2020.7.21), “영종-청라 연결도로(제3연륙교) 환경영향평가서 본안”, p.462, 검색일: 2024.7.1.

**그림 4-13** 건축물 에너지의 효율적 사용 방안

**다) 지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transport System)<sup>31)</sup> 설치**

- 도로, 차량, 신호시스템 등 기존 교통체계의 구성요소에 전자·제어·통신 등 첨단 기술을 접목해 교통시설의 효율을 제고하고, 안전을 증진하기 위한 차세대 교통 시스템으로 신속한 교통 정보를 통해 지·정체를 해소하여 온실가스 발생 저감이 가능함
- 이에 해당하는 것으로는 실시간 신호제어, 차량 간격 자동 제어, 실시간 교통 정보 제공 등이 있다. 지능형 교통 시스템의 기대 편익으로는 교통 시스템의 용량과 효율성 증가, 이동성 향상, 에너지 소비 절약 및 환경비용 감소, 경제성 증가를 들 수 있음



자료: 기술과 혁신(2021), “스마트한 첨단 교통 체계로 탄소 배출 줄인다”, 검색일: 2024.7.20.

**그림 4-14** 지능형 교통 시스템 응용 사례

31) 한국도로공사(2009), p.86.

**라) 하이패스 및 스마트 톨링(Smart Tolling)<sup>32)</sup> 설치**

- 고속도로 통행료 무인요금 징수시스템(ETCS: Electronic Toll Collection System)으로 무인, 무정차, 무현금 개념의 통행료 징수방식임. 기존 고속도로 요금소 1개 차로가 처리하는 교통량은 시간당 450대 수준이나, 하이패스 도입 후 처리량이 1,800대 수준으로 5~6배까지 증가했으며, 이로 인해 요금소에서 발생하는 차량 정체 현상이 현저하게 감소함
- 조사대상 영업소의 차량당 평균 통행시간을 분석한 결과 첨두시(출·퇴근 시간) 때는 입구와 출구가 각각 23.6%·6.0% 감소하였으며, 첨두시가 아닐 때는 입구 23.5%, 출구 12.2%의 감소 효과가 있는 것으로 보고되었음. 정지 중 공회전만을 고려하여 일반차로와 하이패스 차량 운행 패턴을 비교하였는데, 그 결과 2009년부터 연평균 7.7만 톤의 이산화탄소 감소 효과가 있는 것으로 나타남

**표 4-23** 하이패스 및 스마트 톨링 개요

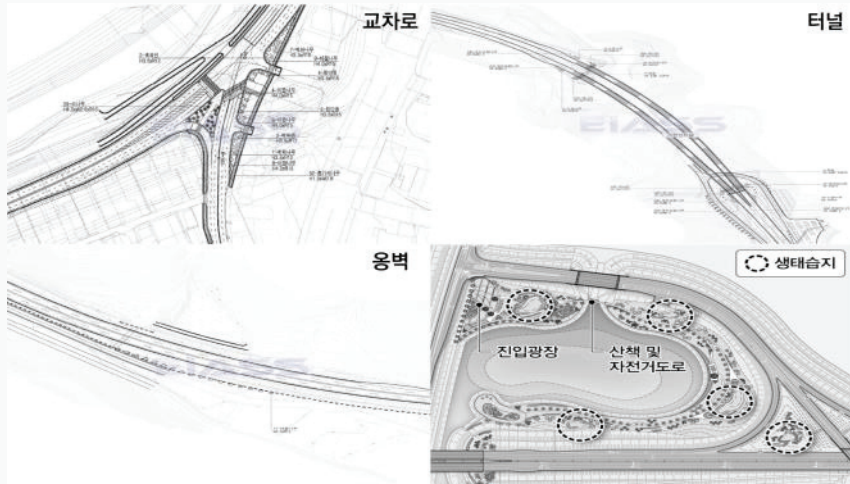
구분	하이패스		스마트 톨링	
설치차로	1차로씩		4차로까지 (차로 변경 가능)	
운행속도	30km 미만 (가·감속)		100km 이상 (정속)	
설치지점	IC		본선 또는 IC	

자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2018.1.18), “새만금-전주(김제-전주) 고속도로 건설사업 환경영향평가서 본안”, p.703, 검색일: 2024.7.1.

**마) 저탄소 토지이용, 수목 식재, 녹화 및 초지화**

- 온실가스 흡수원의 유지를 위해 불필요한 깎기 비탈면과 토공량이 발생하지 않도록 기존 지형을 최대한 고려하여 노선계획, 시설물 조성계획을 수립하고, 도로 부지 현장 여건에 맞춰 노선 주변 수목 식재가 가능한 곳을 대상으로 최대한의 수목을 식재하고 녹화 및 초지화를 계획함

32) 한국도로공사(2009), pp.85-86.

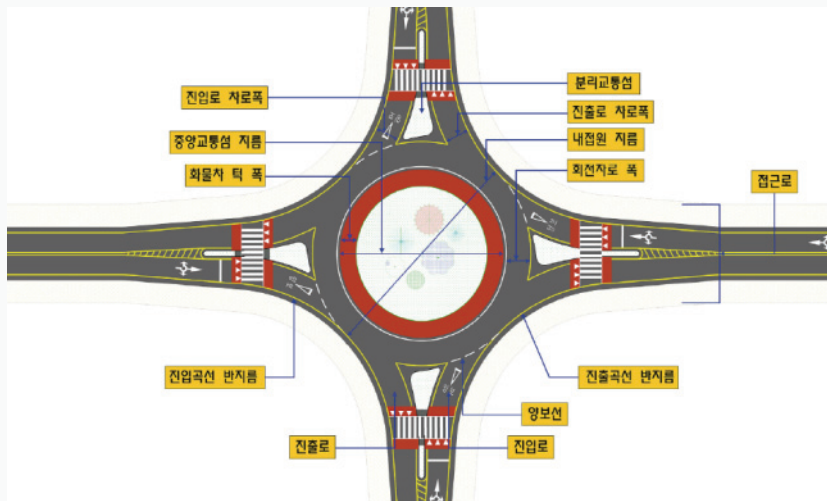


자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2018.9.12), “새만금 남북도로(2단계) 건설공사 환경영향평가서 분안”, p.577, 검색일: 2024.7.1; 환경영향평가 정보지원시스템(2018.10.29), “다사-왜관 간 광역도로 건설 환경영향평가서 분안”, pp.393-399, 검색일: 2024.7.1을 활용하여 저자 작성.

**그림 4-15** 수목 식재, 녹화 및 초지화 예시

#### 바) 회전교차로 설치

- 교차로가 설치되는 구간에서 신호교차로가 아닌 회전교차로를 설치하면 교통 흐름 개선, 차량 정체 및 공회전 감소, 신호등 제거 등에 따른 온실가스 감축 효과를 기대할 수 있음
- 미국 고속도로 안전보험협회에 따르면 회전교차로는 교통 흐름의 효율성을 향상함에 따라 일산화탄소 15~45%, 아산화질소 21~44%, 이산화탄소 23~34%, 탄화수소 0~40%의 배출량이 감소하며, 연료 소비는 약 23~34% 감소하는 것으로 나타남<sup>33)</sup>



자료: 국토교통부(2022.8), p.5.

**그림 4-16** 회전교차로 구성요소

33) 국토교통부(2022.8), p.12.

**사) 교통량 분산, 정체 구간 해소, 교통흐름 개선**

- 기존 도로의 확장, 또는 노선 신설에 따른 교통량 분산과 정체 구간 해소, 주행 속도 향상 등에 따른 온실가스 감축 효과를 작성함. 정량적 산정이 어려운 경우 정성적으로 이를 기술함

**아) 친환경 차량 관련 인프라 시설 설치**

- 휴게소, 영업소, 관리사무소 등에 전기·수소 차량 충전시설 설치, 지정 주차구역 설정 등을 통해 친환경 차량으로의 전환을 도모함

**자) 폐기물 재활용 및 최소화, 용수 사용 저감 계획**

- 휴게소, 영업소, 관리사무소 등에서 배출되는 폐기물 최소화 및 재활용 계획을 수립함
- 휴게소, 영업소, 관리사무소의 운영 시 용수 사용 저감 계획, 재이용계획 등을 수립함
  - 절수형 기기 도입, 중수 사용 등

**라. 종합검토 및 결론**

- 사업 시행에 따른 온실가스 배출량과 흡수량을 산정하고, 사업자가 시행 가능한 감축 전략과 기술을 도입함에 따라 달성할 수 있는 감축목표를 설정·제시함
- 감축 전략 및 수단의 적정성, 관련 목표·계획 등과의 정합성 등을 종합적으로 고려하여, 당해 사업 시행에 온실가스를 최대한 감축하기 위한 방안을 종합적으로 검토함

# 제 5 장

## 도로 건설사업의 기후위기 적응 부문 평가기법

1. 도로 건설사업의 주요 기후변화 리스크와 영향
2. 기후위기 적응 부문 평가기법

### 1. 도로 건설사업의 주요 기후변화 리스크와 영향

타 사업과 마찬가지로 도로 건설사업 역시 건설계획 단계에서부터 재료 선택과 실제 설계 시 당해 도로가 외부 환경으로부터 받을 수 있는 영향을 검토하는 것이 중요하다. 예를 들어 도로포장을 위한 아스팔트, 그 외 표면 재료들은 설계 수명 동안 예상되는 강우량과 기온을 고려하여 해당 기온에 맞춰 설계가 이루어지며, 배수시설 역시 이를 고려하며 설계되어야 한다. 그러나 현재의 경우 당면한 기후변화에 따라 강우량과 기온 등이 변화되고 있고, 폭우·폭염 등의 극한 기후의 발생 빈도가 증가함에 따라 도로포장, 표면 처리 및 배수 구조물의 설계 방법 역시 기존 설계 범위를 넘어 변화가 필요한 시점으로 볼 수 있다.<sup>34)</sup> 이에 본 절에서는 다양한 국외 자료를 조사분석하여 기후변화에 따른 다양한 기후변화 리스크 중 도로 건설사업에서 중요하게 검토되어야 할 기후변화 리스크를 도출하고자 하였으며, 해당 리스크가 도로에 미치는 영향에 대해서도 살펴보았다.

유럽환경청(EEA: European Environment Agency)이 2014년 발간한 'Adaptation of transport to climate change in Europe'은 기온 상승, 해수면 상승, 강우 패턴의 변화, 극단적 기상 현상의 빈도와 강도의 증가는 경제와 사회의 중추인 교통 시스템에 심각한 영향을 줄 것으로 예상하였으며, 이에 대응하기 위한 종합적이고 선제적인 접근이 필요함을 강조하고 있다.<sup>35)</sup> 아울러 해당 문헌에서는 철도·도로·항공·해운 등 교통 인프라별로 고려해야 하는

34) WORLD BANK GROUP(2017), p.8.

기후변화 리스크와 이에 따른 영향을 서술하고 있다. 이 중 도로(교량, 터널 등 시설물 포함)에서는 폭염, 호우 및 홍수, 태풍, 해수면 상승을 기후변화 리스크로 꼽고 있다. 폭염의 경우 도로의 포장 악화와 침식을 유발하며, 교량의 확장과 버클링에 영향을 미친다. 호우 및 홍수 역시 도로와 관련 인프라의 손상·유실을 초래하며, 배수시설 및 관련 시스템에도 영향을 미친다. 지하도의 경우 범람 가능성이 커지며, 산사태 위험 증가에 따른 도로 인프라의 훼손을 유발할 수 있다. 태풍 역시 도로를 폐쇄시키거나 인프라를 손상시킬 수 있으며, 가로수와 전봇대 등 시설물의 손상을 초래한다. 아울러 장래의 기후변화 리스크는 도로의 속도 제한, 폐쇄, 물류 및 관련 복지 중단 등의 사회적 영향을 일으키며, 지속적인 보수 필요에 따른 사회적 비용의 소모 역시 증가시킬 것으로 예상하고 있다.<sup>36)</sup>

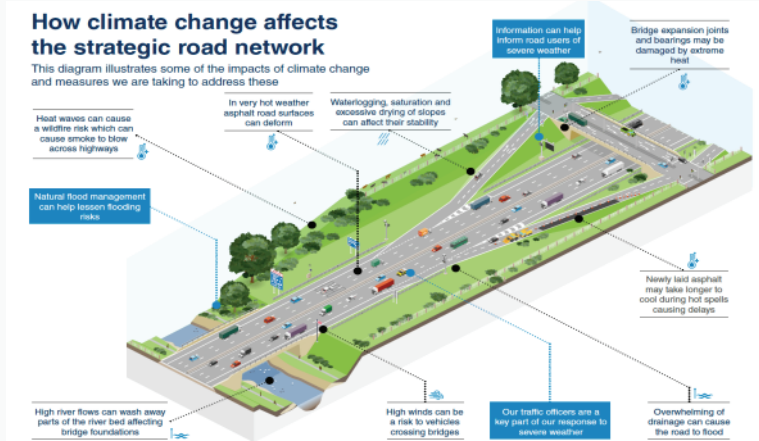
2017년 발간된 세계은행(WORLD BANK GROUP)의 ‘Integrating Climate Change into Road Asset Management’에서도 위와 유사한 내용을 기술하고 있으며, 이는 도로에 영향을 미치는 기후변화 요인으로 폭우 및 강우, 폭염, 가뭄, 강풍, 안개를 제시하고 있다. 문헌에 따르면 폭우는 도로 침수와 도로 표면의 손상을 야기하며, 폭설 역시 도로 표면 균열을 야기하고, 눈의 하중으로 인한 시설물의 구조적 스트레스를 초래한다. 폭염의 경우에도 도로의 물리적 강도에 지대한 영향을 미치며, 특히 아스팔트의 연화와 균열을 초래한다. 가뭄은 도로에 대한 직접적 영향을 주기보다는 산불 발생 개연성 증가에 따른 교통 관련 인프라 영향, 도로변 수목 등의 폐사 증가에 영향을 미친다. 강풍은 교량 등의 통행 안정성을 위협하며, 강풍에 따른 높은 파도는 월류를 발생시켜 해안도로에 침수 원인을 제공한다. 안개는 차량 흐름을 방해하며 도로의 안정성을 감소시키는 원인이 된다.<sup>37)</sup>

잉글랜드의 주요 도로 인프라를 관리하는 National Highways는 기관이 관리하는 약 4,300마일의 도로망과 교량, 터널, 배수시설과 같은 사회자산에 대하여 장래 기후변화가 시설 수명에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 고려가 필요함을 제시하고 있다. 특히 폭우, 폭염, 강풍과 해수면 상승, 이에 따른 아스팔트 손상과 교량 침수 등을 대표적인 장래 기후변화 리스크로 명시하고 있다(그림 5-1 참조).

35) EEA(2014), p.10.

36) EEA(2014), pp.58-59.

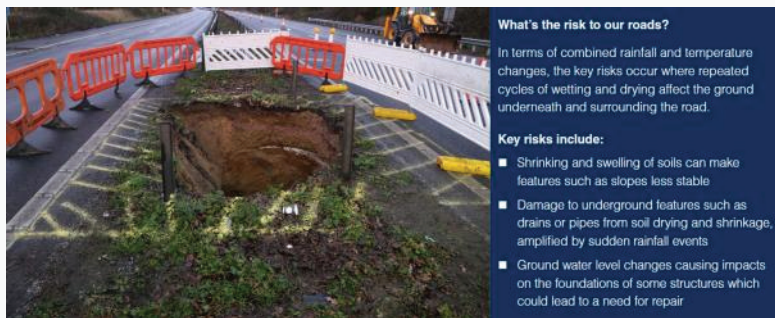
37) WORLD BANK GROUP(2017), p.9.



자료: National Highways(2022), p.4.

**그림 5-1** 도로에 영향을 미치는 주요 기후변화 리스크

아울러 자료에서는 도로의 경우 두 가지 이상의 기후변화 리스크(Combined risk)가 복합적으로 영향을 미칠 수 있음을 함께 기술하고 있다. 대표적으로 폭염과 폭우가 함께 영향을 미쳤을 때 토양의 수축과 팽창이 지속해서 발생함에 따라 지형의 안정성이 감소하게 되며, 이는 지하 구조물의 손상과 지하수위 변화의 원인이 된다. 이러한 현상이 지속해서 반복됨에 따라 도로에 싱크홀(땅꺼짐)이 발생하는 사례가 빈번하게 일어난다(그림 5-2 참조).



자료: National Highways(2022), p.11.

**그림 5-2** 기후변화 리스크의 복합적 영향으로 인한 싱크홀 발생

일본의 국토교통성(MLIT: Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)에서 자국의 도로 시스템에 대한 포괄적인 개요를 제공하기 위해 발간하고 있는 ‘ROADS IN JAPAN’에서도 안전하고 신뢰할 수 있는 도로 네트워크의 확보를 위해 재해에 강한 도로 건설이 필요함을 명시하고 있다. 이 문헌에서는 도로에 영향을 미치는 주요한 재해로 지진, 폭우, 폭설을 명시하고 있으며, 해당 영향을 완화·저감하기 위한 조치가 시행되고 있음을 기술하고 있다. 우선 지진으로 인한 교량 붕괴 방지대책 및 지지대 보강과 더불어 국토교통성

관할하의 고속도로와 국도에 대한 내진 대책을 지속해서 추진하고 있다. 집중호우로부터 사면을 보호하기 위해서 낙석방지 울타리 공사, 와이어로프 시공, 사면 안정화 및 지지력 강화대책을 시행하고 있다. 일본의 경우 상당한 양의 강설이 발생하는 지역이 많고 이에 따른 눈사태, 빙판길, 교통 혼잡이 발생하는 사례가 많으므로, 제설제 사용 및 기타 제설 작업, 「재해대책기본법」에 근거한 도로관리자의 법적 권한 강화 등을 기술하고 있다.



자료: MLIT(2021), pp.32-33.

**그림 5-3** 폭우를 고려한 사면 보강, 노선 대안 검토 및 배수계획

도로를 구성하는 주요 시설 중 교량은 기후변화에 상대적으로 더욱 취약할 수 있다. 특히 최근 집중호우로 인한 교량 붕괴 등 교량 월류 사고가 다수 발생하고 있어 대책 마련의 시급성이 크게 강조되고 있으며, 이에 대한 각별한 관심이 요구되는 실정이다. 관련한 사례를 살펴보면 2003년 부산 구포교 붕괴는 구포교 20번 교각이 붙어한 강물을 버티지 못하고 무너지며 강물로 가라앉았는데, 이는 태풍 매미로 인해 교각 상판에 균열이 생긴 데다 낙동강 수위가 크게 불어나 매우 강한 수압이 가해지면서 일어난 것으로 추정된다. 2019년 경북 송천교 부분 붕괴는 태풍 미탁에 의한 집중호우로 불어난 강물이 토사 유실과 세굴을 발생시켜 교각이 상류층으로 기울어짐에 따라 붕괴가 발생한 것으로 추정된다. 2020년 태풍 마이삭 상륙 때 삼척시 성황교, 부추밭교는 설계 수위를 초과하는 상황이 발생하여 교량 붕괴 및 유실이 발생한 바 있다.<sup>38)</sup>

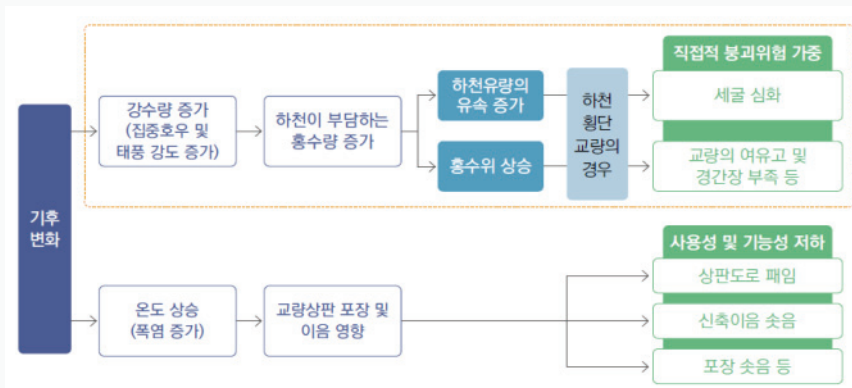
38) 이종소 외(2023), pp.9-10.



자료: 이종소 외(2023), p.10.

**그림 5-4** 구포교, 송천교 붕괴 사례

기후변화에 따른 집중호우 및 태풍의 강도가 점차 강해짐에 따라 하천의 홍수량과 홍수위가 증가할 것으로 예상되며, 이는 하천을 횡단하는 교량의 안전에 지대한 영향을 미친다. 특히 하천 유량의 유속이 증가함에 따라 세굴 현상이 심화되고, 홍수위 상승에 따른 기존 교량의 여유고 및 경간장 부족 등으로 시설물의 붕괴를 유발할 수 있다. 이에 따라 기후변화에 대비하여 교량의 안전성을 확보하기 위해서는 계획홍수위에 따른 교량의 여유고, 계획 하폭에 따른 경간장 확보 등을 고려하는 것이 필요하며, 이는 도로 건설사업의 기후변화영향평가 수행 시 면밀하게 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 아울러 하천기본계획 수립 시 계획홍수량과 계획홍수위 결정 그리고 이에 따른 교량의 여유고 및 경간장 확보 여부를 하천 시설물 능력검토 부분에 반영하고 있으므로, 기후변화영향평가 수행 시 교량 건설계획과 해당 하천의 하천기본계획과의 부합성 역시 검토할 필요가 있다. 그 외에도 폭염의 지속적인 증가에 따른 교량상판 포장 및 이음에 영향이 발생하며, 이는 교량의 사용성과 기능성을 저하하므로, 이 역시 교량에 대한 기후변화영향평가 주요 검토사항으로 고려하는 것이 바람직하다.



자료: 이종소 외(2023), p.4.

**그림 5-5** 기후변화가 교량에 미치는 영향

본 절에서는 도로에 대한 기후위기 적응의 필요성 및 리스크와 관련된 4건의 국외 문헌과 1건의 국내 문헌(교량 관련)을 조사·분석하여, 도로 건설사업에 대한 기후변화영향평가 시 고려되어야 할 주요 리스크를 도출하였으며 리스크별 영향도 검토하였다. 문헌에서는 공통으로 폭염, 폭설, 폭우 및 홍수, 강풍, 해수면 상승 등을 도로의 주요 기후변화 리스크로 평가하고 있으며, 해당 리스크는 주로 도로 시설물의 파손과 같은 1차적 영향뿐 아니라 교통 흐름 방해, 도로 폐쇄 등의 2차적 영향도 미치는 것으로 조사되었다. 이를 고려하여 기후변화 영향평가 수행 시 사업의 기후위기 취약성 평가 결과를 토대로 해당 리스크를 중점적으로 평가하는 것이 타당하며, 이에 따른 적절한 적응대책을 사업계획에 포함하는 것이 실효적인 것으로 판단된다.

## 2. 기후위기 적응 부문 평가기법

일반적 관점에서 기후위기 적응 부문에 대한 평가 시 고려사항과 평가 절차는 타 사업과 동일한 내용과 구조를 가질 수 있다. 단 선형사업인 도로 건설의 특성을 고려하여 사업노선이 속하거나 횡단하게 되는 지자체의 취약성 평가 결과와 적응대책 외에도 사업노선의 구간별 입지 특성(예: 사면 발생, 하천 인접 지역 통과 등)과 여건, 사업노선에 포함된 교량, 터널, 지하차도 등의 시설물 조성계획을 면밀하게 고려하는 것이 중요하다. 특히 도로의 각 시설물에서 고려되어야 할 기후위기 적응 요소(예: 교량의 경우 폭우·홍수)를 도출하여 영향을 분석하고 이에 대한 적절한 적응방안과 시설물 조성계획을 마련하는 것이 중요하다. <그림 5-6>은 기후변화영향평가 중 기후위기 적응 부문에 대한 평가 절차를 나타낸다.<sup>39)</sup>

39) 본 연구에서 수립·제시한 기후위기 적응 부문의 평가기법은 환경부(2023)의 ‘기후변화영향평가 방법 등에 관한 안내서’의 평가 방법과 절차·구조를 토대로 마련되었음.



자료: 이영수 외(2023b), p.299.

**그림 5-6** 기후위기 적응 부문 평가 절차

## 가. 기후변화 현황 및 전망

### 1) 기후변화 현황 및 전망

- (기후변화 현황) 기후변화영향 대상 지역(사업노선 및 주변 지역)을 포함하는 지자체의 기상·기후 현황을 분석한다.
  - 사업노선이 속하거나 횡단하는 지역의 관할 기상청에서 제공하는 기후변화 현황과 특성, 기후 요소의 평균 변화와 극한기후지수에 대한 현황을 제시
  - 「기상관측표준화법」 제10조에 따라 표준화·품질 관리된 기상관측자료, 기상관측에 기반하여 산출된 관측격자자료 등을 활용
  - 기온, 강수량, 풍향 및 풍속, 상대습도, 일조시간 등 기후 요소의 경향, 분석 기간 내 변화폭, 증가·감소율 등을 파악
  - 강수, 폭우, 태풍, 폭염, 한파, 폭설, 결빙 등 극한 기후 경향을 조사·분석
- (기후변화 전망) 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr>)의 기후변화 예측 정보를 활용하여 사업노선이 속한 지자체의 기후변화 시나리오(SSP)를 적용한 미래 기후 전망 결과를 조사·분석한다.
  - SSP 시나리오는 IPCC 6차 평가보고서를 위해 2100년 기준 복사강제력 강도(기존 RCP 개념)와 함께 미래 사회경제변화를 기준으로 기후변화에 대한 미래의 완화와

적응 노력에 따른 시나리오로 구분됨. 인구통계, 경제 발전, 복지, 생태계 요소, 자원, 제도, 기술 발달, 사회적 인자 및 정책을 고려한 시나리오임

- (극한)기후 요소 중 기온, 풍속, 강수량, 폭염일수, 한파일수, 결빙일수 등 도로 사업에 직·간접적 영향이 큰 사안을 선별하여 분석함

**표 5-1** 기후변화 시나리오(SSP)

구분	내용
SSP1-2.6	재생에너지 기술 발달로 화석연료 사용이 최소화되고 친환경적으로 지속가능한 경제성장을 이룰 것으로 가정
SSP2-4.5	기후변화 완화 및 사회경제 발전 정도를 중간 단계로 가정하는 경우
SSP3-7.0	기후변화 완화 정책에 소극적이며, 기술 개발이 늦어 기후변화에 취약한 사회 구조를 정하는 경우
SSP5-8.5	산업기술의 빠른 발전에 중점을 두어 화석연료 사용이 높고 도시 위주의 무분별한 개발이 확대될 것을 가정하는 경우

자료: 기상청, “기후정보포털”, 검색일: 2024.7.24.

## 2) 지역의 기후변화 피해 현황

- (자연환경 현황조사) 사업노선의 기후위기 적응 부문의 평가 시 입지 여건·특성 관점의 주요 고려사항을 도출하여 조사·분석한다(부록II 참조).
  - 사업노선 및 주변 지역에 대한 지형, 지질, 표고, 경사, 수계 현황 등을 조사하되 필요한 경우 공구별·구간별로 구분<sup>40)</sup>
  - 당해 사업에 대한 환경영향평가서 내 지형·지질, 수질 및 수리·수문 항목과 연계, 기후변화와 연관성이 큰 사안에 대하여 조사 및 분석 수행
- (기후변화 피해 현황조사) 사업노선이 속한 지자체, 사업노선 및 주변 지역의 재난·재해 발생 사례를 조사한다.
  - 재해 연보, 언론 보도, 도시·군 기본계획, 개별 지자체가 수립하는 “도시기본계획 수립을 위한 기후변화 재해 취약성 분석 결과, 행정안전부 국가재난 관리 정보시스템, 산림청 산사태 정보시스템, 생활안전 정보 등을 활용
  - 해당 지자체, 사업노선 및 주변 지역에서 발생한 재난·재해의 종류, 발생 규모, 주기, 빈도, 피해대상(구조물, 지역 등), 피해 규모 및 유형 등을 분석. 특히 폭우에 따른 도로 및 지하차도 침수, 도로 사면 붕괴, 홍수에 따른 교량 훼손, 폭설에 따른 교통통제 사례 등 도로 건설사업과 연관성이 큰 시설물 피해 사례를 중점적으로 분석<sup>41)</sup>

40) 표고차가 큰 급경사지 구간(산사태 우려, 높은 절토고 우려), 산사태 발생 가능성이 높은 구간, 하천 인접 구간(홍수, 범람피해 우려) 등은 상세도면을 작성·제시하는 것이 바람직함.

41) 단순한 피해 사례의 열거가 아닌 재해 발생의 원인과 규모(인명 및 재산피해 등) 당시 예방조치, 수립된 재발 방지대책을 구체적으로 조사·분석하여 당해 사업에 적용 가능한 방안을 검토하는 것이 바람직함.

- 사업노선이 집중적 피해가 발생한 지역을 통과하는지에 대한 확인 필요
- 분석 결과는 사업노선의 취약성·위험성 분석에 활용

## 나. 기후변화영향 예측 및 분석

### 1) 예측 및 분석 요인 범위

- 기후변화 적응 요인은 도로 건설사업과 관련성이 높은 기후변화 리스크 항목, 사업노선 내 시설물 설치계획, 사업노선의 입지 여건(산림·해안·하천 지역의 통과 여부, 사면 발생 등)을 각각 구분하여 선정한다.
  - (기후변화 리스크 항목) 도로 건설사업과 관련성이 높은 기후변화 리스크는 폭염, 폭우, 폭설, 가뭄, 안개, 강풍을 들 수 있음
  - (시설물 설치) 사업노선 내 터널, 교량, 휴게소, 관리사무소 등의 시설물 설치계획이 있는 경우 해당 시설물이 설치되는 지역의 현황, 입지 여건(시설 조성에 따른 급경사 사면 발생, 하천의 홍수위 등)을 고려한 기후변화영향 분석
  - (입지 여건) 산림·해안·하천 지역의 통과 여부, 도로 사면 발생(폭우 시 낙석, 붕괴 등) 등을 고려하여 기후변화영향 분석
- 기후변화 적응 요인별 현재(과거 30년), 가까운 미래(향후 10~20년), 먼 미래(2050년)로 구분하여 영향을 정성적·정량적으로 분석한 후 그 결과를 기재한다.
  - 전술한 기후위기 적응 요인(기후변화 리스크, 시설물 설치, 입지 여건) 중 당해 사업에서 평가·고려해야 하는 요인을 선정하여 분석

### 2) 기후변화 리스크 분석

- 사업노선과 연관성이 높은 기후변화 적응 요인에 대한 취약성·위험성 등을 평가·분석하고, 해당 결과를 토대로 발생 가능성·파급효과·규모 등을 고려하여 우선적으로 관리가 필요한 리스크를 도출하되, 리스크의 우선순위 선정 시 공구별·구간별로 구분하는 것을 고려한다.
  - 사업노선 및 주변 지역의 재난·재해 관련 현황, 국가 기후변화 리스크 항목, 지자체 기후변화 리스크 목록 등을 함께 활용하되, 도로 건설사업과 연관성이 높은 기후변화 리스크 항목, 사업노선의 시설물 설치계획, 입지 여건 등을 우선적으로 고려하여 리스크의 우선순위를 도출·목록화하여 평가
  - 국가 기후변화 리스크 목록, 지자체 기후변화 리스크 목록 중 도로 건설사업과 연관성이 낮거나 관련이 없는 것으로 판단 또는 분석되는 항목은 평가 제외 가능

### 가) 재해 관련 지구·지정 현황조사

- 사업노선 및 주변 지역에 대한 재해 관련 지구·지정 현황을 조사하되, 사업과의 연관성이 낮거나 없는 것으로 판단되는 항목은 조사 제외가 가능하다.

#### (1) 자연재해 위험개선지구

- 자연재해 위험개선지구는 태풍·홍수·폭풍·해일·폭설 등 불가항력적인 자연의 힘에 의한 현상으로부터 안전하지 못하여 국민의 생명과 재산에 피해를 줄 수 있는 지역과 방재 시설을 포함한 인근 지역을 의미한다.<sup>42)</sup>
  - 사업노선 및 주변 지역을 대상으로 자연재해 위험개선지구 포함 여부를 검토하고 포함될 경우 구체적인 위치, 지정 일자, 자연재해 위험 유형, 사업노선과의 이격거리(노선 외 지역의 경우) 등을 조사하여 작성

**표 5-2** 자연재해 위험개선지구 등급 분류 기준

등급	지정 기준
가 등급	• 재해 발생 시 인명피해 발생 우려가 매우 높은 지역
나 등급	• 재해 발생 시 건축물(주택, 상가, 공공건축물)의 피해가 발생하였거나, 발생할 우려가 있는 지역(인명 피해 포함)
다 등급	• 재해 발생 시 기반시설(공업단지, 철도, 기간도로)의 피해가 발생할 우려가 있는 지역 • 농경지 침수 발생 및 우려 지역
라 등급	• 붕괴 및 침수 등의 우려는 낮으나, 기후변화에 대비하여 지속적으로 관심을 갖고 관리할 필요성이 있는 지역

주: 가-라 지정 기준에서 인명피해를 포함함.

자료: 국가법령정보센터, “자연재해 위험개선지구 관리지침”.

#### (2) 급경사지 붕괴위험지구

- 급경사지와 그 주변 토지에서 붕괴 및 낙석 등으로 국민의 생명과 피해가 우려되어, 「급경사지 재해예방에 관한 법률」에 따라 지정·고시된 지역을 붕괴위험지역이라 하며, 급경사지가 「자연대책법」에 따라 자연재해 위험개선지구로 지정·고시된 경우에는 붕괴 위험지역으로 지정·고시된 것으로 한다.<sup>43)</sup>
  - 사업노선 및 주변 지역을 대상으로 급경사지 붕괴위험지구 포함 여부를 검토하고 포함될 경우 구체적인 위치, 지정 일자, 위험 유형 및 등급, 사업노선과의 이격거리(노선 외 지역의 경우) 등을 조사하여 작성

42) 국가법령정보센터, “자연재해 위험개선지구 관리지침”.

43) 환경부(2023b), p.155.

## (3) 자연재해(풍수해) 위험지구

- 사업노선이 속한 지자체의 '자연재해저감종합계획'상 하천재해 위험지구, 내수재해 위험지구, 사면재해 위험지구, 토사재해 위험지구, 바람재해 위험지구, 기타재해 위험지구 등의 자연재해 위험지구를 파악한다.
  - 사업노선 및 주변 지역을 대상으로 자연재해(풍수해) 위험지구 포함 여부를 검토하고 포함될 경우 구체적인 위치, 지정 일자, 위험 요인, 사업노선과의 이격거리(노선 외 지역의 경우) 등을 조사하여 작성

## (4) 해수면 상승 시뮬레이터

- 사업노선 전체 또는 사업노선 중 일부 구간이 해안지역과 인접하여 계획될 경우 해수면 상승 시뮬레이터(<https://www.koem.or.kr/simulation/gmsl/rcp45.do>)<sup>44</sup>를 활용하여 RCP 시나리오 4.5, 8.5에 따른 침수 여부, 침수 면적 등을 분석한다.

## (5) 홍수위험지도 정보시스템

- 홍수위험지도 정보시스템(<https://floodmap.go.kr/fldara/fldaraList.do>)을 활용하여 사업노선 및 주변 지역에 대한 침수, 하천 범람 우려 여부를 분석한다.
  - 하천 범람 지도를 통해 극한 강우 조건과 제방의 월류 및 붕괴 등 극한 상황에 따른 홍수 발생 시 예상되는 침수 범위와 침수 깊이를 파악하고, 이를 도로 및 시설물(교량, 지하차도 등) 설계 시 고려
  - 도시침수 지도를 통해 극한 강우 조건에서 발생 가능한 가상의 침수 범위와 침수 깊이를 파악하고 이를 도로 및 시설물(지하차도 등) 설계 시 고려
  - 특히 사업노선 내 지하차도가 계획되어 있을 때 해당 구간 주변 하천의 범람 우려 여부, 침수 가능성 등을 면밀하게 확인

## (6) 가뭄지수 및 가뭄피해 현황정보

- 사업노선이 속한 지자체 또는 가까운 기상관측소의 표준 강수 지수를 참고하여 가뭄지수를 조사한다(기상자료 개방 포털 활용, <https://data.kma.go.kr>).
- 국가가뭄 정보 포털(<https://www.drought.go.kr>)을 활용하여 사업노선 및 주변 지역에 대한 가뭄 빈도, 범위 등을 분석한다.

44) RCP 4.5 시나리오 적용 시.

(7) 생활안전지도

- 생활안전지도(<https://www.safemap.go.kr>)를 활용하여 사업노선 및 주변 지역을 대상으로 산불 및 산사태 발생 이력, 침수 흔적도를 활용한 침수 피해 이력, 해안 침수 예상 지역 해당 여부 등을 조사하여 분석한다.

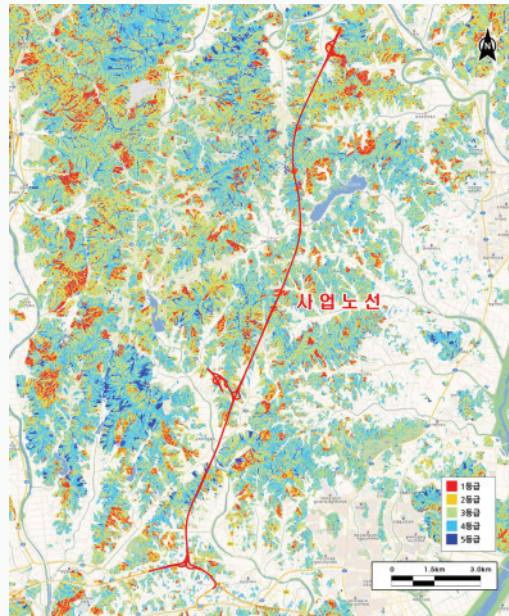
(8) 산사태 위험지도

- 임상(숲 모습), 경급(나무 지름 크기), 사면 경사, 사면 방위, 사면 길이, 사면 곡률, 모암, 토심, 지형 습윤지수를 고려하여 제작된 산사태 위험지도(산사태 정보시스템, <https://sansatai.forest.go.kr>)를 활용하여 사업노선 및 주변 지역을 대상으로 평가 시점의 산사태 위험도를 조사하여 분석한다.

**표 5-3** 산사태 등급위험 기준

등급	산사태 등급위험 기준
1등급	산사태 발생 가능성이 대단히 높은 지역
2등급	산사태 발생 가능성이 높은 지역
3등급	산사태 발생 가능성이 낮은 지역
4등급	산사태 발생 가능성이 현저히 낮은 지역
5등급	산사태 발생 가능성이 거의 없는 지역

자료: 산림청, “산사태 정보시스템”, 검색일: 2024.7.29.



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종 JCT-연기JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본인”, p.957, 검색일: 2024.7.24.

**그림 5-7** 산사태 위험지도를 활용한 사업노선 산사태 위험성 분석 예시

## 나) 취약성 평가 및 기후변화영향분석

### (1) 기후변화 취약성 평가 도구

- 사업노선이 속한 지자체의 최신 ‘기후변화 적응대책 세부시행계획’에서 제시하고 있는 취약성 평가(VESTAP: Vulnerability AssESsment Tool to Build Climate Change Adaptation Plan) 결과를 인용하거나, 그 외 평가에 활용할 수 있다고 판단되는 적절한 취약성 평가 결과<sup>45)</sup>를 통해 사업노선이 속한 지역의 기후변화 취약성을 평가하고, 우선적으로 관리가 필요한 위험 요인을 도출한다.
  - VESTAP을 활용한 취약성 평가 결과는 지자체별 상대적 취약성의 결과를 의미하므로, 항목별 단순 비교를 주의해야 함. 평가 결과의 제시 및 해석에 있어 사업노선이 속한 지자체의 상대적인 취약성을 평가하는 것이 필요함<sup>46)</sup>
  - SSP 기후 시나리오<sup>47)</sup>를 활용하여 최소 2개 이상의 시나리오를 비교·분석하되 저탄소 시나리오(SSP1-2.6 또는 SSP2-4.5)와 고탄소 시나리오(SSP3-7.0 또는 SSP5-8.5)에 대한 비교·분석을 권고함
  - VESTAP의 평가 분야는 건강, 국토·연안, 해양·수산, 농·축산, 산림·생태계, 물관리, 산업·에너지 부문 등으로 이루어짐. 이 중 도로 건설사업과의 연관성이 상대적으로 낮은 농·축산, 해양·수산(내륙 지역 대상 사업인 경우), 산업·에너지 부문 등은 평가서 작성 시 제외 가능함(단, 제외 사유를 평가서에 수록)
- 기후변화 취약성 평가 결과를 토대로 상대적으로 취약한 것으로 조사된 평가 부문과 취약성 평가 항목을 표 등을 활용하여 제시한다.

### (2) 기후변화영향분석

- 사업노선이 속한 지자체의 최신 ‘기후변화 적응대책 세부시행계획’에서 제시하고 있는 기후변화영향분석(MOTIVE: Model Of InTegrated Impact and Vulnerability Evaluation of Climate Change) 결과를 활용하여 기후변화로 인한 영향을 평가할 수 있다.
  - MOTIVE는 미래 기후변화에 따른 건강, 농업, 산림, 생태, 해양·수산, 물관리 부문에서의 영향에 대한 정량적 예측이 가능하며 기후변화 적응대책 수립 지원을 위한 기후변화영향 예측·평가 모형임

45) ‘기후변화 적응대책 세부시행계획’ 내 취약성 평가 결과가 아닌 별도의 예측 및 평가기법 등을 활용하여 평가를 수행할 경우 활용한 방법의 적정성을 평가서에 기술하는 것이 필요함.

46) 상대적으로 취약성이 큰 항목을 제시하는 수준에서 평가 결과를 해석하는 것이 바람직하며, 절대평가 결과로 해석하는 것을 주의해야 함.

47) VESTAP, MOTIVE, 그 외 기후정보 포털에서 제공하는 정보들이 SSP 기반으로 제공되지 않는 경우도 다수 있음. 이 경우 기존 RCP 시나리오를 활용하되, 추후 SSP 기반 정보가 제공될 경우 이를 활용하는 것이 바람직함.

- SSP 기후 시나리오를 활용하여 최소 2개 이상의 시나리오를 비교·분석하되 저탄소 시나리오(SSP1-2.6 또는 SSP2-4.5)와 고탄소 시나리오(SSP3-7.0 또는 SSP5-8.5)에 대한 비교·분석을 권고함
- MOTIVE의 평가 분야는 건강, 농업, 산림, 생태, 해양수산, 물관리 부문으로 이루어짐. 이 중 도로 건설사업과의 연관성이 상대적으로 낮은 농업, 해양수산(내륙 지역 대상 사업인 경우), 산업·에너지 부문 등은 평가서 작성 시 제외 가능함(단, 제외 사유를 평가서 내 명시)
- 기후변화 취약성 평가(VESTAP 등) 결과를 토대로 상대적으로 취약한 것으로 조사된 평가 부문과 취약성 평가 항목을 표 등을 활용하여 제시한다.

**다) 도로 건설사업의 주요 기후변화 리스크와 영향**

- 도로 건설사업과 연관성이 높은 기후변화 리스크는 폭우(계절적·연간 강우), 폭염(폭염 일수 증가, 가뭄(건조 일수 증가), 강풍, 안개, 폭설 등을 들 수 있으며, 리스크별 영향은 일반적으로 <표 5-4>와 같다.
  - 기후변화 리스크로 인한 영향은 도로 및 시설물의 직·간접 훼손과 같은 일차적 영향과 도로 및 시설물의 영향·훼손으로 인한 교통 및 물류의 방해, 안전사고 우려 증가, 발생한 영향과 훼손의 저감·완화 과정에서 유발되는 환경영향과 같은 이차적 영향으로 구분할 수 있음<sup>48)</sup>
  - 아울러 두 가지 이상 리스크의 복합적인 영향 역시 고려하여야 함. 예를 들어 폭염과 폭우에 대한 리스크가 모두 취약한 것으로 평가된 사업노선의 경우 폭염과 폭우의 복합적 영향으로 인한 도로함몰, 포트홀(도로파임) 발생을 함께 고려하는 것이 필요함

48) 연구진의 내부 회의, 자문위원 및 관계 전문가의 의견 수렴 결과 기후변화영향평가는 기후변화 리스크로 인한 일차적 영향을 중점적으로 평가하는 것이 바람직함.

**표 5-4** 도로 건설사업의 주요 기후변화 리스크와 영향

기후변화 리스크	리스크에 따른 도로 영향
폭우	도로 침수, 도로 포장면 및 노반으로의 침투 증가, 도로의 유체역학적 압력 증가, 토양 다짐의 응집력 감소, 교통 방해 및 안전 위험
강우	토양 수분 영향에 따른 구조적 파손, 도로 고임 현상, 강우 유출, 산사태, 경사면 붕괴 및 도로 손상, 홍수 위험
폭설	폭설과 결빙으로 인한 도로 표면 균열, 포트홀 형성, 눈의 하중으로 인한 도로 시설물(교량, 터널)의 구조적 스트레스 증가, 도로 폐쇄, 교통 방해 및 안전 위험, 제설 작업에 따른 수질 오염
폭염 (폭염일수 증가)	도로의 물리적 강도 영향, 아스팔트 연화 및 균열, 도로 및 구조물 침하, 교량 조인트 및 표면 열팽창, 도로변 가로수 등 조경 영향, 온도 변화에 따른 토양 응집력 변화와 이에 따른 미세먼지 발생 증가, 건강 영향 및 교통사고 증가
가뭄 (건조일수 증가)	산불 발생 개연성 증가와 이에 따른 도로, 교통 관련 인프라 영향, 산불로 인한 산림 벌채 지역 증가와 이에 따른 산사태 취약성 증가, 스모그 증가, 다짐 작업 등에 대한 용수 부족, 도로 보수 작업 제한, 식물 폐사 증가
강풍	교량 안전성 위험, 표지판, 조명기구, 지지대 등 손상, 풍속의 증가에 따른 파도의 월류와 도로 침수, 그 외 도로 관련 네트워크 및 안전 영향
안개	교통 방해, 도로 안정성 감소, 스모그 증가
폭염+폭우	도로함몰, 도로파임, 땅꺼짐

자료: WORLD BANK GROUP(2017), p.9; National Highways(2022), p.11을 활용하여 저자 작성.

- 도로의 주요 시설물 계획 및 사업노선의 입지 여건 등을 고려한 기후변화 리스크와 이에 따른 영향은 <표 5-5>와 같다.
  - 사업노선에 대한 기후변화 리스크와 입지 여건을 함께 고려하는 것이 필요함. 예를 들어 폭우에 대한 취약성이 큰 지역을 통과하는 노선의 사면 발생 구간은 산사태로 인한 리스크를 더욱 면밀하게 평가하고, 이에 대한 대응 방안을 마련하여야 함
  - 폭우에 대한 취약성이 큰 지역에 건설되는 교량, 지하차도 등의 경우 홍수로 인한 교량의 유실, 지하차도의 침수 등을 구체적으로 평가하고 대응 방안을 수립하여야 함
  - 해안가에 계획된 도로의 경우 태풍, 강풍 등으로 발생하는 월류에 따른 침수 가능성 등을 검토하여야 함

**표 5-5** 도로 시설물, 입지 여건을 고려한 주요 기후변화 리스크와 영향

구 분	기후변화 리스크	리스크에 따른 도로 영향
도로 (교량, 터널 등 시설물)	폭염	포장 약화 및 침식, 멜팅 현상, 포장 수명 감소(표면 균열 등), 교량 확장, 버클링, 산불 증가에 따른 도로 인프라 훼손
	호우, 홍수	인프라 손상(포장, 도로 유실), 도로 침수, 지하도 범람, 배수 시설과 시스템 영향, 산사태 위험
	태풍	인프라 손상, 도로 폐쇄, 가로수, 신호등, 표지판 등 시설물 손상
	일반	속도 제한, 도로 폐쇄, 물류 중단, 보수 비용 발생
해안도로	해수면 상승	인프라 손상, 해안 침식, 도로 폐쇄
	태풍	
	호우	
산악도로	영구동토층 파괴	도로 안정성 감소, 낙석, 산사태, 도로 폐쇄
배수 시설	호우	배수시설 과부하에 따른 도로 침수 및 수질 오염

자료: EEA(2014), p.58을 활용하여 저자 작성.

- <표 5-6>은 산악지역에 대한 도로 설계 시 자연 지형 조건과 자연재해 요소별 주요 고려사항, 도로 선형 설계 시 반영사항이다.

**표 5-6** 지형 조건과 자연재해를 고려한 도로 설계 사항

지형, 재해 요소	주요 고려사항	선형 설계 반영사항	
자연 지형 조건	산, 산마루	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산마루 통과 위치</li> <li>• 터널 편도압</li> </ul>	- 터널 통과 또는 우회 절취 통과
	대규모 비탈면 발생지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한쪽 깎기, 한쪽 쌓기</li> <li>• 편측 비탈면 높이, 편도압</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 터널 및 토공 통과</li> <li>- 피암터널 계획</li> </ul>
	하천 (호수, 소류지)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 교량 가설 지점 결정</li> </ul>	- 하천 영향을 최소화한 교량 위치 선정
	협소하고 좁은 계곡	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 좁은 계곡 통과 위치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 어떤 계곡, 어떤 쪽의 비탈면을 통과할 것인지에 관한 판단</li> <li>- 구조물 및 토공 통과</li> </ul>
자연 재해	붕괴지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대규모 및 부분적인 슬라이딩이 생기는 지대</li> </ul>	- 좁은 장소에서 횡단, 우회 또는 보강 후 통과
	적설지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폭설, 결빙 지역</li> </ul>	- 제설 작업을 고려한 선형계획
	안개(다무)지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안개 다발 지역</li> </ul>	- 시거 확보, 안전시설을 고려한 선형계획
	결빙	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일조량, 편경사</li> </ul>	- 결빙 예방을 고려한 선형계획
	집중호우	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과거 집중호우 피해</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 집중호우에 대비한 하폭, 배수시설 설치를 고려한 선형계획</li> <li>- 토석류, 유송잡물 차단을 고려한 선형계획</li> </ul>
	바람	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최근 기상조사 자료, 방풍벽 설치</li> </ul>	- 안전시설을 고려한 선형계획

자료: 건설교통부(2007.7), p.34를 활용하여 저자 작성.

### 3) 기후변화 리스크 평가

- 리스크 평가는 불확실성이 높은 기후변화 적응대책을 수립할 때 효과적이고 체계적인 대응 및 관리를 위해 우선하여 관리가 필요한 리스크(부문별 위험 항목 또는 요소)를 도출하여 사업계획 수립 시 반영하기 위함이다.
- 사업노선과 주변 지역의 기상·기후 현황 및 전망, 재난·재해 사례 조사 결과, 사업노선 특성(입지, 시설물 조성계획 등)을 고려한 기후변화 적응 요인별 정성적·정량적 영향 분석 결과,<sup>49)</sup> 취약성 평가 결과, 미래 기후변화로 인한 영향을 종합하여 평가한다.
  - 특히 시설물 조성계획의 경우 도로 건설에 따라 발생하는 사면의 안정성 저하 여부, 설치 계획된 교량에 대한 수리·수문 측면의 영향과 안정성(홍수위, 세굴 현상 등), 지하차도에 대한 침수 위험 여부 등을 면밀하게 평가하는 것이 바람직함(부록 I 참조)
- 『제3차 국가 기후변화 적응대책(2021-2025)』의 기존 6개 부문 84개의 리스크, 『제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023-2025)』 내 부문별 신규 추가되거나 통합·변경된 리스크, 사업노선이 속한 지자체의 기후변화 리스크 중 사업노선과 연관성 있는 리스크 분류 결과를 토대로 단기(즉시 포함), 또는 중장기적으로 영향을 미치는 리스크를 분류한다.
- 연관성이 있는 것으로 평가된 리스크에 대한 발생 확률의 가능성 정도는 대단히 불확실, 매우 불확실, 불확실, 거의 불확실, 가능, 매우 가능, 사실 확실함 등의 7단계로 구분한다.
- 연관성, 발생 확률, 발생 시 피해 규모를 종합적으로 고려하여 판단한다.

**표 5-7** 발생 가능성 척도 및 확률

가능성 척도	결과의 확률
확실함	99~100% 가능성
매우 가능	90~100% 가능성
가능	66~100% 가능성
거의 불확실	33~66% 가능성
불확실	0~33% 가능성
매우 불확실	0~10% 가능성
대단히 불확실	0~1% 가능성

자료: 환경부(2023a), p.74.

49) 필요시 당해 사업에 대한 환경영향평가서의 평가 항목(수질 및 수리·수문, 지형·지질 등)과 연계하여 평가를 수행함.

## 다. 기후변화 적응전략 및 방안 수립

- 사업노선에 대한 취약성 평가 결과, 입지 여건 및 시설물 설치계획을 토대로 도출된 기후변화 리스크에 대한 영향을 저감할 수 있는 적응대책 및 방안을 수립함
  - 효과·비용·실행 가능성 등을 고려하여 우선순위를 판단
  - 예상되는 기후변화 영향에 대한 적응방안을 마련하고, 해당 적응방안이 사업노선 및 주변 지역의 환경 및 기타 재난 리스크를 증가시키지 않는지 고려
- 당해 사업자가 스스로 시행 가능한 적응대책을 수립하고 그 결과를 제시함

### 1) 도로 건설사업의 기후변화 리스크별 적응전략

#### 가) 폭염

- 사업노선의 공사 시 작업시간 조정, 충분한 휴게시간 부여, 쉼터 제공 등의 계획을 사전 수립하되, 무더위 쉼터 및 폭염 관련 휴게시설 조성·설치계획의 경우 시설별 설치지점, 개수 등을 되도록 도면 등을 활용하여 구체적으로 수립함. 아울러 폭염 발생 시 오존 발생 개연성 역시 증가하므로 오존 발생 관련 기상예보를 참조하여 이에 대한 영향을 최소화할 수 있도록 관련 계획을 수립함
- <표 5-8>은 폭염 대응 적응대책을 목록화하여 나타낸 결과임

**표 5-8** 폭염 대응 적응대책 예시



피해 / 영향시설	적용 및 연구사례	적응대책 주요 내용
블로우업 (도로숯음), 꺼짐, 멜팅 현상 / 도로, 포장	 〈특수 포장 기술〉	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 태양 복사열을 더 많이 반사하고 열을 덜 흡수하여 도로 자체의 온도를 낮추는 도로 포장 기술</li> <li>• 도로 표면 태양열 반사 도로 도포로 아스팔트 내열성 증가</li> <li>• 미국 LA는 냉각 포장 기술을 이용해 도시 열섬현상을 2025년까지 1.7도, 2035년까지 3도까지 낮추는 것을 목표로 함</li> </ul>
블로우업 (도로숯음), 꺼짐, 멜팅 현상 / 도로, 포장	 〈열반사 페인트 도포〉	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 포장 표면에 특수 페인트를 도포하여 태양 적외선을 반사하여 열을 줄임</li> <li>• 특수 페인트는 포장에 흡수되어 축적되며, 페인트는 포장의 표면 온도 상승을 제어함</li> <li>• 보행자와 도로 사용자의 열 환경을 개선하여 열섬현상을 완화</li> </ul>
온난화, 지반 약화 / 도로, 포장	 〈도시 녹색 인프라〉	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 투수성 포장, 녹색 지붕 및 녹색 벽면</li> <li>• 습지 및 생태 저류지</li> <li>• 도시공원 및 도시정원</li> <li>• 도시 열섬현상 감소하고 빗물 관리 및 홍수 위험 감소, 생물다양성 증진</li> </ul>

표 5-8 계속

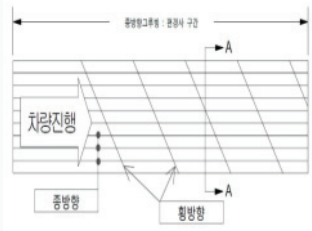
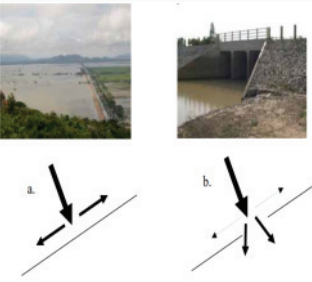
피해 / 영향시설	적용 및 연구사례	적응대책 주요 내용
폭염, 온난화, 미세먼지 / 도로, 포장	 <p>〈빗물을 활용한 클린로드〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로의 복사열을 낮추고 대기질을 개선</li> <li>• 유출 지하수, 빗물 재이용수 등을 도로에 방출하여 도로의 복사열 온도를 감소시키는 효과를 기대할 수 있음</li> <li>• 서울시, 대구시, 춘천시 등에서 지속적으로 클린로드 시스템을 적용·시범운영하고 있으며, 경제적으로 검증된 기술로 단기적으로 적용할 수 있는 장점이 있음</li> </ul>

자료: 이주광 외(2020), pp.171-172.

### 나) 폭우, 호우

- 폭우, 호우에 영향을 가장 많이 받는 도로 시설물인 배수시설, 포장, 비탈면 등에 대한 적절한 적응전략의 수립이 필요함. 대표적으로는 노면 및 배수시설 개선, 투과성 포장 기술을 활용한 배수 능력 제고, 산사태 대비 감지 센서 등의 구조적 대책과 기상 정보의 수집을 통한 선제 대응, 리스크 관리, 침수 지도 작성 등의 비구조적 대책을 들 수 있음
- 폭우, 호우로 인한 도로 영향은 인명피해 및 환경문제와 밀접하게 연관되므로 철저한 사전 예방적 적응전략 수립이 필요함. 아울러 과거 사례를 통한 상습 침수지역과 기후 변화 취약성 평가를 고려하여 지속적인 모니터링과 구조적 적응 사업이 요구됨

표 5-9 폭우, 호우 대응 적응대책 예시

피해 / 영향시설	적용 및 연구사례	적응대책 주요 내용
돌발 홍수, 침수 / 도로	 <p>〈고속도로 노면배수 개선〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고속도로 노면배수 취약구간 개선</li> <li>• 강우 시 교통사고와 도로 시설물 피해 예방계획 수립</li> <li>• 종횡 방향 그루빙 설치, 중앙분리대 집수정 개선</li> </ul>
지면 파괴, 쓸림, 도로 기반 약화 및 붕괴 / 저지대, 도로	 <p>〈생태복원적 홍수 대비 시스템〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수 대비 시설 설치</li> <li>• 제방 건설은 생태계 교란 등의 부작용을 초래하므로 하상 굴토 및 강폭 확대 등의 유연한 전략 추진</li> <li>• 지리적 여건을 우선 검토해야 함</li> </ul>

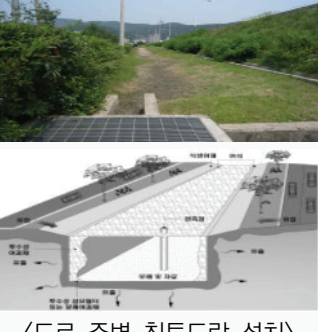
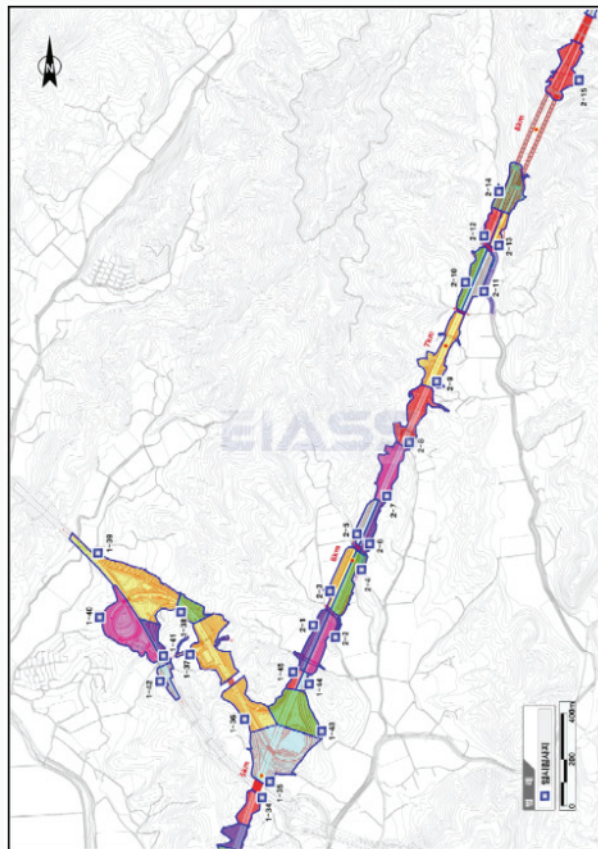
피해 / 영향시설	적용 및 연구사례	적응대책 주요 내용
<p>폭우, 홍수, 침수, 범람 / 저지대, 도로</p>	 <p>Blue spots before the barrier in the DTM was removed around Sønderjyske highway and Taulov motorway (left). Distribution of blue spots after an underpass has been introduced in the DTM (right).</p> <p>〈Blue-spot 지정〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 홍수로 인한 도로 취약구간 식별 및 개선</li> <li>• 극한 강우 발생 시 홍수가 발생하는 장소 식별</li> <li>• 관련 지도를 제작하여 도로 운영 시 활용 가능</li> </ul>
<p>폭우, 홍수, 침수, 범람 / 저지대, 도로</p>	 <p>〈투과성 포장〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생물적·물리적 원리를 활용하여 수분 함량을 자연 토양으로 유지, 여과 및 복원</li> <li>• 오염된 우수를 처리시설로 운송하는 대신 지하수층을 보충</li> </ul>
<p>폭우, 홍수, 범람 / 도로</p>	 <p>〈도로 주변 침투도랑 설치〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로 측구 주변 자갈, 사질양토 등 다양한 형태로 채워진 도랑을 설치한 후 강우 유출을 통해 습지화시켜 도시 열섬현상 감소</li> <li>• 일정 장소에 빗물을 저류하여 이를 도로 살수, 도로 먼지 제거, 증발 시 잠열 등의 효과</li> <li>• 경기도 용인시, 이천시 도로 주변에 설치되어 운영 중임</li> </ul>
<p>홍수, 폭우, 폭설 / 도로</p>	 <p>〈기상정보 수집 장비〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지능형 교통체계를 활용하여 도로상의 기상자료를 수집, 전송 등의 작업을 통해 사용자에게 제공</li> <li>• 도로의 기상 상황을 파악하고 재해 발생 가능성을 예측하여 실시간 모니터링을 통해 피해 예상 지역, 예상 규모 등을 파악</li> </ul>
<p>폭우, 호우, 침수 / 도로</p>	 <p>〈간선 도로 침수 시 우회하기 위한 교통시설물 확충〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 여름철, 겨울철 기상재해로 인한 도로 침수 및 도로 통제 상황 발생으로 차량 진·출입이 불가능한 문제가 발생</li> <li>• 도로 침수 발생을 대비한 통로를 확보하여 해체 가능한 도로 중앙분리대 설치</li> </ul>

표 5-9 계속

피해 / 영향시설	적용 및 연구사례	적응대책 주요 내용
<p>낙석, 산사태 / 도로, 사면 붕괴</p>	 <p>(사면관리시스템)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폭우 및 호우의 발생 시 산사태와 같은 재난 발생 가능</li> <li>• 산사태 등 반복되는 재난에 비해 절토사면에 대한 관리 부족으로 대응체계 한계</li> <li>• 절토 사면에 대한 감지 센서 구축 등 사면 관리시스템을 도입하여 재난에 대한 모니터링 및 즉각 대응</li> </ul>

자료: 이주광 외(2020), pp.174-176.

- 아울러 폭우, 호우 시를 고려한 우수 유출량 산정 결과를 토대로 주변 지형 및 도로 경사 등을 고려하여 충분한 용량과 개수의 배수구역을 설정하고, 배수시설의 기능 유지 여부, 배수시설의 상태, 통수능의 적정 확보 확인 등을 위한 유지관리 계획을 수립함
  - 스크린 이물질 제거, 암거 및 월류웨어 등의 점검 및 청소, 관로 정비 등



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종 JCT-연기JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, p.653, 검색일: 2024.7.24.

**그림 5-8** 사업노선 배수구역 구분 예시

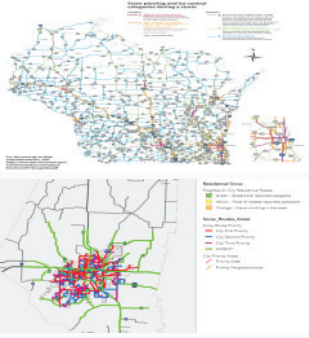
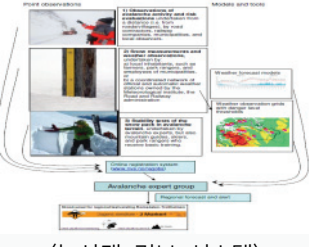

다) 한파, 폭설

- 한파 및 폭설에 대한 적응전략은 표면 결빙을 녹이기 위한 염수 스프레이, 자동 분무 시스템 등의 구조적 대책과 경보시스템 구축, 제설 우선순위 선정의 비구조적 대책을 들 수 있음
  - 표면 결빙을 녹이거나 제설 과정에서 주로 사용되는 염화나트륨(NaCl) 계열의 제설제가 수계로 유입되면 지표수 및 지하수의 염화물 농도가 증가하고, 수질의 산성화를 초래하는 등 수환경에 악영향을 초래할 수 있음을 함께 고려하여 적절한 대응 방안을 마련하여야 함

표 5-10 한파, 폭설 대응 적응대책 예시

피해 / 영향시설	적용 및 연구사례	적응대책 주요 내용
표면 결빙, 서리 / 도로	 <p>〈도로 폭 배수 개선〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표면 결빙, 서리를 유발하는 도로 주변 물질 식별 및 예방조치 수립</li> <li>• 도로 폭, 배수 개선 등을 통한 문제 예방</li> </ul>
표면 결빙, 서리 / 도로	 <p>〈고정 자동 스프레이 시스템〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로 결빙 현상 완화를 위한 자동 분무 기술 시스템 도입 및 적용</li> <li>• 일본 아키타, 아이슬란드 레이카비크 등 다양한 나라에서 적용</li> </ul>
도로 마비, 교통사고 유발 / 도로, 교량	 <p>〈노면 근접 전열식 용설 시스템〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제설 시스템(제설차, 장비, 중간제설기지) 구축</li> <li>• 용설 시스템(노면 근접 전열식, 지열식) 구축</li> <li>• 각 시스템의 통합적 운용으로 신속한 제설 및 용설</li> </ul>

표 5-10 계속


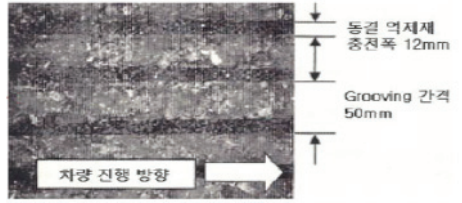

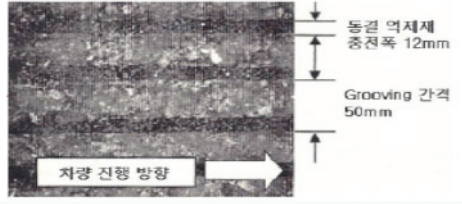

피해 / 영향시설	적용 및 연구사례	적응대책 주요 내용
폭설, 눈사태 / 도로	 <p>〈제설 우선순위 지도 구축〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폭설 시 차량 흐름을 원활하게 하고 신속한 대응을 위해 도로별·구간별 제설 우선 순위 선정</li> <li>• 도로의 기능, 교통량, 중요도 등에 따라 지역별·구간별 도로 제설 우선순위를 선정하여 정보 제공</li> </ul>
폭설, 눈사태 / 도로	 <p>〈눈사태 경보 시스템〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 눈사태로 인한 인명 사고, 도로 훼손, 사전 교통통제 등을 위한 경보 시스템 도입</li> </ul>
눈사태 / 비탈면, 도로	 <p>〈Snow shed〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로나 철도 위에 지어지는 터널형 구조물로 눈사태나 대량의 적설로부터 교통로를 보호하기 위해 적용</li> <li>• 콘크리트, 강철로 만들어지며, 경사진 지붕 구조로 설계하여 쌓인 눈이 미끄러져 내리도록 함</li> </ul>

자료: 이주광 외(2020), pp.179-180.

- 적설 한랭지의 경우 도로의 콘크리트 구조물의 동해가 발생할 개연성이 크므로 아래의 사항을 고려한 적정 대책을 수립함<sup>50)</sup>
  - 적절한 콘크리트 배합 및 재료 사용
  - 적절한 시공 및 동결융해 작용을 받기 전까지 충분한 양생
  - 수분 노출을 최소화할 수 있는 구조 설계
- 도로 내 특이 구간(오르막/내리막이 긴 경우 또는 터널이 연속된 구간)에 대한 제설 대책은 〈표 5-11〉을 참조하여 관련 대책을 수립함

50) 옥창권 외(2013), p.232.

표 5-11 도로 내 특이 구간에 대한 제설 대책

구분	특이 구간 제설 대책
오르막/내리막이 긴 경우	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적설 지역의 종단경사가 긴 경우 중차량 등판능력, 교통량, 종단경사 등을 고려하여 관련 계획 수립             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 특이 구간 시점부 및 중간에 체인탈착장 설치</li> <li>- 하향 종단경사 부분에 긴급제동시설 설치</li> <li>- 방설책 및 비산유도시설 설치</li> </ul> </li> <li>• 포장 개선             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도로 발열 포장으로 개선: Road heating</li> </ul> </li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- 동결제어 포장 공법 적용: 화학적 동결제어 포장으로 눈이 도로에 부착되지 않도록 하는 방법</li> </ul> 
터널이 연속된 구간	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널 사이 포장 개선             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도로 발열 포장으로 개선: Road heating</li> </ul> </li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- 동결제어 포장 공법 적용: 화학적 동결제어 포장으로 눈이 도로에 부착되지 않도록 하는 방법</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도로 결빙 방지 시스템 설치</li> </ul> 

자료: 옥창권 외(2013), pp.236-237.

### 라) 안개

- 안개를 대비한 적응대책으로는 대표적으로 차량에 대한 구간 단속, 시설 보강(조명, 방무벽, 가드레일, 위험 표지 설치 등)을 들 수 있음. 사업노선에 대한 안개 발생일 수, 시정거리 정보 등을 바탕으로 우선순위를 선정하여 적절한 적응대책을 수립하는 것이 바람직함

**표 5-12** 안개 대응 적응대책 예시

피해 / 영향시설	적용 및 연구사례	적응대책 주요 내용
주행 시야 미확보 / 도로, 교량	 <p>〈저상 LED 조명 설치〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 등주식 가로등 대신 낮은 LED등(라인 조명)</li> <li>• 플리커 현상 보완, 시야 확보 유리</li> <li>• 높은 색온도, 시각인지 효과 높음</li> <li>• 시화대교에 적용함</li> </ul>
	 <p>〈방무벽 설치〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방무벽, 안개 전용 고표지판 등의 장비 설치</li> <li>• 비상시 통행 제한</li> </ul>
	 <p>〈안개소산장치〉</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자동으로 농무를 감지하여 안개소산장치와 연동되어 작동</li> <li>• 강력한 송풍기를 통해 차량 진행 방향으로 안개를 제거하여 시정거리를 확보하는 장치</li> <li>• 대관령 고속도로, 저수지 인근 도로에 적용 시험 중</li> </ul>

자료: 이주광 외(2020), p.181.

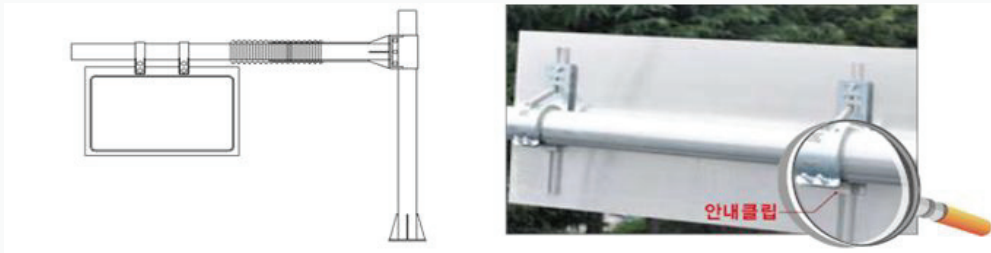
### 마) 강풍

- 태풍, 돌풍 등으로 인해 각종 도로 부속 시설물의 피해를 유발하여 도로 기능을 마비시키거나, 주행 차량을 파손하는 사례가 발생할 수 있음. 피해 유형으로는 지주의 좌굴, 표지판의 국부좌굴, 전체적인 전도 또는 변형, 부재 탈락 등으로 구분됨
- 이는 재료의 강도(연결부 포함)가 풍하중에 미달하기 때문에 발생하는 구조적 원인과 시설물의 노후화로 인한 유지관리 측면의 원인으로 볼 수 있음. 구조적 원인의 대책으로 강풍이 우려되는 지역의 도로 시설물에 대해서는 더욱 강화된 설계기준을 적용하여 풍하중에 대한 안정성을 제고하여야 하며, 시설물에 대한 유지관리 방안이 함께 수립되어야 함

**표 5-13** 강풍에 따른 도로표지 피해 유형 및 적응대책

피해 구분	피해 유형	피해 원인	적응대책
도로 표지판, 신호등	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체 전도</li> <li>부재의 좌굴</li> <li>국부 변형</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기초의 부실</li> <li>설계강도 부족</li> <li>유지관리 부실</li> <li>시설 노후화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>설계 기준 정비 및 강화(지주, 기초)</li> <li>유지관리시스템 도입(일상 및 정기 점검 매뉴얼 등)</li> </ul>
방음벽, 방현시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>탈락</li> <li>변형</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연결부 부실</li> <li>설계강도 부족</li> <li>시설 노후화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>내풍 안정성을 확보할 수 있는 신기술 적용 등(절곡형 표지판 등)</li> </ul>

자료: 옥창권 외(2013), p.84.



자료: 옥창권 외(2013), p.84.

**그림 5-9** 강풍 대비 표지판

- 양안이 노출된 교량에 대해선 차고가 높은 차량의 안전한 통행이 이루어질 수 있도록 난간 또는 장벽을 설치하거나, 특정 속도 이상의 강풍이 발생할 때 속도를 제한하여 안전사고를 예방할 수 있도록 적정 계획을 수립함

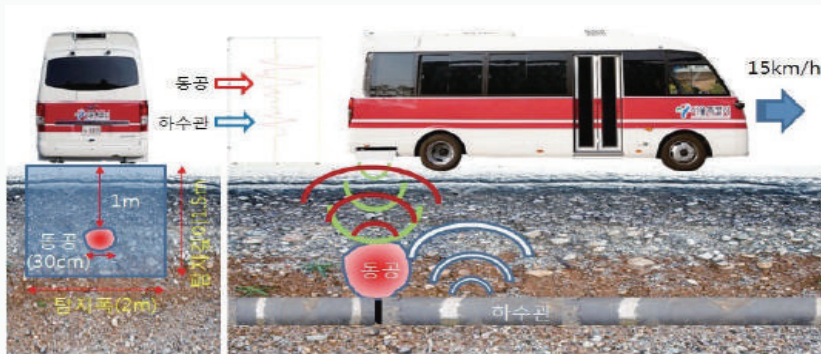


자료: National Highways(2022), p.13.

**그림 5-10** 강풍 발생 시 차량 운행 통제

**바) 도로파임, 도로함몰**

- 폭우와 폭염, 폭설에 취약성이 큰 지역 내 도로는 해당 리스크의 복합적 영향으로 인한 도로파임, 도로함몰의 발생 개연성이 크며, 기후변화에 따라 해당 현상이 더욱 가속화될 것으로 예상되는바 적절한 적응대책 마련이 필요함
- 도로파임, 도로함몰 발생의 예방 측면에서 도로포장 파손을 최소화할 수 있도록 공사 중 아스팔트의 콘크리트 포설 시 온도를 지속해서 점검하는 등 포설 및 다짐 공정의 적절한 시공 수준을 확보하는 것이 중요함(특히, 버스전용차로). 이를 위해선 각 시공 공정별·장비별 현장 품질관리 매뉴얼 등을 마련하여 적용하는 것이 바람직함
  - 여름철, 겨울철 등 취약기간에 대한 지반투과레이다(GPR: Ground Penetrating Radar) 탐사 계획 등을 수립하여 땅속의 동공을 사전 탐지, 굴착 복구를 시행하여 도로함몰 발생을 예방할 수 있도록 적절한 계획을 수립



자료: 윤진성(2017), p.68.

**그림 5-11** 도로 동공 탐사 장비: 차량형 GPR

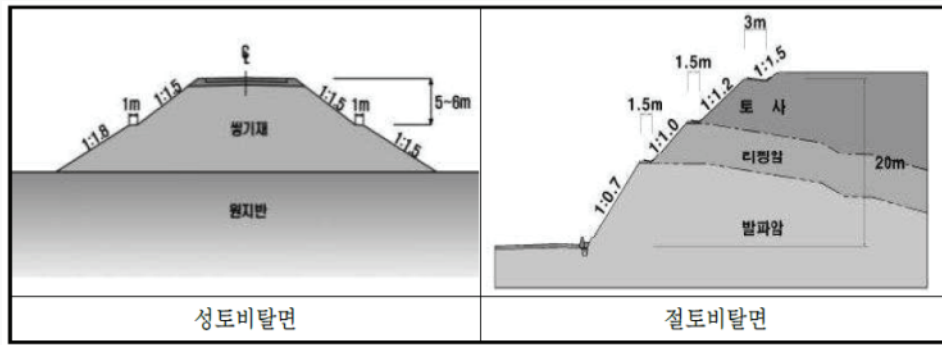
**2) 도로 건설사업의 입지 여건을 고려한 적응대책**

**가) 사면 발생 구간**

- 근본적으로 사업노선 및 종단 선형계획 수립 시 지형 훼손 및 대절토 비탈면 발생을 최소화할 수 있도록 적절한 사업계획을 수립하는 것이 바람직함. 불가피한 사유로 사면이 발생할 경우, 아래의 사항을 고려·참조하여 적절한 저감 및 적응대책을 수립하는 것이 필요함(부록II 참조)

(1) 적정 비탈면 기울기 적용

- 깎기 및 쌓기 구간의 비탈면 경사는 비탈면 안정성 검토 결과를 토대로 적절한 경사를 적용하되, 대절성토 구간은 되도록 기후변화로 인한 취약성을 면밀하게 고려하여 최종 경사(소단의 폭과 간격 포함)를 조정하는 것이 필요함



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종JCT-연기 JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, p.958, 검색일: 2024.7.24.

**그림 5-12** 비탈면 표준경사 기준




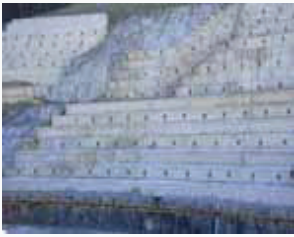
(2) 비탈면 보강공법

- 비탈면 대책공법 결정은 비탈면의 안정성 해석을 근거로 비탈면을 대상으로 앵커, 소일 네일링 등 보강재 삽입 공법, 추가 절취 등의 보강공법(reinforcement method)을 적용함

**표 5-14** 비탈면 보강공법 특성과 적용 예시

공법	특성	적용 예시
앵커	<ul style="list-style-type: none"> <li>고강도 강재를 앵커재로 하여 보링공 내에 삽입하고 그라우트 주입과 강재의 인장에 의해 앵커재를 지반에 정착시켜 앵커재 두부에 작용한 하중을 정착지반에 전달하는 공법</li> <li>대단위 파괴가 우려되는 암비탈면</li> <li>불연속면이 연속적으로 발달된 비탈면</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>두꺼운 붕적층 또는 풍화잔류토 지역에서 원호파괴 활동이 우려되거나 지층 간 경계가 뚜렷하여 활동이 우려되는 지역에 사용하는 공법(수압판 설치)</li> <li>토사 및 붕적층이 두꺼운 토사 비탈면</li> </ul>	
록볼트	<ul style="list-style-type: none"> <li>원지반을 착암기 등으로 천공하여 볼트를 삽입한 후 정착시킴으로써 뜬 돌 등을 원지반에 고정시키는 공법. 록볼트 자체가 강도를 발휘하여 지반을 보강하는 것보다 지반 자체가 강도를 발휘하도록 도와줌</li> <li>예상 활동면이 깊지 않거나 낙반이 예상되는 암비탈면</li> <li>암반의 균열과 절리를 따라 발생하는 활동 방지</li> </ul>	

표 5-14 계속

공법	특성	적용 예시
네일링	<ul style="list-style-type: none"> <li>보강재를 프리스트레싱 없이 좁은 간격으로 지반에 삽입하여 전체적인 전단강도를 증대시킴으로써 지반을 보강하는 공법</li> <li>토사 또는 풍화가 심한 대꺾기비탈면</li> <li>평면 활동이 우려되고 얇은 활동이 예상되는 비탈면</li> </ul>	
버트리스	<ul style="list-style-type: none"> <li>비탈면 하부 지지력 상실 공간에 콘크리트재 등을 채워 꺾기비탈면의 지지력 확보</li> <li>소규모의 특정 구간에 사용 가능</li> <li>적은 재원으로 큰 효과 발휘 가능</li> </ul>	
기대기 옹벽	<ul style="list-style-type: none"> <li>비탈면에 기댄 형상</li> <li>자립하지 않고 원지반 또는 뒤채움 흙에 기댄 자중에 의해 토압에 저항</li> <li>비탈면 하부 지지력 상실 공간의 채움과 그 외 꺾기비탈면 표면에 대한 보호 기능</li> <li>비탈면 활동 블록의 억제 효과</li> <li>앵커 등에 의한 옹벽의 지지력 확보 및 꺾기비탈면 보강 가능</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>계단형의 단면 형상</li> <li>비탈면 하부 지지력 상실 구간의 채움과 그외 꺾기비탈면 표면에 대한 보호 기능</li> <li>비탈면 활동 블록의 억제 효과</li> <li>앵커 등에 의한 옹벽의 지지력 확보 및 꺾기비탈면 보강 가능</li> <li>충분한 이격거리 확보 시 효율성 증대</li> </ul>	

자료: 건설교통부(2007.7), p.79.

(3) 비탈면 보호공법

- 비탈면 안정 해석 결과 안전한 비탈면도 이를 방치할 경우 우수에 의한 침식, 세굴로 인한 토사 유실이 발생할 수 있으며, 풍화 및 동상 작용 등으로 비탈면의 표면부가 연약화되고, 우수의 침투 및 용출수에 의해 지하수위가 상승하면 장기적으로 비탈면이 불안정해서 붕괴가 발생할 수 있음
- 비탈면의 장기적인 안정 유지, 풍화 방지, 미관, 토사 및 암반 비탈면의 보강을 위해 지층 상태 및 비탈면의 상태에 따라 적합한 비탈면 보호 공법을 선정·시공하여야 함

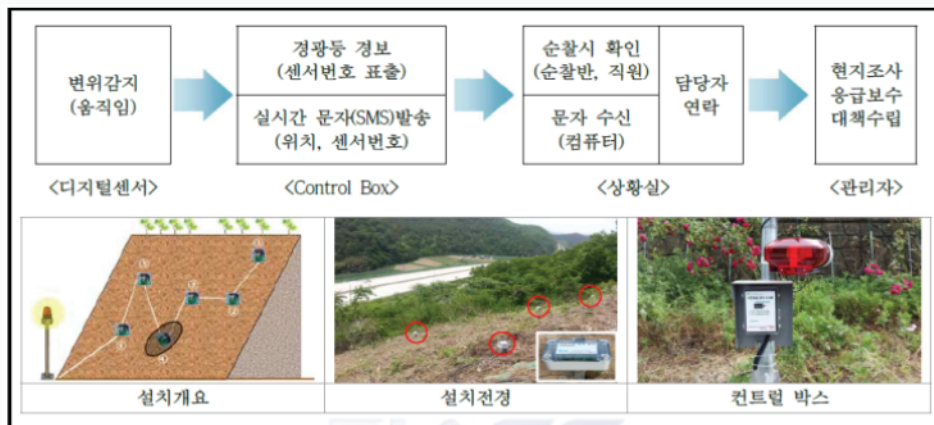
**표 5-15** 비탈면 보호를 위한 식생 보호 공법 종류 및 특징

공종	개요	특징
씨앗 뿜어 붙이기공	<ul style="list-style-type: none"> <li>씨앗, 비료, 흙 등 뿜어붙일 재료에 물을 가한 혼합물을 분사기(Gun)로 뿜어 붙이는 공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>흙깎기 비탈면에 적당</li> <li>발아상을 두껍게 뿜어 붙일 수가 있음</li> <li>높은 곳(약 12m), 급경사에 시공이 가능</li> <li>이층 뿜어붙이기에 적합</li> <li>도랑 객토공과 병용 가능</li> </ul>
식생 매트공	<ul style="list-style-type: none"> <li>씨앗, 비료 등을 장착한 매트류로 비탈면을 전면적으로 피복하는 공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>식생이 왕성할 때까지 매트에 의한 직접 피복 효과가 있어 동계나 하계 때 시공이 가능</li> </ul>
부분 객토 수생공	<ul style="list-style-type: none"> <li>비탈면에 구멍을 파 저부에 고히형비료를 넣고, 화학비료 첨가제를 혼합한 객토를 채운 뒤 씨앗을 놓고 복토, 피막, 양생하는 공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>깊이 객토할 수가 있음</li> <li>비료의 유실이 적음</li> <li>흙깎기 비탈면이 굳은 곳에 적합</li> </ul>
줄떼공	<ul style="list-style-type: none"> <li>식생토를 사용해서 비탈 하단에서부터 줄떼의 장변을 비탈면에 따라 수평으로 펴고 흙을 식워 두들겨 잔디를 비탈면에 붙이는 공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>흙쌓기 비탈면에 사용</li> <li>비탈면에 줄떼의 망상조직을 끼워서 안정</li> </ul>
평떼공	<ul style="list-style-type: none"> <li>비탈 어깨로부터 떼의 긴 변을 수평 방향으로 놓고 떼와 비탈면이 밀착되도록 두들겨서 비탈 전면에 붙이는 공법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>흙깎기 비탈면에 일반적으로 사용</li> <li>시공과 함께 피복되므로 침식되기 쉬운 토질에 사용</li> </ul>

자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종JCT-연기JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, p.960, 검색일: 2024.7.24.

(4) 비탈면 경보시스템 설치

- 도로 공사로 인한 쌓기·깎기 구간은 비탈면 붕괴 가능성이 있으므로, 붕괴 발생 시 신속한 초기 대응이 가능하도록 실시간 경보 시스템 구축 계획을 수립함



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종JCT-연기 JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, p.964, 검색일: 2024.7.24.

**그림 5-13** 비탈면 붕괴 경보시스템 설치

## 나) 산사태 우려 구간

- 사업노선 및 주변 지역에서 산사태 발생 가능성이 있다고 판단되는 경우 다음과 같은 산사태 방재 대책을 수립·시행함
- 검토대상 유역과 산의 능선부, 계곡부, 터널 갱구부 등 산사태 발생지역에 따라 적정 방재 대책을 수립함. 산사태 등 자연재해 예방을 위해 깎기·쌓기로 인한 지형변화를 되도록 최소화하고 급경사 지역은 비탈면 안정성을 면밀하게 검토하여 적정 비탈면 보강공법, 토석류 우회 및 차단시설 등을 적용함



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종JCT-연기JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, p.963, 검색일: 2024.7.24.

**그림 5-14** 산사태 방재 대책

## 다) 침수 우려 구간

- 행정안전부의 ‘지하차도 침수 및 도시침수 피해 방지 안전관리 대책’에 따르면 하천에 인접하거나 침수피해 우려가 큰 U자형 지하차도의 경우 방재등급과 관계없이 진입 차단시설을 설치하도록 의무화되었는바, 관련 내용을 참조하여 적절한 적응대책을 수립하는 것이 필요함<sup>51)</sup>
- 국토교통부예규 제407호 ‘도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침(2024.8)’ 참조<sup>52)</sup>

## 3) 시설물 설치를 고려한 적응대책

### 가) 교량

- 교량과 같은 하천 시설물에서 세굴로 인한 손상과 파괴로부터 시설물을 보호하기 위하여 세굴방지공을 설치해야 함. 교각 주위 국부적 세굴을 방지하기 위한 방법별 특징은 다음과 같으며, 기후변화를 고려한 안정성, 현장 여건에 따른 재료 구매의 용이성과 시공성, 공사비용 등을 다각도로 검토하여 적절한 방안을 마련하여야 함(부록II 참조)

51) 행정안전부 보도자료(2024.4.23), p.2.

52) 국가법령정보센터, “도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침”.

**표 5-16** 세굴 방지공법 비교

구분	사석	콘크리트 블록	매트 콘크리트	돌망태
공법 개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>직경 10~50cm의 사석을 하상 포설</li> <li>3층 이상 포설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CON'C 블록 제작 후 연결하여 사용</li> <li>중량 1~2 ton/ea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>하상매트 CON'C 타설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>사석, 호박돌 등을 철선 망태에 넣고 하상에 포설</li> </ul>
장단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>굴요성 양호</li> <li>안정성 양호</li> <li>시공성 양호</li> <li>유지보수 양호</li> <li>비용 저렴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>굴요성 양호</li> <li>안정성 양호</li> <li>시공성 불량</li> <li>유지보수 보통</li> <li>비용 고가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>굴요성 나쁨</li> <li>장기적인 안정성 불량</li> <li>환경에 악영향</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>굴요성 양호</li> <li>철선 부식, 파손 시 안정성 불량</li> <li>시공성 양호</li> <li>유지보수 양호</li> </ul>
적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>하천의 유심부 및 유속이 보통인 하천구간</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>하천의 유심부 및 유속이 빠른 하천구간</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>하천 유심부를 제외한 구간</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>하천 유심부를 제외한 구간</li> </ul>
시공성	<ul style="list-style-type: none"> <li>가물막이 축도 후 육상 작업</li> <li>수중작업 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>가물막이 축도 후 육상 작업</li> <li>수중작업 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>가물막이 축도 후 CON'C 타설</li> <li>수중 CON'C 타설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>가물막이 축도 후 육상 작업</li> <li>수중작업 가능</li> </ul>

자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.30), "충북도계-천안탑원(국지도57호선) 도로건설공사 환경영향 평가서 초안", p.435, 검색일: 2024.7.24.

- 폭염은 교각의 상판 도로 파임, 신축이음 솟음, 포장 솟음 등의 영향을 미치므로, 폭염에 대한 취약성이 큰 지역 내 설치되는 교각은 설계기준을 강화하거나 유지관리시스템(일상 및 정기 점검)을 도입하여 운용하는 것이 바람직함

**나) 휴게소<sup>53)</sup>**

- 에너지 고효율 건축, 녹지 공간 조성 확대
- 폭염 대응을 위한 휴게시설 냉방 시설 확대
- 침수지역 발생 시 방역 활동 강화를 통한 질병 예방 활동
- 녹색공간 조성(휴게시설 녹화 및 녹지대 확대, 시설물 벽면 녹화, 수목 터널 조성)
- 쿨링포그, 소방설비 설치, 휴게소 관리자 대상 화재 예방 교육 시행

**4) 기후변화 리스크를 고려한 설계기준 적용**

- 도로 건설사업의 설계 공종별(토공, 배수공, 구조물공, 포장공, 교통안전시설공, 부대공, 터널공) 설계 요소 중 기후변화와 관련된 사항은 <표 5-17>과 같음. 실시 설계 시 이를 고려하여 기후변화 리스크를 검토·반영한 강화된 설계 기준을 적용하는 방안을 검토함

53) 이주광 외(2017), p.201을 활용하여 저자 작성.

**표 5-17** 공종별 기후변화 관련 설계 요소

공종		내용	정성적 고려사항	정량적 설계요소	기후변화 관련 설계요소
토공	토석류	토석류 침투유량	●	설계강우강도	호우
배수공	노면배수	L형 측구, U형 측구, 흙쌓기부, 다이크, 집수정 등 수리계산	●	설계강우강도	호우
	비탈면 배수	산마루 측구, 도수로, 집수정, 소단 배수시설 수리계산	●	설계강우강도	호우
	인접지 배수	V형 측구, 집수정 수리계산	●	설계강우강도	호우
	지하배수	맹암거, 유공관 수리계산	●	설계강우강도	호우
	횡단배수	횡배수관, 암거, 교량 수리계산	●	설계강우강도	호우
	경간장	하천통과 교량 경간장	●	계획홍수량	호우
교면공	다리 밑 공간	다리 밑 공간, 제방도로 폭원 및 공간 높이	●	계획홍수량	호우
	신축이음 장치	교량의 온도 변화	●		폭염, 한파
	교면배수	배수구의 간격	●	설계강우강도	호우
	갱구		●		호우, 한파
터전공	갱문		●		대설
	방수 및 배수		●		한파, 대설
	자연환기		●		강풍
	제트팬 환기	자연풍에 의한 환기저항	●		강풍
	선택기준 (기상)		●		대설
포장공	노상		●		한파
	동상 방지층		●		한파
	동결융해	최대 동결 관입 깊이 및 포장 두께	●	최대동결 관입깊이	한파
	동결지수	동결지수	●	동결지수	한파
	지역계수	지역계수	●		한파, 폭염
	CRCP 세로방향 보강철근 설계	설계온도 하강(DTD)	●		한파, 폭염
	줄눈설계	수축 줄눈	●		한파, 폭염

표 5-17 계속

공종	내용	정성적 고려사항	정량적 설계요소	기후변화 관련 설계요소
부대영향	교통안전 표지	노면 상황예고 표지 기상 상황예고 표지	●	호우, 대설, 안개, 강풍
	지주의 구조계산	풍하중, 설하중	●	강풍, 대설
	방호 울타리	적설에 따른 하중	●	대설
	체인 탈착장	적설 한랭지 도로에서 체인의 설치 또는 제거를 위한 장소	●	대설
	낙석 방지망	우수로 인한 세굴	●	호우
	낙석방지 울타리		●	호우

주: 동결지수, 지역계수는 국토해양부(2012.8) '도로 동상방지층 설계지침'을 참조할 수 있음.  
자료: 이주광 외(2020), p.204.

### 5) 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023-2025)과의 부합성 확보

- 『제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023-2025)』에서는 국가 기후위기 적응 강화를 위한 정책 방향 중 하나로 '3-1 기후위기에 따른 주택·도시·기반시설 재해대응력 강화'를 수립하였으며, 이를 위한 추진 과제 중 하나로 '2. 이상기후 대응을 위한 사회기반시설 관리 강화'를 제시하고 있음<sup>54)</sup>
- 당해 사업과 정부의 정책이 부합될 수 있도록 도로 건설사업에 대하여 기후변화 리스크를 검토·반영한 연도별 성능평가(구조 안정성·내구성·사용성 종합평가) 실시 및 이력 관리, 도로 시설 점검·정비 강화, 최적 보수·보강공법 결정 및 정비, 선배수시설 도입 및 포장 상태 적정 수준 유지관리를 통한 도로 안정성 강화 등의 대책을 마련하는 것이 필요함

54) 관계부처 합동(2023.6), p.109, p.112.

**2 이상기후 대응을 위한 사회기반시설 관리 강화**

□ **기후변화 적응을 위한 인프라 개선방안 마련**

- 사회기반시설 기후 위협관리 방안 마련(LOS, LOS / 국토부) 강화
  - 사회기반시설 중 12종 시설물\*에 대한 연도별 성능평가(구조 안전성·내구성·사용성 종합평가) 실시 및 성능평가 결과 이력관리
    - \* 일정 규모 이상의 도로 및 철도 교량, 도로 및 철도 터널, 용수전용댐 등(「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 제7조)
  - 사회기반시설 성능평가 시 기후변화 리스크 검토 및 반영
  - 사회기반시설 구축시 기후위험요인(폭우, 폭염 등)이 반영될 수 있도록 국가 도로, 철도 등의 설계기준 개선 연구

□ **도로·철도 등 기반시설별 안전성 확보**

- 이상기후 대응 도로시설 점검·정비 강화(LOS / 국토부)
  - 집중호우 시 배수처리 취약구간인 오목구간(내리막→오르막 변이 지점) 및 급커브 구간 고속도로 노면수 처리에 선배수 방식 도입
  - 일반국도 포장 균열률·소성변형량 등을 측정하여 포장상태지수 (NHPCI)를 적정수준 이상(5.0)으로 유지·관리
  - 일반국도를 대상으로 자동화된 포장조사 장비를 이용한 현장조사 및 포장상태, 경제성 분석 등을 통한 최적의 보수·보강공법 결정 및 정비
  - 폭염, 폭우 등 이상기후 발생 시 고속·일반국도의 도로안전성 강화 (선배수시설 도입 및 포장상태 적정수준 유지)

자료: 관계부처 합동(2023.6), p.115.

**그림 5-15** 『제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023-2025)』 중 사회기반시설 관리 강화 부문

# 제 6 장

## 결론 및 정책 제언

1. 결론
2. 정책 제언

### 1. 결론

2022년 9월 시행된 「탄소중립기본법」 제23조에 의거 전략환경영향평가 또는 환경영향평가 대상 정책, 개발사업 중 온실가스를 다량 배출하는 사업 등 대통령령으로 정하는 계획 및 개발사업에 대해 기후변화영향평가를 실시해야 하며, 이는 국가 탄소중립 이행을 위한 주요한 제도적 수단 중 하나로 마련되었다. 본 연구에서는 그간 선행연구를 통해 마련된 기후변화영향평가의 평가기법과 연계하여 평가 대상으로 신규 포함된 도로 건설사업의 특성을 고려한 기후변화영향평가 기법을 마련하고자 하였으며, 특히 사업에 대한 실효적인 온실가스 감축 및 기후위기 적응방안을 제언하고자 하였다.

친환경적 도로 건설과 관련된 정부 지침과 선행연구를 조사·분석하여 기후변화영향평가 시 적용할 수 있는 사항을 도출하였다. 해당 문헌에서는 공통적으로 도로 건설사업에서 주로 고려되어야 할 환경적 요소로서 지형·지질과 수리·수문 항목을 제시하였다. 지형·지질 항목은 지형에 순응하는 노선계획을 우선하여 수립하되, 불가피한 지형 훼손과 장대 비탈면 발생에 대해서는 터널 등을 통해 이를 최소화하도록 요구하고 있다. 아울러 사면과 지반의 안정성에 대한 사전 조사와 면밀한 검토가 필요하며, 해당 결과를 토대로 안정성 확보, 비탈면 녹화 등을 위한 적절한 대책을 수립해야 함을 명시하고 있다. 수리·수문 항목의 경우 사업노선이 하천에 인접하는 경우 자연재해의 피해를 보거나 재해 유발위험에 노출될 수 있으므로, 수리·수문 측면의 부정적 영향을 사전에 파악하고 사업계획 초기부터 이를 고려할 것을 명시하고 있다. 특히 교량 설치계획이 포함된 도로 건설사업은 홍수 시 안정성 확보, 세굴, 침식 등을 방지할 수 있는 관련 계획 수립이 필요함을 제시하고 있다. 이러한 내용은 기후변화영향평가

수행 시에도 충분히 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 특히 기후변화영향평가는 폭우, 산사태 등의 극한 기후와 재해를 가정하여 수행되므로, 더욱 보수적인 여건을 고려하여 관련 내용을 검토하고, 적절한 저감방안 및 적응대책을 수립하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

2011~2023년 '환경영향평가정보지원시스템(EIASS)'에 등록된 도로 건설사업의 환경영향평가서 본안 중 기후변화영향평가 대상(길이 12km 이상)에 해당하는 74건의 사업에 대한 환경영향평가서의 온실가스 항목 작성 현황을 분석한 결과, 도로 건설사업의 경우 총 온실가스 배출량 대비 차량 운행에 따른 온실가스 배출량의 비율은 평균 90.33%로 대부분 차량 운행에 따른 배출로 나타났다. 이는 도로 건설사업에 대한 온실가스 감축 대책 수립이 매우 제한적임을 의미하는 결과로 볼 수 있다. 현실적으로 온실가스의 감축을 위해 배출 부문 중 가장 큰 부분을 차지하는 차량 운행을 제한하거나, 개별 사업 단위에서 전기차·수소차와 같은 친환경 차량을 운행하도록 유도하는 것은 불가능하기 때문이다. 즉 도로 건설사업에 대한 온실가스 감축의 경우 차량 통행 외 배출원인 휴게소, IC 등의 부대시설 운영 과정에서 배출이 예상되는 온실가스를 더욱 적극적으로 감축하는 것이 필요하며, 사업노선의 선정·설계 시 양호한 탄소 저장·흡수원의 훼손을 최소화하고, 가용한 토지를 대상으로 수목 식재 및 녹지 조성을 확대하는 것이 중요한 것으로 판단된다.

도로 건설사업에 대한 국외 환경영향평가 사례를 분석한 결과, 미국과 캐나다의 온실가스 배출량 산정은 공사 및 운영 시 정부에서 제공하는 모델을 활용하여 온실가스 배출량을 산정·제시하고 있음을 확인하였다. 모델을 활용한 배출량 산정은 온실가스 배출량 산정 과정을 포함한 평가서의 질적 차이(배출계수 및 산정식의 적정성, 누락 항목 발생 등) 발생을 예방할 수 있을 것으로 판단된다. 단, 모델을 통한 배출량 산정 역시 배출계수·산정식 등을 지속해서 최신화하여야 하므로, 이를 제공하는 정부 또는 기관 차원의 지속적인 유지·관리가 필요하다. 도로 건설사업에 대한 온실가스 감축 대책은 공사 시의 경우 공회전 금지, 최신 건설기계 활용 등 국내와 유사한 대책을 수립하고 있다. 운영 시 교통량에 따른 온실가스의 감축은 단일 사업 차원에서 이행할 수 없는 사안으로 명확하게 명시하고 있으며, 친환경 차량으로의 전환 등 수송 부문에 대한 정부의 관련 정책으로 해결해야 함을 기술하고 있다. 도로의 신규 건설에 따른 교통량 분산, 교통 흐름의 개선은 온실가스 감축에 긍정적인 효과를 가져올 것임을 정성적으로나마 명시하고 있는 것은 바람직한 것으로 판단된다. 기후위기 적응 부문에 있어 조사된 해외사례는 국내와 같은 취약성 평가 결과를 활용하지는 않고 있으나, 사업노선이 속한 지역의 특성, 과거 재해 이력 등을 토대로 적절한 대책을 수립하고 있는 것으로 확인되었다. 단, 국내와 같이 매우 다양한 기후변화 리스크를 세부적으로 고려하지는 않는 것으로 확인되며, 홍수나 해수면 상승, 폭염과 강풍 등 일부 대표적인 도로 건설사업에 대한 리스크를 정성적으로 평가하고, 관련한 적응방안을 간략하게 기술하고 있는 것으로 나타났다.

도로 건설사업 시 가장 큰 온실가스 배출 부문인 수송 부문은 감축 대책 수립이 제한적이므로, 동 사업은 가능한 토지에 수목 식재 및 녹지 조성 확대를 적극 추진해야 한다. 본 연구에서는 선행연구 결과를 토대로 탄소흡수를 고려한 수종 선정 및 식재 계획, 도로의 중앙분리대와 측면부의 여건을 고려한 적절한 수목 식재 방안을 정리하여 제안하였다. 아울러 수목 식재를 통한 탄소 저장·흡수의 지속성을 확보할 수 있도록 적절한 유지·관리 방안을 함께 제시하였다. 선행연구를 통해 마련된 기후변화영향평가 기법을 토대로 도로 건설사업에 대한 현황분석-공사 및 운영 시 배출량 산정-감축목표 설정-감축 대책 수립으로 이루어진 온실가스 감축 부문 전 과정의 평가기법을 마련·정리하여 제시하였다. 앞서 언급한 수목 식재와 녹지 조성 외에도 휴게소 등 부대시설에 신재생에너지 활용시설 설치, 지능형 교통시스템 및 스마트 톨링 설치, 회전교차로 등 도로 사업에 적용할 수 있는 다양한 온실가스 감축 방안을 도출 정리하였으며, 이에 따른 정량적 감축 효과 역시 도출하여 제시하였다.

도로 인프라에 대한 기후변화 리스크와 관련된 다양한 해외 문헌을 조사·분석하여, 도로 건설사업에 대한 기후변화영향평가 시 고려되어야 할 주요 리스크를 도출하였으며, 리스크별 영향을 검토하였다. 문헌에서는 공통으로 폭염, 폭설, 폭우 및 홍수, 강풍, 해수면 상승 등을 도로의 주요 기후변화 리스크로 평가하고 있으며, 해당 리스크는 주로 도로 시설물의 파손과 같은 1차적 영향과 더불어 교통 흐름 방해, 도로 폐쇄 등의 2차적 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 이를 고려하여 기후변화영향평가 수행 시 사업의 기후위기 취약성 평가 결과를 토대로 해당 리스크를 중점적으로 평가하는 것이 타당하며, 이에 따른 적절한 적응대책을 사업계획에 포함하는 것이 실효적인 것으로 판단된다. 온실가스 감축 부문과 마찬가지로 본 연구에서는 선행연구를 통해 마련된 기후변화영향평가 기법을 토대로 도로 건설사업에 대한 현황분석-기후변화 취약성 평가 및 리스크 분석-적응대책 수립으로 이루어진 기후위기 적응 부문 전 과정의 평가기법을 마련·정리하여 제시하였다. 특히 본 연구에서는 도로 건설 사업의 기후위기 적응 부문 평가 시 지자체 취약성 평가 결과 외에도 사업노선의 구간별 입지 특성(예: 사면 발생, 하천 인접 지역 통과 등)과 여건, 사업노선에 포함된 교량, 터널, 지하차도 등의 시설물 조성계획을 면밀하게 고려하는 것이 중요함을 제시하였으며, 이러한 여건에 따른 적절한 적응방안 또한 도출하여 제시하였다.

본 연구를 통해 마련된 도로 건설사업의 기후변화영향평가 방법론을 통해 도로 건설사업 추진 시 기후변화를 고려한 강화된 온실가스 감축과 기후위기 적응방안의 수립을 유도할 수 있을 것이며, 신규 평가 대상 사업의 평가기법 마련을 통해 기후변화영향평가 제도 운용의 실효성을 제고할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 제도와 관련된 다수 이해관계자가 업무를 수행할 때 효과적인 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 정책 제언

본 연구의 수행 과정에서 조사된 국외 환경영향평가 사례를 참조하여, 국내에서도 국가 차원의 특정 사업 맞춤형 온실가스 배출량 산정(공사 및 운영 시)을 위한 모델 개발 및 보급을 검토하는 것이 필요하다. 모델을 활용할 경우 기후변화영향평가 수행 과정에서 배출량 산정을 누락하거나, 잘못된 산정식 또는 배출계수를 적용하는 등의 평가서 질적 하락, 또는 대행업체 간 작성되는 평가서의 질적 차이를 예방할 수 있을 것으로 판단된다. 국외 모델은 해당 모델이 활용되는 지역의 배출규제, 환경 여건 등이 반영되어 있으므로, 이를 여과 없이 수용하여 국내에서 활용하는 것은 바람직하지 않은 것으로 사료된다. 따라서 국내 실정에 맞는 모델을 개발하여 적용하는 방안을 검토하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 단 앞 절에서 언급하였듯, 모델을 통한 배출량 산정 역시 배출계수·산정식 등을 지속해서 최신화하여야 하므로, 이를 제공하는 정부 또는 기관 차원의 지속적인 유지·관리가 수반되어야 한다.

기후변화영향평가 대상 사업에 포함된 개발사업의 유형과 특성을 고려한 평가기법의 개발이 지속해서 추진되어야 한다. 본 연구를 통해 마련된 도로 건설사업 외에도 공항, 폐기물 처리 시설, 발전시설 등에 대한 온실가스 감축과 기후위기 적응 부문의 평가기법을 마련·정립하는 것은 시급한 사안으로 볼 수 있다. 아울러 기후위기 적응 부문 평가의 경우 제도 시행 후 현재까지 지자체의 취약성 평가 결과(주로 VESTAP)를 중점적으로 활용하여 평가가 이루어진 것이 현실이다. 이러한 취약성 평가 결과 외에도 사업의 입지 여건과 토지이용계획, 시설물 조성계획을 고려한 적응 부문 평가기법을 지속해서 고민·마련할 필요가 있으며, 이를 함께 고려한 평가가 이루어져야 제도의 실효성이 더욱 제고될 것으로 판단된다.



# 참고문헌

## [국내문헌]

- 건설교통부(2003), 「환경친화적인 도로설계기법연구」, p.1-1.
- 건설교통부(2007.7), 「수해 예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼」, p.34, p.50, p.79.
- 국토교통부(2022.8), 「회전교차로 설계지침」, p.5, p.12.
- 국토해양부(2012.2), 「국도의 노선계획·설계지침」, pp.1-21.
- 관계부처 합동(2023.6), 「제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023-2025)」, p.109, p.112, p.115.
- 동부엔지니어링 기술연구소(2015), 「탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 개발」, 국토교통과학기술진흥원, p.2, p.28, pp.171-172.
- 박은진, 강규이(2010), “경기도 도시가로수의 탄소저장량과 연간 이산화탄소 흡수량 산정”, 「한국환경생태학회지」, 24(5), pp.591-600.
- 박신, 조진우(2011), 「저탄소 녹색도로를 향한 외국의 도로정책의 변화와 우리나라 도로정책의 시사점」, 한국법제연구원, pp.94-97, pp.101-102, pp.104-105, pp.109-114.
- 손원표 외(2013), “탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술의 개발방안 연구”, 「교통기술과 정책」, 10(2), 대한교통학회, pp.75-80.
- 옥창권 외(2013), 「국내 기후변화에 대비한 고속도로 설계기준 정립연구」, 한국도로공사 도로교통연구원, p.84, p.232, pp.236-237.
- 윤진성(2017), “서울시 도로함몰 예방대책 및 관리방안”, 「한국방재저널」, 19(5), 한국방재협회, pp.65-72.
- 이영수 외(2023a), 「탄소중립 달성을 위한 기후변화영향평가 제도의 효율적 운영 방안 연구」, 한국환경연구원, p.2.
- 이영수 외(2023b), 「기후변화영향평가 제도 도입을 위한 시범사업」, 환경부, p.248, p.299.
- 이종소 외(2023), “기후위기 적응을 위한 도로교량의 성능평가 개선의 필요성”, 「국토이슈리포트」, 73호, 국토연구원, p.4, pp.9-10.
- 이주광 외(2017), 「고속도로 기후변화 적응 대책 수립에 관한 연구」, 한국도로공사 도로교통연구원,

p.201.

이주광 외(2020), 「기후변화에 대비한 고속도로 시설물 안전성 확보대책 연구」, 한국도로공사 도로교통연구원, pp.171-172, pp.174-176, pp.179-181, p.204.

이창훈 외(2022), 「기후변화영향평가 관련 추진체계 마련 연구」, 환경부, p.20, p.25, p.30, pp.34-35.

최준규 외(2016), 「친환경 계획기법 개발연구(II)」, 환경부, p.3, pp.43-44.

최현진 외(2022), 「탄소중립 대응을 위한 환경영향평가서 작성 방법 개선 연구」, 환경부, p.3, p.142.

한국건설기술연구원(2015), 「탄소중립형 도로 기술개발」, 국토교통과학기술진흥원, pp.427-434, p.439.

한국도로공사(2009), 「고속도로 건설사업 환경영향평가 적용을 위한 온실가스 예측 및 저감대책 연구 용역」, pp.60-68, p.81, pp.85-86.

환경부, 국토교통부(2015.8), 「환경친화적인 도로건설 지침」, p.30.

환경부(2023a), 「기후변화영향평가 방법 등에 관한 안내서」, pp.53-54, p.64, p.74.

환경부(2023b), 「오송 제3생명과학 국가산업단지 조성사업 기후변화영향평가서 시범사업 보고서」, p.77, p.155.

## [국외문헌]

California Department of Transportation: Caltrans(2022), *US Highway 101/Produce Avenue Interchange Project*, Draft Environmental Impact Report/Environmental Assessment, p.1-6, p.3-49, p.3-56.

California Department of Transportation: Caltrans(2023), *South Fresno State Route 99 Corridor Project*, Final Environmental Impact Report/Environmental Assessment with Finding of No Significant Impact, p.4.

EastLink(2023), *Sustainability Report*, p.10, p.45.

European Environment Agency: EEA(2014), *Adaptation of Transport to Climate Change in Europe*, p.10, pp.58-59.

Institute of Environmental Management and Assessment: IEMA(2022), *Assessing Greenhouse Gas Emissions and Evaluating their Significance*, p.8.

Ministry of Road Transport and Highways, Government of India(2019), “Two Lane Upgradation with Paved Shoulders of Paderu-Akaru (up to Bhalluguda) Section of NH 516E in Andhra Pradesh”, *Environmental Impact Assessment & Environmental Management Plan*, p.2-1, p.2-6, p.7-7.

National Highways & Infrastructure Development Corporation Ltd.(2020), *Environmental Impact Assessment for Improvement/Widening of Two Lane with Paved Shoulder*

of Khowai to Sabroom Section of Newly Declared NH-208, p.1, p.165.

National Highways(2022), *Climate Change and the Strategic Road Network*, p.4, p.11, p.13.

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: MLIT(2021), *2021 ROADS IN JAPAN*, pp.32-33.

The Oregon Department of Transportation: ODOT(2016), *Solar Highway Program: From Concept to Reality*, pp.6-7.

Ontario Ministry of Transportation(2023), “Highway 400 to Highway 404 Link (Bradford Bypass)”, *Final Environmental Impact Assessment Report*, p.346.

WORLD BANK GROUP(2017), *Integrating Climate Change into Road Asset Management*, pp.8-9.

## [온라인 자료]

국가법령정보센터, “기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법”, [http://www.law.go.kr/법령/기후위기\\_대응을\\_위한\\_탄소중립\\_녹색성장\\_기본법](http://www.law.go.kr/법령/기후위기_대응을_위한_탄소중립_녹색성장_기본법), 검색일: 2024.6.3.

국가법령정보센터, “온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침”, [http://www.law.go.kr/행정규칙/온실가스\\_배출권거래제의\\_배출량\\_보고\\_및\\_인증에\\_관한\\_지침](http://www.law.go.kr/행정규칙/온실가스_배출권거래제의_배출량_보고_및_인증에_관한_지침), 검색일: 2024.7.15.

국가법령정보센터, “순환골재 등 의무사용건설공사의 순환골재·순환골재 재활용제품 사용용도 및 의무사용량에 관한 고시”, [http://www.law.go.kr/행정규칙/순환골재\\_등\\_의무사용건설공사의\\_순환골재\\_순환골재\\_재활용제품\\_사용용도\\_및\\_의무사용량에\\_관한\\_고시](http://www.law.go.kr/행정규칙/순환골재_등_의무사용건설공사의_순환골재_순환골재_재활용제품_사용용도_및_의무사용량에_관한_고시), 검색일: 2024.7.18.

국가법령정보센터, “자연재해 위험개선지구 관리지침”, [http://www.law.go.kr/행정규칙/자연재해\\_위험개선지구\\_관리지침](http://www.law.go.kr/행정규칙/자연재해_위험개선지구_관리지침), 검색일: 2024.7.29.

국가법령정보센터, “환경영향평가법 시행령”, [http://www.law.go.kr/법령/환경영향평가법\\_시행령](http://www.law.go.kr/법령/환경영향평가법_시행령), 검색일: 2024.6.3.

국가법령정보센터, “환경친화적인 도로건설 지침”, [http://www.law.go.kr/행정규칙/환경친화적인\\_도로건설\\_지침](http://www.law.go.kr/행정규칙/환경친화적인_도로건설_지침), 검색일: 2024.8.26.

국가법령정보센터, “도로터널 방재·환기시설 설치 및 관리지침”, [http://www.law.go.kr/행정규칙/도로터널\\_방재\\_환기시설\\_설치\\_및\\_관리지침](http://www.law.go.kr/행정규칙/도로터널_방재_환기시설_설치_및_관리지침), 검색일: 2024.8.26.

국토교통부 보도자료(2024.7.17), “도로포장, 탄소는 줄이고 수명은 늘린다!”, <https://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=43&boardNo=3533&searchCategory=&page=1&searchType=&searchWord=&menuLevel=&menuNo=>, 검색일: 2024.9.5.

기상청, “기후정보포털”, <http://www.climate.go.kr/home/>, 검색일: 2024.7.24.

기술과 혁신(2021), “스마트한 첨단 교통 체계로 탄소 배출 줄인다, 지능형 교통 시스템”, <http://webzine.koita.or.kr/202111-culture/%EC%8A%A4%EB%A7%88%ED%8A%B8%ED%95%9C-%EC%B2%A8%EB%8B%A8-%EA%B5%90%ED%86%B5-%EC%B2%B4%EA%B3%84%>

- EB%A1%9C-%ED%83%84%EC%86%8C-%EB%B0%B0%EC%B6%9C-%EC%A4%84%EC%9D%B8%EB%8B%A4%C2%A0-%EC%A7%80%EB%8A%A5%ED%98%95-%EA%B5%90%ED%86%B5-%EC%8B%9C%EC%8A%A4%ED%85%9C, 검색일: 2024.7.20.
- 농촌진흥청 보도자료(2021.9.3), “‘작지만 강하다’ 정원식물 탄소 저감효과 특특”, pp.1-4, [https://www.rda.go.kr/board/board.do?boardId=farmprmninfo&prgId=day\\_farmprmninfoEntry&currPage=1&dataNo=100000773623&mode=updateCnt&searchSDate=&searchEDate=&totalSearchYn=Y](https://www.rda.go.kr/board/board.do?boardId=farmprmninfo&prgId=day_farmprmninfoEntry&currPage=1&dataNo=100000773623&mode=updateCnt&searchSDate=&searchEDate=&totalSearchYn=Y), 검색일: 2024.9.5.
- 머니투데이(2013.6.19), “LH아파트에 소형풍력발전...650만 원 절약”, <https://news.mt.co.kr/mview.php?no=2013061910433159743>, 검색일: 2024.9.5.
- 산림청, “산사태정보시스템”, [https://sansatai.forest.go.kr/gis/main.do;jsessionid=LuRrlK2Q7\\_e1J0oOey83v0hRvQGRVHr2SPrIKfnU.ldm10#mhms0](https://sansatai.forest.go.kr/gis/main.do;jsessionid=LuRrlK2Q7_e1J0oOey83v0hRvQGRVHr2SPrIKfnU.ldm10#mhms0), 검색일: 2024.7.29.
- 서울특별시 보도자료(2020.6.19), “서울시, 동부간선도로에 ‘태양광 방음터널’...300가구 사용 전력 생산”, p.5, [https://www.seoul.go.kr/news/news\\_report.do#view/318885?tr\\_code=m\\_snews](https://www.seoul.go.kr/news/news_report.do#view/318885?tr_code=m_snews), 검색일: 2024.9.5.
- 청색경제뉴스(2024.7.17), “기후위기 대응 탄소저감 도로 포장 기술 대폭 확대된다”, <https://www.blueeconomy.co.kr/news/articleView.html?idxno=2802>, 검색일: 2024.9.5.
- 탄소중립녹색성장위원회 보도자료(2022.3.22), “탄소중립 비전과 온실가스 감축 의지 법제화, 2050 탄소중립 사회로 나아갑니다”, p.8, <https://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=3&boardNo=631&menuLevel=2&menuNo=16>, 검색일: 2024.7.29.
- 행정안전부 보도자료(2024.4.23), “지하차도 침수 및 도시침수 피해 방지 안전관리 대책 본격 추진”, p.2, [https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type010/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR\\_000000000008&nttId=108762](https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type010/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_000000000008&nttId=108762), 검색일: 2024.8.1.
- 환경영향평가 정보지원시스템(2018.1.18), “새만금-전주(김제-전주) 고속도로 건설사업 환경영향평가서 본안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.1.
- 환경영향평가 정보지원시스템(2018.9.12), “새만금 남북도로(2단계) 건설공사 환경영향평가서 본안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.1.
- 환경영향평가 정보지원시스템(2018.10.29), “다사-왜관 간 광역도로 건설 환경영향평가서 본안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.1.
- 환경영향평가 정보지원시스템(2019.5.29), “국도5호선 신림-판부 도로건설공사 환경영향평가서 본안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.1.
- 환경영향평가 정보지원시스템(2019.8.1), “세종-포천[세종-안성] 고속도로 건설공사 환경영향평가서 본안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.1.
- 환경영향평가 정보지원시스템(2019.11.29), “평택동부고속화도로 민간투자사업 환경영향평가서 본안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.1.
- 환경영향평가 정보지원시스템(2020.7.21), “영종-청라 연결도로(제3연륙교) 환경영향평가서 본안”,

<http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.1.

환경영향평가 정보지원시스템(2022.5.20), “환경영향평가서등의 작성 등에 관한 안내서”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.15.

환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종JCT-연기 JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.24.

환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.30), “충북도계-천안탑원(국지도57호선) 도로건설공사 환경영향평가서 초안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.24.

Lake Simcoe Region conservation authority(2022.11.22), “Statement on the Bradford Bypass Project”, <https://lsrca.on.ca/index.php/2022/11/22/statement-on-the-bradford-bypass-project/>, 검색일: 2024.8.20.



## 부록

- I. 온실가스 감축 부문 기후변화영향평가 예시
- II. 기후위기 적응 부문 기후변화영향평가 예시
- III. 저탄소 녹색도로를 위한 국외 정책 사례



# I. 온실가스 감축 부문 기후변화영향평가 예시

## 1. 온실가스 배출원, 흡수원 현황조사

### 가. 온실가스 배출량 현황

- 사업노선의 사업 시행 전 온실가스 배출원 및 흡수원, 배출량 및 흡수량을 조사한 결과 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq, 흡수량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 순 배출량은 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 조사되었음

**부록 표 1-1** 사업 시행 전 온실가스 배출량 현황

(단위: 톤CO<sub>2</sub>eq/연)

구분	온실가스 배출현황 (시행 전)	비고
순 배출량(A-B)		
배출원	총 배출량(A)	0
	수송	0
	공공/상업	0
	산업	0
	가정	0
	폐기물	0
	농업	0
흡수원	총 흡수량(B)	0
	LULUCF	0

자료: 환경부(2023a), p.35를 활용하여 저자 작성.

#### 1) 수송 - 도로 수송 부문 배출량 현황<sup>55)</sup>

- 사업 시행 전 기존 도로의 이동배출원에 따른 배출량은 사업노선의 교통량 조사 결과<sup>56)</sup>를 활용하여 온실가스 배출량<sup>57)</sup>을 추정하였음
- 사업노선의 최근 0년의 교통량을 참고하여 온실가스 배출량을 산정하였으며, 이에 따른 수송 부문 온실가스 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

55) 기존 도로의 확장, 노선 개량 등의 사업에 한하여 배출량 조사·분석.

56) 국토교통부 “교통량정보제공시스템”을 활용하여 사업노선의 평균 교통량을 활용·산정하거나, 국토교통부의 최신 연도 도로교통량통계연보를 활용하여 산정.

57) 사업노선의 교통량 자료 확보가 어려운 경우 해당 방식을 적용.

**부록 표 1-2** 사업 시행 전 차종별 교통량 현황

(단위: 대/일)

구간	승용차	버스	화물			합계
			소형	중형	대형	
A-B	0	0	0	0	0	0
B-C	0	0	0	0	0	0
C-D	0	0	0	0	0	0

자료: 저자 작성.

**부록 표 1-3** 차종별 평균 연비

(단위: km/L)

구분	2018년		2019년		2020년		2021년		2022년	
	도심	복합	도심	복합	도심	복합	도심	복합	도심	복합
승용	14.10	16.24	14.02	16.09	14.18	16.23	14.44	16.49	15.18	17.30
승합	10.28	11.83	10.28	11.82	9.76	11.22	10.21	11.71	10.51	12.11
화물	11.20	12.14	11.22	12.17	12.07	13.15	12.48	13.64	13.39	14.73
전체	13.64	15.58	13.56	15.45	13.88	15.79	14.23	16.17	14.91	16.92

주: 화물의 경우 자동차 공차중량별 평균 연비 등을 활용하여 구분하여 적용.  
 자료: 한국에너지공단(2023), p.37, p.40을 활용하여 저자 작성.

**부록 표 1-4** 차종별 연료 사용량

(단위: km/L)

구간	연장 (km)	연료 사용량 (kL/연)					합계
		승용차	버스	소형화물	중형화물	대형화물	
A-B	0	0	0	0	0	0	0
B-C	0	0	0	0	0	0	0
C-D	0	0	0	0	0	0	0

주: 연료사용량(kL/연) = 교통량(대/일) × 도로 연장(km) ÷ 차종별 평균 연비(km/L) × 365(일/연) × 10<sup>-3</sup> (kL/L).  
 자료: 저자 작성.

**부록 표 1-5** 차량 통행에 따른 온실가스 배출량

구분	연료 사용량 (kL/연)	순발열량 (MJ/L)	온실가스 배출계수 (kg/TJ)			지구온난화계수			온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
승용차	0	30.1	69,300	25	8	1	21	310	0
버스	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
소형트럭	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
중형트럭	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
대형트럭	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
합계	0	-							0

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 연료사용량(kL/연) × 순발열량(MJ/L) × 온실가스 배출계수(kg/TJ) × 지구온난화계수.

자료: 국가법령정보센터, “에너지법 시행규칙” [별표], “온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침” [별표6].

The screenshot shows the TMS Traffic Monitoring System interface. It includes a search bar at the top right and a navigation menu on the left. The main area displays search filters for '교통량검색서비스' (Traffic Volume Search Service) with options for year, road type, and region. Below the filters is a table of search results with columns for road name, road number, start point, end point, year, and daily traffic volume (1st to 9th lanes).

등급	노선명	지점번호	시작점	종점	년	월	일	주	방향	1층	2층	3층	4층	5층	6층	7층	8층	9층
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	01	0	1	20738	314	1326	408	502	164	253	1	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	01	0	2	24280	327	1761	461	502	151	71	2	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	02	1	1	11743	246	3457	1813	2625	836	811	16	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	02	1	2	10164	241	3051	1914	2013	688	731	6	1
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	03	2	1	9021	255	4036	2462	3329	925	996	20	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	03	2	2	9826	204	3121	1611	2027	683	770	5	1
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	07	6	1	16357	431	2431	1042	1059	446	295	5	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	07	6	2	16203	349	2458	1211	1250	413	485	4	1
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	08	0	1	16324	395	1586	446	615	162	281	2	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	08	0	2	19506	366	2038	443	554	160	176	2	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	12	4	1	10412	278	4286	2457	3278	948	984	18	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	12	4	2	10494	245	3371	2012	2380	771	949	6	1
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	14	6	1	16549	405	2532	1101	1019	526	316	6	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	14	6	2	14949	347	2337	1258	1333	404	532	4	1
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	15	0	1	14455	317	1679	510	827	306	299	3	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	15	0	2	17056	347	1831	549	535	171	179	3	1
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	16	1	1	12119	253	3569	1870	2709	862	837	17	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	16	1	2	9534	249	3522	2258	2220	701	966	7	1
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	20	5	1	13777	339	4425	2199	2787	896	809	21	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	20	5	2	22332	331	3309	2098	2302	702	945	7	1
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	21	6	1	36162	390	2331	577	376	209	161	2	0
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	21	6	2	41715	483	2173	742	845	248	143	3	2
25	경부선	00106	연양JCT	활천IC	2023	01	24	2	1	28463	468	1920	700	812	326	321	3	0

자료: 교통량정보제공시스템, “교통량검색서비스”, 검색일: 2024.7.12.

**부록 그림 1-1** 교통량정보제공시스템 교통량 검색서비스 예시

## 2) 공공/상업 부문 배출량 현황

- 저축·철거 예정인 공공/상업 부문 시설은 창고 0동, 근린공공시설 0동, 근린생활시설 0동, 노유자 시설 0동임
- 사업 시행 전 사업노선의 공공/상업 부문의 온실가스 배출량 조사는 전국 공공/상업 부문 면적 대비 연료 사용량, 전력 사용량 및 열 사용량 배출계수를 활용하여 온실가스 배출량을 추정함

**부록 표 1-6** 사업노선의 저축·철거 예정인 공공/상업 부문 시설 현황

시설	개수	면적(m <sup>2</sup> )
창고	0	0
근린공공시설	0	0
근린생활시설	0	0
노유자 시설	0	0
합계	0	0

자료: 저자 작성.

**부록 표 1-7** 전국 공공/상업 부문 면적 대비 연료별 배출계수(2022년 기준)

구분	상업 부문 연료 사용량 (TOE/연)	전국 상업지역 면적 (m <sup>2</sup> )	배출계수(TOE/m <sup>2</sup> ·연)
석유	1,616,000	344,820,970	0.0047
도시가스	3,290,000		0.0096
신재생, 기타	215,000		0.0006

주: 연료별 배출계수(TOE/m<sup>2</sup>·연) = 상업 부문 연료사용량(TOE/연) ÷ 전국 상업지역 면적(m<sup>2</sup>).  
 자료: 환경부(2023a), p.38; 국가통계포털, “국토이용-용도지역(시군구)-도시지역”, 검색일: 2024.11.4.

**부록 표 1-8** 사업노선의 저축·철거 예정인 공공/상업 부문 온실가스 직접 배출량

구분	배출계수 (TOE/m <sup>2</sup> ·연)	면적 (m <sup>2</sup> )	사용량 (TOE/연)	탄소배출계수 (톤C/TOE)	온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
석유	0.0047	0	0	0.7830	0
도시가스	0.0096		0	0.6370	0
신재생, 기타	0.0006		0	0.0000	0
합계					0

주: 1) 연료사용량(TOE/연) = 공공/상업 시설 면적(m<sup>2</sup>) × 배출계수(TOE/m<sup>2</sup>·연).  
 2) 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 연료사용량(TOE/연) × 탄소배출계수(톤C/TOE) × 44CO<sub>2</sub>/12C.  
 자료: 환경부(2023a), p.38.

- 전국 대비 상업지역 면적, 전국 상업지역 에너지 사용량을 이용하여 전력 사용량 및 열 사용량 배출계수를 산정함

**부록 표 1-9** 전국 대비 상업지역 면적(2021년 기준)

구 분	전국 도시지역 총면적(m <sup>2</sup> )	전국 상업지역 면적(m <sup>2</sup> )	면적 대비 비율(%)
2021년	17,791,754,999	344,820,970	1.93

주: 면적 구분은 주거/상업/농업/녹지/미지정으로 구분되며, 공공 부문의 경우 일반 건물에 해당하므로 상업 지역에 포함.

자료: 환경부(2023a), p.39; 국가통계포털, “국토이용-용도지역(시군구)-도시지역”, 검색일: 2024.11.4.

**부록 표 1-10** 전국 대비 상업 부문 전력, 열 사용량 배출계수

구 분	전국 상업지역 에너지 사용량 (TOE/연)	전국 상업지역 면적 (m <sup>2</sup> )	단위환산계수	배출계수
전력	11,746,000	344,820,970	4,366.8123kWh/TOE	0.1495 MWh/m <sup>2</sup> ·연
열	441,000		10Gcal/TOE	0.0129 Gcal/m <sup>2</sup> ·연

주: 전력, 열 사용량 배출계수 = 전국 상업 부문 전력, 열 사용량 ÷ 전국 상업지역 면적 × 단위환산계수.

자료: 환경부(2023a), p.39; 국가통계포털, “국토이용-용도지역(시군구)-도시지역”, 검색일: 2024.11.4.

**부록 표 1-11** 사업노선의 저축·철거 예정인 공공/상업 부문 온실가스 간접 배출량

구분	배출계수 (TOE/m <sup>2</sup> ·연)	면적 (m <sup>2</sup> )	사용량	온실가스 배출계수	온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
전력	0.1495 MWh/m <sup>2</sup> ·연	0	0 MWh/연	0.4594 톤CO <sub>2</sub> eq/MWh	0
열	0.0129 Gcal/m <sup>2</sup> ·연		0 Gcal/연	0.2681 톤CO <sub>2</sub> eq/Gcal	0

주: 1) 전력 사용량(MWh/연) = 배출계수(0.1495MWh/m<sup>2</sup>·연) × 공공/상업시설 면적(m<sup>2</sup>).

2) 전력 사용 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 사용량(MWh/연) × 온실가스 배출계수(톤CO<sub>2</sub>eq/MWh).

3) 열 사용량(Gcal/연) = 배출계수(0.0129Gcal/m<sup>2</sup>·연) × 공공/상업시설 면적(m<sup>2</sup>).

4) 열 사용 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 사용량(Gcal/연) × 온실가스 배출계수(톤CO<sub>2</sub>eq/Gcal).

자료: 환경부(2023a), p.39.

**부록 표 1-12** 사업노선의 저축·철거 예정인 공공/상업 부문 온실가스 배출량

구 분	직접 배출량(톤CO <sub>2</sub> eq/연)	간접 배출량(톤CO <sub>2</sub> eq/연)	합계(톤CO <sub>2</sub> eq/연)
공공/상업	0	0	0

자료: 저자 작성.

### 3) 가정 부문 배출량 현황

- 사업노선의 저축·철거 예정인 가정 부문 주요 지장물은 주택 0동이며, 주택시설의 총면적은 0m<sup>2</sup>으로 조사됨
- 가정 부문 온실가스 배출량은 주거용 건물의 온실가스 배출 국가 표준 베이스 라인을 근거로 활용하였으며, 가정 부문 온실가스 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-13** 주거용 건물의 온실가스 배출 국가 표준 베이스라인

구 분	기후 지역	면적	배출계수(톤CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> ·연)
기존 주거용 건물 (2013년 이전 또는 5년 이상)	중부	60m <sup>2</sup> 이하	0.0378
		60~85m <sup>2</sup>	0.0329
		85m <sup>2</sup> 이상	0.0271
	남부	60m <sup>2</sup> 이하	0.0336
		60~85m <sup>2</sup>	0.0294
		85m <sup>2</sup> 이상	0.0243
신규 주거용 건물 (2013년 이후 또는 5년 이내)	중부	60m <sup>2</sup> 이하	0.0378
		60~85m <sup>2</sup>	0.0314
		85m <sup>2</sup> 이상	0.0271
	남부	60m <sup>2</sup> 이하	0.0336
		60~85m <sup>2</sup>	0.0294
		85m <sup>2</sup> 이상	0.0243

자료: 환경부(2023a), p.43.

**부록 표 1-14** 사업노선의 저축·철거 예정인 가정 부문 온실가스 배출량

구 분	내 용
사업노선의 저축·철거 예정인 주택 수	0
주거 유형	0
기축/신축	0
주택 총 연면적	0
가구당 면적	86m <sup>2</sup> (가구당 평균 면적)
기후 지역	중부(예시)
온실가스 배출계수	0.0271 톤CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> ·연
온실가스 배출량	0 톤CO <sub>2</sub> eq/연

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 가구당 면적(m<sup>2</sup>) × 주택 수 × 온실가스 배출계수(톤CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>·연).  
 자료: 환경부(2023a), p.43을 활용하여 저자 작성.

#### 4) 폐기물 부문 배출량 현황

- 사업 시행에 따라 저축·철거 예정인 시설물의 폐기물 배출에 따른 온실가스 배출량은 본 사업의 환경영향평가서 내 ‘친환경적 자원순환’ 항목, ‘지자체 온실가스 배출량 산정 지침(Ver.4.1)(한국환경공단, 2017)’ 폐기물 발생 온실가스 배출계수를 활용하여 온실가스 배출량을 추정함
- 사업노선이 속한 행정구역 0시의 생활폐기물 발생량은 0kg/인·일로 산정되며, 처리방법별 처리현황은 재활용(0%), 매립(0%), 소각(0%) 순으로 확인됨
- 사업 시행에 따라 저축·철거 예정인 시설물의 폐기물 발생량은 총 0 톤/연(재활용 0 톤/연, 매립 0 톤/연, 소각 0 톤/연)으로 산정되었음
- 사업 시행 전 폐기물 부문 온실가스 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-15** 사업노선의 저축·철거 예정인 시설의 생활폐기물 처리에 따른 온실가스 배출량

구 분	사업지구 내 생활폐기물 발생량 (톤/연)	온실가스 배출계수 (톤CO <sub>2</sub> eq/톤)	온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
재활용	0	-	-
소각	0	1.0524	0
매립	0	0.517	0
기타	0	0.0976	0
합계	0	-	0

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 부문별 폐기물 발생량(톤/연) × 온실가스 배출계수(톤CO<sub>2</sub>eq/톤).  
 자료: 한국환경공단(2017.12).

#### 5) 농업 부문 배출량 현황

- 사업노선에 편입되는 농업 부문 배출원은 본 사업의 환경영향평가서 내 ‘토지이용’ 항목을 참조하였으며, 농지(전, 답, 과수원) 0m<sup>2</sup> 임. 온실가스 배출량은 전국 경작지 면적과 농업 부문 온실가스 배출량을 활용하여 면적당 평균 배출량을 산출하여 계산함
- 농업 부문 온실가스 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-16** 사업노선에 편입 예정인 농업 부문 현황

구 분	전(m <sup>2</sup> )	답(m <sup>2</sup> )	과수원(m <sup>2</sup> )	합계	
				(m <sup>2</sup> )	ha
면적	0	0	0	0	0

자료: 저자 작성.

**부록 표 1-17** 전국 농지 단위면적당 온실가스 배출량

구 분	총 경작면적(천ha)	온실가스 배출량 (백만톤CO <sub>2</sub> eq/연)	면적당 온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/ha)
2023년	1,512	21.10	13.96

자료: 온실가스종합정보센터(2022), p.요약-9; 국가통계포털, “경지면적”, 검색일: 2024.7.14.

**부록 표 1-18** 농업 부문 온실가스 배출량

총 경작면적(ha)	면적당 온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/ha·연)	온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq)
1,512	13.96	0

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 총 경작면적(ha) × 면적당 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/ha·연).  
자료: 저자 작성.

## 나. 온실가스 저장·흡수량 현황

- 사업노선에 편입되는 토지의 용도별 이용현황은 환경영향평가서 내 ‘토지이용’ 항목을 참조하였으며, ‘기후변화영향평가 방법등에 관한 안내서(환경부, 2023)’에 제시된 산정식을 적용하여 활용함
- 사업노선에 편입되는 토지의 용도별 현황은 다음과 같음

**부록 표 1-19** 사업노선 내 저장·흡수원 현황

구분	임야	전	답	과수원	기타
면적(m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0
면적(ha)	0	0	0	0	0

자료: 저자 작성.

- 사업노선에 편입되는 토지구성에 따른 온실가스 저장량은 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-20** 토지 부문 온실가스 축적량 산정식

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF_{c,s,i}} \times F_{LU_{c,s,i}} \times F_{MG_{c,s,i}} \times F_{I_{c,s,i}} \times A_{c,s,i})$$

- SOC: 유기탄소 축적량, ton C
- SOC<sub>REF</sub>: 연간 유기탄소 축적량 기본값, ton C ha<sup>-1</sup>
- F<sub>LU</sub>: 토지이용에 대한 축적량 변화계수
- F<sub>MG</sub>: 관리체계에 대한 축적량 변화계수
- F<sub>I</sub>: 유기물 투입에 대한 축적량 변화계수
- A: 각 지목의 면적, ha
- c: 기후지대, s: 토양유형, I: 국가별 관리시스템

자료: 환경부(2023b), p.59.

**부록 표 1-21** 토양 성분에 따른 무기토양 유기탄소 축적량

IPCC 분류	SOC <sub>REF</sub> (톤C/ha)
고활성 토양(HAC)	88
화산토	80
저활성 토양(LAC)	63

자료: 환경부(2023b), p.59.

**부록 표 1-22** 토양 성분에 따른 무기토양 유기탄소 축적량

구 분	F <sub>LU</sub>	F <sub>MG</sub>	F <sub>I</sub>
임지(임야)	1.00	1.00	1.00
농경지(전)	0.69	1.00	1.00
농경지(답)	1.10	-	-
농경지(과수원)	1.00	1.15	1.11
초지	1.00	1.14	1.11

자료: 환경부(2023b), p.59.

**부록 표 1-23 토양 축적량 변화계수**

	면적(ha)	SOC <sub>REF</sub> (톤C/ha)	F <sub>LU</sub>	F <sub>MG</sub>	F <sub>I</sub>	탄소저장량 (톤C)	CO <sub>2</sub> 저장량 (톤CO <sub>2</sub> eq)
임야	0	77	1.00	1.00	1.00	0	0
전	0	77	0.69	1.00	1.00	0	0
답	0	77	1.10	-	-	0	0
과수원	0	77	1.00	1.15	1.11	0	0
기타	0	77	-	-	-	0	0
합계	0	-	-	-	-	0	0

주: 1) 유기탄소 축적량은 평균값을 적용.  
 2) CO<sub>2</sub>저장량(톤CO<sub>2</sub>eq) = 탄소저장량(톤C) × (44÷12).  
 자료: 저자 작성.

- 사업노선에 편입되는 임야의 온실가스 저장량·흡수량 산정은 ‘기후변화영향평가 방법 등에 관한 안내서(환경부, 2023)’에 제시된 산정식을 활용함
- 사업노선에 편입되는 임야의 온실가스 저장량은 0 톤CO<sub>2</sub>eq, 흡수량은 연간 0 톤 CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-24 광역 규모 온실가스 저장량·흡수량 산정식**

$$S_{i,j} = \sum_{i,j} (A_{i,j} \times SF_{i,j})$$

S<sub>i,j</sub>: 녹지유형(i)별·영급(j)별 CO<sub>2</sub> 저장·흡수량, tCO<sub>2</sub>/yr

A<sub>i,j</sub>: 녹지유형(i)별·영급(j)별 면적, ha

SF<sub>i,j</sub>: 녹지유형(i)별, 영급(j)별 CO<sub>2</sub> 저장·흡수계수, tCO<sub>2</sub>/ha

자료: 환경부(2023b), p.60.

**부록 표 1-25 녹지유형별·영급별 CO<sub>2</sub> 저장계수**

(단위: 톤CO<sub>2</sub>/ha)

녹지 유형	영급					
	I	II	III	IV	V	VI
침엽수림	119.2	156.2	189.1	225.6	263.1	297.8
혼효림	77.1	138.0	214.8	268.2	336.7	401.8
활엽수림	73.1	149.1	254.4	327.6	406.5	495.8

자료: 환경부(2023a), p.47.

**부록 표 1-26** 녹지유형별영급별 CO<sub>2</sub> 저장계수

(단위: 톤CO<sub>2</sub>/ha)

녹지 유형	영급					
	I	II	III	IV	V	VI
침엽수림	-	8.17	8.72	8.97	8.73	8.34
혼효림	-	10.83	10.96	10.72	10.09	9.45
활엽수림	-	13.50	13.19	12.48	11.46	10.55

자료: 환경부(2023a), p.47.

**부록 표 1-27** 사업노선 내 저장·흡수원 현황

구분	면적(ha)	온실가스 저장·흡수계수		온실가스 저장·흡수량	
		저장계수	흡수계수	저장량 (톤CO <sub>2</sub> )	흡수량 (톤CO <sub>2</sub> /연)
임야	0	189.1(예시)	8.72(예시)	0	0

주: 사업노선에 포함되는 식생 중 가장 많은 면적을 차지하고 있는 식생 유형을 반영하여 계수 적용.

자료: 저자 작성.

## 2. 온실가스 배출량 및 흡수량 산정

### 가. 공사 시 부문별 배출량 산정

- 사업노선의 공사 시 온실가스 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-28** 공사 시 온실가스 배출 예상량

(단위: 톤CO<sub>2</sub>eq/연)

구분	온실가스 배출현황 (시행 전)	비고	
순 배출량(A-B)	0		
배출원	총 배출량(A)	0	
	수송	NO	
	공공/상업	NO	배출원 없음
	산업	0	건설장비 운용
	가정	0	현장사무소 등
	폐기물	0	공사 시 폐기물 발생
	농업	NO	배출원 없음
흡수원	총 흡수량(B)	-	
	LULUCF	NE	공사 시 미산정 (저장량 제외)

주: 1) NO(Not Occurring) = 해당 배출원 없음.

2) NE(Not Estimate) = 배출·흡수가 있으나 산정하지 않음.

자료: 환경부(2023a), p.49를 활용하여 저자 작성.

#### 1) 산업 부문

- 사업노선의 공사 시 장비 투입 대수 및 연료 사용량은 환경영향평가서 '대기질' 항목의 산정 결과를 적용함. 공사 장비 총 0대(덤프트럭 0대, 굴착기 0대, 불도저 0대, 롤러 0대)의 총 연료 사용량은 0 L/일로, 이에 따른 온실가스 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-29** 공사 시 산업 부문 온실가스 배출량

구분	투입 대수 (대)	연료 사용량 (kL/연)	순 발열량 (MJ/L)	온실가스 배출계수 (kg/TJ)			지구온난화계수 (GWP)			온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
				CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
덤프트럭 (0톤)	0	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
불도저 (0톤)	0	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
굴착기 (0m <sup>3</sup> )	0	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
롤러 (ton)	0	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
합계	0	0	-							0

주: 1) 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 연료사용량(kL/연) × 순발열량(MJ/L) × 온실가스 배출계수(kg/TJ) × 지구온난화계수.  
 2) 순발열량 = 경유 순발열량 35.3MJ/L 일괄 적용.  
 3) 일일작업시간 = 8시간, 1개월 = 25일, 1년 = 12개월 적용.  
 자료: 국가법령정보센터, “에너지법 시행규칙” [별표], “온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침” [별표6].

## 2) 가정 부문

- 공사 시 현장사무소 운영에 따른 온실가스 배출량 산정 시 배출계수는 주거용 건물 국가 표준 베이스라인의 O지역/신축/Om<sup>2</sup> 이하의 배출계수를 적용하며, 적용 면적은 숙소 면적인 Om<sup>2</sup>를 적용함<sup>58)</sup>
- 현장사무소 운영에 의한 온실가스 배출량은 연간 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-30** 공사 시 가정 부문 온실가스 배출량

현장사무소 면적	온실가스 배출계수(톤CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> ·연)		온실가스 배출량(톤CO <sub>2</sub> eq/연)
Om <sup>2</sup>	중부지역/신축/60m <sup>2</sup> 이하	0.0378	0

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 현장사무소 면적(m<sup>2</sup>) × 온실가스 배출계수(톤CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>·연).  
 자료: 환경부(2023a), p.53.

## 3) 폐기물 부문

- 공사 시 현장사무소 운영 등 현장 인력이 배출하는 폐기물 및 오수 처리, 건설폐기물 처리 등으로 인한 온실가스 배출량은 본 사업의 환경영향평가서 내 ‘친환경적 자원순환’ 항목의 폐기물 처리계획, ‘수질 및 수리·수문 항목’의 오수 처리계획을 바탕으로 부문별

58) 근로자 숙소가 함께 운영될 경우 현장사무소와 동일한 방식으로 온실가스 배출량을 산정함.

배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였음

- 공사 시 폐기물 부문 온실가스 배출량은 생활폐기물 처리로 인한 배출량 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연, 오수 처리로 인한 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연, 건설폐기물 처리로 인한 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연으로 산정되었으며, 총배출량은 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연으로 산정되었음

**부록 표 1-31** 공사 시 생활폐기물 발생량(처리 방법별 구분)

공사 시 폐기물 발생량 (kg/일)	공사 시 폐기물 발생량(톤/연)				
	합계	재활용	소각	매립	기타
0	0	0	0	0	0

주: 공사 시 폐기물 발생량, 처리현황(방법)은 해당 사업의 환경영향평가서 내 “친환경적 자원순환” 항목과 연계.  
자료: 저자 작성.

**부록 표 1-32** 공사 시 폐기물 처리에 따른 온실가스 배출량

구분	공사 시 폐기물 발생량 (톤/연)	온실가스 배출계수 (톤CO <sub>2</sub> eq/톤)	온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
재활용	0	-	-
소각	0	1.0524	0
매립	0	0.517	0
기타	0	0.0976	0
합계	0	-	0

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 부문별 폐기물 발생량(톤/연) × 온실가스 배출계수(톤CO<sub>2</sub>eq/연).  
자료: 한국환경공단(2017.12).

**부록 표 1-33** 공사 시 오수 처리에 따른 온실가스 배출량

공사 시 오수 발생량 (m <sup>3</sup> /일)	공사 시 오수 발생량 (m <sup>3</sup> /연)	온실가스 배출계수 (kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> )	온실가스 배출량 (kgCO <sub>2</sub> eq/연)
0	0	0.0285	0

주: 공사 시 오수 발생량은 해당 사업의 환경영향평가서 내 “수질 및 수리·수문” 항목과 연계.  
자료: 한국환경공단(2017.12).

**부록 표 1-34** 공사 시 지장물 철거에 따른 건설폐기물 발생량

페콘크리트	폐목재	폐금속	폐합성수지	혼합폐기물	합계
0	0	0	0	0	0

주: 공사 시 폐기물 발생량, 처리현황(방법)은 해당 사업의 환경영향평가서 내 “친환경적 자원순환” 항목과 연계.  
자료: 저자 작성.

**부록 표 1-35** O시 건설폐기물 발생 및 처리현황

구분	재활용	소각	매립	합계
발생량(톤/일)	0	0	0	0
비율(%)	0	0	0	100

주: 사업노선이 속한 행정구역의 건설폐기물 처리현황을 반영, 해당 사업의 환경영향평가서 내 “친환경적 자원순환” 항목과 연계.

자료: 저자 작성.

**부록 표 1-36** 공사 시 건설폐기물 처리에 따른 온실가스 배출량

구분	공사 시 폐기물 발생량 (톤/연)	온실가스 배출계수 (톤CO <sub>2</sub> eq/톤)	온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
재활용	0	-	-
소각	0	1.0524	0
매립	0	0.517	0
합계	0	-	0

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 부문별 폐기물 발생량(톤/연) × 온실가스 배출계수(톤CO<sub>2</sub>eq/톤).

자료: 한국환경공단(2017.12).

**부록 표 1-37** 공사 시 폐기물 부문 온실가스 배출량

생활폐기물 처리 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)	오수 처리 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)	건설폐기물 처리 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)	온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
0	0	0	0

자료: 저자 작성.

## 나. 운영 시 부문별 배출량 산정

- 사업노선의 운영 시 온실가스 총배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq, 총흡수량은 연간 0 톤 CO<sub>2</sub>eq로 순 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-38** 운영 시 온실가스 배출 예상량

(단위: 톤CO<sub>2</sub>eq/연)

구분	공사 시 예상 배출량	비고	
순 배출량(A-B)	0		
배출원	총배출량(A)	0	
	수송	0	
	공공/상업	NO	배출원 없음
	산업	0	터널, 휴게소 등
	가정	NO	배출원 없음
	폐기물	0	
	농업	NO	배출원 없음
흡수원	총흡수량(B)	-	
	LULUCF	NE	공사 시 미산정 (저장량 제외)

주: 1) NO(Not Occurring) = 해당 배출원 없음.

2) NE(Not Estimate) = 배출·흡수가 있으나 산정하지 않음.

자료: 환경부(2023a), p.57을 활용하여 저자 작성.

### 1) 수송 부문

- 사업노선에 대한 최대 예측교통량에 유종별 평균 연비와 도로 연장을 적용하여 온실가스 배출량을 산정하였으며, 이에 따른 수송 부문 온실가스 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-39** 최대 예측 교통량(0000년)

(단위: 대/일)

구간	승용차	버스	화물			합계
			소형	중형	대형	
A-B	0	0	0	0	0	0
B-C	0	0	0	0	0	0
C-D	0	0	0	0	0	0

주: 구간별 최대 예측교통량을 적용함.

자료: 저자 작성.

**부록 표 1-40** 차종별 평균 연비

(단위: km/L)

구분	2018년		2019년		2020년		2021년		2022년	
	도심	복합	도심	복합	도심	복합	도심	복합	도심	복합
승용	14.10	16.24	14.02	16.09	14.18	16.23	14.44	16.49	15.18	17.30
승합	10.28	11.83	10.28	11.82	9.76	11.22	10.21	11.71	10.51	12.11
화물	11.20	12.14	11.22	12.17	12.07	13.15	12.48	13.64	13.39	14.73
전체	13.64	15.58	13.56	15.45	13.88	15.79	14.23	16.17	14.91	16.92

자료: 한국에너지공단(2023), p.37을 활용하여 저자 작성.

**부록 표 1-41** 차종별 연료 사용량

(단위: km/L)

구간	연장 (km)	연료 사용량 (kL/연)					합계
		승용차	버스	소형화물	중형화물	대형화물	
A-B	0	0	0	0	0	0	0
B-C	0	0	0	0	0	0	0
C-D	0	0	0	0	0	0	0

주: 연료사용량(kL/연) = 교통량(대/일) × 도로 연장(km) ÷ 차종별 평균 연비(km/L) × 365(일/연) × 10<sup>-3</sup> (kL/L).

자료: 저자 작성.

**부록 표 1-42** 차량 통행에 따른 온실가스 배출량<sup>56)</sup>

구분	연료 사용량 (kL/연)	순발열량 (MJ/L)	온실가스 배출계수 (kg/TJ)			지구온난화계수			온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
승용차	0	30.1	69,300	25	8	1	21	310	0
버스	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
소형트럭	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
중형트럭	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
대형트럭	0	35.3	74,100	3.9	3.9	1	21	310	0
합계	0	-							0

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 연료사용량(kL/연) × 순발열량(MJ/L) × 온실가스 배출계수(kg/TJ) × 지구온난화계수.

자료: 국가법령정보센터, “에너지법 시행규칙” [별표], “온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침” [별표6].

59) 공구·구간별 세부 산정이 가능할 경우 평가서 내 이를 구분하여 세부적으로 작성하는 것이 바람직함.

## 2) 산업 부문

### 가) 터널 운영에 따른 온실가스 배출량

- 터널 운영에 따른 온실가스 배출은 조명설비, 환기설비, 비상전화, 케이블 등의 전력시 설과 통신시설에 의해 배출됨. ‘고속도로 건설사업 환경영향평가 적용을 위한 온실가스 예측 및 저감대책 연구 용역(한국도로공사, 2009)’의 연구 결과 내 터널 온실가스 배출 원단위를 이용하여 산정한 결과, 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq의 온실가스 배출이 예측됨

**부록 표 1-43** 터널 운영에 따른 온실가스 배출량

구간	터널명	연장(km)	배출원단위 (톤CO <sub>2</sub> eq/km·연)	온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
A-B	OO터널	0	421	0
B-C	OO터널	0	442	0
C-D	OO터널	0	371	0
합계		0	-	0

주: 1) 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 터널 연장(km) × 온실가스 배출계수(톤CO<sub>2</sub>eq/km·연).

2) 터널 연장은 상·하행 방향 중 연장이 긴 터널을 기준으로 함.

자료: 한국도로공사(2009), p.67을 참조하여 저자 작성.

### 나) 휴게소 등 시설물 운영에 따른 온실가스 배출량

- 휴게소, 관리사무소, 영업소 운영 시 온실가스 배출량을 산정함. ‘고속도로 건설사업 환경영향평가 적용을 위한 온실가스 예측 및 저감대책 연구 용역(한국도로공사, 2009)’의 연구 결과 내 시설별 배출원단위<sup>60)</sup>를 적용하였음
- 휴게소(O개소) 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연, 관리사무소(O개소) 및 유지관리차량 운영 시 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연, 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연, 영업소(O개소)의 경우 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연 온실가스 배출이 예측됨

60) 해당 연구 결과의 배출원단위는 전력과 연료 사용만을 고려하였으므로, 시설의 운영 시 배출되는 생활폐기물, 오수로 인한 온실가스 배출은 폐기물 부문에서 별도 산정한다.

**부록 표 1-44** 휴게소 외 시설물 운영에 따른 온실가스 배출량

구 분	배출원단위	개소/연장 (km)	배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)	비고
휴게소	798 톤CO <sub>2</sub> eq/개소·연	0	0	OO 휴게소, OO 휴게소
관리사무소	2.6 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연	0	0	OO 지사 관리사무소
유지관리 차량	4.5 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연	0	0	
영업소	133 톤CO <sub>2</sub> eq/개소·연	0	0	OO 영업소
합계			0	

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 개소 또는 연장(km) × 온실가스 배출원단위(톤CO<sub>2</sub>eq/개소 또는 km·연).  
 자료: 한국도로공사(2009), p.104를 참조하여 저자 작성.

#### 다) JCT, IC 운영에 따른 온실가스 배출량

- JCT, IC 운영 시(가로등) 온실가스 배출량을 산정함. ‘고속도로 건설사업 환경영향평가 적용을 위한 온실가스 예측 및 저감대책 연구 용역(한국도로공사, 2009)’의 연구 결과 내 배출원단위를 적용하였음
- 본 사업노선에 계획된 JCT, ICT는 총 0개소로 가로등 운영에 따른 온실가스 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq으로 산정됨

**부록 표 1-45** JCT, IC 운영에 따른 온실가스 배출량

구 분	배출원단위	개소	배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)	비고
JCT	107 톤CO <sub>2</sub> eq/개소·연	0	0	OO분기점, OO분기점
IC	38 톤CO <sub>2</sub> eq/km·연	0	0	OO나들목, OO나들목
합계			0	

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 개소 × 온실가스 배출원단위(톤CO<sub>2</sub>eq/개소·연).  
 자료: 한국도로공사(2009), p.104를 참조하여 저자 작성.

### 3) 폐기물 부문

- 사업노선 내 휴게소, 영업소 등 시설 운영에 따른 생활폐기물, 오수 처리에 따른 온실가스 배출량은 본 사업의 환경영향평가서 내 ‘친환경적 자원순환’ 항목의 폐기물 처리계획, ‘수질 및 수리·수문 항목’의 오수 처리계획을 바탕으로 부문별 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하였음
  - 휴게소, 영업소 운영에 따른 폐기물 발생은 ‘제6차(2021-2022년) 전국폐기물통계조사 (2022년, 환경부)’에 제시된 비가정부문 업무시설 평균 원단위를 적용할 수 있음<sup>61)</sup>

- 휴게소, 영업소 운영에 따른 오수 발생량은 환경부 고시 제2024-108 ‘건축물의 용도별 오수 발생량 및 정화조 처리 대상인원 산정방법’ [별표]의 기준을 적용하여 산정할 수 있음<sup>62)</sup>
- 운영 시 폐기물 부문 온실가스 배출량은 생활폐기물 처리로 인한 배출량 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연, 오수 처리로 인한 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연으로 산정되었으며, 총배출량은 0 톤CO<sub>2</sub>eq/연으로 산정되었음

**부록 표 1-46** 운영 시 생활폐기물 발생량(처리 방법별 구분)

운영 시 폐기물 발생량 (kg/일)	공사 시 폐기물 발생량(톤/연)				
	합계	재활용	소각	매립	기타
0	0	0	0	0	0

주: 운영 시 폐기물 발생량, 처리현황(방법)은 해당 사업의 환경영향평가서 내 “친환경적 자원순환” 항목과 연계.  
자료: 저자 작성.

**부록 표 1-47** 운영 시 폐기물 처리에 따른 온실가스 배출량

구분	운영 시 폐기물 발생량(톤/연)	온실가스 배출계수 (톤CO <sub>2</sub> eq/톤)	온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
재활용	0	-	-
소각	0	1.0524	0
매립	0	0.517	0
기타	0	0.0976	0
합계	0	-	0

주: 온실가스 배출량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 부문별 폐기물 발생량(톤/연) × 온실가스 배출계수(톤CO<sub>2</sub>eq/톤).  
자료: 한국환경공단(2017.12).

**부록 표 1-48** 운영 시 오수 처리에 따른 온실가스 배출량

운영 시 오수 발생량 (m <sup>3</sup> /일)	운영 시 오수 발생량 (m <sup>3</sup> /연)	온실가스 배출계수 (kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> )	온실가스 배출량 (kgCO <sub>2</sub> eq/연)
0	0	0.0285	0

주: 공사 시 오수 발생량은 해당 사업의 환경영향평가서 내 “수질 및 수리·수문” 항목과 연계.  
자료: 한국환경공단(2017.12).

61) 폐기물 배출량 산정 시점의 가장 최신 통계자료를 적용하는 것이 바람직함.  
62) 오수 발생량 산정 시점의 가장 최신 기준을 적용하는 것이 바람직함.

**부록 표 1-49** 공사 시 폐기물 부문 온실가스 배출량

생활폐기물 처리 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)	오수 처리 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)	온실가스 배출량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
0	0	0

자료: 저자 작성.

#### 4) 운영 시 흡수·저장량

- 터널 입·출구부, 나들목, 비탈면 구간, 휴게소 등 토질, 경사도에 따라 조경계획이 가능한 지역에 대해 식재를 통한 녹화계획을 수립하였으며, 수목의 생육 여건과 온실가스 흡수 능력 등을 함께 고려하였음
- 본 사업노선을 대상으로 총 0주의 식재를 계획하였으며, 이에 따라 온실가스 저장량 0 톤CO<sub>2</sub>eq/ha·연, 온실가스 흡수량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq/ha·연으로 산정됨

**부록 표 1-50** 조경계획에 따른 온실가스 저장량 및 흡수량 산정

구분	수종	흉고 직경 (cm)	수목량 (주)	CO <sub>2</sub> 저장량, 흡수량			
				저장량 (kg/주)	흡수량 (kg/주)	저장량 (tCO <sub>2</sub> /ha·연)	흡수량 (tCO <sub>2</sub> /ha·연)
00 노선부	목백합	0	0	0	0	0	0
00 교차로	은행나무	0	0	0	0	0	0
	개나리	0	0	0	0	0	0
00 영업소	때죽나무	0	0	0	0	0	0
	왕벚나무	0	0	0	0	0	0
	은행나무	0	0	0	0	0	0
00 휴게소	때죽나무	0	0	0	0	0	0
	백목련	0	0	0	0	0	0
	왕벚나무	0	0	0	0	0	0
	개나리	0	0	0	0	0	0
00 휴게소	튤립나무	0	0	0	0	0	0
	느티나무	0	0	0	0	0	0
	쥐똥나무	0	0	0	0	0	0
합계			0	0	0	0	0

주: 작성된 수종은 예시로서 계획 수립 시 사업노선 및 관련 시설의 여건과 특성을 고려하여 선정.  
자료: 저자 작성.

### 3. 온실가스 배출량 평가

#### 가. 온실가스 총 감축량

- 사업자 감축 전략에 따른 부문별 온실가스 감축 전략을 합산한 감축 예상량은 다음과 같음

**부록 표 1-51** 사업자 감축 전략으로 인한 온실가스 감축 예상량

구분	감축 전략	감축량(연도)
총 감축량	당초 대비 배출량 0% 감축	0
수송	당초 대비 배출량 0% 감축	0
공공/상업	당초 대비 배출량 0% 감축	0
폐기물	당초 대비 배출량 0% 감축	0
LULUCF	녹화	0

주: 단기(2030년), 중·장기(2040년, 2050년) 온실가스 감축 전략과 예상량을 각각 구분하여 작성.  
 자료: 환경부(2023a), p.71을 활용하여 저자 작성.

#### 나. 온실가스 감축 부문 종합 결과

- 사업자 감축 전략에 따른 온실가스 감축 부문 종합 결과는 다음과 같음
  - 운영 시 온실가스 감축량 산정 결과, 목표연도별 감축률은 2030년 0%, 2040년 0%, 2050년 0%로 산정되었음
- 향후 국가 온실가스 감축 전략, 지자체의 탄소중립 및 기후변화 관련 계획, 새로운 온실가스 감축 기술과 제품 등의 도입에 따른 여건을 반영하여 감축목표를 달성할 수 있도록 지속해서 추진할 계획임

**부록 표 1-52** 사업자 감축 전략으로 인한 온실가스 감축 부문 종합

(단위: 톤CO<sub>2</sub>eq/연)

구분	사업 시행 전 배출량	공사 시 예상 배출량	운영 시 예상 배출량	구분	운영 시 감축량			비고
					2030년	2040년	2050년	
순 배출량 (A-B)	0	0	0	총 감축량 (@+b)	0 (%)	0 (%)	0 (%)	감축 목표
총 배출량(A)	0	0	0	감축량 (@)	0	0	0	
수송	0	0	0	수송	0	0	0	
공공/상업	0	NO	0	공공/상업	0	0	0	
산업	0	NO	NO	산업	NO	NO	NO	
가정	0	0	NO	가정	NO	NO	NO	
폐기물	0	0	0	폐기물	0	0	0	
농업	0	NO	NO	농업	NO	NO	NO	
총 흡수량 (B)	0	-	0	흡수량 (b)	0	0	0	
LULUCF	0	NE	0	LULUCF	0	0	0	저장량 제외

주: 1) NO(Not Occurring) = 해당 배출원 없음.  
 2) NE(Not Estimate) = 배출·흡수가 있으나 산정하지 않음.  
 자료: 환경부(2023a), p.72를 활용하여 저자 작성.

## 다. 배출원별 감축량 산정

### 1) 신재생에너지 도입

#### 가) 태양광 발전시설 적용

- 사업노선 신설에 따라 조성 예정인 OO 휴게소, OO 영업소, OO 관리사무소에 태양광을 활용한 발전시설을 적용할 예정이며, 이에 따른 온실가스 감축량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-53** 발전 등의 에너지 전환으로 인한 감축량 산정 방법

#### 발전 등의 에너지 전환으로 인한 온실가스 감축량 산정식

- 감축량 = 발전량 × 전력 배출계수
- 발전량 = 시설 용량 × 운영시간 × 운영효율
- \* 운영효율: 해당 발전 기술의 평균 효율 적용
- \* 전력 배출계수 = 0.4434 톤CO<sub>2</sub>eq/MWh·연

자료: 온실가스종합정보센터(2022.1.10), “2021년 승인 국가 온실가스 배출·흡수계수”, p.7, 검색일: 2024.7.22; 환경부(2023a), p.74.

**부록 표 1-54** 태양광 발전시설 적용에 따른 온실가스 감축량

구분		부지면적 (m <sup>2</sup> )	설치용량 (kW)	발전량 (MWh)	전력 배출계수 (톤CO <sub>2</sub> eq/MWh)	온실가스 감축량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
공공 상업 부문	OO 휴게소	0	0	0	0.4434	0
OO 영업소	0	0	0	0		
OO 관리사 무소	0	0	0	0		
합계		0	0	0	-	0

주: 발전량 = 태양광발전 연간 가동시간(8,760시간/연) × 연간 이용률(15%)  
 자료: 온실가스종합정보센터(2022.1.10), "2021년 승인 국가 온실가스 배출·흡수계수", p.7, 검색일: 2024.7.22.

**나) 지열 냉·난방 시스템 적용**

- 사업노선 신설에 따라 조성 예정인 OO 휴게소, OO 영업소, OO 관리사무소에 지열 냉·난방 시스템을 적용할 예정이며, 이에 따른 온실가스 감축량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-55** 에너지 전환으로 인한 감축량 산정 방법

에너지 전환으로 인한 온실가스 감축량 산정식	
○ 감축량	= 에너지 저감량 × 에너지 배출계수
- 에너지 저감량	= 에너지 공급량 × 에너지 저감률

자료: 환경부(2023a), p.74.

**부록 표 1-56** 지열 냉·난방 시스템 적용에 따른 온실가스 감축량

구분		연간 열부하 (Gcal/연)			열 저감량 (Gcal/연)	열 배출계수 (톤CO <sub>2</sub> eq/Gcal)	온실가스 감축량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
		난방	냉방	계			
공공 상업 부문	OO 휴게소	0	0	0	0	0.268	0
OO 영업소	0	0	0	0			0
OO 관리사 무소	0	0	0	0			0
합계		0	0	0	0	-	0

주: 사업 시설별 연료 사용량 산정이 가능한 경우 해당 계획을 토대로 작성.  
 자료: 환경부(2023a), p.75를 활용하여 저자 작성.

## 2) 에너지 이용 향상설비 도입

- 사업노선 신설에 따라 조성 예정인 OO 휴게소, OO 영업소, OO 관리사무소를 대상으로 고효율 에너지 이용설비를 도입할 계획이며, 이에 따른 온실가스 감축량은 연간 0 톤 CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-57** 에너지 이용효율 향상설비 도입계획(안)

구 분	대상 설비	설치 장소	절감량	
			연료 (toe/연)	전력 (MWh/연)
의무사항	조도자동조절 조명기구	비상계단 등	0	0
	변압기	변압기 사용처	0	0
	펌프	펌프 사용처	0	0
에너지 효율 향상설비 도입계획	LED 가로등	도로, 주차장, 공원	0	0
	LED 신호등	도로	0	0
	옥상 녹화	공공/상업시설	0	0
	건축물 에너지 효율 인증	공공/상업시설	0	0
	건물용 가스보일러	공공/상업시설	0	0
	건물 자동 제어	공공/상업시설	0	0
	인버터	사용처	0	0
	매입형 및 고정형 LED 램프	사용처	0	0
	컨버터 내장형 LED 램프	사용처	0	0
	컨버터 외장형 LED 램프	사용처	0	0
삼상유도전동기	사용처	0	0	
LED 투광등 기구	사용처	0	0	
송풍기	공조기 팬	0	0	
냉동기	사용처	0	0	
합계			0	0

주: 공공/상업시설은 휴게소, 영업소, 관리사무소 등을 의미함.  
 자료: 환경부(2023a), p.77을 활용하여 저자 작성.

**부록 표 1-58** 에너지 이용 향상설비 도입에 따른 온실가스 감축량(연료 사용)

구분	절감량 (천Nm <sup>3</sup> /년)	순발열량 (MJ/L)	온실가스 배출계수 (kg/TJ)			지구온난화계수			온실가스 감축량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
공공/상업	0	30.1	56,100	5	0.1	1	21	310	0

주: 1) 온실가스 감축량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 연료절감량(천Nm<sup>3</sup>/연) × 순발열량(MJ/L) × 온실가스 배출계수(kg/TJ) × 지구온난화계수.

2) 연료 절감량은 LNG로 환산하여 적용, LNG(천Nm<sup>3</sup>/연) = 연료(toe/연) ÷ 석유환산톤(10<sup>-3</sup>toe).

자료: 국가법령정보센터, “에너지법 시행규칙” [별표], “온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침” [별표6].

**부록 표 1-59** 에너지 이용 향상설비 도입에 따른 온실가스 감축량(전력 사용)

구분	절감량 (MWh/연)	배출계수 (톤CO <sub>2</sub> eq/MWh)	온실가스 감축량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
공공/상업	0	0.4434	0

주: 온실가스 감축량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = 전력 절감량(MWh/연) × 배출계수(톤CO<sub>2</sub>eq/MWh).

자료: 온실가스종합정보센터(2022.1.10), “2021년 승인 국가 온실가스 배출·흡수계수”, p.7, 검색일: 2024.7.22.

### 3) 수송 부문 감축 전략

#### 가) 친환경차 보급에 따른 감축량

- ‘탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획(관계부처 합동, 2023.4)’, ‘2050 탄소중립 시나리오(관계부처 합동, 2021.10)’의 수송 부문을 참고한 결과 친환경차 보급 촉진, 대중교통 및 개인 모빌리티 이용 확대, 화물 운송 수단 전환, 대체 연료 활용 등의 전략을 통해 2030년까지 2018년 배출량 대비 37.8% 감축, 2050년까지 2018년 대비 90.6%의 감축을 목표로 하고 있음
- 국가 온실가스 감축 전략에 따라 사업노선의 통행 차량에 대한 전환이 기대되는바, 수송 부문 온실가스 감축량은 다음과 같이 산정됨

**부록 표 1-60** 친환경차 전환에 따른 온실가스 감축 예상량

구분	감축 전 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)	감축목표		온실가스 감축량(톤CO <sub>2</sub> eq/연)	
		2030년	2050년	2030년	2050년
수송	0	37.8%	90.6%	0	0

주: 2040년 감축목표는 2030년과 2050년 감축목표의 평균값 적용.

자료: 환경부(2023a), p.78을 활용하여 저자 작성.

## 나) 다차로 하이패스 시스템 도입

- 본 사업노선의 경우 요금징수 구간에 무인 요금징수 시스템(하이패스)을 적용하여 차량 지체를 방지함으로써 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq의 온실가스 감축 효과가 기대됨

**부록 표 1-61** 하이패스 도입에 따른 연료 및 이산화탄소 감축량

구분		연료(ml)	이산화탄소(g)
1톤 화물트럭	하이패스 (A)	70.2	188.8
	일반차로 (B)	94.7	254.6
	저감량 (B-A)	24.5	65.8
휘발유차	하이패스 (A)	62	145.4
	일반차로 (B)	76.8	180.0
	저감량 (B-A)	14.8	34.6

자료: 국립환경과학원 보도자료(2011.5.4)를 활용하여 저자 작성.

**부록 표 1-62** 연료별 차량등록 현황(2024년 8월 기준)

연료	등록 대수(대)	등록률(%)
휘발유	12,398,802	47.7
경유	9,231,873	35.5
LPG	1,850,528	7.1
전기	635,847	2.4
하이브리드	1,836,631	7.1
CNG	28,234	0.1
수소	36,787	0.1

주: 1) 하이브리드는 휘발유+전기, 경유+전기, LPG+전기, CNG+전기를 모두 합산한 수치임.

2) 통계자료 중 기타연료 부문은 제외하여 산출한 결과임.

자료: 국토교통 통계누리, "2024년 08월 자동차 등록자료 통계", 검색일: 2024.10.2를 활용하여 저자 작성.

**부록 표 1-63** 하이패스 도입에 따른 온실가스 감축 예상량

유종	교통량(대/년)	하이패스 도입률(%)	CO <sub>2</sub> 감축 원단위(g/대)	온실가스 감축량(톤CO <sub>2</sub> eq/년)
휘발유	0	90	34.6	0
경유	0		65.8	0

주: 1) 온실가스 감축량(톤CO<sub>2</sub>eq/년) = 교통량(대/년) × 0.9 × CO<sub>2</sub> 감축 원단위(g/대).

2) 1톤 이상의 모든 화물트럭에 대해 동일한 CO<sub>2</sub> 감축 원단위를 가정.

자료: 국립환경과학원 보도자료(2011.5.4); 뉴스핌(2023.7.11), "고속도로 하이패스 16년 만에 이용률 90% 달성", 검색일: 2024.7.22를 활용하여 저자 작성.

#### 다) 지능형 교통 시스템 도입

- 본 사업노선에 지능형 교통 시스템을 적용하여 차량 정체와 같은 교통 문제를 해결할 수 있어 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq의 온실가스 감축 효과를 기대할 수 있을 것으로 예상됨

**부록 표 1-64** 지능형 교통 시스템 도입에 따른 온실가스 감축 예상량

ITS 적용 구간 길이 (km)	ITS 구축 길이당 온실가스 감축 원단위 (톤CO <sub>2</sub> eq/km)	온실가스 감축량 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)
0	445	0

주: 온실가스 감축량(톤CO<sub>2</sub>eq/연) = ITS 적용 구간 길이(km) × 온실가스 감축 원단위(톤CO<sub>2</sub>eq/km).  
 자료: 한국도로공사(2009), p.128을 활용하여 저자 작성.

#### 4) 폐기물 부문 감축 전략

- ‘탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획(관계부처 합동, 2023.4)’, ‘2050 탄소중립 시나리오(관계부처 합동, 2021.10)’의 폐기물 부문을 참고한 결과 생산·유통·소비단계의 폐기물 원천 감량, 고부가가치 재활용 확대, 재생원료 사용 의무화를 통한 소각·매립 최소화, 바이오 플라스틱으로의 대체, 메탄가스 재활용 등의 전략을 통해 2030년까지 2018년 배출량 대비 46.8% 감축, 2050년까지 2018년 배출량 대비 74.3% 감축을 목표로 하고 있음
- 사업노선 신설에 따라 조성 예정인 OO 휴게소, OO 영업소, OO 관리사무소 운영 시 발생하는 폐기물은 분리배출, 재활용 등 자원순환을 도모하여 국가 온실가스 감축 목표를 준수할 계획이다. 폐기물 부문 감축량은 다음과 같이 산정됨

**부록 표 1-65** 폐기물 발생량 감축에 따른 온실가스 감축 예상량

구분	감축 전 (톤CO <sub>2</sub> eq/연)	감축목표		온실가스 감축량(톤CO <sub>2</sub> eq/연)		
		2030년	2050년	2030년	2040년	2050년
폐기물	0	46.8%	74.3%	0	0	0

주: 2040년 감축목표는 2030년과 2050년 감축목표의 평균값 적용.  
 자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.7.1), “부산 연구개발특구(첨단복합지구) 개발사업 기후변화영향평가서 본안”, p.80, 검색일: 2024.7.24.

#### 5) 흡수 및 제거(LULUCF)

##### 가) 녹화 시행

- 사업노선의 흙깎기·쌓기 비탈면 등에는 녹화와 초지화를 계획하였으며, 녹화 및 초지로 인한 온실가스 저장량은 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 산정됨

**부록 표 1-66** 비탈면 녹화에 따른 온실가스 저장량

구분	면적		유기탄소 축적량 (SOC <sub>REF</sub> )	축적량 변화계수			유기탄소 축적량 (톤C)	온실가스 저장량 (톤CO <sub>2</sub> eq)	
	m <sup>2</sup>	ha		F <sub>LU</sub>	F <sub>MG</sub>	F <sub>I</sub>			
사업 노선	초지 (도로 외 구역)	0	0	88	1.00	1.14	1.11	0	0
	대지 (도로 구역)	0	0	-	-	-	-	-	-
	합계	0	0	-	-	-	-	-	-

주: CO<sub>2</sub>저장량(톤CO<sub>2</sub>eq) = 탄소저장량(톤C) × (44÷12).

자료: 저자 작성.

### 나) 수목 식재

- 터널 입·출구부, 나들목, 비탈면 구간, 휴게소 등 토질, 경사도에 따라 조경계획이 가능한 지역에 대해 식재를 통한 녹화계획을 수립하였으며, 수목의 생육 여건과 온실가스 흡수 능력 등을 함께 고려하였음
- 본 사업노선을 대상으로 총 0주의 식재를 계획하였으며, 이에 따라 온실가스 저장량 0 톤CO<sub>2</sub>eq, 온실가스 흡수량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq으로 산정됨

**부록 표 1-67** 수목 식재 계획에 따른 온실가스 저장량 및 흡수량 산정

구분	수종	흉고 직경 (cm)	수목량 (주)	CO <sub>2</sub> 저장량, 흡수량			
				저장량 (kg/주)	흡수량 (kg/주)	저장량 (톤CO <sub>2</sub> )	흡수량 (톤CO <sub>2</sub> /연)
00 노선부	목백합	0	0	0	0	0	0
00 교차로	은행나무	0	0	0	0	0	0
	개나리	0	0	0	0	0	0
00 영업소	때죽나무	0	0	0	0	0	0
	왕벚나무	0	0	0	0	0	0
	은행나무	0	0	0	0	0	0
00 휴게소	때죽나무	0	0	0	0	0	0
	백목련	0	0	0	0	0	0
	왕벚나무	0	0	0	0	0	0
	개나리	0	0	0	0	0	0
00 휴게소	튤립나무	0	0	0	0	0	0
	느티나무	0	0	0	0	0	0
	쥐똥나무	0	0	0	0	0	0
합계			0	0	0	0	0

주: 작성된 수종은 예시로서 계획수립 시 사업노선 및 관련 시설의 여건과 특성을 고려하여 선정.

자료: 저자 작성.

## 4. 종합검토 및 결론

### 1) 사업 시행 전 온실가스 배출량

- 사업노선을 대상으로 사업 시행 전 온실가스 배출량을 조사한 결과 온실가스 총배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq, 온실가스 흡수량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 온실가스 순 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq로 조사되었음
- 본 사업계획에 따른 배출원이 없는 0 부문은 제외함

### 2) 공사 시 온실가스 배출량

- 사업노선의 공사 시 온실가스 배출량을 조사한 결과 온실가스 총배출량은 연간 0 톤 CO<sub>2</sub>eq, 온실가스 흡수량은 연간 -0 톤CO<sub>2</sub>eq로 온실가스 순 배출량은 연간 0 톤 CO<sub>2</sub>eq로 산정되었음
- 본 사업계획에 따라 공사 시 배출원이 없는 공공/상업, 산업, 농업 부문은 제외함

### 3) 운영 시 온실가스 배출량

- 사업노선의 운영 시 온실가스 배출량을 산정한 결과 수송, 공공/상업, 폐기물 부문에 의한 총 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq, LULUCF 부문에 의한 총 흡수량은 연간 0 톤 CO<sub>2</sub>eq임. 따라서 순 배출량은 연간 0 톤CO<sub>2</sub>eq으로 산정됨
- 본 사업계획에 따라 운영 시 배출원이 없는 가정, 농업, 산업부문을 제외함

### 4) 온실가스 감축 목표 수립

- 사업노선에 대한 사업자 온실가스 감축 목표는 부문별 감축 전략을 토대로 0 %를 수립하였음
- 태양광 발전시설 도입, 지열 냉·난방 시스템 적용, 다차로 하이패스 설치, 수목 식재 등 사업 계획상 도입 가능한 감축 수단 수립에 따른 온실가스 감축량을 산정함.
- 향후 국가 온실가스 감축 전략, 지자체 탄소중립 및 기후변화 대응 계획, 전략 등을 충분히 검토하여 온실가스 감축 목표를 달성할 수 있도록 지속해서 추진할 계획임

## [국내문헌]

- 관계부처 합동(2021.10), 「2050 탄소중립 시나리오」.
- 관계부처 합동(2023.4), 「탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획」.
- 온실가스종합정보센터(2022), 「2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서」, p.요약-9.
- 한국도로공사(2009), 「고속도로 건설사업 환경영향평가 적용을 위한 온실가스 예측 및 저감대책 연구 용역」, p.67, p.104, p.128.
- 환경부(2023a), 「오송 제3생명과학 국가산업단지 조성사업 기후변화영향평가서 시범사업 보고서」, p.35, pp.38-39, p.43, p.47, p.49, p.53, p.57, pp.71-72, pp.74-75, pp.77-78.
- 환경부(2023b), 「기후변화영향평가 방법 등에 관한 안내서」, pp.59-60.
- 한국에너지공단(2023), 「2023 자동차 에너지소비효율 분석집」, p.37, p.40.
- 한국환경공단(2017.12), 「지자체 온실가스 배출량 산정지침(Ver.4.1)」.

## [온라인 자료]

- 교통량정보제공시스템, “교통량검색서비스”, <https://www.road.re.kr/main/main.asp>, 검색일: 2024.7.12.
- 국가법령정보센터, “에너지법 시행규칙”, <http://www.law.go.kr/법령/에너지법 시행규칙>, 검색일: 2024.7.12.
- 국가법령정보센터, “온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침”, <http://www.law.go.kr/행정규칙/온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침>, 검색일: 2024.7.15.
- 국가통계포털, “경지면적”, <https://kosis.kr/search/search.do?query=%EA%B2%BD%EC%A7%80%EB%A9%B4%EC%A0%81>, 검색일: 2024.7.14.
- 국가통계포털, “국토이용-용도지역(시군구)-도시지역”, [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=116&tblId=DT\\_MLTM\\_1246&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=I2\\_8&seqNo=&lang\\_mode=ko&language=kor&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=116&tblId=DT_MLTM_1246&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=I2_8&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE), 검색일: 2024.11.4.
- 국립환경과학원 보도자료(2011.5.4), “하이패스 이용하면 이산화탄소 줄이고, 연료비도 절약”, <https://www.korea.kr/docViewer/skin/doc.html?fn=40c0fc97126491e40498e131e32666d4&rs=/docViewer/result/2011.05/04/40c0fc97126491e40498e131e32666d4>, 검색일: 2024.7.22.
- 국토교통 통계누리, “2024년 8월 자동차 등록자료 통계”, <https://stat.molit.go.kr/portal/cate/statMetaView.do?hRsId=58>, 검색일: 2024.10.2.
- 뉴스핌(2023.7.11), “고속도로 하이패스 16년 만에 이용률 90% 달성”, <https://www.newspim.com/news/view/20230711001002>, 검색일: 2024.7.22.

온실가스종합정보센터(2022.1.10), “2021년 승인 국가 온실가스 배출·흡수계수”, p.7, [https://www.gir.go.kr/home/board/read.do;jsessionid=k6SNAbATOsVGjqA4au3oavJlhqWFGJr4GQo2bhOjBToMg7fRnP3HyaBBLtETVRmT.og\\_was2\\_servlet\\_engine1?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=36&boardMasterId=2&boardId=56](https://www.gir.go.kr/home/board/read.do;jsessionid=k6SNAbATOsVGjqA4au3oavJlhqWFGJr4GQo2bhOjBToMg7fRnP3HyaBBLtETVRmT.og_was2_servlet_engine1?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=36&boardMasterId=2&boardId=56), 검색일: 2024.7.22.

환경영향평가 정보지원시스템(2024.7.1), “부산 연구개발특구(첨단복합지구) 개발사업 기후변화영향 평가서 본안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.24.

## II. 기후위기 적응 부문 기후변화영향평가 예시

### 1. 자연환경 현황조사

#### 가. 지형·지질 현황

- 사업노선은 0시 0읍 일대와 0시 0면 일대에 위치함. 사업노선 통과 지역은 전반적으로 평지를 이루고 있으나, 주변은 0산, 0산, 0산 등이 위치하여 대체로 높은 산지로 이루어져 있으며, 산지의 계곡부를 따라 침식 작용으로 일부 하천이 발달함

#### 1) 표고

- 사업노선의 최저표고는 0m, 최고표고는 0m로 표고차는 0m로 분석됨
- 사업노선은 표고 0~0m 지역이 0%, 표고 0~0m 지역이 0%를 차지함

**부록 표 2-1** 사업노선 표고 분석

구분	계	0~0m	0~0m	0~0m	0~0m	0~0m	비고
구성비(%)	100%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	

자료: 저자 작성.

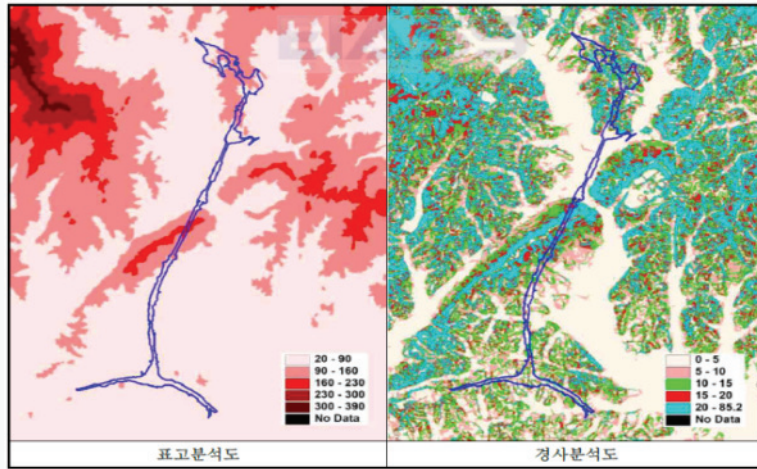
#### 2) 경사

- 사업노선의 경사는 0° 미만 구간이 0%로 가장 많이 분포하는 것으로 분석되며, 평균 경사는 0°로 조사됨

**부록 표 2-2** 사업노선 경사 분석

구분	계	0~0°	0~0°	0~0°	0~0°	0~0°	비고
구성비(%)	100%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	

자료: 저자 작성.

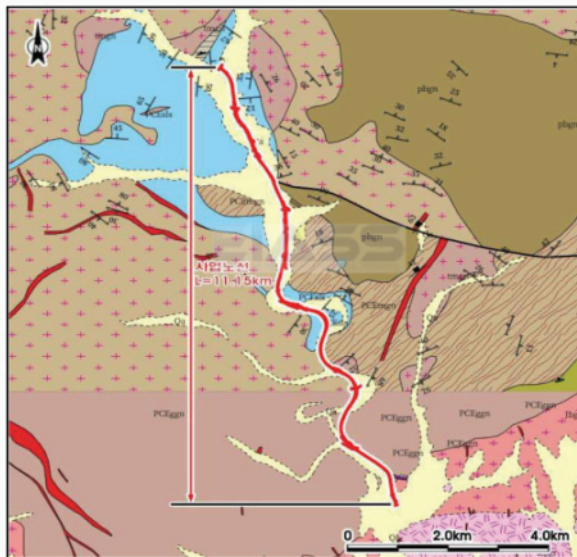


자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종JCT-연기JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, p.829, 검색일: 2024.7.24.

**부록 그림 2-1** 사업노선 표고 및 경사현황 조사 예시

### 3) 지질

- 사업노선이 위치하는 O시, O시 지질 현황을 조사하기 위하여 축적 1:5만의 지질 도폭 및 지질보고서를 활용함
- 사업노선의 지질 현황은 대부분 O층으로 조사되었으며, 사업노선 일부가 O암, O암 및 O류를 통과하는 것으로 조사됨



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.7.10), “국도 5호선 제천봉양-원주신림 도로건설 공사 환경영향평가서 초안”, p.681, 검색일: 2024.7.24.

**부록 그림 2-2** 사업노선 지질 현황조사 예시

## 나. 수계 현황

- 사업노선은 O강(국가) 유역의 O천, O천, O천 등을 횡단함. 주변 하천 중 영향이 예상되는 하천으로는 지방하천 O개소(O천, O천, O천), 소하천 O개소(O천, O천, O천)로 조사됨
- 또한 사업노선이 통과하는 지역 주변으로 일정한 수혜 구역 내 농업용수를 공급하기 위한 저수지 O개소가 위치한 것으로 확인됨

**부록 표 2-3** 사업노선 주변 하천 현황

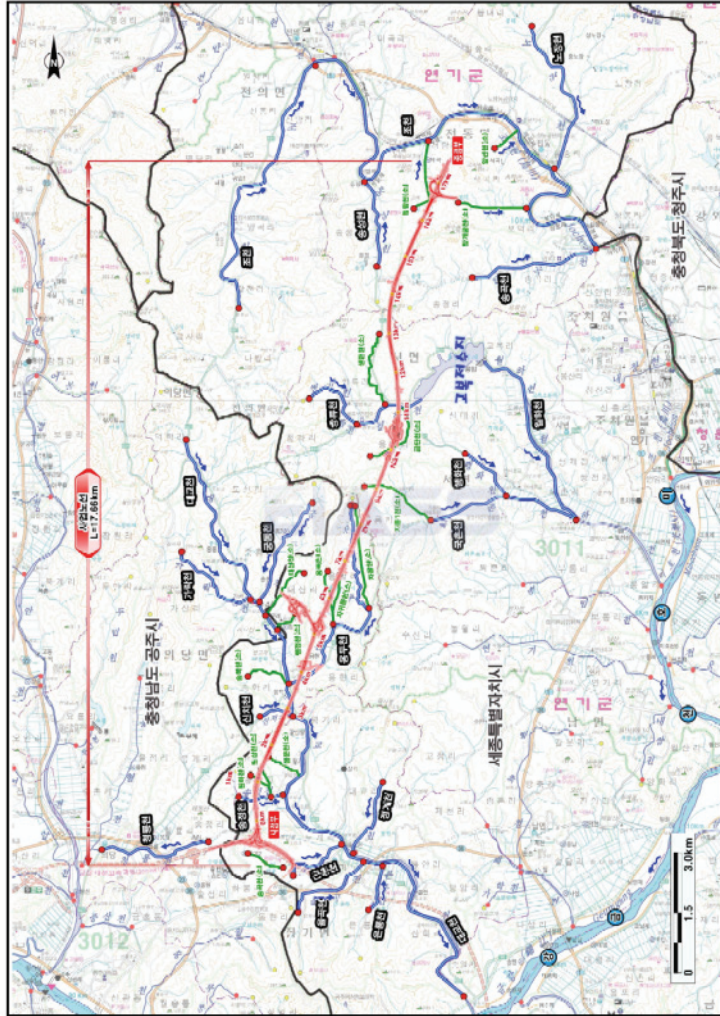
하천명	유수 계통OO				하천 등급	기점			종점			유로연장 (km)	유로면적 (km <sup>2</sup> )
	본류	1지류	2지류	3지류		시도	시군구	읍면동	시도	시군구	읍면동		
O강	-	-	-	-	국가	0	0	0	0	0	0	0	0
O천	0	0	0	0	지방	0	0	0	0	0	0	0	0
O천	0	0	0	0	지방	0	0	0	0	0	0	0	0
O천	0	0	0	0	지방	0	0	0	0	0	0	0	0
O천	0	0	0	0	지방	0	0	0	0	0	0	0	0
O천	0	0	0	0	지방	0	0	0	0	0	0	0	0

자료: 저자 작성.

**부록 표 2-4** 사업노선 주변 소하천 현황

소하천명	기점	종점	연장(m)	합류 하천
O천	0	0	0	O천
O천	0	0	0	O천
O천	0	0	0	O천
O천	0	0	0	O천
O천	0	0	0	O천

자료: 저자 작성.



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종JCT-연기 JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, p.621, 검색일: 2024.7.24.

**부록 그림 2-3** 사업노선 주변 수계 현황 예시

## 2. 국가 기후변화 리스크를 활용한 평가

### 가. 국토·연안 부문

- 『제3차 국가 기후변화 적응대책(2021-2025)』 중 국토·연안 부문 14개의 리스크 목록은 〈부록 표 2-5〉와 같으며, 리스크별 본 사업과 연관성 유·무, 발생 확률 정도, 영향의 발생 시점을 구분하여 제시하였음
- 본 사업에 대한 국토·연안 부문 14개 리스크 중 다른 지역 및 사업과 비교하여 연관성이 큰 것으로 평가되는 리스크는 ‘폭우·폭설로 인한 육상교통 운행 중단 및 사고 증가’, ‘기온 변동성 증가로 인한 포장도로 조기 파손 현상 증가’, ‘강우 패턴 변화로 인한 배수시설 기능 저하’로 분석됨
- 본 사업은 내륙 지역 내 도로 건설을 위한 사업으로 연안 지역에서 발생할 수 있는 리스크나 철도레일 변형 및 탈선위험 증가, 항만시설과 공항 시설물 관련 리스크 등은 직접적인 연관성이 없는 것으로 판단됨

**부록 표 2-5** 국토·연안 부문 기후변화 리스크 검토 결과

구분	번호	리스크 목록	연관성			발생 확률	
			높음	보통 낮음	없음	매우 가능	불확실
정주 공간	L01	폭우로 인한 저지대 침수 위험 증가		●		●	
	L02	폭우로 인한 주거지역 비탈면 붕괴 위험성 증가		●		●	
	L03	폭우, 해일, 파랑, 해수면 상승으로 연안 지역 침수 범람 위험 증가			●	-	-
	L04	파랑 및 해수면 상승으로 인한 백사장, 사구, 연안, 갯벌, 수림지의 침식			●	-	-
	L05	폭우로 인한 도시침수 피해 증가		●		●	
기반 시설 및 건축물	L06	폭우, 폭설로 인한 육상교통 운행 중단 및 사고 증가	●			●	
	L07	기온 변동성 증가로 인한 포장도로 조기 파손 현상 증가	●			●	
	L08	폭염으로 인한 철도레일 변형 및 탈선 위험			●		-
	L09	이상 기상 현상(강풍, 폭우, 폭설)으로 인한 항만시설, 공항 시설물의 파손 및 운영 정지			●		-
	L10	이상 기상현상(강풍, 폭우, 폭설, 폭염)으로 인한 전기/통신시설 피해 증가		●			●
	L11	강우 패턴 변화로 인한 배수시설 기능 저하	●			●	
	L12	폭설, 강풍으로 인한 노후 불량 건축물 파손 증가			●		●
	L13	폭염으로 인한 주거지역 열 스트레스 증가			●		●
	L14	해일, 강풍, 파랑, 해수면 상승으로 인한 연안 시설물 피해 증가			●		-

자료: 저자 작성.

- 국토·연안 부문 기후변화 리스크 목록 중 본 사업과 연관성이 높거나, 발생 확률이 높은 리스크를 검토한 후 당해 사업에서 고려해야 할 주요 리스크를 <부록 표 II-6>과 같이 발생 시점에 따라 재분류하였음
- ‘폭우, 폭설로 인한 육상교통 운행 중단 및 사고 증가’, ‘기온 변동성 증가로 인한 포장도로 조기 파손 현상 증가’, ‘강우 패턴 변화로 인한 배수시설 기능 저하’는 단기간 내 발생할 수 있는 리스크로 평가되었음

**부록 표 2-6** 국토·연안 부문 중 본 사업의 우선 관리 리스크 도출

번호	리스크 목록	발생 시점	
		단기	중·장기
L06	폭우, 폭설로 인한 육상교통 운행 중단 및 사고 증가	●	
L07	기온 변동성 증가로 인한 포장도로 조기 파손 현상 증가	●	
L11	강우 패턴 변화로 인한 배수시설 기능 저하	●	

자료: 저자 작성.

### 3. 사업노선 비탈면 안정성 검토

- 사업노선의 검토대상 비탈면 중 쌓기 구간 검토 단면의 선정은 쌓기 높이 0m 이상, 깎기 구간은 깎기 비탈면 높이가 0m 이상 되는 비탈면을 검토대상 구간으로 선정하여 안정성 검토를 시행함<sup>63)</sup>
- 현장 조사 및 실내시험에서 얻은 결과의 적정성을 검토하고, 이를 토대로 한계 평형 및 평사 투영해석 등의 안정성 해석방법을 통해 비탈면 경사와 안정 대책 및 보호 공법을 검토하였음

#### 가. 비탈면 안정성 검토 적용 안전율

- 비탈면 안정 해석 시 적용 안전율은 ‘건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011.12)’을 준용하여 다음과 같이 적용함

63) 당해 사업의 환경영향평가서 내 지형·지질 항목과 연계하여 검토하되(특히 지형·지질 현황분석 부문), 기후변화영향평가의 경우 더욱더 보수적이며, 강화된 여건을 고려하는 것이 바람직함. 특히 사면 안정성 검토 시 모델링 입력자료에 대해 강우 조건이나 지진 하중을 더욱더 보수적이고 강화된 수치를 적용하는 것을 고려하여야 함.

**부록 표 2-7** 비탈면 안정성 검토 적용 안전율

구 분		적용 최소 안전율	비 고
쌓기 비탈면	건기 시	$F_s > 1.5$	지하수위 미고려
	우기 시	$F_s > 1.3$	원지방 상부에 지하수위
	지진 시	$F_s > 1.1$	실제 측정 또는 평상시
깎기 비탈면	건기 시	$F_s > 1.5$	지하수위 미고려
	우기 시	$F_s > 1.2$	토사, 침투해석
		$F_s > 1.3$	암반, 인장균열의 1/2 높이
지진 시	$F_s > 1.1$	실제측정 또는 평상시	

자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종JCT-연기JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, p.917, 검색일: 2024.7.24.

## 나. 지하수위 적용 기준

- 비탈면 안정 해석 시 적용된 지하수위는 쌓기 비탈면의 경우 건기에는 지하수위를 고려하지 않았으며, 우기에는 쌓기 하중에 의하여 원지방까지 포화, 지진 시는 실제 측정 또는 평상시 지하수위를 적용함
- 깎기 비탈면의 지하수위는 ‘건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011.12)’을 기준으로 설정하였으며, 건기에는 지하수위를 고려하지 않고 우기에는 해당 지역 강우 강도를 고려한 침투해석 결과를 적용하였으며, 지진 시는 실제 측정 또는 평상시 지하수위를 적용함

**부록 표 2-8** 지하수위 적용 기준

구 분	지하수위		
	건기 시	우기 시	지진 시
쌓기 비탈면	지하수위 미고려	원지방 상부에 위치	실제 측정 또는 평상시
깎기 비탈면	지하수위 미고려	침투해석	실제 측정 또는 평상시

자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종JCT-연기JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, p.917, 검색일: 2024.7.24.

## 다. 설계적용 지반정수

- 비탈면 안정성 검토를 위한 지층 구분은 토사층(매립층, 전담토층, 붕적층, 퇴적층, 풍화토층), 리핑암(풍화암층), 발파암에 대한 지반정수를 산정하였음. 발파암의 비탈면 안정성은 불연속면의 공학적 특성에 따라 크게 달라지므로, 불연속면에 대한 지반정수를 산정함

- 각 지층의 지반정수 산정은 원칙적으로 토질시험에 의해 얻어진 시험 값을 사용하였음 (인접 공구의 유사 지반 시험 결과를 최대한 확보). 시험 값을 우선으로 하되, 문헌값, 인근 지역 적용 사례 등과 비교·분석하여 설계적용 지반정수를 산정함

## 라. 쌓기·깎기 비탈면 안정성 검토 결과

- 사업노선의 쌓기·깎기 비탈면에 대한 현장 조사 및 실내시험 결과의 적정성을 검토한 후 이를 토대로 한계 평형, 평사 투영해석 등의 안정성 해석방법을 활용하여 비탈면 경사와 안정 대책, 보호 공법을 검토함

**부록 표 2-9** 공구별 쌓기 발생 구간

구 분		구간(STA.)		대표 단면	비탈면 높이(m)	비고	
0 공구	본선	0	0+0	0+0	0+0(우)	0	
		0	0+0	0+0	0+0(좌)	0	
		0	0+0	0+0	0+0(우)	0	보강토 옹벽
		0	0+0	0+0	0+0(우)	0	
		0	0+0	0+0	0+0(우)	0	
	00 분기점	0	0+0	0+0	0+0(좌)	0	보강토 옹벽
		0	0+0	0+0	0+0(좌)	0	

자료: 저자 작성.

**부록 표 2-10** 공구별 깎기 발생 구간

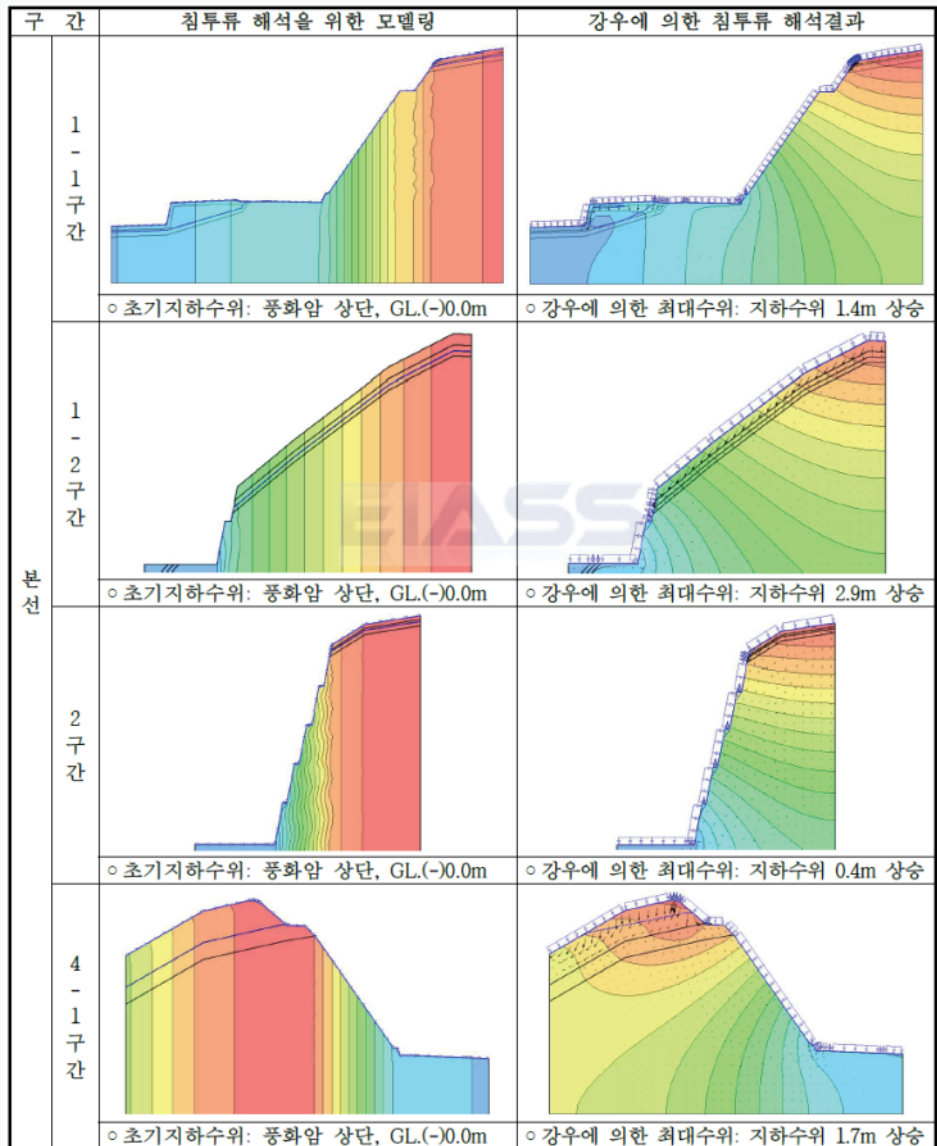
구 분		구간(STA.)		대표 단면	비탈면 높이(m)	비고	
0 공구	본선	0	0+0	0+0	0+0(우)	0	
		0	0+0	0+0	0+0(좌)	0	
		0	0+0	0+0	0+0(우)	0	
		0	0+0	0+0	0+0(우)	0	
		0	0+0	0+0	0+0(우)	0	
	00 분기점	0	0+0	0+0	0+0(좌)	0	
		0	0+0	0+0	0+0(좌)	0	
0 공구	00 나들목	0	0+0	0+0	0+0(우)	0	
		0	0+0	0+0	0+0(좌)	0	
	00 분기점	0	0+0	0+0	0+0(우)	0	
		0	0+0	0+0	0+0(우)	0	

자료: 저자 작성.

구분		검토결과		
비탈면현황	평면도			
	횡단면도 및 지반특성		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 쌓기높이 : 8.0m</li> <li>○ 지층구성 : 매립층, 풍화토, 연암</li> <li>○ 기울기 : 1:1.5~1.8</li> <li>○ 지층추정 : 인근 시추공 활용 (SB-1)</li> </ul>	
안정해석결과	표준경사	건기시	우기시	지진시
검토결과		1.604 > 1.5, O.K	1.362 > 1.3, O.K	1.262 > 1.1, O.K
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 표준경사 = 1:1.5~1:1.8</li> <li>○ 표준경사 적용시 건기시, 우기시, 지진시 모두 기준안전율 이상으로 안정한 것으로 검토됨</li> </ul>				

자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.7.10), “국도 5호선 제천봉양-원주신림 도로건설공사 환경영향평가서 초안”, p.742, 검색일: 2024.7.24.

**부록 그림 2-4** 쌓기 비탈면 안정성 검토 결과 예시



주) 깎기 3구간은 토사층이 매우 얇게 분포하고 있는 대부분 암반이 노출되어 있는 구간으로 침투해석을 수행하지 않았음

자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2024.7.10), “국도 5호선 제천봉양-원주신림 도로건설공사 환경영향평가서 초안”, p.749, 검색일: 2024.7.24.

**부록 그림 2-5** 깎기 비탈면 안정성 검토 결과 예시

## 4. 교량 설치에 따른 수리 영향 검토

- 사업노선 내 교각 설치로 인한 수리 영향을 1차원 모형인 HEC-RAS<sup>64)</sup>와 ‘하천설계기준·해설(국토교통부, 0년)’의 실험식 등을 활용하여 검토하였음.<sup>65)</sup> 홍수위 변화량 (+)0.0 ~ (+)0.0m, 유속 변화 (-)0.0 ~ (-)0.0m/s의 수리 특성 변화가 발생할 것으로 파악되며, 최대 세굴심도 약 0.0~0.0m로 하상세굴 방지를 위해 교각 주위 0~0m 이상의 폭으로 사석공 설치계획을 수립함

### 가. 수리 영향 검토 기초자료

- O교 설치에 따른 교량 설치기준, 수리 영향 검토를 위해 ‘O강 하천기본계획’을 조사하였으며, 동 계획 내 측량성과 및 제반 수리·수문사항을 적용하였음

#### 1) 개요

- O강 유역 내에는 총 O개의 하천이 위치하고, 총 하천 연장은 Okm이며, 국가 하천은 O강, O강, O천, O천 등 O개소임
- 본 사업노선은 O강을 횡단하며, 하류에 O강의 지류 하천인 O천이 동측에서 서측으로 유하하여 O강에 합류됨

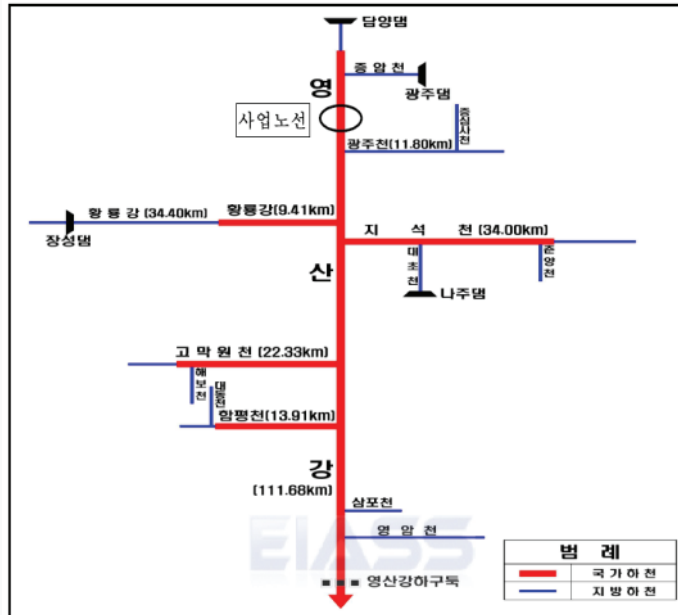
**부록 표 2-11** O강 하천기본계획의 범위

하천명	과업 구간		유역 면적 (km <sup>2</sup> )	과업 연장 (km)	비고
	시점	종점			
O	O	O	O	O	O

자료: 저자 작성.

64) HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center's River Analysis System)는 미국 수문공학센터(HEC)에서 개발한 수리학적 모델링 기법으로 하천·강·운하 등의 수로에서 물의 흐름을 분석하여, 홍수 예측, 하천 관리, 수리 구조물 설계 등 다양한 분야에 활용됨.

65) 당해 사업의 환경영향평가서 내 수리·수문 항목과 연계하여 검토하되, 기후변화영향평가의 경우 더욱더 보수적이며, 강화된 여건을 고려하는 것이 바람직함(세굴 현상, 교량의 경간장 및 형하고 검토 등).



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2023.7.3), “호남고속도로(동광주-광산) 확장사업 환경영향평가서 보완”, p.90, 검색일: 2024.7.24.

**부록 그림 2-6** 수계도 조사 예시

## 2) 유황 현황

- 수위표는 유역의 전체적인 수문학적 특성을 반영하기 용이하고, 홍수 예·경보에 사용되는 기존 수위표로 중요도가 높은 0수위표를 유황 분석대상 수위표로 채택하였음

**부록 표 2-12** 유황 분석 결과

하천명	유역면적 (km)	유황(m <sup>3</sup> /s)				비고
		풍수량 (0일)	평수량 (0일)	저수량 (0일)	갈수량 (0일)	
0	0	0	0	0	0	0

자료: 저자 작성.

## 3) 빈도별 홍수량 및 계획홍수량

- 0유역종합치수계획상 시설물 설치 후 홍수량은 <부록 표 2-13>과 같음. 사업노선의 빈도별 홍수량은 0천 합류 전 산정지점의 값을 이용하였으며, 계획홍수량 0m<sup>3</sup>/s, 계획빈도 0년을 적용하였음

**부록 표 2-13** 빈도별 홍수량

하천명	홍수량 산정지점	부호	유역면적(km <sup>2</sup> )	조절 후 홍수량(m <sup>3</sup> /s)				비고
				50년	80년	100년	200년	
O강	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O

자료: 저자 작성.

**부록 표 2-14** 계획홍수량

하천명	홍수량 산정지점	부호	유역면적(km <sup>2</sup> )	기본홍수량(m <sup>3</sup> /s)		계획홍수량(m <sup>3</sup> /s)		비고
				기수립	금회	기수립	금회	
O강	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O

자료: 저자 작성.

#### 4) 계획홍수위

- 사업노선이 횡단하는 O강(O교)의 계획홍수위는 Om, 하폭은 Om임

**부록 표 2-15** 계획홍수량

하천명	측점 (No.)	누가 거리 (m)	계획 홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	계획 홍수위 (EL.m)	하폭(m)		시설제방고(EL.m)		비고
					현재	계획	좌안	우안	
O강	O	O	O	O	O	O	O	O	O교
	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O	O보
	O	O	O	O	O	O	O	O	O교
	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	O	O	O	O	O	O	O	O	O

자료: 저자 작성.

## 나. 수위 영향 검토

- O교 설치에 따른 수리적 영향을 검토하기 위해 기점홍수위 및 계획홍수량 등 수리·수문량은 기수립된 'O강 하천기본계획'의 자료를 활용하였고, 금회 설치되는 교량의 제원을 추가하여 수리적 영향을 분석하였음

### 1) 검토 개요

#### 가) 유량 경계 조건

**부록 표 2-16** 유량 경계 조건

하천명	지점명	유역면적(km <sup>2</sup> )	계획홍수량(m <sup>3</sup> /s)	비고
O	O	O	O	O

자료: 저자 작성.

#### 나) 기점홍수위

- 금회 수리 검토에 사용된 기점 홍수위는 해당 유역의 유역저류시설물이 반영된 후 계획홍수량이 흐를 때 형성되는 최고내수위를 적용함

**부록 표 2-17** 빈도별 기점홍수위

하천명	개수 후 빈도별 기점홍수위(EL.m)				비고
	50년	80년	100년	200년	
O	O	O	O	O	하구
O	O	O	O	NO.	

자료: 저자 작성.

#### 다) 조도계수

- 조도계수는 'O강 유역종합치수계획'에서 실시한 조도계수 보정 결과와 기존 하천기본계획에서 적용된 값을 고려하여 개수 전·후 단면에 동일하게 적용함

**부록 표 2-18** 유량 경계 조건

하천명	구간	조도계수	비고
O	O(No.O) ~ O(No.O)		

자료: 저자 작성.

## 2) 검토 결과

### 가) 홍수위에 따른 제방고 및 여유고 검토

- 교량 설치로 인한 수위 상승 영향을 검토하기 위해 HEC-RAS 모형을 이용하여 1차원 수위 검토를 수행하였음
- O교 설치 전·후를 비교한 결과 최대 0.0m의 수위 상승이 발생하는 것으로 분석되었음. 수위 상승에 따른 제방 안정성 검토 결과 여유고는 충분한 것으로 검토됨<sup>66)</sup>

**부록 표 2-19** 교각 설치 전·후 홍수위 검토 및 비교

하천명	측점 (No.)	누가 거리 (m)	계획 홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	계획 홍수위 (EL.m)	계산홍수위 (EL.m)			설치후 + 여유고 (EL.m)	기설제방고 (EL.m)		비고
					설치 전	설치 후	증감		좌안	우안	
O강	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
○	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	
○	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	
○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

자료: 저자 작성.

- O교 설치 전·후 유속 변화를 검토한 결과 교각 설치로 인해 (-)0.0~(-)0.0m/s의 유속 감소가 발생하는 것으로 분석됨

**부록 표 2-20** 교각 설치 전·후 유속 검토 및 비교

하천명	측점 (No.)	누가 거리 (m)	계획 홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	계획 홍수위 (EL.m)	유속(m/s)			변화량 ②-① (m/s)	비고
					설치 전①	설치 후②			
O강	0	0	0	0	0	-	0		
○	0	0	0	0	0	-	0		
○	0	0	0	0	0	-	0		
○	0	0	0	0	0	(-)0	0		
○	0	0	0	0	0	(-)0	0		
○	0	0	0	0	0	(-)0	0		

자료: 저자 작성.

66) 하천 횡단 교량 중 하상 내 교각 설치가 계획된 교량은 교각 설치에 따른 홍수위 상승 여부를 검토하고, 하천기본계획 등 상위 계획을 참고하여 기설 제방의 제방여유고 확보 가능 여부를 평가하여야 함.

나) 경간장 검토

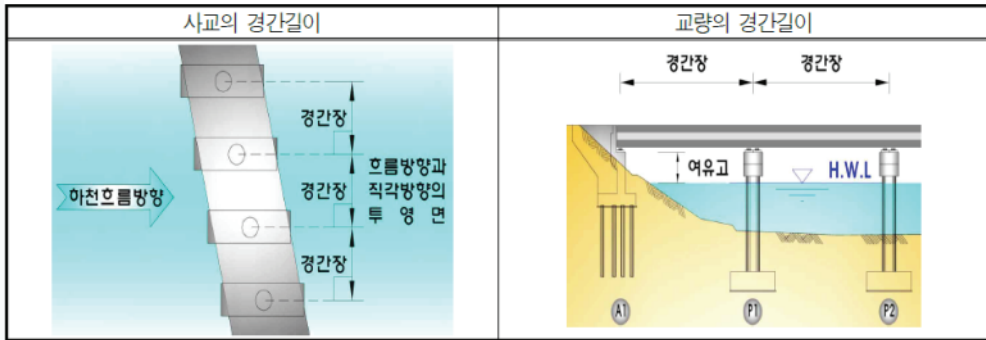
- 교량의 길이는 하천폭 이상이어야 하며, 경간장은 산간 협착부, 그 외 하천 및 지형의 상황 등에 따라 치수상 지장이 없다고 인정되는 경우를 제외하고 다음의 식으로 얻어지는 값 이상으로 함

$$L = 20 + 0.005Q \quad \text{여기서, } L: \text{경간장(m), } Q: \text{홍수량(m}^3\text{/sec)}$$

**부록 표 2-21** 교량 경간장 기준

경간장 기준	경간장
계획홍수량 500m <sup>3</sup> /s 미만, 하천폭 30m 미만	12.5m 이상
계획홍수량 500m <sup>3</sup> /s 미만, 하천폭 30m 이상	15.0m 이상
계획홍수량 500~2,000m <sup>3</sup> /s인 하천	20.0m 이상

자료: 국가건설기준센터(2018.12.31), "4.1.3 하천교량 경간장", 검색일: 2024.8.12를 활용하여 저자 작성.



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2023.7.3), "호남고속도로(동광주-광산) 확장사업 환경영향평가서 보완", p.101, 검색일: 2024.7.24.

**부록 그림 2-7** 교량 및 사교의 경간 길이

- 본 사업노선의 O교는 최소 경간장 0m 이상, 형하고 0m 이상으로, 하천 설계기준의 계획홍수량에 따른 교량의 최소 경간장 및 형하고를 충족하는 것으로 검토됨

**부록 표 2-22** 경간장 검토 결과

하천명	교량명	홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	경간장(m)		검토결과
			기준	계획	
O	O	O	O	O	OK

자료: 저자 작성.

#### 다) 형하고 검토

- 교량의 계획고는 계획홍수위에 형하 여유고를 더한 높이 이상으로 설정하며, 하천 교량 가설 시점의 계획홍수량에 따라 여유고는 Om를 적용하였음
- 검토 결과 여유고는 Om로, 교량 여유고 기준 Om 이상을 충족하는 것으로 검토됨

**부록 표 2-23** 교량 형하고 기준

계획홍수량(m <sup>3</sup> /s)	다리 밑 공간(m)	적 용
200 미만	0.6 이상	
200 이상 ~ 500 미만	0.8 이상	
500 이상 ~ 2,000 미만	1.0 이상	○
2,000 ~ 5,000 미만	1.2 이상	
5,000 ~ 10,000 미만	1.5 이상	
10,000 이상	2.0 이상	

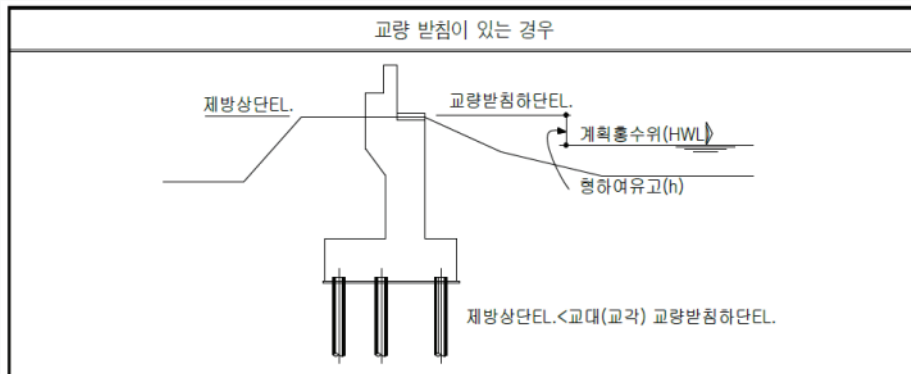
자료: 국가건설기준센터(2018.12.31), “하천제방”, 검색일: 2024.8.12를 활용하여 저자 작성.

**부록 표 2-24** 교량 형하고 검토 결과

하천명	교량명	홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	교좌 장치 하단고 (EL.m)	계획 홍수위 (EL.m)	여유고 (m)	기준 여유고 (m)	검토 결과	비고
○	○	○	○	○	1.0 이상	○	OK	

주: 교량 저·고는 교량의 제일 낮은 교좌장치 하부를 기준으로 함.

자료: 저자 작성.



자료: 환경영향평가 정보지원시스템(2023.7.3), “호남고속도로(동광주-광산) 확장사업 환경영향평가서 보완”, p.102, 검색일: 2024.7.24.

**부록 그림 2-8** 교량의 형하 여유고

라) 세굴 영향 검토

- O교 설치에 따른 통수단면적의 축소, 구조물에 의한 흐름의 간섭 등으로 세굴 영향이 예상됨. 사업노선의 세굴 영향 검토는 'O천 하천기본계획'의 수치를 적용하여 산정하였음
- 세굴심은 '하천설계기준-해설' 내 CSU 공식을 기본으로 하되 불확실성을 감안하여 CSU 공식 외 제시된 다른 2개 이상의 식을 적용하여 세굴량을 산정한 후 최종 세굴량을 Om로 결정하였음
- 세굴 예상 폭은 HEC-18<sup>67)</sup>에서 제시한 공식을 적용하였으며, 산정 결과 O로 검토됨. 이에 세굴 영향을 최소화하기 위해 교각 세굴심을 고려한 적절한 저감방안 수립이 요구됨

**부록 표 2-25** 세굴심 산정 결과

교량명	교각 번호	각 공식별 최대 세굴심(m)							비고
		C.S.U	Froehich	Laursen	Neill	세굴심	암반 까지의 깊이	채택	
O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

주: 교량 저·고는 교량의 제일 낮은 교좌장치 하부를 기준으로 함.  
 자료: 저자 작성.

**부록 표 2-26** 세굴심에 따른 세굴 예상 폭의 결정

교량명	교각 번호	홍수위 (EL.m)	교각폭 (m)	수심 (m)	평균 유속 (m/s)	세굴심 (m)	예상폭 (m)	비고
O	O	O	O	O	O	O	O	O

자료: 저자 작성.

67) HEC-18은 미국 연방 고속도로 관리국에서 발행한 기술지침서로 교량 기초의 세굴 깊이를 예측하고 평가하는 방법을 제공함. 교량 설계 및 유지보수 시 세굴 평가의 표준으로 널리 사용되고 있음.

## [온라인 자료]

- 국가건설기준센터(2018.12.31), “4.1.3 하천교량 경간장”, <https://www.kcsc.re.kr/standardCode/viewer/KDS%2051%2090%2010:2018-12-31#N104N101N103>, 검색일: 2024.8.12.
- 국가건설기준센터(2018.12.31), “하천제방”, <https://www.kcsc.re.kr/standardCode/viewer/KDS%2051%2050%2005:2018-12-31>, 검색일: 2024.8.12.
- 환경영향평가 정보지원시스템(2023.7.3), “호남고속도로(동광주-광산) 확장사업 환경영향평가서 보완”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.24.
- 환경영향평가 정보지원시스템(2024.4.3), “세종-포천(세종-안성) 고속도로 건설사업 세종JCT-연기 JCT 구간 환경영향평가서 재협의 본안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.24.
- 환경영향평가 정보지원시스템(2024.7.10), “국도 5호선 제천봉양-원주신림 도로건설공사 환경영향평가서 초안”, <http://www.eiass.go.kr>, 검색일: 2024.7.24.

### Ⅲ. 저탄소 녹색 도로를 위한 국외 정책 사례

#### 1. 유럽 Forever Open Road

유럽의 각국 도로 연구기관 포럼인 FEHRL(Forum of European National Highway Research Laboratories)은 21세기 유럽의 도로 건설 및 운영에 관하여 ‘Forever Open Road(FOR)’라는 개념과 비전을 제시하였으며, 이는 다음과 같은 세 가지 핵심 요소를 담고 있다.<sup>68)</sup>

- ① 적응 가능한 도로(The Adaptable Road)
- ② 자동화된 도로(The Automated Road)
- ③ 기후변화에 저항력을 갖춘 도로(The Climate Change Resilient Road)

##### 가. 적응 가능한 도로

적응 가능한 도로는 미래의 유지관리와 변화하는 통행량 수요, 차량 생산자들의 요구사항에 적응할 수 있어야 함을 의미한다. 신속하며 경제적인 도로 설계, 건설 및 유지관리와 도로의 운영·관리가 지역 및 지구 환경에 미치는 영향을 최소화하는 것이 주된 테마이다. 주요 연구 주제는 모듈러 설계 및 조립식 개념, 자가 복구 능력, 복원 공법과 로봇화 건설, 점검 및 유지관리이다. 구체적으로 태양열 에너지 하비스팅과 전기차를 위한 전원 시스템 등이 제시되었다.

##### 나. 자동화된 도로

사용자, 차량 및 유지관리와 도로의 완전한 통합을 도모하는 것이 주요 내용이다. 도로 사용자, 차량과 운전자 사이의 정보 교류, 교통수요와 흐름의 관리를 위한 도로·차량 간 협력 시스템 지원의 일환으로 자동화 도로는 도로 상태와 날씨·사고·교통 정보를 측정하고 이를 전달하며 반응하게 된다. 이를 위해 이용 가능한 인프라를 최대한 활용하고 도로 자산의 상태를 모니터링 하기 위한 시스템과 전략이 주된 혁신 주제이다. 구체적인 연구로는 통합 시스템, 내장 및 무전 센서, 지능형 교통 및 사고 관리를 위한 감지 및 통신 시스템이 제시되었다.

<sup>68)</sup> 박신, 조진우(2011), pp.43-47.

## 다. 기후변화에 저항력을 갖춘 도로

홍수, 폭설, 결빙, 태풍과 같은 극한의 기후조건하에서 도로 네트워크의 서비스가 충분히 이루어질 수 있는 수준을 확보하는 것이 주요한 내용이다. 과거 환경과 비교하여 예상하기 힘든 기후변화로 인해 정상적인 도로의 사용이 힘들어지는 경우가 빈번하게 발생하고 있는 바, 이를 방지하기 위해 저항력을 고려하게 되었으며, 도로의 기후 조건을 수시로 모니터링 하고, 기후조건에 따른 배수시스템, 자동 가열 및 냉각시스템을 활용하여 기후변화에 따른 도로 사용의 장애를 완화할 수 있도록 한다. 구체적인 연구로는 지반 보강 및 사면 안정, 국지적인 기후조건에 따른 조기 경보시스템 등이 제시되었다.

## 2. 독일 고속도로 화물차 통행료 징수 정책

독일 고속도로(아우토반)의 화물차 통행료(HGV: Heavy Goods Vehicle Tolls) 징수는 2005년 도입되어 실시하고 있다. 독일 정부가 화물차 통행료 징수를 도입한 사유는 ① 화물차 운행 시 도로 훼손의 기여도가 일반차량보다 높다는 점 ② 유럽대륙 중앙에 위치한 지정학적 특성상 대륙을 횡단하는 외국의 화물차 비중이 다른 나라보다 높기 때문에(약 35~45%) 통행료 징수에 대한 국민의 저항감이 상대적으로 낮다는 점 등을 들 수 있다. 요금은 주행거리, 차량 축수, 환경기준 세 가지 요인을 고려하여 달리 징수하고 있다. 환경기준은 유럽 환경기준에서 정한 6등급(EURO 0~EEV)을 분진 저감장치 장착 여부 등을 고려하여 4등급(A-D)으로 재분류한 후 이를 다시 차량 축수(3축 이하 혹은 4축 이상 구분)를 감안하여 각기 다른 요금을 적용하고 있다.

독일 정부의 발표에 따르면 화물차 통행료 징수 시스템이 도입된 결과, 친환경 차량이 급속하게 증가한 것으로 나타났으며(최고 친환경 등급인 SS 및 EEV 차량이 2005년 1%에서 2008년 40%로 급증, 오염배출량이 많은 S0, S1, S2 등급 차량은 같은 기간 48%에서 8%로 감소), 매년 약 4,000억 원 이상의 통행료 수입으로 인해 사회간접자본망과 보수 정비를 확충할 수 있는 점도 장점이다. 그러나 해당 정책은 전체 도로 중 고속도로에만 적용하기 때문에 국도 등으로 우회하는 화물차를 간과한바, 초기 예상한 화물교통량의 감소에 대한 실질적 효과에 대한 의문이 제기되고 있다. 환경보호 측면에서 비교적 저렴한 가격구조로 인해 철도 등 상대적으로 친환경적인 교통수단으로의 수송 전환이 미흡하다는 문제도 있다. 환경론자들을 중심으로 외부비용 요소들을 더욱 충실하게 가격구조에 반영하여 요금체계를 대폭 인상하고 이를 통해 교통 전환을 유도하여야 한다는 지적이 있다.<sup>69)</sup>

### 3. 미국 Green Roads

그린로드스는 도로 설계 및 건설에 있어 지속 성장에 적합한 각각의 요건에 대하여 점수를 부여하여 일정 점수를 부여받은 도로를 인증하는 제도이다. 그린로드 평가체계는 의무사항과 자발적 사항으로 구분하여 각각의 평가항목을 규정하고 있다. 의무사항은 지속 가능한 성장을 위한 최소한의 요구 조건을 Project Requirement(PR)로 규정하여 총 11개의 사항을 정하고 있으며, 자발적 사항은 환경·물, 접근성·자본, 건설, 자재·자원, 그리고 포장 기술의 5개의 카테고리로 구분하고 있다. 프로젝트가 취득한 점수를 기준으로 그린 인증단계에 따라 Certification, Silver, Gold, Evergreen과 같은 4종의 인증을 부여받는다.<sup>70)</sup>

워싱턴대학교에서 시작된 그린로드 인증제는 다른 주에서도 자체적으로 개발하여 적용 중이나, 주마다 관련 산업이나 설계, 엔지니어링의 수준이 달라 건설 인프라의 수준을 동일하게 설정하여 적용하기에는 한계가 있다.



### 4. 주요국 정책 비교 분석

수송 부문의 온실가스 주요 배출국인 미국, EU, 일본, 중국 및 우리나라가 수송 부문 온실가스 감축을 위해 수립한 정책은 공통으로 ① 감축목표 설정 ② 저탄소·친환경 운송 수단 보급 확대 ③ 내연기관 차량 퇴출 등을 강조하고 있다.

감축목표 설정의 경우 주요 배출국은 파리협정에 따라 2020년 말까지 기존 대비 상향된 국가 감축목표와 장기 저탄소 발전전략을 제출한 바 있으며, EU, 일본, 우리나라의 수송

69) 박신, 조진우(2011), pp.71-77.

70) 박신, 조진우(2011), pp.118-124.

부문 감축목표는 2030년 국가감축 목표 또는 2050년 탄소중립 달성을 위한 세부 목표 중 하나로 포함되어 있다. 미국은 별도의 행정조치를 통해 항공 연관 감축목표를 설정하였고, 중국은 이산화탄소 배출 개선 지표(2025년)와 감축 계획(2035년까지 차량 관련 이산화탄소 배출량 정점 대비 20% 이상 감축)을 발표하였다.<sup>71)</sup>

저탄소·친환경 운송 수단 보급 확대 부문은 수송 정책에 있어 화석연료의 의존도를 낮추고 전기차, 수소차 등을 도입·확대하는 것에 중점을 두고 있으며, 이를 위한 인프라를 구축하고자 노력 중이다. EU는 ‘유럽 그린딜’의 후속 조치 중 하나인 ‘지속가능한 스마트 모빌리티 전략’을 통해 2050년까지 대부분 차량과 신규 대형 운송 수단이 무공해(zero emission) 운송 수단이 되도록 하고 있으며, 일본은 ‘그린성장전략’을 통해 2035년까지 신차 판매에서 전기차의 비중이 100%가 되도록 확대하고, 휘발유 차와 같은 수준의 편의를 제공할 수 있도록 충전 인프라를 구축·확대할 계획임을 발표하였다. 미국 조 바이든 대통령은 2030년까지 새롭게 판매되는 차량의 50%가 무공해차가 되도록 추진하고, 전국 단위의 충전 네트워크를 구축할 것을 선언하였다. 중국은 2035년까지 신에너지·에너지 절약형 차량의 판매 비중이 각각 50%가 되도록 추진할 계획이다. 우리나라는 2030년까지 전기차, 수소차를 450만 대 보급하고 이를 위한 충전 인프라를 조성할 예정이다.<sup>72)</sup>

내연기관 차량 퇴출을 위해 EU는 2030년까지의 감축목표 달성을 위한 법안 패키지인 ‘Fit for 55’를 통해 판매되는 신규 차량(승용, 소형 상용)의 평균 이산화탄소 배출량을 2035년까지 100% 감축하도록 규제를 시행할 예정이다. 일본과 중국은 전기차 보급 목표를 밝히며 사실상 2035년까지 신규 내연기관 승용차를 퇴출할 것임을 선언하였고 캘리포니아를 포함한 미국의 일부 주와 우리나라 서울시도 2035년을 내연기관 차량 퇴출 기한으로 제시하였다. 2021년 개최된 COP26에 참석한 38개국의 46개 도시 및 지방정부, 11개 제조업체 등도 주요 시장에서는 2035년까지, 그 외 국가는 2040년까지 무공해 차량만 판매할 것임을 선언하였다.<sup>73)</sup>

71) 김은미(2022), p.7.

72) 김은미(2022), p.8.

73) 김은미(2022), p.8.

**부록 표 3-1** 주요국 수송 부문 감축목표

국가	감축 대상	수송 부문 감축목표
미국	온실가스(GHG <sub>s</sub> )	• 2030년까지 항공 분야 배출전망치(BAU) 대비 20% 감축, 2050년까지 넷-제로 추진
EU	온실가스(GHG <sub>s</sub> )	• 2050년까지 1990년 대비 90% 감축
일본	온실가스(GHG <sub>s</sub> )	• 2030년까지 2013년 대비 35% 감축
중국	이산화탄소(CO <sub>2</sub> )	• 2035년까지 정점(2028년 예상) 대비 차량 관련 이산화탄소 배출량 20% 이상 감축
한국	온실가스(GHG <sub>s</sub> )	• 2030년까지 2018년 대비 37.8% 감축 • 2050년까지 2018년 대비 90.6~97.1% 감축

자료: 김은미(2022), p.7.

**[국내문헌]**

김은미(2022), “글로벌 수송 부문의 온실가스 감축 현황과 시사점: 해운분야를 중심으로”, 「KIEP 기초자료」, 22-02, 대외경제정책연구원, pp.7-8.

박신, 조진우(2011), 「저탄소 녹색도로를 향한 외국의 도로정책의 변화와 우리나라 도로정책의 시사점」, 한국법제연구원, pp.43-47, pp.71-77, pp.118-124.

# Development of Climate Change Impact Assessment Techniques

## The Road Construction Sector

Choi, Hyun-Jin et al.

### 1. Background and Aims of Research

According to the “Framework Act on Carbon Neutrality and Green Growth for Coping with Climate Crisis,” climate change impact assessments must be conducted for plans and development projects designated by the President, including policies subject to strategic environmental impact assessment or environmental impact assessment, and projects that emit large amounts of greenhouse gases. This has been established as one of the key institutional measures for implementing national carbon neutrality in Korea.

As laws and regulations related to the climate change impact assessment system have been relatively recently, assessment techniques for greenhouse gas reduction and climate change adaptation that incorporate the characteristics and types of projects are currently insufficient. In particular, road construction projects, which are newly included as subjects for climate change impact assessment in September 2023, are typical linear projects with different characteristics in terms of construction and operation, environmental impacts, and considerations for greenhouse gas reduction and climate crisis adaptation compared to area development projects such as urban development and industrial complex development projects.

This study aimed to establish climate change impact assessment techniques considering the characteristics of road construction projects newly included as assessment targets, in connection with the assessment techniques developed in previous studies. Specifically, it sought to establish a methodology for climate change impact assessment during construction and operation considering the characteristics of road construction, and to propose effective greenhouse gas reduction and climate change adaptation measures for these projects.

## 2. Eco-friendly Road Construction Techniques and Current Status of Environmental Impact Assessment

### 2.1 Eco-friendly Road Construction Techniques

Government guidelines and previous research cases related to eco-friendly road construction were investigated and analyzed. It was confirmed that the literature commonly identified topography-geology, and hydraulics-hydrology as the primary environmental factors that should be considered in road construction projects.

- For topography-geology:
  - Prioritize route plans that align with the terrain.
  - Minimize unavoidable terrain damage and long slopes through tunnels
  - Conduct pre-surveys and thorough reviews of slope and ground stability
  - Establish appropriate measures for stability assurance and slope revegetation
- For hydraulics-hydrology:
  - Identify negative impacts on hydrology in advance and consider them from the early stages of project planning
  - For road construction projects including bridge installation plans, establish plans to ensure stability during floods and prevent scouring and erosion

### 2.2 Current Status of Environmental Impact Assessment for Greenhouse Gas in Road Construction Projects

The current status of environmental impact assessment reports was analyzed, and it was found that most greenhouse gas emissions were attributed to vehicle operation

- Suggestions include
  - Actively reducing emissions from ancillary facilities such as rest areas and interchanges
  - Minimizing the destruction of carbon storage and absorption sources
  - Expanding tree planting and green space creation on available land

Most consultation opinions on greenhouse gas items for road construction projects were related to the proper implementation of greenhouse gas reduction measures during construction and operation. It was difficult to identify trends or consistency across projects based on factors such as road length or type, and it was confirmed that many cases lacked specific consultation opinions on greenhouse gas items.

### **3. International Environmental Assessment Cases Related to Climate Change in Road Construction Projects**

An analysis of climate change-related content in environmental impact assessment reports for road construction projects conducted abroad revealed that the surveyed international cases use models provided by their governments to calculate and present greenhouse gas emissions.

Using models for emission calculations can help prevent qualitative differences in assessment reports, such as discrepancies in the greenhouse gas emission calculation process (e.g., the appropriateness of emission factors, calculation formulas, and the emission of items). However, even when using models for emission calculations, continuous updates to emission factors and calculation formulas are required, necessitating ongoing maintenance and management by the government or institutions providing these models.

In terms of climate change adaptation, it was found that the surveyed international cases do not use vulnerability assessment results like those used in Korea. Instead, they establish appropriate measures based on the characteristics of the region where the project route is located and past disaster history. However, it was observed that these cases do not consider as wide a range of climate change risks in detail as in Korea. Instead, they qualitatively assess risks for road construction projects related to some representative factors such as floods, sea-level rise, heat waves, and strong winds, and briefly describe corresponding adaptation measures.

### **4. Climate Change Impact Assessment Techniques for Greenhouse Gas Mitigation**

Given the limited options for establishing reduction measures in the transportation sector, the largest source of greenhouse gas emissions in road construction projects, these projects should actively pursue the expansion of tree planting and green space creation on available land. Based on the findings of previous studies, this research summarizes and proposes tree species selection and planting plans considering carbon absorption, as well as appropriate tree planting methods taking into account the conditions of the road's median strip and sides. Furthermore, proper maintenance and management measures are suggested to ensure the continuity of carbon storage and absorption through tree planting.

Based on the climate change impact assessment techniques developed through previous research, this study presents assessment techniques for the entire process of greenhouse gas reduction in road construction projects, consisting of current status analysis, calculation of emissions during construction and operation, setting reduction targets, and establishing reduction

measures. In addition to tree planting and green space creation, various greenhouse gas reduction measures applicable to road projects were identified and summarized, including the installation of renewable energy facilities for ancillary facilities such as rest areas, the implementation of intelligent transportation systems and smart tolling, and the construction of roundabouts. The quantitative reduction effects of these measures were also derived and presented.

## **5. Climate Change Impact Assessment Techniques for Climate Change Adaptation**

Various international studies on climate change risks to road infrastructure were surveyed and analyzed to identify the major risks that should be considered in climate change impact assessments for road construction projects, and to examine the impacts of each risk. The literature commonly identifies heat waves, heavy snow, heavy rain and floods, strong winds, and sea-level rise as major climate change risks for roads. These risks were found to primarily cause first-order impacts such as damage to road facilities, and second-order impacts such as traffic flow interference and road closures. Considering this, it is deemed appropriate to focus on evaluating these risks based on the climate crisis vulnerability assessment results of the project when conducting climate change impact assessments. It is considered effective to include appropriate adaptation measures in the project plan accordingly.

Based on the climate change impact assessment techniques developed through previous research, this study presents assessment techniques for the entire process of climate change adaptation for road construction projects, consisting of current status analysis, climate change vulnerability assessment and risk analysis, and the establishment of adaptation measures.

In particular, this research proposes that, when evaluating the climate crisis adaptation aspects of road construction projects, it is important to carefully consider not only the local government vulnerability assessment results but also the specific characteristics of each section of the project route (e.g., slope, passage through areas adjacent to rivers) and the conditions and plans for facilities along the route, such as bridges, tunnels, and underground roads. Appropriate adaptation measures were derived and presented based on these factors.

## **6. Conclusion and Policy Suggestions**

The climate change impact assessment methodology for road construction projects developed through this study can promote the establishment of enhanced greenhouse gas reduction and climate change adaptation measures for road construction projects. It is also believed that the

effectiveness of the climate change impact assessment system can be enhanced by preparing assessment techniques for newly included assessment target projects. Furthermore, this methodology is expected to serve as a valuable reference for various stakeholders involved the system to support their tasks.

Based on the international environmental impact assessment cases surveyed in this study, it is necessary to develop and distribute national-level models for calculating greenhouse gas emissions (during construction and operation) tailored to specific projects in Korea. However, as emission calculations through models require continuous updates to emission factors and calculation formulas, ongoing maintenance and management by the government or relevant institutions providing these models must accompany this effort.

The development of assessment techniques that reflect the types and characteristics of development projects included as subjects for climate change impact assessment should be pursued continuously. In addition to the road construction projects addressed in this study, it is urgent to establish and standardize assessment techniques for greenhouse gas reduction and climate crisis adaptation for projects such as airports, waste treatment facilities, and power generation facilities.

When evaluating the climate crisis adaptation, it is necessary to continuously develop assessment techniques that take into account the project's location conditions, land use plans, and facility construction plans, in addition to the local government vulnerability assessment results that are mainly used. Conducting assessments that incorporate all these factors together is expected to further enhance the effectiveness of the system.

**Keywords** Climate Change Impact Assessment, Road Construction, Greenhouse Gas Reduction, Climate Crisis Adaptation

## 저자약력

### 최현진(연구책임)

고려대학교 화공생명공학 박사  
한국환경연구원 연구위원(현)  
hjchoi@kei.re.kr

#### 주요 연구실적

- 환경영향평가제도 개선 포럼 운영 (2024)
- 탄소중립 대응을 위한 환경영향평가서 작성 방법 개선 연구 (2022)

### 이영수

한국환경연구원 선임연구위원(현)  
leeys@kei.re.kr

### 강유진

한국환경연구원 전문연구위원(현)  
egkang@kei.re.kr

### 주용준

한국환경연구원 연구위원(현)  
yjjoo@kei.re.kr

### 김유미

한국환경연구원 연구위원(현)  
ymkim@kei.re.kr

※ 본 책자는 환경표지 인증을 받은 용지로 인쇄되었습니다.



## 기후변화영향평가 기법 마련 연구 도로 건설 부문

**KEI** 한국환경연구원  
Korea Environment Institute

(30147) 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 B동(과학·인프라동)  
전화 044-415-7777 팩스 044-415-7799 [www.kei.re.kr](http://www.kei.re.kr)



9 791159 809576  
ISBN 979-11-5980-957-6