

KR C-02070

Rev.2, 30. August 2024

탄소중립

2024. 08. 30



국가철도공단

경과조치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일러두기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용 범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	1
2. 조사 및 계획	1
3. 재료	2
4. 설계	2
4.1 설계 기본방향	2
4.2 설계자 준수사항	2
해설 1. 탄소배출량 산정방법	4
해설 2. 신재생에너지	6
해설 3. 탄소저감형 건설재료	7
해설 4. 수목의 탄소저장·흡수량 산정 방법과 훼손지 유형별 복원방안	9
RECORD HISTORY	11

1. 일반사항

1.1 목적

본 설계기준은 기후변화 정책에 보다 효과적으로 대응하기 위해 철도 건설현장의 온실가스 저감에 필요한 제반사항을 규정한 것으로, 「2050 탄소중립 실현을 위한 KR 추진전략」에 따라 2050년까지 탄소중립을 실현하는데 그 목적이 있다.

1.2 적용 범위

- (1) 시설물의 생애단계 중 시공단계에서 사용되는 자재, 장비 등 주요 탄소배출원의 탄소 배출량을 사전 예측하고 저감방안을 수립하는 경우 적용한다.
- (2) 건설사업으로 인해 훼손되는 산림 등에 대한 복원방안을 검토하는 경우 적용한다.

1.3 참고 기준

내용 없음

1.4 용어의 정의

- (1) 탄소중립 : 대기 중 이산화탄소 농도 증가를 막기 위해 인간 활동에 의한 배출량은 최대한 감소시키고, 흡수량은 증대하여 순 배출량이 '0'이 된 상태로, 인간 활동으로 배출하는 온실가스(+요인)는 최대한 줄이고, 배출되는 온실가스는 산림 흡수나 CCUS로 제거(-요인)하여 실질적인 배출량을 '0' 수준으로 낮추는 것을 탄소중립(Net zero)이라고 한다.

* CCUS(Carbon Capture, Utilization, Storage) : 이산화탄소 포집, 저장, 활용 기술

- (2) 온실가스(GHG, Greenhouse Gas) : 지구의 적외선 복사열을 흡수하거나 다시 방출하여 온실효과를 유발하는 대기중의 가스 상태 물질로서 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)의 6종으로 정의함
- (3) 화석연료(fossil fuel) : 석탄, 석유, 천연가스 같은 지하매장 자원을 이용하는 연료로 화석에너지라고도 함
- (4) 탄소흡수원(carbon sink) : 자연적이거나 인위적으로 대기 중의 이산화탄소를 저장하는 것을 의미하며, 산림 등이 탄소흡수원에 포함됨

1.5 기호의 정의

내용 없음

2. 조사 및 계획



내용 없음

3. 재료

내용 없음

4. 설계

4.1 설계 기본방향

설계자는 탄소중립에 유리한 자재, 장비, 공법 등을 우선 검토하고 저탄소 철도 인프라 건설을 위해 적극 노력하여야 하며, 사업 계획 또는 여건에 따라 훼손된 탄소 흡수원의 복원 계획을 검토하여야 한다.

4.2 설계자 준수사항

설계자는 기본설계 단계부터 탄소배출량에 대한 검토를 시행하고 그 결과를 설계보고서에 수록하며 탄소중립을 위한 대책을 검토하여야 한다.

설계자는 탄소중립 관점에서 다음과 같은 사항을 검토해야 한다.

(1) 노선 및 구조물 계획 수립 시 다음사항을 고려할 수 있다.

- ① 열차운전 성능을 비교·분석하여 운전성능(에너지 효율)이 우수한 노선을 우선 선정하는 것을 원칙으로 한다.
- ② 토공, 교량, 터널 등 각 구조물에 대한 배치계획 수립시 탄소중립 측면을 고려하여 검토하되, 현장여건 등을 고려하여 효율적인 배치가 되도록 계획하여야 한다.
- ③ 노선 선정시 탄소흡수·저장량 확대를 위한 산림훼손 최소화, 산림복원 계획을 수립하고 습지, 초지, 경작지 등의 자연환경 잠식을 최소화하는 노선계획을 수립하여야 한다.

(2) 상세설계 시 다음사항을 고려할 수 있다.

- ① 탄소 배출량이 많은 일반레미콘 보다는 시멘트의 투입량을 줄일 수 있는 저탄소레미콘 사용을 검토한다
- ② 탄소 배출량이 많은 철근 보다는 동등이상의 성능을 확보할 수 있는 신소재를 검토한다.
- ③ 옹벽 등 콘크리트 구조물 보다는 돌망태옹벽, 식생공법 등 저탄소 공법 적용을 검토한다.
- ④ 자재의 이동은 육상수송 보다는 철도수송을 우선 검토한다.
- ⑤ 공사중 사용하는 임시전력은 태양광, 풍력, 지열 등의 신재생에너지를 검토한다.

- ⑥ 공사중 사용한 임시전력은 철거시 환경에 문제가 없도록 검토하여 계획한다.
- ⑦ 현장내 운행차량은 에너지 효율이 높고 배출가스가 적은 환경친화적 자동차 운행을 검토하되, 차량의 성능과 유지관리 여건 등을 고려해서 선정한다.

(3) 장비 및 자재선정 시 다음사항을 고려할 수 있다.

- ① 동일조건에서 에너지효율 높은 장비를 선정한다.
- ② 화석연료 장비보다는 전기에너지를 이용하는 장비를 선정한다.
- ③ 재활용 자재, 탄소저감 인증제품을 선정한다.

(4) 복원방안 수립 시 다음사항을 고려할 수 있다.

- ① 철도 건설로 인해 훼손된 지역에 대하여 훼손지 유형별 대체 복구방법을 검토한다.
- ② 수목에 대한 탄소저장량 및 흡수량을 산출하여 탄소흡수원을 복원할 수 있는 방안을 검토한다.



해설 1. 탄소배출량 산정방법

“철도건설현장 탄소발자국 산정연구(국가철도공단)” 결과에 따르면, 호남고속철도(오송~광주송정) 토목분야 탄소배출량은 교량공(53%), 터널공(23%), 토공(11%) 순으로 이중 건설자재 사용에 의한 탄소배출량은 91% 차지하고, 장비의 유류사용에 의한 탄소배출량은 9% 정도의 비중을 차지한다. 건설자재의 탄소배출원 분석결과 시멘트, 레미콘, 철강 자재 순으로 탄소배출량이 많은 것으로 분석되었다. 탄소배출량은 “시설물별 탄소배출량 산정 가이드라인(철도 시설물, 국토교통부)”, “철도건설현장 탄소발자국 산정연구(국가철도공단)”, “건설분야 탄소배출량 산정 DB 등 구축 결과(국토교통부)” 등에 따라 산출하고, 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 사항에 대해서는 발주자의 승인을 얻어 대체할 수 있으며, 설계단계별로 다음과 같이 산정한다.

(1) 기본설계시 탄소배출량 산정 방법

“철도건설현장 탄소발자국 산정연구”의 호남고속철도(오송~광주송정) 토목분야 탄소배출량 사례분석 결과를 참조하여 공종별 연장에 탄소배출 원단위를 곱하여 개략 산정한다. 추가로, 「한국에너지공단」의 에너지 온실가스 종합정보 플랫폼, 「국립산림과학원」의 산림훼손 저감에 따른 탄소흡수량 검토, 「한국환경연구원」의 환경가치 종합정보시스템 등을 참고하여 탄소흡수·저장량을 개략 산정한다.

(예시)

- 토공(5km) 탄소배출량 = 5,173톤 CO₂e/km x 5km = 25,865톤 CO₂e
- 교량공(5km) 탄소배출량 = 26,438톤 CO₂e/km x 5km = 132,190톤 CO₂e
- 터널공(5km) 탄소배출량 = 15,007톤 CO₂e/km x 5km = 75,035톤 CO₂

(2) 실시설계시 탄소배출량 산정 방법

“철도건설현장 탄소발자국 산정연구”의 호남고속철도(오송~광주송정) 토목분야 탄소배출량 사례분석 결과를 참조하여 공사별 하위 공종에 대하여 장비 및 투입자재에 대한 탄소배출량을 각각 합산하여 최종 공사에서의 탄소배출량을 산정한다. 장비에 의한 탄소배출량은 설계데이터를 통해 파악한 장비 사용시간과 건설공사 표준품셈의 장비별 시간당 연료 사용량, 연료별 탄소 배출계수를 곱하여 산정한다.

자재에 의한 탄소 배출량은 설계데이터를 통해 파악한 자재 사용량과 자재별 탄소배출계수, 그리고 자재의 단위와 탄소배출계수의 기준단위를 일치시키기 위한 단위환산계수를 곱하여 산정한다.

- 시공단계 탄소배출량
= $\sum(\text{투입자재 CO2 배출량}) + \sum(\text{장비사용 CO2 배출량})$
- 장비사용 탄소배출량
= 장비 사용시간(hr) x 시간당 에너지 사용량(L/hr, kWh/hr) x 에너지원별 탄소 배출
계수(톤 CO₂e/L, 톤 CO₂e/kWh)
- 투입자재 탄소배출량
= 자재사용량(자재단위) x 단위환산 계수(기준단위/자재단위) x 자재별 탄소 배출계수
(톤 CO₂e/기준단위)



해설 2. 신재생에너지

신재생 에너지는 신에너지와 재생 에너지를 합쳐 부르는 말이다. 신에너지에는 연료 전지, 석탄 액화 가스화, 수소 에너지 등이 있고, 재생 에너지에는 태양광, 태양열, 바이오매스, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열 등이 있다. 신재생 에너지는 자연적인 제약이 크고 화석 에너지에 비해 경제적 효율성이 떨어지지만, 환경 친화적이면서 화석 에너지의 고갈 문제와 환경오염 문제를 해결할 수 있다. 신재생 에너지는 유가의 불안정과 기후 변화 협약의 규제 대응 등으로 그 중요성이 점차 커지게 되었다. 국내 철도산업에서도 신재생에너지 에너지 도입사례는 점차 증가하고 있으나, 아직까지는 태양광, 풍력, 지열 등에 한해서 부분적으로 적용되고 있다.

(1) 태양광

태양 빛을 태양전지를 이용해 전기 에너지를 생산하는 방식으로, 철도노반 시설에 적용 가능한 범위는 지상 역사건물, 현장 가설사무실, 승강장 흙지붕, 토공 비탈면, 방음판 등이다.

(2) 풍력

공기의 유동이 가진 운동에너지를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키는 방식으로, 선로변 소형 풍력 발전장비, 풍력 가로등 등이 있다.

(3) 지열

지하의 증기나 고온의 지하수로부터 열을 받아들여 발전하는 방식으로, 고온의 증기를 얻어 증기 터빈을 회전시켜 전력을 생산하는 방식으로, 승강장 및 선로 자동제설 시스템, 정거장 냉난방 설비 등이 있다.

(4) 유출지하수 활용

유출지하수 활용은 지하철·터널, 대형건축물 등의 지하공간을 개발할 때 자연스럽게 밖으로 흘러나오는 지하수를 활용하여 냉난방과 온수공급을 공급하는 방식으로, 열이 잘 전달되는 화강암 기반의 국내 지질 환경에 적합한 신재생에너지이다.

해설 3. 탄소저감형 건설재료

『탄소저감형 건설재료』란, 건설재료의 생산, 수송 및 유통, 사용, 폐기를 포함하는 전 생애주기에서 발생하는 LCCO₂ (Life Cycle CO₂)를 최소화하면서도 경제성을 확보한 건설재료를 말한다.

건설재료의 탄소저감 기술 범위는 원재료의 선정, 건설재료의 제조 및 사용, 건설재료의 폐기 단계에서 발생하는 CO₂ 발생 저감기술, 건설재료 제조 에너지 저감 기술, CO₂를 활용한 건설자재 제조기술, 폐기물 활용 건설재료 제조기술, 고성능 건설재료에 의한 자재 단열성능 향상, 구조물 에너지소비 저감 등을 포함한다. 국내 건설산업에서 적용되고 있는 대표적인 『탄소저감형 건설재료』에 대해 아래에 간략히 기술하였다.

1. 저탄소콘크리트(Low Carbon Concrete)

저탄소콘크리트는 시멘트 대체 혼화재로서 플라이 애시 및 콘크리트용 고로슬래그 미분말을 결합재로 대량 치환하여 제조된 삼성분계 콘크리트중 치환율이 50%이상, 70%이하인 콘크리트이다.(「KCS 14 20 01 콘크리트공사 일반사항」의 2.3 저탄소콘크리트)

저탄소콘크리트는 일반 콘크리트와 비슷한 수준의 강도를 가지나 제설염해 저항성 등 내구성 면에서는 더 우수하다. 특히, 겨울철 제설제 염분의 콘크리트 침투로 인한 부식현상으로 도로의 보수 비용이 꾸준히 증가할 수 있으나, 최근 개발된 저탄소콘크리트의 경우 내부 조직이 견고해 염분의 침투속도를 줄이는 효과가 있어, 일반 콘크리트 대비 수명이 약 4배 이상 증가된다.

또한 주 원료인 고로슬래그 가격은 기존 시멘트의 70% 수준으로, 고로슬래그를 활용하여 콘크리트를 제조 시 기존 콘크리트 보다 경제적으로도 유리한 것으로 평가된다.

- (1) 저탄소콘크리트는 혼화재 대량 사용에 따라 품질관리가 미흡할 경우 초기 강도발현 지연, 탄산화 저항성 감소 등 내구성 변동에 영향이 크므로 용도와 타설부위에 따라 단위 결합재량의 조정, 혼합비율 및 치환율 조정, 조강형 고성능 화학 혼화제 사용 등 별도의 조치 및 검토가 필요하다. 또한, 시공시 양생방법, 양생기간 및 마감재 코팅 등의 적절한 조치를 통해 콘크리트의 성능을 확보하여야 한다.
- (2) 저탄소콘크리트는 「KCS 14 20 01 콘크리트공사 일반사항」의 2.3 저탄소콘크리트 규정에 따라 설계기준강도 40 MPa 미만의 보통콘크리트 강도범위에 적용한다.
- (3) 기타 저탄소콘크리트에 관한 사항은 「KCS 14 20 01 콘크리트공사 일반사항」의 2.3 저탄소콘크리트 규정에 따른다.



2. GFRP(철근대체 유리섬유 보강근)

유리섬유는 유리로 된 극세 섬유로 이루어진 물질로 유리인 만큼 단열성이 뛰어나며 녹슬지 않는 소재다. 이 유리섬유를 활용해 만들어 철근 콘크리트의 철근을 대체하고 있는 재료가 유리섬유 강화폴리머(GFRP, Glass Fiber-Reinforced Polymer)다. GFRP는 유리섬유(Glass Fiber)를 주요 보강재로 해 다양한 수지를 감싸 가공한 복합 구조재다. 일반적으로 무게는 알루미늄보다 가볍고, 철보다 우수한 내식성과 내열성, 내부식성을 가지고 있다.

GFRP는 외부 콘크리트가 손상이 되더라도 내부 보강근인 GFRP의 강도는 유지되어 보수 작업도 철근 콘크리트에 비해 단순하게 처리할 수 있다. 무엇보다 철근을 생산할 때는 고철과 석회석 등을 사용하여 화석연료만큼이나 탄소를 배출하나, GFRP를 생산할 때는 고철이나 석회석이 필요하지 않아 탄소배출량을 절감할 수 있다. GFRP 보강근의 물리·역학적 특성에 상당한 영향을 미칠 수 있는 특성들은 미소한 부피, 섬유의 종류 및 품질, 매트릭스 수지, 섬유의 위치, 품질조절, 제작과정 등이 그 예이다. GFRP 보강근은 공학적 성능에 따라 각각 다른 품질로 구분되어 사용되어야 한다.

설계 목적에 따라 설계자는 GFRP 보강근의 공칭강도를 선택하여 적용할 수 있다. GFRP 보강근들의 탄성계수는 강도와 비슷하게 정해진다. 탄성계수의 최소값은 섬유의 형태에 따라 정해지며, 설계목적에 따라 엔지니어는 최소 탄성계수를 선택해야 한다.

3. 순환골재(recycled aggregate)

순환골재는 건설폐기물을 물리적 또는 화학적 처리과정 등을 통하여 순환골재 품질기준에 적합하게 만든 골재로, “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률” 제2조제7호의 규정에 적합한 골재를 말한다.

순환골재는 도로공사용, 건설공사용, 주차장 또는 농로 등의 표토용, 순환골재 재활용제품 제조용, 매립시설의 복토 등에 주로 사용된다. 순환골재로 활용하려면 기본적으로 유기이물질 함유량이 부피기준 1% 이하, 유해물질 함유기준 및 토양오염기준 이내여야 한다.

- (1) 순환골재 콘크리트에 사용되는 일반 골재 및 순환골재의 품질은 KS F 2527의 규격에 적합하여야 한다.
- (2) 순환골재 콘크리트의 제조에 있어서 순환골재의 최대 치수는 25 mm 이하로 하되, 가능하면 20 mm 이하의 것을 사용하는 것이 좋다.
- (3) 순환골재를 사용한 콘크리트의 설계기준압축강도는 27 MPa 이하로 하며, 서중 및 한중콘크리트를 제외한 특수콘크리트에는 사용하지 않는다.
- (4) 기타 순환골재에 관한 사항은 「KCS 14 20 21 순환골재 콘크리트」의 규정에 따른다.

해설 4. 수목의 탄소저장·흡수량 산정 방법과 훼손지 유형별 복원방안

탄소흡수원 복원방안 수립 시, 훼손지 유형별 복원방안과 탄소저장량·흡수량 산정방법은 “철도사업 탄소흡수원 복원을 위한 연구(2023.12, 국가철도공단)” 결과 및 “환경영향평가서등의 작성 등에 관한 안내서(2024, 환경부)” 등을 참조하며, 사업 계획 및 설계시에 적용할 수 있다.

(1) 훼손지 유형별 복원방안

철도 건설로 인해 훼손된 지역의 유형별 대체 복구 방법에 대해 아래에 간략히 기술하였다. 이외의 기본적인 일반사항은 국가철도공단(2012.12.15.) “철도설계지침 및 편람”의 KR A-07010 조정 일반사항, KR A-07020 조정 식재, KR A-07030 조정시설물 및 포장을 적용할 수 있다.

- ① 갱구부 : 갱구부의 계획 및 설계에서는 주변 수림대와 조화되도록 식생을 복원하되 되도록 탄소흡수수종을 선정하여 계획하며, 주변 지형과 터널 형태 등 조건변화에 대응할 수 있도록 계획한다.
- ② 생태통로 : 생태통로는 철도로 인한 단절된 생태계와 야생동물의 이동을 위한 인공시설물로 야생동물의 이동 및 서식지, 피난처 등의 역할을 고려하여 생태계 연결을 할 수 있도록 계획하고 장기적인 식재 패턴을 고려하여 탄소흡수 및 저장량이 많은 수종을 도입하도록 한다.
- ③ 정거장(광장) : 광장의 계획 및 설계에서는 되도록 탄소흡수 수종을 선정하여 계획하며, 장기적인 식재 패턴 방법보다는 경관적 측면을 고려하여 계획한다.
- ④ 정거장(주차장) : 주차장의 계획 및 설계에서는 주변 환경과의 전체적인 조화를 고려하며 탄소흡수수종을 선정하고 장기적인 식재 패턴 방법보다는 경관적 측면을 고려하여 계획하도록 한다.
- ⑤ 환기구 : 환기구의 계획 및 설계에서는 터널을 통과하는 차량 열차에 의해서 발생하는 오염물질 및 발생열로 인한 피해로부터 내성이 강한 수종과 생육환경이 국내의 혹독한 환경을 견딜 수 있는 수종으로 고려하며 특히 탄소흡수 및 저장량이 많은 수종으로 계획한다.
- ⑥ 작업구 : 작업구의 계획 및 설계에서는 외부에서 시각적으로 영향을 주지 않도록 최대한 차폐하도록 한다.
- ⑦ 터널종점 및 시점부 : 노출되는 콘크리트면은 열차안전운행에 지장이 없을 경우, 가능한 식생을 이용하여 피복한다.
- ⑧ 방재구난 진입로 : 방재구난구역 및 진입로의 계획 및 설계는 진입로 입구에 소방대 및 구조대가 선로의 출입구를 쉽게 찾을 수 있도록 하며 안내표지판 및 이정표가 수목 높이나 수관폭으로 인한 가려짐이 없어야 하며, 대피를 위한 유도식재 및 차폐식재를 고려하며 계획한다.



- ⑨ 교량하부 : 교량하부의 계획 및 설계는 차량 및 주민의 교량의 위험성을 경감시키기 위한 경관식재계획을 고려하며 장기적인 식재 형식보다는 경관적 측면을 고려하여 계획한다.

(2) 탄소저장량·흡수량 산정 방법

산림지의 교목에 한해 탄소저장량 및 흡수량을 검토할 수 있다. 훼손량 및 복원량 산정에 활용되는 자료로는 “철도사업 탄소흡수원 복원을 위한 연구(2023.12, 국가철도공단)”의 최종보고서 및 최종보고서의 부록으로 수록된 “철도사업에 따른 훼손지 복원 가이드”, “환경영향평가서등의 작성 등에 관한 안내서(2024, 환경부)”에 수록된 산정식 및 국립산림과학원에서 제공하는 수종별 표준 탄소흡수량을 활용할 수 있다.

RECORD HISTORY

Rev.0('22.12.12) 설계기준 신규 제정(기준심사처-4755, '22.12.12)

Rev.1('24.06.04) 상위기준(KDS 등)과 체계일치, 현행화 등 시행을 위한 건설기준 고도화
용역 검토사항 등을 반영한 KR CODE 체계 개편 및 개정(심사기준처-715호,
'24.06.04)

Rev.2('24.08.30) 철도사업 탄소흡수원 복원을 위한 연구용역('23.1~'23.12) 결과 반영(심사
기준처-2216, '24.08.30)