

## 탄소 중립을 위한 철도 건설 사업 온실가스 평가항목의 탄소흡수원 분야 환경영향평가 개선 방안 연구\*

황진후<sup>1)</sup> · Namuun Tuvshinjargal<sup>2)</sup> · 원주희<sup>3)</sup> · 김민정<sup>4)</sup> · 박다혜<sup>5)</sup> · 전성우<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup>고려대학교 오정리질리언스연구원 교수 · <sup>2)</sup>고려대학교 환경생태공학과 학생 ·

<sup>3)</sup>국가철도공단 미래전략연구원 정책개발처 부장 · <sup>4)</sup>국가철도공단 미래전략연구원 정책개발처 차장 ·

<sup>5)</sup>국가철도공단 미래전략연구원 정책개발처 과장 · <sup>6)</sup>고려대학교 환경생태공학부 교수

## Study on Improving Environmental Impact Assessment of Carbon Sink in the Greenhouse Gas Evaluation Criteria for Railway Construction Projects for Carbon Neutrality\*

Hwang, Jin-hoo<sup>1)</sup> · Namuun, Tuvshinjargal<sup>2)</sup> · Won, Joo-hee<sup>3)</sup> ·  
Kim, Min-jeong<sup>4)</sup> · Park, Da-hye<sup>5)</sup> and Jeon, Seong-woo<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup>Ojeong Resilience Institute, Korea University, Research Professor,

<sup>2)</sup>Division of Environmental Science & Ecological Engineering,  
Korea University, Student,

<sup>3)</sup>Policy Development Division, Future Strategy Development Research Institute,  
Korea National Railway, General Manager,

<sup>4)</sup>Policy Development Division, Future Strategy Development Research Institute,  
Korea National Railway, Deputy General Manager,

<sup>5)</sup>Policy Development Division, Future Strategy Development Research Institute,  
Korea National Railway, Manager,

<sup>6)</sup>Division of Environmental Science & Ecological Engineering,  
Korea University, Professor.

---

\* 본 연구는 국가철도공단에서 발주하여 2023년 한국환경복원기술학회에서 수행한 “철도사업 탄소흡수원 복원을 위한 연구용역”의 일부분을 발전시켰으며, 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 생태계 기반 탄소흡수원 조성관리 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(RS-2023-00218243).

**First author** : Hwang, Jin-hoo, Ojeong Resilience Institute, Korea University, Research Professor, Korea University, Research Professor,

Tel: +82-2-3290-3543, Email: i0255278@korea.ac.kr

**Corresponding author** : Jeon, Seong-woo, Division of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University, Professor,

Tel: +82-2-3290-3043, Email: eepps\_korea@korea.ac.kr

**Received** : 28 April, 2023. **Revised** : 27 June, 2023. **Accepted** : 26 June, 2023

## ABSTRACT

The railway project is an essential green transportation tool that is considered suitable for the domestic and foreign policy direction of carbon neutrality, but there are some limitations, such as damaging important carbon absorption sources during construction. This study analyzed the environmental impact assessment related to carbon absorption sources of greenhouse gas evaluation items conducted during the railway project, and limitations and implications were derived. The analysis of environmental impact assessment guidelines related to railway projects and carbon absorption sources dealt with prediction and reduction methods related to carbon absorption sources, but guidelines, including environmentally friendly railway construction guidelines, lacked descriptions. Since the greenhouse gas environmental impact assessment, 83 railway project environmental impact assessments have been reviewed, but in some cases, carbon absorption-related predictions have not been implemented, or carbon absorption-related reduction measures have been insufficient. In addition, there were cases where there was a limit to calculating emissions and reduction or where the reduction value was insignificant compared to emissions. In order to supplement the environmental impact assessment in the field of carbon absorption sources related to railway construction projects, alternatives such as quantitative emission and low reduction calculation, review of the no net loss system using the total environmental resource system, and linkage with climate change impact assessment are needed.

**Key Words :** *Carbon Absorption Sources, Emission Calculation, Reduction Measures, No Net Loss, Climate Crisis*

## I. 서 론

철도는 환경친화적 교통수단으로 고려되고 있으며, 전국적으로 많은 철도망이 구축되고 있고, 점차 확대되고 있는 추세이다(Kim et al., 2020). 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제32조에 따르면 정부는 철도에 대한 투자의 확대와 대중교통수단의 확충을 통해 철도가 국가기간교통망의 핵심 역할을 수행하도록 하고 있으며, 철도수송분담률 및 대중교통수송분담률에 대한 목표를 설정 및 관리하도록 하고 있다. 또한, 동법 제44조에서는 도로, 철도, 공항, 항만 등 인프라 시설의 친환경적 건설 및 기존 시설의 친환경적 전환을 수행하여 녹색국토를 조성 및 관리하도록 하고 있다. 철도 관련 법령에서도 철

도산업발전기본법 제4조에서 국가는 에너지 이용의 효율성, 환경친화성, 수송효율성이 높은 철도의 역할이 국가의 발전과 국민의 교통편의 증진을 위해 필수적인 요소임을 인식하고 있고, 적정한 철도수송분담의 목표를 설정 및 유지하고 이를 위한 철도시설을 확보하도록 하고 있으며, 동법 제7조에서는 철도시설 투자 추진 시 사회적 측면과 환경적 편익을 모두 고려하도록 되어 있다. 또한, 철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률 제5조의 철도망계획 내용에 환경친화적인 철도의 건설방안을 고려하여야 하고, 제7조 철도건설사업별 기본계획 수립에 환경의 보전, 관리에 관한 사항을 포함하도록 되어 있다. 특히, 철도 분야에서의 기본계획으로 고려되고 있는 철도산업발전기본계획에서도 기후변화

및 탄소중립의 문제를 인지하고 있으며, 기존에 주요 목표로 고려되지 않았던 탄소배출 감축을 해당 계획의 주요 목표로 수립하고 있다. 해외에서도 유럽 연합의 경우 철도 2050 비전을 수립하며 탄소중립과 에너지 소비 효율을 주요 목표로 제정하고 있으며(The European Railway Research Advisory Council, 2017), 영국에서는 수소와 배터리 열차의 노선을 확대하고 전 디젤 차량의 중지 등의 내용을 포함하고 있는 탄소 중립과 관련된 전략을 수립하고 있다(Government of the UK, 2021).

국제적으로 온실가스의 배출과 기후변화, 탄소중립에 대한 관심이 증가하였고 이처럼 국내외적으로 다양한 관련 정책들이 수행되었다. 그 중 하나로, 개발로 인한 온실가스 분야의 피해를 최소화하고 저감 방안을 수립하기 위해 온실가스와 관련된 영향평가를 실시하고 있다. 환경영향평가는 개발 행위를 비롯한 인간의 활동에 대한 환경의 영향을 선제적으로 예측, 평가 및 분석하고, 예상되는 부정적인 영향을 회피, 최소화하는 방안을 도출하는 주요한 수단이다(Choi et al., 2021; Jang et al., 2019; Park and Choi, 2018; Kim and Joo, 2021; Hwang et al., 2023). 국내에서는 2010년에 온실가스 평가항목을 환경영향평가 항목에 추가하였으며(Hong, 2019), 2013년에는 온실가스 항목의 환경영향평가 등 평가지침이 작성되었다. 초기에는 단순한 온실가스에 대한 내용을 제시한 수준에서, 현재는 저감방안, 배출량 산정, 온실가스 관리계획을 작성하는 등 종합적이고 체계적인 내용들이 포함되고 있다(Hong, 2019).

특히 산림으로 대표되는 탄소흡수원의 역할 또한 강조되고 있으며(Yun, 2005; Hwang et al., 2019; Hwang et al., 2022; Lee et al., 2022), 전 세계적으로 온실가스 저감을 위해 수목의 탄소흡수원 확충 및 평가를 위한 노력을 기울이고 있다. 특히 탄소흡수원과 관련된 환경영향평가 내용으로, 캐나다 연방정부에서는 예비 스코핑

단계에서 탄소 흡수원에 악영향 여부를 확인하고 변화를 수량화하고, 평가에 반영하도록 하고 있다. 미국 뉴욕 주의 에너지 사용 및 온실가스 배출에 관한 환경영향평가 가이드라인에서는 온실가스 완화수단 중 하나로 탄소 흡수원을 위한 산림의 관리와 관련된 내용을 제시하고 있다(Cho et al., 2009).

현재 국내에서는 17개 유형의 사업을 환경영향평가의 대상사업으로 포함하고 있으며, 철도의 건설분야 또한 환경영향평가의 주요 대상 사업이다. 환경영향평가법에 따르면 철도건설법, 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에서의 철도 또는 고속철도의 건설사업, 도시철도법 상 도시철도 및 도시철도시설의 건설사업, 궤도운송법의 삭도, 궤도, 궤도시설 중 일정 규모 이상의 사업에 대해 환경영향평가를 실시하도록 하고 있다. 이러한 철도사업은 도로 등 타 수송수단과 비교하여 탄소 배출 측면에서 비교우위를 나타낸다는 장점도 있지만, 성토 및 절토에 의한 지형의 훼손과 산림의 훼손 등으로 인해 탄소흡수원의 훼손을 동반하고 있다는 한계도 있다(Lee et al., 2011; Kim et al., 2014).

본 연구에서는 철도사업의 현재 온실가스 분야 환경영향평가 현황을 파악하고, 문제점과 개선 방안을 제시하는 데 목적이 있다. 이에 따라 기존 철도 및 온실가스 관련된 환경영향평가 법령, 지침, 가이드라인을 검토하고, 실제 수행된 환경영향평가서의 분석을 통해 철도사업의 온실가스 분야 환경영향평가의 개선방안을 제시할 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구의 범위

본 연구는 철도 건설사업을 대상으로 수행된 환경영향평가 사업을 연구 대상으로 선정하였다. 환경영향평가에 온실가스 평가항목이 도입된 2011년부터 2022년까지 수행된 철도사업 분

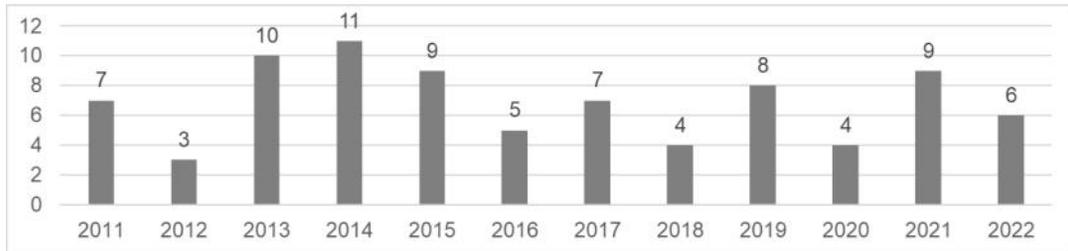


Figure 1. Number of railroad construction projects by year

야 환경영향평가 사업을 대상으로 하였다. 온실가스 평가항목의 영향 예측 및 저감 방안 부분을 분석 대상으로 하였다. 분석 대상 환경영향평가서는 총 83건이다(Figure 1).

## 2) 연구 방법론

본 연구는 크게 두 가지 방법으로 구성된다. 첫째는 온실가스 및 철도사업 관련 환경영향평가 가이드라인 및 지침 분석을 실시하였다. 가이드라인이나 지침 상에서 나타난 철도사업의 온실가스와 관련된 영향예측과 저감방안 수립에 관한 내용에 대한 분석을 실시하였다. 분석 대상으로 총 3개의 가이드라인 및 지침을 선정하였다. 환경영향평가서 등 작성 등에 관한 규정(2023) 및 환경영향평가서 등의 작성 등에 관한 안내서(2023)를 통해 일반적인 개발사업 수행 시 온실가스 평가항목에 대한 환경영향평가 영향예측 및 저감방안 관련 내용의 검토를 실시하였으며, 환경친화적 철도 건설 지침(2015) 검토를 통해 철도 건설 분야에서 수행하고 있는 환경영향평가에 대한 분석을 실시하였다.

둘째는 환경영향평가서 분석을 실시하였다. 앞서 83건의 환경영향평가서를 대상으로 하여 영향예측 및 저감방안 수립 현황을 분석하였다. 각 사업에서 탄소흡수원과 관련된 영향예측이 수행되었는지와, 이와 연계된 저감방안이 수립되었는지의 여부를 확인하였다. 영향예측 및 저감방안의 유형과 관련해서는, 영향예측의 경우 해당 지역의 탄소흡수량 변화량 산정 방식을 기준으로 분류를 실시하였으며, 저감방안의 경우 탄소흡수

원과 관련된 저감방안 내용 중 환경영향평가서에 기재된 저감방안의 유형을 기준으로 분류를 진행하였다. 또한, 탄소흡수원 관련 영향예측 및 저감방안을 수립한 경우 구체적인 영향 예측 및 저감시 효과를 정량적으로 제시하였는지의 여부를 확인하였으며, 영향 예측에 비해 저감 방안 수립 시 저감률의 수치를 도출하였다. 저감률의 수치는 탄소흡수원 저감방안으로 인한 저감량을 탄소흡수원 훼손으로 인한 배출량으로 나누어 도출하였다(Equation 1). 저감률의 도출은 실제 탄소 흡수원 훼손으로 인한 탄소 배출량 대비 탄소흡수원 관련 저감방안의 정량적인 효과를 평가하기 위한 지표로 활용하였다. 해당 수식은 환경영향평가서의 사업 수행으로 인한 환경영향의 양과 저감방안으로 인한 환경영향 저감량 간의 관계를 나타내는 수식을 통해 도출되었다 (Wathern, 1988). 저감률이 0이라고 하는 것은, 사업으로 인해 탄소 배출이 진행되었지만, 탄소흡수원을 통한 저감이 전혀 실시되지 않음을 의미하며, 저감률이 100%라 하는 것은, 사업으로 인한 탄소 배출량 전부를 탄소흡수원 조성 등을 통해 모두 저감하였음을 의미한다.

$$(\text{Reduction Rate}) = \frac{(\text{Reduction Amount})}{(\text{Emission Amount})} \times 100(\%)$$

(Equation 1)

## III. 연구 결과

### 1. 환경영향평가 관련 가이드라인 및 지침 분석

먼저, 환경영향평가서 등 작성 등에 관한 규

정(2023)을 분석하였다. 해당 규정은 환경영향평가법에서 세부 평가항목 및 평가방법을 위임한 사항과 관련된 규정이다. 해당 규정 제33조에서는 환경영향평가서의 구성 및 작성방법에 대해 제시하고 있다. 온실가스 부분과 관련해서 사업시행으로 인한 영향 예측 및 평가 부분에 대해서는, 해당 사업의 시행에 따른 온실가스 배출시설 및 에너지 발전, 이용 시설 등에서 배출되는 온실가스 발생량을 정량적으로 산정하도록 하고 있다. 그리고, 산림, 녹지 등의 저장 및 흡수원 조성 등 흡수원 확대 및 감축에 따른 온실가스 흡수량 및 감축량 산정에 대한 내용을 포함하고 있다. 저감방안 및 평가와 관련해서는 환경영향 예측 및 평가 결과를 토대로 해당 사업 시행에 따른 온실가스 배출량 및 에너지 사용량을 줄이기 위한 방안을 구체적으로 수립, 제시하도록 하고 있으며, 식생 양호지역 원형보전, 녹지 조성 등 흡수원 확대 방안을 강구하도록 하고 있다. 그 외에도 탄소중립, 신재생에너지 시설 확대, 폐자원 재활용 확대, 탄소제로 건축물 등 정부 온실가스 감축대책을 반영하도록 하고 있다.

환경영향평가서 등의 작성 등에 관한 안내서(2023)에서는 환경영향평가서 작성 시의 지침에 대해 기술하고 있다. 영향 예측 단계에서는 에너지 사용, 토지이용 변화, 폐기물 발생처리, 흡수원 훼손 등으로 예상되는 영향을 예측하도록 하고 있다. 환경영향평가서 등 작성 등에 관한 규정과 마찬가지로 산림, 녹지 등 저장 및 흡수원 조성 등 흡수원 확대 및 감축에 따른 온실가스 흡수량, 감축량을 산정하도록 하고 있으며, 흡수량 산정 방식은 크게 생체량 방정식을 활용한 단목위주의 산정과 녹지유형별, 영급별 계수를 활용한 광역규모의 산정을 제시하고 있다. 단목위주의 산정 방식은 각 단목이 저장 및 흡수하는 탄소의 양과 해당 지역에 분포하는 단목의 수를 곱해 산정하는 방식이다 (Equation 2). 광역규모의 산정 방식은 해당 지역에 분포하고

있는 단위면적당 녹지의 유형 및 영급 별로 설정된 탄소저장 및 흡수 계수와 해당 유형의 면적을 곱해 총 탄소흡수 및 저장량을 산정하는 방식이다. (Equation 3)

$$S = \sum(A + B) \text{ (Equation 2)}$$

$A$  : CO<sub>2</sub> storage of vegetation, kg/tree

$B$  : CO<sub>2</sub> absorption of vegetation, kg/tree/year

$$S_{i,j} = \sum_{i,j} (A_{i,j} \times SF_{i,j}) \text{ (Equation 3)}$$

$S_{i,j}$  : CO<sub>2</sub> storage and absorption by green area type(  $i$  ) and by age(  $j$  ), tCO<sub>2</sub>/yr

$A_{i,j}$  : by green area type(  $i$  ) and by age(  $j$  ), ha

$SF_{i,j}$  : CO<sub>2</sub> storage and absorption coefficient by green area type(  $i$  ) and by age(  $j$  ), tCO<sub>2</sub>/ha

저감방안의 경우 크게 저탄소형 토지이용, 에너지 절감 및 효율 향상, 자원의 재이용 및 순환, 생태녹지 확보, 친환경 건축 및 녹색교통으로 나누어 서술하고 있다. 탄소흡수원과 관련해서는 저탄소형 토지이용에서의 자연환경의 보전 및 복원, 생태녹지 확보 측면에서의 공원녹지 확보 및 탄소저감 식재계획 마련 등을 제시하였다.

환경정책기본법 제23조(환경친화적 계획기법 등의 작성, 보급)에 따르면 정부에서는 환경에 미치는 행정계획 및 개발사업이 환경적으로 건전하고 지속가능하게 계획되어 수립, 시행할 수 있도록 환경친화적인 계획기법 및 토지이용, 개발기준 등을 작성 및 보급할 수 있도록 하고 있다. 철도 건설 분야와 관련하여 환경부 및 국토교통부에서 공동으로 환경친화적 계획기법에 대한 사항을 고시하였으며, 환경친화적 철도 건설 지침을 2015년에 공표하였다. 해당 지침은 환경친화적 철도건설을 위하여 철도설계자, 관

**Table 1.** Prediction Methods

Prediction Methods	Single Tree Prediction+ Area Prediction	Single Tree Prediction	Area Prediction	No prediction because it is minor	No prediction related to carbon sinks	Total
Number	20	18	11	11	15	75

런 행정기관 등이 계획, 설계, 시공 시 활용할 수 있고, 현장 적용이 가능한 철도노선 선정방안과 항목별 적용방안 및 공사 중 환경관리 방안을 제시하는 데 있다. 온실가스와 관련된 사항을 검토해보자면, 먼저 노선 선정 단계에서, 기본 실시설계 단계에서 철도 건설 시 중요시되는 환경영향평가 항목을 제시하고 있으나, 온실가스 항목은 주요검토사항에서 제외된 것으로 나타났다. 철도 건설 분야에서도 철도건설사업 시행 시 일반적으로 검토할 주요 평가항목을 제시하고 있으나 온실가스 항목의 경우 중점평가 항목에서 제외되었다. 다만 지역특성 및 철도유형을 고려하여 선택적으로 반영할 항목에만 포함되어 있는 것으로 나타났다. 해당 지침 내에서 온실가스에 대한 직접적인 서술은 위의 내용이 전부이다. 간접적으로 연계된 내용의 경우, 대기환경 분야에서는 철도건설로 인한 대기질의 변화에 대해서만 고려할 뿐 온실가스 관련 사항은 검토되지 않았으며, 자연생태환경의 경우에도 생물다양성이 높은 서식처, 보호종, 노거수 등을 위주로만 검토하였을 뿐 탄소흡수원과 관련된 내용은 서술되지 않았다. 그리고 철도 건설 사업의 저감방안으로 제시된 식생복원 계획의 경우에도 서식지 측면, 환경적 우수지역, 비탈면 녹화 등 생태학적 측면에서만 고려되었을 뿐 탄소흡수원의 복원 측면에 대한 서술은 존재하지 않았다. 해당 지침 검토를 통해 현재 철도 사업 수행 시 자연환경 전반에 대한 훼손 및 복원은 고려되고 있다고 할 수 있으나, 탄소흡수원 훼손 및 복원에 대한 고려는 부족한 것을 확인할 수 있다.

## 2. 환경영향평가서 분석

온실가스 평가가 시작된 2011년부터 시행된 철도분야 83개의 환경영향평가 대상 사업을 분석한 결과 4개의 사업은 비공개 사업, 4개 사업의 경우 온실가스 항목에 대한 평가를 실시하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 8개의 사업을 제외한 나머지 75개 대상사업에 대해서 분석하였다.

먼저 탄소흡수원의 훼손과 관련된 영향예측 사항들을 분석하였다(Table 1). 탄소흡수원 훼손과 관련된 영향의 경우에는 모든 사업에서 예측을 진행하지 않았다. 15개 사업에 대해서는 탄소흡수원 관련된 예측사항을 기재하지 않았으며, 11개 사업에 대해서는 사업으로 인한 탄소흡수원에 대한 훼손이 경미하여 예측하지 않았다. 나머지 사업 중 18개 사업에 대해서는 단목 예측만을, 11개 사업에서는 면적 예측만을 실시하였으며, 20개 사업에서 단목 예측과 면적 예측을 모두 수행하였다.

탄소흡수원 훼손이 예측된 사업 49건에 대해 탄소흡수원 복원 관련 저감방안이 수립되었는지의 여부를 분석하였다(Table 2). 총 49건의 사업 중 38개 사업에서 탄소흡수원의 복원 관련 저감방안이 수립되었으며, 나머지 11개 사업에 대해서는 탄소흡수원 복원 관련 저감방안이 수립되지 않았다. 38개 사업 중에서도, 11개 사업에 대해서는 저감방안만 수립되었을 뿐 구체적인 정량적 저감 효과는 제시되지 않았으며, 나머지 27개 사업에 대해서만 저감 효과를 정량적으로 제시하였다.

**Table 2.** Methods for Reduction Measures

Reduction Measures	Quantitative presentation of reduction effect	Establishment of reduction measures only	Carbon Absorption Source Reduction Measures Not Present	Total
Number	27	11	11	49

**Table 3.** Types of Reduction Measures

Reduction Measures	Number of Projects	Reduction Measures	Number of Projects
Tree Planting	27	Park Development	2
Landscape Planning	13	Rooftop Greening	2
Slope Greening	12	Shelterbelt/Multi-layered Planting	2
Green Space Creation	10	Damaged Area Restoration	1
Planting of Mitigation Trees	4	Planting of Indigenous Species	1
Planting of Grass	3	Preservation of the original form	1
Planting of Air-purifying Plants	3	Fertile Soil Utilization	1

제시된 탄소흡수원 관련 저감 방안은 Table 3와 같다. 수목 이식과 관련된 저감방안이 총 27개 사업에서 가장 많이 제시되었다. 조경 계획 수립이 13건, 비탈면(사면)녹화가 12건, 녹지 조성 10건으로 나타났다. 저감 수종의 도입이 4건, 초본류 녹화, 정화 수종의 도입이 각 3건씩이었으며, 공원 조성, 옥상녹화, 차폐 및 다층식재가 각 2건씩, 훼손지복원, 향토수종, 원형보전, 비옥도활용의 경우 1건씩만 나타났다. 다만, 탄소흡수원 복원으로 인한 정량적인 저감량 산출에는 수목 이식과 녹지 조성을 제외한 나머지 저감 방안에서는 정량적인 저감 효과가 제시되지 않았다.

탄소흡수원 훼손으로 인한 온실가스 배출량과, 탄소흡수원의 복원 방안으로 저감된 저감량을 비교하여 저감률을 산출하였다 (Table 4, Figure 2). 결과적으로 27개 사업 중 탄소흡수원 관련 저감률이 100%를 초과한 경우는 3건에 불과하다. 이러한 사업들은 손실된 탄소의 양보다 저감 방안을 수행한 이후의 저감량이 더 높다는 것을 의미한다. 저감률이 50% 이상인 경우도 3건 뿐이며, 저감률이 10% 이하인 사업의 수는

총 17건이고 심지어 1% 이하인 경우도 8건에 달한다. 대부분 사업에서 손실된 탄소량만큼 저감방안 수립을 통해 탄소량을 회복하지 못하는 것으로 나타났으며, 많은 사업에서는 탄소흡수원 관련 저감방안은 수립하였지만, 실제로는 저감의 효과가 나타나지 않는다고 할 수 있다.

## IV. 고찰

환경영향평가 관련 가이드라인 지침 분석과 철도사업 관련 환경영향평가서 분석 결과를 토대로 탄소흡수원 관련 영향 예측, 탄소흡수원 관련 저감 방안 수립, 탄소흡수원 분야 저감률 도출, 철도 건설 부문 탄소흡수원 분야의 제도적 보완 네 가지 분야로 나누어 고찰을 실시하였다 (Table 5).

### 1. 탄소흡수원 관련 영향 예측

먼저, 탄소흡수원 관련 영향 예측과 관련된 내용이다. 일부 사업의 경우 철도노선이 지하 통과 등의 사유로 인해 탄소흡수원 저감의 탄소흡수원과 관련된 영향 예측을 실시하지 않는 경

**Table 4.** Analysis of emission amount, reduction amount, and reduction rate

No.	Project	Emission Amount	Reduction Amount	Reduction Rate
1	OO Island Cable Car Construction Project	441.30	835.35	189.29%
2	OO Mountain Ropeway Development Project	1,460.23	1,812.91	124.15%
3	Urban Railway OO Line (OO~OO) Construction Project	1,484.79	1,810.64	121.95%
4	OO Line Urban Railway Private Investment Project	217.65	217.08	99.74%
5	OO Cable Car Development Project	1,495.30	1,143.20	76.45%
6	OO Urban Railway Construction Project	1,743.30	932.80	53.51%
7	OO~OO High-speed Railway Construction Project (2nd and 4th sections)	94.60	39.90	42.18%
8	OO Line Double-track Railway Construction Project	132.74	16.01	12.06%
9	OO OO Bay New Port Access Railway Construction Project	646.34	65.66	10.16%
10	OOO Station CY Relocation Construction*	47.49	4.77	10.04%
11	OO~OO Railway Construction (Section 7 and 9)	1,928.10	187.30	9.71%
12	OO~OO Railway Construction (Section 6 and 8)	721.00	49.30	6.84%
13	OO Line (Extension of Line O) Vehicle Base Construction Project	11,520.20	688.80	5.98%
14	OO~OO Railway Construction OO Vehicle Base	5,541.40	201.90	3.64%
15	OO~OO Railway Construction (OO~OO)	157.70	3.50	2.22%
16	OO~OOO Double-track Railway	1,900.00	34.45	1.81%
17	OO New Port Access Railway Construction	5,767.80	101.00	1.75%
18	OO Line OO~OO Double-track Railway	52,406.67	879.67	1.68%
19	OO Line OO~OO Double-track Railway Construction (OO~OO)	51,666.60	704.90	1.36%
20	OO Line Improvement 2nd stage Railway Construction (OO~OO)*	2,205.04	17.10	0.78%
21	OO Line OO~OO Double-track Railway Construction (OO~OO)	5,613.00	37.10	0.66%
22	OO~OO Railway Construction (OO~OO and OO Section)	56,622.64	368.39	0.65%
23	OO~OO Railway Construction Project	28,057.00	108.60	0.39%
24	OOO~OO Double-track Railway Construction Project	3,939.74	14.80	0.38%
25	OO~OO Railway Construction (OO~OO and OO, OO~OO section)	13,200.40	30.30	0.23%
26	OO Line OO~OO Railway Construction Project (OO~OO section)	6,362.30	3.56	0.06%
27	Railway Comprehensive Test Track Construction Project	6,586.50	2.60	0.04%

(\*: There is no conversion to emission reduction, so only comparison based on absorption amount.)

우가 있다. 하지만 일부 사업의 경우 관련된 사유 없이 단순히 탄소 배출과 관련된 예측만 있을 뿐 탄소 흡수원 훼손과 관련된 영향예측이

실시되지 않은 경우가 있다. 이러한 경우 탄소 흡수원 훼손과 관련된 영향 예측을 실시하거나, 영향예측이 미미한 경우 그 사유를 기재하는 것

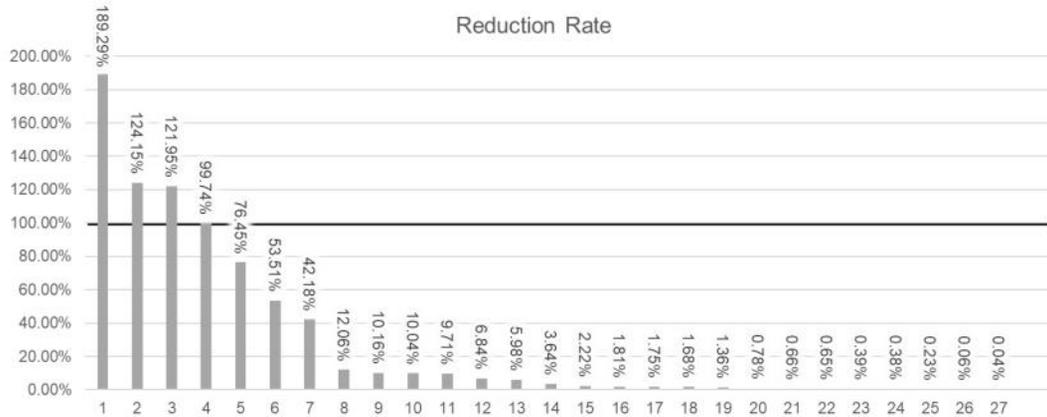


Figure 2. Reduction Rate by project

이 필요하다고 사료된다.

영향 예측과 관련된 방법으로 단목 기반의 예측과 면적 기반의 예측의 분석을 실시하였다. 다만, 면적 기반의 예측의 경우 영급별 이산화탄소 저장계수 활용. 광역 지역을 대상으로 적용하는 방법이므로 단위 개발사업의 경우 적용 오차가 있을 수 있다는 선행 연구 결과가 있다(Hwang and Park, 2010) 따라서, 오차를 줄이기 위해서는 환경영향평가 대상 사업의 경우 단목 위주의 영향 예측이 동반되어야 할 것으로 보인다. 그리고, 영향 예측 과정에서 수목의 훼손으로 인한 영향 예측만 실시하는 경우가 있다. 이 경우 수목을 제외한 토지이용 변화로 인한 토양의 변화를 고려하지 않은 경우가 있다. 토양 탄소는 육상 생태계에서 식생 부분을 제외하고 높은 비중으로 분포하고 있으며, 탄소 배출 저감 등에 중요한 요인으로 작용하고 있다(Choo et al, 2021). 따라서, 사업으로 인한 수목의 훼손 외에도 토지이용의 변화로 인한 토양의 탄소 변화량 예측을 함께 실시하여야 할 것으로 판단된다.

## 2. 탄소흡수원 관련 저감 방안 수립

다음은 저감 방안 수립과 관련된 내용이다. 먼저, 사업으로 인해 탄소흡수원이 훼손되었지만 관련된 저감방안을 제시하지 않은 경우이다. 이 경우 탄소흡수원이 아닌 탄소 배출량의 감소 측

면의 저감방안만 제시하는 경우가 있다. 탄소흡수원의 확충은 자연 기반의 해법으로, 단순한 탄소 배출량 감소 방안에 비해 기후변화 완화에 대응에 기여할 수 있고, 다양한 생태계 서비스를 제공하는 등의 장점을 보유하고 있다. 따라서 불가피한 경우를 제외하면 우선적으로 탄소흡수원 관련 저감 방안을 수립하는 것이 필요하다.

둘째는, 다양한 저감방안의 정량적 예측과 관련된 내용이다. 주요 저감방안으로 제시되었던 수목이식, 녹지 조성 등을 제외하고는 정량적 평가가 진행되지 않고 있다. 예컨대 비탈면녹화나 초본류녹화, 옥상 녹화 등의 실제 탄소 저감량에 대해 서술하지 않고 있다. 또한, 저감 수종을 도입과 같은 경우에도, 저감 수종을 도입한 경우와 일반적인 수종을 도입한 경우를 비교하여, 저감 수종을 도입하였을 때의 효과 등을 정량적으로 나타내고 있지 않다. 따라서 기존에 수목 이식이나 녹지 조성 시의 저감량 뿐만 아니라 타 저감방안 수립 시의 저감량을 정량적으로 나타낼 필요가 있다.

## 3. 탄소흡수원 분야 저감률 도출

탄소흡수원 분야의 저감률 분석 결과 100%를 넘는 사업 수는 전체 27건 중 3건에 불과하였고, 17건의 사업이 10% 미만의 저감률을 나타냈다. 이는 수립된 탄소흡수원 관련 저감방안

**Table 5.** Development of Environmental Impact Assessment in the Carbon Sink of Railway Projects

Category	As-is	To-be
Prediction of Carbon Sink Related Effects	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impact not Predicted</li> <li>- Only Area-based Prediction</li> <li>- Prediction focusing only on Trees</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perform Impact Prediction / State reasons when not predicted</li> <li>- Accompanied by Single-Tree Prediction</li> <li>- Conducting Prediction in the Soil as well</li> </ul>
Development of Reduction Measures for Carbon Sink	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Damage to Carbon Sink, No Reduction Measures</li> <li>- Quantitative Assessment not Conducted</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implement Reduction Measures for Carbon Sink</li> <li>- Conduction Quantitative Assessment</li> </ul>
Deriving the Reduction Rate of Carbon Sink	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Low Reduction Rate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducing No Net Loss System</li> </ul>
Systemic Supplementation of Carbon Sink in the Railway Sector	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lack of contents on GHGs and Carbon Sink in the Guidelines</li> <li>- Exclusion of Railway Sector from Climate Change Environment Impact Assessment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Include Description of GHGs and Carbon Sink in the Guidelines</li> <li>- Include Railway Sector from Climate Change Environment Impact Assessment</li> </ul>

이 실질적인 효과를 가져다주지 못했다는 것을 의미한다. 이러한 낮은 저감량을 보완하기 위해 탄소흡수원 분야의 총량제 도입의 방안을 검토할 수 있다.

현재까지 습지총량제, 수질오염총량제, 차량총량제 등 다양한 개념의 총량제들이 연구 및 시행된 바 있다. 특히 최근에는 제주특별자치도를 대상으로 하여 환경자원총량제가 실시된 사례가 있다. 환경자원총량제는 제주특별자치도가 보유한 우수한 환경자원을 인위적 훼손으로부터 보호하고, 환경가치가 높은 자연생태계를 체계적으로 보전, 관리하고, 환경자원의 가치를 온전하게 보전하기 위해 제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법 제351조의2에서 환경자원총량을 설정하고, 이를 위한 환경자원총량 유지·관리계획을 수립하도록 하고 있다. 환경자원총량제의 주요 개념은 순 손실이 발생하지 않도록 하기 위해 회피, 상쇄(대상지 내 복원), 대체(대상지 외 복원), 보상 등의 방법을 통해 전체의 총량을 유지하는 제도이다 (Korea University Consortium, 2022). 이러한 환경자원

총량제의 개념을 차용하여, 철도사업 시행 시 탄소량을 보전하기 위해, 탄소흡수원의 훼손을 피하거나(회피), 대상지 내에 탄소흡수원을 복원(상쇄), 대상지 외에 탄소흡수원 복원(대체), 보상금 지불(보상) 등의 수단을 제시할 수 있다.

#### 4. 철도 건설 부문 탄소흡수원 분야 제도적 보완

현재 철도 건설 분야 환경영향평가에서 온실가스 평가항목의 중요도가 높지는 않다. 특히 앞서 검토한 환경친화적 철도 건설 지침 내에서는 온실가스에 대한 비중이 크지 않다. 관련된 저감 방안인 식생 복원의 경우에도 탄소저장고로의 기능이 아닌 단순히 생물의 서식처나 생물 다양성 측면에서 서술되고 있다. 따라서, 현재 탄소중립의 중요성이 높아지고, 철도 분야에서의 탄소흡수원의 중요성이 높아지고 있는 상황 속에서, 온실가스 분야의 개선을 위해 환경친화적 철도 건설 지침 내에 온실가스 항목을 추가하고, 실제 철도 노선 선정 및 건설 시 중점적으로 검토할 필요가 있다.

그리고 현재의 환경영향평가 내 온실가스 평

가항목에서 더 나아가 향후 기후변화영향평가와의 연계 방안도 검토할 필요가 있다. 기후변화영향평가의 경우 기후위기 대응을 위한 탄소중립, 녹색성장 기본법에서 소관 정책이나 개발사업이 기후변화에 미치는 영향이나 기후변화로 인해 받게 되는 영향에 대해 분석, 평가하는 제도이다. 기후변화영향평가에서는 기존 환경영향평가와는 다르게 기후변화 저감 뿐만 아니라 적응 방안을 포함한 폭넓은 범위를 다루고 있다. 다만 현재는 에너지 개발, 산업입지 산업단지 조성, 도시개발, 도로 건설, 공항 건설, 폐기물 처리시설 건설 중 규모가 크고 온실가스에 대한 영향이 큰 일부 사업유형에 한해 실시되고 있다. 녹색교통으로 환경적 중요성이 증가하고 있는 철도사업의 선도적인 기후변화영향평가와의 연계 방안을 검토할 필요성이 있다.

## V. 결 론

본 연구에서는 녹색교통으로 대표되고 있는 철도 건설 분야의 온실가스 평가항목의 환경영향평가 개선을 위한 연구를 실시하였다. 환경영향평가 관련 가이드라인 분석에서는 온실가스 분야에 대한 예측 방법과 저감 방안에 대한 내용을 서술하고 있었으나, 철도 분야의 온실가스와 관련된 서술의 내용은 제한적이었다. 특히 철도 건설과 관련된 계획기법을 서술한 환경친화적 철도 건설 지침에서는 온실가스와 관련된 내용이 중점적으로 고려되지 않고 있었다. 식재 계획 등의 저감 방안도 생태계 및 서식지 측면의 고려만 있었을 뿐 탄소흡수원 측면의 서술은 존재하지 않았다. 탄소중립에 대한 국가적인 관심도가 높아지면서, 철도 건설 시 온실가스 분야에 대한 중점적인 서술이 필요할 것으로 사료된다.

환경영향평가서 분석에서는 온실가스 평가 실시 이후 철도건설 사업 분야 환경영향평가서를 전수 분석하였다. 온실가스 평가 항목을 분

석한 결과 몇 가지 문제점이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 먼저, 온실가스 관련 영향 예측을 진행하지 않은 경우가 있었으며, 탄소흡수원의 훼손이 있었음에도 불구하고 탄소흡수원 관련 저감방안이 제시되지 않은 경우가 존재하였다. 또한, 탄소흡수원 훼손과 저감방안 실시에 대한 정량적인 수치가 제시되지 않은 경우가 있었으며, 제시된 경우에도 탄소흡수원으로 인한 감축 효과는 극히 제한적이었다. 저감 방법으로 제시된 수목 이식이나 녹지 조성 외에는 정량적 효과를 제시하지 않은 경우가 많았다.

본 연구에서는 철도 사업 분야를 대상으로 수행된 환경영향평가의 온실가스 평가항목의 탄소흡수원을 중점적으로 검토하였으며, 현재 여러 한계점이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 향후 철도 사업으로 인한 탄소흡수원의 훼손을 방지하고 탄소중립에 기여하기 위하여, 탄소흡수원 훼손과 저감방안의 정량적인 평가와 함께, 철도 건설 관련 지침에의 반영, 환경자원총량제의 개념을 차용한 탄소흡수원 기반 총량제도 도입, 기후변화영향평가와의 연계 등 제도적 보완 또한 필요할 것으로 판단된다.

## References

- Cho KJ · Lee HS · Sin GH and Kim JJ. 2009. An Efficient Environmental Impact Assessment of Greenhouse Gas Items. Korea Environment Institute. Seoul. KOREA.
- Choi YY · Cho HJ · Hwang JH · Kim YJ · Lim NO · Lee JY · Lee JH · Sung MJ · Jeon SW · Sung HC. 2021. Complaint-based Data Demands for Advancement of Environmental Impact Assessment. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 24(6): 49-65. (in Korean with English Summary)
- Choo IK · Seong YJ · Shiksha B and Jung YH.

2021. Calculation of Soil Carbon Changes by Administrative District with Regard to Land Cover Changes. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society* 22(3): 37-43. (in Korean with English Summary)
- Government of UK. 2021. Net Zero Strategy: Build Back Greener. United Kingdom.
- Kim BK · Lee JS · Kim HK and Lee JY. 2014. An Analysis of Energy Consumption and GHG Emission per Unit of Rail and Road Transportation. *Journal of the Korean Society for Railway* 17(3): 216-222. (in Korean with English Summary)
- Kim MK · Kim DY and Hwang DK. 2020. Study on the Application of Environmental Impact Assessment for Railway Development Based on Unmanned Aerial Vehicle. *Journal of the Korean Society for Railway* 23(7): 625-636. (in Korean with English Summary)
- Hong SP. 2019. Improvement of EIA Associated with Greenhouse Gases Subject Matter for the Preparedness of Post-2020. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 28(5): 1225-7184. (in Korean with English Summary)
- Hwang JH · Jang RI and Jeon SW. 2019. Redefine Scope of Protected Zone in Act on the Management and Improvement of Carbon Sink Article 10. *Journal of Climate Change Research* 10(4): 291-297. (in Korean with English Summary)
- Hwang JH · Jang RI and Jeon SW. 2022. A Study on the Estimation Method of Carbon Storage Using Environmental Spatial Information and InVEST Carbon Model: Focusing on Sejong Special Self-Governing City. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 25(5): 15-27. (in Korean with English Summary)
- Hwang JH · Kim YJ · Jeon SW · Choi YY and Sung HC. 2023. Derivation of Data Demand through Analysis of Agreed Terms and Conditions on Environmental Impact Assessment. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 32(1): 29-40. (in Korean with English Summary)
- Hwang SI and Park SH. 2010. Environmental Impact Assessment for Development Projects Considering Carbon Sink and Sequestration(I). *Journal of Environmental Impact Assessment*. 19(6): 625-631. (in Korean with English Summary)
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IGES, JAPAN.
- Jang JY · Cho NW and Lee MJ. 2019. Standardization Plan for Activation of Environmental Impact Assessment based on Spatial Information. *Korean Journal of Remote Sensing*, 35(3): 433-446. (in Korean with English Summary)
- Jeong HM · Kim HR · Kim DY · Jang IU and Kang SR. 2022. Improvement on Estimation Methodology of Carbon Storage amount by Damaged Trees for Environmental Impact Assessment. *Korean Journal of Ecology and Environment* 55(4): 330-340. (in Korean with English Summary)
- Kim JO and Joo YJ. 2021. Review of Environmental Impact Assessment Re-consulting System - A Comparative Analysis of Korea and Foreign Countries. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 30(5): 328-338. (in Korean with English Summary)
- Korea University Consortium. 2022. A study on the establishment of a maintenance plan

- for the total amount of environmental resources in Jeju Special Self-Governing Province. KOREA.
- Lee DH · Choe HY · Kim JY · Cheong YK · Kil SH. 2022. Carbon neutrality potentials in local governments under different forest management - The Study Case of Paju and Goseong. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 25(3): 17-28. (in Korean with English Summary)
- Lee JY · Jung WS · Hwang IH and Kim YK. 2011. The Evaluation of GHG Emissions in Railroad Construction Sector. *Journal of the Korean Society for Railway*. 14(3): 271-275. (in Korean with English Summary)
- Ministry of Environment and Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2015. *Guidelines for Construction of Environmentally Friendly Railways*. Ministry of Environment. 2023. *Guide to the Preparation, etc. of Environmental Impact Assessment Report, etc.*
- Ministry of Environment. 2023. *Regulations on the Preparation, etc. of Environmental Impact Assessment Report, etc.*
- Park JH and Choi JG. 2018. A study on the Improvement of the EIA Items and the Operating System Based on the Analysis of EIA Item Usage. *Journal of Environment Impact Assessment*. 27(1): 1-16. (in Korean with English Summary)
- The European Rail Research Advisory Council. 2017. *Rail 2050 Vision*. BELGIUM.
- Yun HY. 2005. A Study on the Legal and Institutional Improvement Strategies by Kyoto-Protocol in Forest Sector. *Environmental Law Review*, 27(4): 185-204 (in Korean with English Summary)