

연구보고서(특별)
NIE-B-2025-01

지속가능한 국토환경 조성을 위한 생태계 연결성 강화 연구('25)

A study on enhancing habitat connectivity
in the sustainable landscape

NATIONAL
INSTITUTE OF ECOLOGY

연구보고서

NIE-B-2025-05

지속가능한 국토환경 조성을 위한 생태계 연결성 강화 연구('25)

A study on enhancing habitat connectivity in the sustainable landscape

생태기후연구본부 복원생태연구실 복원생태팀

송의근 외 14명

2025

국립생태원

National Institute of Ecology

연구진

연구책임자 연구참여자(내부)	송의근	복원생태팀	전임연구원(연구책임자)	
	이희천	복원생태연구실	책임연구원	
	조광진	복원생태팀	책임연구원	
	이선미	복원생태팀	선임연구원	
	이성제	복원생태팀	선임연구원	
	문새로미	복원생태팀	전임연구원	
	김기현	복원생태팀	연구원	
	김세희	복원생태팀	연구원	
	이승원	복원생태팀	연구원	
	김지윤	복원생태팀	전문위원	
	연구참여자(외부)	이름	소속	직위
		박태진	메이텍엔지니어링	부장
김기윤		충북대학교	박사후연구원	
백승윤		도쿄농공대학교	박사후연구원	
정민정		야생동물소모임	-	
노성수		프리랜서	-	

본 연구진은 연구윤리를 준수하였음을 서약합니다.

요약문

우리나라는 토지 면적 대비 도로 연장이 약 1.15km/km²에 달하는 도로 고밀도 국가로, 이에 따른 생태계 단절 피해를 저감하기 위해 전국에 약 600개소 이상의 생태통로가 설치되어 있다. 그럼에도 불구하고 로드킬 발생 등 생태계 훼손은 지속되고 있으며, 생태통로의 설치 및 관리 부실로 인한 실효성에 대한 문제 제기가 이어지고 있다.

이를 해결하고자 본 연구에서는 다음과 같은 세 가지 주요 과제를 추진하였다.

첫째, 정부 부처 협력사업인 「한반도 생태축 보전·복원 사업(기후부, 국토부, 산림청)」의 대상지를 중심으로 생물 조사·평가 연구를 수행하여 복원 사업의 효과를 검증하였다. 아울러 추진 중인 생태통로의 기본계획 수립부터 준공 단계까지 생태적 자문을 제공하고, 「생태통로 설치 및 관리 지침(기후부)」에 부합하는 설치 방안을 제시함으로써 생태축 보전·복원을 위한 정부 정책을 연구 측면에서 지원하였다.

둘째, 생태통로가 설치된 도로 규모에 따른 포유류의 이용 종과 이용 빈도를 분석하여, 도로 차선 수에 따른 생태통로 설치의 적정성을 검토하였다. 또한 전국 생태통로의 설치 위치, 유형, 관리기관 등의 기초 정보와 모니터링 결과를 체계적으로 등록·관리할 수 있도록 생태통로 통합관리 정보시스템의 기능 고도화를 추진하였다. 이를 통해 생태통로 설치 대상지 선정 기준을 개선하고, 생태통로의 관리·운영을 강화하기 위한 기반을 마련하였다.

셋째, 로드킬 정보시스템을 활용하여 기관 관리자 및 조사원의 등록·관리와 사고 정보에 대한 검토·승인 절차를 통해 신뢰성 있는 로드킬 통계를 구축하였다. 아울러 정보시스템에 축적된 자료를 기반으로 로드킬 다발구간을 분석하고, 기존 저감대책과 신규 로드킬 저감시설인 AI 로드킬 예방시스템의 사고 저감 효과를 평가하여 향후 전국 확대를 위한 기초 자료를 마련하였다.

2025년 연구 결과는 다음과 같다. 한반도 생태축 보전·복원 사업의 백두대간 추풍령 생태축 포유류 모니터링 결과, 복원 전에는 14종, 일평균

출현빈도 1.36회로 나타난 반면, 복원 후에는 최대 18종이 출현하고 일평균 출현빈도는 4회로 증가하여 생태축 복원사업의 효과가 검증되었다. 한편, 금북정맥 사전 모니터링에서는 북측 취암산 일대 7종(1.2회), 남측 고려산 일대 8종(0.6회)으로 확인되었고, 호남정맥에서는 서측 북방산 일대 11종(1.4회), 동측 오봉산 일대 7종(0.7회)으로 나타났다. 이러한 결과는 도로를 경계로 양측 조사구간 간 종수 및 출현빈도에 차이가 나타나고 있음을 보여주며, 도로에 따른 생태적 연결성 저하 가능성을 시사한다. 식생 사전 모니터링 결과, 금북정맥 67분류군, 호남정맥 80분류군이 출현하였고, 금북정맥은 교목층과 관목층 중심의 단조로운 식생 구조를 보였고, 호남정맥은 교목층부터 초본층까지 발달한 다층 구조를 보였다. 향후 복원 후 분류군별 모니터링을 통해 생태통로 이용 효과와 주변 산림과의 식생 유사성 회복 여부를 종합적으로 검증할 계획이다.

한반도 생태축 보전·복원 사업의 기본계획, 실시설계, 준공검사까지 생태통로 건설 전반에 관한 생태적 자문의견을 제시하였다. 천안 목천 금북정맥 생태통로의 설치 대상지 변경과 생태통로 설치 대상지 인근의 개인 사유지 매입을 제시하여 개발로 인한 기능 저하를 사전 예방하는 방안을 제시하였으며, 기후부 지침에 부합하는 부대시설 설치 및 식재 방안에 대한 자문의견을 제시하였다. 광주 북구 장원지맥 생태통로는 설치 위치를 검토하고, 천이에 따라 하부 식생이 과도하게 밀식되어 야생생물의 이동·이용이 저해되는 것을 예방하기 위해 내부 토양 상부에 우드칩을 포설하는 방안을 제안하였다. 예산 둔리 금북정맥 생태통로는 기존 수로를 터널형 생태통로로 전환하되, 생태통로와 수로 기능을 동시에 유지할 수 있는 대안을 제시하였다. 완주 구이 호남정맥 생태통로는 기후부 지침에 부합하는 경사도 기준을 충족하기 위해 실시설계 변경(안)을 제시하였다. 또한 안동 수상 갈라지맥과 합천 가야 국립공원 생태통로는 실시설계 단계에서의 위치 선정과 관련한 자문의견을 제시하였다.

도로 규모에 따른 생태통로의 포유류 이용 효율성 평가 결과, 4차선 도로에 설치된 터널형 생태통로의 이용 효율성(0.65)이 2차선 도로(0.48)에 비해 높았으나 도로의 차선 수나 폭보다는 터널형 생태통로의 개방도가 이용 효율성에 영향을 미치는 핵심 요인으로 분석되었다. 생태통로 설계 시 도로 규모 외 다른 환경적 요인이 야생동물의 생태통로 이용률에

영향을 미친다는 점이 확인되었다. 따라서, 향후 생태통로 설계 시 도로 규모 외 개방도 등 기타 환경적 요인을 종합적으로 고려한 접근이 필요함을 시사한다.

생태통로 통합관리 정보시스템은 신규 생태통로 정보와 조사 결과 입력 과정에서 사용자 편의성을 제고하고, 등록 정보의 정확성과 신뢰성을 확보하며, 체계적인 데이터 관리를 강화하는 방향으로 개선하였다. 생태통로 설치·관리자가 입력하는 정보는 대부분 다중 항목 선택 방식(체크박스)으로 구성하여 입력 오류를 최소화하였으며, 입력된 자료는 국립생태원의 검토·승인 절차를 거쳐 최종 등록되도록 기능을 구현하였다. 아울러 관련 법령 개정에 따른 정부 정책 변화에 선제적으로 대응하기 위해, 생태통로 개선방안 제시 및 개선 이행 여부에 대한 검토 기능을 강화하였다.

로드킬 정보시스템의 운영·관리를 통해 도로관리청 관리자 265명과 조사원 8,558명을 등록·관리하였다. 이를 통해 정보시스템으로 수집된 총 91,162건의 사고 정보를 검토·승인하여 종, 권역, 도로 유형별 국가 통계를 구축하였다. 또한 종별 및 분류군별 시계열 분석 결과를 바탕으로 로드킬 저감방안 수립과 함께 생태계 변화 징후를 조기에 파악하고, 선제적인 보전·관리 대책을 마련하기 위한 기초 자료로 활용할 수 있음을 제시하였다.

정보시스템에 승인·등록된 자료를 기반으로 로드킬 다발 상위 110개 구간을 분석·선정하였다. 또한 기존에 저감대책이 수립된 다발 상위 50개 구간을 대상으로 분석한 결과, 최근 4년간 평균 73.54%의 사고 감소 또는 감소 수준이 유지되는 성과를 확인하였다. 아울러 AI 로드킬 예방시스템을 통해 수집된 자료를 분석하여 시스템 기능의 적정성을 점검한 결과 7종의 동물 202건이 인식되었으며, 동물 출현 대비 사고 발생률이 2.48%로 나타났다. 이는 향후 해당 시스템의 전국 확대 적용을 검토하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 생태축 복원, 생태통로, 로드킬, 정보시스템, 야생동물 모니터링

Abstract

South Korea is a road-dense country, with a road length of approximately 1.15 km per km² of land area. To mitigate ecosystem fragmentation caused by road development, more than 600 wildlife crossing structures(WCSs) have been installed nationwide. Nevertheless, roadkill incidents and ecological degradation persist, raising concerns about the effectiveness of WCSs due to insufficient installation and management.

To address these challenges, this study pursued three major objectives.

First, biological surveys and evaluations were conducted in target areas of the inter-ministerial “Korean Forest Ecological Networks Conservation and Restoration Project” (Ministry of Environment, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Forest Service) to verify restoration effectiveness. Ecological consultations were provided throughout the entire process of WCS projects—from basic planning to completion—and recommendations consistent with national guidelines were proposed to support government policies for ecological axis conservation and restoration.

Second, the study analyzed mammal species composition and usage frequency of WCSs according to road scale, assessing the appropriateness of WCS installation by number of lanes. In addition, the functionality of the integrated wildlife crossing structure management information system was enhanced to systematically register and manage nationwide data on crossing locations, types, managing authorities, and monitoring results. This contributed to improving criteria for site selection and strengthening operation and management of WCSs.

Third, a reliable national roadkill database was established through the operation of the roadkill information system, including registration and management of 265 road authority administrators and 8,558 surveyors, and the review and approval of 91,162 roadkill records. Based on these data, roadkill hotspots were identified, and the effectiveness of existing mitigation measures and a newly introduced AI-based roadkill prevention system was evaluated to support future nationwide expansion.

Key results from the 2025 research include verified ecological restoration effects in the Baekdudaegan Chupungnyeong ecological axis, where mammal species richness increased from 14 to 18 species and average daily occurrence frequency increased from 1.36 to 1.54 after restoration. Pre-restoration monitoring of the Geumbuk and Honam ecological axes confirmed road-induced fragmentation in both areas. Vegetation surveys showed differences in structural complexity between the two axes, and post-restoration monitoring is planned to evaluate WCS usage and vegetation similarity recovery.

Evaluation of WCSs efficiency by road scale indicated that tunnel-type crossings on four-lane roads showed higher efficiency (0.65) than those on two-lane roads (0.48). However, crossing openness was identified as a more influential factor than road width or lane number, highlighting the importance of integrated design factors such as fencing and vegetation density.

Finally, analysis of approved roadkill data identified the top 110 hotspot sections. Among the top 50 sections with mitigation measures in place, an average reduction or sustained decrease of 73.54% in roadkill was observed over four years. Analysis of AI-based roadkill mitigation system data showed that 202 detections across seven species were recorded, with a roadkill occurrence rate of 2.48% relative to animal appearances. These results provide a scientific basis for improving AI-based roadkill mitigation system management and expanding advanced roadkill prevention systems nationwide.

keywords: Ecological Corridor, Wildlife Crossing Structure, Roadkill, Wildlife Monitoring

〈목 차〉

요 약 문	i
목 차	v
표 목차	vi
그림 목차	vii
I. 서 론	1
II. 생태축 보전 연구	2
1. 연구내용 및 방법	4
가. 한반도 생태축 보전·복원 사업 효율성 검증 연구	4
나. 한반도 생태축 보전·복원 사업 자문	10
2. 연구결과 및 고찰	13
가. 한반도 생태축 보전·복원 사업 효율성 검증 연구	13
나. 한반도 생태축 보전·복원 사업 자문	26
III. 생태통로 개선 연구	38
1. 연구내용 및 방법	39
가. 도로 규모에 따른 생태통로 이용 조사·평가	39
나. 생태통로 통합관리 정보시스템 관리·운영 및 고도화	44
2. 연구결과 및 고찰	47
가. 도로 규모에 따른 생태통로 이용 조사·평가	47
나. 생태통로 통합관리 정보시스템 관리·운영 및 고도화	55
IV. 로드킬 저감 연구	64
1. 연구내용 및 방법	65
가. 로드킬 정보시스템 운영 및 통계 구축	65
나. 로드킬 저감방안 제시	68
다. 로드킬 저감대책 효율성 분석·평가	72
2. 연구결과 및 고찰	72
가. 로드킬 정보시스템 운영 및 통계 구축	72
나. 로드킬 저감방안 제시	83
다. 로드킬 저감대책 효율성 분석·평가	92
참 고 문 헌	97
부 록	104

〈표 목차〉

〈표 1〉 도로 차선별 국내 생태통로 현황	7
〈표 2〉 한반도 생태축 보전·복원 사업 3단계 대상지 선정	12
〈표 3〉 추풍령 생태축 복원대상지 포유류 모니터링 현황	13
〈표 4〉 추풍령 생태축 복원 전·후 산림 및 패치 포유류 모니터링 결과	14
〈표 5〉 추풍령 생태축 복원대상지 복원 전·후 포유류 모니터링 현황	15
〈표 6〉 금북정맥 생태축 복원대상지 포유류 사전 모니터링 현황	18
〈표 7〉 호남정맥 생태축 복원대상지 포유류 사전 모니터링 현황	18
〈표 8〉 정맥별 종다양도 지수 비교	22
〈표 9〉 한반도 생태축 연결·복원 사업 1단계 추진 현황(2013~2017) ...	26
〈표 10〉 한반도 생태축 연결·복원 사업 2단계 추진 현황(2019~2023) ...	27
〈표 11〉 한반도 생태축 연결·복원 사업 3단계 추진 현황(2024~2028) ...	27
〈표 12〉 모니터링 대상지 현황	43
〈표 13〉 터널형 생태통로 모니터링 현황	47
〈표 14〉 서식지 패치 모니터링 현황	48
〈표 15〉 터널형 생태통로 일평균 출현빈도	50
〈표 16〉 서식지 패치 일평균 출현빈도	50
〈표 17〉 터널형 생태통로 상대이용빈도	52
〈표 18〉 Spearman 상관분석 결과	53
〈표 19〉 대상지별 도로 차선 수, 도로 폭, 개방도	54
〈표 20〉 생태통로 통합관리 정보시스템 현황	57
〈표 21〉 도로유형별 생태통로 설치 현황	58
〈표 22〉 도로 유형별 도로관리청 관리자 등록 현황	73
〈표 23〉 도로관리청 조사원 등록 현황	73
〈표 24〉 로드킬 정보시스템 접수내역	74
〈표 25〉 2024년 로드킬 정보 수집 현황	74
〈표 26〉 분류군별 로드킬 현황	74
〈표 27〉 야생동물 포유류 로드킬 발생 상위 5종 현황	76
〈표 28〉 조류 로드킬 발생 상위 5종 현황	76
〈표 29〉 도로유형별 로드킬 현황	78
〈표 30〉 행정구역별 로드킬 현황(2019~2024)	79

<표 31> 2025년 로드킬 다발 상위 110구간 현황	84
<표 32> 로드킬 다발구간 등급별 현황	87
<표 33> 로드킬 다발구간 정밀조사 야장	88
<표 34> 로드킬 저감방안 효율성 평가	92
<표 35> 로드킬 다발 구간별 효율성 평가	93
<표 36> 로드킬 저감방안 효율성 평가	95

〈그림 목차〉

〈그림 1〉 생태축 연결·복원 사업 및 세부 추진과제	2
〈그림 2〉 생태통로 관련 지침 및 가이드라인	3
〈그림 3〉 추풍령 생태통로 모니터링 대상지 및 참조생태계 개황	5
〈그림 4〉 추풍령 생태축 무인센서카메라 설치 현황	6
〈그림 5〉 생태통로 내부 무인센서카메라 설치 모식도	6
〈그림 6〉 호남정맥(완주 구이) 생태축 복원사업 설치 자문	8
〈그림 7〉 금북정맥, 호남정맥 복원대상지 포유류 사전 모니터링 구역	9
〈그림 8〉 포유류 모니터링 방법	9
〈그림 9〉 금북정맥, 호남정맥 복원대상지 식생 조사지 현황	10
〈그림 10〉 추풍령 생태축 복원 후 생태통로별 포유류 일평균 출현빈도 ...	14
〈그림 11〉 금북정맥 방형구별 출현종수	19
〈그림 12〉 금북정맥 층위별 평균 식피율 및 평균 수고	20
〈그림 13〉 금북정맥 조사지 식생 군락 비교	20
〈그림 14〉 호남정맥 방형구별 출현종수	23
〈그림 15〉 호남정맥 층위별 평균 식피율 및 평균 수고	24
〈그림 16〉 호남정맥 조사지 식생 군락 비교	25
〈그림 17〉 천안 목천 생태축 복원대상지	28
〈그림 18〉 천안 목천 금북정맥 생태축 연결·복원 업무협력 협약서(MOU) ...	29
〈그림 19〉 천안 목천 금북정맥 생태축 복원대상지 용지도(좌) 및 지장물도(우) ...	29
〈그림 20〉 천안 목천 생태통로 식재(좌) 및 생물 은신처 도면(우)	30
〈그림 21〉 광주 북구 생태통로 건설 예정지 및 설계 도면	32
〈그림 22〉 제주 한라 터널형 생태통로	33
〈그림 23〉 둔리 생태통로 2개소 건설 예정지 및 설계 도면	34
〈그림 24〉 완주 구이 생태통로 건설 현장(좌) 및 식재 도면(우)	35
〈그림 25〉 완주 구이 생태통로 설계 변경 전(좌) 변경 후(우)	35
〈그림 26〉 안동 수상 생태축 복원 기본계획(안)	36
〈그림 27〉 합천 가야 생태축 복원 기본계획(좌) 및 위치 도면(우)	37
〈그림 28〉 야생동물 모니터링용 무인센서카메라	39
〈그림 29〉 터널형 생태통로 무인센서카메라 설치	40
〈그림 30〉 생태통로 이용 모니터링의 공간적 범위	41

<그림 31> 도로 규모 생태통로 연구 대상지	41
<그림 32> 생태통로 통합관리 정보시스템 고도화 체계	46
<그림 33> 생태통로 및 서식지 출현 상위 3종	48
<그림 34> 이용률이 높은 터널형 생태통로 현황(구례GP)	53
<그림 35> 이용률이 낮은 터널형 생태통로 현황(구례GG)	53
<그림 36> 생태통로 통합관리 정보시스템 대국민 서비스	56
<그림 37> 생태통로 시설정보 검토·승인 및 등록 현황	59
<그림 38> 생태통로 모니터링 결과 등록	61
<그림 39> 생태통로 시설정보 등록	62
<그림 40> 로드킬 정보시스템(Web) 및 로드킬 조사용 앱(App)	66
<그림 41> 로드킬 정보시스템 교육 영상	67
<그림 42> 야생동물 유도울타리와 노면진입 방지시설 설치	70
<그림 43> 로드킬 발생 시계열 분석(2019~2024)	80
<그림 44> 고라니 로드킬 시계열 분석(2019~2024)	81
<그림 45> 식육목 6종의 로드킬 시계열 분석(2021~2024)	82
<그림 46> 멧돼지 로드킬 시계열 분석(2019~2024)	83
<그림 47> AI 로드킬 예방시스템 모식도	89
<그림 48> AI 로드킬 예방시스템 동물 인식 카메라 6대 화각(양평)	90
<그림 49> AI 로드킬 예방시스템 동물 인식 카메라 4대 화각(횡성)	91
<그림 50> AI 로드킬 예방시스템(동물 인식 카메라 및 전광판) 현장 설치 ...	91
<그림 51> AI 로드킬 예방시스템 동물 인식	96

I. 서론

우리나라는 설악산에서 지리산으로 이어지는 백두대간을 핵심 축으로 하여, 서해와 동해를 연결하는 DMZ 생태축, 그리고 정맥·기맥·지맥 등으로 구성된 다양한 산림 생태축 체계를 보유하고 있다. 이러한 생태축은 개별 서식지를 연결하여 생태계 기능의 연속성을 유지하고, 생물다양성을 보전하는 데 중요한 공간적 기반을 제공한다.

정부는 「제5차 국가환경종합계획(2020~2040)」을 통해 백두대간과 DMZ를 국가 차원의 핵심 생태축으로 설정하고, 도로·철도 등 선형 개발로 인해 단절되거나 훼손된 구간을 중심으로 생태통로 설치와 복원 사업을 추진하는 것을 주요 과제로 제시하였다. 이는 생태축 보전을 기본 원칙으로 삼아, 훼손 지역에 대한 생태 복원을 통해 지속 가능한 국토환경을 조성하고자 하는 정책적 방향을 반영한 것이다. 또한 「제3차 자연환경보전 기본계획(2016~2025)」에서는 DMZ, 백두대간, 도서·연안, 5대 강수 생태축을 국가 4대 핵심 생태축으로 구분하고, 한반도 및 동북아시아 생태축과의 연계성을 고려한 보전·복원 전략을 수립하였다. 광역 생태축의 경우 한강 수도권권, 금강 충청권, 영산강 호남권, 낙동강 영남권, 태백 강원권 등 5대 광역권역을 중심으로 핵심 생태축과 연계되는 생태 거점의 중점적인 보전과 복원을 목표로 하고 있다. 현재 우리나라는 핵심·광역·도시 생태축을 보전하고 이들 간의 연결성을 강화하기 위한 생태 네트워크 구축 계획을 수립한 단계에 있으며, 이를 실제로 구현하기 위한 실행 단계에 진입하고 있다. 이러한 계획이 실효성을 갖기 위해서는 과학적 근거에 기반한 기술 개발과 함께 구체적인 이행 방안 마련이 필수적이다.

첫째, 생태축 보전·복원 사업을 대상으로 조사 및 분석을 수행하여 사업의 효과를 검증하고, 이를 바탕으로 생태적 자문의견을 제시하는 데 있다.

둘째, 생태통로에 대한 조사·평가를 통해 적정 생태통로 대상지 선정에 위한 과학적 근거를 마련하고, 생태통로 관련 정보의 체계적인 관리를 위해 정보시스템의 기능 고도화를 추진하는 데 목적이 있다.

셋째, 로드킬 정보를 기반으로 신뢰성 있는 통계를 구축하고, 이를 활용하여 로드킬 다발구간을 분석·선정함과 동시에 저감대책의 효과를 검증하는 데 있다.

생태축 보전·복원 사업의 효과를 평가하기 위해서는 설치된 생태통로에 대한 야생동물의 이용 여부를 검증할 필요가 있다(Hardy, A. *et al.*, 2003). 야생동물의 이용 여부는 향후 생태통로 위치 선정과 설계 기준 수립, 로드킬 저감 대책 수립 등의 핵심적인 과학적 근거가 될 수 있으며, 각 대상지의 특성에 따라서도 이용 패턴이 상이할 수 있어 지속적인 사전·사후 모니터링의 병행을 통한 맞춤형 복원 전략을 구상할 필요가 있다(Van Der Ree, E. *et al.*, 2015).

생태축 연결·복원사업 1~3단계의 담당기관에서는 국립생태원으로 생태통로 설계 자문과 야생동물 모니터링에 대한 자문을 요청하는 사례가 꾸준히 증가하고 있다. 이에 국립생태원은 환경부의 「생태통로 설치 및 관리지침」에 따라 생태통로 설계자문을 실시하고 있으며, 2024년에는 「생태통로 모니터링 가이드라인」을 발간하여 담당기관에 야생동물 모니터링에 대한 자문을 수행하고 있다(환경부, 2023; 국립생태원, 2025, 그림 2).



그림 2. 생태통로 관련 지침 및 가이드라인

따라서 본 연구는 생태축 연결·복원사업 대상지인 백두대간 추풍령 생태통로에 대해 지속적인 모니터링을 수행하고, 금북정맥 및 호남정맥 생태통로의 설치 전 사전 모니터링 수행을 목적으로 하였다. 이를 통해 야생동물 이용 효과 검증을 위한 정량적 기초자료를 구축하고자 한다. 또한, 조사대상지를 포함한 국내 생태통로 전반의 설계자문 및 생태자문 현황을 종합적으로 검토함으로써 생태통로의 체계적인 관리방안을 제시하고자 하였다.

1. 연구내용 및 방법

가. 한반도 생태축 보전·복원 사업 효율성 검증 연구

1) 생태축 보전·복원 사업(백두대간 추풍령) 효과 검증

가) 복원사업 현황

환경부, 국토교통부, 김천시 등 관계부처와 국립생태원은 한반도 생태축 복원의 핵심사업으로 추풍령 생태축 연결·복원사업을 추진하였으며, 각 생태통로는 국도 2018년, 고속도로 2019년, 철도·시도 2020년 순으로 설치되었다. 이 중 철도·시도 생태통로가 완공된 2020년을 기점으로 백두대간 생태축의 구조적 연결이 완성되었다.

국립생태원은 생태통로 설치 이전인 2017~2018년에 백두대간 보호구역에 해당하는 눌의산 및 난함산 일대와, 고속도로·철도·시도·국도 등 선형 개발로 인해 단절된 인접 산림 패치 1, 2를 대상으로 포유류 사전 모니터링을 수행하였다(그림 3). 이후 생태통로 3개소의 설치가 모두 완료된 2021년부터는, 생태축 보전·복원 사업의 효과를 평가하기 위해 복원 후 야생동물 이용 효율성에 대한 모니터링을 지속적으로 수행하고 있다(환경부, 2024).

복원 이후 2024년까지 포유류의 출현종수는 지속적인 증가 추세를 보였으며, 복원대상지 전반에서 총 20종이 확인되었다. 이 중 천연기념물 및 멸종위기 야생생물 I·II급에 해당하는 법정보호종이 포함되어, 추풍령 생태축 복원대상지의 생태적 중요성과 핵심 서식지로서의 기능이 재확인되었다.

생태축 복원 이전(2017~2018년)에는 총 14종의 포유류가 관찰되었고, 일평균 출현빈도는 1.36회/일로 나타났으나, 복원 이후에는 2021년 17종(1.68회/일), 2022년 18종(1.78회/일), 2023년 18종(3.47회/일), 2024년 18종(5.03회/일)으로 출현종수와 출현빈도 모두 점진적인 증가 양상을 보였다. 또한, 3개소의 생태통로 내부 포유류 일평균 출현빈도는 2021년 이후 전반적인 증가 추세를 나타냈으며, 2024년 도로 유형별 포유류 출현빈도는 고속도로 생태통로(11.1회/일)가 철도·시도

생태통로(7.45회/일)와 국도 생태통로(4.64회/일)에 비해 높게 나타났다.

이러한 모니터링 결과는 추풍령 생태축 복원사업의 효과를 정량적으로 검증하는 기초자료로서 의미를 가지며, 지속적인 포유류 모니터링을 통해 향후 생태통로 설계 및 관리전략을 고도화하는 데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



그림 3. 추풍령 생태통로 모니터링 대상지 및 참조생태계 개황

나) 모니터링 방법

본 연구에서는 포유류의 생태통로 이용 효과를 평가하기 위해 무인센서카메라(HC600, HP2X; Reconyx Inc.)를 활용하여 생태통로 및 인접 산림을 이용하는 포유류의 출현종수와 일평균 출현빈도를 분석하였다. 추풍령 생태축 모니터링은 2021년부터 지속적으로 수행되고 있으며, 카메라를 이용해 자료를 수집하고 있다. 설치된 카메라는 총 28대로, 생태통로 내부에 16대, 인접 산림 패치에 12대를 운용 중이다(그림 4). 한편, 생태통로 내부에 설치된 카메라는 센서의 감지 범위, 촬영 각도, 중복 촬영 최소화를 고려하여 생태통로 중앙부에 일렬로 배치하였다(국립생태원, 2025; 그림 5).

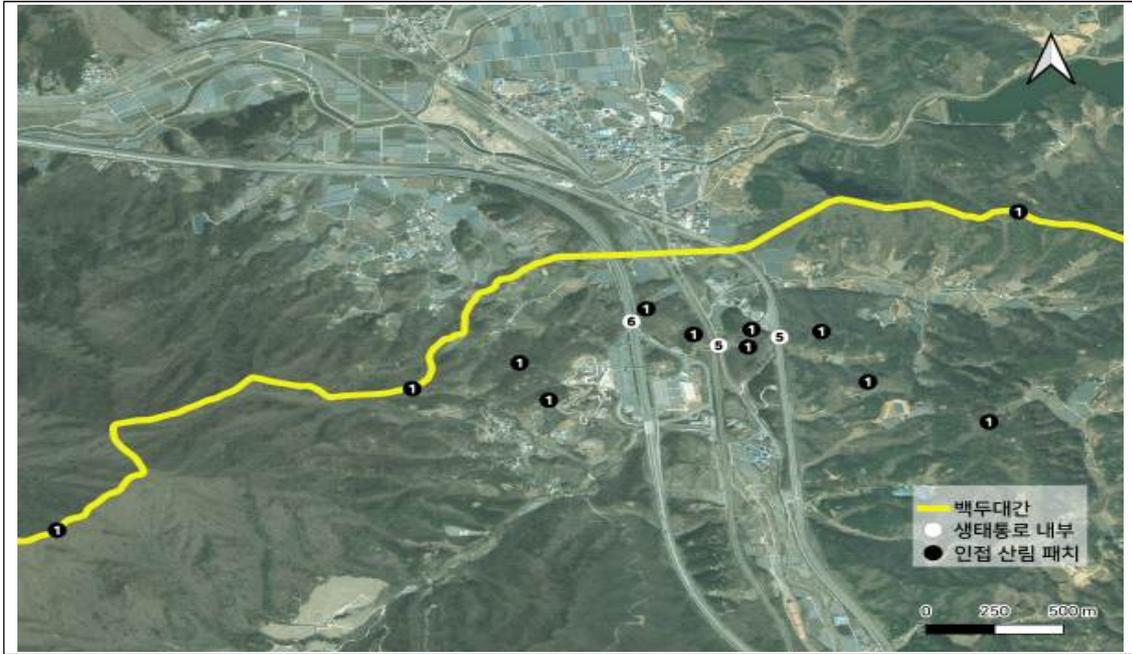


그림 4. 추풍령 생태축 무인센서카메라 설치 현황



그림 5. 생태통로 내부 무인센서카메라 설치 모식도

포유류 일평균 출현빈도는 생태통로 내부 카메라가 일렬로 설치된 점을 고려하여 각 카메라의 일평균 출현빈도를 산출 후 이를 합산하여 계산하였다(식 1). 이는 생태통로 내부를 하나의 연속된 공간으로 간주하여, 개별 카메라 간 중복 영향을 배제한 생태통로 전체 기준의 포유류 출현빈도를 산출하기 위함이다.

$$\text{일평균 출현빈도} = \sum_{i=1}^k \frac{N_i}{D_i} \dots\dots\dots(\text{식 1})$$

- k: 설치된 카메라 번호
- N_i: i번째 카메라의 독립적 포유류 촬영횟수
- D_i: i번째 카메라의 운용일수

2) 생태축 보전·복원 사업(금북정맥, 호남정맥) 효과 검증

가) 복원사업 현황

2017년 「한반도 생태축 보전·복원 2단계 추진전략 연구」에서 환경부에서 생태통로의 설치가 필요한 지역의 목록을 제시한 바 있다. 이 중 경부고속도로 천안-목천 구간의 금북정맥은 충청남도의 핵심 단절 지역으로 생태축 복원이 시급한 구간이다. 이를 효율적으로 추진하기 위해 2023년 7월 환경부, 충청남도, 천안시, 한국도로공사 등 관계 부처는 공동으로 「천안시 목천 금북정맥 생태축 복원사업 추진을 위한 업무협력」을 체결하였다. 생태통로 설치 예정지는 행정구역상 충청남도 천안시 동남구 목천읍 응원리 산 28-3에 위치한다. 해당 구간은 왕복 10차선 규모의 고속도로와 왕복 2차선 시도(충절로)가 개설된 곳으로, 일반적으로 육교형 생태통로가 설치되는 곳이 왕복 4차선 이하인 점을 고려할 때, 서식지 단절 폭이 상대적으로 큰 구간에 해당한다(표 1).

표 1. 도로 차선별 국내 생태통로 현황

(단위: 개소)

구분	육교형	터널형	계	비율
왕복4차선 이하	322	193	515	82.3
왕복4차선 초과	88	23	111	17.7
계	410	216	626	100

호남정맥 생태축 복원사업 대상지는 한반도 생태축 보전·복원 추진계획 3단계에서 선정되었으며, 2028년까지 생태적 연결성 회복을 목표로 복원사업이 추진되고 있다(그림 6). 대상지가 위치한 전북 완주군 구이면 백여리 일대는 국도 27호선과 군도(구이로), 농로 등이 교차하는 구간으로, 도로 및 인공구조물의 영향으로 생태축의 연속성이 저해된

공간적 특성을 보인다. 이에 따라 본 구간은 호남정맥의 생태적 연결성을 회복하기 위해 육교형 생태통로 설치가 필요한 대상지로 분류된다.



전주국토관리사무소

국토교통부

수신 국립생태원 복원생태팀
(경유)
제목 국도27호선 완주 구이면 백여리 생태통로 설치에 관한 대상지 현장자문 요청

1. 불소 국토교통 행정에 적극 협조해 주시는 귀 기관에 감사드립니다.

2. 우리사무소에서는 「생태이동통로 설치에 관한 생태조사연구(2006.6)」를 근거로 국도로 단절된 완주군 구이면 백여리 산 34-4지내 생태계 연결 및 야생동물의 원활한 이동을 위한 「국도27호선 완주 구이면 백여리 생태통로 설치공사 실시설계용역」을 시행중에 있습니다.

3. 이에 따라, 생태통로 설치 대상지와 관련한 현장자문 협의를 아래와 같이 요청하오니 참석하여 주시기 바랍니다.

가. 일시 : 24. 5. 24.(금) 10:30 -
나. 장소 : 국도27호선 완주군 구이면 백여리 산 34-4지내
다. 내용 : 생태통로 설치 대상지 현장 자문
붙.

전주국토관리사무소장

주요급 사물관리실장 2024. 5. 20.
발신자 2024 2024

시행 시달전국토관리사무소 (2024. 5. 21.) 접수

우 55306 전라북도 완주군 치서면 이서남로 205 전주국도 시설안전관리과 / TEL: 055-8911100-4711room
전화번호 052-220-9440 팩스번호 052-220-9447 / www.kmri.go.kr (비공개)

국도 27호선 완주 생태통로 설치 자문의견

(24. 06. 05. 국립생태원)

자문의견

구분	자문 의견
생태통로 설치	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전라북도 완주군 구이면 백여리 일대의 호남정맥 연결을 위해 국도 27호선 구이로, 주변 부세도로 상부의 육교형 생태통로가 적합함 ○ 생태통로의 폭은 30m 이상으로 건설하며, 진출입로는 자연지형과 자연스럽게 연결되도록 평균 경사도를 1:2 또는 이보다 완만하도록 설치가 필요함 ○ 생태통로 내 마운트 경사도는 1:2 또는 이보다 완만하도록 조성하여야 함 ○ 생태통로 내 양방향으로 차량의 불빛과 소음의 영향을 줄이기 위해 차단벽(방음벽) 설치가 필요함 ○ 유도울타리는 생태통로를 중심으로 상·하행선 양방향으로 각각 1km 이상 설치하여야 하며, 차단벽과 연결하여 이격이 없도록 설치가 필요함 ※ 생태통로 설치 예정지 주변의 기존 울타리 방음벽 낙석방지책 교량 타설은 연장에 포함 ○ 생태통로의 야생생물 모니터링을 위해 무인센서카메라 6대 이상 설치가 필요함 ○ 생태통로 설치와 관련된 기타사항은 「생태통로 설치 및 관리 지침(환경부, 2023.11)」을 참고하여 시공 바람

그림 6. 호남정맥(완주 구이) 생태축 복원사업 설치 자문

나) 모니터링 방법

금북정맥 및 호남정맥 생태축 복원사업의 효과 평가를 위해 생태통로 설치 전 사전 모니터링을 실시하였다. 사전 모니터링 자료는 생태통로 설치 이후 수행될 모니터링 결과와의 비교·분석을 목적으로 수집되었다.

포유류 사전 모니터링은 2025년 3월부터 9월까지 진행되었으며, 무인센서카메라 HP2X(Reconyx Inc.)를 이용하여 야생동물의 출현 양상(출현종수 및 출현빈도)을 파악하였다. 생태통로 설치 예정 지점을 기준으로 양측 산림을 1km × 1km 격자 4개로 구분하여 카메라를 운용하였다. 금북정맥은 북측 취암산과 남측 고려산에 각각 4대, 호남정맥은 서측 묵방산과 동측 오봉산에 각각 4대를 설치하였다(그림 7).

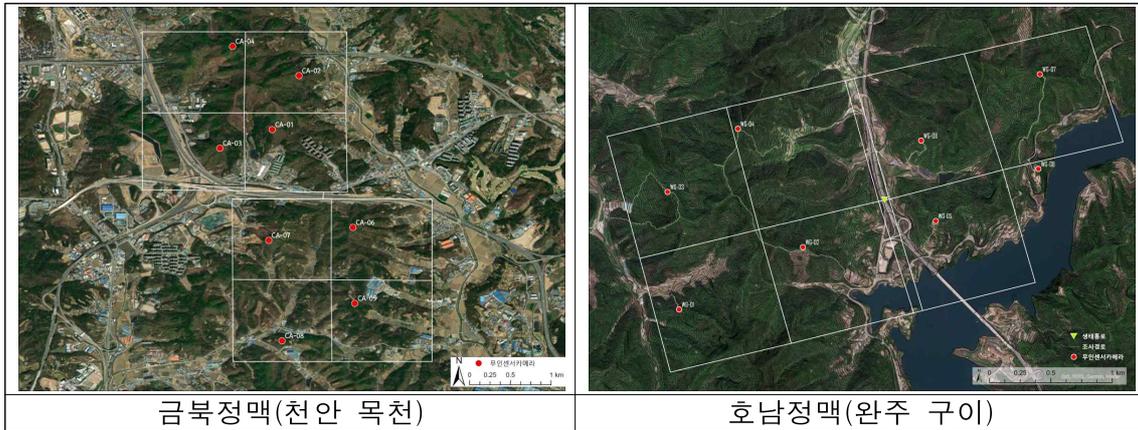


그림 7. 금북정맥, 호남정맥 복원대상지 포유류 사전 모니터링 구역

카메라에 촬영된 자료를 바탕으로 생태통로 설치 전 양측 산림의 출현 종과 일평균 출현빈도를 분석하였으며, 출현빈도는 하루당 촬영된 횟수로 산출하였다. 촬영된 포유류 중 개(*Canis lupus familiaris*)와 고양이(*Felis catus*)는 분석에서 제외하였고, 다람쥐(*Tamias sibiricus*)와 청설모(*Sciurus vulgaris*)를 제외한 종 동정이 명확하지 않은 설치목은 쥐과(Muridae)로 통합하여 분석하였다. 또한, 카메라 점검을 위해 현장을 방문할 때 분변, 발자국, 섭식 등의 흔적조사를 병행하였다(그림 8).



그림 8. 포유류 모니터링 방법

한편, 금북정맥과 호남정맥의 생태축 복원 효율성 평가를 위해 식생 사전 모니터링을 실시하였다. 조사방형구는 생태통로 설치 예정지를 중심으로 정맥의 양측 산림에서 3지점을 선정하였으며, 15m × 15m 또는 20m × 20m 면적의 조사구에서 조사를 수행하였다(그림 9).

식생조사는 Braun-Blanquet 방법에 따라 조사구 내 층위별로 출현종을 구분하여 각 종의 피도를 기록하였고, 우점종의 흉고직경(DBH), 높이, 식피율을 측정하였다(Braun-Blanquet, J., 1932; Mueller-Dombois, D. & Ellenberg, H., 1974; 김종원 & 이윤경, 2006). 조사된 결과를 바탕으로 출현종수, 군락구조, 종다양도 지수를 분석하여, 향후 생태통로 설치 후 비교·검증 기준으로 활용할 예정이다. 또한, 종다양도, 우점도 및 균등도 지수는 각 조사구 단위에서 계산 후 평균값을 산출하였다. 한편, 본 조사는 연 1회 실시되었으며, 계절적 종조성 변화를 고려하여 2026년에 추가 식생조사를 연 2회 실시할 계획이다.



그림 9. 금북정맥, 호남정맥 복원대상지 식생 조사지 현황

나. 한반도 생태축 보전·복원 사업 자문

1) 한반도 생태축 보전·복원 사업대상지 선정

도시화 과정에서 도로, 철도 건설 등 선형 개발 사업으로 인한 한반도 생태축의 단절과 훼손을 예방하기 위해 2013년 기후부, 국토교통부, 산림청은 합동으로 「한반도 핵심 생태축 연결·복원 추진계획(1단계, 2013년 ~ 2017년)」을 최초 수립하였다. 정부 합동 생태축 복원 사업은 5개년으로 추진되었으며, 국립생태원은 복원 사업 2단계(2018년 ~ 2022년), 3단계(2024년 ~ 2028년)에 대한 계획 수립 연구를 추진하였다. 연구의 주요 내용으로는 생태축 관련 부처별 관리 현황 및 성과 분석, 생태축 단절·훼손 분석 및 복원대상지 선정으로 구성되어 있다(기후부, 2018, 2023).

3단계의 복원 사업대상지 선정은 1단계 ~ 7단계로 구성되어 있다(기후부, 2023)(표 2). 1단계에서는 GIS 공간분석을 통한 대상지 선정을 위해 생태·자연도 등급, 토지피복 현황, 도로망, 백두대간 및 정맥 등의 생태축, 로드킬 다발구간, 법정보호종 분포, 생태통로, 터널 및 교량 등의 공간자료를 수집하였다. 2단계에서는 백두대간, 정맥, 기맥, 지맥의 생태축과 도로망이 중첩된 단절지를 추출하였다. 3단계에서는 추출된 단절지 중 동일 도로 선상에 위치한 기존 생태통로 반경 2km 이내와 교량 및 터널 반경 1km 이내에 포함되는 구간을 기존 시설에 의해 생태축의 기능이 작동하는 것으로 판단하여 단절지에서 제외하였다. 또한 지방자치단체 및 관계기관의 복원대상지 수요 조사를 통해 복원대상지 평가를 위한 목록을 구축하였다. 4단계에서는 분석 결과 선정된 복원대상지와 지자체 수요조사를 통해 구축된 대상지를 생태·자연도 등급, 생태축 위계, 산림면적, 법정보호종 분포, 로드킬 다발구간의 5개 항목으로 배점 평가를 수행하였다. 5단계에서는 배점 1순위에서 100순위로 나열한 뒤 도로 유형별로 고속도로, 지방도, 시·군·구도는 기후부, 국도는 국토부 사업으로 분류하여 순위를 재선정하였다. 6단계에서는 기후부, 국토부의 우선순위로 선정된 해당 지점의 관련 정보를 도로관리청에 제공하고 향후 복원 사업 시행 여부에 대한 의견을 수렴하였다. 복원 사업을 추진하기로 한 대상지에 대해 현장조사를 통해 도로 규모, 형태 및 도로 양측 산림의 고도 등의 현장조사를 통해 육교형 또는 터널형 생태통로의 유형을 선정하였다. 마지막 7단계에서는 생태축 복원 계획과 관련된 이해관계자인 기후부, 국토부, 지자체, 도로관리청, 국립생태원 등과 복원대상지 선정 협의를 통해 대상지를 최종 선정하였다.

표 2. 한반도 생태축 보전·복원 사업 3단계 대상지 선정

구분	주요 내용
1단계	GIS 공간분석을 위한 자료 수집
2단계	생태축(백두대간, 정맥 등)과 도로망이 중첩된 단절지 추출
3단계	기 시설(생태통로, 터널, 교량) 부근의 단절지 추출 목록 제외
4단계	5개 항목을 적용한 단절지 배점 평가
5단계	도로 유형별 우선순위 산정 및 부처별(기후부, 국토부) 사업 배정
6단계	관계기관 의견 수렴 및 현장 조사
7단계	관계기관 및 이해관계자의 복원대상지 협의 및 최종 선정

2) 보전·복원 사업 자문 의견 제시

생태축 복원 사업으로 선정된 기관은 생태통로 규모, 설치 위치, 주변 산림의 생물상, 개발 계획 등 사업을 추진함에 고려해야 할 전반적인 부분에 대한 기본계획을 수립하고 국립생태원으로 생태적인 자문과 이해관계자와의 협의를 진행한다. 기본계획을 기반으로 생태통로 구조물, 생태통로와 양측 지형의 연결성, 내부 식재, 유도울타리, 방음벽 등 사업의 시공이 가능하도록 모든 사항을 구체화한 최종 설계 단계인 실시설계를 진행하며, 국립생태원은 도면을 검토하여 기후부의 「생태통로 설치 및 관리 지침(2023년)」에 부합하는지에 대한 여부를 검토한 후 개선방안을 제시하였다.

사업 착공 후 현장 여건, 이해관계자와의 협의 불가 등으로 인해 실시설계 최종안과 같이 사업 추진이 불가능한 경우 이해관계자와 재협의하고 사업이 추진될 수 있는 방향으로 실시설계는 변경될 수 있으며, 국립생태원은 기후부 지침에 기반하여 변경안을 제시하였다. 최종 생태통로 설치 도면을 검토하고 생태통로 설치 후 생태통로 설치 현장 자문을 실시하였다.

2. 연구결과 및 고찰

가. 한반도 생태축 보전·복원 사업 효율성 검증 연구

1) 생태축 보전·복원 사업(백두대간 추풍령) 효과 검증

추풍령 생태축 복원사업의 효과를 평가하기 위해 포유류 모니터링을 수행한 결과, 무인센서카메라를 통해 2025년 4월부터 8월까지 14종의 포유류가 확인되었다(표 3). 이 중 법정보호종(천연기념물, 멸종위기 I, II 급)은 담비(*Martes flavigula*), 삿(Prionailurus bengalensis), 수달(*Lutra lutra*)이 확인되었으며, 고라니(*Hydropotes inermis*), 너구리(*Nyctereutes procyonoides*), 노루(*Capreolus pygargus*), 멧돼지(*Sus scrofa*), 오소리(*Meles leucurus*)는 는 모든 조사구역에서 공통적으로 출현하였다.

표 3. 추풍령 생태축 복원대상지 포유류 모니터링 현황

구역 카메라	생태통로			서식지			
	고속도로	철도	국도	A	B	C	D
1. 고라니 (<i>Hydropotes inermis</i>)							
2. 고슴도치 (<i>Erinaceus amurensis</i>)							
3. 너구리 (<i>Nyctereutes procyonoides</i>)							
4. 노루 (<i>Capreolus pygargus</i>)							
5. 다람쥐 (<i>Tamias sibiricus</i>)							
6. *담비 (<i>Martes flavigula</i>)							
7. 멧돼지 (<i>Sus scrofa</i>)							
8. 멧토끼 (<i>Lepus coreanus</i>)							
9. *삿 (<i>Prionailurus bengalensis</i>)							
10. *수달 (<i>Lutra lutra</i>)							
11. 오소리 (<i>Meles leucurus</i>)							
12. 족제비 (<i>Mustela sibirica</i>)							
13. 쥐과 (<i>Muridae</i>)							
14. 청설모 (<i>Sciurus vulgaris</i>)							
15. *하늘다람쥐 (<i>Pteromys volans</i>)							
법정보호종 수	1	0	2	2	2	2	3
종 수	8	6	8	8	9	9	14

*법정보호종(천연기념물 또는 멸종위기 I, II급)

생태통로별 포유류 모니터링 결과, 고속도로로 생태통로에서는 8종, 일평균 출현빈도 5.5회/일이 확인되었으며, 철도·시도 생태통로에서는 6종, 5.2회/일, 국도 생태통로에서는 8종, 4.2회/일을 나타냈다(그림 10). 한편, 추풍령 생태축 복원 대상지에 해당하는 패치 구역별 포유류 모니터링 결과, 산림에 해당하는 논의산을 포함한 A구역에서는 8종, 1.8회/일이 확인되었고, 고속도로와 철도 생태통로 사이 패치에 해당하는 B구역에서는 9종, 3.8회/일, 철도와 국도 생태통로 사이 패치인 C구역에서는 9종, 2.3회/일이 확인되었다. 특히 난함산을 포함한 D구역에서는 14종, 8.1회/일로 가장 높은 출현종수와 출현빈도가 나타났다(표 4-5).

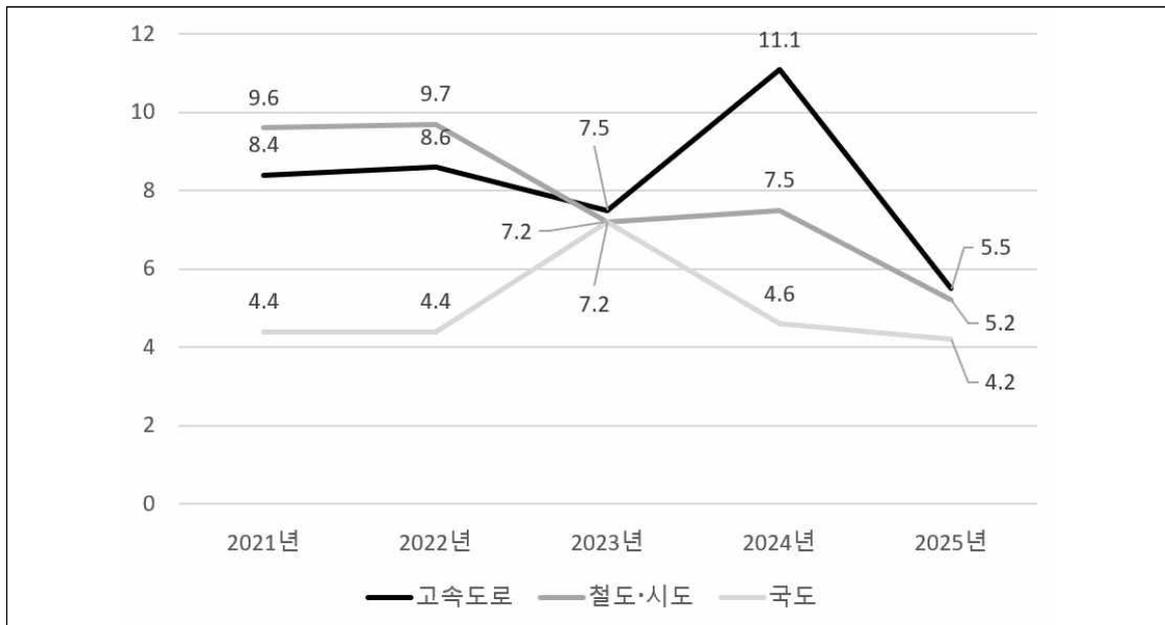


그림 10. 추풍령 생태축 복원 후 생태통로별 포유류 일평균 출현빈도

표 4. 추풍령 생태축 복원 전·후 산림 및 패치 포유류 모니터링 결과

구분	추풍령 생태축 모니터링					
	복원 전	복원 후				
	2017~2018	2021	2022	2023	2024	2025
출현종수	14종	17종	18종	18종	18종	14종
일평균 출현빈도	1.36회/일	1.68회/일	1.78회/일	3.47회/일	5.03회/일	4.00회/일

복원 대상지에 해당하는 패치 4개 구역(A-D)의 포유류 모니터링 결과, 구역별 출현종수와 출현빈도는 공간적 특성에 따라 차이를 보였다. 난함산을 포함하는 D구역은 비교적 넓은 산림 면적과 연속적인 산림 구조를 유지하고 있어 다양한 포유류의 이용이 가능했던 것으로 해석된다. 반면, B구역과 C구역은 도로 사이에 위치한 패치로서 공간적으로 제한된 특성을 가지지만, 일정 수준의 출현종수와 출현빈도가 확인되어 생태축 내 중간 거점 서식지로서의 가능성을 시사한다. 이에 비해 A구역은 산림에 해당함에도 불구하고 출현종수와 출현빈도가 상대적으로 낮게 나타났는데, 이는 김천추풍령테마파크 조성에 따른 보행로, 휴게시설 등 인공 시설물의 분포와 이에 따른 상시적인 관리·이용 활동의 영향을 함께 반영한 결과일 가능성을 배제할 수 없다. 이러한 결과는 복원 대상지로 설정된 패치 구역들이 단순한 산림 여부뿐만 아니라, 공간 구조와 인위적 이용 강도에 따라 상이한 생태적 이용 수준을 보일 수 있음을 시사한다.

한편, 생태통로 3개 지점(고속도로, 철도·시도, 국도)에 대한 포유류 모니터링 결과는 복원 수단으로서 생태통로의 이용 특성을 파악하기 위한 기초자료로 해석할 필요가 있다. 생태통로는 제한된 선형 공간 내에서 무인센서카메라가 운용되는 시설 특성상 출현빈도가 상대적으로 과대 산출될 가능성이 있으며, 이를 패치 구역이나 산림 구역의 결과와 동일한 기준으로 직접 비교하는 데에는 방법론적 한계가 존재한다(Clevenger & Waltho, 2000). 이에 따라 본 연구에서는 생태통로 지점의 모니터링 결과를 복원 효과로 단정지어 평가하기 위한 근거로 활용하기보다는, 복원 완료 이후 이용 변화 추이를 비교·분석하기 위한 기준자료로 해석하였다.

복원 전·후 포유류 모니터링 결과를 종합하면, 복원 이전(2017-2018년)에는 총 14종, 일평균 출현빈도 1.36회/일이 확인된 반면, 복원 이후(2021-2025년)에는 출현종수가 18종 수준으로 증가하고, 출현빈도 또한 전반적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 변화는 복원 완료 이후 일정 기간 동안 포유류 출현 양상이 지속적으로 유지되거나 확장되고 있음을 보여주는 결과로 해석될 수 있다. 다만, 연도별 출현빈도의 증가는 조사 기간과 계절 구성의 차이, 조사 공간의 구조적 특성 차이 등 다양한 요인의 영향을 함께 반영한 결과로 해석될 필요가 있으며, 이는 관찰된 생태적 변화가 단일 요인에 의해 설명되기

어렵다는 선행연구의 논의와도 맥을 같이 한다(Fahrig, 2003). 그럼에도 불구하고 복원 이후 장기간에 걸쳐 출현종수와 출현빈도가 안정적으로 유지되거나 증가한 점은, 추풍령 생태축 복원사업이 생태적 연결성 회복을 위한 기반을 마련하였음을 시사하며, 현재 진행 중인 지속적 모니터링을 통해 그 효과를 장기적으로 검증할 필요가 있다.

2) 생태축 보전·복원 사업(금북정맥, 호남정맥) 효과 검증

가) 금북정맥 사전 모니터링

금북정맥 생태축 복원사업의 효과 검증을 위해 포유류 사전 모니터링을 수행하였으며, 무인센서카메라를 통해 2025년 3월부터 9월까지 12종의 포유류가 확인되었다(표 6). 이 중 법정보호종(천연기념물, 멸종위기 I·II급)은 담비와 삿대지 확인되었으며, 고라니, 너구리, 오소리는 모든 조사구역 전반에서 출현이 확인되었다. 금북정맥 생태축 복원 대상지의 포유류 월평균 출현종수는 3.3종/월이며, 일평균 출현빈도는 0.9회/일로 나타났다. 북측 취암산 일대는 3.5종/월, 1.2회/일인 반면, 남측 고려산 일대는 3.1종/월, 0.6회/일로 확인되어 북측 조사구역에서 상대적으로 높은 출현 양상을 보였다. 종별 출현빈도를 비교한 결과, 고라니는 북측 취암산 일대에서 월평균 18.3회/월, 남측 고려산 일대에서 월평균 11.2회/월로 7.1회/월의 차이를 보였으며, 다음으로는 오소리(5.5회/월), 족제비(*Mustela sibirica*)(3.3회/월) 순으로 출현빈도 차이가 나타났다.

이러한 사전 모니터링 결과는 금북정맥이 해당 구간에서 도로를 경계로 양측 산림의 포유류 출현 양상에 차이가 존재함을 보여주며, 이는 도로가 야생동물 이동과 공간 이용에 영향을 미치는 생태적 경계로 작용할 수 있음을 지적한 선행연구의 논의와도 일치한다(Forman & Alexander, 1998). 특히 본 대상지는 왕복 10차선의 고속도로와 왕복 2차선의 시도가 지나는 구간으로, 구조적·기능적으로 포유류의 횡단이 매우 제한되는 차단 환경에 해당한다. 이러한 조건에서 확인된 고라니의 출현빈도 차이는, 도로 횡단 가능성의 차이라기보다는 활동 범위가 넓고 공간 이용이 활발한 종에서 도로를 경계로 한 서식지 이용의 분리 또는 편중된 이용 양상이 나타났음을 반영한 결과로 해석될 수 있다. 이는 도로 영향이 종의 이동·회피 특성에 따라 공간 이용 패턴을 다르게 형성할 수 있음을

제시한 기존 연구 결과와도 부합한다(Jaeger *et al.*, 2005). 다만 본 결과는 생태통로 설치 이전의 현황을 진단한 사전 모니터링 자료로서, 도로에 따른 생태적 영향의 정도를 정량적으로 규명하기에는 한계가 있다. 따라서 향후 복원 이후 동일 지점에 대한 반복 모니터링을 통해, 포유류 출현 양상의 변화 추이를 비교·분석함으로써, 생태통로 설치에 따른 생태적 연결성 회복 효과를 종합적으로 평가할 필요가 있다.

표 6. 금북정맥 생태축 복원대상지 포유류 사전 모니터링 현황

구역 카메라	북측 취암산				남측 고려산			
	1	2	3	4	5	6	7	8
종(학명)								
1. 고라니 (<i>Hydropotes inermis</i>)								
2. 고슴도치 (<i>Erinaceus amurensis</i>)								
3. 너구리 (<i>Nyctereutes procyonoides</i>)								
4. 노루 (<i>Capreolus pygargus</i>)								
5. 다람쥐 (<i>Tamias sibiricus</i>)								
6. *담비 (<i>Martes flavigula</i>)								
7. 멧돼지 (<i>Sus scrofa</i>)								
8. 멧토끼 (<i>Lepus coreanus</i>)								
9. *삿대 (<i>Prionailurus bengalensis</i>)								
10. *수달 (<i>Lutra lutra</i>)								
11. 오소리 (<i>Meles leucurus</i>)								
12. 족제비 (<i>Mustela sibirica</i>)								
13. 쥐과 (<i>Muridae</i>)								
14. 청설모 (<i>Sciurus vulgaris</i>)								
15. *하늘다람쥐 (<i>Pteromys volans</i>)								
법정보호종 수	1	1	2	2	1	0	1	1
총 수	6	5	7	7	8	4	7	6

*법정보호종(천연기념물 또는 멸종위기 I, II급)

금북정맥 생태통로 설치 예정지 중심 양측 산림에서 식생 조사한 결과, 전체 41과 57속 62종 5변종, 총 67분류군이 출현하였다(그림 11). 방형구1은 24과 27속 32종 2변종 34분류군, 방형구2는 19과 23속 24종 2변종으로 26분류군, 방형구3은 16과 17속 19종 1변종으로 20분류군, 방형구4는 19과 25속 28종 2변종으로 총 30분류군, 방형구5는 18과 21속 22종 2변종으로 24분류군, 방형구6은 17과 21속 20종 2변종으로 22분류군이 출현하였다(그림 11). 방형구별 출현종수는 평균 26종으로 확인되었다.

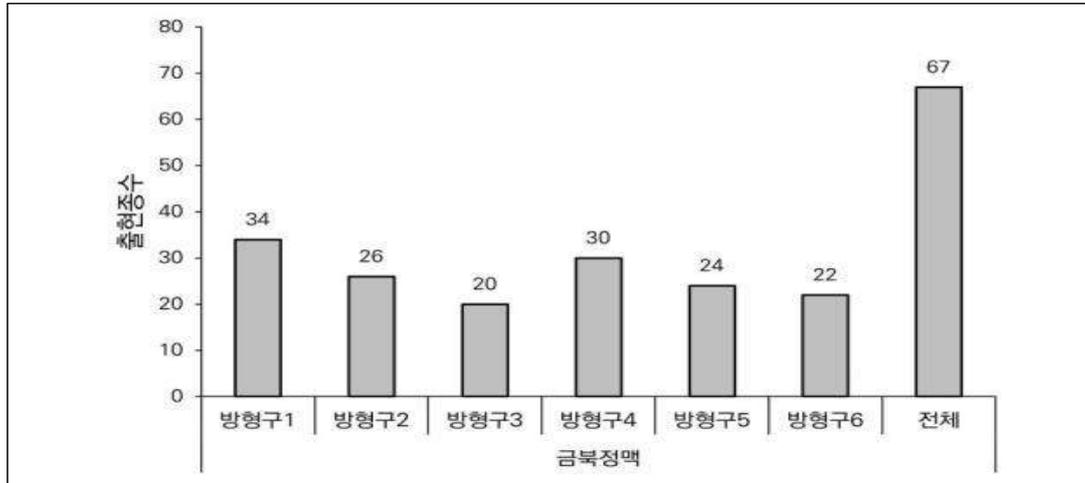


그림 11. 금북정맥 방형구별 출현종수

식생 군락은 교목층의 경우, 상수리나무(*Quercus acutissima* Carruth.)와 굴참나무(*Quercus variabilis* Blume)가 우점하는 형태였으며, 아교목층에는 갈참나무(*Quercus aliena* Blume)가 적은 비율로 출현하였다. 또한, 관목층에는 졸참나무(*Quercus serrata* Murray), 비목나무(*Lindera erythrocarpa* Makino), 팔배나무(*Sorbus alnifolia* (Siebold & Zucc.) K. Koch), 갈참나무 등이 출현하였고, 초본층에는 적은 비율의 담쟁이덩굴(*Parthenocissus tricuspidata* (Siebold & Zucc.) Planch.)이 분포하는 양상을 보였다. 층위별 비교 결과, 교목층의 식피율은 평균 89.2%, 평균수고는 15.5m로 나타났으며, 아교목층의 식피율은 평균 10%, 평균수고는 8m로 나타났으나, 대부분의 방형구에서는 발달하지 않은 것으로 나타났다. 그리고 관목층의 평균수고는 3.1m, 식피율은 평균 30%로 나타났으며, 초본층은 대부분의 방형구에서 10% 미만의 식피율을 가지는 것으로 확인되었다(그림 12). 전체적으로 식생 구조는 교목층과 관목층이 발달하고, 아교목층과 초본층은 빈약한 구조를 보였다(그림 13).

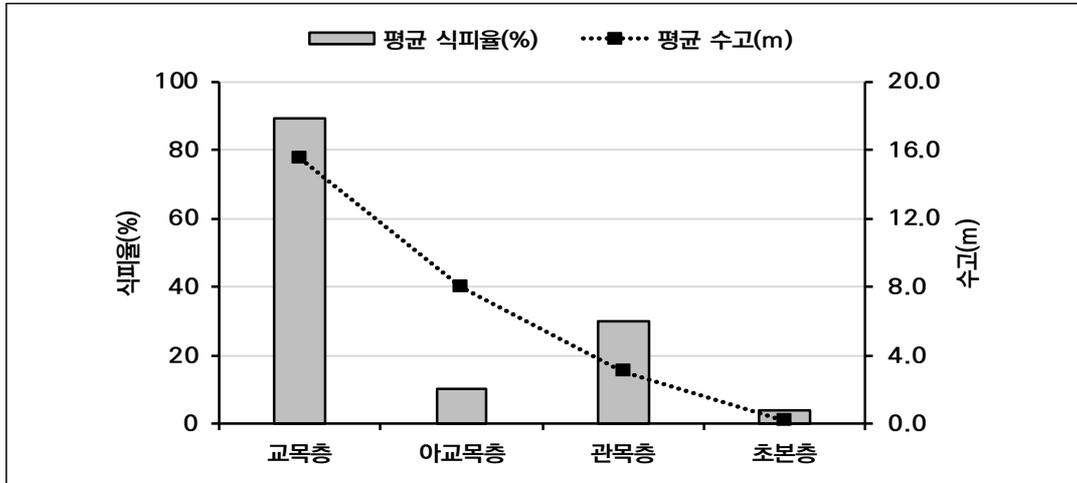


그림 12. 금북정맥 층위별 평균 식피율 및 평균 수고



그림 13. 금북정맥 조사지 식생 군락 비교

또한, 전체 조사대상지의 우점도(DI)는 0.22, 종다양도(H')는 3.19, 종균등도(J)는 0.96으로 나타났다. 다만, 종다양도는 특정값을 기준으로 높고 낮음을 판단하는 데에는 한계가 있으며, 지역 또는 유형에 따른 상대적 비교를 통해 해석하는 것이 타당하다(Lee *et al.*, 2013). 본 조사 결과는 사전 조사적 의미가 있으며, 향후 수행될 2차 조사와 생태통로의 설치 이후의 조사를 통해 종다양도의 시간적·공간적인 비교를 할 계획이다.

나) 호남정맥 사전 모니터링

호남정맥 생태축 복원사업의 효과 검증을 위해 포유류 사전 모니터링을 수행하였으며, 무인센서카메라를 통해 2025년 3월부터 9월까지 12종의 포유류가 확인되었다(표 7). 이 중 법정보호종(천연기념물, 멸종위기 I·II급)은 담비, 삿, 하늘다람쥐(*Pteromys volans*)가 확인되었으며, 고라니, 너구리, 노루, 오소리는 모든 조사구역에서 공통적으로 출현하였다. 호남정맥 생태축 복원 대상지의 포유류 월평균 출현종수는 4.4종/월이며, 일평균 출현빈도는 1.1회/일로 나타났다. 서측 묵방산 일대는 월평균 5.0종/월, 일평균 1.4회/일로 확인된 반면, 동측 오봉산 일대는 월평균 3.8종/월, 일평균 0.7회/일로 나타나 서측 조사구역에서 전반적으로 높은 출현 양상을 보였다. 종별 출현빈도를 비교한 결과, 오소리는 서측 묵방산 일대에서 월평균 23.9회/월, 동측 오봉산 일대에서 월평균 5.8회/월로 18.1회/월의 가장 큰 차이를 보였으며, 다음으로는 다람쥐와 너구리가 각각 2.0회/월의 출현빈도 차이를 나타냈다. 이러한 결과는 호남정맥이 해당 구간에서 도로 및 인공구조물을 경계로 양측 산림의 포유류 출현 양상에 차이가 존재함을 보여준다.

호남정맥 사전 모니터링 결과는 국도 왕복 4차선, 군도 왕복 2차선, 농로 등이 복합적으로 분포한 구간에서 도로가 생태축 내 포유류의 공간 이용에 영향을 미치는 요인으로 작용하고 있음을 시사한다. 이는 대규모 고속도로뿐만 아니라, 중·소규모 도로 역시 야생동물 이동과 서식지 이용에 있어 생태적 경계로 기능할 수 있음을 지적한 선행연구의 논의와도 일치한다(Forman & Alexander, 1998). 특히 오소리에서 확인된 뚜렷한 출현빈도 차이는, 본 대상지가 구조적으로 포유류의 횡단이 완전히 차단된 환경이라기보다는, 도로를 경계로 서식지 이용의

비대칭성이 형성된 공간임을 반영한 결과로 해석될 수 있다. 오소리는 야행성 활동을 보이며 비교적 공간 이용이 활발한 종으로 알려져 있으며, 이러한 특성으로 인해 도로 인접 환경에서도 활동이 지속되는 동시에 도로를 경계로 한 공간 이용 패턴의 차이가 보다 뚜렷하게 나타날 가능성이 있다. 이는 도로 영향이 종의 이동 특성과 공간 이용 전략에 따라 다르게 나타날 수 있음을 제시한 기존 연구 결과와도 부합한다(Jaeger *et al.*, 2005). 다만 본 결과는 생태통로 설치 이전 단계에서의 현황을 파악하기 위한 사전 모니터링 자료로서, 도로에 따른 생태적 영향의 강도를 정량적으로 평가하거나 단절 효과를 직접적으로 규명하는 데에는 한계가 있다. 따라서 향후 복원 이후 동일 지점에 대한 반복 모니터링을 통해, 포유류 출현 양상과 공간 이용 변화 추이를 비교·분석함으로써, 생태통로 설치에 따른 생태적 연결성 회복 효과를 보다 종합적으로 평가할 필요가 있다.

표 7. 호남정맥 생태축 복원대상지 포유류 사전 모니터링 현황

구역 카메라	서측 묵방산				동측 오봉산			
	1	2	3	4	5	6	7	8
종(학명)								
1. 고라니 (<i>Hydropotes inermis</i>)								
2. 고슴도치 (<i>Erinaceus amurensis</i>)								
3. 너구리 (<i>Nyctereutes procyonides</i>)								
4. 노루 (<i>Capreolus pygargus</i>)								
5. 다람쥐 (<i>Tamias sibiricus</i>)								
6. *담비 (<i>Martes flavigula</i>)								
7. 멧돼지 (<i>Sus scrofa</i>)								
8. 멧토끼 (<i>Lepus coreanus</i>)								
9. *삿대 (<i>Prionailurus bengalensis</i>)								
10. *수달 (<i>Lutra lutra</i>)								
11. 오소리 (<i>Meles leucurus</i>)								
12. 족제비 (<i>Mustela sibirica</i>)								
13. 쥐과 (<i>Muridae</i>)								
14. 청설모 (<i>Sciurus vulgaris</i>)								
15. *하늘다람쥐 (<i>Pteromys volans</i>)								
법정보호종 수	2	2	2	2	0	0	2	2
종 수	11	9	8	8	7	5	7	7

*법정보호종(천연기념물 또는 멸종위기 I, II급)

호남정맥 생태통로 설치 예정지 중심 양측 산림에서 식생 조사한 결과, 46과 62속 80분류군이 출현하였다(그림 14). 방형구1은 26과 34속 36종 2변종 3품종으로 총 41분류군, 방형구2는 26과 31속 34종 1변종 1아종으로 36분류군, 방형구3은 24과 27속 31종 1품종으로 32분류군, 방형구4는 21과 25속 27종 1변종으로 총 28분류군, 방형구5는 22과 23속 26종 1변종 1품종으로 28분류군, 방형구6은 18과 21속 21종 2변종 1품종으로 24분류군이 출현하였다(그림 14). 방형구별 출현종수는 평균 32종으로 확인되었다.

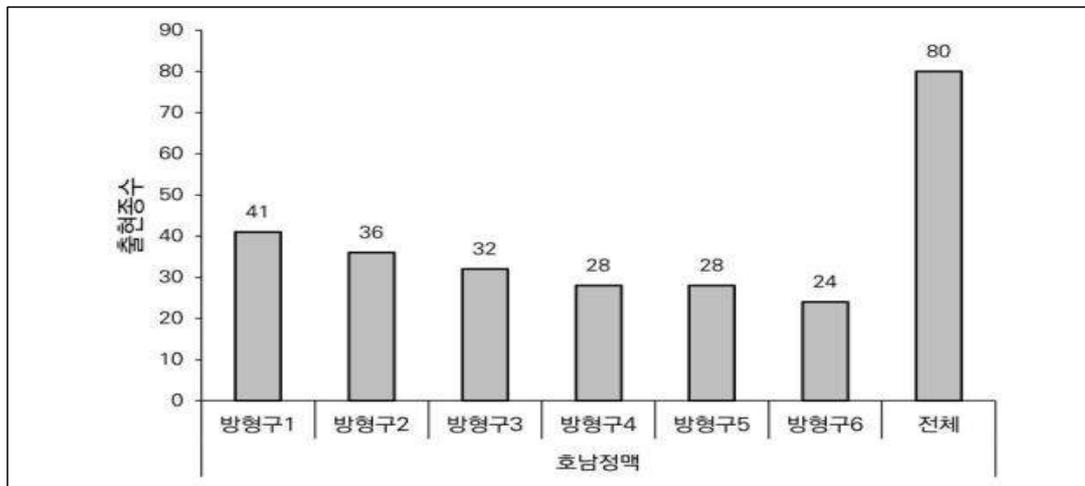


그림 14. 호남정맥 방형구별 출현종수

식생 군락은 교목층의 경우, 소나무(*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.), 갈참나무, 상수리나무가 우점하는 형태였으며, 아교목층에는 주로 때죽나무(*Styrax japonicus* Siebold & Zucc.), 까마귀베개(*Rhamnella franguloides* (Maxim.) Weberb.), 갈참나무 등이 출현하였다. 관목층에는 털평나무(*Viburnum erosum* Thunb.), 생강나무(*Lindera obtusiloba* Blume), 때죽나무, 까마귀베개 등이 주로 출현하였고, 초본층에는 주름조개풀(*Oplismenus undulatifolius* (Ard.) Roem. & Schult.)이 분포하는 양상을 보였다. 층위별 비교 결과, 교목층의 식피율은 평균 81.7%, 평균수고는 14.3m로 나타났으며, 아교목층의 식피율은 평균 25%, 평균수고는 8.5m로 나타났다. 또한, 관목층의 식피율은 평균 45.8%, 평균수고는 2.5m였으며, 초본층의 식피율은 5~40% 사이로 나타났다(그림 15). 전체적으로 식생 구조는 교목층부터 초본층까지 비교적 균형 있게 발달한 다층 구조를 보였다(그림 16).

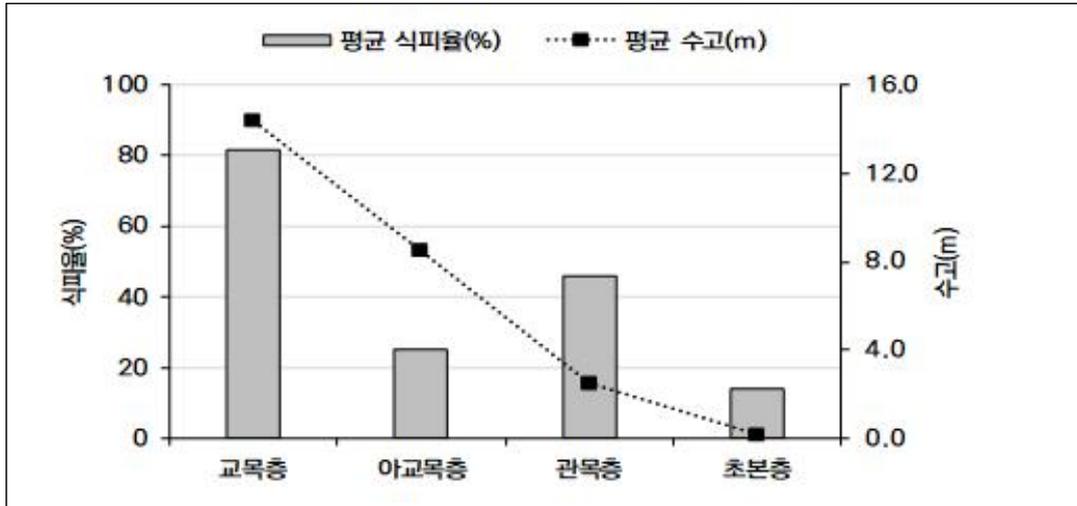


그림 15. 호남정맥 층위별 평균 식피율 및 평균 수고

한편, 호남정맥 전체 조사대상지의 종우점도(DI)는 0.19, 종다양도(H')는 3.35, 종균등도(J)는 0.96으로 나타났다. 금북정맥과 비교할 때, 호남정맥은 상대적으로 높은 종다양도와 낮은 우점도를 보였으며, 종균등도 또한 유사한 수준으로 나타나 종 분포가 비교적 고르게 유지되는 경향을 보였다. 반면, 금북정맥은 상대적으로 우점도가 높고, 종다양도가 낮아, 소수종에 의한 지배 경향이 나타난 것으로 해석되었다(표 8). 아울러 본 연구 결과는 향후 수행될 조사 결과와의 비교를 통해 종다양도 변화 양상에 대한 종합적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

표 8. 정맥별 종다양도 지수 비교

구분	호남정맥	금북정맥
DI(우점도)	0.19±0.02	0.22±0.04
H'(종다양도)	3.35±0.20	3.19±0.21
J(균등도)	0.96±0.01	0.96±0.01



그림 16. 호남정맥 조사지 식생 군락 비교

나. 한반도 생태축 보전·복원 사업 자문

1) 한반도 생태축 보전·복원 사업대상지 선정

한반도 생태축 연결·복원사업은 국비 70%, 지방비 30%의 재원 구조로 추진되며, 해당 예산은 생태통로 건설에 한하여 집행된다. 생태통로 설치와 관련된 토지 매입 등 지자체 부담 사항은 지방비로 사전에 확보되어야 한다. 1단계 사업은 백두대간을 중심으로 한 생태축의 연결성 강화를 목적으로 생태통로 50개소 조성을 계획하였다. 기후부, 국토교통부, 산림청이 공동으로 참여하여 사업을 추진한 결과, 전체 대상지 중 40개소(80%)가 완료되었으며(표 9), 부처별 완료 실적은 기후부 19개소 중 16개소, 국토교통부 17개소 중 16개소, 산림청 14개소 중 8개소로 나타났다. 다만, 일부 대상지는 토지 매입 지연 및 설계 변경 등의 사유로 공정이 지연되어 2021년에 설치되었다. 10개소는 사유지 매입 곤란, 신규 도로 개설 및 선형 개량 필요, 지방비 예산 미확보 등의 사유로 사업 추진이 이루어지지 못하였으며, 이 중 일부 사업은 관계기관 간 협의를 통해 2단계 사업으로 이관되었다.

표 9. 한반도 생태축 연결·복원 사업 1단계 추진 현황(2013~2017)

부처	계획	추진실적			
		총계	완료	공사중	교부/설계
기후부	19	16	16	-	-
국토부	17	16	16	-	-
산림청	14	8	8	-	-
총계	50	40	40	-	-

2단계 사업에서는 백두대간 및 정맥을 중심으로 한 생태축 복원을 지속하는 한편, 훼손지의 면적 단위 복원과 신규 도로 개설로 인해 기능을 상실한 기존 도로를 자연 상태로 회복시키는 폐도 복원사업을 추가로 추진하였다. 이에 따라 사업의 범위는 기존의 선형 중심 복원에서 선형과 면적을 병행하는 복원 방식으로 확대되었다. 부처별 추진 현황을 보면, 기후부가 수행한 58개소 중 38개소가 완료되었으며, 3개소는 현재 사업이 진행 중이다(표 10). 국토교통부는 대상지 14개소 중 11개소를

완료하였고, 3개소는 사업 추진이 취소되었으며, 산림청은 총 10개소 중 8개소를 설치하였다.

표 10. 한반도 생태축 연결·복원 사업 2단계 추진 현황(2019~2023)

부처	계획	추진실적				
		총계	완료	공사중	교부/설계	보류/불가
기후부	58	41	38	2	1	17
국토부	14	11	11	-	-	3
산림청	10	8	5	3	-	2
총계	82	60	54	5	1	22

3단계 사업에서는 백두대간과 정맥에 국한되었던 기존 생태축 복원 범위를 기맥 및 지맥까지 확대하여 사업을 추진하였다. 전체 대상지 44개소 중 기후부는 2개소를 완료하였고 5개소를 추진 중이며, 국토교통부는 9개소, 산림청은 2개소의 사업을 각각 진행하고 있다(표 11).

표 11. 한반도 생태축 연결·복원 사업 3단계 추진 현황(2024~2028)

부처	계획	추진실적		
		총계	완료	공사중
기후부	19	7	2	5
국토부	15	9	-	9
산림청	10	2	-	2
총계	44	18	2	16

2) 보전·복원 사업 자문 의견 제시

가) 천안 목천 금북정맥 생태축

충청남도 천안시 동남구 목천읍 응원리 일대는 1단계 생태축 연결·복원 사업대상지로 선정되었지만 예산 문제와 관계기관 협의 등으로 인해 2단계 사업으로 이관되어 추진중에 있다(그림 17). 금북정맥은 금강 북측에 분포하는 산줄기로, 안성시 칠장산에서 태안반도 안흥진에 이르기까지 약 290km에 걸쳐 이어지는 한반도의 주요 정맥 중 하나이다. 해당 지역은 경부고속도로 왕복 9차로와 천안시 시도인 충절로 왕복 2차로가 통과하는 구간으로, 복수의 도로 시설로 인해 생태축

단절이 중첩된 지역에 해당한다. 또한, 주변 개발로 인한 시가화가 진행되어 도로에 의한 선형 단절과 면적 훼손이 동시에 발생하고 있으며, 이로 인해 생태통로 설치가 가능한 구간이 제한적인 여건을 보이고 있다.



그림 17. 천안 목천 생태축 복원 대상지

국립생태원, 기후부, 충청남도, 천안시, 한국도로공사는 금북정맥 복원사업의 원활한 추진과 사업 이행의 신속성을 확보하기 위하여 2023년에 업무협력 협약(MOU)을 체결하였다(그림 18). 본 협약을 통해 관계 기관 간 역할 분담과 협력 체계가 구축되었다. 국립생태원은 금북정맥 복원사업 전반에 걸쳐 생태적 전문성을 바탕으로 자문을 수행하고 사업 추진 효과를 점검하기 위한 사전, 사후 모니터링을 실시하는 역할을 담당하며, 현재 포유류와 식물상에 대한 조사를 수행중에 있다.

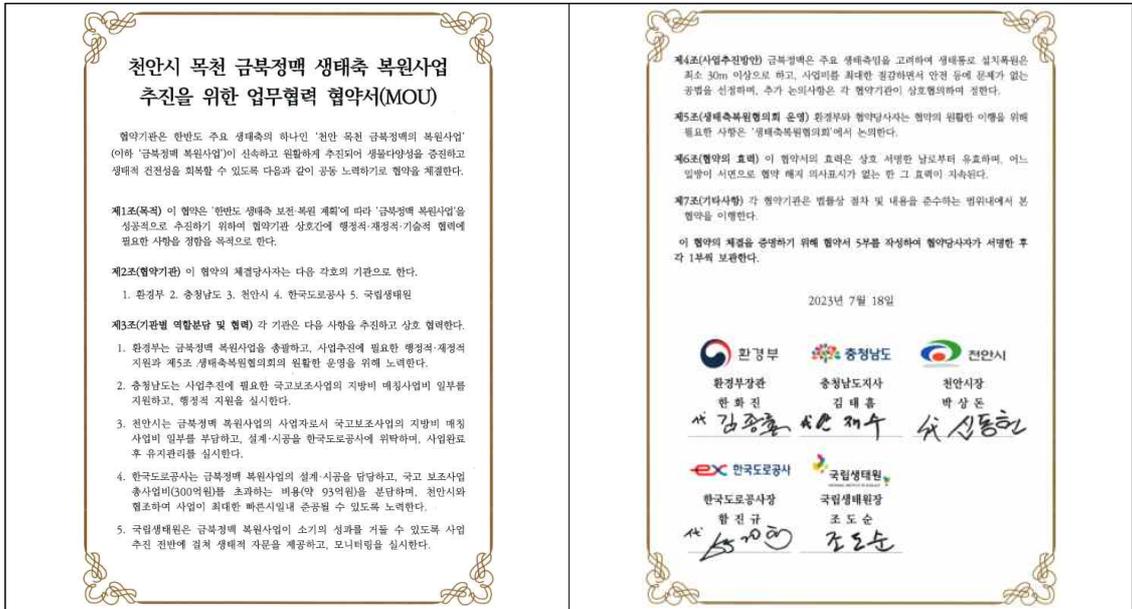


그림 18. 천안 목천 금북정맥 생태축 연결·복원 업무협력 협약서(MOU)

천안시 목천읍에 위치한 금북정맥 생태통로는 폭 약 50m, 연장 약 120m 규모로 계획되었으며(그림 19), 대규모 구조물 시공이 요구되는 사업에 해당한다. 공사 수행 가능성을 사전에 검토하기 위하여 현지 측량 결과와 현황도를 바탕으로 전력시설, 인접 가옥, 맨홀, 옹벽 등 주변 부대시설에 대한 입지 및 영향 분석이 필요하다. 아울러 생태통로 설치 공사를 원활히 추진하기 위해 충청로 북측에 위치한 개인 사유지를 일정 기간 임차하여 공사용 부지로 활용하는 계획이 수립되었다.

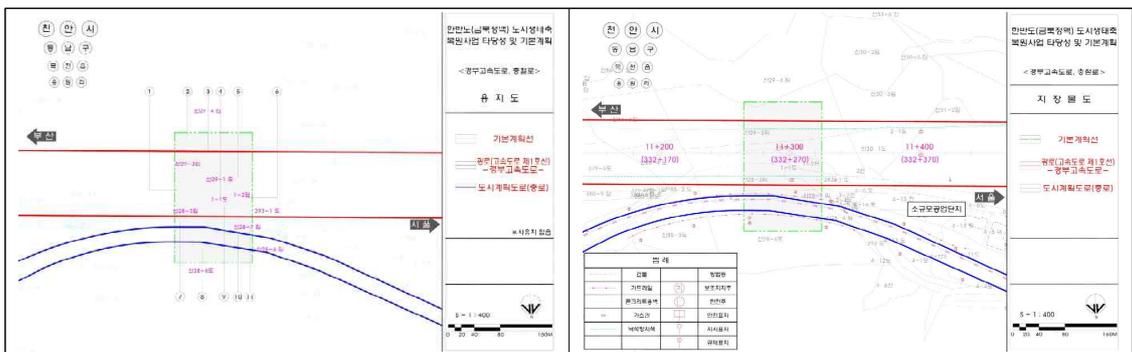


그림 19. 천안 목천 금북정맥 생태축 복원 대상지 용지도(좌) 및 지장물도(우)

생태통로 내부 식생은 주변 식물상과의 연속성과 생태적 유사성을 확보할 수 있도록 동일하거나 유사한 수종을 중심으로 식재하는 것이 기후부 지침에 명시되어 있어, 조경 목적의 수종은 식재 목록에서

제외하는 방안을 제시하였다(그림 20). 상록교목의 경우 주변 식생과의 유사성을 고려하여 기존에 계획된 잣나무 대신 소나무를 식재하되, 초기 정착과 생육 안정성을 확보하기 위하여 수령이 높은 묘목을 우선적으로 선정하는 방안을 제시하였다. 낙엽교목은 느티나무, 복자기, 산딸나무, 살구나무 대신 졸참나무, 당단풍, 팔배나무, 산벚나무로 대체하는 방안을 제시하여 자연 식생과의 조화를 도모하고자 하였다. 상록관목의 경우 남부 수종에 해당하는 사철나무는 대상지 환경과의 적합성이 낮은 것으로 판단되어 조팝나무로 대체하는 안을 제시하였으며, 낙엽관목은 명자나무 대신 병꽃나무, 국수나무, 조팝나무 등 산림 임연부에 주로 분포하는 수종을 도입하는 방안을 제시하였다.

생태통로의 야생동물 이용 효율성을 증대시키기 위해 유도울타리는 핵심적인 부대시설 중 하나이다. 이에 본 자문에서는 기후부 지침에 따라 생태통로를 중심으로 좌·우 양방향 각각 1km 구간에 유도울타리를 설치하는 방안을 제시하였다. 또한 생태통로 건설 예정지 남측 입구부에 위치한 개인 사유지에 대해서는 사전 매입을 제안하여, 향후 생태통로 설치 이후 주변 개발로 인한 시설 기능 저하를 예방하고 생태통로의 장기적인 이용 효율성을 확보하고자 하였다.

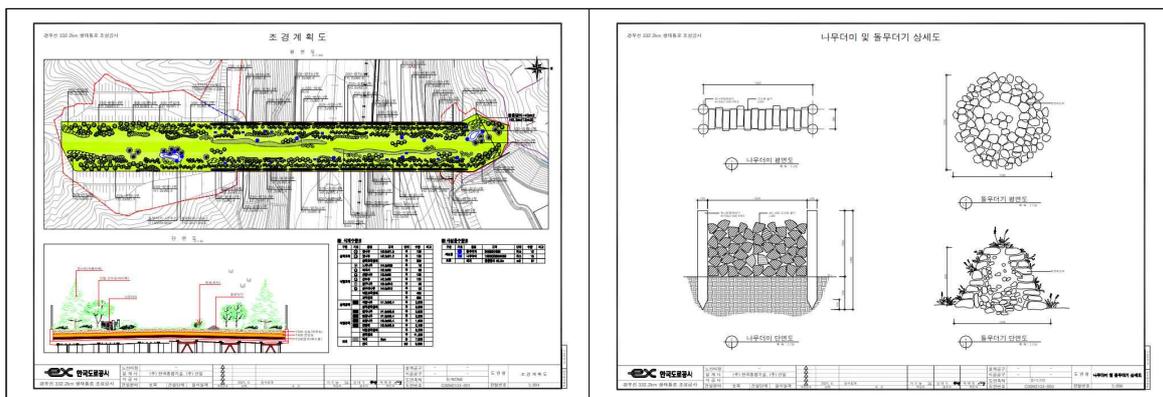


그림 20. 천안 목천 생태통로 식재(좌) 및 생물 은신처 도면(우)

나) 광주 북구 장원지맥 생태축

광주광역시 북구 장등동을 통과하는 장원지맥은 국도 29호선과 호남고속도로로 인해 이중으로 단절된 구간으로 파악되었다. 국도 29호선은 광주광역시 북구로 관리 권한이 위임되어 있으며, 현재 관련 생태축 복원사업 또한 북구 주관으로 추진되고 있다. 그러나 해당 구간은

단일 도로 구간에 대한 복원만으로는 생태적 연결성 회복에 한계가 있으며, 호남고속도로와 국도 29호선을 동시에 연계하는 복원 방안이 마련되어야 실질적인 생태축 복원이 가능한 것으로 판단된다. 현재 국도 29호선 구간에 대해서는 사업이 진행 중이나, 호남고속도로 구간은 예산 확보 등의 제약으로 인해 관계 기관 및 이해관계자 간의 협의가 지속적으로 이루어지고 있는 단계이다.

생태통로 내부의 토양 상부는 우드칩으로 조성하여 외래종 유입을 억제하고, 천이에 따른 하부 식생의 과도한 밀식으로 인해 야생생물의 이동 및 이용이 저해되는 것을 방지할 수 있는 방안을 제시하였다(그림 21). 또한 생태통로 설치 대상지 주변 서식지의 식생 구성 및 생태적 특성을 고려하여 식재 수종을 재검토하였다(그림 21). 상록교목은 기존에 검토되었던 반송, 잣나무, 홍가시나무 대신 주변 산림 식생과의 유사성이 높은 소나무를 식재하는 방안을 제시하였다. 낙엽교목은 꽃사과, 매실나무, 배롱나무, 산수유, 마가목, 층층나무 대신 대상지 인근 산림에 분포하는 산벚나무 및 참나무류를 중심으로 식재하여 생태적 연속성을 강화하고자 하였다. 상록관목은 사철나무와 호랑가시나무의 식재를 제시하였으며, 낙엽관목은 낙상홍, 박태기나무 대신 병꽃나무, 국수나무, 조팝나무, 싸리 등 산림 임연부에 주로 분포하는 수종으로 대체하는 방안을 검토하였다. 한편, 지피식물로 계획되었던 원추리는 대상지 환경과의 적합성이 낮은 것으로 판단되어 식재 대상에서 제외하는 방안을 제시하였다.

식재 도면상 수목의 배열은 생태통로를 이용하는 야생생물의 이동에 큰 지장이 없는 것으로 검토되었다. 다만, 관목의 경우 교목 하부에 과도하게 밀식될 경우 야생생물의 통행을 저해할 우려가 있으므로, 적정 식재 간격을 유지하여 배치하는 방안을 제시하였다. 초본류 식재 계획과 관련하여서는 수종별 생육 특성을 고려하여 구절초는 일조가 양호한 개방 공간에, 맥문동은 교목 하부의 음지 환경에, 벌개미취는 수분 공급이 가능한 물웅덩이 주변에 각각 식재하는 방안을 제안하였다.

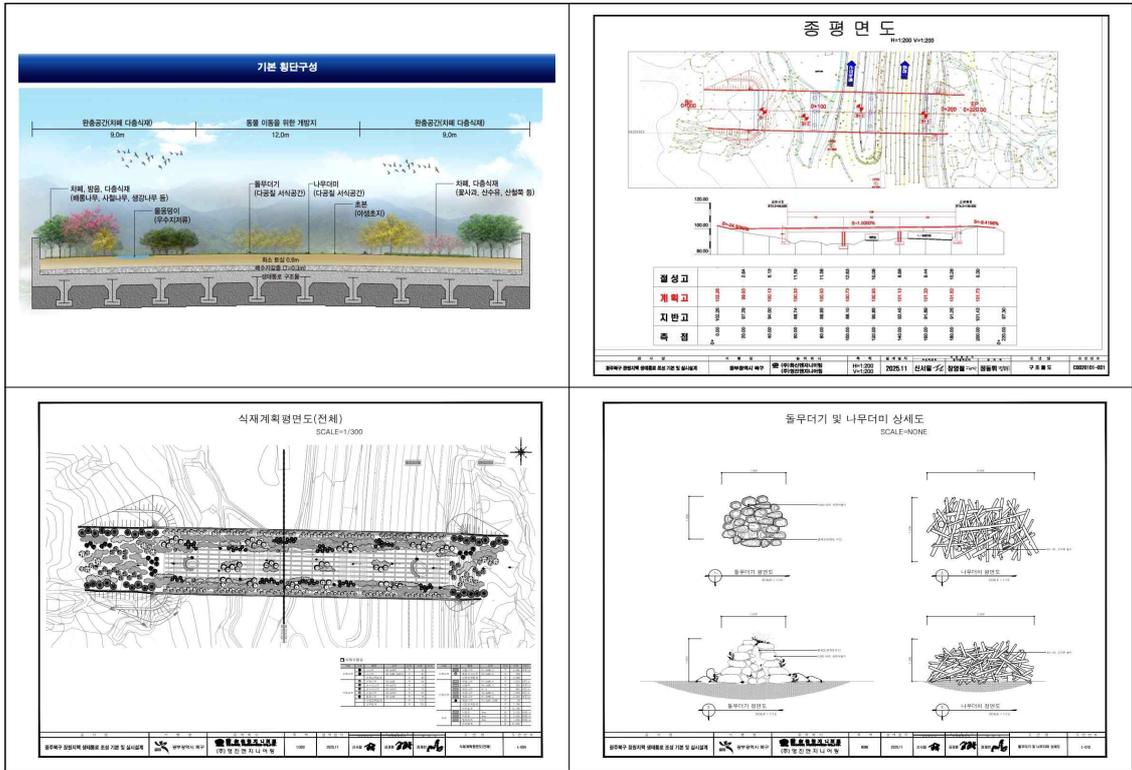


그림 21. 광주 북구 생태통로 건설 예정지 및 설계 도면

다) 예산 둔리 금북정맥 생태축

충청남도 예산군 덕산면 둔리 일원을 통과하는 금북정맥은 국도 40호선에 의해 단절된 구간으로 확인되었다. 당초 복원사업 계획에서는 육교형 생태통로 1개소를 설치하는 방안이 검토되었으나, 관계기관 및 이해관계자와의 협의가 원활히 이루어지지 않아 계획 변경이 불가피한 것으로 판단되었다. 이에 따라 터널형 생태통로 2개소를 설치하는 대안으로 사업 계획을 조정하였다(그림 22). 구체적으로는 기존에 설치되어 있던 소형 수로박스 2개소를 기후부 지침에 부합하는 개방도 0.7 이상을 확보한 터널형 생태통로로 개선·전환하되, 기존 수로 기능이 지속적으로 유지될 수 있도록 하는 방안을 제시하였다. 이를 위해 터널형 생태통로와 수로 기능을 동시에 유지하고 있는 제주도 한라 생태통로 사례를 대상으로 국립생태원, 충청남도, 시공사 관계자와의 합동 조사를 실시하여 구조적 특성과 시공 형태를 점검하였으며, 해당 사례를 본 사업에 적용하는 방안을 검토·추진하고자 하였다.



그림 22. 제주 한라 터널형 생태통로

생태통로의 높이는 남·북측 모두 2.5m로 동일하게 계획하였다. 남측 생태통로의 총 폭은 9m로 설정하였으며, 이 중 수로 폭은 2m로 계획하였다. 배수 기능을 담당하는 구간은 주변 보행 및 이동 공간 대비 0.6m 낮게 조성하여, 강우 시 터널형 생태통로를 이용하는 야생생물에 미치는 영향을 최소화하고자 하였다.

북측 생태통로는 총 폭을 7m로 계획하였으며, 강우 시 생태통로 내부로 유입되는 유출량을 고려하여 수로 폭은 3m로 선정하였다. 해당 배수 구간은 단차를 0.6m로 계획하여 통로 이용 시 장애 요소가 발생하지 않도록 하였다. 또한 터널형 구조물과 인접 서식지 간의 단차를 최소화하여 양서·파충류 및 소형 포유류 등 소형 야생동물의 이동과 이용에 지장이 없도록 계획하였다. 아울러 야생생물이 주로 이용하는 생태통로 구간 상부에는 토사를 포설하는 방안을 적용하여, 통로 이용 시 인공 구조물로 인한 이질감을 최소화하고 자연 서식지와의 연속성을 확보하고자 하였다(그림 23).

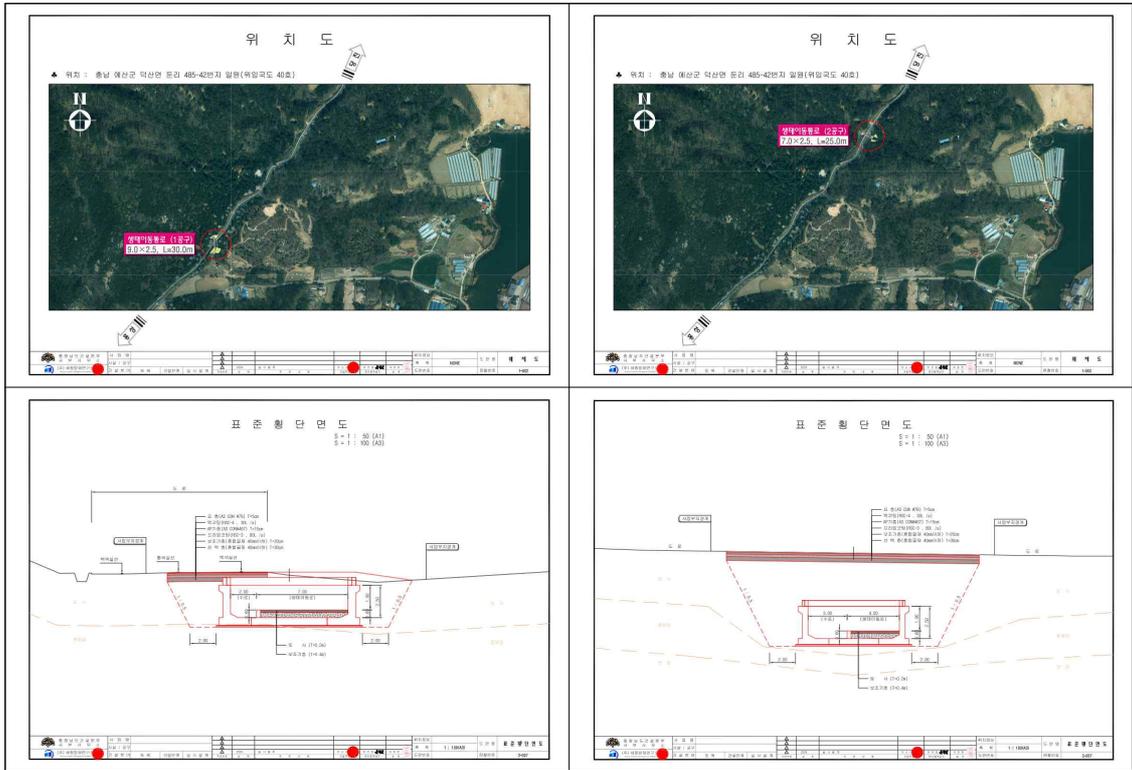


그림 23. 둔리 생태통로 2개소 건설 예정지 및 설계 도면

라) 완주 구이 호남정맥 생태축

전라북도 완주군 구이면 일원에 위치한 호남정맥은 국도 27호선(왕복 4차선)과 군도 구이로(2차선)에 의해 이중으로 단절된 구간이다(그림 24). 해당 구간의 경우 국도 27호선은 국토교통부 산하 전주국토관리사무소에서, 군도 구이로는 완주군에서 각각 관리하고 있어, 초기 사업 구상 단계에서는 국도 구간은 국토교통부, 군도 구간은 기후부 소관 사업으로 분리되어 추진되었다. 그러나 생태축이 두 개의 도로에 의해 동시에 단절된 여건을 고려할 때, 개별 도로관리청 단위로 사업을 추진하는 방식은 생태적 연결성 회복 측면에서 실효성이 낮은 것으로 판단되었다. 또한 완주군은 생태축 복원사업에 소요되는 재원 확보에 어려움을 겪고 있어 단독 사업 추진에는 한계가 있는 상황이었다. 이에 국립생태원은 전북연구원 및 전주국토관리사무소와의 협의를 통해 국도와 군도를 동시에 횡단하는 통합 복원사업 방안을 제안하였으며, 전주국토관리사무소가 사업 시행 주체로서 공사를 추진하고, 완주군은 인허가 등 행정 절차를 지원하는 협력 체계를 구축하여 사업을 추진 중에 있다.

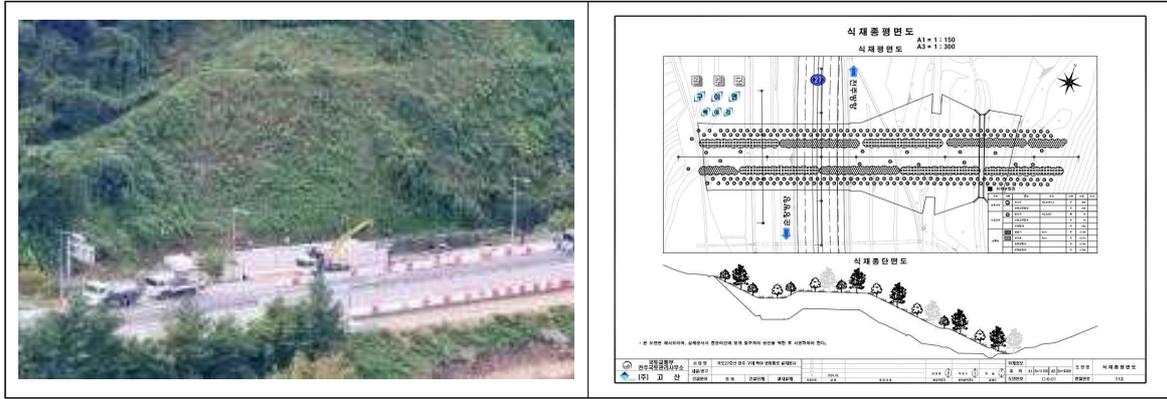


그림 24. 완주 구이 생태통로 건설 현장(좌) 및 식재 도면(우)

본 사업 구간에는 국도, 군도, 농로 및 수계를 포함한 총 4개의 구조물이 설치되며, 구조물을 포함한 총 연장은 약 130m에 달한다. 최초 실시설계 도면에서는 수계를 덮지 않는 방식으로 생태통로를 설치하는 계획이 수립되었으나, 이는 기후부 지침에서 규정한 경사도 1:2 또는 이보다 완만하게 설치해야 하는 기준에 부합하지 않았다. 이에 국립생태원은 수계의 수로박스 상부까지 성토하는 방식으로 보완하고, 기후부 지침에 적합하도록 설계 변경안을 제시하였다(그림 25). 현재 해당 방안과 관련하여 국토교통부 및 전주국토관리사무소와 예산 문제를 포함한 협의가 진행 중이다.

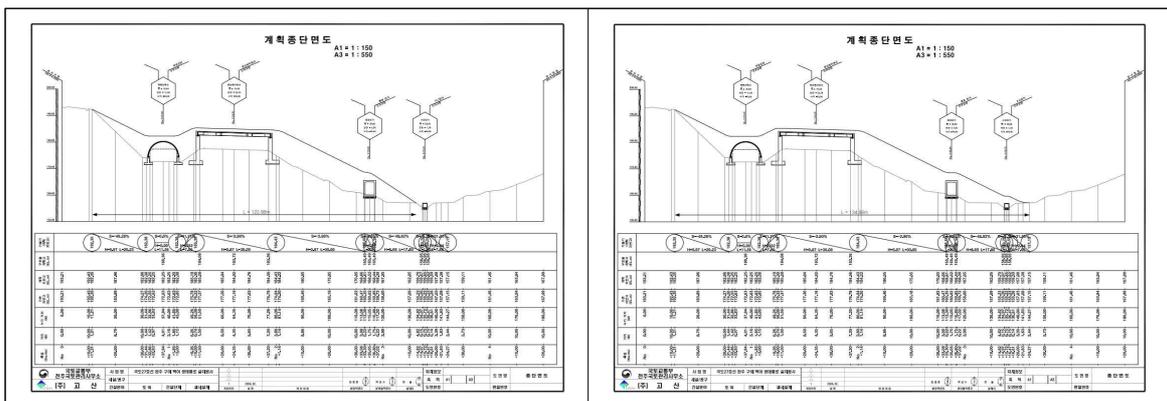


그림 25. 완주 구이 생태통로 설계 변경 전(좌) 변경 후(우)

마) 안동 수상 갈라지맥 생태축

경상북도 안동시 수상동을 통과하는 갈라지맥은 국도 5호선에 의해 단절된 구간이다. 현재 본 사업은 기본계획 단계에 있으며, 생태통로 설치 위치에 따른 안전성과 기후부 지침에 부합하는 경사도를 고려하여 계획을 수립하고 있다. 영주국토관리사무소에서 제안한 1안과 2안 모두 기후부 지침에 적합한 경사도를 확보하고 있어, 차량 통행, 공사 안전성 및 예산 측면을 종합적으로 검토하여 최적의 설치 방안을 협의 중에 있다(그림 26).

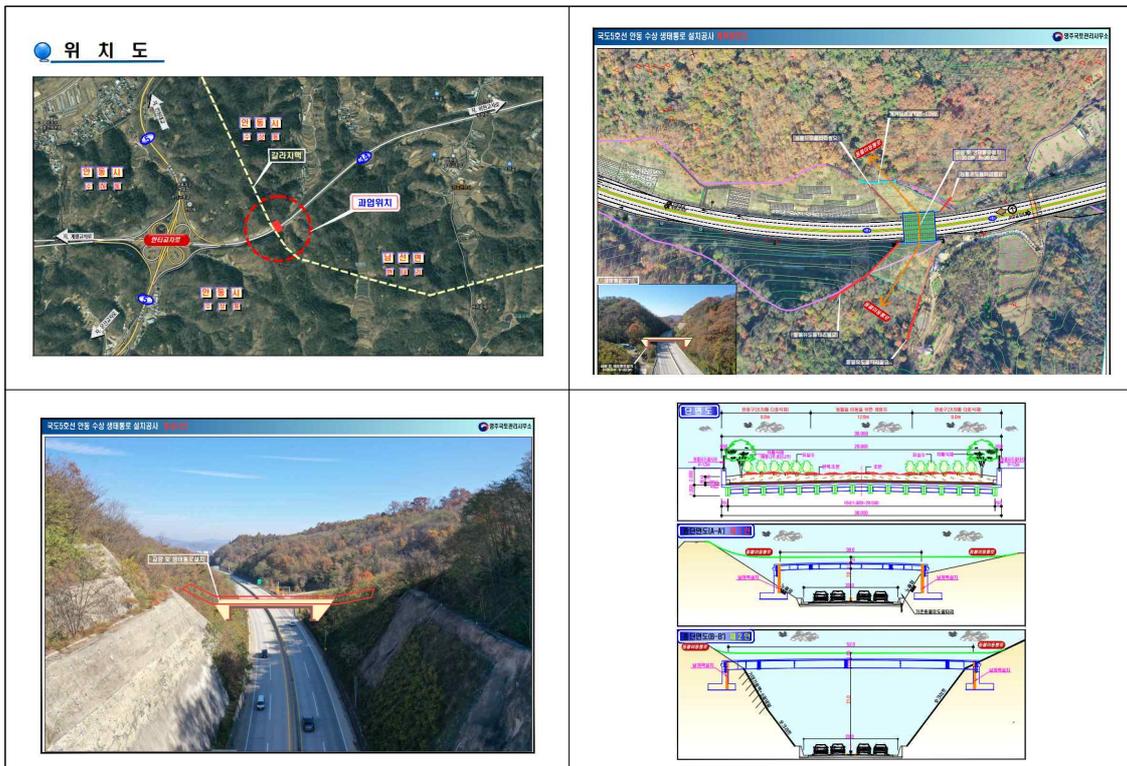


그림 26. 안동 수상 생태축 복원 기본계획(안)

바) 합천 가야 국립공원 생태축

경상남도 합천군 가야면에 위치한 가야산국립공원은 국도 59호선으로 인해 북두산과의 생태축이 단절된 구간이다. 현재 본 사업은 기본계획 단계에 있으며, 도로 양측의 단차로 인해 육교형 생태통로 설치 가능한 지역이 제한적인 실정이다. 최소 생태통로 설치 위치 부근에는 과수원이 둘러싸고 있어 유도울타리에 따른 야생생물 이용 제한이 예상됨에 따라, 설치 위치를 남측으로 이동하는 방안을 검토하였다. 다만 동측 입구부에는 산지 계류가 위치하고 있어, 통로의 안정성과 기후부 지침에 부합하는 경사도 확보 여부에 대한 검토가 필요한 상황이다. 이에 사업 주체인 경상남도도로관리사업소, 시공업체 및 국립생태원은 현장 합동 조사를 실시하여, 현장 여건에 적합한 최종 설치 위치를 선정할 계획이다(그림 27).

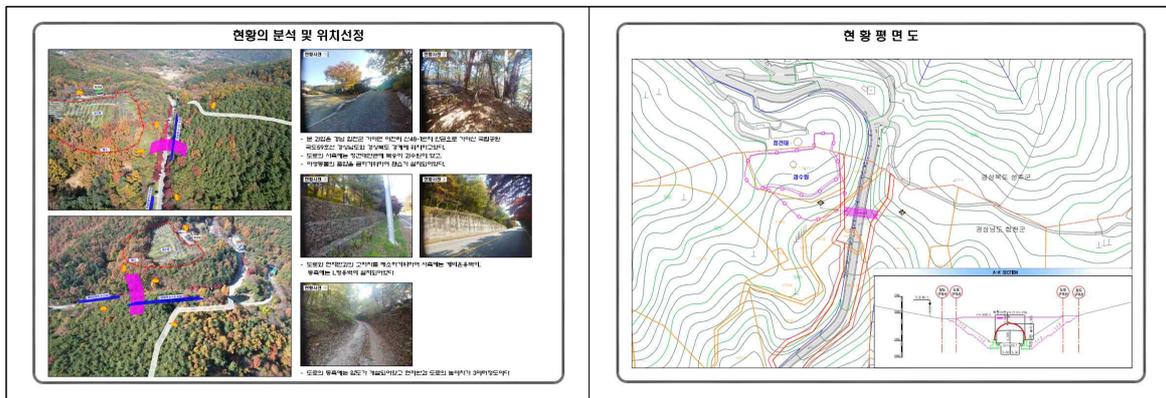


그림 27. 합천 가야 생태축 복원 기본계획(좌) 및 위치 도면(우)

Ⅲ. 생태통로 개선 연구

현대 사회의 선형적 개발 사업은 경관의 파편화와 이질성을 심화시키며, 이는 생태적으로 고립된 서식지를 형성하여 야생동물 개체군의 이동을 저해한다. 이러한 단절은 종 분포의 불균형을 초래할 뿐만 아니라 생물의 서식밀도, 섭식, 번식 및 전반적인 생존 환경에 치명적인 영향을 미친다. 생태통로는 이처럼 파편화된 경관을 연결하여 생태계의 건강성과 지속 가능성을 유지하는 데 가장 효과적인 수단으로 평가받으며, 야생동물 유도 시설과 병행하여 적용시킬 경우, 도로에서 발생하는 로드킬을 직접적으로 저감하고 지역 생물다양성을 높이는 핵심적인 역할을 수행한다. 단절된 생태축을 복원하고 생물다양성을 보전하기 위한 방안으로서 생태통로의 효용성에 관한 연구가 다양한 관점에서 지속적으로 수행되었다(Clevenger & Barreto, 2014; Wang *et al.*, 2017; Song *et al.*, 2012; Clevenger & Waltho, 2005; 최태영 외, 2012; Denneboom *et al.*, 2021). 본 연구는 국내 주요 도로에 설치된 생태통로를 대상으로 무인센서카메라 모니터링 기법을 도입하여 생태통로 내부와 인접 서식지 패치 내 포유류의 출현을 파악하였다. 도로 규모별 생태통로 이용 효율성을 객관적으로 평가함으로써, 신규 생태통로 대상지 선정에 필요한 과학적 근거를 제시하고자 한다.

우리나라에는 약 600개소 이상의 생태통로가 설치되어 있어, 설치 규모 측면에서 세계적으로 상위 수준에 해당한다. 그러나 생태통로의 관리 미흡으로 인해 생태축 연결성과 야생생물 이용의 실효성에 대한 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해 생태통로 통합관리 정보시스템의 구축·운영과 생태통로 조사 결과 및 개선 이행 사항을 정보시스템에 등록하도록 하는 내용의 관련 법령 개정안이 현재 국회 법안소위원회에서 심사 과정 중에 있다. 이에 본 연구에서는 정부 정책 변화에 선제적으로 대응하고, 생태통로 설치·관리자의 시스템 활용성과 업무 효율성을 제고하기 위해 생태통로 통합관리 정보시스템의 기능 고도화를 추진하였다.

1. 연구내용 및 방법

가. 도로 규모에 따른 생태통로 이용 조사·평가

1) 도로 규모에 따른 야생동물 이용 비교·분석

생태통로 모니터링에는 족적판, 무인센서카메라, CCTV 등이 대표적으로 사용된다. 본 연구에서는 무인센서카메라를 활용하여 야생동물을 모니터링하였다. 무인센서카메라는 적외선 및 열 감지 기능을 통해 관측 범위 내 피사체의 활동을 기록하며, 직접 관찰이 어려운 종의 서식 현황이나 행동 양식을 모니터링하는데 매우 효과적이다. 무인센서카메라는 초기 도입 비용이 저렴할 뿐만 아니라 장기적인 조사 주기 유지와 데이터 정리의 용이성 측면에서 기타 모니터링 방법 대비 높은 효율성을 지닌다. 실제로 캐나다의 선행 연구에 따르면, 무인센서카메라를 이용한 생태통로 모니터링은 기존의 족적판 조사 방식보다 비용 대비 효과가 뛰어나며 조사 결과의 신뢰성 또한 우수한 것으로 입증된 바 있다(Ford *et al.*, 2009). 따라서 본 연구는 조사의 경제성, 연속성 및 분석의 편의성을 종합적으로 고려하여 무인센서카메라를 모니터링 수단으로 채택하였다(그림 28). 카메라는 터널형 생태통로의 진출입로 정면에 위치한 나무나 통로 내부 벽면에 고정하여 설치되었다. 야생동물의 서식지 내 이동을 분석하기 위해 생태통로 중심으로 반경 1km 이내에 위치한 산림 및 농경지 패치에 4대의 무인센서카메라(RECONIX HyperFire2, Browning BTC-5DCL)를 균등하게 설치하였다. 서식지 모니터링용 카메라는 야생동물의 출현 빈도가 높은 지점을 전문가 2인의 조사를 통해 선정하고, 해당 지점의 나무에 고정하여 설치하였다(그림 29).



그림 28. 야생동물 모니터링용 무인센서카메라



그림 29. 터널형 생태통로 무인센서카메라 설치

본 연구에서 수행한 야생동물 모니터링의 공간적 범위는 생태통로 내부와 그 주변 환경을 포함하도록 설정되었다. 생태통로를 중심으로 반경 1km 이내에 위치한 4개의 서식지 패치를 대상으로 하였다(그림 30). 서식지 패치는 야생동물의 서식밀도가 높을 것으로 판단되는 산림 패치를 우선 선정하였으며, 모니터링 범위 내 산림 패치가 부재할 경우, 자연초지 및 인공초지를 선정하였다. 생태통로는 총 11개소로 정의되었으며, 이들 생태통로를 포함한 16개소의 서식지 패치를 전체 모니터링 범위에 포함시켰다(그림 31). 따라서, 본 연구에서의 모니터링 대상지는 총 55개소로 설정되었다. 이는 생태통로 인근 서식지 간 포유류 서식밀도 차이를 보정함으로써, 도로 규모에 따른 생태통로 이용이 특정 요인에 의해 편향되지 않도록 하고, 도로 규모 자체가 생태통로 이용에 미치는 영향을 객관적으로 평가하고자 하였다.

연구의 시간적 범위는 계절적 변화를 고려하여 설정되었다. 포유류 모니터링은 3월부터 10월까지의 약 8개월 동안 수행되었다. 이 기간은 야생동물들의 활동 패턴과 계절적인 생태적 변화를 반영할 수 있도록 선정되었다.

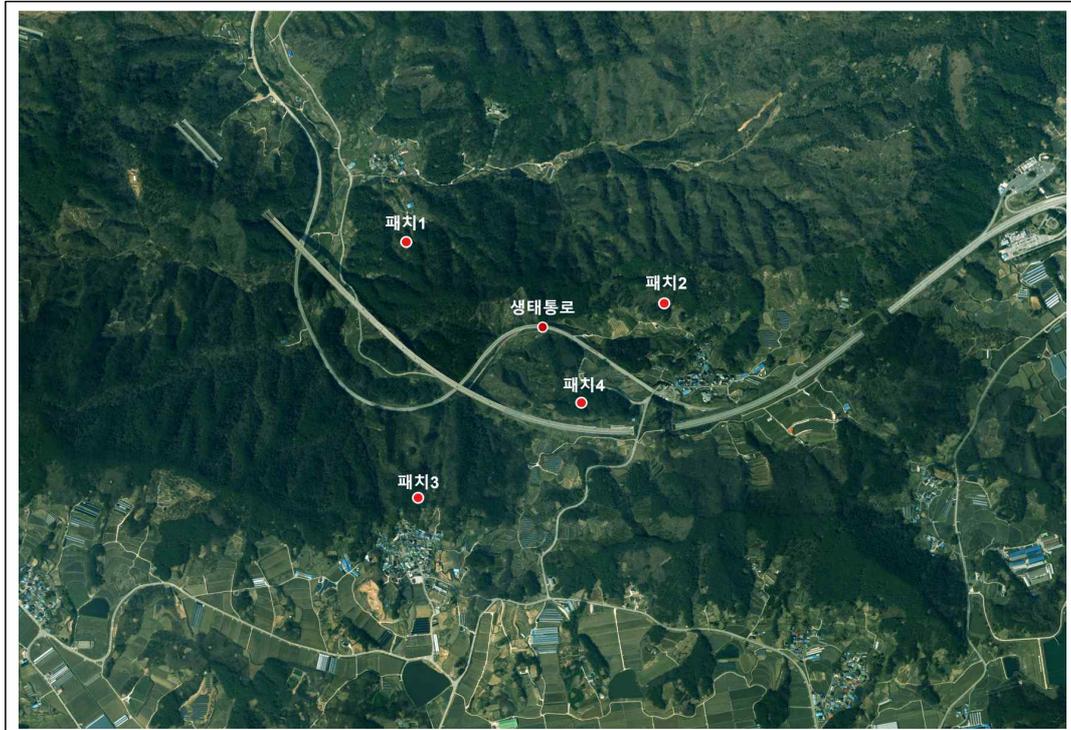


그림 30. 생태통로 이용 모니터링의 공간적 범위

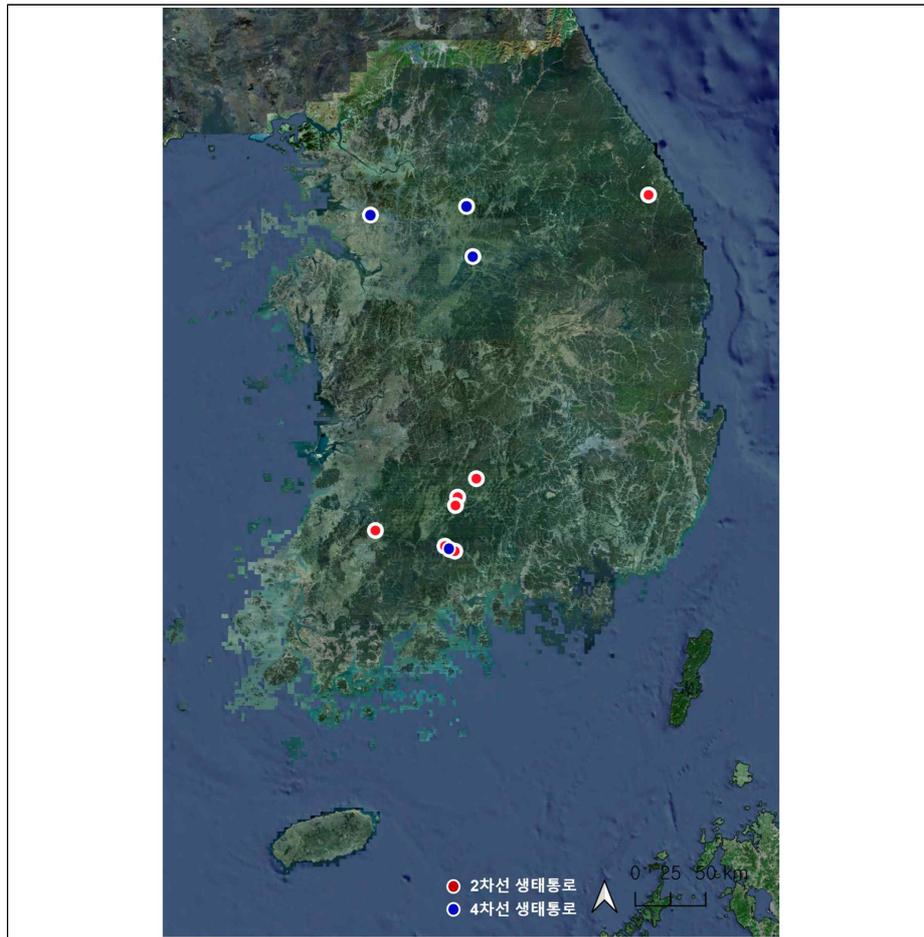


그림 31. 도로 규모 생태통로 연구 대상지

구례(GS) 터널형 생태통로는 전라남도 구례군 마산면 사도리 211-1 일대에 위치한다(35.2032726° N 127.5036821° E). 해당 지역은 해발고도 약 300m에 위치하며 광주천의 남쪽으로 논, 밭 등 농업지대가 분포하며 북쪽으로 활엽수림, 침엽수림으로 구성된 낮은 산지가 발달해 있다, 생태통로는 마산면과 사도면을 연결하는 910번 지방도(2차선)를 중심으로 산림 패치와 농업지대를 연결하고 있다(표 12). 구례(GP) 생태통로는 전라남도 구례군 토지면 파도리 361-3 일대에 위치한다(35.1925959° N, 127.5415282° E)(표 12). 이 지역은 해발고도 약 270m로, 광주천의 상류에 위치하며 910번 지방도(2차선)가 지리산 왕시리봉(1,240m)과 연결된 좁은 면적의 산림 패치(침엽수림, 활엽수림)와 인공초지 및 내륙습지를 단절하고 있다. 해당 생태통로는 북쪽의 산림 패치와 남쪽의 하천 비오톱을 연결하고 있다. 담양(DD) 생태통로는 전라남도 담양군 담양읍 담빛리 173 일대에 위치한다(35.3211464° N, 126.9400317° E). 해당 지역의 해발고도는 약 50m로 주로 평지와 완만한 구릉지로 구성되어 있다. 생태통로를 중심으로 동서측에 농업지대, 태왕봉(144m)에서 병풍산(810m)으로 이어지는 남북측에 산림 패치가 형성되어있다. 담양읍과 용면을 잇는 49번 지방도(2차선)는 활엽수림, 침엽수림, 혼효림으로 이루어진 산림을 단절하고 있다(표 12). 또한 소규모 주거지역과 인공나지가 산림 패치를 둘러싼 형태이다. 삼척(SC)은 강원특별자치도 삼척시 하장면 변천리 산 57-7 일대에 위치한다(37.38341111° N 129.0093556° E)(표 12). 이 지역은 해발고도 약 600m로 동해안과 인접한 태백산맥에 위치한다. 38번 국도(2차선)는 산림과 산간 계곡이 인접한 경관을 남북 방향으로 단절하고 있다. 생태통로는 산림으로 둘러싸여 있으며, 활엽수림과 혼효림을 연결하고 있다(표 12). 장수(JN) 생태통로는 전북특별자치도 장수군 번암면 노단리 산 35-1 일대에 위치한다(35.5288889° N 127.5633333° E)(표 12). 이 지역은 해발고도 약 500m로 태백산맥의 서쪽 산림에 위치한다. 남북 방향으로 가로지르는 63번 지방도(2차선)에 의해 하나의 산림을 동서로 분리되어 있고 생태통로가 자연 초지와 침엽수림을 연결하고 있다(표 12). 생태통로 서쪽으로는 봉화산 철쭉군락지가 조성되어있다. 장수(JY)는 전북특별자치도 장수군 번암면 유정리 1103 일대에 위치한다(35.4780556° N 127.5458333° E)(표 12). 이 대상지의 해발고도는 약 480m이며 태백산맥의 서쪽 산림에 위치한다. 동서 방향으로 가로지르는 63번 지방도(2차선)에 의해 하나의 산림 패치가 단절된 형태이다(표

12). 도로 북쪽으로는 침엽수림이 우세하며 남쪽으로는 침엽수림, 활엽수림, 인공초지, 휴경지가 위치한다. 함양(HY)는 경상남도 함양군 서하면 송계리 산 146-5 일대에 위치한다(35.643426° N 127.705377° E)(표 12). 해당 지점의 해발고도는 약 450m이며 서면과 인근 지역을 연결하는 24번 국도(2차선)가 남강을 따라 이어지며 대상지를 동서 방향으로 단절한 형태이다. 생태통로는 서쪽의 인공초지 및 내륙습지, 동쪽의 침엽수림을 연결하고 있다(표 12). 구례(GG)는 전라남도 구례군 마산면 갑산리 828 일대에 위치한다(35.2238973° N 127.4671918° E)(표 12). 이 지점의 해발고도는 약 30m로 19번 국도(4차선)에 의해 단절되어 있다. 여주(YJ)는 경기도 여주시 현암동 616 일대에 위치한다(37.314335° N 127.631411° E)(표 12). 이 지점은 37번 국도(4차선)로 단절된 지역으로, 남한강을 따라 형성된 평야지대에 인접해 있다. 해당 지역의 해발고도는 약 60m로 시가화건조지와 작은 면적의 산림 패치들이 모자이크를 형성하고 있다. 충주(CJ)는 충청북도 충주시 신니면 모남리 422-1 일대에 위치한다(37.00934722° N, 127.6788667° E)(표 12). 해당 지점은 해발고도 약 80m로 소양천을 따라 형성된 저지대에 위치하며, 농경지와 일부 산림이 혼재하는 지형적 특성을 보인다. 36번 국도(4차선)는 도로 양측의 산림과 농경지 간의 생태적 연결을 차단하고 있다. 화성(HS)은 경기도 화성시 매송면 속곡리 261-1 일대에 위치한다(37.262051° N 126.90284° E)(표 12). 이 지역의 해발고도는 약 50m로 평지와 완만한 구릉지로 이루어져 있으며, 생태통로를 중심으로 활엽수림, 인공초지를 연결하고 있다(표 12).

표 12. 모니터링 대상지 현황

구분	주소	좌표	차선	단절형태
구례(GS)	전남 구례군 마산면 사도리 211-1	35.203272 °N 127.503683 °E	2	산림-농경지
구례(GP)	전남 구례군 토지면 파도리 361-3	35.192597 °N 127.541528 °E		산림-인공초지, 습지
담양(DD)	전남 담양군 담양읍 담빛리 173	35.321147 °N 126.940031 °E		산림-산림
삼척(SC)	강원 삼척시 하장면 번천리 산 57-7	37.383636 °N 129.009989 °E		산림-산림
장수(JN)	전북 장수군 번암면 노단리 산 35-1	35.528925 °N 127.563306 °E		산림-산림
장수(JY)	전북 장수군 번암면 유정리 1103	35.476778 °N 127.547017 °E		산림-산림
함양(HY)	경남 함양군 서하면 송계리 산 146-5	35.643461 °N 127.705378 °E		인공초지, 습지-산림
구례(GG)	전남 구례군 마산면 갑산리 828	35.223897 °N 127.467192 °E	4	인공초지-인공초지
여주(YJ)	경기 여주시 현암동 616	37.314258 °N 127.631292 °E		인공초지-나지
충주(CJ)	충북 충주시 신니면 모남리 422-1	37.009497 °N 127.678833 °E		산림-농경지
화성(HS)	경기 화성시 매송면 속곡리 261-1	37.261964 °N 126.902464 °E		산림-인공초지

2) 도로 규모에 따른 야생동물 이용 비교·분석

야생동물의 생태통로 이용 비교·분석은 생태통로와 서식지 패치의 일평균 출현빈도를 활용하였다. 일평균 출현빈도는 다수의 선행연구에서 생태통로 효율성 평가를 위한 정량적인 지표로 활용된다(Barrueto *et al.*, 2014; van der Grift & van der Ree, 2015; Bergen, 2018). 그러나 야생동물의 생태통로 이용 효율성 평가는 생태통로가 설치된 지역에서 서식 중인 모니터링 대상종의 개체군 밀도를 함께 파악하여 종합적으로 분석될 필요가 있다(Clevenger & Waltho, 2005; van der Grift & van der Ree, 2015). 따라서 본 연구에서는 야생동물의 생태통로 이용 빈도(생태통로 이용 효율성)를 평가하기 위해, 생태통로 내부의 일평균 출현 빈도와 인근 서식지 패치의 일평균 출현 빈도의 합계를 구한 후, 이를 기준으로 상대화하여 비교·분석하였다(식 1).

$$\text{생태통로 이용률 } P(wcs) = \frac{N(wcs)}{N(wcs) + N(forest)} \dots\dots\dots(\text{식 1})$$

모니터링 대상지별 일평균 출현빈도는 포유류의 출현 수를 무인센서 카메라의 운용 일수로 나누어 계산하였다. 10분 간격으로 카메라 앞을 지나가는 야생동물의 모습을 파악하였으며, 동일한 종이 10분 이내에 같은 카메라에서 재촬영될 경우, 이를 이전과 동일한 개체의 출현으로 평가하였다(식 2).

$$\text{일평균 출현빈도} = \frac{\sum \text{포유류 출현수}}{\sum \text{무인센서카메라운용일수}} \dots\dots\dots(\text{식 2})$$

나. 생태통로 통합관리 정보시스템 관리·운영 및 고도화

1) 생태통로 통합관리 정보시스템 현황

2024년부터 생태통로 통합관리 정보시스템은 국립생태원 에코뱅크 홈페이지(<https://www.nie-ecobank.kr>)를 통해 통합 운영되고 있으며, 우리나라에 설치된 전체 생태통로의 목록과 유형, 규격, 위치 등 기초 정보가 등록되어 있다. 시스템으로 등록된 정보를 기반으로 유형, 권역,

관리기관 그리고 도로유형별 등의 통계를 수립하고 있다. 또한 해당 시스템은 「자연환경보전법」 제45조의2 제2항에 따른 생태통로 설치 및 관리 현황과 조사 결과를 입력할 수 있는 임시 시스템으로 활용되고 있다.

생태통로의 설치·관리자는 국립생태원으로부터 부여받은 아이디와 비밀번호를 통해 정보시스템에 접속할 수 있으며, 신규 생태통로의 등록을 위해서는 생태통로명, 위치 좌표, 규격, 사진 4부를 포함한 총 11개의 기초 항목을 반드시 입력해야 한다. 또한 생태통로의 모니터링 결과를 입력하기 위해서는 모니터링 기간 및 방법, 생태통로 이용 중, 양측사면 경사도 등과 유도울타리, 방음벽 등의 부대시설 관리 현황을 입력해야 한다.

현재 국립생태원은 생태통로 통합관리 정보시스템의 관리·운영과 관련하여 법적 권한과 의무가 부여되어 있지 않은 상태이다. 이러한 문제를 해소하고자 「자연환경보전법」 제45조의3(생태통로 통합관리 정보시스템 구축·운영 등) 개정안이 국회 법안소위원회에서 심사 중에 있으며, 개정이 완료되고 시스템 운영에 대한 권한이 국립생태원으로 위탁된다면 시스템의 구축 및 운영에 대한 법적 권한과 책임을 공식적으로 수행할 수 있을 것으로 예상된다.

2) 정보시스템 고도화

「자연환경보전법」 제45조의3(생태통로 통합관리 정보시스템 구축·운영 등) 개정안에 선제적으로 대응하고 정부 정책을 지원하기 위해, 정보시스템의 기능 개선 계획을 수립하고 고도화를 추진하였다. 정보시스템 고도화는 홈페이지의 전체 구성과 사용자 인터페이스를 사용자 편의 중심으로 개선하고, 생태통로 설치·관리자가 신규 생태통로 등록 및 조사 결과 정보를 보다 효율적으로 입력할 수 있는 기능을 강화하는 방향으로 진행되었다(그림 32). 아울러 입력된 정보에 대한 국립생태원의 검토를 거쳐 승인 또는 반려 기능을 탑재함으로써, 등록 정보의 정확성과 신뢰성을 확보하고 체계적인 데이터 관리가 가능하도록 개선하였다.

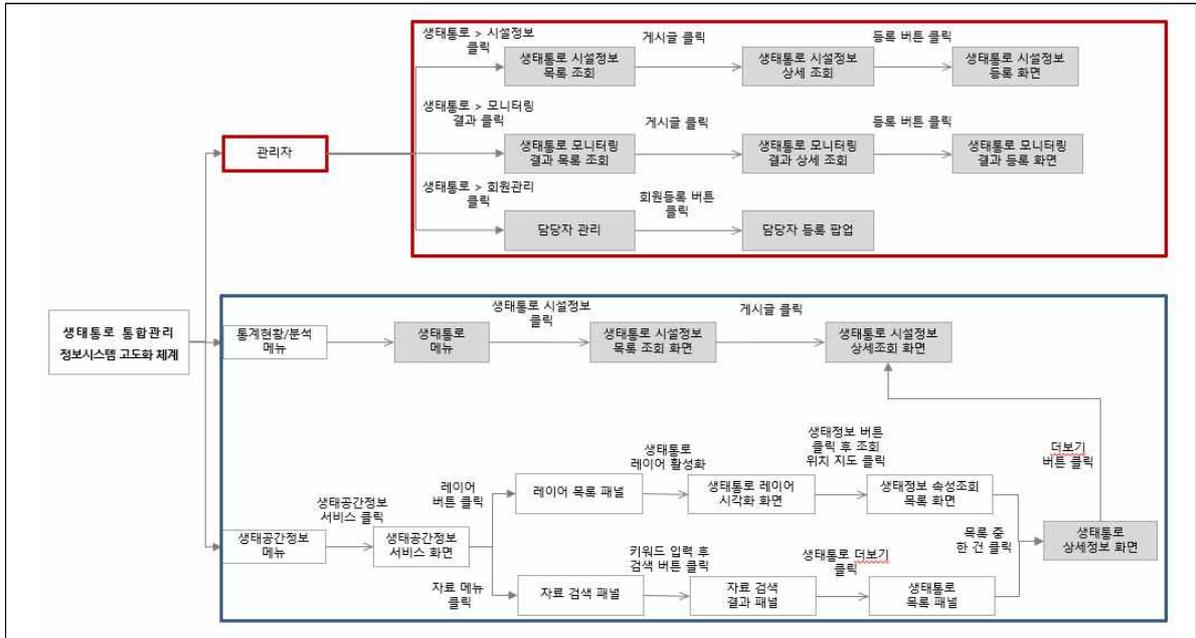


그림 32. 생태통로 통합관리 정보시스템 고도화 체계

「자연환경보전법」 제45조의2 제3항에서는 생태통로의 기능을 평가하여 해당 통로가 정상적으로 기능하지 못한다고 판단될 경우, 설치·관리자에게 개선조치를 요청할 수 있도록 명시하고 있으며, 특별한 사유가 없는 한 요청받은 개선조치를 이행하도록 규정하고 있다. 그러나 기존에는 개선요청과 개선조치 이행이 모두 공식 문서를 통해 주고받음에 따라, 그 결과를 체계적으로 관리하는 데 비효율성이 존재하였다. 이러한 문제를 해소하고자, 정보시스템을 활용하여 개선요청과 개선조치 이행 결과를 직접 입력하고 관리할 수 있는 기능을 고도화함으로써, 업무 효율성을 제고하고 정보 관리의 효율성을 향상시키도록 추진하였다.

2. 연구결과 및 고찰

가. 도로 규모에 따른 생태통로 이용 조사·평가

1) 생태통로 모니터링

무인센서카메라 운용 시기는 2025년 3월부터 10월까지 진행되었으나, 수집된 데이터에 오류가 적은 5월부터 8월까지 촬영된 데이터만을 분석에 활용하였다. 모니터링 결과, 전체 생태통로 11개소에서 확인된 포유류는 10과 13속 13종이었다(표 13). 생태통로에서는 평균 5종의 포유류가 출현하였으며 장수(JY), 구례(GP), 구례(GS), 여주(JY)에서는 포유류 출현 종 수가 평균 이상으로 확인되었다. 서식지 패치에서는 9과 14속 14종의 포유류가 출현하였다(표 14). 11개 지점 모두 최소 7종 이상의 포유류가 확인되었으며, 구례(GP), 장수(JY)에서는 최대 11종이 출현하여 높은 종 풍부도를 보였다. 생태통로 출현 종 수는 서식지 패치 대비 평균 4종 적게 나타났으며 법정보호종의 출현은 서식지 패치와 동일하였다(표 13-14). 법정보호종의 출현은 생태통로와 서식지 패치 모두 담비(*Martes flavigula*), 삿(Prionailurus bengalensis), 수달(*Lutra lutra*) 3종인 것으로 확인되었다(표 13-14).

표 13. 터널형 생태통로 모니터링 현황

종(학명)	대상지	구례	구례	담양	삼척	장수	장수	함양	구례	여주	충주	화성
		(GS)	(GP)	(DD)	(SC)	(JN)	(JY)	(HY)	(GG)	(YJ)	(CJ)	(HS)
		2차선						4차선				
1. 고라니(<i>Hydropotes inermis</i>)												
2. 너구리(<i>Nyctereutes procyonoides</i>)												
3. 노루(<i>Capreolus pygargus</i>)												
4. 다람쥐(<i>Tamias sibiricus</i>)												
5. *담비(<i>Martes flavigula</i>)												
6. 멧돼지(<i>Sus scrofa</i>)												
7. 멧토끼(<i>Lepus coreanus</i>)												
8. *삿(<i>Prionailurus bengalensis</i>)												
9. *수달(<i>Lutra lutra</i>)												
10. 오소리(<i>Meles leucurus</i>)												
11. 족제비(<i>Mustela sibirica</i>)												
12. 쥐과												
13. 청설모(<i>Sciurus vulgaris</i>)												
법정보호종 수		1	2		1		2		1	2		
총 수		6	6	3	5	5	8	2	3	6	5	4

*법정보호종(천연기념물 또는 멸종위기 I, II급)

표 14. 서식지 패치 모니터링 현황

종(학명)	대상지	구례 (GS)	구례 (GP)	담양 (DD)	삼척 (SC)	장수 (JN)	장수 (JY)	함양 (HY)	구례 (GG)	여주 (YJ)	충주 (CJ)	화성 (HS)
		2차선						4차선				
1. 고라니(<i>Hydropotes inermis</i>)												
2. 너구리(<i>Nyctereutes procyonoides</i>)												
3. 노루(<i>Capreolus pygargus</i>)												
4. 다람쥐(<i>Tamias sibiricus</i>)												
5. *담비(<i>Martes flavigula</i>)												
6. 멧돼지(<i>Sus scrofa</i>)												
7. 멧토끼(<i>Lepus coreanus</i>)												
8. 박쥐류												
9. *삿대(<i>Prionailurus bengalensis</i>)												
10. *수달(<i>Lutra lutra</i>)												
11. 오소리(<i>Meles leucurus</i>)												
12. 족제비(<i>Mustela sibirica</i>)												
13. 쥐과												
14. 청설모(<i>Sciurus vulgaris</i>)												
법정보호종 수		1	3	2	1	2	2	2	2	2	1	0
총 수		8	11	10	9	10	11	10	7	8	7	7

*법정보호종(천연기념물 또는 멸종위기 1, II급)

2) 도로 규모에 따른 야생동물 이용 비교·분석

본 연구에서는 서식지 패치와 생태통로 간의 종 수 차이를 비교하였다. 고라니(*Hydropotes inermis*), 너구리(*Nyctereutes procyonoides*), 오소리(*Meles leucurus*)는 생태통로와 서식지 패치 모두에서 출현이 높게 나타났다(그림 33).

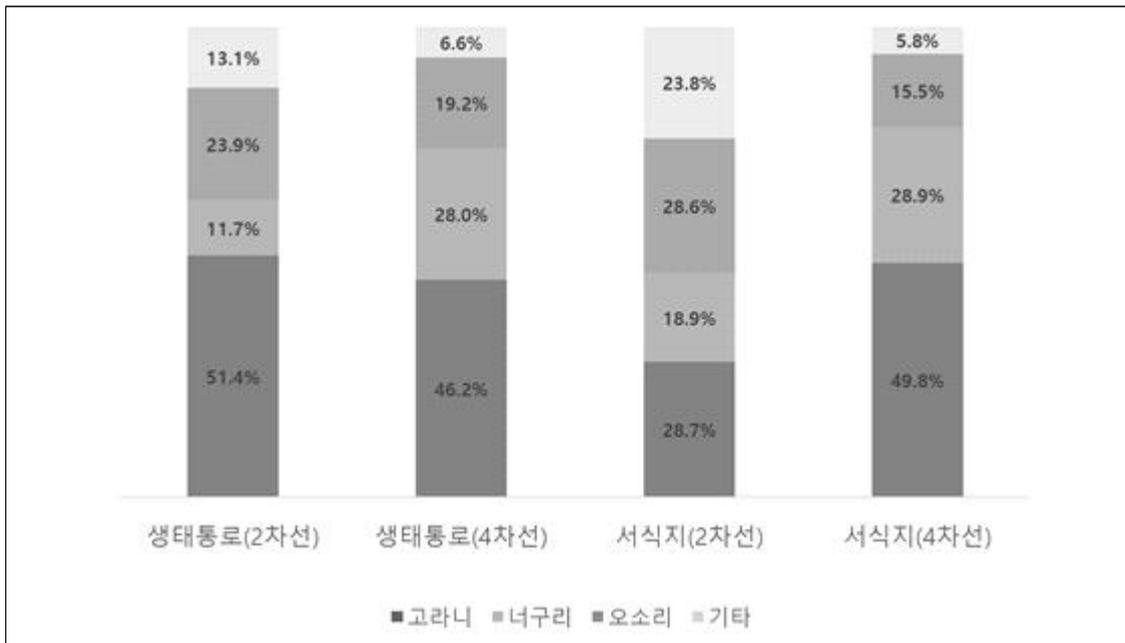


그림 33. 생태통로 및 서식지 출현 상위 3종

서식지 대비 생태통로를 이용하는 종 수는 전반적으로 감소했으며, 함양(HY)과 담양(DD)에서 그 차이가 크게 나타났다(표 13-14). 왕복 2차선 구간 7개소 중 구례(GS)는 서식지에서 8종이 출현하였고 생태통로에서는 6종이 출현하였으며 법정보호종은 서식지와 생태통로 모두 1종(삿갓)의 출현하였다(표 13-14). 구례(GP)는 서식지에서 11종이 출현하였으나 생태통로 이용은 6종이 확인되었으며 법정보호종은 서식지 3종(담비, 삿갓, 수달)에서 생태통로 2종(삿갓, 수달)으로 감소하였다(표 13-14). 담양(DD)은 서식지에서 10종이 확인되었으나 생태통로 이용은 3종으로 나타났으며, 법정보호종은 서식지에서만 2종 출현하였다(표 13-14). 삼척(SC)은 서식지에서 9종이 출현했으나 생태통로에서는 5종이 확인되었고, 법정보호종 1종이 유지되었다(표 13-14). 장수(JN)는 서식지 10종 중 5종만이 생태통로를 이용하였고, 법정보호종은 서식지 2종에서 생태통로 1종(담비)으로 감소하였다(표 13-14). 장수(JY)는 서식지 11종 중 8종이 생태통로를 이용하고, 법정보호종 2종이 유지되어 높은 이용 효율을 보였다(표 13-14). 반면, 함양(HY)은 서식지에 10종이 서식함에도 생태통로 이용은 2종에 불과했으며, 법정보호종 2종의 생태통로 이용도 확인되지 않았다(표 13-14).

왕복 4차선 구간 4개소의 경우, 구례(GG)는 서식지에서 7종 중 3종이 생태통로를 이용하였고, 법정보호종은 2종에서 1종으로 감소하였다(표 13-14). 여주(YJ)는 서식지에서 8종 중 6종이 통로를 이용하고, 법정보호종 2종이 출현하여 4차선 구간 중 가장 양호한 수치를 기록하였다(표 13-14). 충주(CJ)는 서식지 7종 중 5종이 생태통로를 이용하였으나, 법정보호종은 서식지에서만 1종 출현하였다(표 13-14). 화성(HS)은 서식지 7종 중 4종이 생태통로를 이용하였으며, 법정보호종은 양쪽 모두에서 확인되지 않았다(표 13-14).

표 15. 터널형 생태통로 일평균 출현빈도

종(학명)	대상지	구례	구례	담양	삼척	장수	장수	함양	구례	여주	충주	화성
		(GS)	(GP)	(DD)	(SC)	(JN)	(JY)	(HY)	(GG)	(YJ)	(CJ)	(HS)
		2차선						4차선				
1. 고라니(<i>Hydropotes inermis</i>)		0.01	1.16	0.02	1.20	0.07	0.59	0.25		2.20	0.47	0.42
2. 너구리(<i>Nyctereutes procyonides</i>)		0.01	0.14	0.01	0.43		0.30		0.01	1.07	0.71	0.11
3. 노루(<i>Capreolus pygargus</i>)						0.01	0.09			0.20	0.08	0.02
4. 다람쥐(<i>Tamias sibiricus</i>)			0.01									
5. *담비(<i>Martes flavigula</i>)						0.04				0.01		
6. 멧돼지(<i>Sus scrofa</i>)		0.08				0.02	0.05					
7. 멧토끼(<i>Lepus coreanus</i>)					0.13							
8. 박쥐류												
9. *삿(Prionailurus bengalensis)		0.01	0.19		0.04		0.01		0.01	0.02		
10. *수달(<i>Lutra lutra</i>)			0.05									
11. 오소리(<i>Meles leucurus</i>)		0.08	0.28	0.06	0.15	0.54	0.11	0.03		0.64	0.62	0.04
12. 족제비(<i>Mustela sibirica</i>)						0.02			0.11		0.01	
13. 쥐과		0.01										
14. 청설모(<i>Sciurus vulgaris</i>)							0.02					
평균		0.01	0.13	0.01	0.14	0.05	0.09	0.02	0.01	0.29	0.13	0.04
법정보호종 수		1	2		1		2		1	2		
총 수		6	6	3	5	5	8	2	3	6	5	4

*법정보호종(천연기념물 또는 멸종위기 I, II급)

표 16. 서식지 패치 일평균 출현빈도

종(학명)	대상지	구례	구례	담양	삼척	장수	장수	함양	구례	여주	충주	화성
		(GS)	(GP)	(DD)	(SC)	(JN)	(JY)	(HY)	(GG)	(YJ)	(CJ)	(HS)
		2차선						4차선				
1. 고라니(<i>Hydropotes inermis</i>)		0.15	0.47	0.17	0.15	0.06	0.50	0.50	0.33	1.51	0.52	0.66
2. 너구리(<i>Nyctereutes procyonides</i>)		0.05	0.07	0.59	0.06	0.04	0.10	0.31	0.95	0.54	0.25	0.16
3. 노루(<i>Capreolus pygargus</i>)		0.01		0.01	0.06	0.03	0.06	0.13		0.08	0.03	0.01
4. 다람쥐(<i>Tamias sibiricus</i>)			0.04	0.01	0.37	0.05	0.01	0.02				
5. *담비(<i>Martes flavigula</i>)			0.01	0.02		0.01	0.01	0.01	0.01	0.00		
6. 멧돼지(<i>Sus scrofa</i>)		0.10	0.04	0.01		0.03	0.07	0.03	0.00			
7. 멧토끼(<i>Lepus coreanus</i>)					0.04							
8. 박쥐류												0.01
9. *삿(Prionailurus bengalensis)		0.03	0.17	0.05	0.02	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	
10. *수달(<i>Lutra lutra</i>)			0.04									
11. 오소리(<i>Meles leucurus</i>)		0.22	0.19	0.17	0.11	0.31	0.21	0.72	0.08	0.35	0.28	0.16
12. 족제비(<i>Mustela sibirica</i>)		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06		0.01	0.04
13. 쥐과		0.01	0.01		0.01	0.04	0.01	0.01				
14. 청설모(<i>Sciurus vulgaris</i>)			0.01	0.01			0.01			0.05	0.02	0.04
평균		0.04	0.07	0.07	0.06	0.04	0.07	0.13	0.10	0.18	0.08	0.08
법정보호종 수		1	3	2	1	2	2	2	2	2	1	0
총 수		8	11	10	9	10	11	10	7	8	7	7

*법정보호종(천연기념물 또는 멸종위기 I, II급)

서식지 패치 내에서 가장 높은 출현빈도를 보인 종은 고라니로, 여주(YJ)에서 1.51, 화성(HS)에서 0.66으로 확인되었다(표 16). 너구리는 구례(GG)에서 0.95, 담양(DD)에서 0.59로 높게 나타났으며, 오소리는 함양(HY)에서 0.72, 여주(YJ)에서 0.35의 빈도로 확인되었다(표 16). 생태통로 내부에서의 최고 출현빈도를 나타낸 종 역시 고라니로 여주(YJ)

2.20, 삼척(SC) 1.20, 구례(GP) 1.16 순으로 높은 이용률을 보였으며, 너구리는 여주(YJ) 1.07, 충주(CJ) 0.71의 출현빈도를 기록하였다(표 15-16). 특히 여주(YJ)와 삼척(SC) 등 일부 지역에서는 특정 종의 생태통로 이용 빈도가 주변 서식지보다 높게 나타나는 특이점을 보였다(표 15-16). 전체 평균 출현빈도를 기준으로 할 때, 생태통로 일평균 출현빈도가 가장 높은 지역은 여주(YJ)로 0.29이며, 삼척(SC) 0.14, 구례(GP) 0.13 순으로 나타났다(표 15-16). 반면, 일평균 출현빈도가 가장 낮은 지역은 구례(GS) 0.01, 담양(DD) 0.01, 구례(GG) 0.01로 확인되었다(표 15-16). 함양(HY)과 구례(GG)의 이용률은 0.16과 0.11로 낮게 나타났다(표 15-16). 특히 함양(HY)의 경우 서식지 일평균 출현빈도(1.50)는 높으나 생태통로 일평균 출현빈도(0.28)로 낮아, 서식지 내 개체군 밀도가 높았음에도 불구하고 통로로의 유입이 원활하지 않은 상태인 것으로 파악된다(표 15-16). 장수(JY)는 서식지 패치에서 11종, 생태통로에서 8종이 관찰되어 본 연구대상지 중 종다양성 관점에서 생태적 연결성이 가장 우수한 지역으로 확인되었다(표 15-16). 함양(HY)은 서식지 패치에서 10종, 생태통로에서 2종이 관찰되어 서식지 내 종다양성을 고려할 때 생태적 연결성이 낮은 것으로 확인되었다(표 15-16).

본 연구에서는 야생동물의 생태통로 이용 효율성을 평가하기 위해, 생태통로 내부의 일평균 출현빈도와 인근 서식지 패치의 일평균 출현 빈도를 합산한 후, 이를 기준으로 상대화하여 비교·분석하였다. 상대이용빈도 산출식은 아래와 같다.

$$\text{생태통로 이용률 } P(wcs) = \frac{N(wcs)}{N(wcs) + N(\text{forest})}$$

p 의 값이 1에 가까울수록 야생동물의 생태통로 이용이 높았음을 의미하며 값이 0에 근접할수록 서식지 패치를 통한 야생동물의 이동이 생태통로 이용보다 높았음을 의미한다.

표 17. 터널형 생태통로 상대이용빈도

이용률	대상지	구례 (GS)	구례 (GP)	담양 (DD)	삼척 (SC)	장수 (JN)	장수 (JY)	함양 (HY)	구례 (GG)	여주 (YJ)	충주 (CJ)	화성 (HS)
		2차선						4차선				
생태통로 일평균 출현빈도		0.20	1.83	0.10	1.96	0.65	1.22	0.28	0.13	4.12	1.89	0.63
서식지 일평균 출현빈도		0.53	0.38	0.98	0.49	0.39	0.76	1.50	1.09	1.00	0.64	0.97
생태통로 상대이용빈도 (생태통로 이용 효율성)		0.27	0.83	0.09	0.08	0.63	0.62	0.16	0.11	0.80	0.75	0.39
상대이용빈도 평균		0.48						0.51(0.65*)				

*여주(YJ), 충주(CJ), 화성(HS) 평균값

대상지별 상대이용빈도 값은 구례(GP)가 가장 높았으며(0.83), 여주(YJ) 0.80, 충주(CJ) 0.75 순으로 나타났다(표 17). 해당 생태통로가 인근 서식지 패치보다 야생동물의 주요 이동 경로 및 미소서식지로서 매우 중요한 역할을 수행하고 있다고 해석할 수 있다. 삼척(SC)과 담양(DD)의 생태통로 상대이용빈도는 각각 0.08과 0.09로, 분석 대상지 중 0.1 미만의 낮은 값을 보였다(표 17). 이는 해당 지점에서 생태통로 이용 빈도가 다른 대상지에 비해 상대적으로 낮게 관측되었음을 나타내는 결과로, 다른 환경 요인에 대한 검토가 요구된다. 도로 규모 간 상대이용빈도의 평균값은 4차선 구간(0.65)이 2차선 구간(0.48)보다 소폭 높게 나타났다(표 17). 이는 4차선 도로가 야생동물에게 더 큰 이동 장벽 역할을 하여 생태통로에 대한 의존도가 상대적으로 높다는 것을 시사한다.

도로 차선 수가 생태통로 이용에 미치는 영향을 파악하기 위해 변수 간 상관분석을 실시하였다. 표본 수가 11개로 정규성을 만족하지 못했으므로, 순위 상관 분석(Rank Correlation Analysis)을 통해 변수들 간에 일관된 경향성이 있는지 확인하였다. 생태통로 모니터링 결과에서 이상치로 판단된 구례(GG)는 통계 분석에서 제외하였다. 순위 상관 분석(Spearman's rank correlation) 결과, 생태통로 이용률은 도로 차선 수와 약한 음의 상관관계를 보였으나 통계적으로 유의미한 결과는 나타나지 않았다(-0.245, p=0.495)(표 18). 이는 도로 차선 수가 야생동물의 생태통로 이용과 직접적인 관련이 적음을 의미한다. 따라서, 생태통로의 상대 이용빈도가 낮은 구례(GS), 담양(DD), 함양(HY), 구례(GG)는 도로 규모와는 관계없이

다른 생태적 특성에 의해 생태통로 이용이 적다고 해석할 수 있다. 도로 폭과 생태통로 이용률 간의 상관성을 분석한 결과, 도로 폭이 도로 차선수보다 생태통로 이용에 더 큰 영향을 미친 것으로 나타났으나, 이 역시 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않았다(-0.479, $p=0.165$)(표 18). 반면, 생태통로의 개방도는 생태통로 이용률과 강한 양의 상관관계를 보였으며, 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 확인되었다(0.733, $p=0.01$)(표 18).

표 18. Spearman 상관분석 결과

	도로 차선수	도로 폭	개방도
상관계수(ρ)	-0.245	-0.479	0.733
유의확률(P-value)	0.495	0.165	0.016

생태통로의 상대이용빈도가 낮은 구례(GS) 0.27, 담양(DD) 0.09, 함양(HY) 0.16, 구례(GG) 0.11은 도로 규모가 아닌 다른 생태적 특성에 따라 생태통로 이용빈도가 적은 것으로 판단된다. 대표적으로 구례(GG)는 생태통로 내 인근 주민의 불법 경작지로 활용되고 있었으며 사람 및 농기계의 출입이 잦음에 따라 생태통로 내부를 이동하는 야생동물이 적은 것으로 확인되었다(그림 34-35).



그림 34. 이용률이 높은 터널형 생태통로 현황(구례GP)



그림 35. 이용률이 낮은 터널형 생태통로 현황(구례GG)

동일한 도로 폭(20m)에서도 이용빈도가 0.11(구례GG)과 0.80(여주YJ)로 극단적으로 차이가 나는 것으로 나타났다(표 19). 이는 도로 폭 외에도 식생 피복도, 주변 서식지 환경, 유도울타리 유무 등 다른 생태적 특성이 생태통로 이용률에 더 큰 영향을 미친다는 것을 시사한다. 단순히 도로 폭이 넓으면 생태통로 이용이 증가하거나 감소하는 선형 관계가 아니라, 일정 폭 이상에서는 다른 변수들이 복합적으로 작용하는 경향이 나타날 수 있다. 따라서 도로 규모만으로는 생태통로 이용빈도의 차이를 설명하기 어렵고, 유도울타리, 식생밀도, 주변 소음, 차량 통행량 등 다양한 요인들을 고려하여 다중회귀분석을 통해 유의미한 변수들을 추정해야 한다. 또한, 대상지의 현황이나 환경적 차이를 비교 분석하는 정성적 접근을 통해 생태통로 이용률을 현장 상황에 맞게 해석할 필요가 있다.

표 19. 대상지별 도로 차선 수, 도로 폭, 개방도

대상지 종(학명)	구례 (GS)	구례 (GP)	담양 (DD)	삼척 (SC)	장수 (JN)	장수 (JY)	함양 (HY)	구례 (GG)	여주 (YJ)	충주 (CJ)	화성 (HS)
도로 차선 수	2							4			
도로 폭(m)	10	9	15	9	9	15	17	20	20	23	20
개방도(면적/길이)(m ²)	2.50	1.67	0.76	0.80	1.48	1.30	0.75	1.59	0.80	0.80	0.75
생태통로 상대이용빈도 (생태통로 이용 효율성)	0.27	0.83	0.09	0.08	0.63	0.62	0.16	0.11	0.80	0.75	0.39

도로 규모에 따른 생태통로 이용률을 비교하면, 2차선 도로 위에 건설된 생태통로의 상대이용빈도는 0.48로 나타났고, 4차선 도로 위에 건설된 생태통로의 상대이용빈도는 0.51로 나타났다(표 19). 이 결과는 선행연구에서 제시되는 도로 규모가 증가할수록 생태통로 이용률이 감소하는 경향과는 상반된 결과를 보였다(Clevenger, Anthony & Waltho, 2000; Clevenger & Barrueto, 2014; Simpson *et al.*, 2016). 본 연구에서는 4차선 도로의 생태통로 이용률이 2차선 도로 생태통로의 이용률보다 다소 높게 나타났으나, 두 도로 유형 간 이용률 차이는 크지 않은 것으로 확인되었다(표 19). 이러한 결과는 첫째, 분석에 사용된 표본 수가 적거나, 둘째, 4차선 도로에 건설된 생태통로가 상대적으로 인근 서식지 패치와의 공간적 연결성이 양호하여 이용 여건이 우수했거나 셋째, 유도펜스 등 보완시설이 효과적으로 작용했을 가능성을 시사한다. 또한, 도로가 넓을수록 동물들의 도로 횡단에 어려움이 발생하여 생태통로를

이용할 가능성이 높아지며, 2차선 도로에서는 도로 횡단이 상대적으로 용이해 일부 개체가 생태통로를 우회하여 도로를 횡단할 가능성도 존재한다. 따라서 도로 규모와 관련된 다양한 생태학적 요인들을 종합적으로 고려한 추가 연구가 필요하며, 도로 설계 시 동물들의 이동성 및 생태적 특성을 충분히 반영한 접근이 요구된다. 교통량과 도로 폭의 증가는 야생동물에게 추가적인 스트레스 요인으로 작용할 가능성이 있다. 선행 연구에 따르면, 도로의 크기가 커질수록 소음, 진동, 그리고 차량의 속도가 증가하고 야생동물의 이동을 방해하는 주요 요소로 작용할 수 있다(Forman & Alexander, 1998). 또한, 4차선 이상의 도로에서는 생태통로의 크기, 위치, 유도울타리, 그리고 주변 식생과 같은 요소들이 생태통로 이용률에 중요한 영향을 미칠 수 있다고 보고된다(Glista, DeVault, & DeWoody, 2009). 따라서, 생태통로 설계 시 동물들의 이동 특성을 고려한 통합적인 접근이 필요하다. 특히 4차선 도로에서는 생태통로 설계가 단순히 물리적 구조만을 고려하는 것을 넘어, 서식지 연결성 강화, 소음 완화, 유도울타리 설치 강화 등 종합적인 개선이 이루어져야 한다. 또한, 복원 목표종의 경관 투과성 등 생태적 특성을 세심하게 고려하고, 도로 크기와 교통량에 맞춰 유연한 대응을 해야 하며, 각 도로 유형에 맞는 생태계의 기능적 특성을 평가하고 지속적인 모니터링을 병행해야 할 것이다.

나. 생태통로 통합관리 정보시스템 관리·운영 및 고도화

1) 생태통로 통합관리 정보시스템 현황

2025년 12월 기준으로 정보시스템에는 육교형 411개소와 터널형 215개소 등 총 626개소의 생태통로가 등록되어 있으며, 대국민 서비스를 통해 생태통로 시설정보 조회, 유형별 위치 지도 제공 등 기초 정보를 확인할 수 있다(그림 36).

생태통로 시설정보

전체 626건 | 도: 전체 | 시/군: 전체 | 관리기관: 기관명을 입력하여 주십시오. | 생태통로명: 검색어를 입력해주세요.

생태통로명	주소	도로명	관리기관	설치기관
왕배산생태통로	경기도 화성시 산척동 799	고속도로 동탄산척로2길	경기도 화성시	한국토지주택공사
동탄숲생태통로	경기도 화성시 목동 476-4	고속도로 동탄순환대로	경기도 화성시	한국토지주택공사
화석리 생태통로	충청남도 보령시 신니면 화석리 산 58-3	고속도로 40호선	한국도로공사	한국도로공사
두릉리 생태통로	충청남도 보령시 웅천읍 두릉리 1-5	국도 21호선	국토교통부 대전지방국토관리청 예산국토관리사무소	국토교통부
옥서리 생태통로(2)	충청남도 보령시 남포면 옥서리 450-18	고속도로 21호선	국토교통부 대전지방국토관리청 예산국토관리사무소	국토교통부
옥서리 생태통로(1)	충청남도 보령시 남포면 옥서리 430-17	국도 21호선	국토교통부 대전지방국토관리청 예산국토관리사무소	국토교통부
유경리 생태통로	전북특별자치도 장수군 번암면 유경리 378-4	지방도 743호선	한국도로공사	한국도로공사
백산리 생태통로	전북특별자치도 순창군 순창읍 백산리 산 66-12	고속도로 12호선	한국도로공사	한국도로공사
운북리 생태통로	전북특별자치도 순창군 구림면 운북리 472-9	국도 21호선	국토교통부 익산지방국토관리청 남원국토관리사무소	국토교통부
서무리 생태통로	전북특별자치도 남원시 인월면 서무리 산 88-3	국도 24호선	국토교통부 익산지방국토관리청 남원국토관리사무소	국토교통부

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 >>

연예 다운로드

기본도, 생태자연도, 조사지도, 전국자연환경조사, 특정지역자연환경조사, 생태통로, 육교형, 터널형, 장기생태, 조류충돌, 하천 수생태계 연속성, 외래생물조사, 환경정보도, 습지 공간정보, 지자체 생태정보

그림 36. 생태통로 통합관리 정보시스템 대국민 서비스

정보시스템에 등록된 권역별 생태통로 현황을 분석한 결과, 경기도가 육교형 78개소, 터널형 25개소로 총 103개소를 기록하여 가장 많은 개소수를 보였으며, 뒤이어 경상북도 78개소, 강원도 75개소, 전라북도 73개소 순으로 나타났다(표 20). 경기도의 경우 2000년도 이전에는 9개소에 불과하였으나, 2000년 이후 급격한 증가세를 보여 권역별 최대 개소 수로 확인되었다. 이러한 증가는 급격한 도시 개발 및 도로 건설 등으로 인한 생태계 단절과 서식지 파괴가 확대됨에 따라, 환경영향평가 과정에서 생태통로 설치 필요성이 적극적으로 반영된 결과로 추정된다.

환경영향평가에서는 도로 건설 및 개발 사업이 야생동물 이동에 미치는 영향을 사전 검토하고, 생태통로 설치를 포함한 완충 및 저감 대책을 권고하도록 규정되어 있어, 경기도를 중심으로 한 생태통로 설치 증가와 직결된 것으로 판단된다.

표 20. 생태통로 통합관리 정보시스템 현황

(단위: 개소)

구분	육교형	터널형	계
강원도	37	38	75
경기도	78	25	103
서울특별시	30	1	31
인천광역시	6	-	6
충청남도	43	17	60
충청북도	42	22	64
대전광역시	10	3	13
세종특별자치시	12	-	12
전라남도	21	18	39
전라북도	37	36	73
광주광역시	2	0	2
경상남도	24	23	47
경상북도	54	24	78
대구광역시	4	-	4
부산광역시	6	1	7
울산광역시	5	4	9
제주특별자치도	-	3	3
총계	411	215	626

도로유형별 생태통로 설치 현황을 살펴보면, 국도에 설치된 생태통로가 육교형 122개소, 터널형 111개소로 총 233개소로 가장 많은 것으로 나타났다(표 21). 다음으로 시·군·구도에는 육교형 193개소, 터널형 29개소로 총 222개소가 설치되어 국도와 유사한 수준을 보였으며, 고속도로 91개소, 지방도 72개소 순으로 확인되었다(표 21). 이와 함께 2개 이상의 도로유형을 동시에 횡단하는 생태통로는 총 7개소로 나타났다.

우리나라 도로유형별 생태통로 설치 현황의 특징은 상대적으로 도로 규모가 작은 시·군·구도에서도 생태통로 설치가 활발하게 이루어지고 있다는 점이다. 일반적으로 해외 사례에서는 왕복 2차선 이하의 소규모 도로에 생태통로 설치가 제한적으로 이루어지며, 고속도로 또는 국도와 같이 차로 수가 많고 교통량이 큰 도로를 중심으로 설치되는 경향이

보고되고 있다. 반면, 우리나라에서 이러한 설치 양상이 나타나는 것은 택지개발 및 도로 신설·확장 사업 과정에서 실시되는 환경영향평가 결과와 이에 따른 저감 대책 의견이 적극적으로 반영된 결과로 해석된다.

표 21. 도로유형별 생태통로 설치 현황

(단위: 개소)

구분	육교형	터널형	계
고속도로	36	55	91
국도	122	111	233
지방도	53	19	72
시·군·구도	193	29	222
수계	1	-	1
복합*	6	1	7
총계	411	215	626

* 2개 이상의 도로 유형을 횡단하는 생태통로

정부 합동으로 추진 중인 「한반도 생태축 보전·복원 사업」에서는 백두대간, 정맥, 기맥 등 주요 생태축을 대상으로 복원 필요성을 평가하고, 이를 바탕으로 생태통로 설치가 시급한 지역의 우선순위를 설정하고 있다(국립생태원, 2023). 해당 사업에서 적용되는 평가지표는 생태자연도 등급, 생태축 위계(백두대간, 정맥 등), 산림 면적, 법정보호종 서식 현황, 로드킬 발생 현황 등으로 구성되어 있다.

한편, 도로의 규모는 로드킬 발생 여부와 함께 생태축 단절에 영향을 미치는 주요 요인으로 인식되고 있다. 이에 따라 향후 생태통로의 설치 위치를 선정함에 있어 도로 규모에 대한 고려가 보다 체계적으로 반영될 필요가 있을 것으로 판단된다.

2) 정보시스템 고도화

생태통로 통합관리 정보시스템의 고도화는 입력 정보의 신뢰성 확보를 핵심 목표로 추진되었다. 이를 위해 신규 또는 기존 생태통로의 시설정보 입력이 완료될 경우, 국립생태원이 해당 정보를 검토·승인하는 절차를 시스템에 반영하였다(그림 37). 입력된 정보나 사진이 불명확한 경우에는 반려 기능을 통해 재등록이 이루어질 수 있도록 시스템을 구성하였다.

아울러 기후부 지침을 기반으로 한 생태통로 관리대장 및 모니터링 대장의 세부 항목 입력 기능을 고도화하여, 생태통로 관리에 필요한

정보가 체계적으로 축적될 수 있도록 하였다(그림 37). 또한 생태통로의 위치를 보다 명확하게 확인할 수 있도록 지도 화면의 가독성을 개선하고, 좌표를 직접 입력하는 방식이 아닌 지도상에서 위치를 선택하면 좌표가 자동으로 입력되도록 기능을 구현하였다(그림 37).

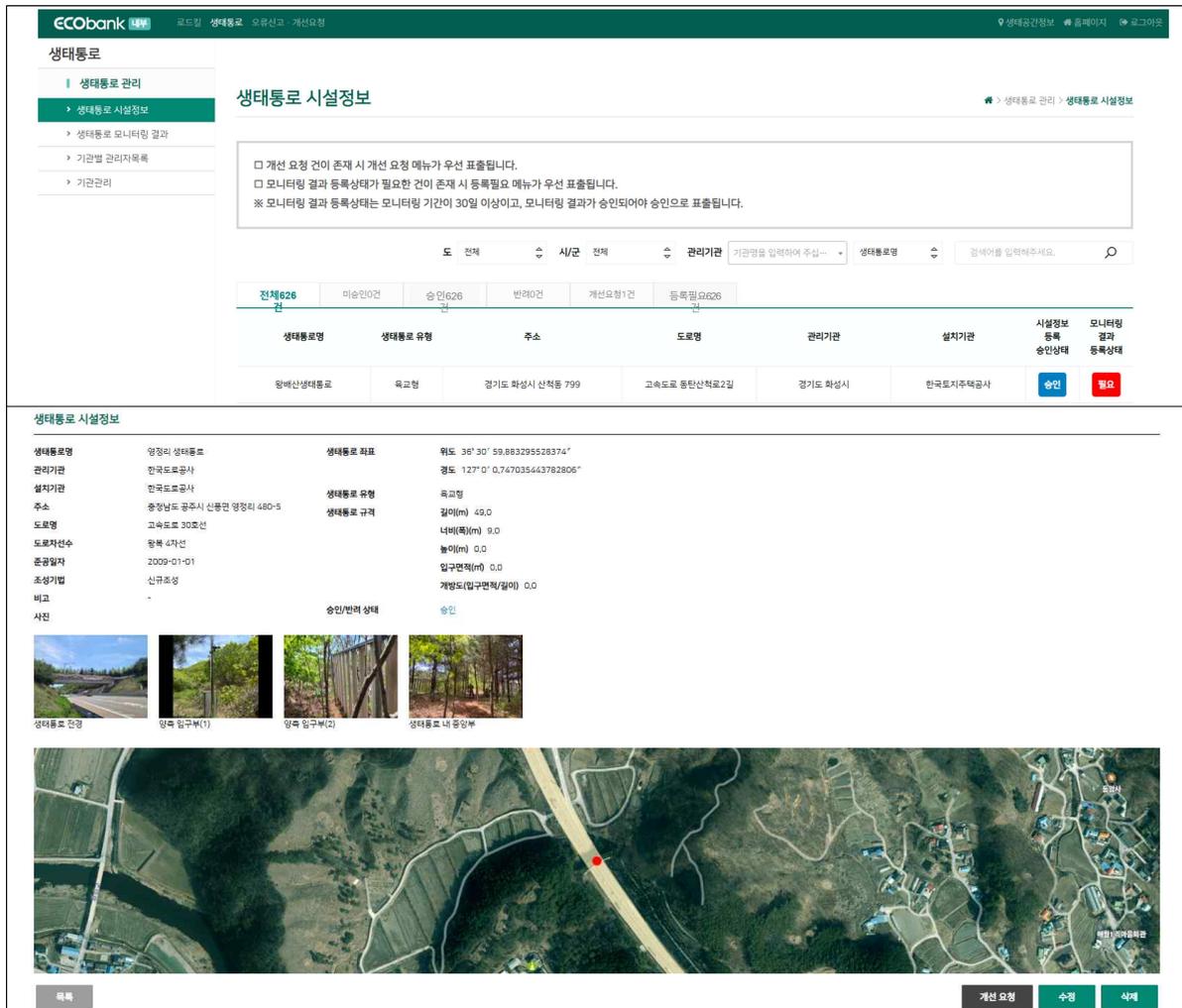


그림 37. 생태통로 시설정보 검토·승인 및 등록 현황

부여된 계정으로 생태통로 통합관리 정보시스템에 접속할 경우, 해당 생태통로에 대한 조사 결과의 입력 필요, 입력 완료, 반려 등 진행 상태를 한눈에 확인할 수 있는 기능을 추가하였다(그림 38). 조사 결과 입력 과정에서는 필수 항목이 누락될 경우 다음 단계로 진행할 수 없도록 하는 기능을 적용하였다. 또한 사용자가 정보를 직접 서술 방식으로 입력하는 대신, 다중 선택 항목 중 해당 사항을 선택하도록 입력 방식을 개선하여 수집되는 정보의 객관성과 일관성을 확보하였다.

특히 생물 이용 모니터링 결과 입력 시에는 종명 자동입력 기능을 적용하여 입력 오류를 최소화하였다(그림 38).

「자연환경보전법」 시행규칙 제28조의2 제1항에 따르면, 생태통로 조성 후 3년까지는 계절별 1개월 이상, 3년 이후에는 연 1개월 이상 무인장비를 활용한 모니터링을 실시하도록 규정하고 있다. 이에 정보시스템에 등록되는 자료를 통해 관련 이행 여부를 확인할 수 있도록 모니터링 기간과 방법을 명시하도록 하였으며, 포유류, 조류, 양서·파충류의 이용 중 정보를 필수로 입력하도록 개선하였다(그림 38). 또한 생태통로 내 식물상 현황을 파악하기 위해 출현 종과 밀도에 대한 정성적 평가 결과를 입력하도록 하였다.

아울러 기후부 지침에 따라 생태통로 및 인접 서식지의 경사도, 유도울타리 연장 여부, 방음벽, 안내표지판 등 부대시설의 설치 유무를 입력하도록 하여(그림 38), 생태통로 설치·관리자의 시설물 관리 현황을 체계적으로 점검할 수 있도록 하였다.

생태통로 모니터링 결과 (등록필요: 1건)

모니터링 주기는 조성 후 3년 동안은 계절별 1개월 이상 무인센서카메라 등 감시장비를 이용하여 실시하며, 3년 이후에는 무인센서카메라 등 감시장비를 이용하여 연 1개월 이상 모니터링을 실시한다.

(『생태통로 설치 및 관리지침, 개정 전문(23.11)』)

모니터링 결과 등록 상태 조회 >

모니터링 구분	모니터링 결과 등록 상태	모니터링 기간
2024년	필요	모니터링 결과 등록

1

목록

생태통로 모니터링 결과 등록 ▶ 생태통로 관리 > 생태통로 모니터링 결과 등록

여기는 필수입력항목입니다.

생태통로 시설정보	담당자 생태통로 종공일차 : 2008-01-01 찾기
모니터링 기간	*모니터링 주기는 조성 후 3년 동안은 계절별 1개월 이상 무인센서카메라 등 감시장비를 이용하여 실시하며, 3년 이후에는 무인센서카메라 등 감시장비를 이용하여 연 1개월 이상 모니터링을 실시한다.* (『생태통로 설치 및 관리지침, 개정 전문(23.11)』) 2025년 년 월 일
수행기관	기관명을 입력하여 주십시오.
수행자	
모니터링 방법	<input type="checkbox"/> 무인센서카메라 <input type="checkbox"/> CCTV <input type="checkbox"/> 축적판 <input type="checkbox"/> 현장조사 다음 순위에 가능합니다.
통산적 이용빈도	선택 >
생태통로 이용종 정보	종류종 종양을 입력하여 주십시오. 이용빈도 추가
생태통로 내 식물상	식물종 종양을 입력하여 주십시오. 종양도(%) 추가

종양	이용빈도	식계
* 종양도는 0-100 사이의 수인 입력 가능합니다. 모든 종양도의 합은 최대 100까지만 가능합니다.		
식물종	식물유형	종양도(%)
식계	식계	식계

개선 필요사항	
생태통로 양측사면 경사도	<input type="radio"/> 매우 가파름(30도 이상) <input type="radio"/> 가파름(25-30도 미만) <input type="radio"/> 보통(20-25도 미만) <input type="radio"/> 완만함(15-20도 미만) <input type="radio"/> 매우 완만함(15도 미만)
생태통로 중심 상하행선 1km 내 유도물까지 보수 필요구간 수	상정구간(%) <input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 0-40 <input type="checkbox"/> 50-100 <input type="checkbox"/> 100-200 <input type="checkbox"/> 200-500 <input type="checkbox"/> 500-1000 없음은 제외한 다른 항목들에 의하여 다음 선택이 가능합니다.
소형동물 유도물터	<input type="radio"/> 없음 <input type="radio"/> 있음
소형동물 유도물터의 높이(cm)	<input type="radio"/> 없음 <input type="radio"/> 50cm 미만 <input type="radio"/> 50cm 이상
유도물터의 높이(m)	<input type="radio"/> 없음 <input type="radio"/> 1.5m 미만 <input type="radio"/> 1.5m 이상
일명도구 발견	<input type="radio"/> 없음 <input type="radio"/> 있음
일명도구 종류	
생태통로 사진	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> 사진 첨부 방법 <input type="checkbox"/> 필수 : 생태통로 전경(1점), 양측 입구부(2점), 생태통로 내 중앙부 1장 <input type="checkbox"/> 선택 : 기타(최대 5장 이내) </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;">     </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>* 생태통로 전경</p> <p><input type="checkbox"/> 파일 선택 <input type="checkbox"/> 카메라 파일 업로드</p> <p>첨부할 파일이 없습니다.</p> <p>* 양측 입구부(1)</p> <p><input type="checkbox"/> 파일 선택 <input type="checkbox"/> 카메라 파일 업로드</p> <p>첨부할 파일이 없습니다.</p> <p>* 양측 입구부(2)</p> <p><input type="checkbox"/> 파일 선택 <input type="checkbox"/> 카메라 파일 업로드</p> <p>첨부할 파일이 없습니다.</p> <p>* 생태통로 내 중앙부</p> <p><input type="checkbox"/> 파일 선택 <input type="checkbox"/> 카메라 파일 업로드</p> <p>첨부할 파일이 없습니다.</p> <p>기타 (최대 5장 이내)</p> <p><input type="checkbox"/> 파일 선택 <input type="checkbox"/> 카메라 파일 업로드</p> <p>첨부할 파일이 없습니다.</p> </div>

그림 38. 생태통로 모니터링 결과 등록

「자연환경보전법」 제45조의2 제3항에 따른 생태통로 개선조치 요청을 위한 평가와 개선조치 이행 여부 확인에 관한 업무는 「자연환경보전법」 시행령 제52조의2에 따라 국립생태원에 위탁되어 있다. 이에 따라 해당 업무를 정보시스템상에서 효율적으로 이행할 수 있도록, 생태통로 조사·평가 결과에 따른 개선 요청 사항을 시스템을 통해 통보하고, 생태통로 설치·관리자가 이에 대한 개선조치를 이행할 수 있는 기능을 고도화하였다(그림 39). 아울러 개선조치 이행 결과에 대해서는 국립생태원이 이를 검토한 후 승인 또는 반려할 수 있도록 하는 절차를 정보시스템에 구축하였다(그림 39).



그림 39. 생태통로 시설정보 등록

북미에서는 야생동물 횡단 데이터베이스 플랫폼(Wildlife Crossing Database Platform, WCDP)을 구축하여 실무자 간 정보 공유를 촉진하고, 경관 연결성과 관련된 대중의 참여를 확대하고자 하였다(Newell *et al.*, 2025). 이 플랫폼은 연구자와 실무자 간 협력을 강화함으로써, 지역사회와 국가, 나아가 전 세계가 직면한 핵심적인 지속가능성 문제에 효과적으로 대응하기 위한 기술적 수단으로 개발되었다(Newell *et al.*, 2025).

우리나라에 설치된 생태통로는 총 626개소로, 설치 규모 측면에서 세계적으로 상위권 수준에 해당하는 것으로 평가되고 있다. 그러나 최근 언론 보도를 통해 생태통로의 관리·운영 부실로 인한 실효성 저하에

대한 문제 제기가 지속적으로 이루어지고 있다.

본 연구에서는 생태통로 통합관리 정보시스템의 기능 고도화를 통해 전국에 설치된 생태통로의 시설 현황 및 조사 결과에 대한 수집·등록·검토 절차를 강화하고, 법·제도 기준에 부합하지 않는 생태통로에 대해 개선을 요청할 수 있는 기능을 구축하였다. 이를 통해 생태통로 설치·관리자가 생태통로를 보다 체계적이고 효율적으로 관리하고 조사 결과를 정확하게 입력할 수 있는 기반을 마련하였다. 이와 같은 정보시스템 기반의 관리체계 고도화는 생태통로의 지속적인 관리 수준을 제고하고, 궁극적으로 생태계 연결성 강화와 생태통로 이용 생물종 증가에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 로드킬 저감 연구

우리나라는 국토 면적 100,378km² 대비 도로 연장 총 115,878km가 구축되어 있어, 단위 면적당 도로 밀도가 1km/km²를 상회하는 도로 고밀도 국가에 해당한다(산림청, 2024; 통계청, 2024). 도로와 철도 등 선형 개발은 서식지 소실 및 단절, 서식지 훼손, 로드킬 발생 등 다양한 생태계 부정적 영향을 초래한다(Curatolo & Murphy, 1986; Clevenger & Kociolek, 2013; Baechli *et al.*, 2021).

최근 5년간 국립생태원에 수집된 로드킬 정보에 따르면 사고 발생 건수는 약 270% 증가한 것으로 분석되었다(국립생태원, 2020; 국립생태원, 2021; 국립생태원, 2022; 국립생태원, 2023; 국립생태원, 2024). 이러한 증가는 정부 정책 이행률 제고에 따른 정보시스템 활용 확대가 수집량 증가에 일부 영향을 미친 것으로 판단된다. 그러나 로드킬은 지속적으로 발생하며 사회·경제적 피해를 유발할 뿐만 아니라 생물다양성 감소를 초래하고, 특정 종에 국한되지 않고 다양한 분류군에서 광범위하게 발생함에 따라 그 부정적 영향이 확대되고 있는 것으로 보고되고 있다(Keller & Pfister, 1997; Fahrig, 2003; Stephens *et al.*, 2004; Song *et al.*, 2018).

2018년 「동물 찾길 사고(로드킬) 조사 및 관리 지침」 제정 이후, 전국의 로드킬 발생 정보는 조사용 애플리케이션(App)을 통해 정보시스템(Web)으로 수집되고 있으며, 이를 기반으로 통계가 체계적으로 구축되고 있다. 또한 2021년과 2024년에 지침이 일부 개정되어 참여 기관이 확대되고 조사 대상 분류군이 추가됨에 따라, 로드킬 저감대책 수립을 위한 기초 기반이 지속적으로 강화되고 있다(국립생태원, 2021; 국립생태원, 2024).

이를 바탕으로 2020년, 2022년, 2024년에 걸쳐 총 3차례의 로드킬 저감대책이 수립되었으며, 총 226개소의 사고 다발구간을 선정하여 구간별 저감방안을 제시하였다. 아울러 야생동물 노면 진입 방지시설, AI 기반 로드킬 예방시스템 등 신규 저감시설에 대한 평가·검증을 실시하고, 그 결과를 저감대책에 적극 반영하고 있다(국립생태원, 2019; 국립생태원, 2021; 국립생태원, 2023)

본 연구는 정부 지침에 따라 정보시스템의 관리·운영, 로드킬 통계 구축, 저감방안 분석·조사 및 사고 원인 분석, 저감대책의 효율성 평가를 수행함으로써 생태계 보전과 국민 안전 확보에 기여하고자 하였다.

1. 연구내용 및 방법

가. 로드킬 정보시스템 운영 및 통계 구축

1) 도로관리청 담당자 및 조사원 등록 관리

동물 교통사고(로드킬) 저감을 위해 기후부와 국토교통부는 2018년 5월 「동물 찾길 사고 조사 및 관리 지침」을 공동으로 제정하였으며, 2021년 5월 일부 내용을 개정하였다(국립생태원, 2021). 본 연구에서는 기존 지침의 적용 범위를 확대하고자, 도로 관리 주체를 「지방자치법」 제2조에 따른 지방자치단체, 국립공원공단, 한국도로공사 등으로 확장하는 개정안을 검토하였다. 아울러 찾길 사고 조사 대상도 기존 포유류와 조류에서 양서류와 파충류까지 포함하도록 확대하는 방안을 제시하였다. 기관별 추진체계를 명확히 하여 실효성 있는 사고 저감 대책을 수립할 수 있도록 하는 체계 마련 또한 검토하였다. 이러한 내용을 반영하여 기후부와 국토교통부는 2024년 4월 지침 일부를 개정하였다(국립생태원, 2024).

국립생태원은 관련 지침에 따라 로드킬 정보시스템을 관리·운영하며, 수집된 자료를 활용하여 사고 다발 구간을 분석하고 선정한다(국립생태원, 2019). 선정된 구간에 대해서는 현장조사를 실시하여 사고 원인을 규명하며, 이를 바탕으로 다발 구간별 저감 방안과 기존 저감대책의 효과 분석 내용을 포함한 보고서를 기후부에 제출한다(국립생태원, 2019). 한편, 도로관리청은 계절과 관계없이 상시로 찾길 사고 조사를 수행하며, 사체 또는 부상 동물을 발견한 경우에는 조사용 애플리케이션(App)을 이용하여 사진을 촬영하고, 해당 정보를 정보시스템(Web)을 통해 전송하도록 하고 있다(국립생태원, 2019).

로드킬 정보시스템은 도로관리청 조사원(순찰원, 보수원 등)이

현장에서 사고 정보를 전송하는 조사용 애플리케이션(App, 굿로드)과, 수집된 정보를 검토·승인하여 통계를 구축하는 웹 기반의 정보시스템으로 구성된다(국립생태원, 2019).

사고 발생 시, 도로관리청 조사원은 동물 사체가 차량 통행에 방해되지 않도록 처리하기 전에, 앱을 이용하여 동물의 사진(근접 및 전경), 위치 정보(주소, 좌표), 특히 사항 등을 기록하여 전송한다(국립생태원, 2019). 앱에는 임시 저장 기능이 포함되어 있어, 안전한 장소로 이동 후 일괄 전송할 수 있으며, 조사원은 자신이 전송한 정보를 확인할 수 있다(그림 40).

국립생태원 에코뱅크의 로드킬 정보시스템은 도로관리청, 관리자, 조사원의 등록 및 관리를 지원하며, 관리자는 소속 도로관리청 조사원을 등록·관리할 수 있는 권한을 부여받는다(국립생태원, 2019). 또한 관할 구역에서 발생한 모든 찾길 사고 정보를 확인할 수 있다. 도로관리청에서 전송된 자료는 정보시스템으로 수집되며, 수집된 사진과 위치 정보를 바탕으로 종 동정을 수행하고, 사고 위치가 도로 위에 정확히 표시되도록 검토 후 승인한다. 승인된 정보는 로드킬 통계 구축에 활용된다(국립생태원, 2019).

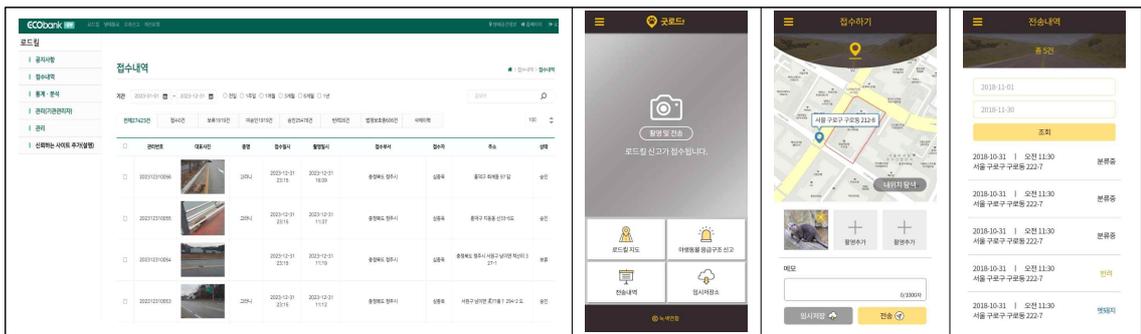


그림 40. 로드킬 정보시스템(Web) 및 로드킬 조사용 앱(App)

로드킬 저감대책을 수립하기 위해 가장 기초적이고 중요한 단계는 전국적으로 발생한 사고 자료를 체계적으로 수집하는 것이다(국립생태원, 2019). 정보시스템의 활용도를 제고하기 위해 인식 개선용 교육 영상을 최신화하였다(그림 41). 해당 영상은 「동물 찾길 사고(로드킬) 조사 및 관리 지침(2024.4)」의 개정 내용을 반영하여 편집·수정 후, 국립생태원 유튜브 채널에 게시하였다.



그림 41. 로드킬 정보시스템 교육 영상

2) 로드킬 정보시스템 통계 관리

도로관리청에서 전송한 찾길 사고 정보의 검토 및 승인은 국립생태원에서 수행한다(국립생태원, 2019). 사고 발생 종을 동정하고 종명을 입력하면, 해당 종의 분류군(포유류, 조류, 양서류, 파충류)과 법정등급(천연기념물, 멸종위기 야생생물 I 급·II 급)이 자동으로 등록된다. 전송된 사진의 위치 정보(주소, 좌표)를 검토하여 사고 발생 위치가 도로 상에 정확히 표시되는지 확인하며, 조사원의 GPS 기능 오류 등으로 도로가 아닌 위치에 나타난 경우에는 사고 전경 사진을 참고하여 위치를 수정한다. 위치 수정 시 주소, 좌표, 행정구역 정보도 자동으로 업데이트된다. 위치 검토가 완료되면, 사고 발생 도로의 유형(고속도로: 재정·민자, 국도, 지방도, 시·군·구도)을 선택하고, 해당 도로 번호 또는 도로명을 입력한다. 종 동정, 위치, 도로 유형 검토가 완료된 정보는 로드킬 통계 자료로 수립된다.

한편, 도로관리청에서 정보시스템으로 전송되지 않은 사고 정보는 기후부와 국토교통부와 협력하여 공문을 통해 누락 자료를 수집하였다(국립생태원, 2019). 수집된 도로관리청, 종명, 주소 등의 자료는 검토 과정을 거친 후 로드킬 정보시스템에 탑재된다.

나. 로드킬 저감방안 제시

1) 로드킬 다발구간 분석

로드킬 다발구간 분석은 2024년 1월부터 12월까지 발생한 사고 정보를 기반으로 수행하였으며, 종과 좌표가 명확히 확인 가능한 데이터만을 활용하였다. 사고 다발구간은 특정 도로 구간에서 사고가 집중적으로 발생하여 공간적으로 군집화된 구간으로 정의할 수 있다(Song *et al.*, 2019). 이러한 다발구간 분석 기법은 로드킬 외에도, 야생동물 서식 분포와 행동권 파악, 보건 역학에서 질병의 지리적 분포 및 확산 분석, 범죄학 분야에서 범죄 패턴 분석 등 다양한 분야에서 핫스팟을 선정하는데 활용되고 있다(Park & Lee, 2015).

커널 밀도 추정(Kernel Density Estimation, KDE) 분석은 찾길 사고 다발구간, 즉 핫스팟을 직관적으로 파악하고 사고 구간의 심각도를 평가하는 데 유용하게 활용된다(Ramp *et al.*, 2005; Girardet *et al.*, 2015; Song *et al.*, 2019). 다만, 이 방법은 분석 결과의 통계적 유의성을 검증할 수 없으며, 탐색 반경이 넓어질 경우 다발구간의 공간적 패턴이 평활화되어 직관적인 핫스팟 구분이 어려워질 수 있다(Teixeira *et al.*, 2013).

커널 밀도 추정은 사고 발생 위치의 좌표를 기반으로 공간 밀도를 산출하고 이를 시각화하는 기법이다. 구체적으로, 설정된 탐색 반경 내에 포함된 점 좌표의 밀도를 측정하여 커널 함수 K 표현하며, K 값은 점과의 거리가 멀어질수록 작아지고 탐색 반경을 벗어난 점에는 값이 부여되지 않는다(Silverman, 1986). 따라서 탐색 반경 내 점 간 거리가 멀수록 공간적 연관성은 감소하며, 이를 통해 사고 발생 밀집 구간과 상대적 심각도를 평가할 수 있다.

고속도로에서의 로드킬 다발구간 분석 사례를 살펴보면, Shilling & Waetjen(2015)은 0.4km, 0.8km, 1.6km의 탐색 반경을 비교하여 분석하였고, Seok & Lee(2015)는 사고 좌표 간 평균 거리를 기준으로 50m×50m 단위로 분석을 수행하였다. 또한 Mohaymany *et al.*(2013)은 탐색 반경을 1km로 설정하였으며, Ramp *et al.*(2005)과 Girardet *et al.*(2015)은 500m의 탐색 반경을 적용하여 다발구간을 분석하였다.

본 연구에서는 로드킬 발생 종과 좌표가 명확히 확인 가능한 자료를

기반으로, 핫스팟을 직관적으로 가장 잘 표현할 수 있는 탐색 반경을 선정하기 위해 500m, 1km, 2km를 비교 분석하였다. 분석 결과, 다발구간의 공간적 분포가 가장 명확하게 나타나는 500m 탐색 반경을 적용하여 다발구간을 도출하였다.

2024년 1년간 수집된 포유류 사고 자료 28,607건을 활용하였으며, 핫스팟 등급은 1등급에서 10등급까지 구분하였다. 이 중 사고 발생 등급이 높은 1~3등급 구간을 다발구간으로 선정하였다. 도로망 자료는 실폭 도로 자료(행정안전부)를 활용하였으며, 분석은 ArcGIS(ver. 10.5)와 QGIS(ver. 3.28)을 이용하여 수행하였다.

2) 로드킬 다발구간 조사 및 저감방안 제시

가) 다발구간 조사

로드킬 다발구간에 대한 저감 방안은 현장 조사를 기반으로 수립되었다. 조사에는 국립생태원 「로드킬 다발구간 정밀조사(2019)」에서 구축한 정밀조사 야장을 활용하였다(국립생태원, 2019). 2024년 로드킬 저감대책에서 선정된 상위 100개 다발구간 중 AI 로드킬 예방시스템이 설치 예정된 경기 양평 국도 6호선과 강원 횡성 국도 5호선에 대해 조사를 실시하였다. 정밀조사 야장의 사고 발생 위치(주소, 좌표), 도로명, 관리 기관, 차선 수, 주요 사고 발생 종 등 기본 정보를 확인하고, 구조물, 도로 형태, 저감 시설 유무, 주변 경관 등을 상·하행선으로 구분하여 기록하였다(국립생태원, 2024).

정밀조사 자료를 토대로 AI 로드킬 예방시스템의 동물 감지 카메라와 LED 전광판의 적합한 위치와 수량을 파악하였다. 아울러 저감시설 설치 가능성과 실효성을 검토하기 위해 도로관리청과 합동 현장조사를 실시하였다. 지침에 따라 저감시설 설치 및 운영은 도로관리청이 수행하며, 그 결과는 국토교통부에 통보된다. 또한, 저감시설의 기능 유지 및 관리 권한이 도로관리청에 있으므로, 시설 선정 과정에서 도로관리청과 협의하여 적합한 방안을 적용하였다.

나) 저감방안 제시

로드킬은 야생동물과 차량 간의 충돌로 발생하므로, 이를 예방하거나 저감하기 위한 방법은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 야생동물이 도로로 진입하는 것을 물리적으로 차단하여 사고를 예방하거나 방지하는 방법이다. 야생동물 유도울타리는 대표적인 저감 시설로, 국내외 선행연구에서 찾길 사고를 감소시키는 데 효과적이며 비용 대비 효율성이 높은 것으로 보고되었다(국립생태원, 2020, 2023; Clevenger *et al.*, 2001, 2003; Jaeger & Fahrig, 2004; Rytwinski *et al.*, 2016).

다만, 유도울타리의 과도한 설치는 서식지 단절을 심화시킬 수 있으므로, 사고 다발구간 주변에 생태통로와 함께 설치하는 것이 바람직하다. 이를 통해 로드킬을 저감함과 동시에 도로로 단절된 서식지 연결성을 유지할 수 있다(Clevenger *et al.*, 2001; Rytwinski *et al.*, 2016). 또한, 사거리나 램프 등 도로 구조가 복잡하여 양방향으로 1km 이상의 유도울타리 설치가 어려운 경우에는 야생동물 노면진입 방지시설(deer grating)을 적용할 수 있다(그림 42). 도로 노면에 스틸 그레이팅을 설치하면, 우리나라에서 찾길 사고가 빈번한 우제목 동물인 고라니(*Hydropotes inermis*), 노루(*Capreolus pygargus*), 멧돼지(*Sus scrofa*) 등의 도로 진입을 효과적으로 차단할 수 있으며, 이를 통해 사고 발생을 예방할 수 있다(Mastro & Frey, 2008).



그림 42. 야생동물 유도울타리와 노면진입 방지시설 설치

둘째, 운전자의 주의와 차량 속도를 제어·통제함으로써 사고를 예방하는 방법이 있다. 로드킬은 차량 속도와 밀접한 관련이 있으며,

고속 주행 시에는 야생동물을 회피하거나 정지할 시간이 부족하여 사고 발생 가능성이 높아진다. 또한 급격한 핸들 조작은 2차 사고로 이어질 위험이 있다.

이러한 문제를 완화하기 위한 대표적인 방법으로는 야생동물 주의표지판 설치가 있다(Rytwinski *et al.*, 2016). 주의표지판은 다른 저감시설에 비해 설치 공간 제약이 적고, 설치 비용이 낮다는 장점이 있다. 그러나 표지판 노출 기간이 장기화될 경우 운전자가 경각심을 상실할 수 있다는 단점도 존재한다. 아울러, 차량 속도를 법적으로 통제하여 사고를 예방할 수 있는 시설로는 단속카메라(지점 단속, 구간 단속)가 있다. 다만, 이러한 시설 설치 시에는 관계 기관과의 협의, 설치 및 운영 비용, 설치 위치의 공간적 제약 등을 종합적으로 고려해야 한다.

로드킬 예방을 위한 국제적 연구는 로드킬 예방시스템(ADDWS, Animal Detection & Driver Warning Systems)의 효과 검증을 중심으로 진행되고 있다(Huijser *et al.*, 2015; Sibanda *et al.*, 2019; Puppala *et al.*, 2025). 이 시스템은 도로에 설치된 감지 카메라가 야생동물 출현을 인식하면, 전방 전광판을 통해 운전자에게 주의 신호를 제공하는 방식으로 작동한다(Huijser *et al.*, 2015; Sibanda *et al.*, 2019; Puppala *et al.*, 2025).

국립생태원은 기후부, 국립공원공단, 포스코DX와 업무협약을 체결하여 2024년부터 2027년까지 매년 1개 이상의 ADDWS를 설치할 계획이다(국립생태원, 2024). 또한, 설치 대상지 선정과 시설의 찾길 사고 저감 효과 평가를 수행하여, 시스템의 효율성을 검증하고 향후 확대 적용 방안을 마련할 예정이다.

본 연구에서는 「2024년 로드킬 저감대책(기후부·국토부)」에 따라 선정된 사고 다발 상위 100개 구간 중 경기 양평 국도 6호선과 강원 횡성 국도 5호선을 대상으로 합동 현장 조사를 수행하였다. 조사 결과를 바탕으로, 로드킬 예방 시스템의 핵심 요소인 동물 감지 카메라와 LED 전광판의 적합한 설치 위치 및 설치 수량을 시범적으로 적용하고 그 효과를 검증하였다. 이를 통해, 향후 전국 단위의 확대 적용을 위한 근거와 기반을 마련하고자 하였다.

다. 로드킬 저감대책 효율성 분석·평가

1) 저감대책 효율성 분석·평가

본 연구에서는 「2020년 동물 찾길 사고(로드킬) 저감대책(기후부·국토부)」에서 선정한 로드킬 다발 상위 50개 구간을 대상으로 저감대책의 효율성을 분석하였다. 해당 50개 구간에서 저감대책 수립 이전에 발생한 포유류 로드킬 건수는 총 1,197건으로 확인되었다(국립생태원, 2020).

저감대책 수립 이후인 2021년부터 2024년까지 4년간의 평균 찾길 사고 발생 건수와 연도별 사고 발생 현황을 분석하고, 이를 2019년 사고 발생 수준과 비교하였다. 또한 유도울타리, 야생동물 주의표지판, 구간단속카메라, 복수 저감시설 설치 등 저감방안 유형별 사고 발생 건수를 분석하여 각 대책의 효과를 검토하였다. 이를 통해 저감대책의 효과 지속성을 사고 발생 건수 변화를 중심으로 평가하였다.

아울러 2025년 7월부터 운영된 경기 양평 국도 6호선의 로드킬 예방시스템을 대상으로, 시스템에 의해 감지된 야생동물 출현 현황을 파악하였다. 더불어 해당 구간의 로드킬 정보시스템에 수집된 사고 발생 자료를 활용하여, 동물의 도로 출현 대비 실제 사고 발생 건수를 분석함으로써 예방시스템의 저감 효과를 분석·검토하고 전국 확대의 기반을 마련하고자 하였다.

2. 연구결과 및 고찰

가. 로드킬 정보시스템 운영 및 통계 구축

1) 도로관리청 담당자 및 조사원 등록 관리

2019년 1월부터 2025년 12월까지 로드킬 정보시스템에는 전국 164개 도로관리청 소속 총 265명의 담당자가 등록되었다(표 22). 도로 유형별 등록 현황을 보면, 시·군·구도 관리자가 107명으로 가장 많았으며, 지방도 37명, 국도 36명, 고속도로(재정·민자) 31명이 등록되어 있었다(표 22). 이외에도 기후부, 국토부, 국립생물자원관, 국립공원공단, 지역연구원 등 기타 관계기관 관리자가 포함되어 있다.

다만, 민자 고속도로 및 지방도를 담당하는 광역시·도와 지자체

시·군·구도 담당자의 등록은 아직 미비한 실정이며, 반면 고속도로(재정)와 국도 관리자는 모두 등록되어 있다. 따라서 로드킬 정보시스템의 홍보와 지속적인 교육을 통해 도로관리청 관리자 등록을 확대하고, 시스템 활용도를 높이기 위한 노력이 필요한 상황이다.

표 22. 도로 유형별 도로관리청 관리자 등록 현황

(단위: 명)

구분	고속도로	국도	지방도	시·군·구도	기타	합계
관리자	31	36	37	107	54	265

2025년 12월 기준, 도로관리청 소속 조사원은 총 8,558명이 정보시스템에 등록되어 있다(표 23). 도로 유형별 등록 현황을 살펴보면, 시·군·구도를 담당하는 지자체 조사원이 5,337명으로 가장 많은 비중을 차지하였다(표 23). 그 외 국도를 담당하는 국토관리사무소 소속 조사원은 994명, 고속도로 담당 조사원은 744명, 지방도를 담당하는 광역시·도의 조사원은 683명이 등록되어 있는 것으로 확인되었다(표 23).

표 23. 도로관리청 조사원 등록 현황

(단위: 명)

구분	고속도로	국도	지방도	시·군·구도	기타	합계
조사원	744	994	683	5,337	800	8,558

2) 로드킬 정보시스템 통계 관리

2024년 1월부터 12월까지 로드킬 정보시스템을 통해 총 30,133건의 사고 정보가 수집되었다(표 24). 이 가운데 중 동정 및 위치 검토 절차를 거쳐 29,007건이 승인되어 통계 자료로 활용되었으며, 위치 확인이 불가능한 사례 등으로 1,098건은 미승인 처리되었다. 또한 중복 전송에 따른 반려 사례는 28건으로 확인되었다(표 24).

표 24. 로드킬 정보시스템 접수내역

(단위: 건)

구분	전체	미승인(보류)	승인	반려	법정 보호종
로드킬 정보시스템	30,133	1,098	29,007	28	697

한편, 로드킬 조사용 애플리케이션 ‘굿로드’를 통해 전송되지 않은 자료에 대해서는 전국 도로관리청, 국립공원공단, 한국건설기술연구원(척척해결서비스) 등으로부터 추가로 정보를 수집하였다. 수집된 자료는 정보시스템 내 기존 자료와의 중복 여부를 검토하고, 증명 및 사고 위치 확인 절차를 거쳐 최종적으로 91,162건의 로드킬 통계를 구축하였다(표 25).

표 25. 2024년 로드킬 정보 수집 현황

(단위: 건)

구분	발생 정보
로드킬 정보시스템	27,904
정보시스템 누락자료	63,258
합계	91,162

가) 분류군별 통계

로드킬 정보시스템에 축적된 자료를 바탕으로 분류군별 차질 사고 발생 현황을 분석한 결과, 포유류 사고가 85,592건으로 전체의 90.6%를 차지하며 가장 높은 비중을 보였다(표 26). 그 다음으로는 조류가 5,412건(5.94%)으로 집계되었다. 한편, 사고 개체의 사체가 심하게 훼손되어 분류군 판별이 어려운 사례도 2,839건(3.11%)에 달하는 것으로 나타났다(표 26).

표 26. 분류군별 로드킬 현황

(단위: 건)

구분	포유류	조류	양서류	파충류	미등정	합계
2024년	82,592	5,412	14	305	2,839	91,162
비율(%)	90.60	5.94	0.02	0.33	3.11	100.0

로드킬 정보시스템에 집계된 야생동물 포유류 28,607건을 종별로 분석한 결과, 고라니가 19,258건으로 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 확인되었다(표 27). 그 뒤를 이어 너구리(*Nyctereutes procyonoides*) 5,198건, 노루(*Capreolus pygargus*) 1,184건, 족제비(*Mustela sibirica*) 899건 그리고 오소리(*Meles leucurus*) 725건 순으로 나타났다(표 27). 이 외에 기타로 집계된 1,343건에는 수달(*Lutra lutra*), 삿(Prionailurus bengalensis), 각종 설치류 등 다양한 야생 포유류가 포함된 것으로 파악되었다(표 27).

고라니는 전체 로드킬의 약 21%를 차지하며, 야생동물 포유류 찾길 사고 중에서도 67.32%로 가장 높은 비중을 나타내는 종으로 확인되었다. 국내에서는 농작물 피해 등을 이유로 유해야생동물로 관리되고 있으나, 세계자연보전연맹(IUCN) 적색목록에서는 취약종(Vulnerable, VU)으로 분류되고 있다(IUCN, Red List). 고라니는 한반도에 주로 분포하는 중형 포유류로, 수환경에 대한 선호도가 높아 저지대와 하천 인접 지역을 중심으로 서식하는 특성을 가진다(엄태경 등, 2018; 김의경 등, 2021). 이러한 생태적 특성으로 인해 도로 인접 지역에서의 출현 빈도가 높으며, 찾길 사고 발생 가능성 또한 큰 것으로 알려져 있다. 고라니와 차량 간의 충돌은 인명 피해와 경제적 손실로 이어질 수 있으며, 사고 이후 사체가 신속히 처리되지 않을 경우 2차 사고를 유발할 위험이 있다(국립생태원, 2019). 이러한 점을 고려하여, 2019년 이후 국내 로드킬 저감 정책은 고라니를 주요 대상종으로 설정한 저감 방안을 중심으로 추진되고 있다.

2024년 로드킬 통계 중 노루는 포유류 로드킬의 4.14%를 차지하는 종으로, 이 가운데 69.68%에 해당하는 825건이 제주도에서 발생한 것으로 확인되었다(표 27). 제주도 전체 로드킬 1,582건 중 노루 사고의 비율은 52.15%로, 내륙 지역에서 고라니 사고가 차지하는 비율인 21.50%보다 2배 이상 높은 수준이다. 노루는 고라니와 유사한 중형 포유류이나, 일반적으로 산림 지역을 중심으로 서식하는 특성을 가진다(김병수 등, 2007; 김아름 등, 2017). 다만 최근 개체 수 증가에 따라 서식 범위가 저지대까지 확대되면서 도로 인접 지역에서의 출현 빈도가 증가하고 있으며, 이에 따라 찾길 사고 발생도 함께 증가하는 경향을 보이고 있다(김아름 등, 2017).

국내 식육목 가운데 찾길 사고 발생 건수가 가장 많은 종은 너구리로,

전체 로드킬의 약 5.70%, 포유류 찾길 사고의 18.17%를 차지하는 것으로 나타났다(표 27). 족제비는 전체 사고의 0.99%, 포유류 사고의 3.14%를 차지하였다(표 27).

표 27. 야생동물 포유류 로드킬 발생 상위 5종 현황

(단위: 건)

구분	고라니	너구리	노루	족제비	오소리	기타	합계
2024년	19,258	5,198	1,184	899	725	1,343	28,607
비율(%)	67.32	18.17	4.14	3.14	2.53	4.7	100

로드킬 정보시스템을 통해 수집된 조류 찾길 사고는 총 5,412건으로, 전체 사고의 5.94%를 차지하는 것으로 나타났다(표 28). 종별로는 집비둘기 사고가 1,825건으로 가장 많았으며, 까마귀 507건, 꿩 481건이 그 뒤를 이었다(표 28). 조류 사고 중 미동정 사례는 1,952건으로 확인되었는데, 이는 주로 개체 크기가 작거나 사체 훼손 정도가 심해 종 판별이 어려운 경우에 해당한다(표 28). 또한 일부 구간에서는 도로가 성토되어 지면보다 높게 조성된 이후 조류의 찾길 사고가 증가한 것으로 추정된다(Pons, 2000; Song *et al.*, 2018). 사고 발생 상위 5개 종은 모두 중형 이상 크기의 조류로, 노면에서의 활동 시간이 상대적으로 길어 차량과의 충돌 위험이 높은 종들로 파악되었다(Bujoczek *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2016).

표 28. 조류 로드킬 발생 상위 5종 현황

(단위: 건)

구분	집비둘기	까마귀	꿩	까치	멧비둘기	기타	합계
전체	1,825	507	481	347	300	1,952	5,412
비율(%)	33.72	9.37	8.89	6.41	5.54	36.07	100

최태영(2007)은 전체 로드킬 발생 사례 중 조류가 약 23%를 차지한다고 보고한 바 있다. 이는 로드킬 정보시스템을 통해 집계된 조류 사고 비율보다 상대적으로 높은 수치로, 조사 결과 간 차이가 존재함을 시사한다. 이러한 차이는 현장 조사에 참여하는 도로관리청 조사원과 야생동물 전문가 간의 조사 경험 및 종 판별 전문성의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

특히 소형 조류의 경우 개체 크기가 작고 차량 통행에 직접적인

지장을 주지 않아 현장에서 발견되기 어렵고(Rabie *et al.*, 2024), 이에 따라 민원 신고로 이어질 가능성도 낮은 특성이 있다. 이로 인해 실제 발생 건수 대비 정보시스템에 수집되는 사고 사례가 과소 추정되었을 가능성이 있다.

따라서 향후 로드킬 정보시스템의 활용도를 제고하기 위해 기존 조사 절차에 대한 교육과 함께, 분류군별 및 주요 종별 외형적 특징과 동정 방법을 포함한 전문 교육을 병행할 필요가 있는 것으로 판단된다.

나) 도로유형별 통계

도로 유형별로 집계된 로드킬 정보 수집 건수를 분석한 결과, 시·군·구도에서 47,505건으로 가장 많은 사고가 확인되었으며, 국도 28,882건, 지방도 9,043건, 고속도로 881건 순으로 나타났다(표 29). 전체 로드킬 발생 건수 대비 비율을 살펴보면, 시·군·구도가 52.11%로 절반 이상을 차지하였고, 국도는 30.59%, 지방도는 9.92%로 나타났다. 반면 고속도로에서의 사고 비중은 0.97%로 상대적으로 낮은 수준을 보였다(표 29).

2024년 기준 우리나라에서 개통된 도로의 총 연장은 116,012km로 집계되었다. 이 가운데 시·군·구도가 78,237km로 가장 큰 비중을 차지하였으며, 지방도는 18,365km, 국도는 14,259km 순으로 나타났다. 도로 연장 대비 연간 로드킬 발생 건수를 분석한 결과, 국도는 1.96건/km으로 가장 높은 발생 밀도를 보였다. 이어 시·군·구도와 지방도가 그 다음 수준을 나타냈으며, 고속도로는 0.17건/km으로 가장 낮은 발생률을 보였다(표 29).

국도의 총 연장은 고속도로보다 약 3.61배 긴 것으로 조사되었다(통계청, 2024). 그러나 연간 km당 차길 사고 발생 건수는 국도가 고속도로보다 약 11.5배 높은 것으로 나타났다(표 29). 이러한 차이는 단순한 도로 연장만으로 설명되지 않으며, 제한속도와 사고 저감시설 설치율 등 여러 요인과 관련이 있는 것으로 분석된다. 고속도로의 제한속도는 100~110km/h로 설정되어 있는 반면, 국도는 70~90km/h로 상대적으로 낮아 차량의 속도와 사고 발생 위험이 달라진다.

표 29. 도로유형별 로드킬 현황

(단위: 건)

구분	고속도로	국도	지방도	사군구도	기타	합계
2024년	881	27,882	9,043	47,505	5,851	91,162
비율(%)	0.97	30.59	9.92	52.11	6.41	100
도로 연장(km)	5,151	14,259	18,365	78,237	-	116,012
발생 건수/km(건)	0.17	1.96	0.49	0.61	-	-

※ 기타는 로드킬 발생 지점의 도로 유형 불명확

도로 연장 대비 찾길 사고 발생 건수의 차이가 큰 원인은 크게 세 가지로 추정된다. 첫째, 고속도로는 국도보다 야생동물 유도울타리, 주의표지판 등 로드킬 저감시설 설치 비율이 높다. 차량 속도가 높아 사고 시 대형사고나 2차 사고로 이어질 수 있기 때문에, 고속도로 관리기관은 전 구간에 울타리를 설치하는 것을 최우선 목표로 설정하고 있다. 둘째, 국도는 연장이 길고 농경지·임야 지역을 포함하는 비율이 높아 야생동물 서식 밀도가 상대적으로 높다(산림청, 2024; 통계청, 2024). 반면, 수도권이나 주요 시가지 구간에서는 고속도로 연장이 국도보다 높은 경우도 존재한다. 마지막으로, 도로관리청의 로드킬 정보시스템 활용 정도도 사고 건수 차이에 영향을 미친 요인으로 판단된다(국립생태원, 2019).

다) 행정구역별 통계

2024년 로드킬 정보 수집 현황을 행정구역별로 분석한 결과, 경기도가 가장 많은 사고 정보를 기록하였으며, 그 뒤로 경상북도, 충청북도, 충청남도가 뒤를 이었다(표 30). 경기도에서 수집 건수가 많은 주요 원인으로는 「동물 찾길 사고(로드킬) 조사 및 관리 지침」에 따른 로드킬 조사용 앱(굿로드)의 적극적인 활용이 작용한 것으로 추정된다.

한편, 경기도 내 농경지와 임야 비율은 서울특별시와 6개 광역시를 제외하면 전국에서 상대적으로 낮은 편이다(통계청, 2024). 또한 2014년부터 2018년까지 진행된 고라니 서식 실태 조사에 따르면,

경기도의 고라니 개체수는 다른 지역에 비해 낮게 나타났다(국립생물자원관, 2018). 그럼에도 불구하고 경기도는 로드킬 사체 처리를 외부 용역에 위탁하여 건수와 비용 산출을 효율적으로 수행하고 있으며, 이로 인해 정보시스템을 통한 사고 정보 수집량이 다른 지역보다 상대적으로 많은 것으로 분석된다(국립생태원 2024).

표 30. 행정구역별 로드킬 현황(2019~2024)

(단위: 건)

구 분	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년	합계
서울	7	6	5	1,007	1,576	836	3,437
부산	39	29	5,001	3,142	2,869	4,825	15,905
대구	89	76	63	1,825	2,965	2,616	7,634
인천	10	54	1,490	2,122	2,607	2,294	8,577
광주	5	11	1,744	1,314	2,131	2,426	7,631
대전	63	61	57	1,955	2,270	1,745	6,151
울산	101	123	137	515	1,245	1,165	3,286
세종	395	155	2,086	1,573	1,417	1,885	7,511
경기	2,739	2,578	3,487	18,227	22,153	20,996	70,180
강원	1,400	1,370	3,093	4,336	2,921	7,611	20,731
충북	3,143	2,107	7,435	6,958	6,975	7,929	34,547
충남	5,078	2,527	1,944	6,542	7,100	8,030	31,221
전북	1,678	1,253	1,530	1,388	4,063	3,714	13,626
전남	1,278	798	1,413	3,103	4,403	3,797	14,792
경북	3,317	2,058	3,985	7,610	10,923	10,536	38,429
경남	1,411	1,088	2,681	921	2,238	9,175	17,514
제주	644	813	1,110	1,451	1,422	1,582	7,022
합계	21,397	15,107	37,261	63,989	79,278	91,162	308,194

라) 시계열 분석

로드킬 정보시스템을 통해 2019년부터 2024년까지 6년간 축적된 사고 자료를 기반으로 시계열 분석을 수행한 결과, 사고 발생은 주로 5~7월과 10~11월에 집중되는 경향을 보였다(국립생태원, 2019; 국립생태원, 2020; 국립생태원, 2021; 국립생태원, 2022; 국립생태원, 2023; 국립생태원, 2024)(그림 43). 특히 연도별로 정보 수집 건수가 증가함에 따라 이러한 계절적 발생 패턴은 시간이 지날수록 보다 명확하게 강화되는 양상을 나타냈다.

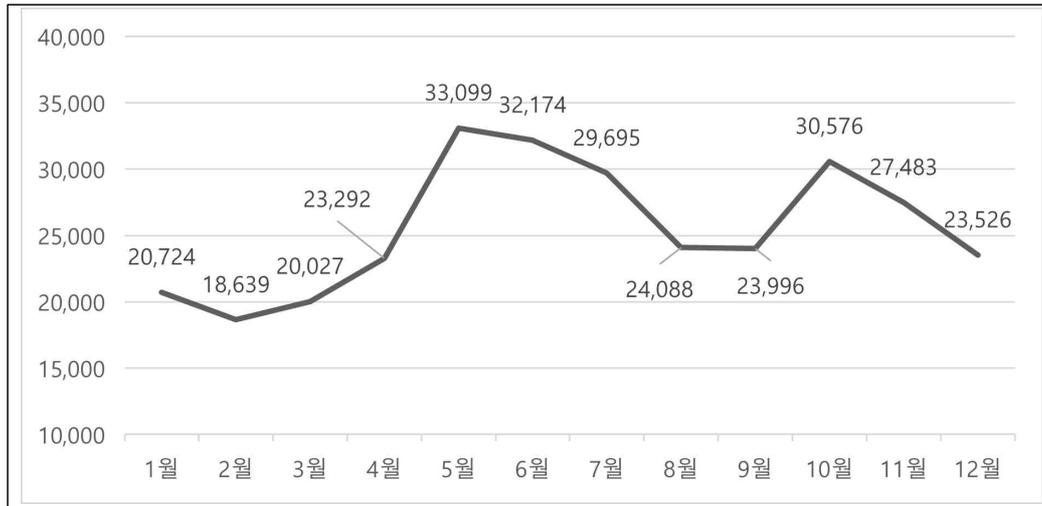


그림 43. 로드킬 발생 시계열 분석(2019~2024)

고라니의 로드킬이 집중적으로 발생하는 5~6월은, 전년도 봄에 출생한 개체가 이듬해 봄에 성장하여 어미 개체로부터 분리된 후 새로운 서식 공간을 확보하기 위해 분산 이동을 시작하는 시기에 해당한다(그림 44). 이 과정에서 개체의 이동 범위와 이동 거리가 확대되며, 도로를 가로지르는 행동이 빈번해져 찾길 사고 발생 가능성이 높아지는 것으로 해석된다(김백준 등, 2016; 엄태경, 2018; 김의경, 2021). 아울러, 농경지에서 재배되는 작물을 섭식하기 위해 고라니의 활동 범위가 인간 생활권으로 확대되면서 도로 횡단 빈도가 증가하는 점도 사고 발생에 영향을 미치는 요인으로 보고되고 있다(김기현 등, 2025).

한편, 10~11월에는 봄철에 태어난 새끼들이 충분히 성장하여 독립적인 이동과 행동이 가능해지며, 이에 따라 행동권이 확장되어 주변 도로와의 접촉 가능성이 증가한다(최태영, 2016). 이러한 계절적 사고 발생 특성은 야생동물의 번식 주기, 분산 행동, 섭식 활동 등 생태적 요인과 밀접하게 연관된 결과로 판단된다(김백준 등, 2016; 최태영, 2016; 엄태경, 2018; 김의경, 2021; 김기현 등, 2025).

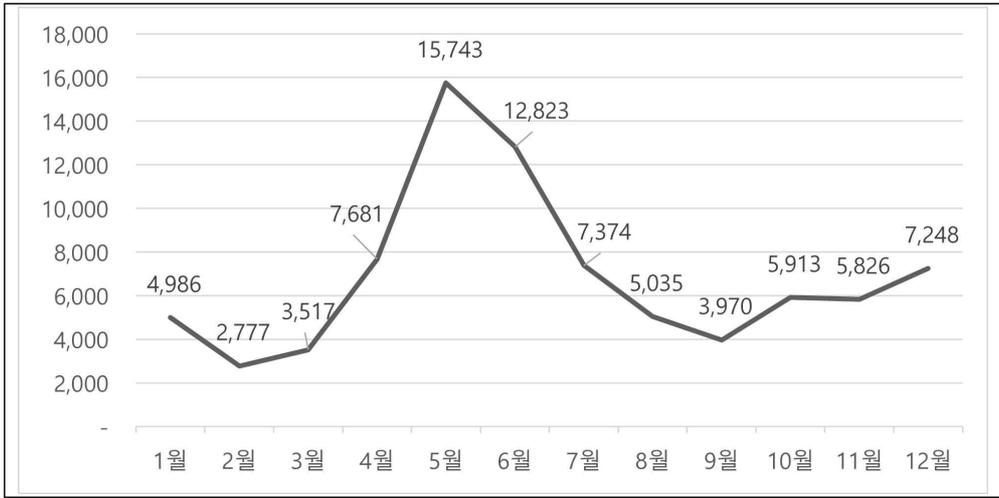


그림 44. 고라니 로드킬 시계열 분석(2019~2024)

2021년부터 2024년까지 3년간 식육목 6종(너구리, 삵, 오소리, 족제비, 수달, 담비(*Martes flavigula*))의 로드킬은 총 18,336건이 발생했으며, 종에 따라 월별로 로드킬의 경향은 다르게 나타났다(그림 45). 너구리와 삵의 경우 늦가을과 초겨울에 많은 발생 건수를 나타냈으며, 봄에 태어난 새끼들이 그해 가을에 어미로부터 독립하여 새로운 영역을 찾아 먼 거리를 이동하는 과정에서 도로를 횡단하는 경우가 많아 발생이 증가된 것으로 추정된다(최태영 & 박종화, 최태영, 2006; 최태영 등, 2012; 송의근 등, 2024). 우리나라에 서식하는 족제비과의 족제비, 담비, 오소리의 경우 교미 시기인 3월 ~ 5월과 새끼가 독립하는 9월 ~ 10월에 비교적 높은 사고 발생 건수를 나타냈다. 또한 다른 5종과 다르게 겨울잠을 자는 오소리의 경우 생태 특성이 반영되어 겨울에 로드킬 발생이 감소하는 경향을 보였다(최태영 등, 2019; Lee *et al.*, 2025)(그림 45).

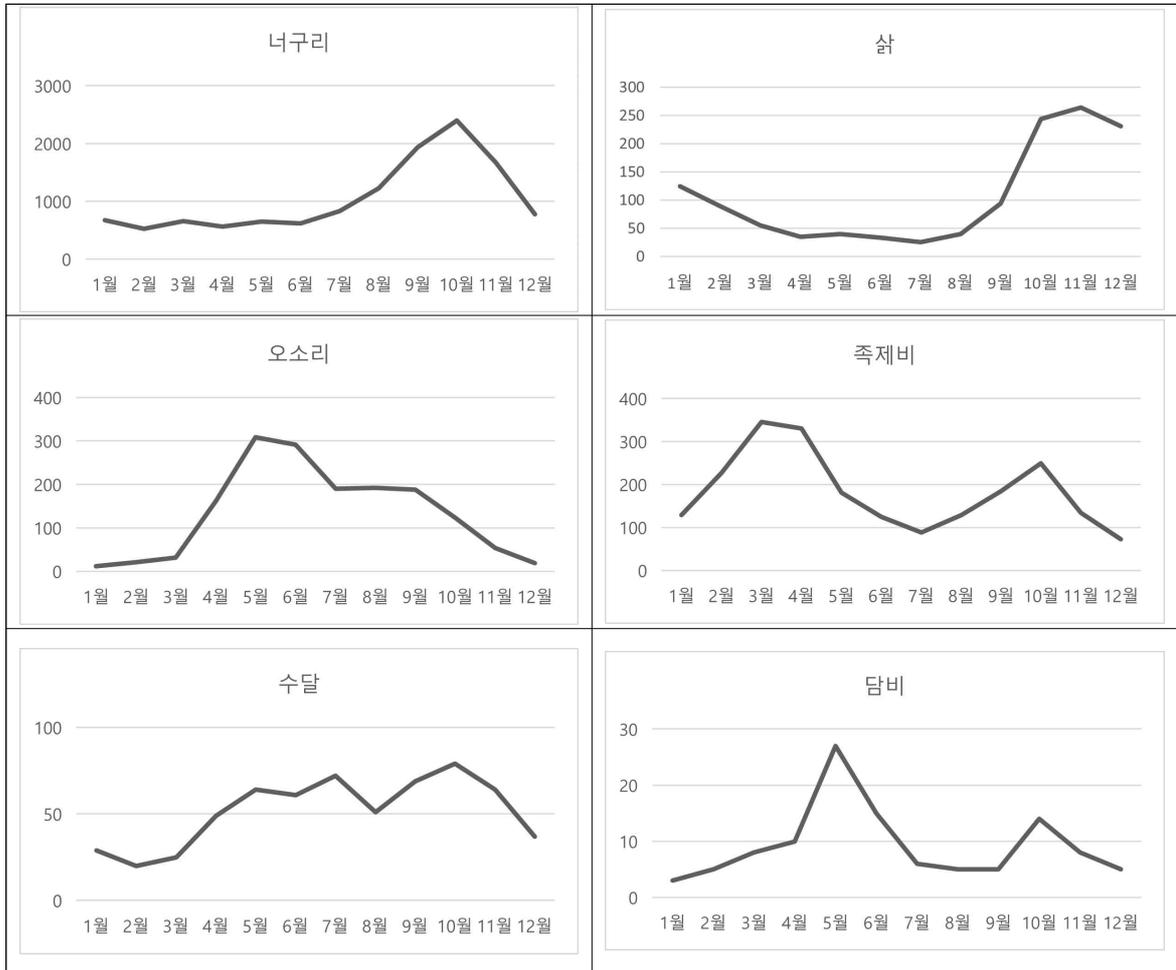


그림 45. 식육목 6종의 로드킬 시계열 분석(2021~2024)

2019년 기준 우리나라의 로드킬 정보수집 건수는 21,397건으로 집계되었으며, 이 중 멧돼지 사고는 315건으로 전체의 1.47%를 차지하였다(그림 46). 이후 2020년부터 2024년까지 5년간 연평균 로드킬 발생 건수는 57,359건으로, 2019년에 비해 약 168% 증가한 것으로 나타났다. 반면, 같은 기간 동안 멧돼지 로드킬은 연평균 148.2건으로 약 53% 감소하는 경향을 보였다. 연도별 멧돼지 로드킬 비율은 2020년 0.89%, 2021년 0.33%, 2022년 0.21%, 2023년 0.24%로 지속적인 하락세를 나타내어, 아프리카 돼지열병(ASF) 확산 이후 멧돼지 로드킬 발생 건수의 감소가 뚜렷하게 확인되었다(Lim *et al.*, 2024; Hwang *et al.*, 2025)(그림 46).

한편, 우리나라에서는 2019년 ASF 발생 이후 2023까지 3,000마리 이상의 멧돼지 개체가 폐사하고 있으며(Hwang *et al.*, 2025), 현재 전 세계 41개국 이상에서 ASF 감염 사례가 보고되고 있다(WOAH, 2023).

이러한 상황을 고려할 때, 로드킬 통계는 단순한 교통사고 현황 자료를 넘어 야생동물 개체군 변화와 질병 확산에 따른 생태계 변화를 간접적으로 파악할 수 있는 지표로 활용될 수 있음을 본 분석을 통해 확인하였다(Schwartz *et al.*, 2020; Balčiauskas *et al.*, 2025). 또한, 로드킬 발생 추이 분석은 사고 저감 대책 수립뿐 아니라 생태계 변화 징후를 조기에 인지하고 선제적인 보전·관리 방안을 마련하기 위한 기초 자료로서의 활용 가능성을 갖는 것으로 판단된다(송의근 등, 2024; Schwartz *et al.*, 2020; Balčiauskas *et al.*, 2025).

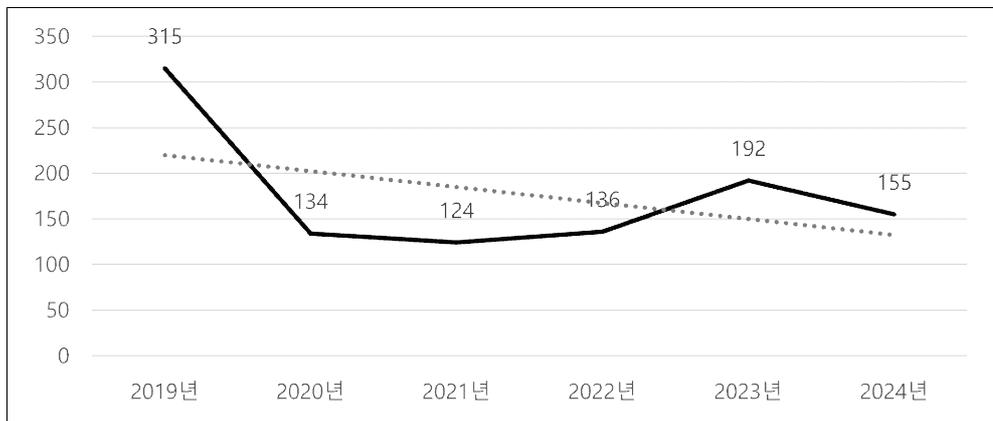


그림 46. 멧돼지 로드킬 시계열 분석(2019~2024)

나. 로드킬 저감방안 제시

1) 로드킬 다발구간 분석

커널 밀도 추정(Kernel Density Estimation) 기법을 적용하여 분석한 결과를 1등급부터 10등급까지 단계화한 후, 이 중 상위 1~5등급 구간이 포함된 로드킬 다발 상위 110개 구간을 도출하였다(표 31). 동일 구간 내에서 복수의 등급이 동시에 나타나는 경우에는 가장 높은 등급을 해당 구간의 대표 등급으로 설정하였다.

선정된 찾길 사고 다발구간을 등급별로 구분한 결과, 커널 값이 가장 높은 1등급 구간은 5개, 2등급은 3개, 3등급은 17개 구간으로 집계되었다(표 31). 총 110개 구간의 공간적 분포를 살펴보면, 경기도가 44개 구간으로 가장 높은 비중을 차지하였으며, 이어 경상북도 23개 구간, 충청북도 20개 구간 순으로 나타났다(표 31).

표 31. 2025년 로드킬 다발 상위 110구간 현황

구간 번호	주소	다발구간		로드킬 건수
		등급	길이(km)	
1	경기도 양평군 용문면 광탄리 430	1	1.5	50
2	경상북도 경산시 남천면 흥산리 산4-16	1	0.8	28
3	경기도 포천시 내촌면 내리 296-7	1	0.7	26
4	경기도 여주시 대신면 울촌리 366-21	1	1.3	22
5	충청북도 청주시 청원구 오창읍 구룡리 산19-1	1	0.7	20
6	경기도 양평군 청운면 용두리 산18-1	2	1.1	34
7	경기도 양평군 단월면 봉상리 산1-1	2	1.1	27
8	충청북도 청주시 서원구 남이면 척산리 271-6	2	0.8	20
9	경상북도 성주군 벽진면 가암리 620-5	3	1.8	39
10	충청북도 청주시 흥덕구 현암동 3	3	1.9	35
11	경상북도 경산시 남천면 원리 269-1	3	1.8	35
12	충청북도 청주시 흥덕구 현암동 265-25	3	1.6	27
13	경상북도 김천시 개령면 황계리 1415-1	3	1.3	24
14	경기도 양평군 용문면 마룡리 산17-14	3	0.9	21
15	강원특별자치도 원주시 흥업면 대안리 29	3	1.3	20
16	충청북도 청주시 흥덕구 석곡동 304-7	3	1.3	19
17	경상북도 김천시 개령면 서부리 41-24	3	0.9	18
18	세종특별자치시 연기면 연기리 598-12	3	1.1	17
19	경기도 여주시 대신면 당산리 121-1	3	0.6	16
20	경기도 여주시 강천면 부평리 396	3	0.8	16
21	경상북도 포항시 남구 오천읍 광명리 산 50-1	3	0.7	16
22	경상북도 영덕군 축산면 고곡리 산162-1	3	0.6	14
23	경상북도 성주군 성주읍 백전리 113-1	3	0.6	13
24	경기도 여주시 연양동 162-2	3	0.8	11
25	경상북도 김천시 아포읍 대신리 855-6	3	0.7	10
26	경기도 양평군 양평읍 백안리 산15-9	4	1.2	19
27	경기도 화성시 비봉면 양노리 101-3	4	1.1	19
28	충청북도 청주시 서원구 남이면 양촌리 263-21	4	1.4	16
29	경상북도 김천시 개령면 신흥리 252-11	4	1.3	16
30	경기도 양평군 용문면 삼성리 산 94-1	4	0.6	15
31	경상북도 성주군 성주읍 삼산리 182-1	4	0.6	14
32	경기도 가평군 상면 봉수리 산 63-4	4	0.6	13
33	강원특별자치도 원주시 소초면 둔둔리 산 32-28	4	1.0	13
34	경기도 화성시 향남읍 하길리 976-4	4	0.6	13

35	강원특별자치도 춘천시 신북읍 천전리 887	4	1.4	12
36	경기도 용인시 처인구 백암면 고안리 산 139-2	4	0.7	11
37	경상북도 성주군 성주읍 학산리 15-5	4	0.7	11
38	경기도 평택시 현덕면 권관리 산50-11	4	0.6	10
39	충청북도 청주시 흥덕구 상신동 379-5	4	0.9	10
40	경상북도 포항시 남구 연일읍 우복리 57	4	1.4	10
41	경상북도 성주군 선남면 성원리 산 59-1	4	0.6	10
42	경기도 안성시 보개면 내방리 367	4	0.5	9
43	세종특별자치시 금남면 두만리 406-5	4	1.0	9
44	경상북도 울진군 후포면 삼울리 772-5	4	0.5	5
45	충청북도 청주시 서원구 장암동 346-1	4	0.8	5
46	경기도 안산시 상록구 일동 705-1	5	0.3	12
47	충청북도 청주시 흥덕구 휴암동 358-1	5	0.5	12
48	경기도 양평군 청운면 가현리 444-1	5	0.6	10
49	강원특별자치도 원주시 소초면 흥양리 1386	5	0.4	10
50	경기도 용인시 처인구 백암면 박곡리 산 49-11	5	0.4	10
51	경상북도 울진군 매화면 오산리 1525-1	5	0.5	10
52	경기도 가평군 상면 향사리 537-2	5	0.3	9
53	경기도 남양주시 진건읍 진관리 산84-5	5	1.0	9
54	경기도 여주시 대신면 천남리 299-29	5	0.3	9
55	충청남도 서산시 해미면 산수리 산72-9	5	0.2	9
56	충청북도 청주시 청원구 오동동 28-3	5	0.5	9
57	세종특별자치시 금남면 두만리 68	5	0.4	9
58	경기도 포천시 화현면 화현리 226-6	5	0.3	8
59	경기도 양평군 청운면 삼성리 714	5	0.3	8
60	경기도 양평군 청운면 비룡리 산51-11	5	0.3	8
61	경기도 여주시 대신면 후포리 617-3	5	0.4	8
62	강원특별자치도 원주시 흥업면 흥업리 산9-1	5	0.4	8
63	경기도 여주시 강천면 간매리 515-5	5	0.6	8
64	경기도 화성시 남양읍 송림로 146	5	0.6	8
65	경기도 안성시 일죽면 당촌리 13-8	5	0.1	8
66	충청북도 청주시 흥덕구 옥산면 남촌리 1123	5	0.2	8
67	충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 궁평리 292-24	5	0.4	8
68	충청북도 청주시 서원구 남이면 석실리 478-3	5	0.2	8
69	경상북도 영덕군 영해면 별영리 산7-8	5	0.3	8
70	세종특별자치시 고운동 2081	5	0.6	8
71	강원특별자치도 철원군 갈말읍 지경리 134-4	5	0.3	7
72	경기도 포천시 일동면 기산리 산 72-6	5	0.5	7

73	경기도 가평군 가평읍 상색리 509-16	5	0.3	7
74	경기도 가평군 청평면 하천리 487-2	5	1.0	7
75	인천광역시 중구 운남동 1768	5	0.2	7
76	경기도 양평군 양평읍 회현리 71-1	5	0.4	7
77	강원특별자치도 원주시 소초면 장양리 산104-12	5	0.3	7
78	경기도 여주시 대신면 당산리 178-4	5	0.3	7
79	경기도 여주시 가남읍 심석리 496	5	0.3	7
80	경상북도 울진군 후포면 삼울리 495-1	5	0.3	7
81	충청북도 청주시 흥덕구 지동동 229-3	5	0.3	7
82	경상북도 영덕군 축산면 도곡리 산62	5	0.2	7
83	경상북도 김천시 개령면 덕촌리 465-5	5	0.3	7
84	경기도 양평군 단월면 봉상리 526-20	5	0.5	6
85	경기도 양평군 양평읍 대흥리 775	5	0.4	6
86	경기도 여주시 현암동 602	5	0.5	6
87	강원특별자치도 원주시 판부면 서곡리 1824	5	0.3	6
88	경기도 이천시 마장면 양촌리 272-2	5	0.5	6
89	경기도 화성시 양감면 요당리 506-3	5	0.4	6
90	경기도 안성시 대덕면 건지리 산 17-46	5	0.7	6
91	경기도 평택시 안중읍 용성리 693-2	5	0.4	6
92	경상북도 울진군 기성면 정명리 산 30-3	5	0.4	6
93	충청북도 청주시 흥덕구 송절동 391-12	5	0.8	6
94	충청남도 예산군 응봉면 지식리 112-2	5	0.3	6
95	충청북도 청주시 서원구 남이면 부용외천리 1110	5	0.4	6
96	경상북도 영덕군 축산면 상원리 159-13	5	0.3	6
97	충청남도 청양군 대치면 주정리 85-2	5	0.4	6
98	인천광역시 강화군 강화읍 옥림리 산 50-3	5	0.3	5
99	경기도 화성시 봉담읍 왕림리 552-6	5	0.3	5
100	충청남도 아산시 음봉면 신정리 4-1	5	0.3	5
101	충청남도 아산시 탕정면 매곡리 621	5	0.5	5
102	충청남도 천안시 동남구 삼룡동 332-36	5	0.2	5
103	충청남도 아산시 도고면 향산리 114-8	5	0.2	5
104	충청북도 청주시 청원구 내수읍 은곡리 317-1	5	0.4	5
105	충청북도 청주시 흥덕구 옥산면 소로리 575	5	0.4	5
106	충청북도 청주시 청원구 주중동 500-12	5	0.5	5
107	충청북도 청주시 흥덕구 화계동 216	5	0.5	5
108	세종특별자치시 전동면 석곡리 27	5	0.2	5
109	세종특별자치시 금남면 성강리 106-5	5	0.2	5
110	경상북도 김천시 어모면 옥율리 1002	5	0.5	4

한편, 커널 밀도 분석을 통해 선정된 1~5등급 110개 구간에 대해 구간별 지도에서는 1등급부터 5등급까지 등급을 구분하여 표기하였다. 이 중 4등급과 5등급 구간이 연속적으로 분포하는 경우에는 해당 연속 구간을 하나의 관리 대상 구간으로 설정하여 저감 방안 제시 대상에 포함하였다. 로드킬 다발구간 정보를 종합하여 산출한 결과, 전체 대상 구간의 총 연장은 69.8km로 확인되었다(표 32).

등급별 연장 길이를 살펴보면, 1등급은 5km, 2등급은 3km, 3등급은 18.7km로 나타났으며(표 32), 단위 거리당 연간 로드킬 발생 건수는 1등급 29.2건/km, 2등급 27.0건/km, 3등급 18.77건/km로 분석되었다(표 32).

표 32. 로드킬 다발구간 등급별 현황

(단위: 건)

구분	1등급	2등급	3등급	4등급	5등급	계
총 연장(km)	5	3	18.7	17.5	25.6	69.8
사고(건)	146	81	351	240	461	1,279
km당 사고(건/km)	29.2	27	18.77	13.71	18.01	21.34
구간 수	5	3	17	20	65	110

2) 로드킬 다발구간 조사 및 저감방안 제시

가) 다발구간 조사

AI 기반 로드킬 예방시스템 구축을 위한 동물 감지 카메라 및 LED 전광판 설치 대상지 선정을 목적으로, 국립생태원, 국토관리사무소, 포스코DX, 시공업체가 참여하는 합동 현장조사를 실시하였다. 조사 과정에서는 찾길 사고 다발구간에 대한 객관적이고 체계적인 정보 확보를 위해 「로드킬 다발구간 정밀조사 야장」을 활용하였으며, 야장에 포함된 항목 전반과 함께 현장 조사 중 확인된 특이사항을 상세히 기록하였다(국립생태원 2019)(표 33).

조사 결과, 양평 국도 6호선과 횡성 국도 5호선 모두 다발구간 인근에 동물 유도울타리가 설치되어 있음에도 불구하고, 마을 진입부 및 개인 사유지 출입로와 같이 울타리가 단절된 개방 구간을 통해 야생동물이 도로로 접근하면서 로드킬이 발생하는 것으로 확인되었다. 이에 따라 두

대상 구간 모두에서 울타리 개방 구간을 중심으로 동물 감지 카메라를 설치하고, 차량 진행 방향을 고려하여 전·후방 약 150~200m 지점에 양방향 LED 전광판을 각각 1대씩 설치하는 방안에 대해 관계 기관 간 협의를 완료하였다.

표 33. 로드킬 다발구간 정밀조사 야장

기본 정보	날짜		조사자		조사차시	
	구간번호		구간길이		합동조사 여부	예 <input type="checkbox"/> , 아니오 <input type="checkbox"/>
	도로유형	고속국도(재정) <input type="checkbox"/> , 고속국도(민자) <input type="checkbox"/> , 국도 <input type="checkbox"/> , 지방도 <input type="checkbox"/> , 시도 <input type="checkbox"/> , 군도 <input type="checkbox"/> , 기타 <input type="checkbox"/>				
	분석방법	격자 <input type="checkbox"/> , 커널 <input type="checkbox"/> , 포인트 <input type="checkbox"/> , 기타 <input type="checkbox"/>		분석기간(데이터)		
	주소			종명		
	도로명 (도로번호)			관리기관		
	도로 차선 수			좌표	위도	
	제한 속도				경도	
상행선 (북/동)	구조물 현황	중앙분리대 <input type="checkbox"/> , 중앙분리대(하부차단) <input type="checkbox"/> , 가드레일 <input type="checkbox"/> , 가드레일(하부차단) <input type="checkbox"/> 낙석방지책 <input type="checkbox"/> , 방음벽 <input type="checkbox"/> , 과속단속카메라 <input type="checkbox"/> , 구간단속카메라 <input type="checkbox"/> , 과속방지턱 <input type="checkbox"/> , 신호등 <input type="checkbox"/> , 가로등 <input type="checkbox"/> , 교차로 <input type="checkbox"/>				
	하부 구조물	수로파이프 <input type="checkbox"/> , 통로박스 <input type="checkbox"/> , 수로암거 <input type="checkbox"/> , 확인불가 <input type="checkbox"/>				
	도로형태	직선도로 <input type="checkbox"/> , 곡선도로 <input type="checkbox"/>		교량 <input type="checkbox"/>	경사도	오르막 <input type="checkbox"/> , 내리막 <input type="checkbox"/>
	저감시설 유무	생태통로(육교형) <input type="checkbox"/> , 생태통로(터널형) <input type="checkbox"/> , 유도울타리 <input type="checkbox"/> , AI 로드킬 예방시스템 <input type="checkbox"/> , 안내표지판 <input type="checkbox"/> , 내비게이션안내 <input type="checkbox"/>				
	주변경관	주거지 <input type="checkbox"/> , 농경지 <input type="checkbox"/> , 산림지 <input type="checkbox"/> , 수계 <input type="checkbox"/> , 초지 <input type="checkbox"/> , 기타 <input type="checkbox"/>				
	기타 사항					
하행선 (남/서)	구조물 현황	중앙분리대 <input type="checkbox"/> , 중앙분리대(하부차단) <input type="checkbox"/> , 가드레일 <input type="checkbox"/> , 가드레일(하부차단) <input type="checkbox"/> 낙석방지책 <input type="checkbox"/> , 방음벽 <input type="checkbox"/> , 과속단속카메라 <input type="checkbox"/> , 구간단속카메라 <input type="checkbox"/> , 과속방지턱 <input type="checkbox"/> , 신호등 <input type="checkbox"/> , 가로등 <input type="checkbox"/> , 교차로 <input type="checkbox"/>				
	하부 구조물	수로파이프 <input type="checkbox"/> , 통로박스 <input type="checkbox"/> , 수로암거 <input type="checkbox"/> , 확인불가 <input type="checkbox"/>				
	도로형태	직선도로 <input type="checkbox"/> , 곡선도로 <input type="checkbox"/>		교량 <input type="checkbox"/>	경사도	오르막 <input type="checkbox"/> , 내리막 <input type="checkbox"/>
	저감시설 유무	생태통로(육교형) <input type="checkbox"/> , 생태통로(터널형) <input type="checkbox"/> , 유도울타리 <input type="checkbox"/> , 안내표지판 <input type="checkbox"/> , 내비게이션안내 <input type="checkbox"/>				
	주변경관	주거지 <input type="checkbox"/> , 농경지 <input type="checkbox"/> , 산림지 <input type="checkbox"/> , 수계 <input type="checkbox"/> , 초지 <input type="checkbox"/> , 기타 <input type="checkbox"/>				
	기타 사항					
특이 사항						
저감 시설	생태통로 <input type="checkbox"/> () 유도울타리 <input type="checkbox"/> () 야생동물주의표지판 <input type="checkbox"/> () 내비게이션안내 <input type="checkbox"/> () 기타 <input type="checkbox"/> ()					

나) 저감방안 제시

AI 로드킬 예방시스템은 실제 야생동물이 카메라에 의해 인식될 경우, 전방에 설치된 LED 전광판을 통해 운전자에게 경고 정보를 제공하는 시스템이다(그림 47). 이러한 AI 기반 로드킬 예방시스템은 야생동물 출현에 대한 사전 인지를 통해 운전자의 감속 운행을 유도함으로써 로드킬 발생을 저감하는 수단으로 활용되고 있으며(Huijser *et al.*, 2015; Sibanda *et al.*, 2019; Puppala *et al.*, 2025), 최근에는 로드킬 예방을 위한 효과적인 대안으로서 국제적으로 도입이 확대되는 추세이다. 다만 야생동물 인식 방식 및 시스템 구성은 국가별 도로 환경, 대상 동물종, 기술 수준 등에 따라 상이하게 적용되고 있다(Huijser *et al.*, 2015; Sibanda *et al.*, 2019; Puppala *et al.*, 2025).

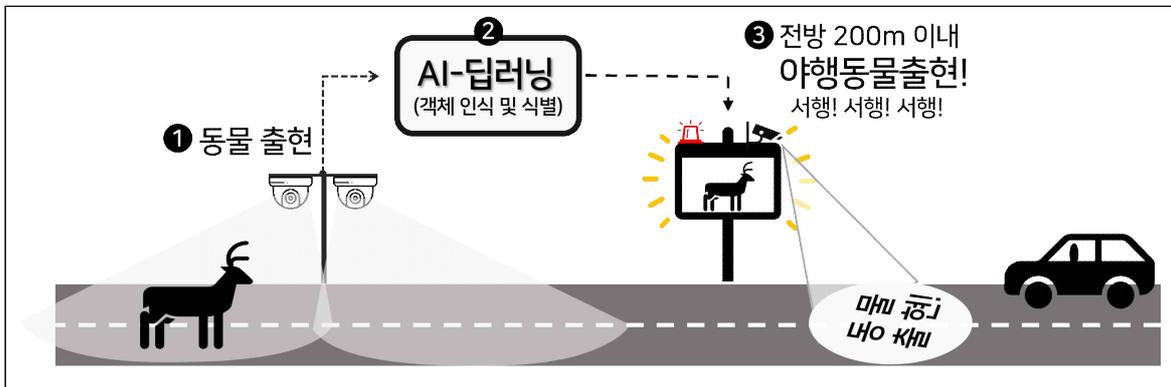


그림 47. AI 로드킬 예방시스템 모식도

2024년 동물 차길 사고(로드킬) 저감대책 다발 상위 100개 구간 분석 결과, 경기도 양평군 청운면 용두리 국도 6호선은 로드킬 발생 빈도가 높은 1.1km 구간으로 확인되었다. 해당 구간은 양방향에 유도울타리가 일부 설치되어 있으나, 울타리가 연속되지 않은 열린 구간이 존재하여 야생동물이 도로로 직접 진입하는 구조적 특성을 보이고 있다. 이로 인해 동물과 차량 간 충돌 사고가 반복적으로 발생하는 것으로 분석되었다.

특히 약 350m에 해당하는 구간은 지형적·환경적 여건으로 인해 유도울타리 설치가 불가능한 구간으로 분류되었다. 해당 구간은 야생동물 이동 경로와 도로가 직접적으로 교차하는 구간으로, 로드킬 발생 위험이 상시 존재하는 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 유도울타리 설치가 불가능한 열린 구간을

대상으로 구간 내에 동물 인식 카메라 6대를 설치하였으며(그림 48), 도로 양방향 전방 150m 지점에 LED 전광판을 각각 설치하였다. 전광판은 평상시에는 “야생동물 주의 서행하세요!” 문구를 표출하도록 설정하였으며, 동물 인식 카메라에 의해 야생동물이 감지될 경우 “전방 150m 야생동물 출현! 주의!” 로 경고 문구가 자동 전환되도록 시스템을 구축하였다(그림 48). 본 시스템을 통해 운전자에게 야생동물 출현 정보를 실시간으로 제공함으로써 감속 운행을 유도하고, 야생동물이 안전하게 서식지로 이동할 수 있는 시간을 확보하여 로드킬 발생을 사전에 저감하는 효과가 기대된다.



그림 48. AI 로드킬 예방시스템 동물 인식 카메라 6대 화각(양평)

강원도 횡성군 공근면 상창봉리 국도 5호선은 로드킬 다발구간인 0.9km 구간으로, 약 550m 구간을 대상으로 동물 인식 카메라 4대를 설치하였다(그림 49). 해당 다발구간은 사거리 형태로 구성되어 있으며, 중심부를 기준으로 한쪽은 도로, 다른 한쪽은 개인 사유지 입구부로 이루어져 있어 양방향으로 약 30m의 열린 구간이 형성된 것으로 확인되었다. 이에 열린 구간을 중심으로 야생동물의 도로 진입 가능성이

높은 지점을 고려하여, 양측에 각각 2대씩 동물 인식 카메라를 설치하였다(그림 49). 또한 도로 양방향 전방 200m 지점에 LED 전광판을 설치하여 야생동물 출현 정보를 운전자에게 사전에 제공함으로써(그림 50), 감속 운행을 유도하고 로드킬을 예방하고자 하였다.



그림 49. AI 로드킬 예방시스템 동물 인식 카메라 4대 화각(횡성)



그림 50. AI 로드킬 예방시스템(동물 인식 카메라 및 전광판) 현장 설치

다. 로드킬 저감대책 효율성 분석·평가

1) 저감대책 효율성 분석

「2020년 동물 찾길 사고(로드킬) 저감대책」에서 선정된 사고 다발 상위 50개 구간을 대상으로 분석한 결과, 2019년 기준 총 1,197건의 로드킬 사고 정보가 수집된 것으로 나타났다(국립생태원, 2020). 이후 2021년부터 2024년까지 최근 4년간 연평균 수집 건수는 316.75건으로 감소하여, 평균 약 73.54%의 로드킬 저감 효과가 확인되었다(국립생태원, 2019; 국립생태원, 2020; 국립생태원, 2021; 국립생태원, 2022; 국립생태원, 2023; 국립생태원, 2024)(표 34).

저감시설 유형별 효과를 비교한 결과, 복수의 저감대책을 병행 적용한 구간에서 79.01%로 가장 높은 저감률이 나타났다(국립생태원, 2019; 국립생태원, 2020; 국립생태원, 2021; 국립생태원, 2022; 국립생태원, 2023; 국립생태원, 2024)(표 34). 특히 야생동물 유도울타리, 주의표지판, 구간단속카메라 중 두 가지 이상을 동시에 설치한 13개 구간에서 로드킬 감소 효과가 뚜렷하게 검증되었다(표 34). 개별 시설별로 살펴보면, 야생동물 유도울타리 설치 구간은 73.16%의 저감률을 보였으며, 발생 건수 감소 규모는 447건으로 가장 큰 감소 폭을 나타냈다(표 34). 주의표지판은 11개 구간에서 적용되어 63.25%의 저감률을 기록한 반면(표 34), 구간단속카메라는 2개 구간에만 설치되었으며 상대적으로 저감 효과가 제한적인 것으로 분석되었다(표 34).

표 34. 로드킬 저감방안 효율성 평가

구분	다발구간 수	로드킬 건수			저감률(%)
		2019년	'21년~'24년	증감	
유도울타리	24	611	164	▲447	73.16
주의표지판	11	214	63.25	▲150.75	70.45
구간단속카메라	2	29	17.5	▲11.5	39.66
복수의 저감대책	13	343	72	▲271	79.01
계	50	1,197	316.75	▲880.25	73.54

연도별 로드킬 저감 효과를 비교한 결과, 2024년에는 사고 발생 건수가 전년 대비 968건 감소하여 229건으로 집계되었으며, 이에 따른 저감률은 80.87%로 분석 기간 중 가장 높은 수준을 기록하였다(표 35). 그 다음으로는 2021년이 약 80.2%의 감소율을 나타내 비교적 높은 저감 효과가 확인되었다.

반면, 2022년과 2023년의 저감률은 각각 65.66%와 67.42%로, 2021년과 2024년에 비해 다소 낮은 수치를 보였다(표 35). 그러나 이러한 차이는 시설 설치 이후의 운영 기간 경과에 따른 유지·관리 상태의 영향으로 해석될 수 있으며, 향후 시설물에 대한 지속적인 점검과 보수·관리 체계가 병행될 경우 로드킬 발생 저감 효과는 안정적으로 유지될 가능성이 높은 것으로 판단된다.

표 35. 로드킬 다발 구간별 효율성 평가

구간 번호	주소	도로 번호	다발 구간 등급	다발구간 길이(km)	저감방안	연도별 현황(건)				
						19년	21년	22년	23년	24년
1	강원도 강릉시 성상면	35	5	0.3	야생동물 주의표지판	10	1	0	0	3
2	강원도 영월군 영월읍	38	5	0.6	구간단속 카메라	13	9	8	9	7
3	강원도 횡성군 횡성읍	6	5	0.2	야생동물 유도울타리	7	5	22	9	6
4	경기도 안성시 죽산면	38, 17	1	1.5	야생동물 주의표지판	22	4	8	5	3
5	경기도 안성시 삼죽면	38	3	0.7	야생동물 주의표지판	11	4	8	8	6
6	경기도 안성시 양성면	45	3	0.6	야생동물 주의표지판, 구간단속 카메라	14	0	3	4	5
7	경기도 안성시 양성면	45	2	0.7	야생동물 유도울타리	14	9	8	6	4
8	경기도 용인시 처안구 이동읍	45	2	0.7	야생동물 유도울타리, 야생동물 주의표지판	15	8	7	2	2
9	경기도 이천시 마장면	42	2	0.6	야생동물 유도울타리, 야생동물 주의표지판	14	0	12	8	7
10	경기도 평택시 포승읍	77	2	0.7	야생동물 주의표지판	15	1	0	2	2
11	경상남도 거제시 사등면	14	5	1.0	구간단속 카메라	16	15	11	3	8
12	경상남도 고성군 상리면	33	4	0.6	야생동물 유도울타리	10	1	1	0	0
13	경상북도 구미시 산동면	25	4	0.8	야생동물 유도울타리	15	3	4	3	4
14	경상북도 구미시 장천면	25	4	2.2		33	5	15	15	6
15	경상북도 상주시 이안면	3	3	1.6	야생동물 유도울타리	32	0	5	17	15
16	경상북도 상주시 공검면	3	2	0.7		28	0	7	11	8
17	경상북도 상주시 외서면	3	2	1.7	야생동물 유도울타리	30	1	8	5	6

구간 번호	주소	도로 번호	다발 구간 등급	다발구간 길이(km)	저감방안	연도별 현황(건)				
						19년	21년	22년	23년	24년
18	경상북도 영주시 장수면	28	3	1.2	야생동물 유도울타리	34	7	12	18	3
19	경상북도 영주시 안정면	5	4	1.4	야생동물 유도울타리, 야생동물 주의표지판	20	2	10	3	1
20	경상북도 예천군 감천면	28	4	1.3	야생동물 유도울타리, 야생동물 주의표지판	23	12	4	17	7
21	전라남도 고흥군 남양면	15	4	0.6	야생동물 유도울타리	13	1	6	7	2
22	전라남도 나주시 세지면	13	5	0.5	야생동물 주의표지판	11	2	0	0	2
23	전라북도 부안군 하서면	30	4	0.6	야생동물 유도울타리	11	0	1	0	0
24	전라북도 순창군 인계면	27	4	0.6	야생동물 유도울타리	11	2	14	6	1
25	전라북도 임실군 관촌면	17	3	0.6	야생동물 주의표지판	11	1	1	2	1
26	전라북도 임실군 오수면	17	3	1.1	야생동물 주의표지판	30	26	26	37	6
27	세종특별자치시 전의면	1	1	2.3	야생동물 유도울타리	47	25	27	14	15
28	충청남도 공주시 계룡면	23	2	1.0	야생동물 유도울타리, 야생동물 주의표지판	25	9	6	3	10
29	충청남도 공주시 정안면	23	1	1.0	야생동물 유도울타리, 구간단속 카메라	38	9	1	0	2
30	충청남도 천안시 동남구 광덕면	23	2	1.5		33	7	8	3	11
31	충청남도 논산시 광석면	18	1	1.8	야생동물 유도울타리, 구간단속 카메라	56	11	4	7	8
32	충청남도 서천군 판교면	4	3	1.0	야생동물 유도울타리	21	6	7	1	5
33	충청남도 당진시 신평면	34	1	1.1	야생동물 유도울타리	29	1	12	15	9
34	충청남도 서산시 운산면	32	1	1.9	야생동물 유도울타리	47	6	15	21	5
35	충청남도 아산시 신창면	21	1	2.2	야생동물 유도울타리	45	9	28	20	11
36	충청남도 아산시 초사동	21	1	1.2		39	2	16	8	8
37	충청남도 아산시 송악면	39	1	2.0	야생동물 주의표지판	42	6	17	22	4
38	충청남도 예산군 신암면	32	1	0.8	야생동물 유도울타리	29	1	7	11	2
39	충청남도 예산군 오가면	45	1	0.8	야생동물 유도울타리, 야생동물 주의표지판	22	3	5	13	6
40	충청남도 예산군 덕산면	45	2	1.2	야생동물 주의표지판	26	5	12	19	3
41	충청남도 천안시 동남구 목천읍	21	2	1.3	야생동물 유도울타리	33	0	18	15	5
42	충청남도 태안군 태안읍	32	1	1.5	야생동물 유도울타리, 과속단속 카메라	43	2	8	12	3
43	충청북도 괴산군 칠성면	34	2	0.9	야생동물 유도울타리	21	4	5	0	1
44	충청북도 영동군 심천면	4	2	0.9	야생동물 유도울타리	22	0	0	1	2
45	충청북도 옥천군 이원면	4	1	0.8	야생동물 주의표지판	22	2	1	0	0

구간 번호	주소	도로 번호	다발 구간 등급	다발구간 길이(km)	저감방안	연도별 현황(건)				
						19년	21년	22년	23년	24년
46	충청북도 옥천군 안내면	37	1	0.7	야생동물 유도울타리	22	0	0	1	0
47	충청북도 옥천군 군북면	37	2	0.7	야생동물 유도울타리	18	3	1	4	0
48	충청북도 옥천군 동이면	4	2	0.6	야생동물 주의표지판	14	1	0	2	0
49	충청북도 진천군 이월면	17	1	0.7	야생동물 유도울타리, 야생동물 주의표지판, 구간단속 카메라	21	0	7	1	1
50	충청북도 진천군 문백면	17	1	0.7	야생동물 유도울타리, 야생동물 주의표지판, 구간단속 카메라	19	6	5	0	3
계						1,197	237	411	390	229

2025년 7월 1일부터 11월 30일까지 총 5개월간 AI 로드킬 예방시스템에 설치된 동물 인식 카메라 6대를 통해 총 7종, 202건의 동물이 촬영되었다(그림 51, 표 36). 촬영된 야생동물 중에서는 노루가 34건으로 전체의 16.83%를 차지하여 가장 높은 비율을 보였으며, 고라니는 4건으로 1.98%로 확인되었다(그림 51, 표 36). 멧돼지와 너구리는 각각 2건으로 동일하게 0.99%를 차지하였고, 오소리는 1건이 촬영되었다. 한편, 반려동물 및 가축을 포함한 촬영 결과에서는 고양이가 전체의 70.3%로 가장 높은 비율을 나타냈으며, 개는 총 17건이 촬영되었으나 모두 사람과 동반된 상태에서 인식된 것으로 확인되었다.

로드킬 정보시스템을 통해 해당 구간에서 수집된 로드킬 발생 건수는 총 5건으로 확인되었으며, 동물 출현 건수 대비 사고 발생률은 2.48%로 분석되었다(표 36). 이 중 노루에 의한 로드킬은 동물 인식 카메라를 통해 촬영된 사례로 확인되었으며, 고라니 1건과 고양이 3건에 대한 로드킬 사례는 로드킬 정보시스템에 수집된 정보를 통해 확인되었다.

표 36. 로드킬 저감방안 효율성 평가

(단위: 건)

구분	노루	고라니	멧돼지	너구리	오소리	고양이	개	계
AI 동물 인식	34	4	2	2	1	142	17	202
로드킬 발생	1	1	-	-	-	3	-	5

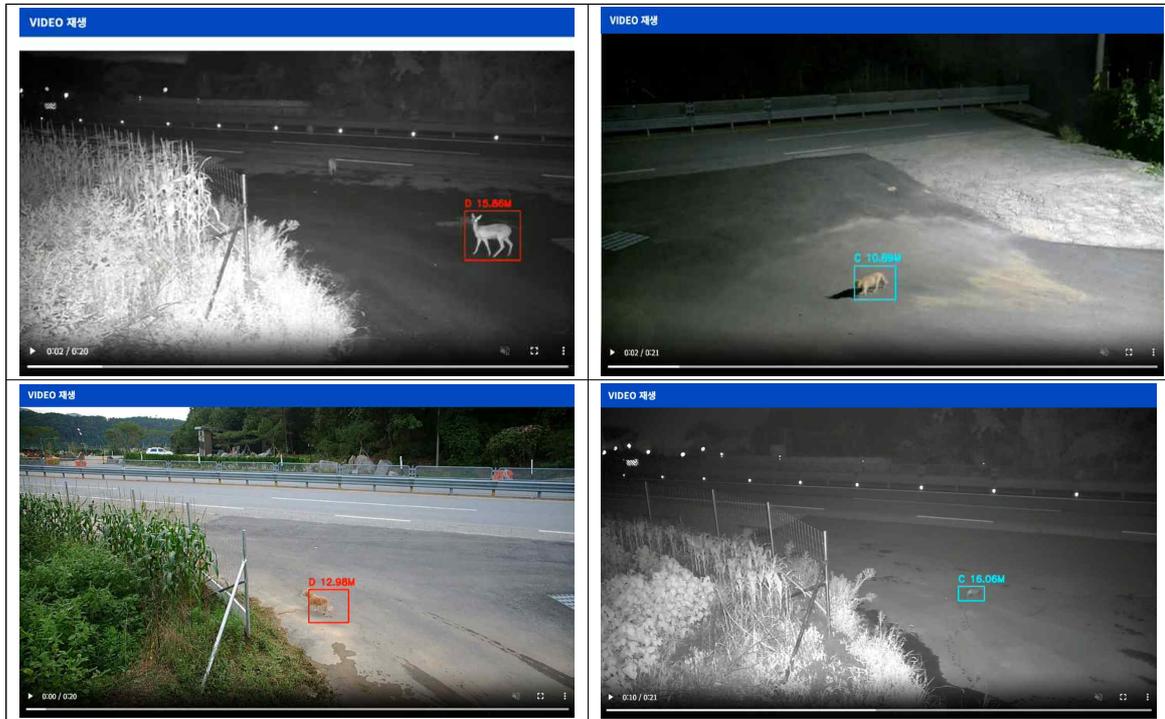


그림 51. AI 로드킬 예방시스템 동물 인식

2025년 11월에 횡성 지역에 설치된 AI 로드킬 예방시스템은 운영 기간이 상대적으로 짧아 정량적인 효과 분석을 수행하는 데 한계가 있었다. 향후 2026년 상반기에는 전북 남원 지역의 로드킬 다발구간을 대상으로 시스템을 추가 설치할 계획이며, 2027년에는 신규 로드킬 다발구간으로 적용 범위를 확대할 예정이다. 향후 AI 인공지능 기술의 지속적인 고도화와 함께 비용 대비 편익 측면에서의 효과가 확인될 경우, 보다 축적된 데이터를 기반으로 시스템의 효과를 검증하고 전국 단위로 확산하는 방안에 대한 검토가 필요하다. 아울러 기존의 카메라 기반 인식 방식뿐만 아니라 새로운 형태의 동물 인식 기술에 대한 비교·평가가 병행될 경우, 보다 효율적인 성능 검증과 함께 로드킬 저감을 위한 실효성 있는 대책 마련이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 기후부. (2018). 한반도 생태축 보전·복원 2단계 추진전략 연구
- 기후부. (2023). 기후변화 대응을 위한 한반도 생태축 보전·복원 추진계획 수립 연구
- 기후부. (2023). 생태통로 설치 및 관리 지침
- 기후부. (2024). 지속가능한 국토환경 조성을 위한 생태계 연결성 강화 연구
- 국립생물자원관. (2014). 야생동물 실태조사
- 국립생물자원관. (2015). 야생동물 실태조사
- 국립생물자원관. (2016). 야생동물 실태조사
- 국립생물자원관. (2017). 야생동물 실태조사
- 국립생물자원관. (2018). 야생동물 실태조사
- 국립생태원. (2019). 로드킬 다발구간 정밀조사
- 국립생태원. (2020). 로드킬 다발구간 정밀조사
- 국립생태원. (2021). 로드킬 다발구간 정밀조사
- 국립생태원. (2022). 로드킬 다발구간 정밀조사
- 국립생태원. (2023). 지속가능한 국토환경 조성을 위한 생태계 연결성 강화 연구
- 국립생태원. (2024). 지속가능한 국토환경 조성을 위한 생태계 연결성 강화 연구
- 국립생태원. (2025). 생태통로 모니터링 가이드라인
- 김기현, 송의근, 김세희, 김지윤, & 이한비. (2025). 고라니 로드킬의 계절적 변화와 생태적 해석. *환경영향평가*, 34(6), 509-517.
- 김백준, 이배근, 김영준. (2016). 한국 고라니. 국립생태원.
- 김병수, 오장근, & 오홍식. (2007). 한라산에 서식하는 노루 (*Capreolus pygargus tianschanicus* Satunin) 의 개체수 현황과 관리방안. *한국환경생태학회지*, 21(4), 366-373.
- 김아름, 이제민, & 장갑수. (2017). 제주 노루 (*Capreolus pygargus*) 의 서식지 선호도 분석. *한국지리정보학회지*, 20(4), 139-151.
- 김의경, 김태근, 김혜리, 임상진, & 박영철. (2021). 서식지 환경에 따른 고라니의 행동생태 연구. *국립공원연구지*, 12(2), 85-96.
- 김종원, & 이율경. (2006). 식물사회학적 식생 조사와 평가 방법. 월드사이언스, 서울.
- 산림청. (2024). *산림기본통계*. 산림임업통계플랫폼(FoSS)

- 송원경, 김은영, & 이동근. (2012). 이질적 경관에서의 연결성 측정: 리뷰 및 적용. *환경영향평가*, 21(3), 391-407.
- 송의근, 김기현, 김세희, 이한비, 김지윤. (2024). 로드킬 정보 시스템으로 수집된 너구리의 로드킬 발생 현황 연구. *GEO DATA*, 6(4), 430-434.
- 엄태경, 황현수, 이재강, & 임신재. (2018). 대한민국 온대림에서 겨울철 고라니 (*Hydropotes inermis argyropus*) 흔적 빈도에 영향을 미치는 생태적 요인. *Folia Zoologica*, 67(3-4), 173-178.
- 최태영, 박종화. (2006). 농촌 지역의 너구리 행동권. *Journal of ecology and environment*, 29(3), 259-263.
- 최태영. (2007). 포유류 도로횡단 특성과 행동권 분석을 통한 로드킬 저감 방안
- 최태영, 권혁수, 우동걸, 박종화. (2012). 농촌지역 삵 (*Prionailurus bengalensis*)의 서식지 선택과 관리방안. *한국환경생태학회지*, 26(3), 322-332.
- 최태영, 양병국, & 우동걸. (2012). 국내 포유동물에 적합한 생태통로의 유형과 규격. *환경영향평가*, 21(1), 209-218.
- 최태영. (2016). 도로위의 야생동물. 국립생태원
- 최태영, 이상규, & 우동걸. (2019). 원격무선추적과 카메라트래핑을 이용한 오소리(Sciurus hirsutus)의 공간이용 특성 연구: 행동권과 동면굴 이용을 중심으로. *한국지적정보학회지*, 21(3), 151-163.
- 통계청. (2024). 도로현황. 국가통계포털(KOSIS)
- Baechli, J., Albanesi, S., & Bellis, L. M. (2021). Effectiveness of crossings as wildlife passages for mammals in the Yungas of Argentina. *Journal for Nature Conservation*, 59, 125944.
- Balčiauskas, L., Kučas, A., & Balčiauskienė, L. (2025). A Review of Wildlife-Vehicle Collisions: A Multidisciplinary Path to Sustainable Transportation and Wildlife Protection. *Sustainability*, 17(10), 4644.
- Barrueto, M., Ford, A. T., & Clevenger, A. P. (2014). Anthropogenic effects on activity patterns of wildlife at crossing structures. *Ecosphere*, 5(3), 1-19.
- Bergen, N. H. (2018). Evaluating the success and monitoring the usage of wildlife crossing structures in Bedminster, NJ.
- Braun-Blanquet, J. (1932). *Plant sociology. The study of plant communities.*
- Bujoczek, M., Ciach, M., & Yosef, R. (2011). Road-kills affect avian

- population quality. *Biological Conservation*, 144(3), 1036-1039.
- Clevenger, A.P. and Waltho, N. (2000). Factors Influencing the Effectiveness of Wildlife Underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology*, 14(1), 47-56.
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B., & Gunson, K. (2001). Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of applied ecology*, 38(6), 1340-1349.
- Clevenger AP, Chruszcz B, Gunson KE. (2003). Spatial patterns and influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109, 15-26.
- Clevenger, A. P., & Waltho, N. (2005). Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological Conservation*, 121(3), 453-464.
- Clevenger, A. P., & Kociolek, A. V. (2013). Potential impacts of highway median barriers on wildlife: State of the practice and gap analysis. *Environmental management*, 52(5), 1299-1312.
- Clevenger, A. P., & Barrueto, M. (2014). Trans-Canada Highway Wildlife and Monitoring Research. Final Report Part B. Radium Hot Springs, British Columbia.
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 396-406.
- Denneboom, D., Bar-Massada, A., & Shwartz, A. (2021). Factors affecting usage of crossing structures by wildlife—A systematic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 777, 1460061.
- Ellenberg, D., & Mueller-Dombois, D. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology* (Vol. 547). New York: Wiley.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 34(1), 487-515.
- Ford, A. T., Clevenger, A. P., & Bennett, A. (2009). Comparison of methods of monitoring wildlife crossing-structures on highways. *The Journal of Wildlife Management*, 73(7), 1213-1222.
- Forman, R. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1), 207-231.

- Girardet X, Contruyt-Rogéon G, Foltete JC. (2015). Does regional landscape connectivity influence the location of roe deer roadkill hotspot?. *European Journal of Wildlife Research*, 61(5), 731-742.
- Glista, D. J., DeVault, T. L., & DeWoody, J. A. (2009). A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning*, 91(1), 1-7.
- Hardy, A., Clevenger, A. P., Huijser, M., & Neale, G. (2003). An overview of methods and approaches for evaluating the effectiveness of wildlife crossing structures: emphasizing the science in applied science.
- Hilty J. A., Jr Lidicker W. Z., & Merenlender, A. M. (2006). *Corridor ecology: the science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation*. Island Press, London.
- Huijser, M. P., Mosler-Berger, C., Olsson, M., & Strein, M. (2015). Wildlife warning signs and animal detection systems aimed at reducing wildlife-vehicle collisions. *Handbook of road ecology*, 198-212.
- Hwang, J., Kim, E., Kim, J., Kim, J., Kim, Y., Lee, S., ... & Jheong, W. H. (2025). Exploratory Report of Wild Boar Surveillance and Epidemiological Course of African Swine Fever Outbreak; Case in the Republic of Korea From 2019 to 2023. *Transboundary and Emerging Diseases*, 2025(1), 3538366.
- IUCN. (2024). *Hydropotes inermis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2024. e.T10329A22163539.
- JA, C. (1986). The effects of pipelines, roads, and traffic on the movements of caribou, *Rangifer tarandus*. *Can Field Nat*, 100, 218-224.
- Jaeger, J. A., & Fahrig, L. (2004). Effects of road fencing on population persistence. *Conservation Biology*, 18(6), 1651-1657.
- Jaeger, J. A., Bowman, J., Brennan, J., Fahrig, L., Bert, D., Bouchard, J., ... & Von Toschanowitz, K. T. (2005). Predicting when animal populations are at risk from roads: an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological modelling*, 185(2-4), 329-348.
- Keller, V., & Pfister, H. P. (1997). Wildlife passages as a means of mitigating effects of habitat fragmentation by roads and railway lines. In *Habitat Fragmentation, Infrastructure and the Role of Ecological Engineering*,

- Conference, 1995, Maastricht and The Hague, Netherlands.
- Lee, C., Chun, J., & Cho, H. (2013). Elevational patterns and determinants of plant diversity in the Baekdudaegan Mountains, South Korea: Species vs. functional diversity. *Chinese Science Bulletin*, 58(31), 3747–3759.
- Lee, H. J., Kim, K. T., & Song, W. K. (2025). Analysis of Home Range and Habitat Use of Asian Badgers (*Meles leucurus*) in Urban Areas. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 28(4), 1–12.
- Lenore Fahrig. (2003). Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 487–515.
- Lim, J. S., Vergne, T., Kim, E., Guinat, C., Dellicour, S., & Andraud, M. (2024). A spatially-heterogeneous impact of fencing on the African swine fever wavefront in the Korean wild boar population. *Veterinary Research*, 55(1), 163.
- Mastro, L. L., Conover, M. R., & Frey, S. N. (2008). Deer-vehicle collision prevention techniques. *Human-Wildlife Conflicts*, 2(1), 80–92.
- Mohaymany AS, Shahri M, Mirbagheri B. (2013). GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation. *Geo-spatial Information Science*, 16(2), 113–119.
- Newell, R., Lister, N. M., Dale, A., & Careri, S. (2025). Wildlife crossing database platform: A transdisciplinary approach to developing a tool for landscape connectivity planning and public engagement. *Wildlife Society Bulletin*, 49(2), e1593.
- Park SI, Lee KJ. (2015). A study on building methodology for identifying road-kill hot-spots on highways and its empirical application. *Journal of Korea Planners Association* 50(3):319–333.
- Pons, P. (2000). Height of the road embankment affects probability of traffic collision by birds. *Bird Study*, 47(1), 122–125.
- Puppala, H., Sarasua, W., Biyaguda, S., Farzinpour, F., & Chowdhury, M. (2025). Real-time Deer Detection and Warning in Connected Vehicles via Thermal Sensing and Deep Learning. arXiv preprint arXiv:2509.18779.
- Rabie, P. A., Welsch, M. M., Stone, N., & Derby, C. (2024). Novel approach to estimating avian mortality from vehicle-bird collisions on US roads. *Journal of Field Ornithology*, 95(3).

- Ramp D, Caldwell J, Edwards KA, Warton D, Croft DB. (2005). Modelling of wildlife fatality hotspots along the snowy mountain highway in new south wales, Australia. *Biological Conservation* 126:472-490.
- Rytwinski, T., Soanes, K., Jaeger, J. A., Fahrig, L., Findlay, C. S., Houlahan, J., ... & van der Grift, E. A. (2016). How effective is road mitigation at reducing road-kill? A meta-analysis. *PLoS One*, 11(11), e0166941.
- Santos, S. M., Mira, A., Salgueiro, P. A., Costa, P., Medinas, D., & Beja, P. (2016). Avian trait-mediated vulnerability to road traffic collisions. *Biological Conservation*, 200, 122-130.
- Schwartz, A. L., Shilling, F. M., & Perkins, S. E. (2020). The value of monitoring wildlife roadkill. *European journal of wildlife research*, 66(1), 18.
- Shilling FM, Waetjen DP. (2015). Wildlife-vehicle collision hotspots at US highway extents: scale and data source effects. *Nature Conservation*, 11, 41-60.
- Sibanda, V., Mpofu, K., Trimble, J., & Zengeni, N. (2019). Design of an animal detection system for motor vehicle drivers. *Procedia CIRP*, 84, 755-760.
- Silverman BW. (1986). *Probability density estimation for statistics and data analysis*, Chapman and Hall, NY.
- Simpson, N. O., Stewart, K. M., Schroeder, C., Cox, M., Huebner, K., & Whiting, J. (2016). Overpasses and underpasses: Effectiveness of crossing structures for migratory ungulates. *Journal of Wildlife Management*, 80(8), 1537-1552.
- Song, E. G., Lee, H. S., Park, H. B., Woo, D. G., Park, T. J., Chun, S. W., ... & Choi, T. Y. (2018). Study on crossing tendencies of birds by road type for validation of wildlife crossing structures targeting avian species. *Journal of forest and environmental science*, 34(2), 136-141.
- Song, EG, Seo HJ, Kim KM, Woo DG, Park TJ, Choi TY. (2019). Analysis of roadkill hotspot according to the spatial clustering methods. *Korean Society of Environmental Impact Assessment*, 28(6), 580-591.
- Stephens, S. E., Koons, D. N., Rotella, J. J., & Willey, D. W. (2004). Effects of habitat fragmentation on avian nesting success: a review of the evidence at multiple spatial scales. *Biological conservation*, 115(1), 101-110.

- Teixeira FZ, Coelho IP, Esperandio IB, Oliveira NR, Peter FP, Dornelles SS, Delazeri NR, Tavares M, Martins MB, Kindel A. (2013). Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups?. *Oecologia Australis*, 17(1), 36-47.
- van der Grift, E. A., & van der Ree, R. (2015). Guidelines for evaluating use of wildlife crossing structures. *Handbook of Road Ecology*, 119-128.
- Van Der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (2015). *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons.
- Wang, Y., Guan, L., Piao, Z., Wang, Z., & Kong, Y. (2017). Monitoring wildlife crossing structures along highways in Changbai mountain China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 119-128.
- World Organisation for Animal Health (WOAH). (2023). African swine fever – Situation Report 29 (as of March 2, 2023). WOAH.

부록 1. 금북정맥(천안 목천) 방형구별 출현식물 목록

국명	학명	방형구						종	형태
		1	2	3	4	5	6		
느티나무	<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino	0						종	목본
산초나무	<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold & Zucc.	0	0	0		0	0	종	목본
덜꿩나무	<i>Viburnum erosum</i> Thunb.	0				0		종	목본
개웃나무	<i>Toxicodendron trichocarpum</i> (Miq.) Kuntze		0			0		종	목본
노린재나무	<i>Symplocos sawafutagi</i> Nagam.	0	0		0	0	0	종	목본
쪽동백나무	<i>Styrax obassia</i> Siebold & Zucc.			0				종	목본
때죽나무	<i>Styrax japonicus</i> Siebold & Zucc.		0					종	목본
팔배나무	<i>Sorbus alnifolia</i> (Siebold & Zucc.) K. Koch				0	0		종	목본
청가시덩굴	<i>Smilax sieboldii</i> Miq.	0	0	0	0	0	0	종	목본
청미래덩굴	<i>Smilax china</i> L.	0	0	0		0		종	목본
딱총나무	<i>Sambucus williamsii</i> Hance	0						종	목본
산딸기	<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge		0		0			종	목본
찔레나무	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.	0			0			종	목본
아까시나무	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	0	0	0			0	종	목본
진달래	<i>Rhododendron mucronulatum</i> Turcz.		0	0		0		종	목본
굴참나무	<i>Quercus variabilis</i> Blume	0	0	0		0		종	목본
졸참나무	<i>Quercus serrata</i> Murray	0	0	0	0			종	목본
떡갈나무	<i>Quercus dentata</i> Thunb.	0		0	0			종	목본
갈참나무	<i>Quercus aliena</i> Blume	0			0	0	0	종	목본
상수리나무	<i>Quercus acutissima</i> Carruth.	0			0		0	종	목본
리기다소나무	<i>Pinus rigida</i> Mill.			0				종	목본
소나무	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.		0					종	목본
담쟁이덩굴	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.	0	0				0	종	목본
사람주나무	<i>Neoshirakia japonica</i> (Siebold & Zucc.) Esser		0	0		0		종	목본
일본목련	<i>Magnolia obovata</i> Thunb.	0		0				종	목본
인동	<i>Lonicera japonica</i> Thunb.	0						종	목본
생강나무	<i>Lindera obtusiloba</i> Blume	0	0		0	0	0	종	목본
비목나무	<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino	0	0	0	0	0		종	목본
쥐똥나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.	0				0	0	종	목본
싸리	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.		0					종	목본
은행나무	<i>Ginkgo biloba</i> L.			0				종	목본
들메나무	<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.				0			종	목본
보리수나무	<i>Elaeagnus umbellata</i> Thunb.				0			종	목본
개암나무	<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. ex Trautv.	0			0		0	종	목본
층층나무	<i>Cornus controversa</i> Hemsl.				0			종	목본
댕댕이덩굴	<i>Cocculus trilobus</i> (Thunb.) DC.	0		0	0		0	종	목본
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0			0			종	목본
밤나무	<i>Castanea crenata</i> Siebold & Zucc.	0			0	0	0	종	목본
작살나무	<i>Callicarpa japonica</i> Thunb.		0	0				종	목본
개머루	<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> (Maxim.) Trautv.		0					변종	목본
자귀나무	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.		0				0	종	목본
단풍나무	<i>Acer palmatum</i> Thunb.	0		0			0	종	목본
여로	<i>Veratrum maackii</i> Regel				0			변종	초본
배풍등	<i>Solanum lyratum</i> Thunb.				0			종	초본
노루발	<i>Pyrola japonica</i> Klenze ex Alef.					0		종	초본
동굴레	<i>Polygonatum odoratum</i> var. pluriflorum (Miq.) Ohwi	0					0	변종	초본
미국자리공	<i>Phytolacca americana</i> L.	0						종	초본
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre	0						종	초본
주름조개풀	<i>Opismenus undulatifolius</i> (Ard.) Roem. & Schult.	0	0	0	0	0	0	종	초본
큰까치수염	<i>Lysimachia clethroides</i> Duby				0			종	초본
맥문동	<i>Liriope platyphylla</i> F. T. Wang & T. Tang	0						종	초본
산박하	<i>Isodon inflexus</i> (Thunb.) Kudô		0		0			종	초본
원추리	<i>Hemerocallis fulva</i> L.		0				0	종	초본
가은죽제비고사리	<i>Dryopteris chinensis</i> (Baker) Koidz.					0		종	초본
산죽제비고사리	<i>Dryopteris bissetiana</i> (Baker) C. Chr.						0	종	초본

애기나리	<i>Disporum smilacinum</i> A. Gray	0			0			종	초본
좁긴고사리	<i>Deparia conillii</i> (Franch. & Sav.) M. Kato				0			종	초본
응달고사리	<i>Cornopteris crenulatoserrulata</i> (Makino) Nakai					0		종	초본
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.	0						종	초본
그늘사초	<i>Carex lanceolata</i> Boott	0			0			종	초본
가는잎그늘사초	<i>Carex humilis</i> var. <i>nana</i> (H. Lév. & Vaniot) Ohwi	0	0	0	0	0	0	변종	초본
실새풀	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth		0	0		0		종	초본
삼주	<i>Atractylodes ovata</i> (Thunb.) DC.		0		0		0	종	초본
뱀고사리	<i>Athyrium yokoscense</i> (Franch. & Sav.) H. Christ				0	0	0	종	초본
참취	<i>Aster scaber</i> Thunb.				0	0		종	초본
맑은대쑥	<i>Artemisia keiskeana</i> Miq.				0			종	초본
식물류	<i>Achyranthes bidentata</i> var. <i>japonica</i> Miq.					0		변종	초본
계		34	26	20	30	24	22		

부록 2. 호남정맥(완주 구이) 출현식물 목록

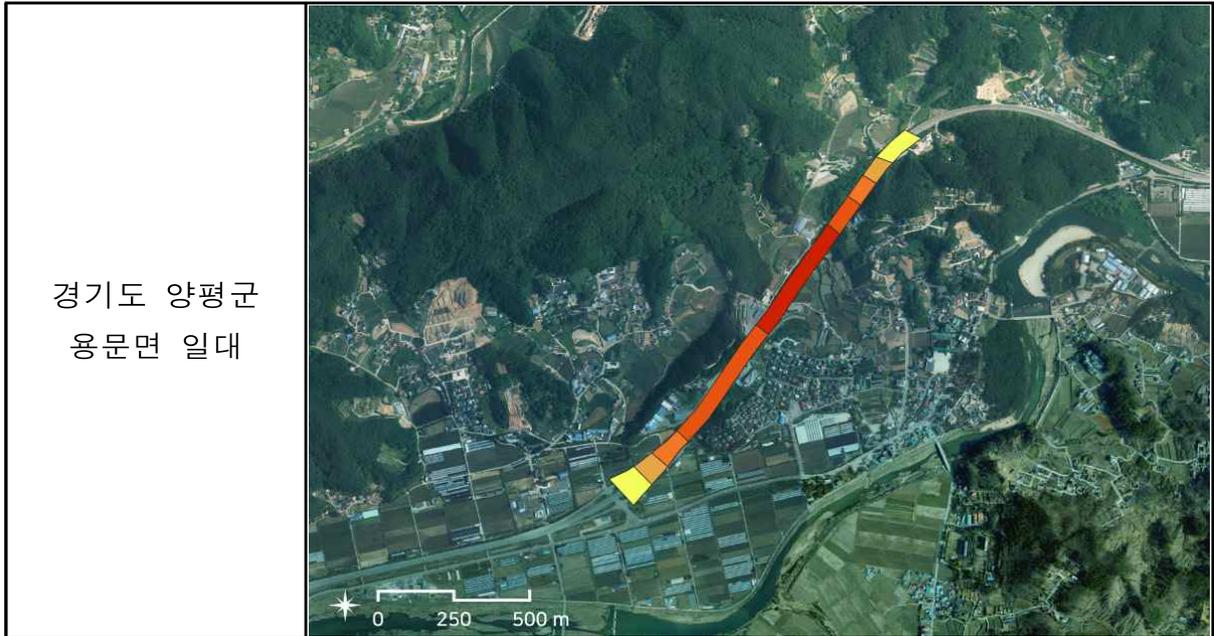
국명	학명	방형구						종	형태
		1	2	3	4	5	6		
산초나무	<i>Zanthoxylum schinifolium</i> Siebold & Zucc.			0				종	목본
까마귀머루	<i>Vitis ficifolia</i> var. <i>sinuata</i> (Regel) H. Hara					0		종	목본
덜꿩나무	<i>Viburnum erosum</i> Thunb.	0	0	0		0	0	종	목본
개웃나무	<i>Toxicodendron trichocarpum</i> (Miq.) Kuntze	0	0	0		0	0	종	목본
노린재나무	<i>Symplocos sawafutagi</i> Nagam.					0		종	목본
때죽나무	<i>Styrax japonicus</i> Siebold & Zucc.	0	0	0			0	종	목본
국수나무	<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel	0				0		종	목본
조팝나무	<i>Spiraea prunifolia</i> var. <i>simpliciflora</i> (Nakai) Nakai	0						품종	목본
팔배나무	<i>Sorbus alnifolia</i> (Siebold & Zucc.) K. Koch		0					종	목본
청가시덩굴	<i>Smilax sieboldii</i> Miq.	0	0	0		0	0	종	목본
청미래덩굴	<i>Smilax china</i> L.	0	0	0		0	0	종	목본
딱총나무	<i>Sambucus williamsii</i> Hance	0						종	목본
산딸기	<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge			0				종	목본
찔레나무	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.				0			종	목본
까마귀밥나무	<i>Ribes fasciculatum</i> var. <i>chinense</i> Maxim.				0		0	변종	목본
갈매나무	<i>Rhamnus davurica</i> Pall.				0			종	목본
까마귀베개	<i>Rhamnella franguloides</i> (Maxim.) Weberb.				0			종	목본
졸참나무	<i>Quercus serrata</i> Murray	0						종	목본
신갈나무	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	0						종	목본
떡갈나무	<i>Quercus dentata</i> Thunb.		0					종	목본
갈참나무	<i>Quercus aliena</i> Blume	0	0	0	0	0	0	종	목본
상수리나무	<i>Quercus acutissima</i> Carruth.				0	0	0	종	목본
콩배나무	<i>Pyrus calleryana</i> var. <i>fauriei</i> (C.K. Schneid.) Rehder	0						변종	목본
잣나무	<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc.						0	종	목본
소나무	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	0		0	0			종	목본
담쟁이덩굴	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.	0	0	0	0	0		종	목본
계오등	<i>Paederia foetida</i> L.	0	0	0	0		0	종	목본
생강나무	<i>Lindera obtusiloba</i> Blume	0	0	0	0	0	0	종	목본
감태나무	<i>Lindera glauca</i> (Siebold & Zucc.) Blume	0	0	0	0	0		종	목본
비목나무	<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino	0	0	0		0	0	종	목본
쥐똥나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.	0	0	0	0	0	0	종	목본
조록싸리	<i>Lespedeza maximowiczii</i> C. K. Schneid.	0	0					종	목본
노간주나무	<i>Juniperus rigida</i> Siebold & Zucc.		0	0				종	목본
대팻집나무	<i>Ilex macropoda</i> Miq.			0				종	목본
은행나무	<i>Ginkgo biloba</i> L.					0		종	목본
물푸레나무	<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance		0	0			0	종	목본
들메나무	<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.			0				종	목본
사철나무	<i>Euonymus japonicus</i> Thunb.	0						종	목본
회잎나무	<i>Euonymus alatus</i> f. <i>ciliatodentatus</i> Hiyama	0				0	0	품종	목본
꾸지뽕나무	<i>Cudrania tricuspidata</i> (Carrière) Bureau ex Lavallée		0	0	0			종	목본

개암나무	<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. ex Trautv.	0	0	0				종	목본
층층나무	<i>Cornus controversa</i> Hemsl.	0	0		0			종	목본
댕댕이덩굴	<i>Cocculus trilobus</i> (Thunb.) DC.	0			0	0		종	목본
사위질빵	<i>Clematis apiifolia</i> DC.	0			0			종	목본
밤나무	<i>Castanea crenata</i> Siebold & Zucc.	0	0					종	목본
작살나무	<i>Callicarpa japonica</i> Thunb.	0			0	0		종	목본
거북꼬리	<i>Boehmeria tricuspis</i> (Hance) Makino		0					종	목본
가새잎개머루	<i>Ampelopsis glandulosa</i> var. <i>heterophylla</i> f. <i>citruilloides</i> (Lebas) Momiy.	0						품종	목본
자귀나무	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.		0	0		0		종	목본
으름덩굴	<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne.	0		0	0	0		종	목본
신나무	<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Wesm.		0					아종	목본
단풍나무	<i>Acer palmatum</i> Thunb.			0				종	목본
콩제비꽃	<i>Viola verecunda</i> A. Gray						0	종	초본
배풍등	<i>Solanum lyratum</i> Thunb.		0					종	초본
선밀나물	<i>Smilax nipponica</i> Miq.	0	0	0				종	초본
꼭두선이	<i>Rubia argyi</i> (H. Lév. & Vaniot) H. Hara ex Lauener & D.K. Ferguson	0			0			종	초본
노루발	<i>Pyrola japonica</i> Klenze ex Alef.		0	0	0	0	0	종	초본
개별꽃	<i>Pseudostellaria heterophylla</i> (Miq.) Pax				0	0	0	종	초본
둥굴레	<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i> (Miq.) Ohwi	0	0				0	변종	초본
주름조개풀	<i>Oplismenus undulatifolius</i> (Ard.) Roem. & Schult.	0	0	0	0	0	0	종	초본
맥문동	<i>Liriope platyphylla</i> F. T. Wang & T. Tang	0	0	0	0		0	종	초본
산박하	<i>Isodon inflexus</i> (Thunb.) Kudô						0	종	초본
돌외	<i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino	0						종	초본
애기나리	<i>Disporum smilacinum</i> A. Gray	0	0	0				종	초본
단풍마	<i>Dioscorea quinquelobata</i> Thunb.	0	0					종	초본
더덕	<i>Codonopsis lanceolata</i> (Siebold & Zucc.) Trautv.	0						종	초본
은대난초	<i>Cephalanthera longibracteata</i> Blume		0					종	초본
대사초	<i>Carex siderosticta</i> Hance						0	종	초본
그늘사초	<i>Carex lanceolata</i> Boott	0			0			종	초본
가는잎그늘사초	<i>Carex humilis</i> var. <i>nana</i> (H. Lév. & Vaniot) Ohwi						0	변종	초본
이삭사초	<i>Carex dimorpholepis</i> Steud.				0		0	종	초본
털대사초	<i>Carex ciliatomarginata</i> Nakai		0					종	초본
실새풀	<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	0		0	0		0	종	초본
뱀고사리	<i>Athyrium yokoscense</i> (Franch. & Sav.) H. Christ						0	종	초본
참새발고사리	<i>Athyrium sinense</i> Rupr.		0					종	초본
개고사리	<i>Athyrium niponicum</i> (Mett.) Hance						0	종	초본
참취	<i>Aster scaber</i> Thunb.		0	0				종	초본
꼬리고사리	<i>Asplenium incisum</i> Thunb.				0	0		종	초본
비짜루	<i>Asparagus schoberioides</i> Kunth				0			종	초본
천남성	<i>Arisaema amurense</i> f. <i>serratum</i> (Nakai) Kitag.			0				품종	초본
계		41	36	32	28	28	24		

부록 3. 로드킬 다발구간 현황(110구간)

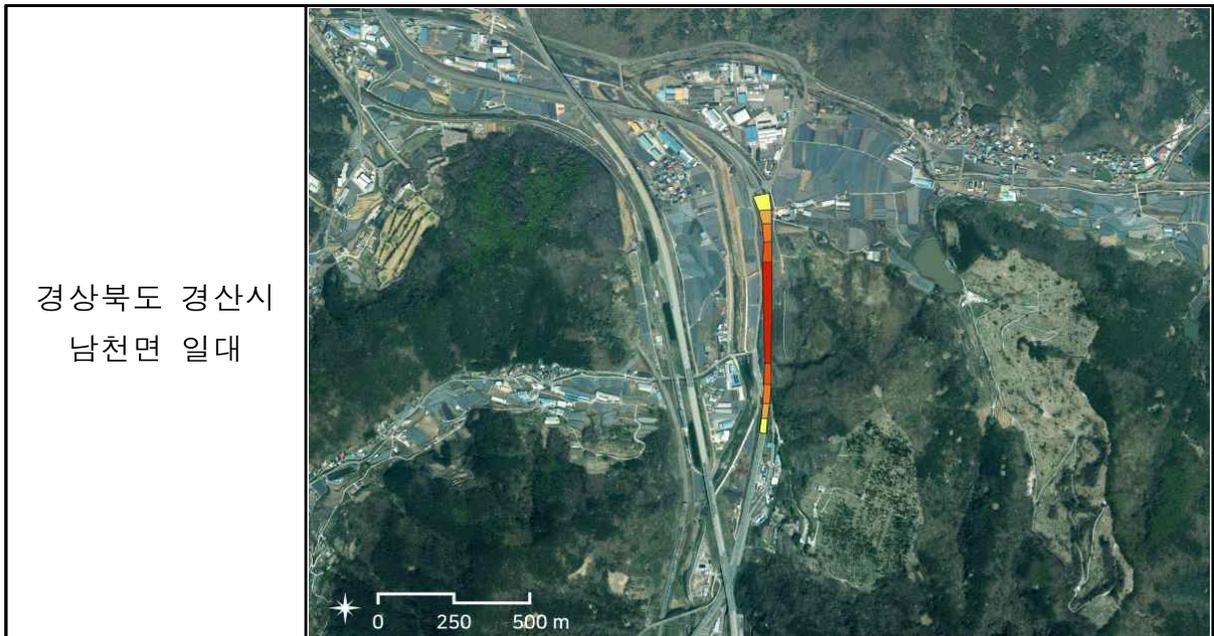
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-01	국도	6	1.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-02	국도	25	0.8	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-03	국도	47	0.7	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-04	국도, 시도	37, 보통1길	1.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-05	지방도	540	0.7	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



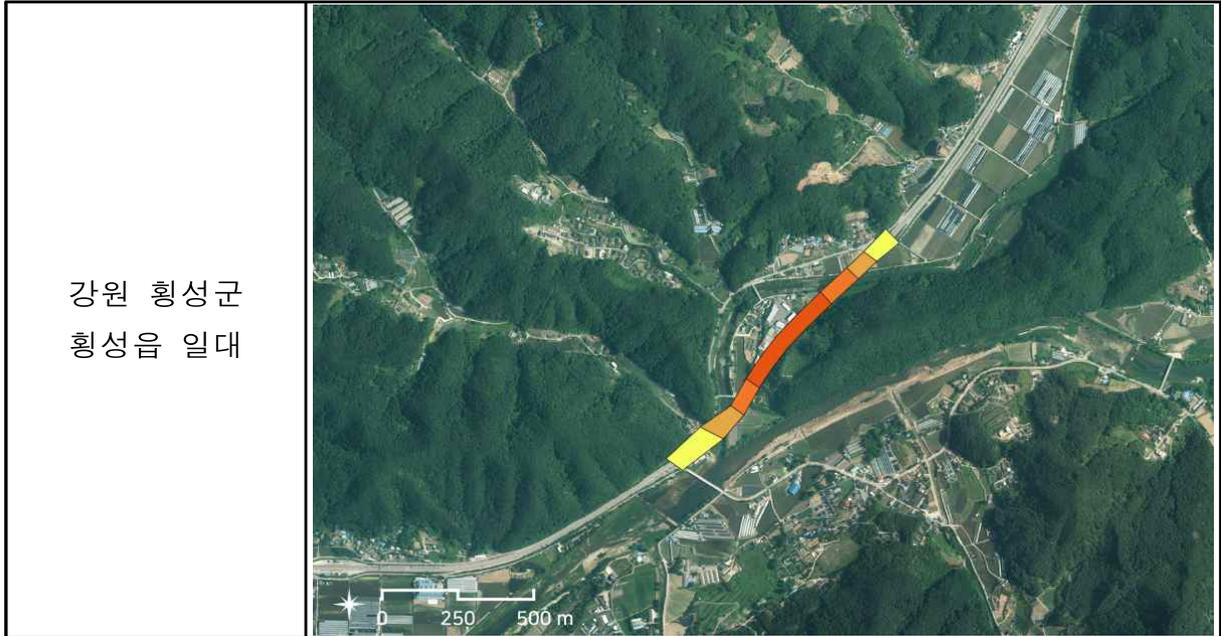
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-06	국도	44	1.1	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-07	국도	6	1.1	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-08	국도	17	0.8	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



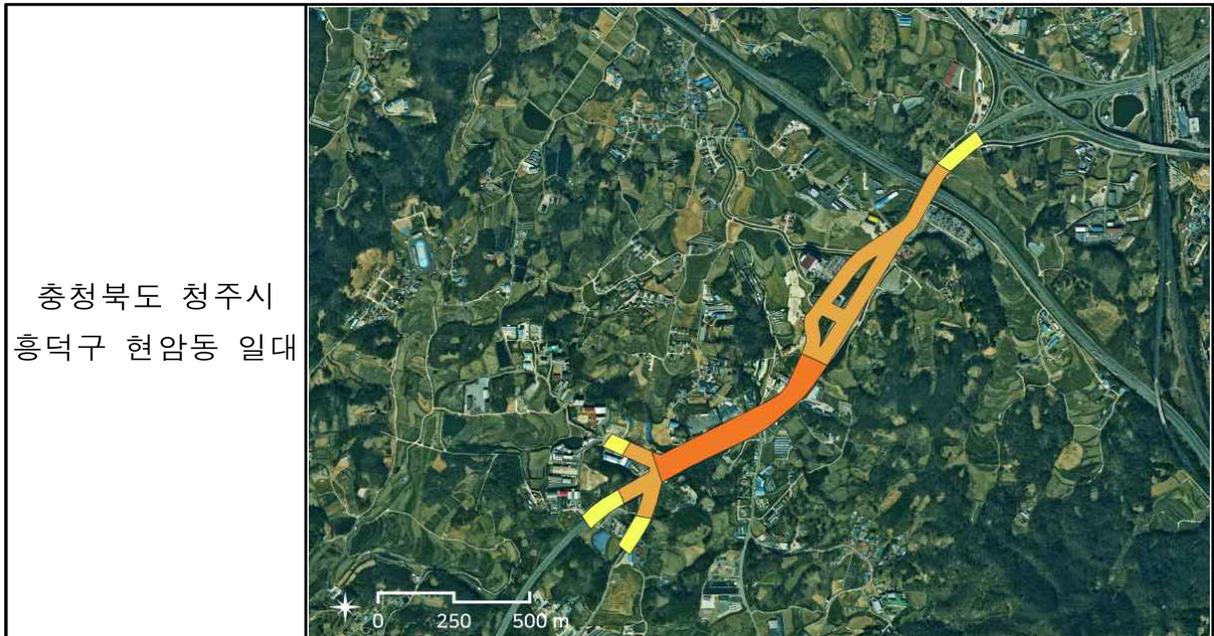
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-09	국도	30	1.8	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-10	시도	세종청주로	1.9	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



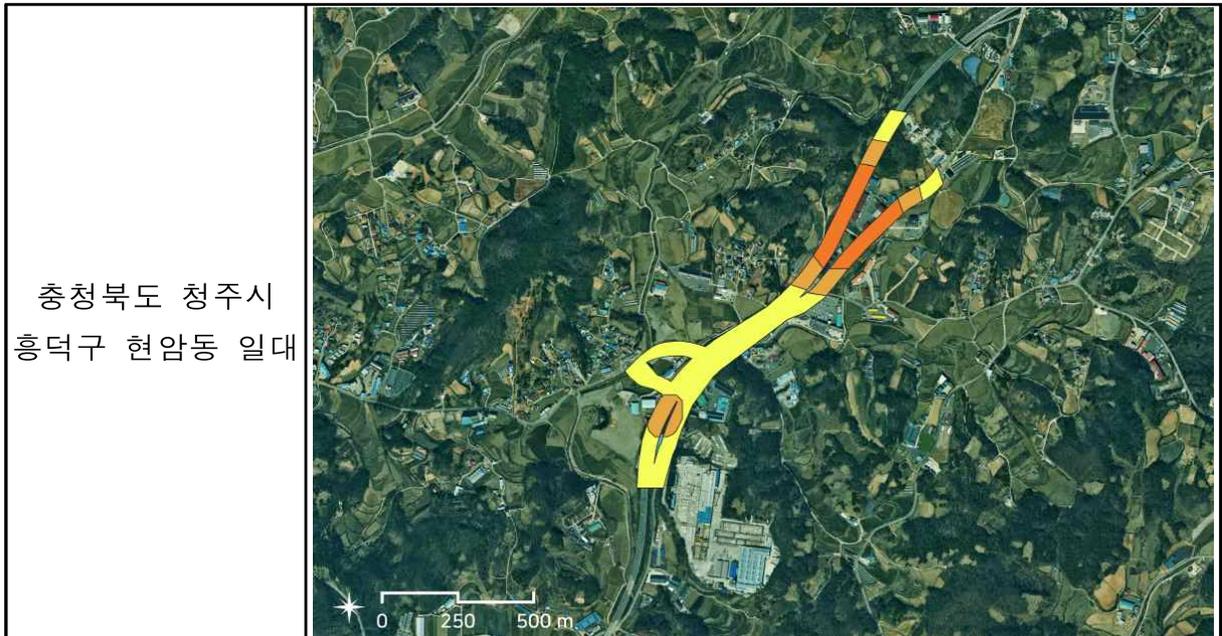
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-11	국도	25	1.8	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-12	시도	세종청주로	1.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



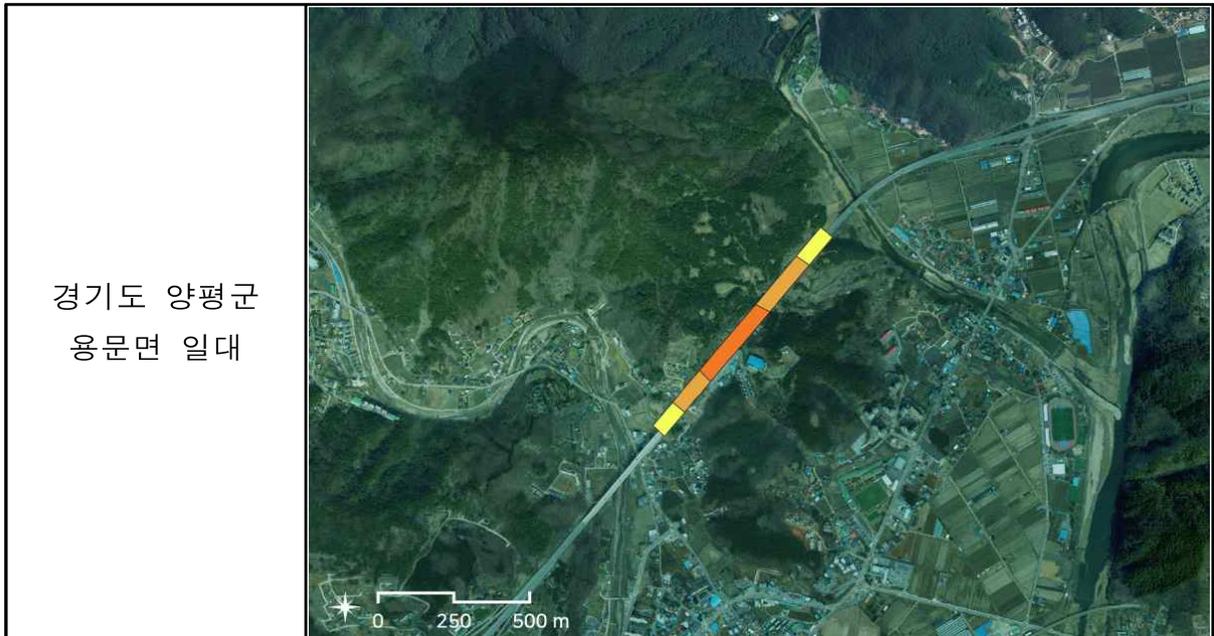
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-13	국도	59	1.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



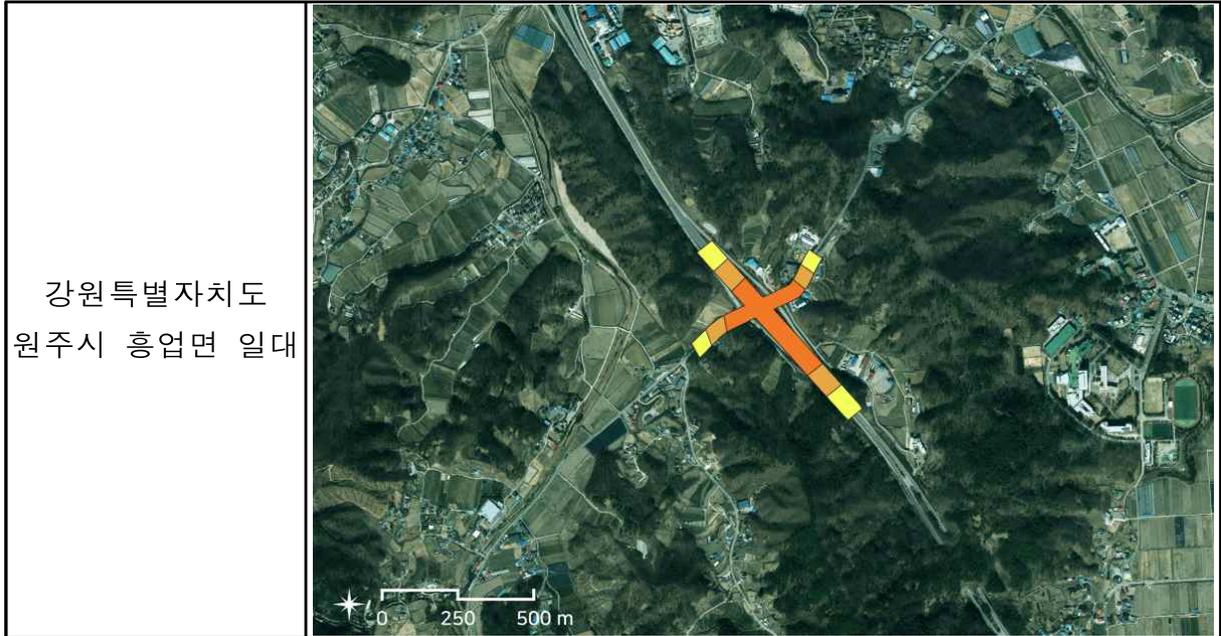
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-14	국도	6	0.9	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



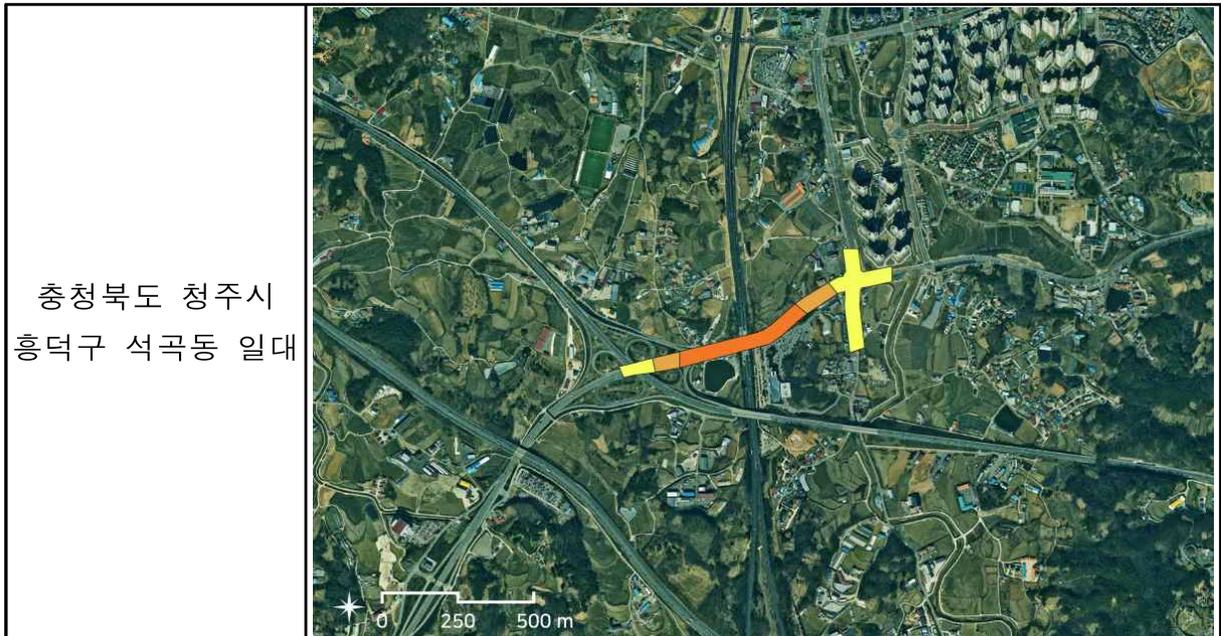
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-15	국도, 시도	42, 대안로	1.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-16	지방도	512	1.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-17	국도	59	0.9	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



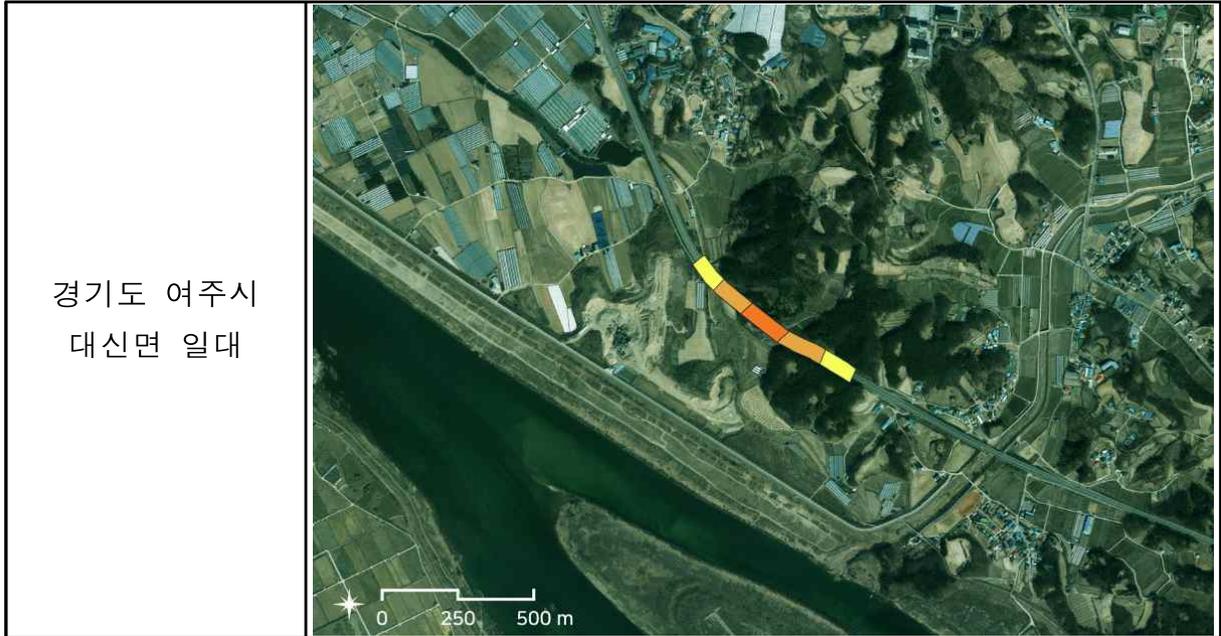
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-18	국도	1	1.1	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



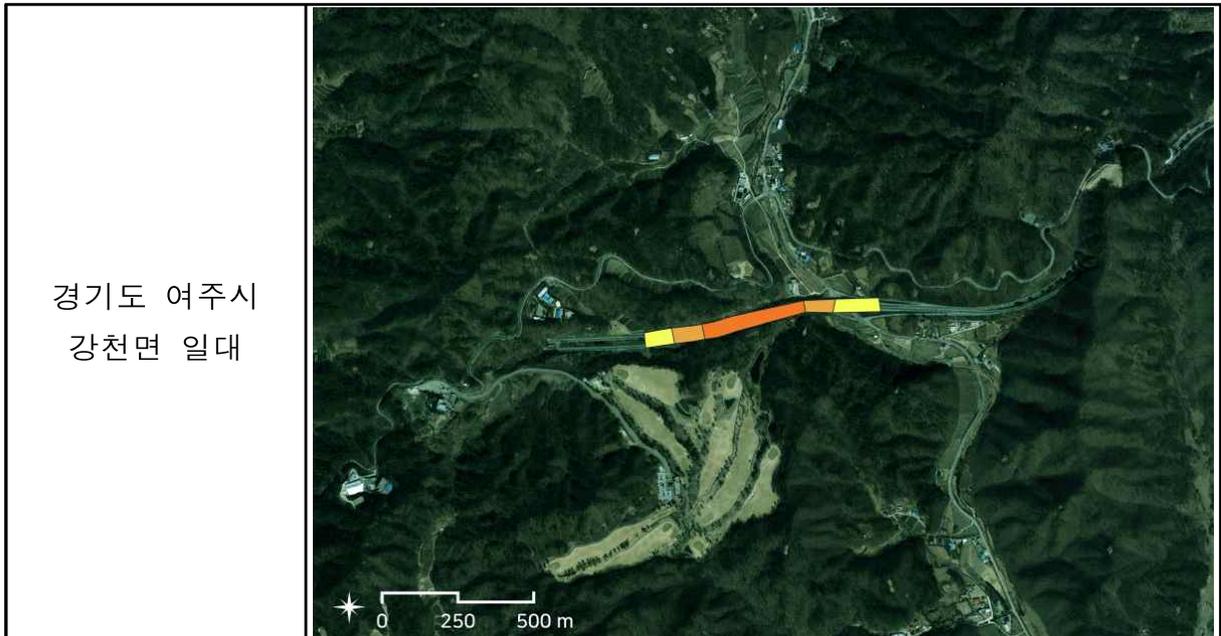
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-19	국도	37	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-20	국도	42	0.8	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



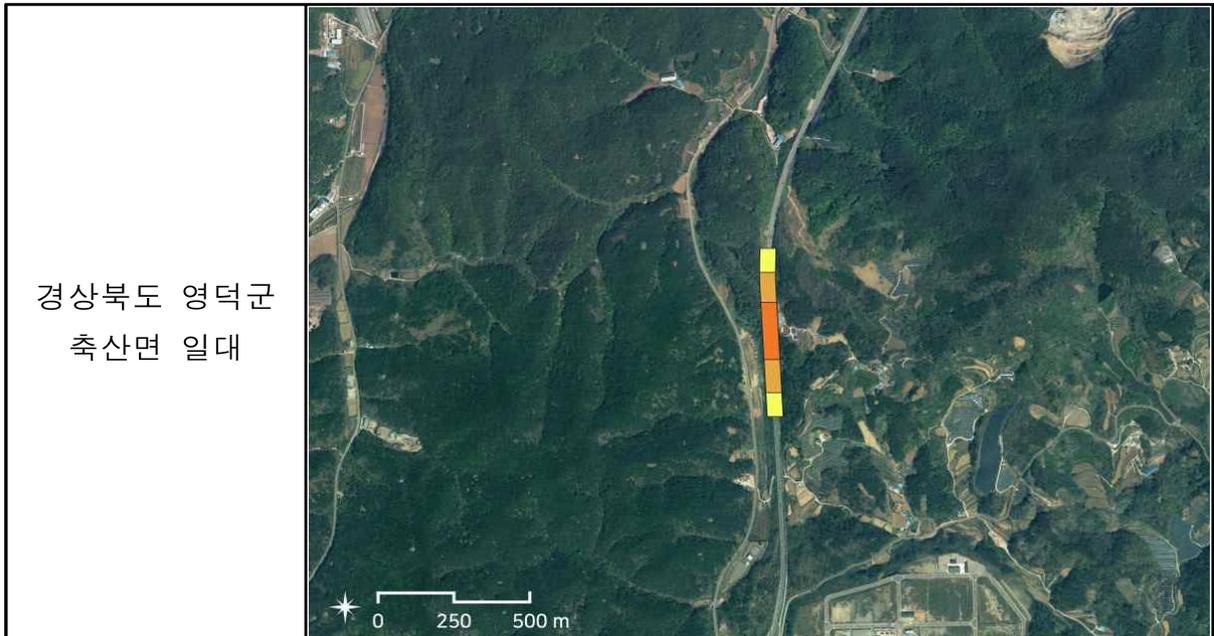
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-21	국도	31	0.7	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-22	국도	7	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



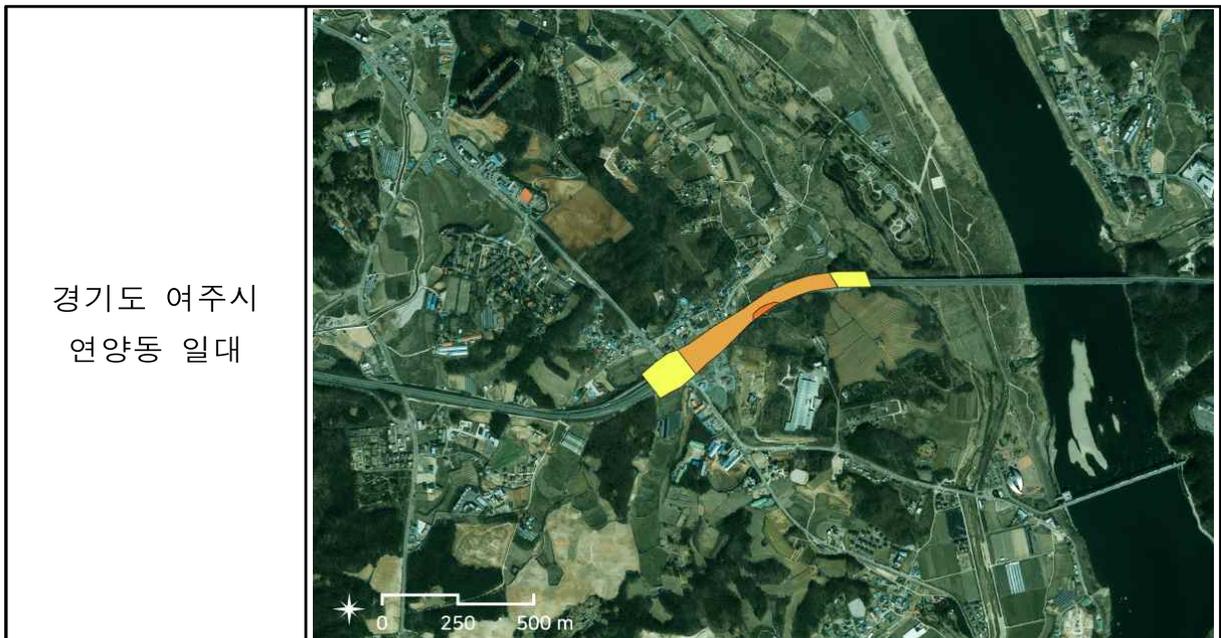
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-23	국도	30	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-24	국도	42	0.8	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



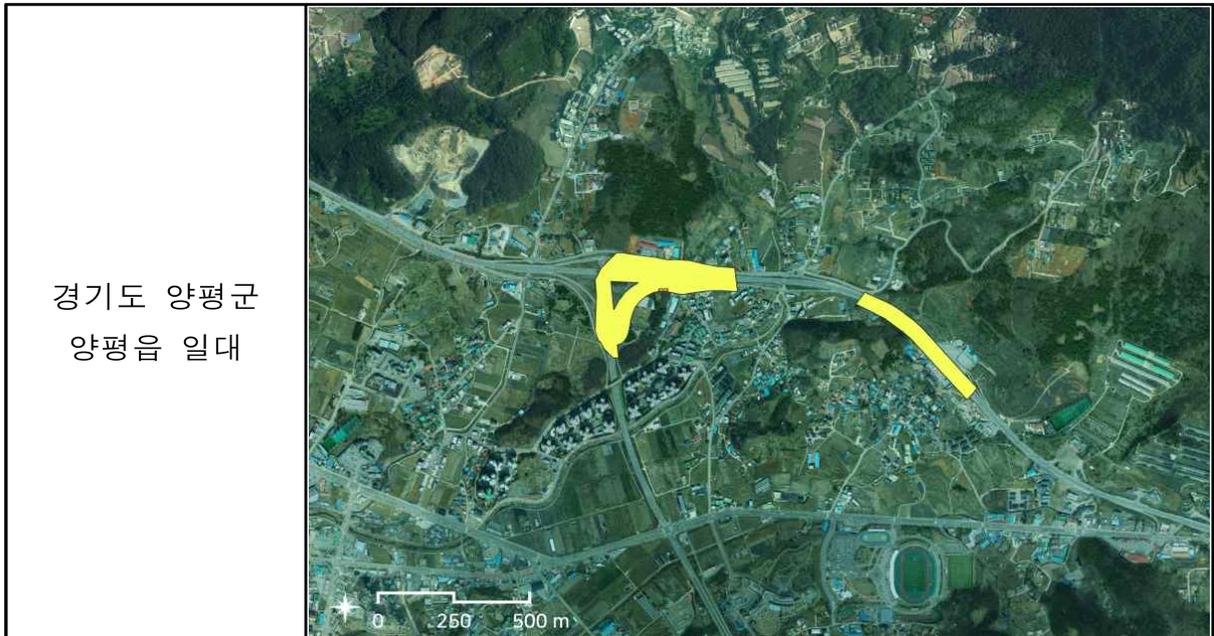
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-25	시도	대신길	0.7	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-26	국도	6	1.2	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



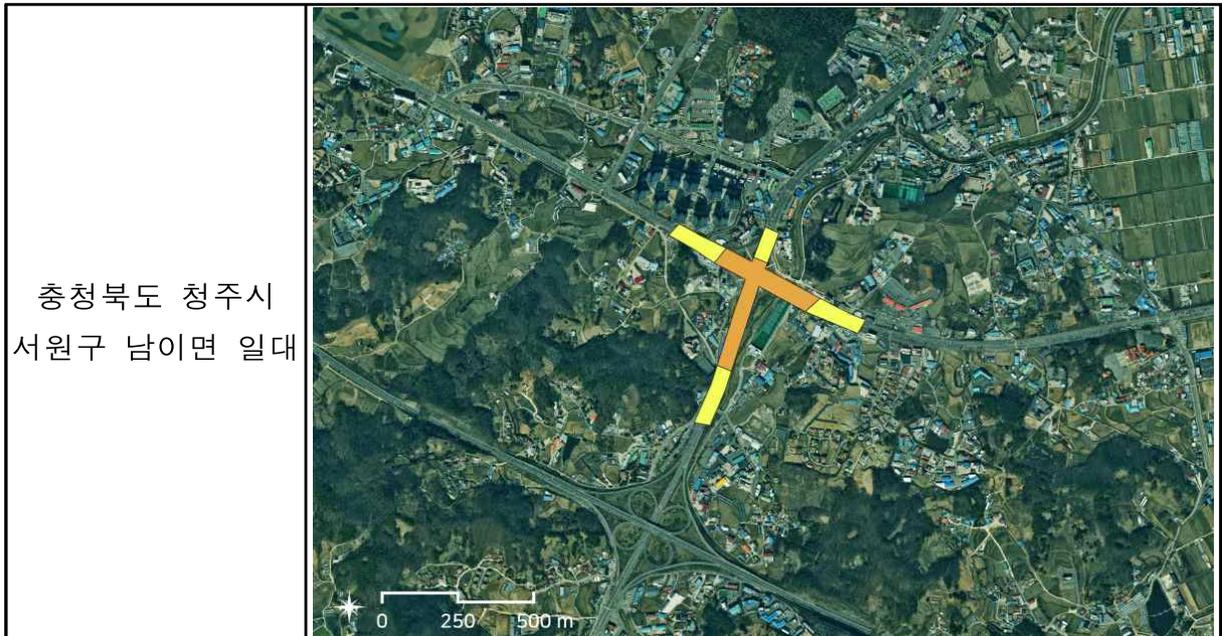
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-27	국도	39	1.1	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-28	국도, 지방도	17, 96	1.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-29	시도	산업단지7로	1.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-30	국도	6	0.6	시가지, 산림지

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



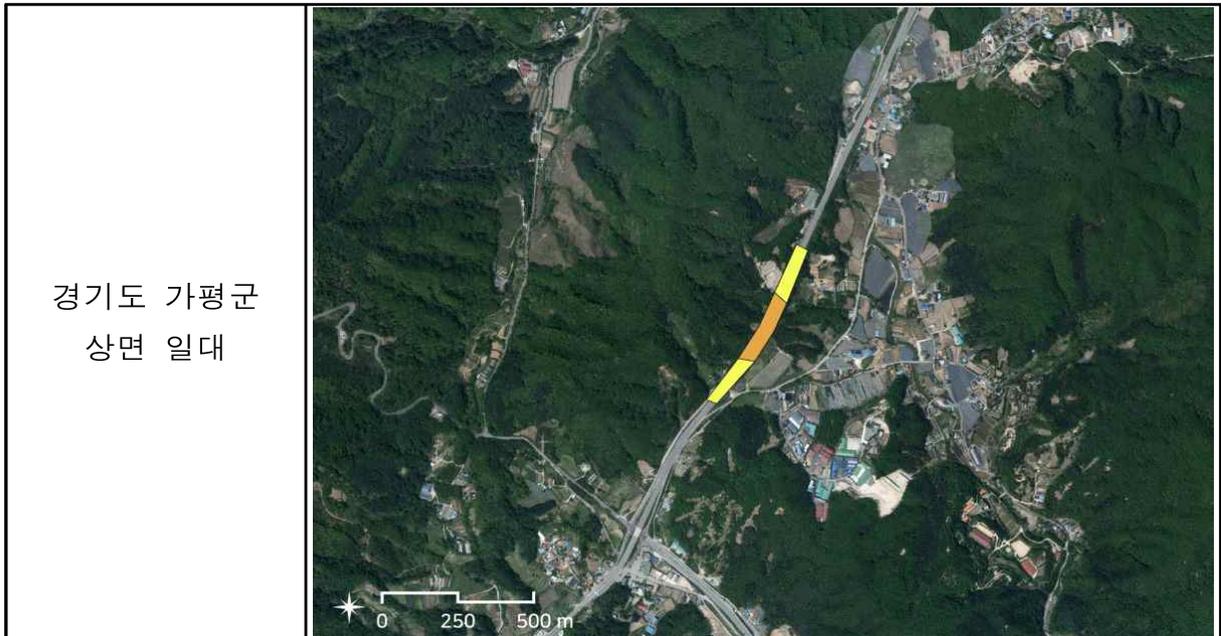
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-31	국도	33	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-32	국도	37	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



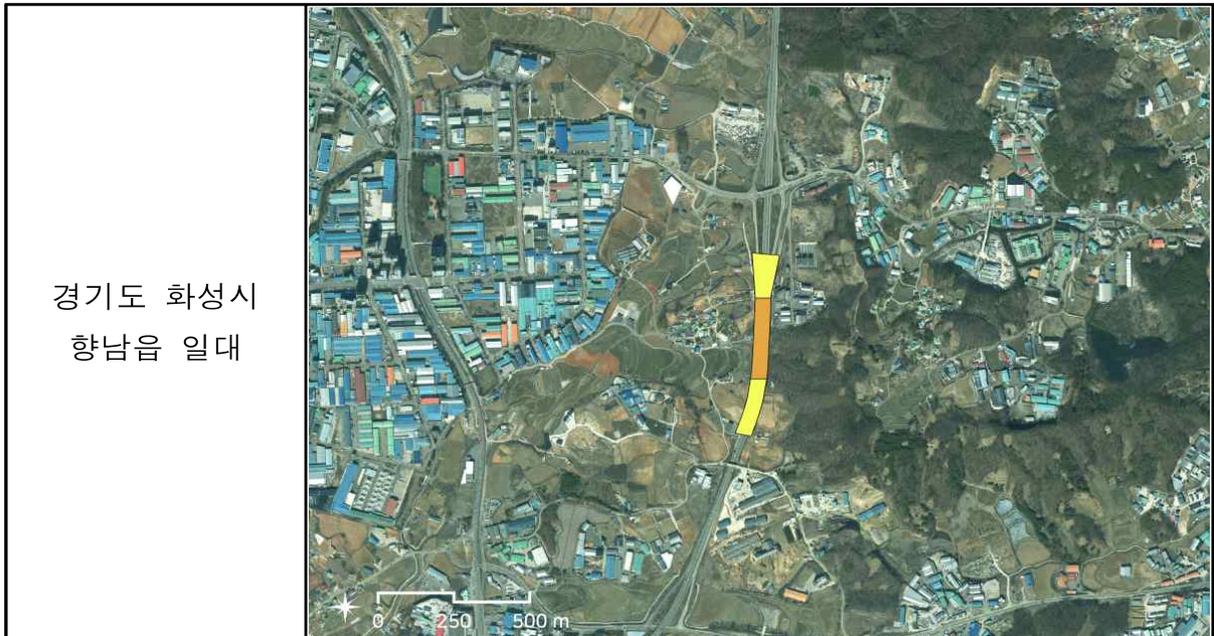
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-33	국도	5	1.0	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



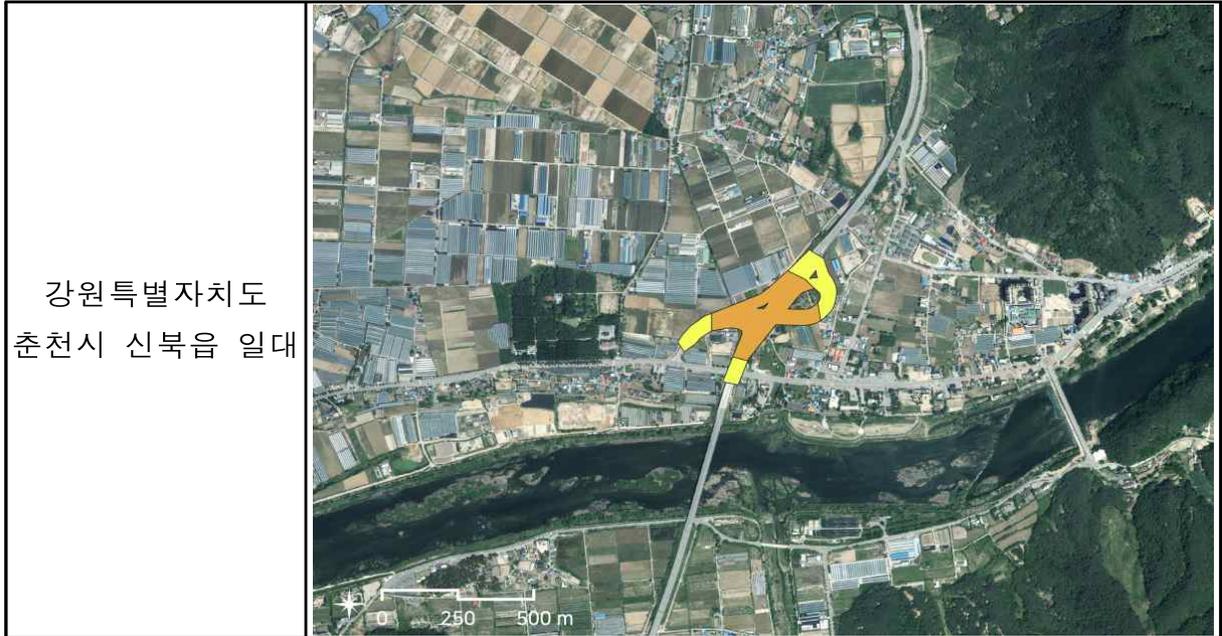
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-34	국도	82	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-35	국도	46	1.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



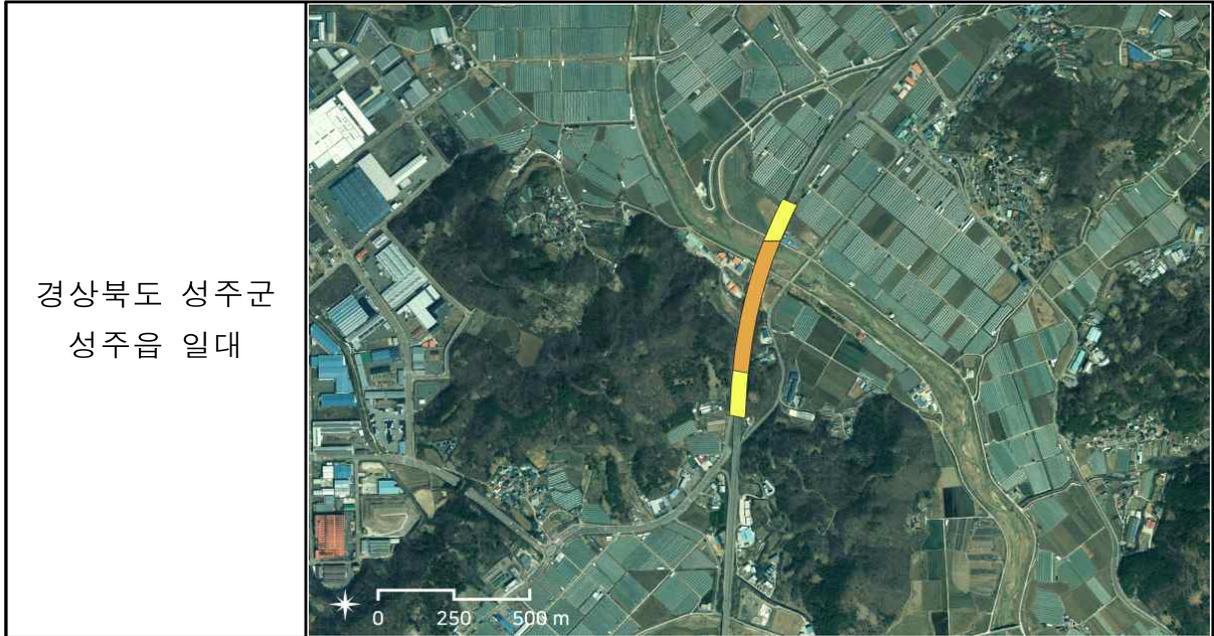
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-36	국도	17	0.7	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-37	국도	33	0.7	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



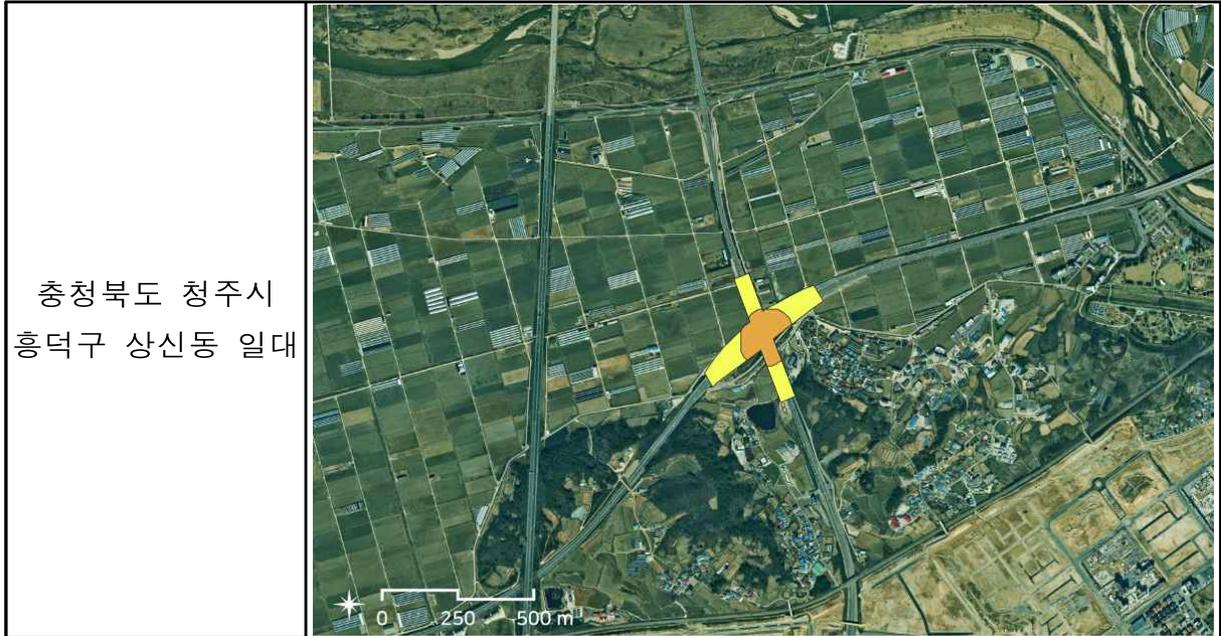
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-38	국도	39	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



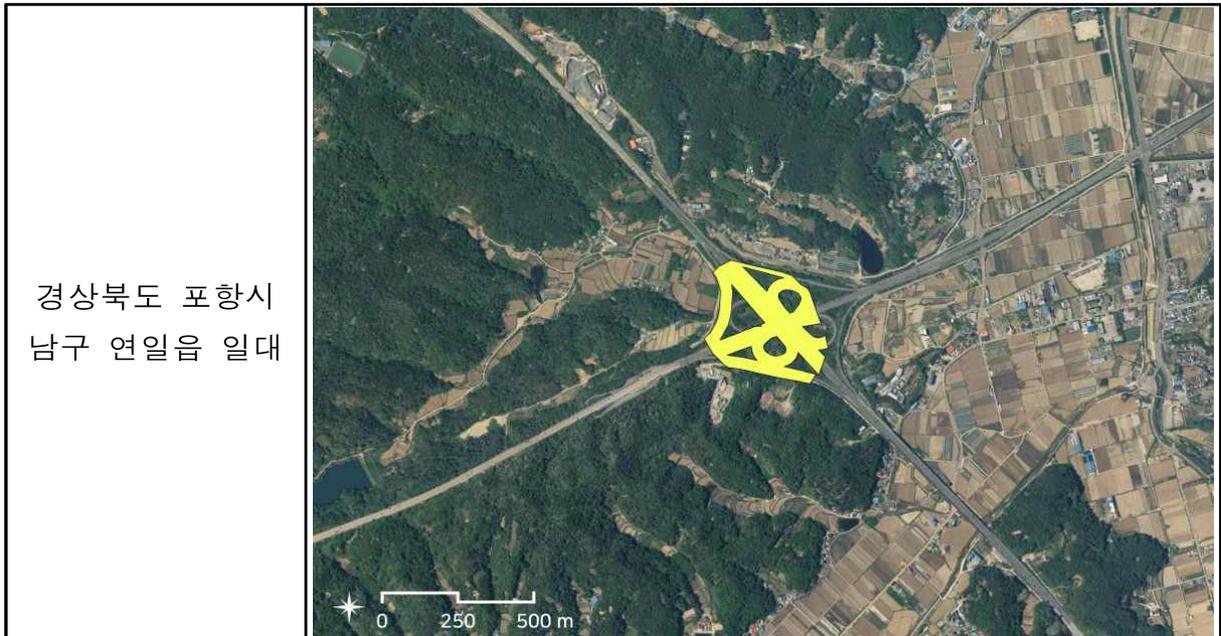
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-39	국도, 시도	17, 엘지로	0.9	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



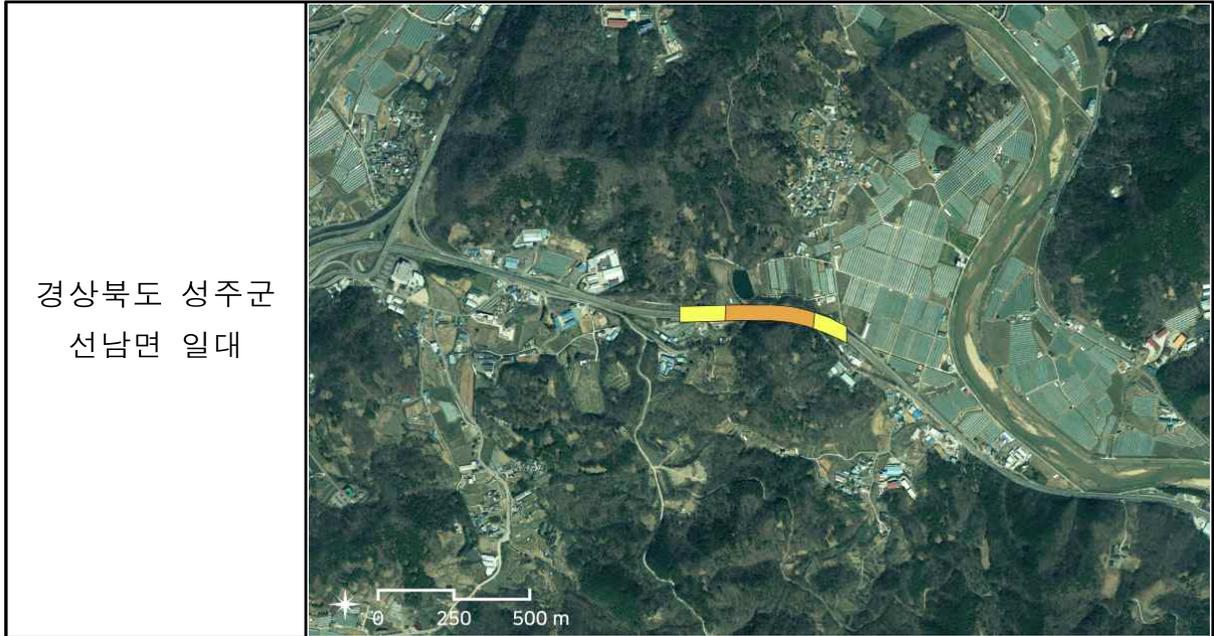
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-40	국도	31	1.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-41	국도	30	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



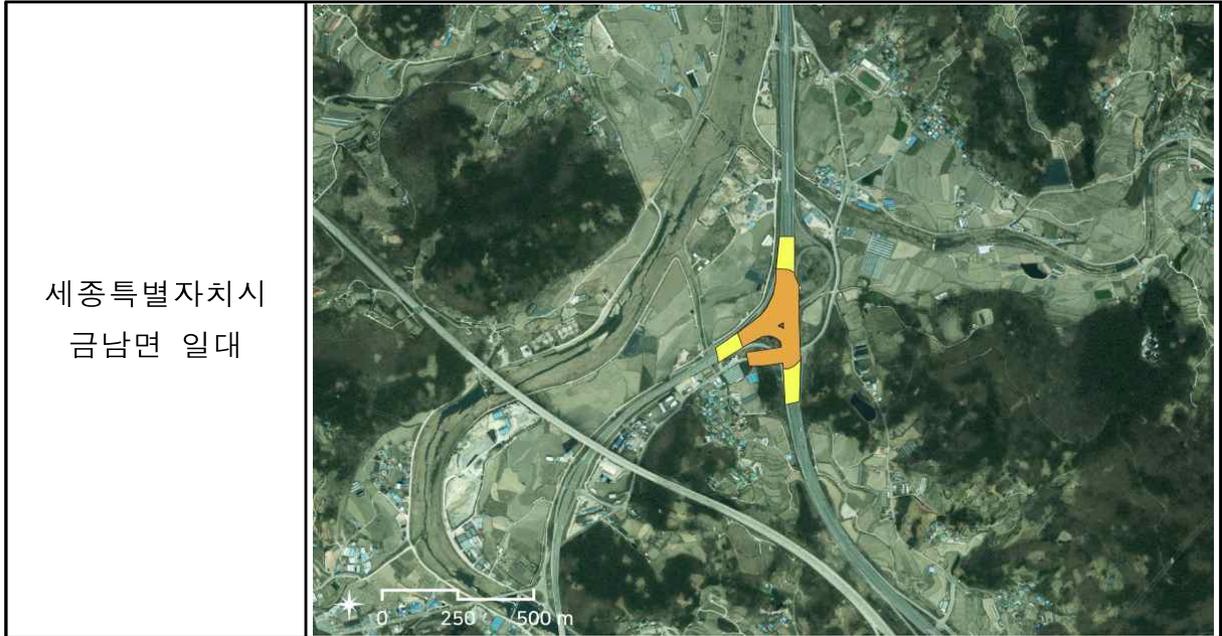
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-42	국도	38	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-43	국도	1	1.0	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



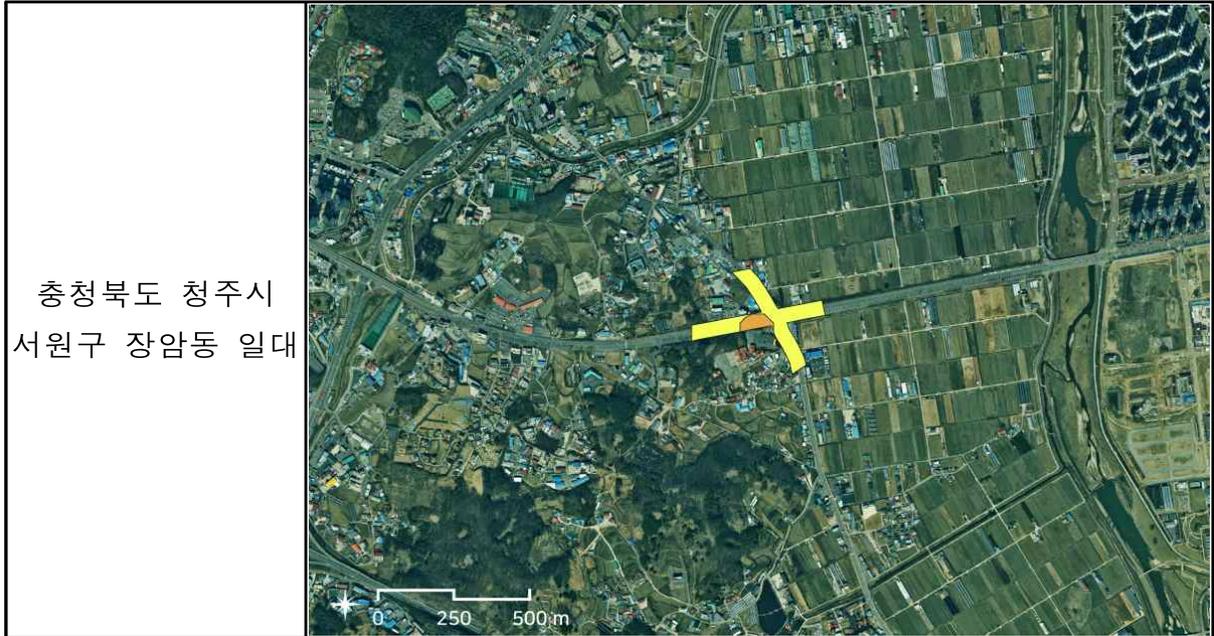
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-44	국도	7	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-45	시도	2순환로, 가장로	0.8	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-46	국도	39	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-47	시도	가로수로	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



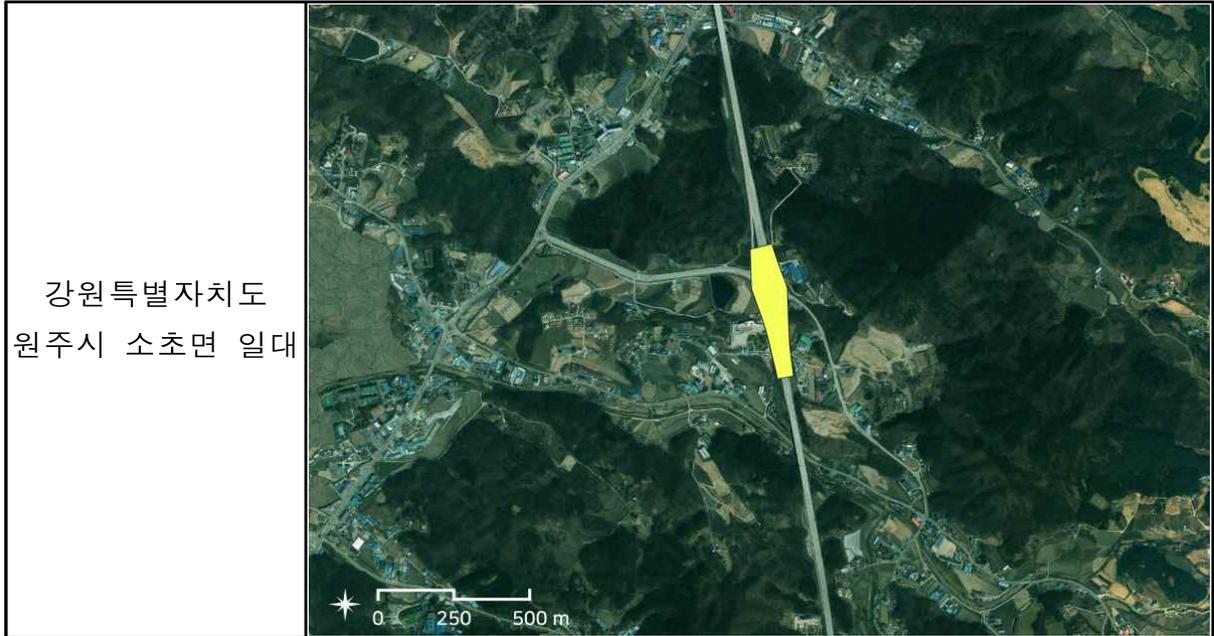
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-48	국도	6	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-49	국도	5	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



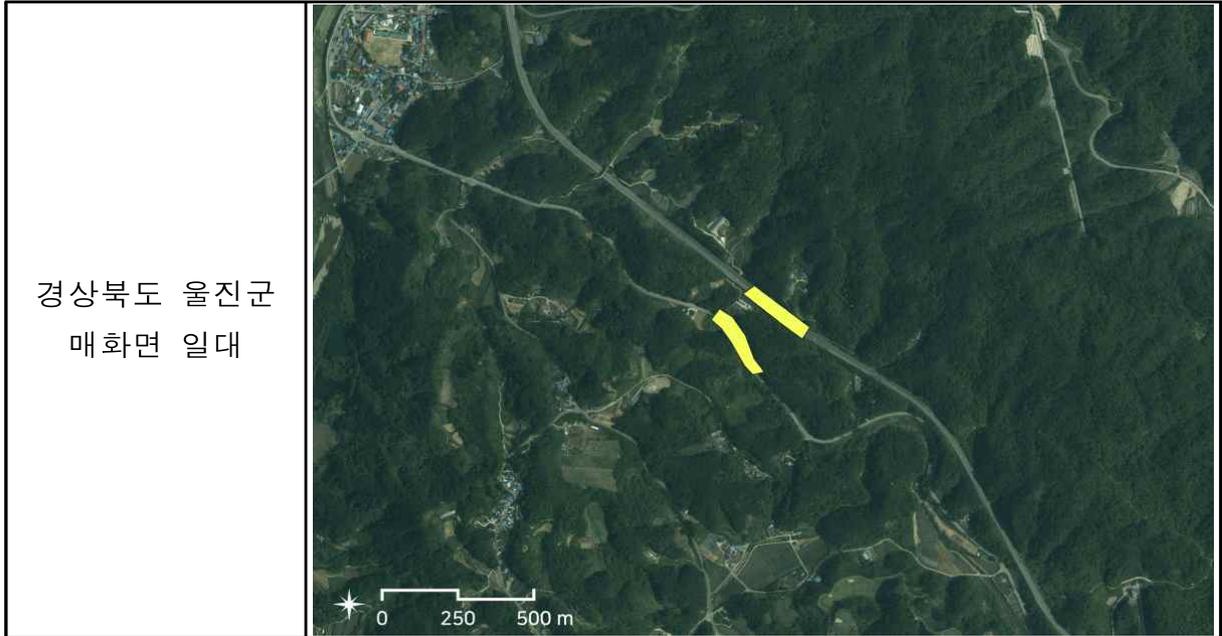
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-50	국도	17	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



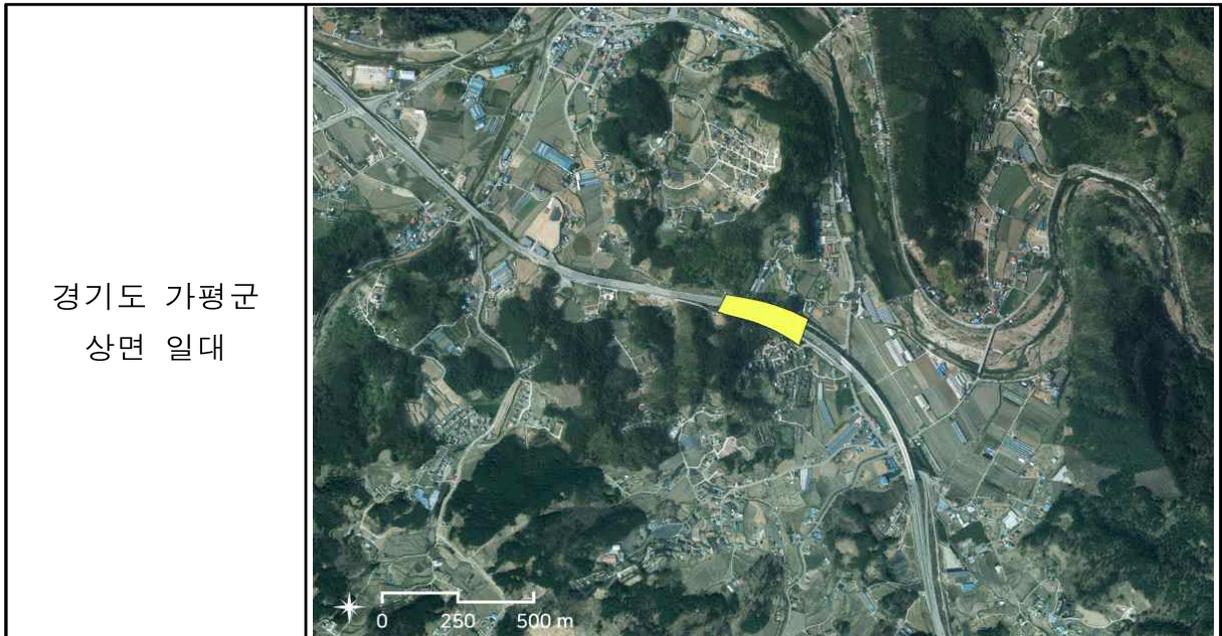
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-51	국도, 군도	7, 매화로	0.5	산림지

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



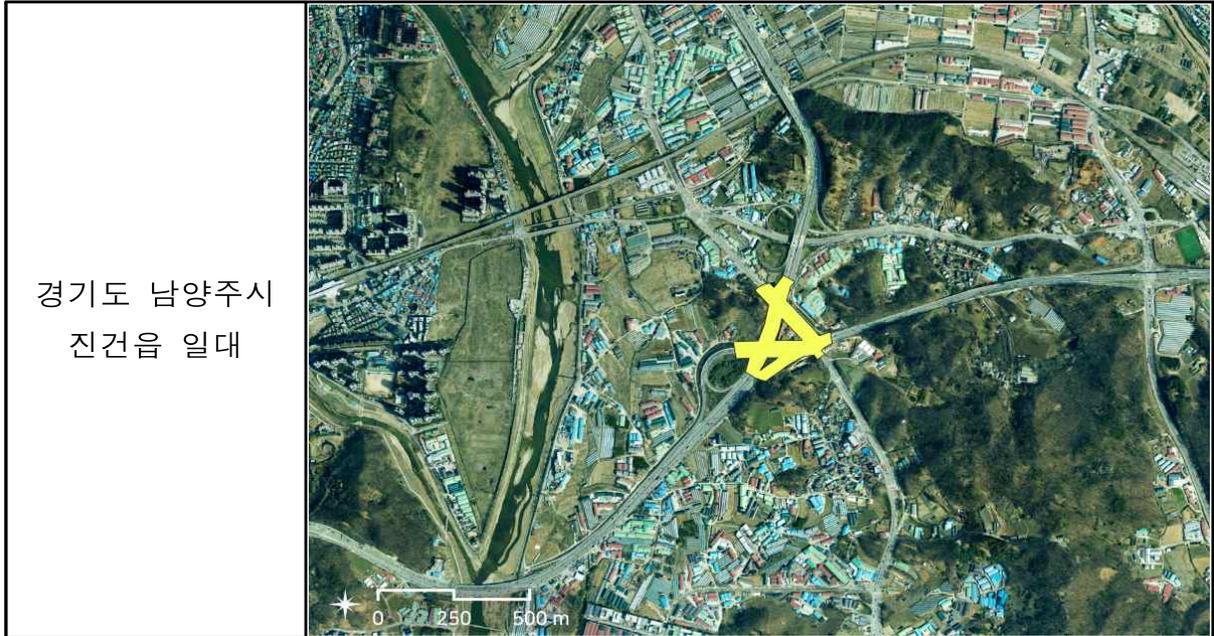
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-52	국도	37	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-53	국도	46	1.0	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



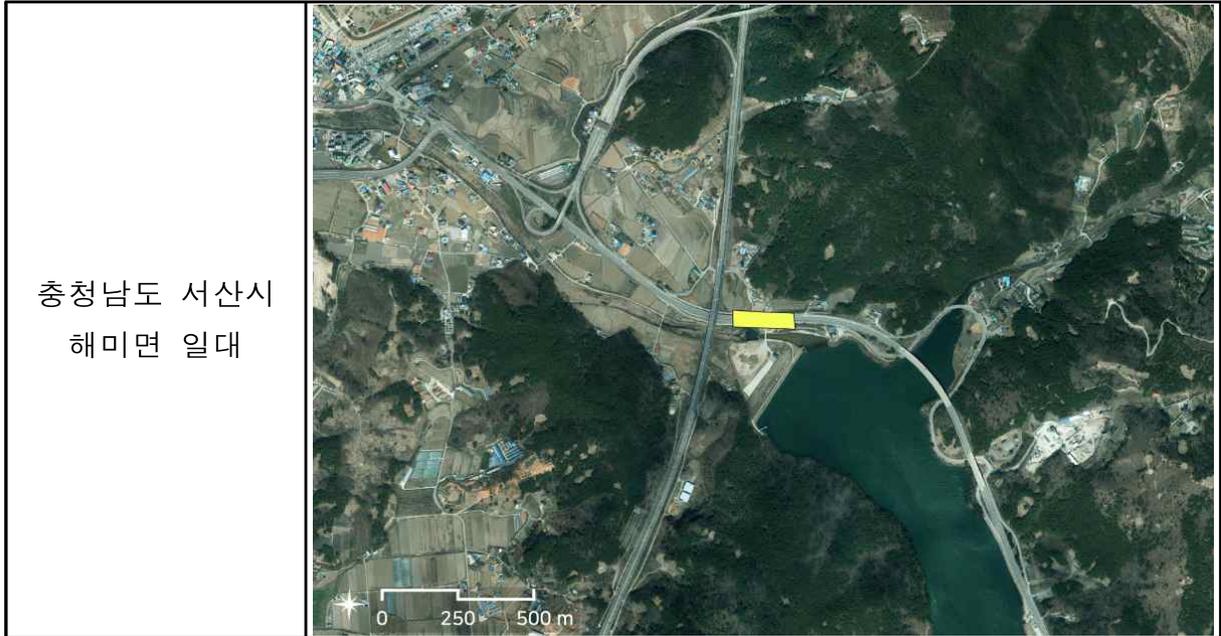
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-54	국도	37	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



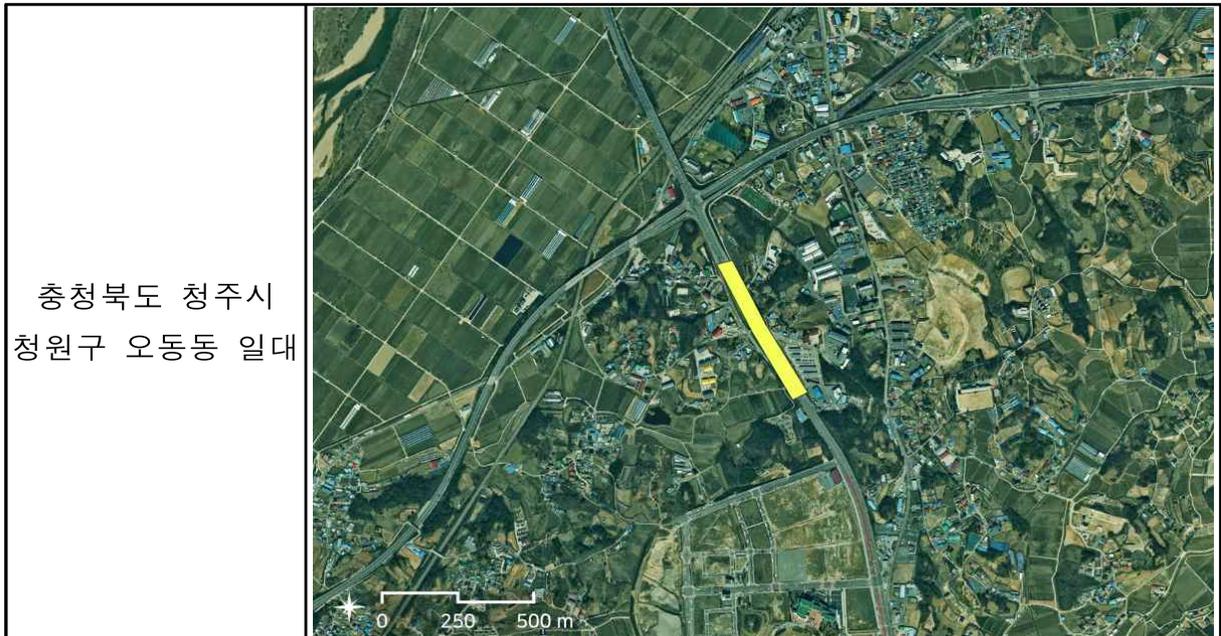
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-55	국도	45	0.2	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-56	시도	공항로	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-57	시도	세종로	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-58	국도	37	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



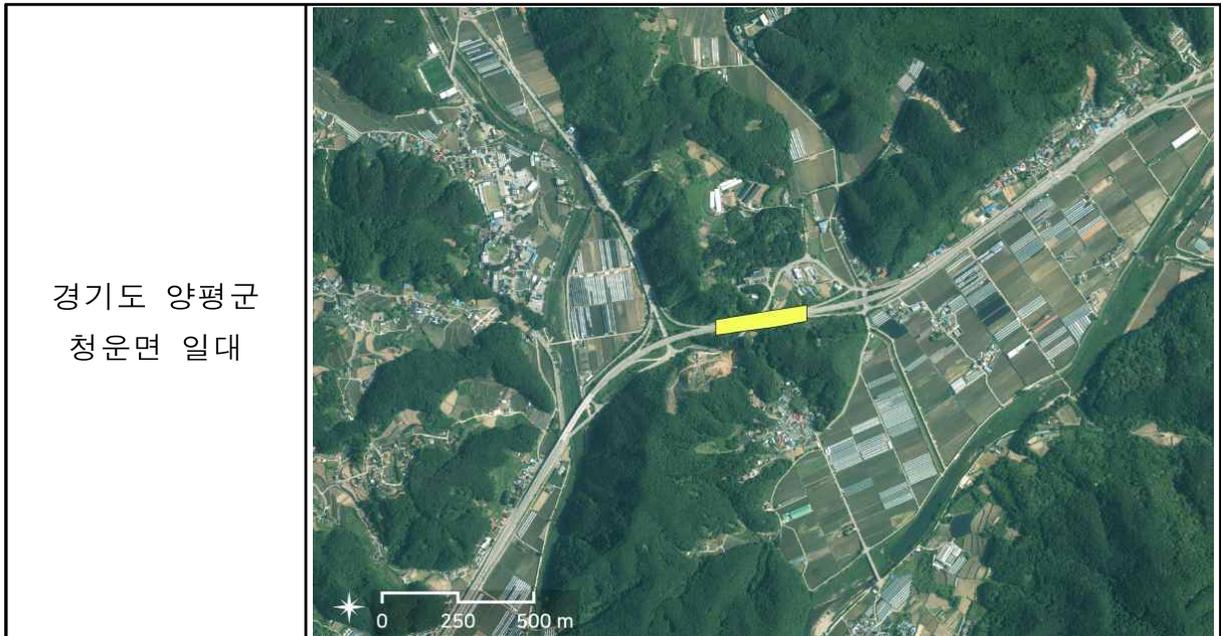
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-59	국도	44	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



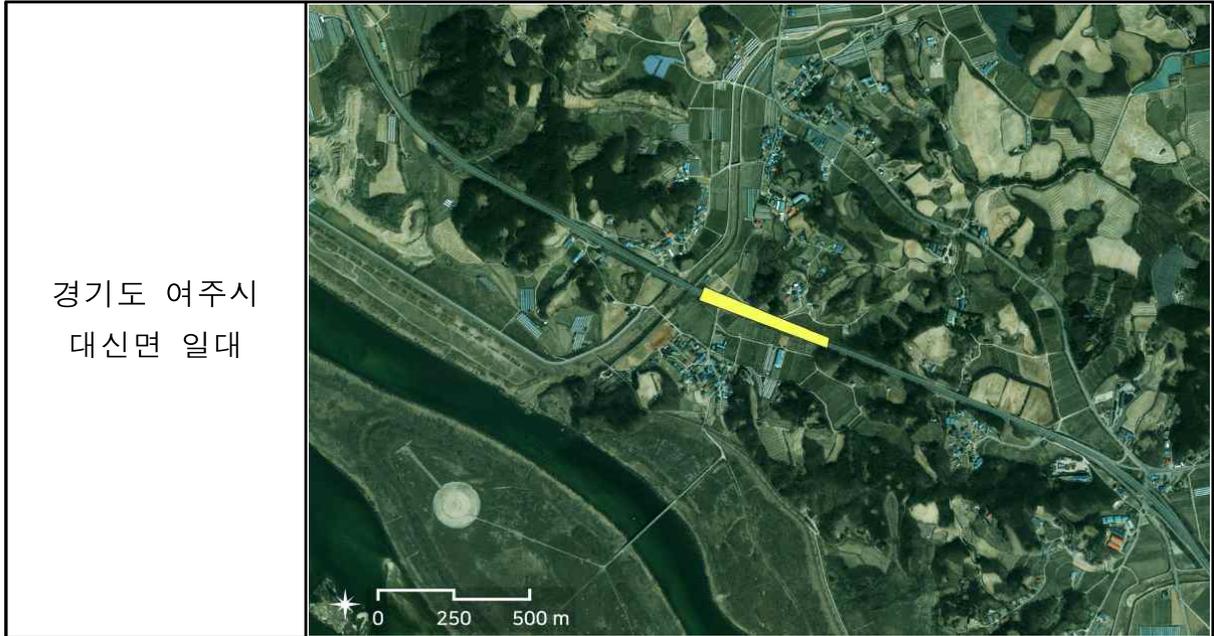
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-60	국도	6	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-61	국도	37	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-62	국도	19	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-63	국도	42	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



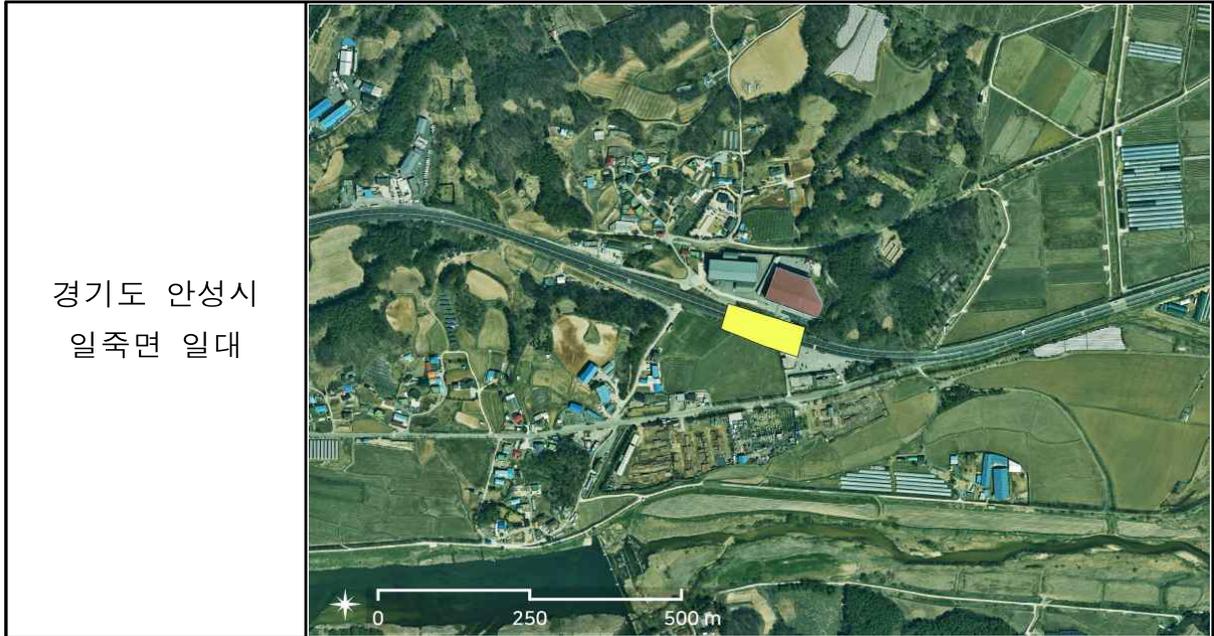
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-64	국도	77	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-65	국도	38	0.1	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-66	지방도	508	0.2	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-67	국도	36	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-68	시도	남석로	0.2	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



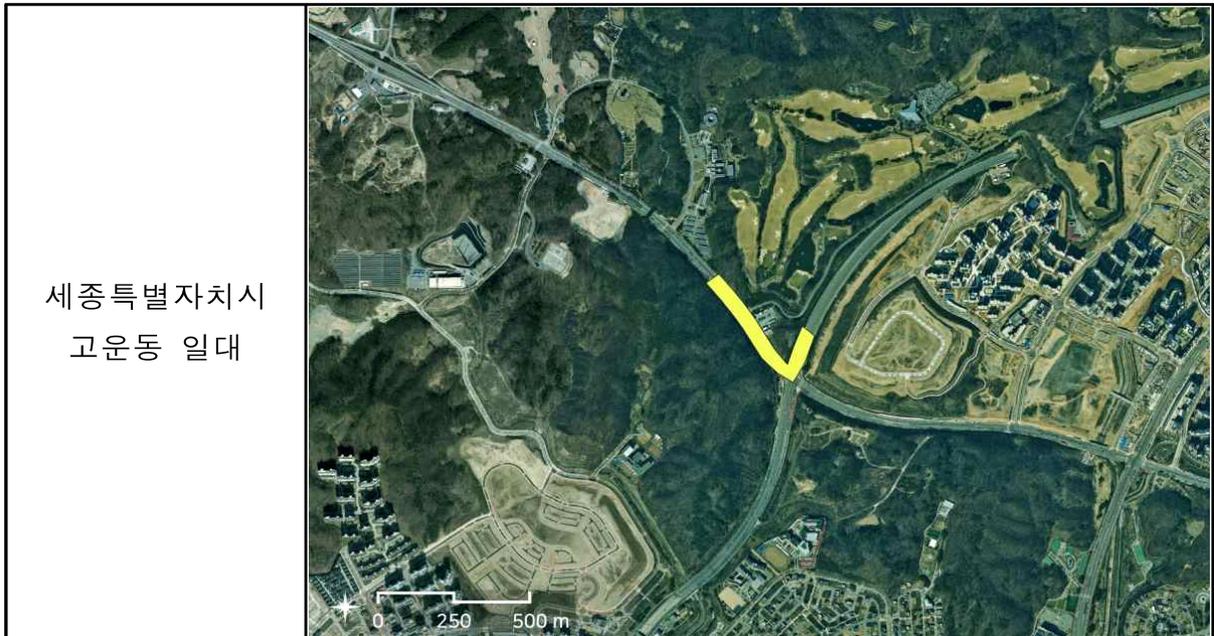
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-69	국도	7	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-70	국도	43	0.6	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-71	국도	43	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-72	국도	47	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



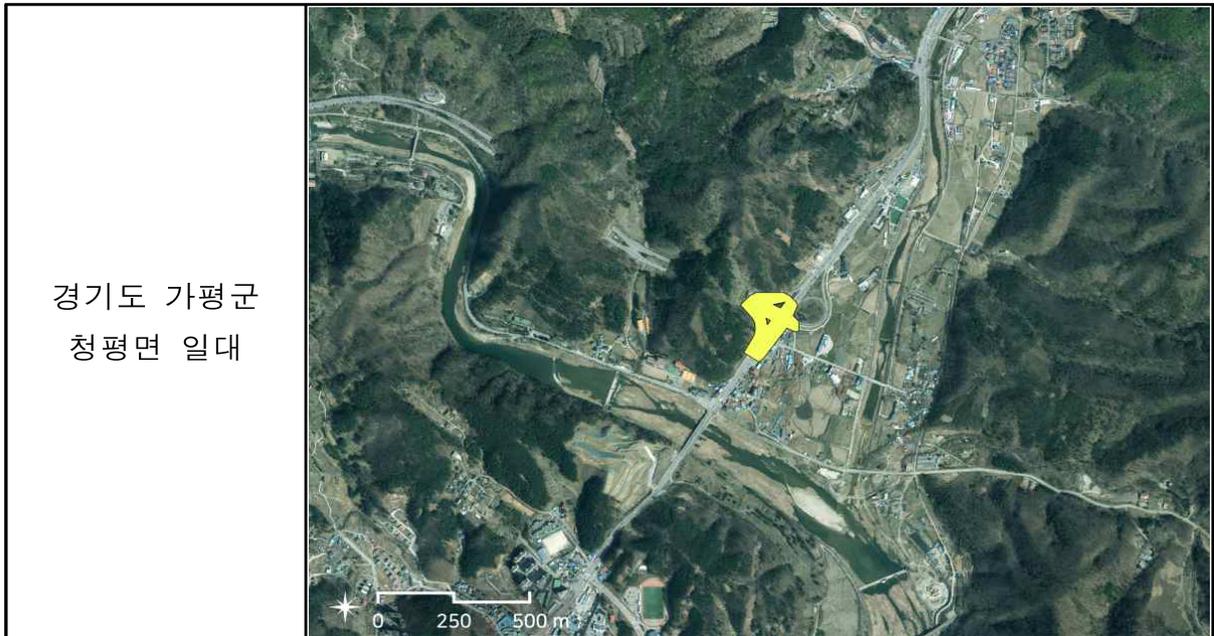
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-73	국도	46	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-74	국도	37	1.0	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-75	구도	영종대로	0.2	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



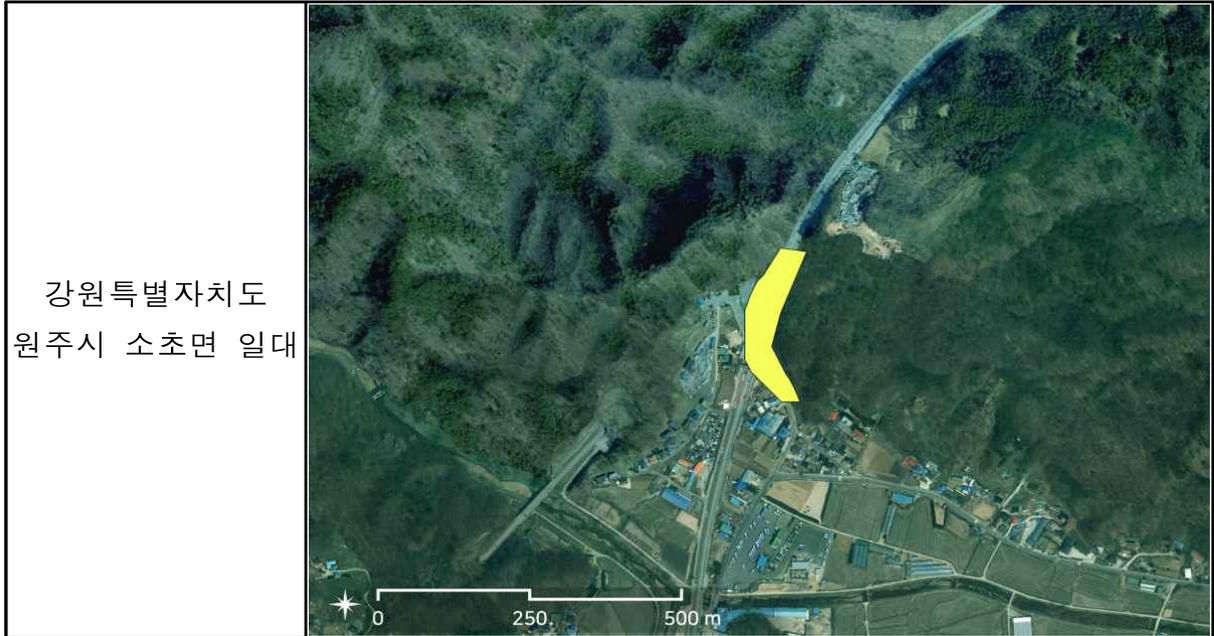
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-76	국도	37	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-77	국도	5	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



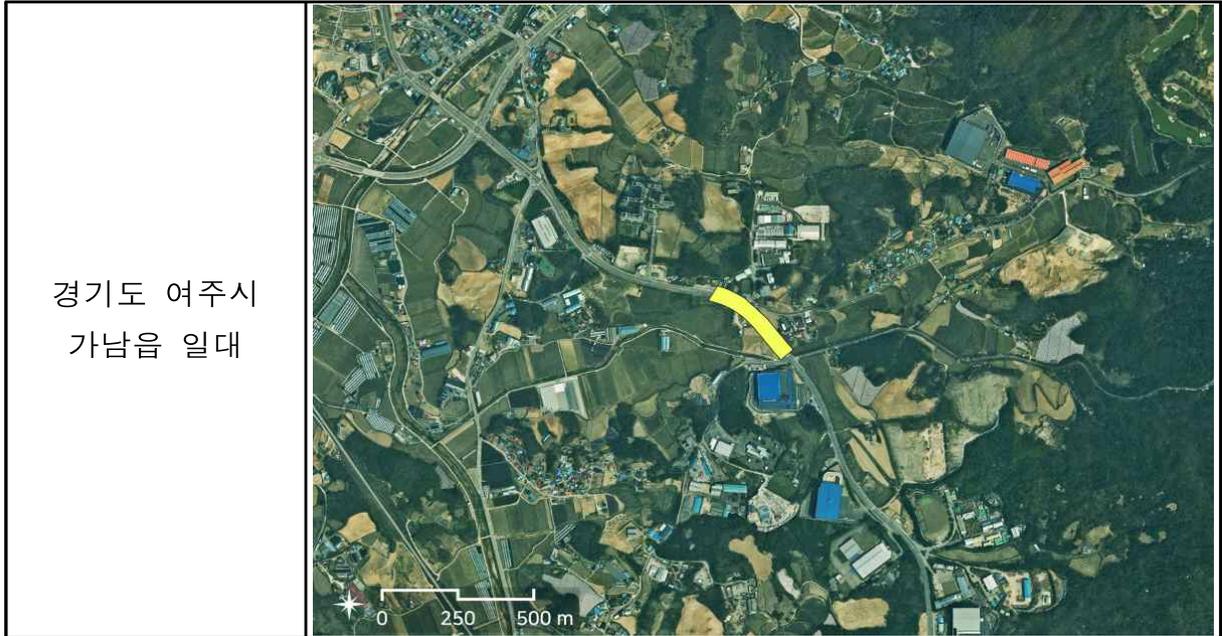
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-78	국도	37	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-79	국도	3	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



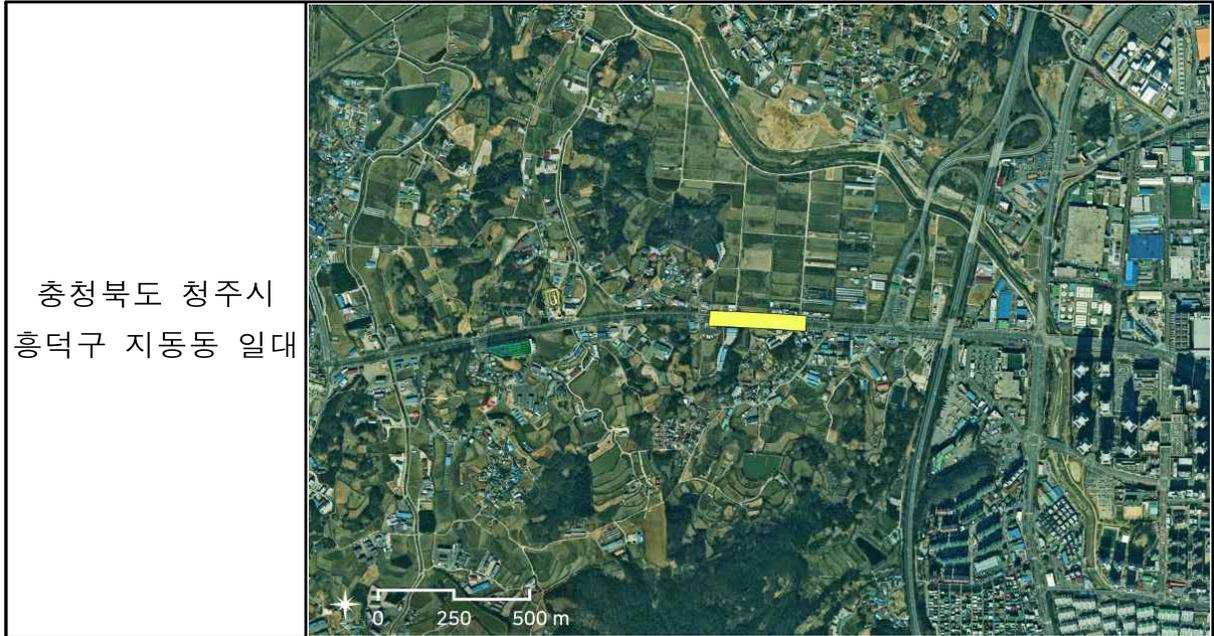
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-80	국도	7	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-81	지방도	696	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-82	국도	7	0.2	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



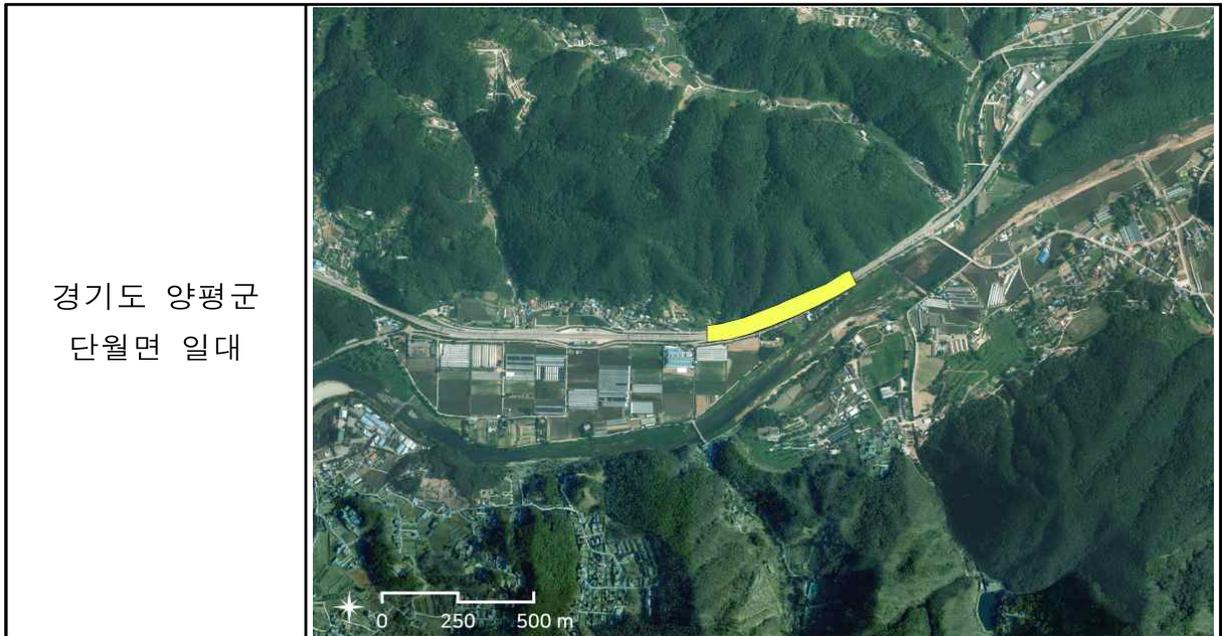
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-83	지방도	913	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



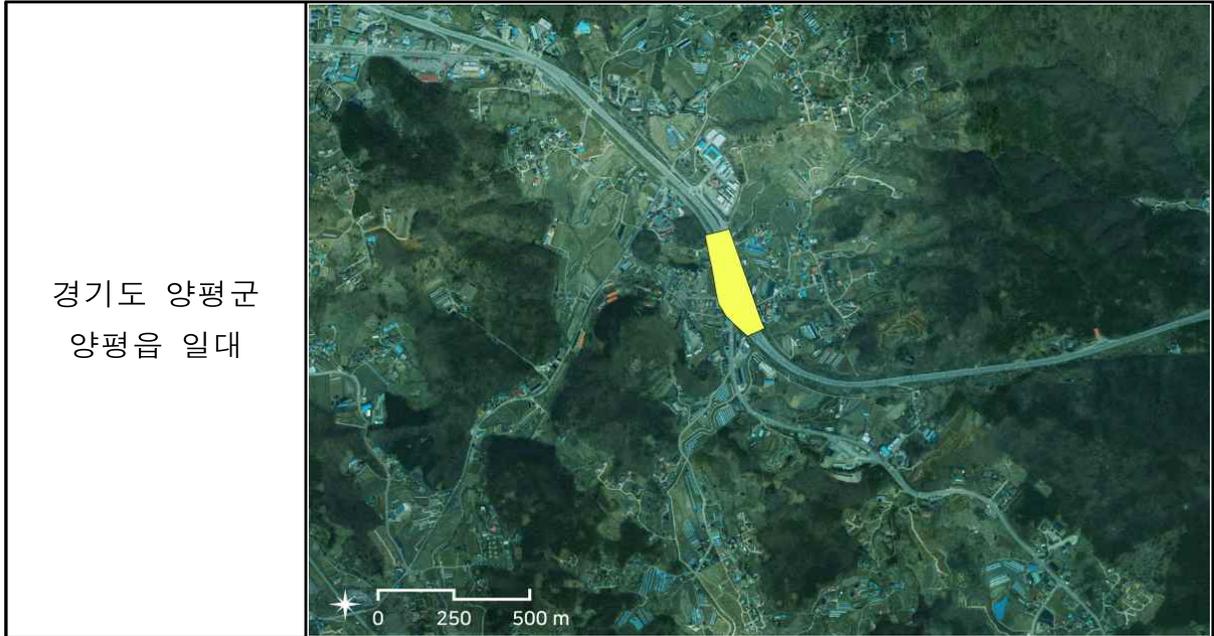
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-84	국도	6	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



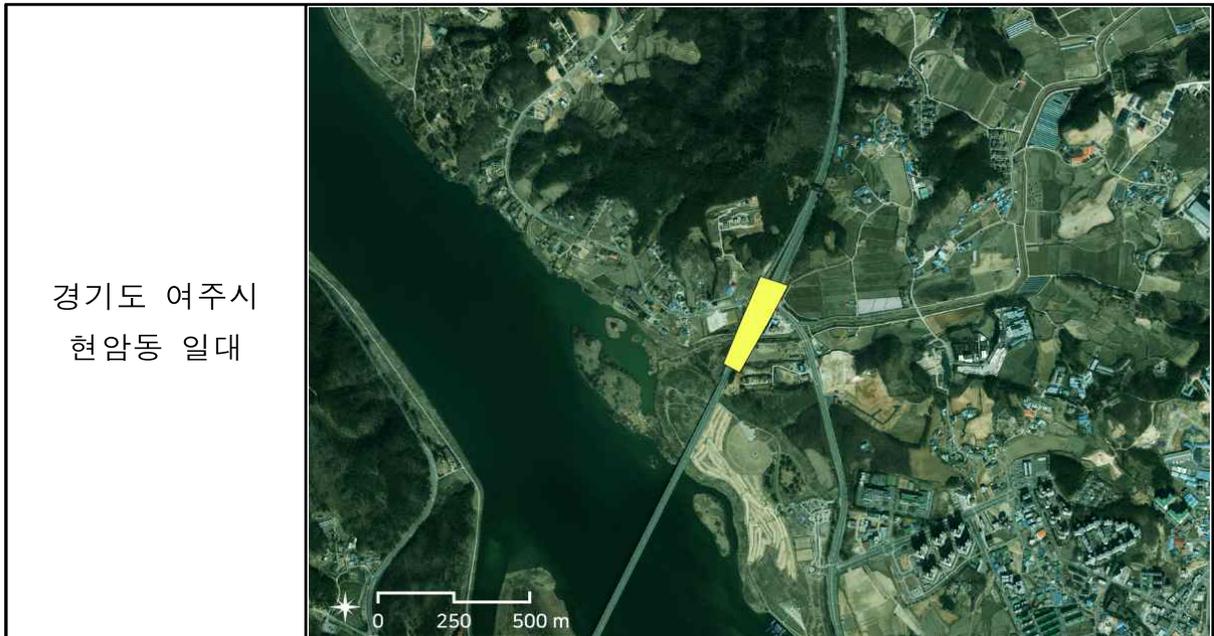
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-85	국도	6	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



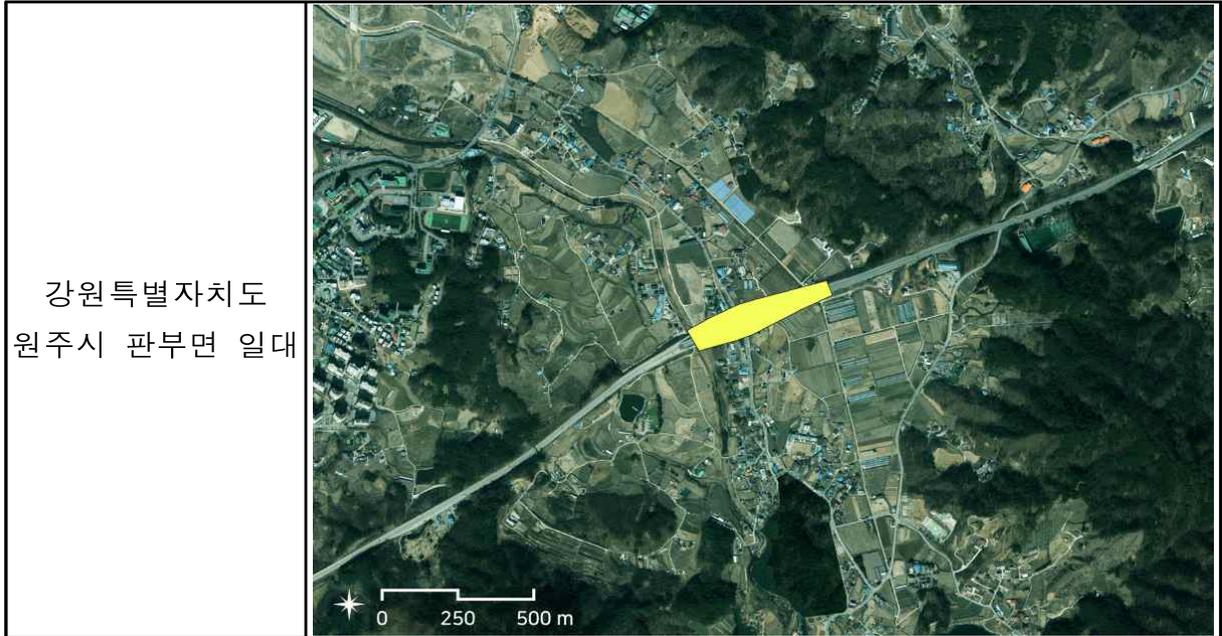
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-86	국도	37	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-87	국도	19	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-88	국도	42	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



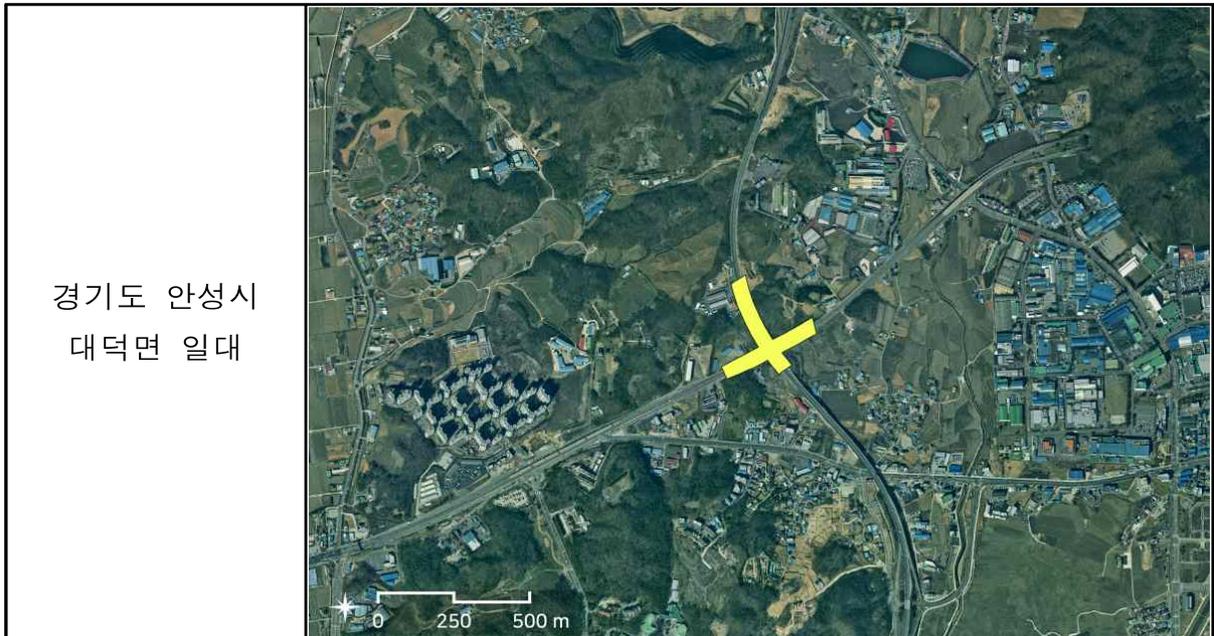
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-89	국도	82	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



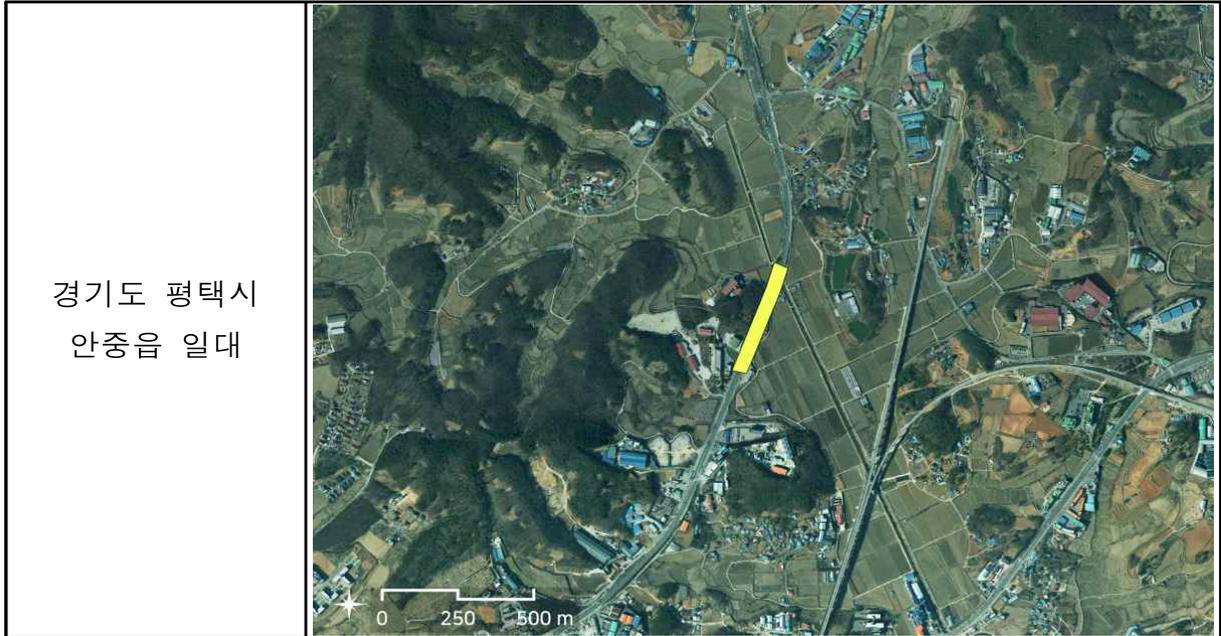
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-90	국도, 지방도	38, 23	0.7	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-91	국도	39	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



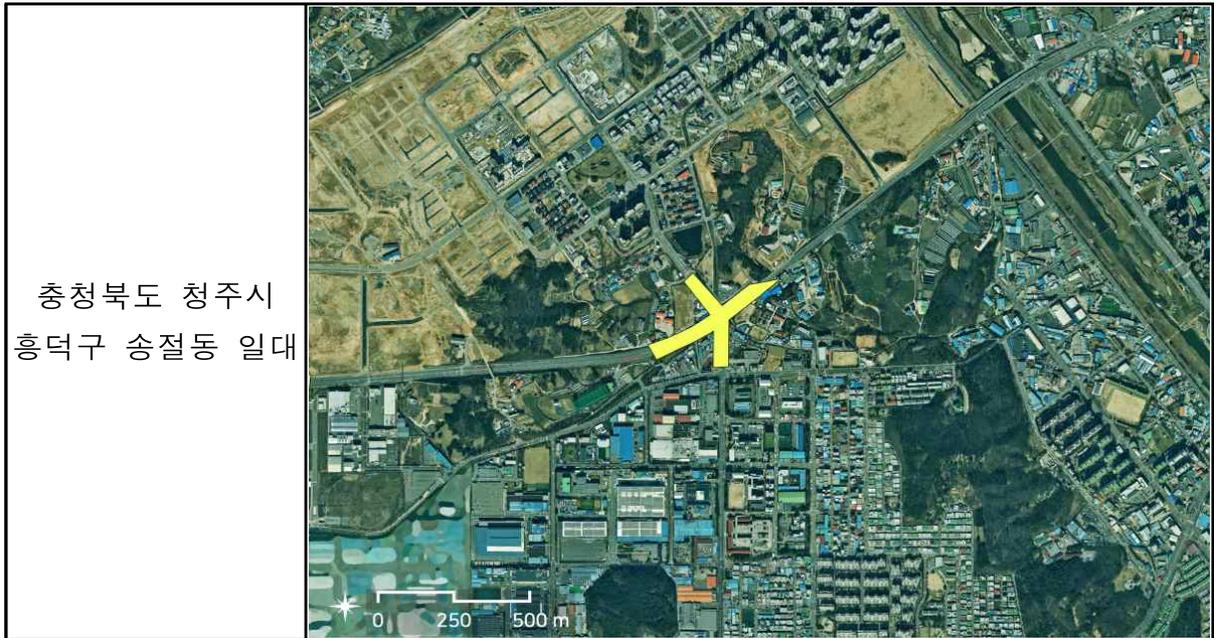
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-92	국도	7	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



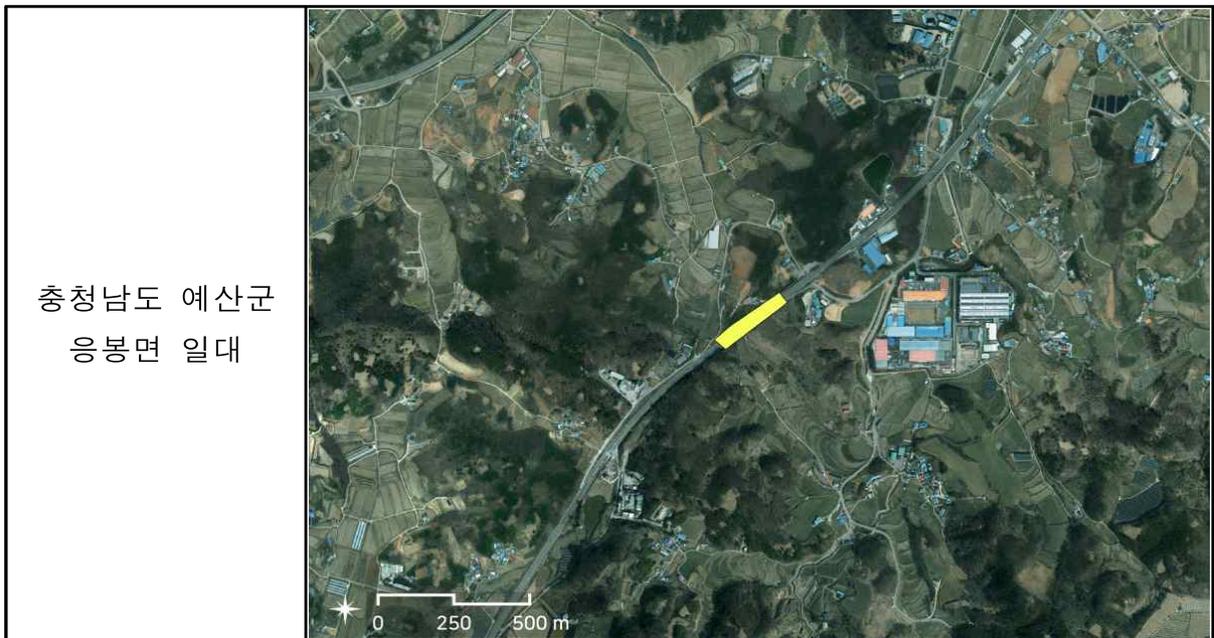
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-93	시도	월명로, 2순환로	0.8	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



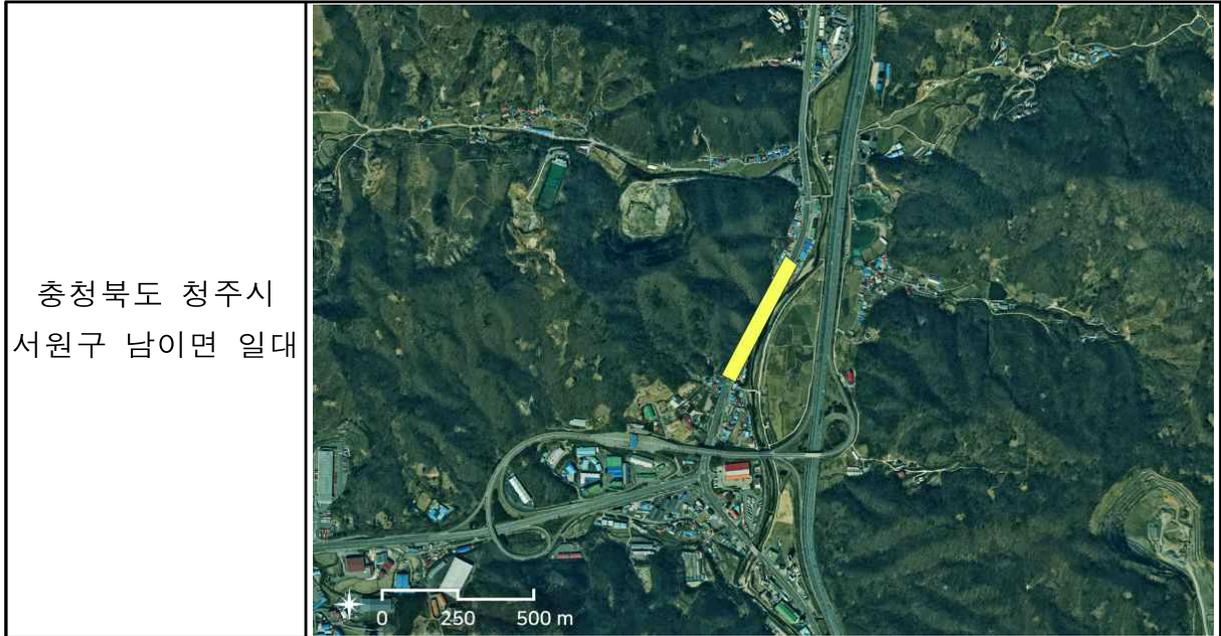
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-94	국도	21	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



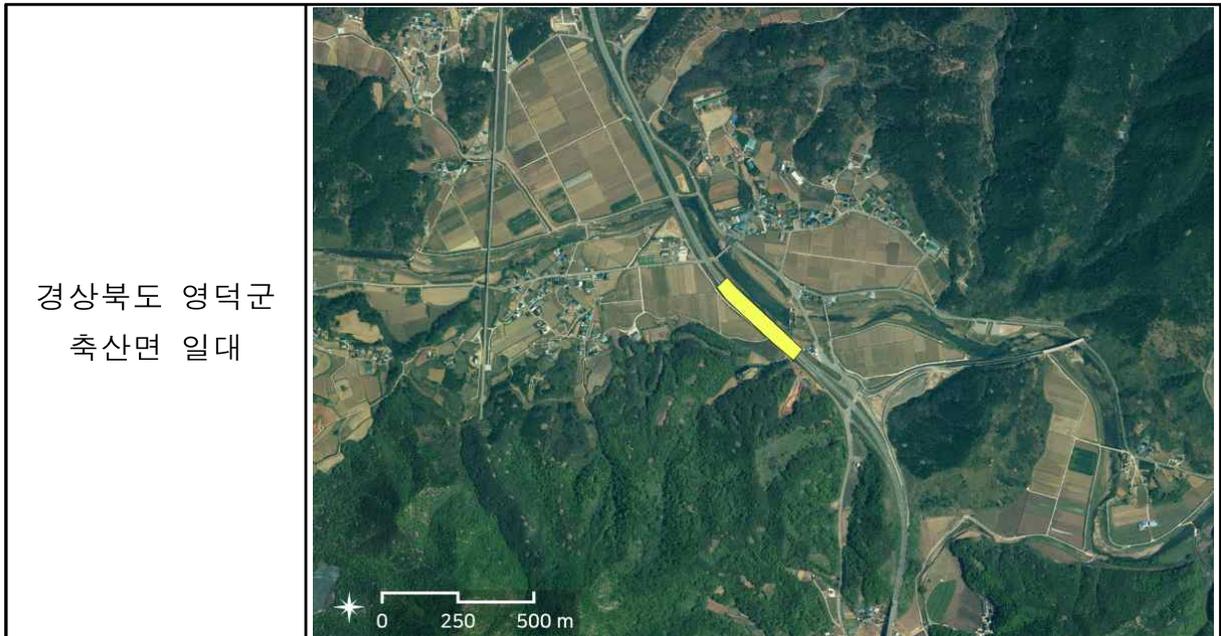
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-95	국도	17	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-96	국도	7	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



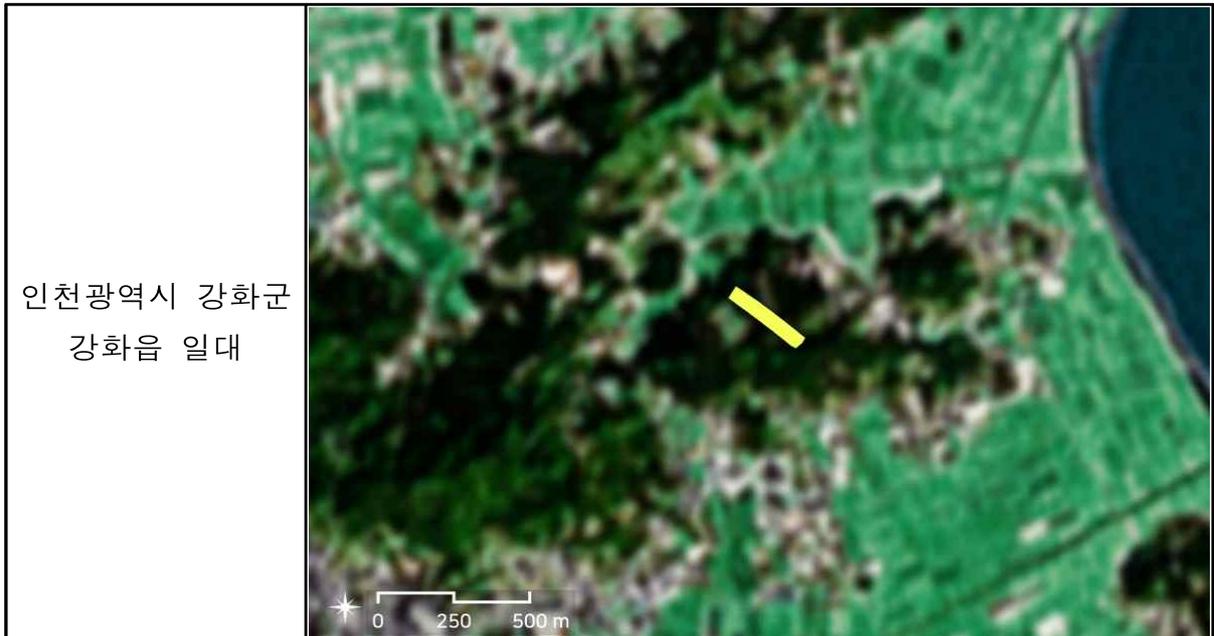
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-97	국도	36	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



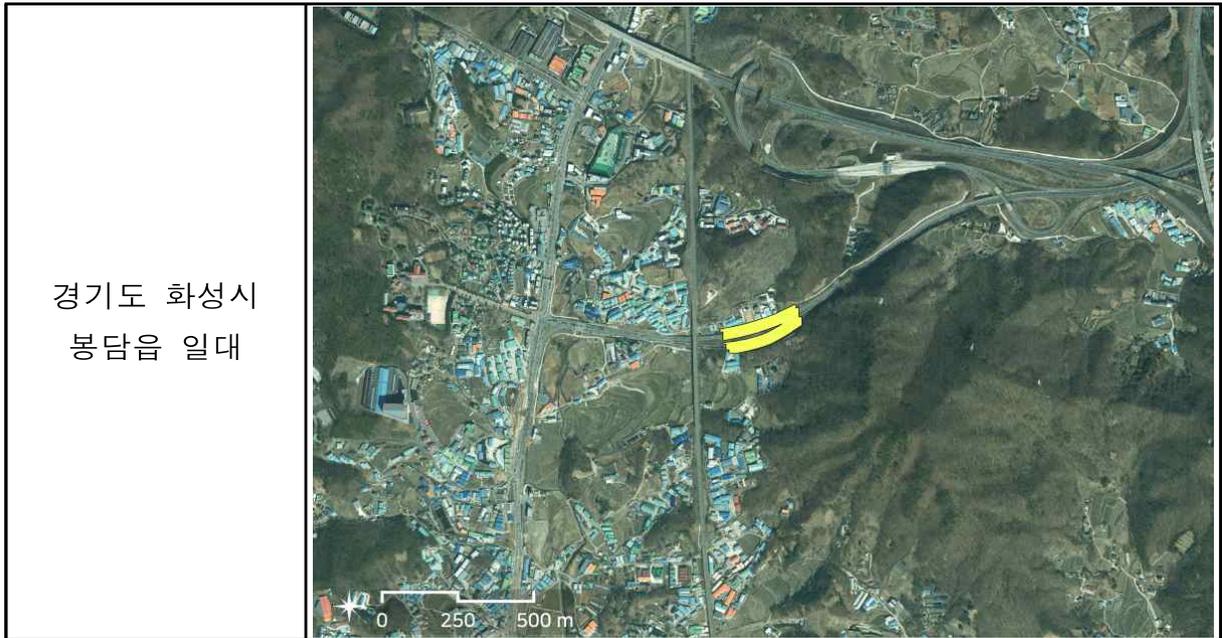
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-98	국도	48	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-99	국도	43	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



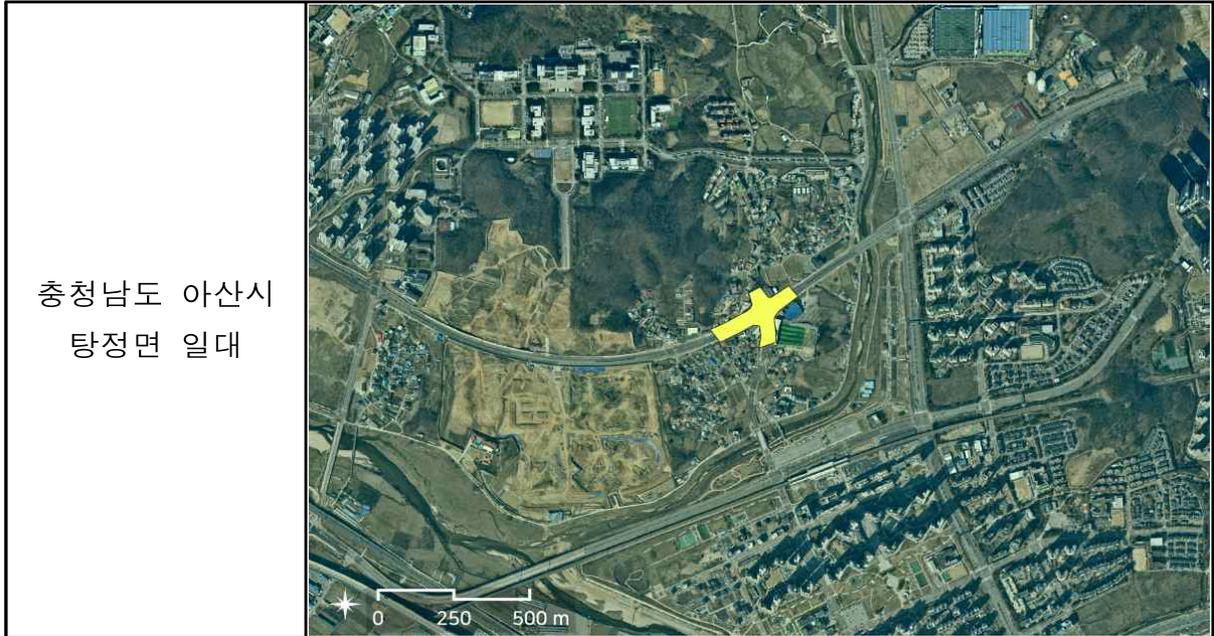
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-100	국도	45	0.3	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



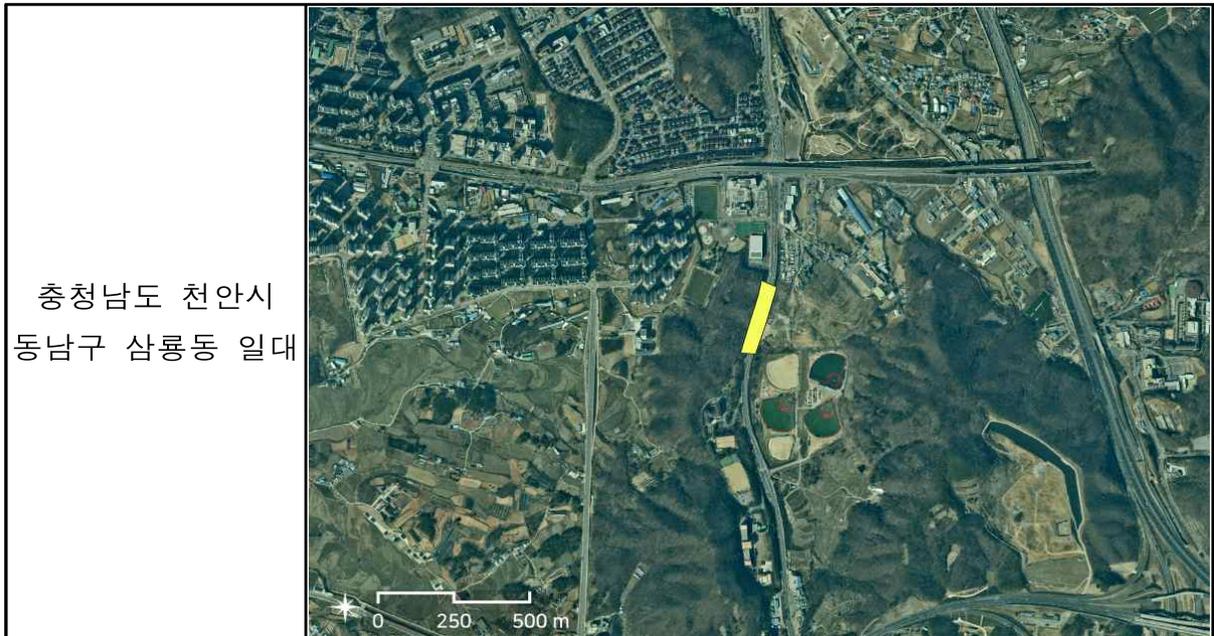
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-101	시도	이순신대로	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-102	국도	1	0.2	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



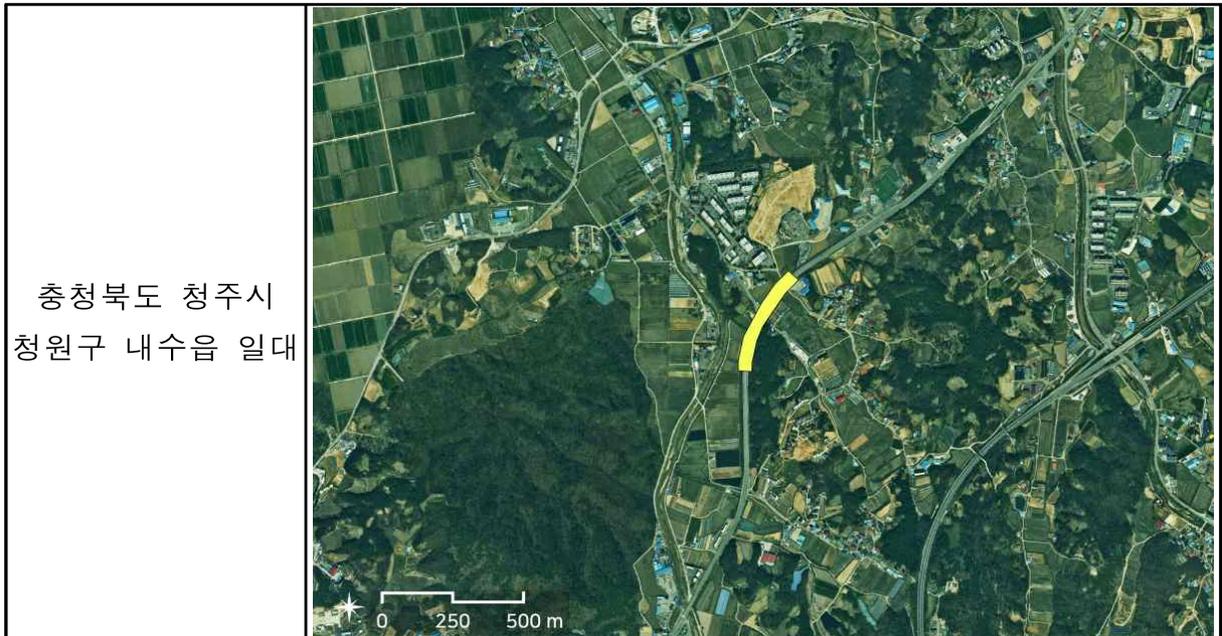
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-103	국도	21	0.2	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



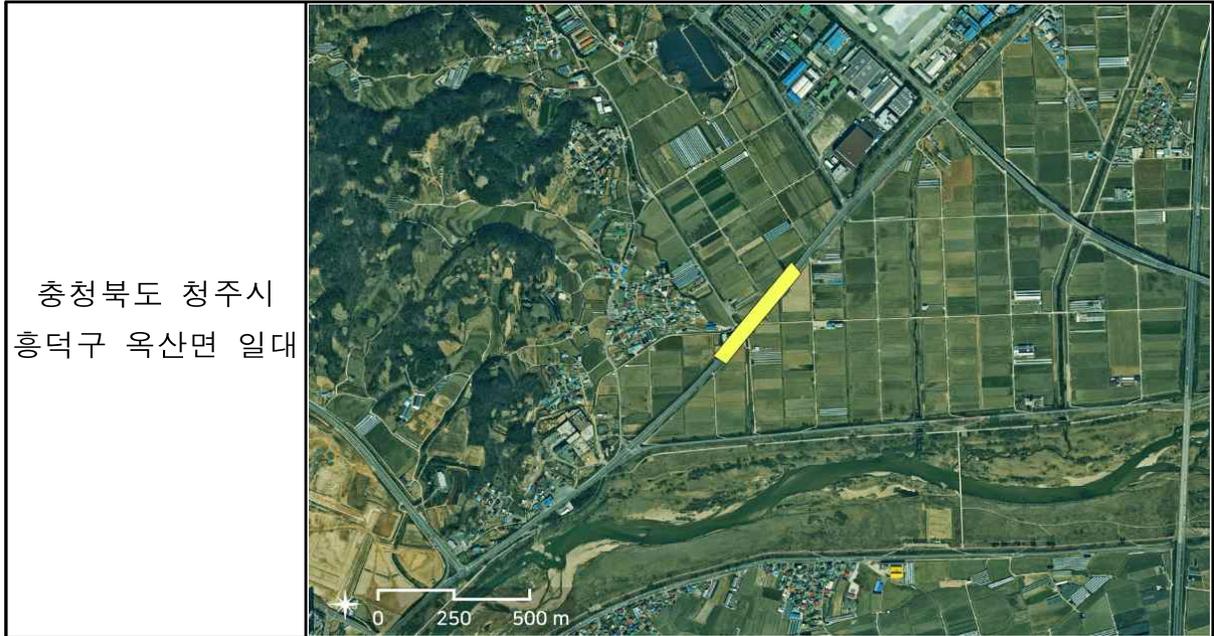
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-104	지방도	592	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



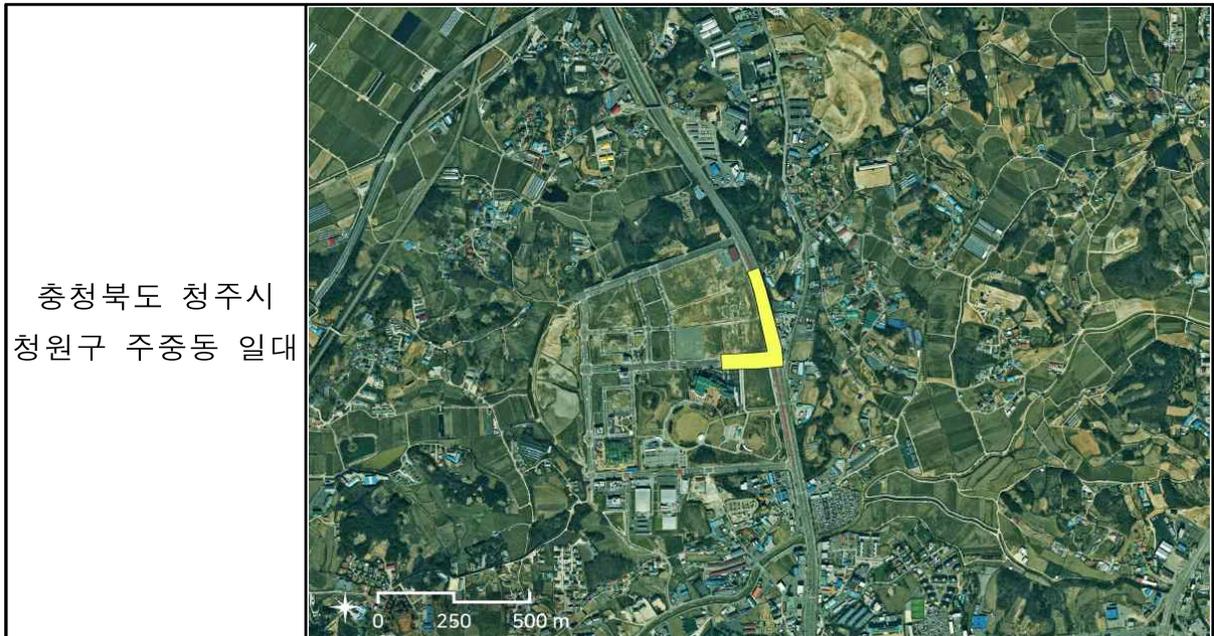
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-105	지방도	508	0.4	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



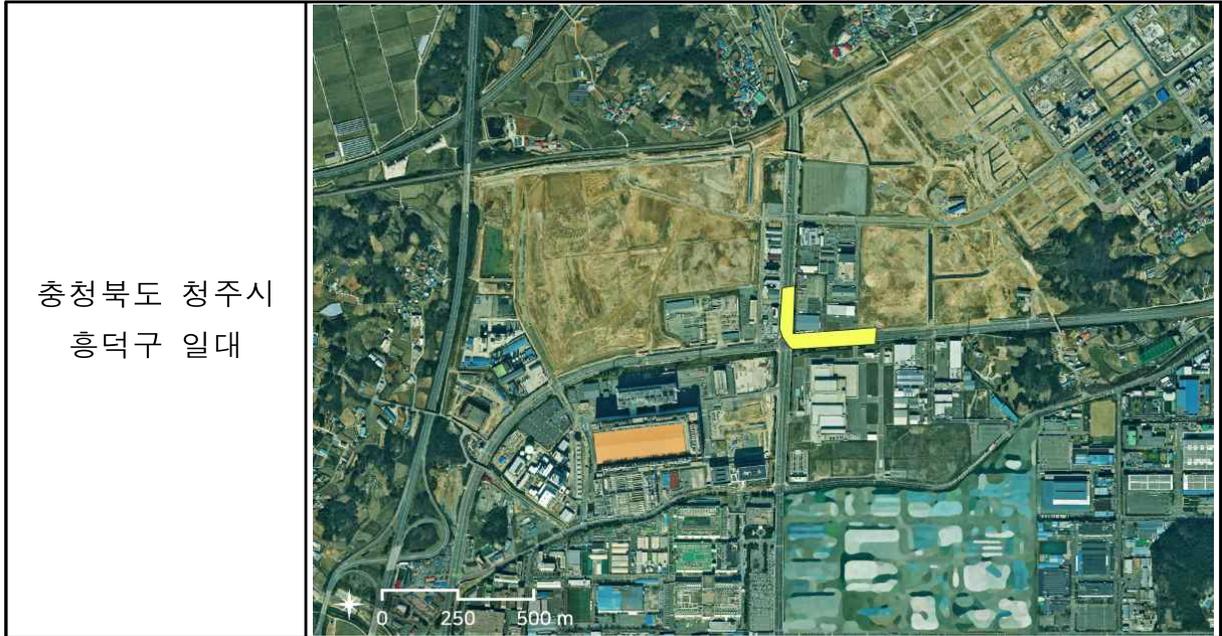
구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-106	시도	공항로	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-107	시도	에스케이로	0.5	시가지

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-108	국도	1	0.2	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-109	국도	1	0.2	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기



구간번호	도로유형	도로번호 (도로명)	구간길이(km)	주변경관
25-110	시도	어모로	0.5	복합

※ 시가지, 농경지, 산림지, 초지, 수역 중 3개 이상의 경관일 경우 복합으로 표기

