

건설산업의 성공적 탄소중립 추진 전략

2022. 10

이홍일

한국건설산업연구원

Construction & Economy Research Institute of Korea

<차 례>

요 약	i
제1장 서 론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 내용 및 방법	2
제2장 탄소중립 시대의 도래와 건설산업 환경변화	5
1. 우리나라의 탄소중립 시나리오와 녹색분류체계	5
(1) 추진 배경	5
(2) 우리나라 2050 탄소중립 시나리오	6
2. 탄소중립 추진에 따른 건설산업 파급효과	15
(1) 탄소중립 시나리오의 건설산업 파급효과	15
(2) 한국형 녹색분류체계의 건설산업 파급효과	24
(3) 생애주기관점 탄소중립 건물제도와 환경성적표지제도의 건설산업 파급효과	26
제3장 건설산업의 탄소배출 현황과 구조적 특징	29
1. 건설산업의 탄소배출 현황 및 구성	29
2. 건설산업의 에너지 소비 및 탄소배출 현황	30
(1) 건설산업과 건물운영 부문의 에너지 소비 현황	31
(2) 건설산업과 건물운영 부문의 에너지 소비 관련 탄소배출 현황	32
3. 건설산업의 탄소배출 구조와 원인	34
(1) 건설상품의 생애주기 단계별 탄소배출의 주요 원인	34
(2) 운영탄소(operational carbon)와 내재탄소(embodied carbon)의 구분	37
4. 건설상품의 전 생애주기 단계별 탄소배출 비중	39
(1) 산업연관표 활용 추정	39
(2) 국가 에너지 통계자료 활용 추정	40
(3) 실제 사례분석 연구	42
5. 건설상품 유형 및 공종별 탄소배출 비중	45
6. 소결	50

제4장 건설산업의 탄소배출 감축 전략방향 및 핵심적 감축방안	53
1. 건설산업의 탄소배출 감축 전략방향 및 핵심적 감축방안 도출	53
(1) 전략방향 및 핵심적 감축방안 도출 절차	53
(2) 생애주기 단계별 탄소배출 비중 고려한 핵심 단계 및 활동 파악	54
(3) 생애주기 단계별 탄소감축 방안의 건설산업 차원 특화 여부 평가	57
(4) 건설산업의 탄소배출 감축 위한 핵심적 감축방안 도출	63
2. 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안의 세부 내용	64
(1) 건축물 운영탄소 감축방안의 세부 내용	64
(2) 건설자재 내재탄소 감축방안의 세부 내용	74
(3) 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안의 세부 내용	81
제5장 건설산업 탄소배출 감축방안의 수행 주체 및 역할	91
1. 건설산업 탄소배출 감축방안 유형별 수행 주체	91
(1) 일반적 탄소배출 감축방안의 수행 주체	91
(2) 핵심적 탄소배출 감축방안의 수행 주체	91
(3) 소결	98
2. 건설산업 탄소배출 감축방안의 주요 수행 주체별 역할	98
(1) 정부의 역할	99
(2) 금융기관의 역할	104
(3) 설계·엔지니어링업체의 역할	104
(4) 자재생산기업의 역할	106
(5) 종합건설기업의 역할	108
(6) 발전기업의 역할	113
(7) 소결	115
참고 문헌	117
Abstract	119

<표 차례>

<표 II-1> 우리나라 정부의 2050 탄소중립 시나리오	7
<표 II-2> 향후 전원믹스 구성 변화 계획	9
<표 II-3> 향후 폐기물 감량 및 재활용 비율 목표	11
<표 II-4> 한국형 녹색분류체계의 정의 및 구축 목적	12
<표 II-5> 녹색경제활동의 3대 준수 원칙 및 적합성 판단 기준	12
<표 II-6> 한국형 녹색분류체계의 적용 단위별 활용 예시	14
<표 II-7> 한국형 녹색분류체계의 건설 관련 경제활동 분류 현황	15
<표 III-1> 건설산업과 기타 산업의 온실가스 배출 현황 및 구성비	29
<표 III-2> 우리나라 총 탄소배출량 대비 건축물의 탄소배출 비중	33
<표 III-3> 운영탄소와 내재탄소의 구분	38
<표 III-4> 산업연관표를 활용한 건축물 생애주기 단계별 탄소배출 비중 분석	39
<표 III-5> 건설산업의 생애주기 단계별 탄소배출 비중 분석	41
<표 III-6> 사례를 활용한 건축물 생애주기 단계별 탄소배출 비중 분석	43
<표 III-7> 교량 건설단계의 주요 분야 및 공종별 탄소배출 비중	45
<표 III-8> 건축물 및 인프라의 생애주기 단계별 탄소배출 비중	47
<표 III-9> 건축물 건설공사의 주요 공종별 탄소배출 비중	48
<표 III-10> 건축물 건설공사의 세부 공종별 탄소배출 비중	49
<표 IV-1> 생애주기 단계별 탄소배출 비중 고려한 핵심적 부분 평가	57
<표 IV-2> 생애주기 단계별 탄소감축 방안의 건설산업 차원 특화 여부 평가	62
<표 IV-3> 건설산업의 탄소배출 감축 위한 핵심적 감축방안 도출	64
<표 IV-4> 건축물의 에너지 효율 제고 위한 핵심 기술	66
<표 IV-5> 건축물 유형별 전 생애주기 탄소배출 사례분석	68
<표 IV-6> 기존 건축물의 개보수 필요성	72
<표 IV-7> 건축물 그린리모델링 사업의 지원 대상 및 기준	74
<표 IV-8> 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안의 내용	82
<표 IV-9> 모듈러 건축과 RC조의 생애주기 단계별 탄소배출 분석	84
<표 IV-10> 건설현장의 자동화 장비 및 스마트 기기 활용 통한 탄소배출 감축 사례	88

<표 V-1> 건설산업의 핵심적 탄소배출 감축방안의 수행 주체와 역할	97
<표 V-2> 한국형 녹색분류체계의 건설 관련 경제활동 분류 현황	100
<표 V-3> 한국형 녹색분류체계에 포함할 ‘저탄소 건설’ 활동 관련 판단기준(안)	103
<표 V-4> 종합건설기업의 시공단계 탄소배출 감축방안을 위한 역할	109
<표 V-5> 건축물 운영탄소 감축 위한 종합건설기업의 역할	111
<표 V-6> 건설자재의 내재탄소 감축 위한 종합건설기업의 역할	113
<표 V-7> 국가 탄소중립 전략에 포함된 2050년 에너지 전환 계획	114

<그림 차례>

<그림 II-1> 산업화 이전(1850~1900년) 대비 지구의 평균기온 변화	5
<그림 III-1> 건설산업의 온실가스 배출 현황 및 점유 비중	30
<그림 III-2> 주요 부문별 에너지 소비 및 탄소배출 비중	32
<그림 III-3> 건설상품의 생애주기 단계별 탄소배출의 주요 원인	34
<그림 III-4> 건축물의 내구연한에 따른 건설 및 운영단계의 탄소배출 비중 변화	44
<그림 III-5> 건축물 및 인프라의 탄소배출 현황	46
<그림 III-6> 주요 자재별 건설단계의 내재탄소 배출 비중	50
<그림 IV-1> 건설산업의 탄소배출 감축 전략방향 및 핵심적 감축방안 도출 절차	54
<그림 IV-2> 주거용 건물 단위면적당 난방 에너지사용량	67
<그림 IV-3> 제로에너지빌딩의 3가지 핵심기술 구성요소	69
<그림 IV-4> 기존 건축물의 탄소배출 감축 위한 개보수 vs. 재축의 선택 기준	73
<그림 IV-5> 이산화탄소 흡수하는 시멘트	78
<그림 IV-6> 아파트의 구조별 탄소배출량 비교	80
<그림 IV-7> 모듈러 건축공법의 탄소배출량 감축효과 분석 사례	83
<그림 V-1> Skanska의 EC3(Embodied Carbon in Construction Calculator) 분석 화면 ..	112

요약

제1장 서론

- 본 연구에서는 2021년 10월 정부의 ‘2050 탄소중립 시나리오’ 발표로 가시화된 향후 건설산업의 환경변화를 분석하고, 더 나아가 건설산업의 탄소중립 성공을 위한 전략방향과 핵심적 감축방안을 도출하고자 함.
- 본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같은 3가지임.
 - 첫째, 향후 국가적인 탄소중립 추진이 건설산업에 미칠 파급효과를 건설기업 측면을 감안해 파악하고자 함.
 - 둘째, 향후 탄소중립 시대에 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위한 전략방향과 핵심적인 탄소배출 감축방안을 도출하고자 함.
 - 셋째, 향후 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축을 위해 건설기업, 자재생산기업, 정부 등 주요 관련 주체들의 역할과 협업 구조에 대해 살펴보고자 함.

제2장 탄소중립 시대의 도래와 건설산업 환경변화

1. 우리나라의 탄소중립 시나리오와 녹색분류체계

- 교토의정서에 이어 新기후체제인 파리협정의 2016년 11월 발효 이후 선진국뿐 아니라 개도국도 참여해 2020년까지 자발적으로 장기적인 저탄소 발전 목표와 전략을 수립해 이행해야 하는 상황이 전개되었음.
- 이에 따라 우리나라 정부도 2020년 10월에 2050년까지 탄소중립 달성을 선언했고, 그해 12월 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 발표했으며, 이후 후속작업으로 시나

리오 수립을 추진해 2021년 10월 ‘2050 탄소중립 시나리오’를 발표했다.

- 동 시나리오는 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 1.5°C 특별보고서를 토대로 모든 국가가 2050년 탄소중립을 추진한다는 전제 하에 2050년 탄소 순배출량 제로(0)를 목표로 설정하였음.
- 특히 2021년 10월 발표한 2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC)는 2018년 온실가스 총배출량 대비 40% 감축으로, 기존 26.3%에서 대폭 상향했음.

- 2050 탄소중립 시나리오의 부문별 내용 중 건설산업과 건설기업에 영향이 큰 것은 에너지 전환 부문, 산업 부문, 건물 부문, 폐기물 부문임.

- 에너지 전환 부문은 화력발전 대폭 축소 및 재생에너지·수소 기반 발전 확대 방향을 수립했는데, 특히 2050년까지 석탄발전을 중단하기로 했음.
- 산업 부문에서는 철강 공정에서의 수소환원제철 방식을 도입하고, 시멘트·석유·화학·정유 과정에 투입되는 화석 연·원료를 재생 연·원료로 전환해야 함.
- 건물 부문에서는 제로에너지 건축물, 그린리모델링 확대 등을 통한 건축물의 에너지 효율 향상, 고효율 기기 보급, 스마트에너지 관리 등을 통해 탄소배출량을 감축을 계획함.
- 폐기물 부문에서는 온실가스 발생 폐기물의 소각, 매립량 감축을 목표로 하고, 건설폐기물의 경우 지속적으로 높은 재활용률을 유지하는 것을 목표로 함.

- 정부는 탄소중립 시나리오 발표에 이어 탄소중립과 연계된 녹색금융 활성화를 촉진하기 위해 2021년 12월 30일 ‘한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy) 가이드라인’을 발표했다.

- 건설산업의 경우 제로에너지 특화 도시개발·운영, 제로에너지 건축물 또는 녹색건축물 신규 건설 및 리모델링, 건축물 관련 온실가스 감축 설비·인프라 구축·운영, 저탄소 인터넷 데이터 센터 구축·운영 등 4가지 경제활동이 포함됨.

2. 탄소중립 시나리오 및 녹색분류체계의 건설산업 파급효과

- 에너지 전환 부문 시나리오의 건설산업 파급효과
 - 에너지 전환 부문의 탄소배출 감축 시나리오에 따라 향후 화석연료 사용 발전 플랜트 시장의 위축이 불가피함. 반면, 에너지 전환 시나리오에 따라 신재생 에너지 관련 발전플랜트 시장은 지속적 성장이 예상됨.
 - 에너지 전환을 위해 배출권거래제 강화, 탄소비용의 전기요금 반영을 추진하므로 향후 건설기업의 에너지 비용 증가, 건설상품 총생애주기상의 에너지 비용 증가가 예상됨.

- 산업 부문 시나리오의 건설산업 파급효과
 - 국내 산업 중 발전산업을 제외하고 탄소를 가장 많이 배출하는 시멘트, 철강 산업의 탄소중립 추진에 따라 향후 중장기적으로 건설원가 상승이 가능함.
 - 탄소배출 저감 자재 공급 철강업체와 협력관계 강화 및 그린조달 필요성이 증가하고, 슬래그 등 대체원료를 투입한 시멘트 활용비율의 확대가 필요함.

- 건물 부문 시나리오의 건설산업 파급효과
 - 건물 부문의 탄소배출 감축 시나리오에 따라 향후 저탄소배출 건설상품의 점진적 성장이 예상되며, 국내 건설기업의 전략적 대응이 필요함.
 - 향후 제로에너지빌딩 인증 대상 확대, 2050년까지 신축 건축물의 1등급 100% 달성 등에 따라 향후 제로에너지 건축물 건설시장의 지속적 증가가 전망됨.
 - 그린리모델링이 향후 민간 부문으로 확대될 것으로 보이며, 이 경우 그린리모델링 시장의 성장이 예상됨.
 - 건설기업은 전 생애주기 관점 저탄소 건설상품의 솔루션 제공 역량 강화 필요

- 폐기물 부문 시나리오의 건설산업 파급효과
 - 건설현장의 건설폐기물, 생활쓰레기 감축과 더불어 2019년 기준 98.9%인 건설

폐기물 재활용률의 지속적 유지가 필요함.

- 한국형 녹색분류체계의 건설산업 파급효과

- 한국형 녹색분류체계는 단기적으로 녹색채권 등 녹색금융의 제공 기준으로 활용되고, 중장기적으로 기업 공시, 신용평가 등의 기준에 활용될 전망이다.
- 건설기업은 단기적으로 한국형 녹색분류체계에 포함된 4가지 경제활동과 관련해 녹색금융지원 혜택을 받을 수 있으나, 중장기적으로 녹색분류체계가 기업 단위에 적용될 경우 4가지 경제활동 관련 매출을 늘려야 하는 부담이 발생

제3장 건설산업의 탄소배출 현황과 구조적 특징

1. 건설산업의 탄소배출 현황 및 구성

- McKinsey & Company(2021)의 자료에 의하면, 건설산업은 건설상품의 전 생애주기에 걸쳐 연간 약 13.7기가톤(GtCO₂eq)의 온실가스를 배출함.
 - 온실가스 중 이산화탄소가 12.1기가톤(GtCO₂eq)으로 대부분인 88.3%를 차지하고, 기타 온실가스는 1.6기가톤(GtCO₂eq)으로 11.7%에 불과함.
 - 이산화탄소는 6대 온실가스 중 지구온난화의 주범으로 지목받았으며, 탄소중립의 주요 대상인데, 건설산업은 전 세계 이산화탄소의 36.9%를 배출함.

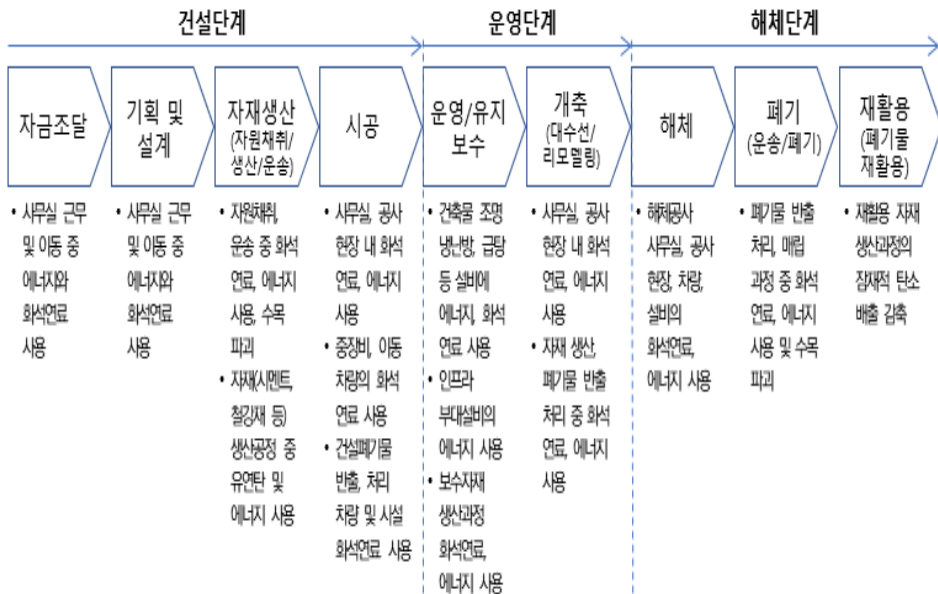
2. 건설산업의 에너지 소비 및 탄소배출 현황

- 이산화탄소는 대부분 화석연료를 활용한 에너지 생산과정에서 배출되는데, 세계 건축 및 건설연맹 보고서에 따르면 건설산업은 2020년 기준 전 세계 에너지 생산과 관련한 이산화탄소 배출의 47%를 차지해 상당한 수준임.
 - 세부적으로 자재생산 과정을 포함한 건설단계에서 전 세계 에너지 생산 관련 이산화탄소의 20%를 배출하고, 건물 운영단계에서 27%를 배출함.

- 주거용 건물 운영에서 17%(직접 배출 6%, 간접 배출 11%), 비주거용 건물 운영에서 10%(직접 배출 3%, 간접 배출 7%)의 이산화탄소를 배출함.

3. 건설산업의 탄소배출 구조와 원인

- 국내 건설산업이 효과적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 건설산업이 탄소를 배출하는 구조적 원인을 파악하는 것이 중요한데, 생애주기 단계별로 세부적인 탄소배출 원인을 살펴보면 다음과 같음.



- 건설산업의 탄소배출을 생애주기 단계가 아닌 운영탄소(operational carbon)와 내재탄소(embodied carbon)로 구분할 수도 있음.
- 운영탄소는 건설상품 준공 후 운영단계에서 에너지 및 화석연료 사용을 통해 직간접적으로 배출된 탄소를 말하는데, 주로 건축물의 냉난방, 조명 사용 과정에서 배출됨.

- 내재탄소는 건설자재 생산과정을 포함한 건설단계, 개보수과정, 해체과정에서 배출된 탄소를 운영탄소를 제외한 모든 탄소를 포함함.

4. 건설상품의 전 생애주기 단계별 탄소배출 비중

- 건설상품의 전 생애주기 단계별로 탄소배출 비중을 비교, 분석한 선행연구들을 살펴본 결과, 연구 결과마다 편차가 있지만, 대체적으로 건설단계에서 30% 내외, 운영단계에서 70% 내외의 탄소가 배출됨.
 - 해체/폐기단계에서는 2% 내외의 탄소가 배출되는 것으로 분석되는데, 해체된 폐기물의 재활용을 통해 약 0~2%의 탄소배출을 감축할 수 있는 것으로 분석됨.

5. 건설상품 유형 및 공종별 탄소배출 비중

- 건설상품의 유형별로는 건축물의 전 생애주기에 걸친 탄소배출량이 인프라 시설의 전 생애주기에 걸친 탄소배출량보다 약 9배 더 많은 것으로 분석됨.
 - 건축물의 탄소배출량이 인프라 시설보다 9배나 더 많은 원인은 운영단계에서 건축물의 탄소배출이 인프라 시설에 비해 약 940배나 더 많기 때문임.
- 건설공사의 공종별 탄소배출 비중과 관련해서는 건축물 공사의 경우 건축공사가 약 80~85%, 토목공사가 약 3~5%, 이외 설비공사 등이 약 12~15%의 탄소배출 비중을 차지하는 것으로 분석됨.
 - 세부 공종별로는 철근콘크리트공사, 미장공사가 각각 20% 이상을 차지하는 것으로 분석됨.
- 주요 건설자재별로 탄소배출 비중은 건축물 공사의 경우 레미콘 약 70%, 철골 약 5%로 시멘트 투입량이 많은 레미콘에서 가장 많은 탄소가 배출되는 것으로 분석됨.

제4장 건설산업의 탄소배출 감축 전략방향 및 핵심적 감축방안

1. 건설산업의 탄소배출 감축 전략방향 및 핵심적 감축방안 도출

- 건설산업의 탄소배출 감축을 위한 전략방향은 첫째로 건설산업의 전 생애주기 단계 및 단계 내 세부 과정/활동 중 탄소배출 비중이 높은 부분에 탄소배출 감축을 추진해 탄소배출 감축효과를 제고한다는 것임.
- 둘째로는 탄소배출 감축방안 중 건설산업 차원에서 특화해 전략적 추진 필요성이 큰 감축방안에 집중한다는 것임.

전략방향

전략방향 1

- 전 생애주기 단계 내 세부 활동 중 탄소배출 비중이 높은 활동의 탄소배출 감축에 집중 → 탄소 감축효과 극대화

전략방향 2

- 전 생애주기 단계별 탄소배출 감축방안 중 건설산업 차원에서 특화해 전략적 추진 필요성이 큰 감축방안에 집중

핵심적 감축방안 도출 절차

탄소배출 감축효과 평가

- 전 생애주기 단계 및 단계 내 세부 활동별 탄소배출 비중 평가 → 탄소배출 감축효과 평가

건설산업 차원 특화된 방안 여부 평가

- 전 생애주기 단계별 탄소배출 감축방안에 대한 건설산업 차원 특화된 방안 여부 평가

- 생애주기 단계별 탄소배출 비중을 기초로 탄소배출 감축효과를 평가한 결과, 건설단계의 건설자재 생산 관련 내재탄소 감축과 운영단계의 건축물 운영탄소 감축이 중요한 부분으로 판단되었음.

단계		탄소배출 비중	중요성 평가
건설단계	자금조달 및 기획/설계	1% 미만	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재 생산 관련 내재탄소 감축이 중요
	자재생산	15~35% 수준	
	시공	2~8% 수준	
운영단계	운영	65% 내외 (건축물 70% 내외, 인프라 5% 내외)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건축물 운영단계의 운영탄소 감축이 중요
	개보수	2~3% 수준	
해체단계	해체	3% 내외	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소배출 비중 관점에서 중요성 미흡 ▪ 단, 폐자재 재활용 통해 내재탄소 감축이 가능한 유일한 단계
	폐자재 재활용	△0~2% 수준	

- 건설산업 차원의 특화 여부 평가 결과, 자재생산 관련 내재탄소 감축방안, 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용방안, 운영단계의 건축물 운영탄소 감축방안과 해체단계의 폐기물 재활용 방안이 건설산업에 특화된 감축방안들이었음.
- 결국 건설산업의 탄소배출 감축을 위한 핵심적인 감축방안은 자재생산 관련 내재탄소 감축방안과 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용방안, 건축물 운영탄소 감축방안으로 판단되었음.

단계	탄소배출 감축효과 평가 결과 감안 핵심적 감축방안	건설산업 특화 여부 평가 결과 감안 핵심적 감축방안	최종 핵심적 감축방안 도출 결과
건설단계	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재의 내재탄소 감축 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재의 내재탄소 감축 ▪ 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소배출 감축효과도 크고, 건설산업에 특화된 핵심적 감축방안 : 건설자재의 내재탄소 감축방안, 건축물 운영탄소 감축방안 ▪ 탄소배출 감축효과는 작지만, 건설산업에 특화된 핵심적 감축방안 : 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용, 폐자재 재활용 방안
운영단계	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건축물 운영탄소 감축 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건축물 운영탄소 감축 	
해체단계	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해체 이후 폐자재 재활용 	

2. 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안의 세부 내용

(1) 건축물 운영탄소 감축방안의 세부 내용

- 건축물의 운영탄소를 감축하는 방안은 건축물의 에너지 효율을 개선하는 방안과 건축물이 사용하는 에너지의 탈탄소화를 추진하는 방안으로 구분됨.
- 첫째로 건축물의 에너지 효율을 개선하는 방안은 패시브(passive) 및 액티브(active)기술을 활용해 건축물의 에너지 효율을 제고하는 방안임.
 - 사례분석 결과, 패시브주택의 경우 기존 건축물에 비해 내재탄소는 더 많이 배출되나, 준공 후 운영단계의 운영탄소 배출이 급감해 전 생애주기에 걸친 탄소배출량이 결국 가장 적은 것으로 분석되었음.

구분	내용
패시브(passive) 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 목표 : 건축물의 냉난방 에너지 요구량 자체의 최소화 ▪ 사례 : 자연환기, 자연채광, 기밀강화, 고성능창문(창호), 외부차양, 외단열
액티브(active) 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 목표 : 설비의 에너지 소비량 최소화 ▪ 사례 : 고효율 보일러, LED조명, 동작인식 조명 등 고효율 기기 및 설비, 폐열 회수 환기장치, 건물에너지관리시스템

- 둘째로 건축물이 사용하는 에너지의 탈탄소화 방안은 건축물에 태양광 발전시설, 지열활용 시설 등 신재생에너지 관련 시설을 설치해 활용함으로써 건축물의 직간접적인 에너지 사용 및 연료 사용을 최소화하는 방안임.
- 이상과 같은 두 가지 방안은 건축물을 신축할 때뿐만이 아니라 기존 건축물을 개보수(그린리모델링)할 때도 적용할 필요가 있음.
 - 이는 탄소배출 감축을 위해 기존 건축물의 대부분이 개보수가 필요한 상황인

데, 기존 건축물을 재축할 경우 운영탄소 감축은 가능하나, 내재탄소가 상당량 배출되기 때문이다.

<기존 건축물의 개보수 필요성>

구분	내용
기존 건축물의 운영탄소 배출 과다	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 건축물의 운영탄소 감축은 탄소중립 달성 위해 핵심적 사항 중 하나 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 기존 건축물의 운영탄소 배출이 전 세계 에너지 생산 관련 탄소배출의 약 30% 차지 ▪ 탄소중립 달성 위해 기존 건축물 대부분이 에너지 효율 제고 위한 개보수 필요 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 현재 대부분의 건축물이 탄소중립 달성을 위한 에너지 효율등급 규제가 적용되지 않음 ▷ 예를 들어 EU의 경우 탄소중립 달성 위해 2010년 기준 건축물의 97%가 개보수 필요 ▪ 에너지 효율이 낮은 기존 건축물 잔존수명 동안 운영탄소 배출이 매우 많을 전망 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 건축물 수명이 30~100년임을 감안할 때 에너지 효율이 낮은 기존 건축물이 배출하는 탄소가 향후 상당 기간 동안 지속 가능 ▷ 유럽의 경우 2050년 기준 건축물 재고의 약 80%는 현재 존재하는 건축물로 추정
재축 시 내재탄소 배출 과다	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 건축물의 재축 통해 운영탄소 감축 가능하나, 내재탄소 상당량 배출 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 재축 시 개보수보다 더 많은 운영탄소 감축 가능 ▷ 단, 재축 시 개보수와 달리 시멘트, 철강재 등 탄소 배출이 많은 자재 투입으로 내재탄소 배출 → 건설단계 내재탄소는 전 생애주기 배출 탄소의 약 30% 차지하는 상당량 ▷ 결국 총량적 탄소배출 감축 측면에서 재축보다 개보수가 더 유리한 경우 많음

(2) 건설자재 내재탄소 감축방안의 세부 내용

- 건설자재의 내재탄소 감축방안은 세부적으로 탄소배출 저감형 자재의 생산·활용 방안과 탄소배출 자재의 사용 최소화 방안으로 구분해 볼 수 있음.
- 탄소배출 저감형 건설자재의 생산 및 활용 비중을 높이기 위해서는 자재생산기업의 기술개발 및 공정혁신이 선행되어야 하는데, 탄소배출 비중이 가장 높은 시멘트와 철강재 생산기업의 기술개발 및 공정혁신이 필요함.
 - 철강재의 탈탄소화 : 전기로 비중 확대, 철근·형강은 에너지 전환 통한 간접적 배출 감축 필요
 - 시멘트의 탈탄소화 : 원료전환(슬래그 등) 및 연료전환 통한 탄소배출 감축
 - 기타 자재 탈탄소화 기술개발 : 슈퍼콘크리트, 이산화탄소 흡수 시멘트 등

- 내재탄소를 감축하기 위해서는 탄소배출 저감형 건설자재를 생산·활용과 더불어 탄소배출 자재의 사용량 자체를 최소화하는 방안의 추진도 필요함.
- 세부적으로 탄소배출 자재 투입량의 최소화를 위한 구조형식/설계 지향, 건설상품의 장수명화 유도, 재활용 자재 사용방안 등이 있음.

(3) 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안의 세부 내용

- 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안은 세부적으로 5가지 세부적 방안으로 구분해 볼 수 있음.

구분	내용
탄소배출 저감형 공법 도입·활용	<ul style="list-style-type: none"> - 건설기업이 시공단계에서 탄소배출 저감형 공법 도입·활용 <ul style="list-style-type: none"> • 모듈러 건축공법의 경우 RC조와 같은 전통적 공법에 비해 약 30% 이상 탄소배출 감축효과 발생 • BIM(Building Information Modeling), 프리팹(Prefab) 방식도 건설공사의 생산성 향상과 더불어 탄소배출 감축효과도 일부 발생
탄소배출 저감형 건설자재 및 재활용 자재 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 건설기업이 시공단계에서 탄소배출 저감형 자재 조달해 사용 <ul style="list-style-type: none"> • 탄소배출 저감형 건설자재 생산기업과 협력관계 강화 후 그린조달 비중 상향 조정 • 예시 : 고로슬래그 활용한 탄소저감형 시멘트 사용비율 확대 - 건설기업이 시공단계에서 재활용 자재 조달해 사용 <ul style="list-style-type: none"> • 사례연구 결과, 폐자재 재활용 통해 약 2%의 탄소배출 감축 가능 • 예시 : 페콘크리트 사용
탄소배출 저감형 건설기계 및 장비 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 건설기업이 시공단계에서 탄소배출 저감형 건설기계 및 장비 사용 <ul style="list-style-type: none"> • 건설기계에서 배출되는 이산화탄소는 건설산업 전체 이산화탄소 배출량의 약 1~2% 수준 • 예시 : 전기 굴착기와 수소연료전지 굴착기 등 친환경 건설기계 • 친환경 건설기계와 더불어 자동화 장비, 스마트 기기 등을 도입해 활용할 경우 시공단계에서 탄소배출 추가 감축 가능
건설현장의 사무소 및 차량의 탈탄소화	<ul style="list-style-type: none"> - 건설현장 사무소 및 차량의 탈탄소화 추구 <ul style="list-style-type: none"> • 냉난방설비 에너지 효율 개선 및 절약(온도준수 등) • 저에너지 현장사무소 사전 제작 및 재사용 : 태양광 패널이 설치되고, 단열재가 보강되어 사전 제작된 이동식 사무실 제작 및 재사용
건설폐기물 감축	<ul style="list-style-type: none"> - 건설폐기물 분리 배출 : 재활용품, 생활쓰레기 분리 배출 - 건설폐기물의 재활용 <ul style="list-style-type: none"> • 건설폐기물의 재활용 수준은 2019년 기준으로 이미 98.9% 수준으로 높은 편인데, 건설폐기물의 지속적 재활용 추진

제5장 건설산업 탄소배출 감축방안의 수행 주체 및 역할

1. 건설산업 탄소배출 감축방안 유형별 수행 주체

- 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안은 각 생애주기 단계별 관련 주체들과 더불어 해당 생애주기 단계 밖의 다양한 주체 간 협업을 통해 성공적으로 이행할 수 있음.
- 건축물 운영탄소 감축방안의 경우 건축물의 발주자 및 소유자 외에 제로에너지빌딩 등 운영탄소 감축에 적합한 건축물 시공을 위해 설계업체, 자재생산기업, 건설기업의 역할과 협업도 필요함.

수행 주체	역할
설계·엔지니어링업체	<ul style="list-style-type: none"> ■ 건축물 에너지 효율 수준에 영향 미치는 설계 요소 결정 ▷ 단열재 종류와 단열 수준, 창호 종류 및 기밀 수준 등 ■ 건축물 사용 에너지 및 연료 탈탄소화 위한 설계 요소 결정 ▷ 태양열 및 지열 에너지 활용 설비 등 재생에너지 사용 설비 및 수준 결정
자재생산기업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 운영탄소 감축에 적합한 건축물 위한 건설자재 생산 및 품질·원가개선 ▷ 패시브주택, 제로에너지건축물 등의 벽체 단열재, 단열 및 기밀 창호시스템 등 ■ 건축물 사용 에너지 및 연료 탈탄소화 위한 기자재 생산(태양광 패널 등)
종합건설기업	<ul style="list-style-type: none"> ■ 운영탄소 감축에 적합한 건축물(제로에너지건축물 등)의 시공 담당 ■ 가치사슬 전체에 걸쳐 운영탄소 저감 건축물 생산 및 공급 위한 주도적 역할 ▷ 운영탄소 저감 건축물의 생산 및 공급 위한 종합적인 솔루션의 발주자 제공 역할 ▷ 운영탄소 저감 건축물 생산 위한 설계업체, 기자재업체 등 다양한 협력업체와 네트워크 구축 및 운영
정부·금융기관	<ul style="list-style-type: none"> ■ 건축물 운영탄소 감축 위한 제도적 지원과 금융조달 지원 ▷ 정부 : 녹색분류체계에 건축물 운영탄소 감축방안 반영, 제로에너지건축 인증제도 등 친환경 인증제도의 보완 등 ▷ 금융기관 : 녹색경제활동 대상 원활한 자금조달 지원

- 건설자재의 내재탄소 감축방안도 마찬가지로 탄소저감형 자재생산을 위한 자재생산기업의 기술 및 공정혁신 외에 설계업체의 해당 자재 설계반영, 건설기업의 해당 자재 조달 등과 같은 간접적인 역할과 협업이 필요함.

수행 주체	역할
설계·엔지니어링업체	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재 내재탄소 감축에 영향을 미치는 설계 요소 결정 ▷ 탄소저감형 자재, 재활용 자재의 투입 여부 및 수량, 시멘트 등 탄소배출 자재의 투입량에 영향 미치는 구조형식 등 ▪ 내재탄소 감축에 중요한 건설상품의 장수명화 역시 설계단계에서 설계수명 결정
자재생산기업	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재 내재탄소 감축방안의 직접적 수행 주체 ▷ 기술개발 및 공정혁신 통한 탄소배출 저감형 자재 생산
종합건설기업	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소배출 저감형 자재생산기업과의 협력관계 구축 및 그린조달 ▪ 가치사슬 전체에 걸쳐 건설자재 내재탄소 감축 위한 주도적 역할 수행 ▷ 전 생애주기와 가치사슬 상에서 내재탄소 발자국을 추적하고 관리할 수 있는 툴(tool)을 활용해 내재탄소 감축 위한 최적 솔루션 제공 역할
정부·금융기관	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재 내재탄소 감축 위한 제도적 지원과 금융조달 지원 ▷ 녹색분류체계에 시멘트, 철강재 등 건설자재 생산기업의 탄소저감 활동 반영, 기술 및 공정혁신 위한 연구개발 지원 등

- 탄소배출 저감형 건설방식 역시 설계업체, 자재생산기업, 발주자 등의 간접적 역할과 협업이 필요함.

수행 주체	역할
설계·엔지니어링업체	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소배출 저감형 건설방식 적용 위한 설계 요소 결정 ▷ 모듈러 건축공법 등 탄소배출 저감형 건설공법에 최적화된 구조형식, 투입자재 종류 및 형태, 시공방식 및 절차 등
자재생산기업	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소배출 저감형 건설방식(OSC 등)에 적합한 자재의 생산과 사전제작 ▷ 모듈러 시공에 적합한 자재 생산, 주요 부위의 사전제작 등
종합건설기업	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소배출 저감형 건설방식의 도입·활용방안의 직접적 수행 주체 ▷ 가치사슬 전체에 걸쳐 탄소배출 저감형 건설방식 활용 위한 주도적 역할 수행
정부·금융기관	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소배출 저감형 건설방식 적용 위한 제도적 지원과 금융조달 지원 ▷ 녹색분류체계에 탄소배출 저감형 건설방식('저탄소 건설') 반영

2. 건설산업 탄소배출 감축방안의 주요 수행 주체별 역할

- 건설산업의 핵심적 탄소배출 감축방안의 수행을 위해 종합건설기업의 역할이 중요한데, 우선 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용을 위한 역할은 다음과 같음.

역할	세부 내용
현장시설 에너지 효율화·절약	냉난방설비 에너지 효율 개선 및 절약(온도준수 등), 태양광판넬 설치, 저에너지 현장사무소 사전 제작 및 재사용(태양광판넬, 단열재 보강 등이 된 이동식 사무실 제작 및 다수 현장 재사용)
탄소배출 저감형 건설방식 적용	PC공법, 모듈러 등 OSC공법 적용, 기타 저에너지 시공법 개발·적용
건설폐기물 감축	건설폐기물 분리 배출(재활용품, 생활쓰레기 분리), 건설폐기물 재활용 시도

- 건축물의 운영탄소 감축방안을 위한 종합건설기업의 역할은 다음과 같음.

역할	세부 내용
탄소배출 저감 건설상품 솔루션 제공 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소저감 건설상품별(저에너지빌딩 등)의 투입 자재 DB 구축 및 관련 생산업체 네트워크 확보 ▪ 탄소저감 건설상품의 핵심 설계·엔지니어링 역량 사내 보유 혹은 자회사 확보 ▪ 협력업체와 탄소저감 건설상품 투입 자재 공동 개발 및 기술개발 지원 ▪ 탄소저감 건설상품 핵심 자재의 대체 자재 및 생산업체 지속 발굴 ▪ 탄소저감 건설상품 핵심 자재 기술보유 기관·벤처기업 등과 협력관계 구축 및 지원

- 건설자재의 내재탄소 감축방안을 위한 종합건설기업의 역할은 다음과 같음.

역할	세부 내용
탄소배출량 감축 자재 구매 비중 확대	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 저탄소 자재생산 업체 및 탄소감축 기술 보유 업체와 네트워크 강화 통한 탄소배출량 감축 자재구매 비중 확대(슬래그 시멘트, 저탄소 콘크리트 등) ▪ 고탄소 건설자재의 대체 자재·공법 지속 발굴 ▪ 협력업체와 탄소감축 자재 개발을 위한 협업 및 기술개발 지원 ▪ 탄소감축 기술 보유 기관·벤처기업 등과 협력관계 구축 및 지원
내재탄소 감축 솔루션 제공 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재 탄소발자국(carbon footprint) DB 구축 ▪ 탄소발자국 DB 활용 건설상품 및 생애주기 단계별 탄소배출량 시뮬레이션 모델 구축(예시 : Skanska사의 EC3모델)

- 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안들이 향후 원활히 추진될 수 있도록 정부의 규제 완화와 지원제도의 정비도 매우 중요함.

- 특히 한국형 녹색분류체계에 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안들이 모두 포함되어 동 방안들에 원활한 금융조달 지원이 필요함.

· 현재 한국형 녹색분류체계에 건축물의 운영탄소 감축방안, 건설자재 내재탄소 감축방안은 포함되어 있으나, 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안은 포함되어 있지 않아 향후 ‘저탄소 건설’ 활동의 포함이 필요함.

- 종합건설기업, 정부 외 시멘트, 철강재 등 자재생산기업의 탄소저감형 자재 생산, 발전기업의 에너지 전환을 통한 건설단계 및 운영단계의 간접적 탄소배출 감축 등도 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축을 위해 중요함.

1. 연구의 배경 및 목적

교토의정서에 이어 新기후체제인 파리협정의 2016년 11월 발효 이후 선진국뿐 아니라 개도국도 참여해 2020년까지 자발적으로 장기적인 저탄소 발전 목표와 전략을 수립해 이행해야 하는 상황이 전개되었다. 이에 따라 우리나라 정부도 2020년 10월에 2050년까지 탄소중립 달성을 선언했고, 그해 12월 ‘2050 탄소중립 추진전략’을 발표했으며, 이후 후속작업으로 시나리오 수립을 추진해 2021년 10월 ‘2050 탄소중립 시나리오’를 공개했다.

동 시나리오는 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 1.5℃ 특별보고서를 토대로 모든 국가가 2050년 탄소중립을 추진한다는 전제 하에 2050년 탄소 순배출량 제로(0)를 목표로 설정하였다. 특히 2021년 10월 발표한 2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC)는 2018년 온실가스 총배출량 대비 40% 감축으로, 기존 26.3%에서 대폭 상향했다. 「탄소중립기본법」 제8조1항에서는 2030년 온실가스 배출량을 2018년 대비 35% 이상 감축하는 것으로 규정하고 있는데, 이보다 5%p 높은 도전적 목표를 설정한 것이다.

향후 탄소중립 시나리오가 본격 추진되면서 건설산업과 건설기업에 미칠 파급효과도 점차 증가할 전망이다. 특히 건설산업은 지구온난화의 주범으로 지목받으며, 탄소중립의 주요 대상인 이산화탄소의 약 50% 가까이를 배출하고 있어 탄소중립은 건설산업에 상당한 도전이 될 것으로 보인다. 2050 탄소중립 시나리오의 주요 부문별 내용을 살펴보면, 에너지 전환, 산업, 건물, 폐기물 부문의 시나리오 내용이 건설산업에 상당한 영향을 미칠 것으로 판단된다. 탄소중립 시나리오 외에도 탄소중립의 원활한 추진을 위해 발표된 한국형 녹색분류체계 역시 건설기업의 자금조달과 신용평가, 기업공시 등에 영향을 미칠 전망이다.

결국 향후 탄소중립으로의 환경 패러다임 변화가 불가피한 상황에서 개별 건설기업 차원의 탄소배출 저감을 위한 전략 수립 및 이행이 점차 중요해질 것이다. 해외 선진건설사들이 중장기적인 탄소중립 선언을 하기 시작한 가운데, 우리나라도 대형 건설기업

을 중심으로 탄소중립 달성을 매우 중요한 이슈로 인식하고, 대응전략을 모색해야 할 상황이다. 또한, 개별 건설기업 차원뿐 아니라 건설산업 차원에서도 건설산업의 탄소배출 현황과 원인을 정확히 분석하고, 탄소중립 달성을 위한 전략방향과 핵심적 탄소배출 감축방안들을 파악하는 것이 매우 중요하다. 왜냐하면 건설산업의 탄소중립 달성은 개별 건설기업 차원의 역할과 노력으로는 불가능하며, 건설상품의 전 생애주기에 걸쳐 관련된 설계·엔지니어링업체, 자재생산기업, 건설기업 등 다수 주체들의 역할과 협업이 필요하다. 더 나아가 정부와 금융기관, 발전기업 등의 간접적 역할 지원도 필요하다. 향후 건설산업의 성공적인 탄소중립은 이렇게 개별 건설기업과 더불어 산업 차원의 접근이 중요하다.

이에 따라 본 연구에서는 정부의 2050 탄소중립 시나리오 발표로 가시화된 향후 건설산업의 환경변화를 분석하고, 더 나아가 건설산업의 탄소중립 성공을 위한 전략방향과 핵심적 감축방안 도출하고자 한다. 본 연구의 구체적인 목적은 다음 3가지이다. 첫째, 향후 국가적인 탄소중립 추진이 건설산업에 미칠 파급효과를 건설기업 측면을 감안해 파악하고자 한다. 둘째, 향후 탄소중립 시대에 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위한 전략방향과 핵심적인 탄소배출 감축방안을 도출하고자 한다. 셋째, 향후 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축을 위해 건설기업, 자재생산기업, 정부 등 주요 관련 주체들의 역할과 협업 구조에 대해 살펴보고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구의 목적별로 연구의 주요 내용과 방법을 나열하면 다음과 같다. 첫째, 향후 국가적인 탄소중립 추진이 건설산업에 미칠 파급효과를 파악하기 위해서 제2장에서 구체적으로 정부의 2050 탄소중립 시나리오의 내용이 건설산업에 미칠 파급효과를 살펴보고자 한다. 아울러 탄소중립의 성공적 추진과 녹색금융 활성화를 위해 탄소중립 시나리오 발표에 이어 제시된 한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy)가 건설산업에 미칠 파급효과에 대해서도 살펴보고자 한다.

둘째, 향후 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축 전략방향과 핵심적 감축방안 도출을 위해 먼저 제3장에서 건설산업의 탄소배출 현황을 살펴보고, 이를 기초로 건설산업 탄소배출의 구조적 특징과 원인을 분석하고자 한다. 건설산업의 탄소배출 현황은 전 과정

평가(LCA)의 관점을 적용해 건설상품의 전 생애주기 단계별로 분석하고자 한다. 또한, 주요 건설상품별, 공정별, 자재별 탄소배출 현황과 특징도 살펴보고자 한다. 이러한 현황 분석을 기초로 건설산업 탄소배출의 구조적 특징과 원인을 분석하고, 이를 건설산업의 성공적 탄소배출 감축 전략방향과 핵심적 감축방안 도출에 참조하고자 한다. 그리고, 제4장에서는 건설산업 탄소배출의 구조적 특징과 원인 분석 결과를 참조하고, 또한 건설산업의 주요 탄소배출 감축방안들의 특징을 분석해 향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위한 전략방향과 핵심적인 방안을 도출하고자 한다.

셋째, 향후 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축을 위한 각 주체들의 역할과 협업 구조의 모색을 위해서 제5장에서 건설기업, 자재생산기업, 정부 등 주요 관련 주체들의 역할과 협업 구조에 대해 살펴보고자 한다. 향후 건설산업이 성공적으로 탄소중립을 달성하기 위해서는 건설기업 단독의 역할과 노력으로는 불가능하다. 자재생산기업들의 기술 및 공정혁신을 통한 자재생산 과정상의 탄소배출 감축과 정부의 적절한 지원제도, 금융기관의 금융조달지원, 더 나아가 발전기업들의 에너지 전환 등이 이뤄질 때 궁극적으로 건설산업의 탄소중립 달성이 가능하다. 따라서 제5장에서 향후 건설산업의 성공적 탄소중립 달성을 위한 각 주체들의 역할과 협업 구조에 대해서도 정리하고자 한다. 각 주체들의 역할을 정리하되, 건설산업의 핵심적인 감축방안별로 주요 주체들의 역할을 세부적으로 정리하고자 한다.

이상에서 살펴본 본 연구의 주요 내용 및 방법을 장별로 요약하면 다음 그림과 같다.

탄소중립 시대의 건설산업 환경변화 (제2장)

- 정부의 2050 탄소중립 추진전략 및 시나리오 개관
- 2050 탄소중립 추진전략 및 시나리오의 건설산업 파급효과 분석
- 한국형 녹색분류체계의 건설산업 파급효과 분석



건설산업의 탄소배출 현황과 구조적 특징 (제3장)

- 건설산업의 탄소배출 현황과 구조적 특징·원인 분석
- 전 생애주기 단계별 탄소배출 구조 분석
- 주요 건설상품별, 공정별, 자재별 탄소배출 현황·특징 분석



건설산업의 탄소배출 감축 전략방향 및 핵심적 감축방안 (제4장)

- 건설산업의 성공적 탄소배출 감축을 위한 전략방향 및 핵심적 탄소배출 감축방안 도출
- 핵심적 감축방안 도출 절차 : 전 생애주기별 탄소배출 비중 평가를 기초로 한 탄소배출 감축효과 평가, 탄소배출 감축방안들의 건설산업 차원 특화된 방안 여부 평가



건설산업 탄소배출 감축방안의 수행 주체 및 역할 (제5장)

- 건설산업의 성공적 탄소배출 감축을 위한 각 주체들의 역할 및 협업 구조 고찰
- 핵심적 탄소배출 감축방안별 각 주체들의 역할 및 협업 구조 정리

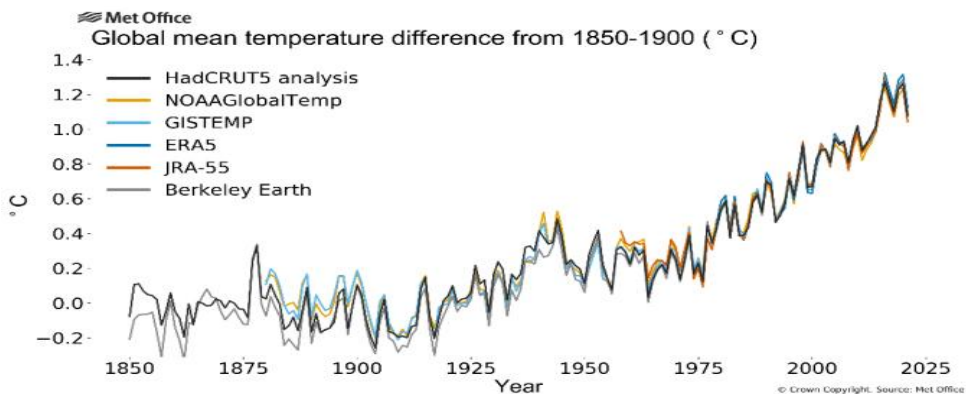
1. 우리나라의 탄소중립 시나리오와 녹색분류체계

(1) 추진 배경

① 지구온난화

세계기상기구(WMO)는 2021년 기준 지구의 평균온도가 산업화 이전(1850~1900년) 대비 1.09℃ 상승했으며, 최근 7년(2015~2021년)이 기상관측 이래 가장 더운 7년으로 기록될 것이라고 언급했다. 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)가 2018년 10월에 발표한 「지구온난화 1.5℃ 특별보고서」에서 지구의 평균온도가 산업화 이전 대비 2017년 기준 약 1℃(0.8℃~1.2℃) 상승했다고 추정했는데, 이후 0.09℃ 추가 상승한 것이다. 유엔환경계획(UNEP)은 2019년 보고서(Emissions Gap Report)에서 현재와 같은 온실가스 배출이 지속되면 2100년에는 산업화 이전(1850~1900년) 대비 3.2℃ 상승할 것이라고 했다.

<그림 II-1> 산업화 이전(1850~1900년) 대비 지구의 평균기온 변화



주 : 6개 온도 모델에서 분석한 1850년 대비 전 지구 온도 평균 상승값을 표시함.
 자료 : WMO, 'State of Global Climate 2021'(Met Office 자료 재인용), 2021.10.

② 지구온난화 대응 글로벌 규범체계

국제사회는 지구온난화 및 기후변화 문제에 대응하기 위해 1992년 유엔기후변화협약을 체결했고, 동 협약의 구체적 이행을 위해 1997년 12월 교토의정서를 채택했다. 교토의정서는 선진국의 의무적인 온실가스 감축 목표치를 규정하는 의정서로서 2005년 2월 발효되었다. 교토의정서에는 192개국이 가입하였으나(한국은 '98년 9월 가입), 일부 선진국들의 참여 거부와 탈퇴가 발생했고, 개도국의 경우 온실가스 감축 의무를 지지 않는 등의 한계점이 있었다. 이에 따라 新기후체제의 필요성이 제기되어 2012~2015년 동안 협상을 거쳐 선진국과 개도국 모두가 참여하는 파리협정이 2015년 채택되었고, 2016년 11월 4일 협정이 발효되었다.

新기후체제인 파리협정은 선진국만 참여하여 온실가스 감축 의무를 부과하는 교토의정서의 하향식 이행체계와 달리 개도국도 참여해 2020년까지 자발적으로 장기적인 저탄소 발전 목표와 전략을 수립해 이행하는 상향식 이행체계로 전환되었다. 그리고, 파리협정(2조 1항, 4조 19항)과 2015년 11월 30일 개최된 제21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP21) 결정문(제35항)에는 모든 당사국이 2050년까지의 장기 저탄소 발전전략(LEDS)을 수립하여 2020년까지 제출할 것을 명시하였다.

이에 따라 유럽연합(EU), 영국, 캐나다 등이 잇달아 2050년을 탄소중립 원년으로 선언하였고, 특히 유럽연합은 탄소배출량이 많은 국가 수입품에 대해 세금을 부과하는 '탄소국경세' 제도까지 추진했다. 장기 저탄소 발전 전략(LEDS)의 UN제출 시한인 2020년 12월이 다가오면서 중국(9월 22일), 일본(10월 26일), 한국(10월 28일) 등 주요국들도 잇달아 탄소중립 혹은 장기 저탄소 발전전략을 발표하게 되었다.

(2) 우리나라 2050 탄소중립 시나리오

① 개요

세계적 탄소중립 흐름에 맞추어 우리나라 정부도 2020년 10월에 2050년까지 탄소중립 달성을 선언했고, 12월 2050 탄소중립 추진 전략을 발표했다. 이후 후속 작업으로 시나리오 수립을 추진해 2021년 10월 구체적 탄소중립 시나리오를 발표하였다.

2050 탄소중립 시나리오는 IPCC 1.5℃ 특별보고서를 토대로 모든 국가가 2050년 탄소 중립을 추진한다는 전제 하에 국외 감축분이 없는 2050년을 가정했다. 이에 따라 국내 탄소 순배출량을 0으로 하는 2개 시나리오를 구성하였다. 구체적으로 에너지 전환에 대한 명확한 신호를 위해 2050년에도 석탄발전소 7기가 운영되는 기존 1안을 제외하고, 석탄 발전을 전면 중단하는 기존 2안과 3안 중심으로 시나리오를 구성했다. 기존의 3안을 수정한 A안은 화력발전의 전면 중단 등 탄소배출 자체를 최대한 줄이는 시나리오이고, 기존의 2안을 수정한 B안은 화력발전이 잔존하는 대신 탄소포집·활용·저장(CCUS) 등 신 기술을 적극 활용하는 시나리오이다.

<표 II-1> 우리나라 정부의 2050 탄소중립 시나리오

(단위 : 백만톤CO2eq)

구분	부문	기준연도('18)	2030년 NDC ('18년 比 감축률)	2050년 탄소배출량 목표	
				A안	B안
배출량		727.6	436.6 (△291.0, △40.0%)	0	0
배출	전환	269.6	149.9 (△44.4%)	0	20.7
	산업	260.5	222.6 (△14.5%)	51.1	51.1
	건물	52.1	35.0 (△32.8%)	6.2	6.2
	수송	98.1	61.0 (△37.8%)	2.8	9.2
	농축수산	24.7	18.0 (△27.1%)	15.4	15.4
	폐기물	17.1	9.1 (△46.8%)	4.4	4.4
	수소	-	7.6	0	9
	기타(탈루 등)	5.6	3.9	0.5	1.3
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-26.7	-25.3	-25.3
	CCUS	-	-10.3	-55.1	-84.6
	국외 감축	-	-33.5	-	-

주 : 정부 보도자료를 기초로 건설연 제작성. 2030년 NDC는 2021년 10월에 기존 NDC를 상향해 발표한 수치임.

한편, 정부는 2050 탄소중립 시나리오와 더불어 2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC)도 새롭게 설정해 발표했는데, 2018년 온실가스 총배출량 대비 40%로, 기존 26.3%에서 대폭 상향하는 방향으로 결정했다.¹⁾ 새로운 NDC 상향안의 연평균 감축률(기준연도 → 목표연도)은 4.17%로 주요 선진국 대비 상당히 도전적이고 쉽지 않은 목표로 평가된다. 주요 선진국의 경우 탄소배출량 정점에 해당하는 기준연도 대비 2030년까지의 연평균 감축률이 대부분 2~3% 내외인데(EU 1.98%, 美 2.81%, 英 2.81%, 日 3.56%), 우리나라는 두 배에 가까운 감축률을 목표로 설정했다.

② 주요 부문별 탄소중립 시나리오 내용

2050 탄소중립 시나리오의 부문별 내용 중 건설산업과 건설기업에 영향이 큰 것은 에너지 전환 부문, 산업 부문, 건물 부문, 폐기물 부문이다.

□ 에너지 전환부문의 시나리오

첫째, 에너지 전환부문은 화력발전 대폭 축소 및 재생에너지·수소 기반 발전 확대 방향을 수립했는데, 특히 2050년까지 석탄발전을 중단하기로 했다. A안은 석탄발전뿐 아니라 화력발전을 전면 중단해 2050년까지 에너지 전환부문 탄소배출량 제로를 달성하는 시나리오로 산단 및 가정·공공 열 공급용 LNG만 유지한다(산업, 건물 부문에서 각각 배출량 포함). B안은 화력발전 일부(LNG)를 유지해 2050년에 약 2,000만톤의 탄소배출량이 잔존하는 시나리오로 LNG 발전은 유연성 전원으로 활용한다.

한편, 에너지 전환을 가속화하기 위해 배출권거래제를 강화하는 등 장기적으로 탄소비용을 발전원가에 100% 반영하고, 연료비와 함께 탄소비용도 전기요금에 반영한다는 방침을 수립했다. 재생에너지 이용 확대를 위해 국토이용 규제 혁신 및 지원제도를 마련하고, 잉여 재생에너지의 저장/재이용 기술개발, 전력시장 개발, 수소 터빈과 해양에너지 등 신규 발전원의 조기 상용화를 추진한다는 방침이다.

1) 「탄소중립기본법(제8조제1항)」에서는 2030년 온실가스 배출량을 2018년 대비 35% 이상 감축하는 것으로 규정하고 있는데, 이보다 5%p 높은 도전적 목표를 설정했다.

<표 II-2> 향후 전원믹스 구성 변화 계획

구분		원자력	석탄	LNG	신재생	유류	양수/기타	합계
2018년	발전량	133.5	239.0	152.9	35.6	5.7	3.9	570.7
	비중	23.4%	41.9%	26.8%	6.2%	1.0%	0.7%	100.0%
2030년	발전량	146.4	133.2	119.5	185.2	22.1	6.0	612.4
	비중	23.9%	21.8%	19.5%	30.2%	3.6%	1.0%	100.0%

자료 : 정부 보도자료, '2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 상향안', 2021.10.18.

□ 산업 부문의 시나리오

둘째, 산업 부문에서는 철강 공정에서 수소환원제철 방식을 도입하고, 시멘트·석유·화학·정유 과정에 투입되는 화석 연·원료를 재생 연·원료로 전환해야 한다는 시나리오가 제시되었다. 건설산업과 연관성이 높은 철강산업, 시멘트산업이 포함되었는데, 철강의 경우 탄소계 공정(고로+전로)을 수소환원제철로 100% 대체하고, 철스크랩 전기로 조강을 확대하여 2050년까지 탄소배출량 95%를 감축한다.

시멘트는 100% 연료전환 및 일부 원료전환(석회석 → 슬래그 등)으로 2050년까지 탄소배출량 53%를 감축한다. 연료전환은 고체 화석연료(유연탄)를 폐합성수지 60%, 수소 열원(바이오매스 연동) 40%로 대체하고, 원료전환은 석회석 원료 대체율 12% 및 혼합재 비중 20%로 확대 추진한다.

한편, 산업 부문이 저탄소 구조로 전환하기 위해서는 핵심 감축기술에 대한 기술개발과 실증화·상용화, 시설개선 투자가 필수적인데 금융지원과 세금 감면 등을 추진할 계획이다. 철강 및 시멘트와 관련된 핵심 감축기술은 수소환원제철, 시멘트 원료(석회석) 대체 등으로 역시 관련 기술개발 및 실용화, 시설투자에 상당한 비용 소요가 불가피하며, 이에 대해 정부는 금융 및 재정지원, 세금감면 등 지원책을 추진한다. 이와 더불어 배출권거래제의 총배출허용량을 엄격히 관리하고, 유상할당 상황과 수익금의 저탄소 전환 재투자 등으로 탄소감축을 유도할 계획이다.

□ 건물 부문의 시나리오

셋째, 건물 부문에서는 제로에너지 건축물, 그린리모델링 확대 등을 통한 건축물의 에너지 효율 향상, 고효율 기기 보급, 스마트에너지 관리 등을 통해 탄소배출량을 감축할 계획이다. 세부적으로 에너지 효율 향상은 신축의 경우 2050년까지 제로에너지 건축물 1등급 100% 달성을 추진하고, 기존 건축물의 경우 그린리모델링 에너지효율등급 가정 1++, 상업 1+ 100% 달성을 추진한다. 이를 통해 2018년 대비 냉·난방 에너지 사용 원단위를 30% 이상 개선할 계획이다. 이를 위해 제로에너지 건축의 민간 활성화를 향후 적극 유도하고, 그린리모델링 사업 확대를 통해 2030년까지 2.7백만톤을 감축할 계획이다.

고효율 기기 보급과 관련해서는 에너지소비효율 강화 및 표시제도 확대 등 에너지설비 및 기기의 에너지 사용 원단위 개선을 통해 약 30%의 에너지를 절감할 계획이다. 그리고 스마트에너지 관리에서는 조명, 냉난방 설비에 센서, 통신망 부착을 통해 에너지 사용량을 모니터링하고 자동 제어하는 에너지이용 최적제어 통합관리시스템(HEMS, BEMS)의 보급 확대를 에너지 효율을 2~5% 절감하고, 2030년까지 탄소배출 0.2백만톤을 감축할 계획이다. 또한, 건물에너지 효율을 위해 향후 생애주기 관점의 탄소중립건물 관리 제도를 마련(탄소발생량 명기 등)해 탈탄소 건축자재 및 소재 사용, 저에너지 시공, 건설 폐기물 최소화 등을 추진하는 방침을 세웠다.

□ 폐기물 부문의 시나리오

넷째, 폐기물 부문에서는 온실가스 발생 폐기물의 소각 및 매립량 감축을 목표로 하고 있으며, 건설 폐기물의 경우 지속적으로 높은 재활용률을 유지하는 것을 목표로 세웠다. 우선 폐기물 감량 및 재활용과 관련해 1회용품 사용제한, 음식물쓰레기 감축, 재생원료 사용 의무화 등으로 온실가스 발생 폐기물의 소각·매립량을 최소화할 계획이다. 건설 폐기물의 경우 2018년 기준 재활용률이 이미 98%이기 때문에 감량률에서는 제외했는데, 2030년 재활용률 99% 달성을 목표로 제시했다.

<표 II-3> 향후 폐기물 감량 및 재활용 비율 목표

구분	감량률	재활용률		
		2018년	2030년	2050년
생활 폐기물	2030년 기준 17% 2050년 기준 25%	62%	83%	90%
사업장 폐기물		82%	93%	94%
지정 폐기물		66%	67%	70%
건설 폐기물	-	98%	99%	-

자료 : 정부 보도자료, '2050 탄소중립 시나리오안', '2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안', 2021.10.18.

(3) 한국형 녹색분류체계

정부는 2050 탄소중립 전략 및 시나리오 발표에 이어 향후 녹색금융 활성화를 촉진하고 탄소중립 사회로 나아가기 위해 2021년 12월 30일 '한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy) 가이드라인'을 발표했다. 다음에서는 한국형 녹색분류체계의 주요 내용과 녹색분류체계에 포함된 건설산업 관련 녹색경제활동을 간략히 살펴보고자 한다.

① 한국형 녹색분류체계의 주요 내용

□ 한국형 녹색분류체계의 개념 및 목적

녹색분류체계(Taxonomy)²⁾는 온실가스 감축 등 환경목표 달성에 기여하는 녹색경제 활동에 대한 명확한 분류 원칙 및 기준을 제시하고, 그리고 분류 결과인 녹색경제활동의 분류체계 및 활동 리스트를 제시한 것을 말한다. 이를 통해 더 많은 민간·공공 자금이 녹색사업이나 녹색기술 등으로 유입될 수 있도록 유도하고, 과잉, 허위 정보와 같은 녹색위장행위, 즉 그린워싱(Green Washing)으로 인한 피해를 예방하기 위한 목적으로 개발되었다. 한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy)는 6대 환경목표 달성에 기여하는 녹색경제활동을 분류하고, 동 활동에 대한 명확한 기준을 제시했는데, 6대 환경목표는 온실가스 감축, 기후변화 적응, 물의 지속가능한 보전, 자원순환, 오염방지 및 관리, 생물다양성 보전이다.

2) 녹색분류체계의 영문 표기인 Taxonomy는 '분류하다' 뜻의 그리스어 'tassein'과 '법, 과학'을 의미하는 'nomos'의 합성어로 녹색경제활동을 판별하는 분류 기준을 의미한다.

<표 II-4> 한국형 녹색분류체계의 정의 및 구축 목적

구분	내용
정의	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 감축, 기후변화 적응 등 6대 환경목표 달성에 기여하는 녹색경제활동을 분류해 제시한 분류체계 6대 환경목표 : ① 온실가스 감축, ② 기후변화 적응, ③ 물의 지속가능한 보전, ④ 자원순환, ⑤ 오염방지 및 관리, ⑥ 생물다양성 보전
구축 목적	<ul style="list-style-type: none"> 진정한 녹색경제활동에 대한 명확한 원칙과 기준 제시 → 더 많은 민간·공공 자금이 녹색사업이나 녹색기술 등으로 유입될 수 있도록 지원. 과잉, 허위 정보와 같은 그린워싱으로 인한 피해 예방

주 : 한국형 녹색분류체계 가이드라인(2021.12)을 참조해 제작성함.

녹색경제활동 원칙 및 적합성 판단 기준

녹색경제활동은 3대 준수 원칙을 동시에 준수해야 하는데, 동 원칙을 준수하는지를 판단하는 기준이 활동기준, 인정기준, 배제기준, 보호기준의 4가지로 세분된다. 한국형 녹색분류체계에서는 이 4가지 기준들을 순차적으로 모두 충족해야 녹색경제활동에 적합한 것으로 판단한다. 즉 특정 경제활동이 한국형 녹색분류체계의 6대 환경목표 중 하나 이상에 기여하고, 배제기준 및 보호기준을 충족하는 활동을 녹색경제활동으로 판단한다.

<표 II-5> 녹색경제활동의 3대 준수 원칙 및 적합성 판단 기준

구분	내용
3대 원칙	<ul style="list-style-type: none"> 환경목표에 기여할 것 : 6대 환경목표 중 하나 이상의 환경목표 달성에 기여해야 함 심각한 환경피해가 없을 것 : 환경목표 달성 과정에서 다른 환경목표에 심각한 피해를 주지 않아야 함(DNSH : Do No Significant Harm) 최소한의 보호장치 : 인권, 노동, 안전, 반부패, 문화재 파괴 관련 법규를 위반하지 않아야 함
판단 기준	<ul style="list-style-type: none"> 활동기준 : 경제활동이 활동기준에 부합하는지 판단 인정기준 : 경제활동이 6대 환경목표 중 하나 이상의 환경목표 달성을 위한 기술적 기준에 부합하는지 판단 배제기준 : 경제활동이 심각한 환경피해 평가 기준에 따른 요건에 부합하는지 판단(DNSH : Do No Significant Harm) 보호기준 : 경제활동이 인권, 노동, 안전, 반부패, 문화재 파괴 등 관련 법규를 위반하지 않는지 판단

주 : 한국형 녹색분류체계 가이드라인(2021.12)을 참조해 제작성함.

□ 한국형 녹색분류체계의 구성

한국형 녹색분류체계는 ‘녹색부문’과 ‘전환부문’으로 구분되어 있으며, 총 69개의 세부 경제활동으로 구성되어 있다. ‘녹색부문’은 탄소중립 및 환경개선에 필수적인 진정한 녹색경제활동을 제시한 것으로 재생에너지 생산, 무공해 차량 제조 등 64개 경제활동을 포함한다. ‘전환부문’은 탄소중립이라는 최종지향점으로 가기 위한 중간과정에서 과도기적으로 필요한 경제활동으로 액화천연가스(LNG) 발전소 등이 한시적으로 녹색분류체계에 포함되었다.

□ 한국형 녹색분류체계의 적용 단위 : 프로젝트, 자산, 기업 단위

한국형 녹색분류체계는 우선 기업 내외의 프로젝트 단위의 경제활동에 적용될 수 있다. 예를 들어 재생에너지 등 온실가스 감축을 위한 특정 프로젝트에 대해 해당 프로젝트가 진정한 녹색경제활동인지 녹색분류체계에 포함된 경제활동과 적합성 판단 기준을 통해 판별할 수 있다.

다음으로 한국형 녹색분류체계는 자산 단위에도 적용될 수 있다. 예를 들어 생산설비 및 시설에 대해 녹색분류체계 적합성 판단 기준을 기초로 녹색경제활동과 연관이 있는지 판단할 수 있다. 더 나아가 녹색분류체계는 자산과 프로젝트 단위 등을 종합하여 기업 단위에도 적용될 수 있다.

예를 들어 기업의 매출액 중 한국형 녹색분류체계 적합성 판단을 충족하는 녹색 자산 또는 프로젝트 관련 매출 비중을 산출해 해당 기업의 녹색경제활동 수준을 판단할 수 있다. 또한, 연간 자본지출 중 녹색 자산 또는 프로젝트 관련 투자 규모·지출 비중 등을 기초로 녹색경제활동에 대한 투자 수준을 판단할 수도 있다.

<표 II-6> 한국형 녹색분류체계의 적용 단위별 활용 예시

구분	내용
프로젝트 단위	▪ 재생에너지 등 특정 프로젝트에 대한 한국형 녹색분류체계 적합성 판단을 기초로 녹색경제활동 해당 여부 판단
자산 단위	▪ 생산시설 등 특정 자산에 대한 한국형 녹색분류체계 적합성 판단을 기초로 녹색경제활동 해당 여부 판단
기업 단위	▪ 기업 전체의 매출액 중 한국형 녹색분류체계 적합성 판단을 충족하는 녹색자산 또는 프로젝트 관련 매출 비중, 연간 자본지출 중 녹색 자산 또는 프로젝트 관련 투자 규모·지출 비중 등

자료 : 환경부, 한국형 녹색분류체계 가이드라인, p.12, 2021.12.

□ 한국형 녹색분류체계의 중요성

한국형 녹색분류체계 가이드라인에서 제시된 기준은 단기적으로 금융권의 녹색금융 기준으로 활용되고, 중장기적으로는 기업의 환경·사회·지배구조(ESG) 정보공개 기준으로 활용될 전망이다. 정부는 녹색분류체계를 활용한 금융권 시범사업³⁾을 추진하고 있으며, 이를 통해 녹색분류체계가 금융시장에 조기 정착할 수 있도록 지원할 계획이다. 우선 채권, 프로젝트 파이낸싱 등 사업단위 금융에 적용하고, 시범사업 과정에서 나온 다양한 의견 등을 반영해 녹색분류체계를 보완한 후 2023년부터 녹색채권가이드라인에 전면 적용할 계획이다. 중장기적으로는 여신, 투자 등 다른 금융상품에 확대하는 한편, 환경·사회·지배구조(ESG) 정보공개 기준으로 활용하는 방안도 검토·추진할 예정이다. 아울러 정부정책자금 지원 등의 인센티브 부여의 기준으로도 활용될 수 있으며, 기업신용평가 및 제품평가 등에도 활용될 수 있다는 점에서 의의가 있다.

② 한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy)에 포함된 건설 관련 경제활동

건설산업의 경우 녹색부문의 도시·건물 분야 4가지 경제활동이 한국형 녹색분류체계에 포함되어 있다. 건설산업 관련 4가지 경제활동은 구체적으로 제로에너지 특화 도시 개발·운영, 제로에너지 건축물 또는 녹색건축물 신규 건설 및 리모델링, 건축물 관련 온

3) 2022년 4월부터 추진 중인 시범사업에 한국산업은행과 시중 5개 은행이 참여하기로 하였으며, 한국산업은행과 신한은행이 녹색분류체계에 포함된 일부 경제활동에 저금리 용자 제공을 이미 시작하였다.

실가스 감축 설비·인프라 구축·운영, 저탄소 인터넷 데이터 센터 구축·운영이며, 각 경제 활동의 구체적 내용은 다음 표와 같다.

건설기업은 단기적으로 한국형 녹색분류체계에 포함된 이상의 4가지 경제활동과 관련해 녹색금융지원 혜택을 받을 수 있으나, 중장기적으로는 녹색분류체계가 기업 단위에 적용될 경우 4가지 경제활동 관련 매출 비중을 늘려야 하는 부담이 발생할 수 있다.

<표 II-7> 한국형 녹색분류체계의 건설 관련 경제활동 분류 현황

분야	경제활동	설명
도시·건물	제로에너지 특화 도시 개발·운영	(1) 신규 제로에너지 특화 도시를 개발하거나, (2) 기존 도시를 제로에너지 특화 도시로 전환하기 위해 도시를 개발·운영하는 활동
	제로에너지 건축물 또는 녹색건축물 신규 건설 및 리모델링	신규로 건축물을 건축하거나 기존 건물을 그린리모델링하는 활동
	건축물 관련 온실가스 감축 설비·인프라 구축·운영	주거용, 상업용 등 (1) 건축물 자체의 온실가스를 감축하거나, (2) 건축물을 활용하여 직간접적으로 온실가스를 감축하는 데 필요한 설비, 시스템 등 인프라를 구축·운영하는 활동
	저탄소 인터넷 데이터 센터 구축·운영	인터넷 데이터 센터를 신규로 구축·운영하거나 기존 설비의 개조를 위해 필요한 온실가스 감축 설비, 시스템 등 인프라를 구축·운영하는 활동

2. 탄소중립 추진에 따른 건설산업 파급효과

본 절에서는 향후 우리나라의 탄소중립 추진이 건설산업에 어떤 영향을 미칠지 파급 효과를 살펴보고자 한다. 먼저 탄소중립 시나리오에 따른 건설산업의 파급효과를 살펴보고, 다음으로 탄소중립 달성 지원과 녹색금융 활성화를 위해 제시된 한국형 녹색분류체계의 파급효과, 마지막으로 생애주기관점 탄소중립 건물제도와 환경성적표지제도 (EPD)의 파급효과를 살펴보고자 한다.

(1) 탄소중립 시나리오의 건설산업 파급효과⁴⁾

2050 탄소중립 시나리오의 주요 부문별 내용을 살펴보면, 에너지 전환, 산업, 건물, 폐

4) 탄소중립 시나리오의 파급효과는 한국건설산업연구원의 '2050 탄소중립 시나리오: 건설산업의 도전과 과제 (2022.1)' 연구를 일부 인용하였으며, 이외에도 일부 내용을 본 연구서에서 참조하였다.

기물 부문의 시나리오 내용이 향후 건설산업에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

① 에너지 전환 부문 시나리오의 건설산업 파급효과

□ 향후 에너지 관련 플랜트 시장 변화

에너지 전환 부문의 시나리오를 살펴보면, 화력발전 대폭 축소 및 재생에너지·수소 기반 발전 확대 방향을 수립했으며, 특히 2050년까지 석탄발전을 전면 중단하기로 했다. LNG발전의 경우도 산단 및 가정·공공 열 공급용만 유지하는 A안과 유연성 전원으로 활용하는 B안이 제안되었다. 이에 따라 건설산업 측면에서는 향후 화석연료 사용 발전 플랜트 시장의 위축이 불가피할 전망이다. 석탄화력발전소는 제9차 전력수급기본계획에 포함된 7기의 완공 이후 추가 발주가 없을 가능성이 크다. 또한, 전력수급기본계획에 따라 기존 석탄화력발전소를 향후 24기의 LNG발전소로 대체할 계획이었으나, 탄소중립 시나리오, 환경단체 및 지역주민 반발 등을 감안할 때 LNG발전사업도 일정 부분 위축될 가능성이 있다.

반면, 에너지 전환 시나리오에 따라 신재생에너지 관련 발전플랜트 시장은 지속적 성장이 예상된다. 태양광, 풍력 등 재생에너지 발전플랜트의 지속 증가, 재생에너지 발전 플랜트의 차세대 기술 적용(탠덤 태양전지, 부유식 시스템 등)을 통한 효율 향상 추구, 수소 또는 수소-LNG 혼합 연료를 사용하는 수소 기반 발전플랜트의 신규 증가 등이 전망된다. 또한, 재생에너지 발전플랜트의 경우 발전 용량 확보에도 불구하고 날씨 등의 요인에 따라 전력생산 변동성이 크고, 에너지저장장치(ESS)의 고비용문제가 있어 SMR 등 혁신형 원전건설 재개도 일부 가능할 것으로 예상된다.

□ 개별 건설기업 및 건설상품 전 생애주기 상의 에너지 비용 증가

한편, 에너지 전환을 위해 배출권거래제 강화, 탄소비용의 전기요금 반영을 추진하므로 향후 건설기업의 에너지 비용 증가, 건설상품 전 생애주기 상의 에너지 비용 증가가 예상된다. 국내 건설기업은 향후 성장이 예상되는 신재생에너지 발전플랜트 시장에 대한 진출을 검토할 뿐 아니라 개별 기업 단위의 탄소배출 감축 및 증가하는 에너지 비용

상쇄를 위해서도 신재생에너지 비중 확대를 전향적으로 검토할 필요성이 증가할 것이다.

□ 개별 건설기업 차원의 목표관리제 준수는 비교적 용이하나, 선제적 탄소감축 필요

다만, 종합건설기업의 업역인 시공단계에서는 자재생산 단계에 비해 탄소배출이 적어 개별 건설기업 단위의 목표관리제⁵⁾ 준수 등 탄소배출 관리는 비교적 어려움이 크지 않을 전망이다. 건설상품은 준공까지 가치사슬(Value Chain)상 건설자재 제조단계에서 탄소배출 비중이 90%⁶⁾ 이상으로 가장 높고, 시공단계에서는 탄소배출이 상대적으로 적어 개별 건설기업 차원의 탄소배출 관리는 시멘트, 철강재 등 건설자재 생산기업에 비해서는 비교적 용이할 것으로 예상된다. 즉 탄소중립 환경 하에서 개별 기업 단위의 직접적 탄소배출 규제 범위는 Scope 1, 2⁷⁾에 해당하기 때문에 개별 건설기업 차원의 탄소배출 감축은 예외적 경우(호텔, 리조트 등 에너지 비효율 건물 다수 보유 기업 등) 외에는 비교적 용이할 것으로 판단된다.

실제로 최근 2~3년 동안 4~6개 대형 건설기업이 목표관리제 대상으로 지정되었는데, 향후 에너지 사용 증가에 따라 대상 기업은 좀 더 증가할 전망이며, 대상 건설기업들의 탄소감축 전략 수립, 이행은 필수적이다. 그러나, 목표관리제 대상 외 건설기업의 경우에도 탄소중립 시나리오에 따른 중장기 에너지 요금 인상, 재생에너지 공급확대, 탄소중립으로의 경영환경 패러다임 변화 등을 감안해 선제적인 탄소감축 전략 수립, 이행이 바람직할 것으로 판단된다. 2045년에 탄소중립을 선언한 Skanska처럼 국내 건설기업 중에서도 탄소중립을 선언하고, RE100⁸⁾에 가입하는 기업이 증가할 전망이며, 이는 기

5) 온실가스·에너지 목표관리제는 「저탄소녹색성장기본법」에 따라 온실가스 배출량 및 에너지 소비량이 일정 수준 이상인 업체 및 사업장(5만tCO₂eq 200TJ 이상 업체, 1만 5,000tCO₂eq 80TJ 이상 사업장)을 관리업체로 지정하여 온실가스 감축목표, 에너지 절약목표를 설정하고 관리하는 제도이다.

6) 준공 전까지 가치사슬(Value Chain)상의 탄소배출 비중이며, 건설상품 전 생애주기 상에서는 운영단계의 탄소배출 비중이 70% 수준으로 가장 높다.

7) Scope 1은 기업이 소유, 통제(운용)하는 발생원(보일러, 보유 설비/차량 등)에서 직접 배출한 온실가스, Scope 2는 기업이 구입 또는 소비한 에너지(전기, 열 등)의 생산(화력발전 등)으로 인해 간접적으로 배출한 온실가스, Scope 3은 기업이 소유, 통제하지 않지만, 기업 관련 가치사슬(원자재 생산 등)과 판매 제품/서비스의 사용으로 간접 배출된 온실가스를 말한다.

8) RE100(Renewable Energy 100%)이란 2050년까지 100% 재생에너지 전력 사용을 약속한 영향력 있는 기업들이 한데 모여 기업의 재생에너지 수요와 공급을 크게 늘리기 위해 협력하는 글로벌 이니셔티브이며, 2014년에 국제 비영리 단체인 The Climate Group과 CDP(Carbon Disclosure Project)가 연합하여 개최한 2014년

업이미지 개선뿐 아니라 해외 시장진출, 유리한 자금조달, 탄소저감형 건설상품 직접 사용경험 및 기술개발/수주 등의 선순환 효과 창출을 가져올 수 있다.

② 산업 부문 시나리오의 건설산업 파급효과

국내 산업 중 탄소를 가장 많이 배출하는 산업은 발전산업이며, 2위가 시멘트산업, 3위가 철강산업이다. 시멘트산업과 철강산업은 시멘트, 철근, 강재료(형강 등)와 같은 핵심적 건설재료를 생산하는 산업이기도 하다. 이러한 시멘트산업, 철강산업이 현재 엄청난 탄소를 배출하고 있으며, 향후 탄소중립 추진의 큰 도전에 직면해 있다는 것은 건설산업과 건설기업 측면에서도 상당한 파급효과가 있을 수밖에 없다.

향후 시멘트, 철강재 등 건설자재 제조기업은 구체적으로 연료 및 원료 전환을 위한 기술개발 및 공정혁신을 위한 시설투자, 그리고 탄소배출권 확보가 필요하며, 이로 인해 점차 건설자재 원가 상승이 이뤄질 가능성이 크다. 건설기업 측면에서는 향후 동 건설자재의 원가 상승분을 최종 건설상품의 가격에 적절히 반영하지 못할 경우 건설기업의 영업이익률 하락도 배제하기 어려운 상황이다. 다음에서는 산업 부문 탄소중립 시나리오 중 건설자재를 생산하는 시멘트 및 철강산업의 탄소중립 추진 시나리오를 요약하고, 이에 따른 건설산업의 파급효과를 살펴보고자 한다.

□ 철강산업 탄소중립 시나리오의 건설산업 파급효과

- 철강산업의 탄소중립 시나리오 추진에 따른 철근 및 강재의 가격 상승 가능성

2050 탄소중립 시나리오에 의하면, 탄소배출이 가장 많은 산업 중 하나인 철강산업의 경우 그동안 연료탄인 ‘코크스’를 사용해 많은 양의 탄소를 배출했던 탄소계 공정(고로 및 전로)을 2050년까지 수소환원제철로 100% 대체하고, 철스크랩 전기로 조강을 확대해 탄소배출량을 2018년 대비 95% 감축한다는 방침이다. 다만, 수소환원제철로의 전환은 중장기적으로 이뤄질 사항이므로 2030년까지는 신증설 설비를 전기로로 대체하고, 전기

뉴욕 기후주간에서 처음 발족되었다.

로에 철스크랩 투입량을 확대해 2018년 대비 탄소배출량을 2.3% 감축한다는 계획이다.

결국 중장기적으로 철강재의 경우 전통적인 고로 중심의 탄소계 공정을 수소환원제철 방식으로 전환해야 하므로 기술개발과 향후 설비구축 및 공정 전환에 상당한 비용이 소요되고, 이로 인한 철강재 가격의 상승 가능성이 높다. 공정 전환이 늦어질 경우 탄소배출권 확보를 위한 비용도 소요될 수 있고, 이 또한 철강재 가격의 상승으로 이어질 전망이다.

다만, 건설자재로 쓰이는 철근 등 봉형강은 고로에 비해 탄소배출이 1/4에 불과한 전기로를 통해 생산되기 때문에 탄소중립 추진에 따른 원가상승 요인이 고로생산 철강재에 비해서는 낮다. 그럼에도 불구하고, 고로생산 대형 철강업체가 탄소중립 추진을 위해 전기로를 신증설하고, 철스크랩 구매를 늘림에 따라 봉형강 원가의 약 70%를 차지하는 철스크랩 가격이 향후 지속적으로 상승할 가능성이 있다. 또한, 탄소중립을 위해 전기로에 사용하는 전력을 무연탄이나 유연탄보다 생산단가가 높은 액화천연가스(LNG)와 신재생에너지로 전환하면서 건설자재로 쓰이는 철강재 단가가 상승할 가능성도 있다.

따라서 건설기업 측면에서는 철강산업의 탄소중립 추진에 따라 철근, 형강 등 건설자재의 단가가 중장기적으로 상승할 가능성에 대비할 필요가 있다. 그리고 시공과정에 투입된 철강재의 내재탄소 감축은 제강사들이 전기로에 사용하는 전력을 신재생에너지로 전환한 이후에나 큰 폭으로 감축할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 향후 환경성적표지제도(EPD)⁹⁾와 더불어 생애주기관점 탄소중립 건물제도가 본격 시행되어 철강재의 내재탄소 감축 필요성이 증가하면서 상대적으로 높은 단가에도 불구하고 내재탄소가 적은 철강재의 구입 필요성이 증가할 것이다.

- 탄소배출 저감 자재 공급 철강업체와 협력관계 강화 및 그린조달

한편, 향후 건설산업의 탄소중립 추진 필요성이 점차 증가함에 따라 건설기업은 탄소저감형 철강재를 생산 및 공급하는 기업과 협력관계를 강화하고, 해당 철강재의 조달비율을 높이는 그린조달을 시도해야만 할 것이다. 또한 향후 탄소중립 시대에 건설기업은 시멘트 등 탄소배출이 높은 자재의 투입을 최소화하는 공법 및 구조형식을 채택하고, 탄

9) 환경성적표지제도(Environmental Product Declaration)는 제품 및 서비스의 환경성 제고를 위해 제품 및 서비스의 원료채취, 생산, 수송·유통, 사용, 폐기 등 전 과정에 대한 환경영향을 계량적으로 표시하는 제도이다.

소배출이 높은 자재를 대체할 수 있는 대체 자재의 비율을 높여야만 한다. 이에 따라 철강업계에서도 탄소배출 저감 공법 중 하나인 모듈러 공법을 지원하기 위한 철강재 모듈 제작, 탄소배출이 많은 콘크리트와 알루미늄 등을 대체할 수 있는 대체재로서의 철강재 개발 및 공급을 시도하게 될 것으로 예상된다. 이 경우 건설기업은 철강재 모듈 제작업체, 탄소배출이 많은 자재의 대체재로서 철강재 개발·공급업체와 협력관계를 강화하여 건설상품의 탄소배출 감축을 모색할 필요가 있을 것이다.

□ 시멘트산업 탄소중립 시나리오의 건설산업 파급효과

- 시멘트산업의 탄소중립 시나리오 추진에 따른 시멘트의 가격 상승 가능성

시멘트는 건설단계에서 발생하는 내재탄소를 가장 많이 배출하는 자재이다. 1톤의 시멘트 생산 시 약 0.9톤의 탄소가 배출된다. 시멘트산업이 탄소배출을 감축하기 위해서는 제조공정 중 클링커 소성 등에 대한 대량의 에너지 소비를 감축할 수 있는 비소성공정이나 슬래그 등 대체재료에 대한 기술적 접근이 필요하다. 2050 탄소중립시나리오에 따르면, 시멘트산업은 석회석 소성공정에 투입되는 고체화석연료(유연탄)를 2030년까지 폐합성수지 등으로 36% 대체하고, 2050년까지는 100% 전환한다는 방침이다. 또한, 석회석 원료를 슬래그 등으로 대체하는 원료전환도 2030년까지 석회석 원료 대체율 2%, 혼합재 비중 15%로 확대하고, 2050년까지는 석회석 원료 대체율 12%, 혼합재 비중 20%로 확대한다는 방침이다. 이와 같은 연료 및 원료 전환을 통해 시멘트산업의 탄소배출량을 2018년 대비 2030년에 12% 감축하고, 2050년에 53% 감축한다는 목표가 제시되었다. 시멘트산업의 경우 수소환원제철로 전환해야 하는 철강산업처럼 완전히 새로운 공정방식으로 전환해야 하는 것은 아니지만, 원료 및 연료 전환을 위해서는 역시 기술개발 및 공정의 혁신이 필요하다. 또한, 2030년까지 탄소배출량 감축 목표도 12%로 철강산업의 2.3%보다는 더 높다. 단, 장기적인 2050년까지 감축목표는 53%로, 철강산업의 감축목표 95%에 비해 양호하다.

시멘트산업의 탄소중립 시나리오를 감안할 때 철강재와 마찬가지로 시멘트도 향후 기술개발 및 공정혁신, 원료 및 연료전환, 에너지 전환에 따른 판매가격 상승이 불가피할 것으로 보인다. 2030년까지 탄소배출량 감축 목표도 12%로 철강산업의 2.3%보다는 더

높다는 것도 중기적으로 시멘트산업의 탄소중립 추진에 따른 판매가격 상승 가능성이 있음을 보여준다. 물론 수소환원제철로 전환해야 하는 철강산업처럼 완전히 새로운 공정방식으로 전환해야 하는 것은 아니므로 장기적으로 철강재에 비해서는 원가상승 압력이 낮을 수 있을 것으로 보인다. 시멘트산업의 2050년까지 장기적인 탄소배출 감축목표가 53%로, 철강산업의 감축목표 95%에 비해 양호하다는 것도 장기적인 원가상승 압력은 철강재보다는 낮을 가능성이 있음을 보여준다. 아울러 시멘트산업이 기술개발 및 공정혁신, 원료 및 연료전환뿐만 아니라 탄소중립 추진을 위해 공정에 사용하는 화석연료 기반의 전력에너지를 신재생에너지 등 대체에너지로 전환할 경우 에너지 단가 상승에 따라 추가적으로 시멘트 제품의 판매가격 상승이 중장기적으로 발생할 수도 있다.

결국 시멘트산업의 탄소중립 시나리오에 따라 건설기업은 단중기적으로는 완만한 가격상승, 장기적으로는 단중기에 비해 보다 가파른 가격상승의 압력이 발생할 것으로 예상된다. 다만, 철강재의 장기적인 가격상승 압력에 비해서는 시멘트 가격의 장기적 상승 압력이 다소 낮을 것으로 판단된다.

- 슬래그 시멘트¹⁰⁾ 등 대체원료 사용 시멘트 활용비율 확대 필요

시멘트의 경우 탄소배출 감축을 위해 석회석 원료 대신 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬(flyash) 등 산업부산물을 원료로 일정 부분 활용하는 방안이 단기적으로 가장 현실성 있는 탄소배출 감축방안 중 하나이다. 이미 현재에도 고로슬래그 미분말 등을 혼합한 시멘트가 출하되고 있고, 일부 대형건설기업들은 동 시멘트 사용비율을 점진적으로 늘려가고 있다. 따라서 향후 탄소중립의 본격적 추진과 한국형 녹색분류체계에 따른 녹색금융활성화, 기업 공시기준 변경 등이 이뤄질 경우 건설기업들은 산업부산물을 혼합한 탄소저감형 시멘트의 활용비율 확대를 단기적인 전략과제로 선택할 필요가 있다.

이는 현재 건설자재 중 시멘트가 건설산업의 가치사슬상에서 가장 탄소배출 비중이 높은 자재이고, 현재 이미 산업부산물을 혼합한 탄소저감형 슬래그 시멘트가 생산되고 있기 때문이다. 따라서 건설기업은 이러한 탄소저감형 시멘트 및 레미콘을 제조하는 업

10) 슬래그 시멘트는 시멘트 핵심 원료인 유연탄과 페타이어·페고무·페비닐·페유 등 가연성 쓰레기를 포함해 제철소 슬래그·소각재·분진, 석탄재·하수슬러지·각종 공장의 오니(분뇨) 등 각종 비가연성 산업 슬래그(찌꺼기)를 섞어 만든 제품이며, 시멘트의 한 종류로 손꼽힌다.

체들과 협력관계를 강화하고 향후 탄소중립 환경변화와 연계해 탄소저감형 시멘트의 사용비율 확대를 추진할 필요가 있을 것이다.

③ 건물 부문 시나리오의 건설산업 파급효과

□ 제로에너지빌딩 등 저탄소 건설상품 성장에 선제적 대응 중요

건물 부문에서는 제로에너지 건축물, 그린리모델링 확대를 통해 건축물의 에너지 효율 향상, 고효율 기기 보급, 스마트에너지 관리 등을 추진함으로써 탄소배출량을 감축하는 시나리오가 제시되었다. 건물 부문 탄소중립 시나리오에 따른 건설산업 파급효과를 살펴보면, 향후 저탄소배출 건설상품의 점진적 성장이 예상되어 이에 대한 국내 건설기업의 전략적 대응이 필요할 것으로 보인다. 구체적으로는 향후 제로에너지 빌딩 인증 대상 확대, 2050년까지 신축 건축물의 1등급 100% 달성 계획에 따라 향후 제로에너지 건축물 건설시장의 증가가 전망된다. 향후 제로에너지 빌딩 인증 대상을 주거용·상업용 이외 공업·농업용 건물, 학교 캠퍼스 등으로 확대할 것으로 예상되며, 이 경우 관련 시장의 성장이 가속화할 전망이다.

선진국의 사례를 볼 때 친환경 관련 인증의 적용 대상이 확대되면서 실질적으로 관련 건설시장이 빠르게 성장했다. 미국의 경우 2000년대 중반 이후 USGBC(the US Green Building Council)의 친환경기준인 LEED 적용을 요구하는 공공 발주자 및 일부 민간 대기업의 증가로 그린빌딩 시장이 급성장했다. 미 ENR지가 발표하는 Top 100 Green Contractors의 2006년 그린건설(sustainable projects) 매출이 당해 89.6억 달러에서 2008년 386.9억 달러로 급성장했다.¹¹⁾ 따라서 국내 건설시장도 향후 제로에너지 빌딩 인증, 친환경건축물 인증 등 관련 인증 대상이 확대됨에 따라 연관된 시장이 본격적으로 성장할 것으로 전망된다. 향후 탄소중립으로의 환경 패러다임 전환의 필요성이 점점 더 커지면서, 관련 인증의 적용 대상이 지속적으로 확대될 가능성이 크며, 국내 건설기업은 선제적으로 이를 대비한 준비가 필요할 것이다.

11) 최석인, '미국의 녹색 건설시장 동향 분석', 한국건설산업연구원 건설동향브리핑 238호, 2009.12.21.

□ 전 생애주기 관점 저탄소 건설상품의 솔루션 제공 역량 강화 필요

한편, 기존 건축물의 경우 현재 공공 부문 위주로 추진되고 있는 그린리모델링이 향후 인센티브 강화 등을 통해 민간 부문으로 더욱 확대가 예상되며, 이 경우 그린리모델링 시장의 본격 성장이 가능할 것이다. 또한, 전 생애주기 관점의 탄소중립건물 관리제도 마련(탄소발생량 명기 의무화 등)도 예상되므로 건설기업 측면에서는 전 생애주기 관점의 저탄소 건물을 건설할 수 있는 역량이 핵심역량 중 하나로 점차 부상할 전망이다.

Scope 3까지 포함해 탄소중립을 추구하는 해외 선진건설기업의 사례에서처럼 탈탄소 선진기업이 되기 위한 중장기 탈탄소전략(탈탄소 건축자재·소재 사용, 저에너지 시공, 탄소배출 저감 건설상품 매출 비중 확대 등) 추진이 필요할 것이다. 예를 들어 Skanska는 대부분의 국내 건설기업들이 목표로 하는 Scope 1, 2 영역의 탄소중립뿐 아니라 협력회사까지 포함한 전체 가치사슬(Value Chain)과 준공 이후 운영단계까지 포함한 탄소배출 제로를 궁극적 목표로 설정하고 있다.

④ 폐기물 부문 시나리오의 건설산업 파급효과

마지막으로 폐기물 부문에서는 온실가스 발생 폐기물의 소각 및 매립량 감축을 목표로 하고 있으며, 건설폐기물의 경우 지속적으로 높은 재활용률을 유지하는 것이 목표로 제시되었다. 건설폐기물은 2019년 기준 재활용률이 이미 98.9%이기 때문에 감량률에서 제외되었는데, 2030년 재활용률 99% 달성 목표가 제시되었다.

폐기물 부문 탄소중립 시나리오에 따른 건설산업 파급효과를 살펴보면, 향후 건설폐기물의 지속적인 재활용이 필요하며, 사육 및 건설현장의 생활쓰레기 감축이 필요하다. 건설폐기물은 2030년 NDC에 제시된 재활용률이 99%로 향후에도 지속적으로 건설폐기물의 높은 재활용률을 유지해야 한다. 다만, 2050 탄소중립 시나리오에서 2027년 생활폐기물 직매립률 0%를 목표로 하고 있으므로 건설기업 본사의 생활쓰레기 감축과 건설현장의 건설폐기물 및 생활폐기물의 감축과 분리배출이 필요하다.

(2) 한국형 녹색분류체계의 건설산업 파급효과

한국형 녹색분류체계는 향후 녹색채권을 비롯한 녹색금융의 제공 기준으로 활용되고, 또한 기업 공시, 기업 신용평가를 비롯한 각종 기업평가 및 제품평가 등에 활용될 전망이다. 이에 따라 건설기업에게도 다음과 같은 파급효과가 나타날 전망이다.

□ 첫째, 건설기업의 녹색금융 확보 위한 필요 기준으로 적용

한국형 녹색분류체계는 향후 점진적으로 건설기업 대상 녹색금융을 제공하는 기준으로 활용될 전망이다. 실제로 2020년 12월 발간된 환경부와 금융위원회의 ‘한국형 녹색채권 가이드라인’에서는 녹색채권(Green Bond)을 발행하는 기관들이 한국형 녹색분류체계를 활용해 녹색경제활동에 해당하는 기업과 프로젝트를 선정해 녹색채권을 발행하도록 가이드라인을 제시했다. 즉 건설기업을 대상으로 녹색채권, 녹색 프로젝트 파이낸싱, 녹색여신, 녹색펀드 등 녹색금융을 제공하고자 할 때 건설기업의 녹색경제활동 수행 여부 및 수준을 판단하는 기준으로 녹색분류체계가 점차 적용될 전망이다.

기존에는 건설기업이 녹색채권 발행 등 녹색금융을 확보하고자 할 때, 외부 평가기관 및 금융기관에 의해 해당 기업의 ESG경영을 비롯한 일반적인 친환경 경영수준을 평가한 반면, 향후에는 한국형 녹색분류체계 기준에 의한 진정한 녹색경제활동의 수행 여부 및 매출 비중 등이 중시될 전망이다.

현재 한국형 녹색분류체계에 녹색경제활동으로 포함된 활동 중 건설산업과 직접적으로 관련된 활동은 제로에너지 특화도시 개발·운영 등 4가지 녹색경제활동이 있다. 따라서 국내 건설기업이 향후 녹색채권 등 녹색금융 확보를 위해서는 기존의 방식과 같이 친환경활동을 전개할 뿐 아니라 구체적으로 녹색분류체계 내에 제시된 녹색경제활동에 대한 수행과 적합성 판단 기준 부합이 더욱 중요해질 전망이다.

□ 둘째, 건설기업의 친환경 경영활동 공시 기준으로 적용

한국형 녹색분류체계가 향후 기업의 친환경 경영활동의 공시 기준으로 적용됨에 따라 건설기업의 공시 자료, 이외 지속가능경영보고서, ESG경영보고서 등에 포함된 친환경

경영활동이 진정한 녹색경제활동인지 판단하는 기준으로 녹색분류체계의 적합성 판단 기준이 점차 적용될 전망이다. 따라서 국내 건설기업은 기존의 공시 및 ESG 보고서 등에 포함하였던 친환경활동에 대해 녹색분류체계의 적합성 판단 기준을 적용해 기존의 친환경활동들이 진정한 녹색경제활동임을 입증하는 절차를 포함할 필요성이 향후 증가할 전망이다.

더 나아가 건설기업의 공시 자료뿐 아니라 친환경 경영활동 자체를 녹색분류체계의 기준에 맞춰 조정할 필요성이 증가할 것이다. 즉 건설기업의 친환경 경영활동을 녹색분류체계의 적합성 기준에 맞춰 평가해 적합성 기준에 적합한 진정한 녹색경제활동의 비중을 증가시켜야만 할 필요성이 증가하게 될 것이다.

□ 셋째, 건설기업의 신용평가를 비롯한 각종 기업평가, 건설상품 평가 기준으로 적용

한국형 녹색분류체계는 향후 건설기업의 공시 자료뿐 아니라 신용평가를 비롯한 각종 기업평가, 제품평가 등에 진정한 녹색경제활동의 수행 여부 및 비중을 평가하는 기준으로 활용될 전망이다. 예를 들어 녹색채권 발행을 위해 외부 신용평가 기관이나 녹색경영을 전문적으로 평가하는 기관으로부터 기업평가를 받을 경우 한국형 녹색분류체계를 근간으로 하여 친환경 경영활동과 녹색건설상품 매출 비중 등을 평가받는 경우가 증가할 것이다.

결국 국내 건설기업은 녹색분류체계의 공시 기준 적용에서와 같이 향후 녹색분류체계의 적합성 기준에 맞춰 기존의 친환경 경영활동과 녹색건설상품을 조정하고, 동 활동과 상품의 비중을 증가시킬 필요성이 증가할 것이다.

□ 넷째, 해외 진출 시 일종의 진입장벽으로 작용 가능성

녹색분류체계는 향후 국내 건설기업이 해외 진출 시 일종의 진입장벽으로 작용할 수도 있다. 특히 EU의 경우 녹색분류체계를 2026년 이후 본격 시행될 예정인 국경탄소세(Carbon Border Tax) 적용의 기준으로 활용하고, 녹색이 아닌(Non-Green) 사업에 대한 무역장벽 이행의 근거로 사용할 계획이다. 미국 역시 의회에 탄소국경세 관련 법안이 상정되어 있고, 2020년 초부터 무역대표부(USTR)가 의회에 제출한 통상정책연례보고서

에서 탄소국경세를 검토하고 있다. 탄소국경세가 본격 시행된 이후 국내 건설기업이 해당 국가에서 철강재, 시멘트 등 건설자재와 관련해 탄소국경세가 적용된 자재를 사용할 경우 원가 상승의 부담이 발생한다.

또한, 녹색분류체계의 기준에 부합하지 않은 프로젝트의 수주와 시공에 어려움이 발생하게 된다. 다만, 국내 건설기업의 주요 진출국인 중동과 동남아시아 등의 경우 당장 탄소국경세 도입과 녹색분류체계 적용이 계획되지 않아 중단기적 파급효과는 제한적일 전망이다. 물론 해당 국가에서 수주하고자 하는 프로젝트에 다국적 은행이 금융투자를 진행할 경우에는 국내 건설기업과 해당 프로젝트에 대한 녹색분류체계의 적용이 점진적으로 이뤄질 것으로 보인다.

(3) 생애주기관점 탄소중립 건물제도와 환경성적표지제도의 건설산업 파급효과

2050 탄소중립 시나리오에서는 향후 건설 부문의 탄소중립 달성을 위해 생애주기관점 탄소중립 건물제도의 시행을 추진하기로 제시되어 있다. 다음에서는 생애주기관점 탄소중립 건물제도와 환경성적표지제도(EPD)의 개요와 더불어 동 제도들의 건설산업 파급효과에 대해 살펴보고자 한다.

① 생애주기관점 탄소중립 건물제도와 환경성적표지제도(EPD)의 개요

□ 생애주기관점 탄소중립 건물제도

정부에 2050 탄소중립 시나리오를 제안한 탄소중립위원회에서는 건물 부문의 성공적인 탄소중립 추진을 위해 생애주기관점 탄소중립건물 관리제도를 제안하였다. 제로에너지빌딩, 녹색건축인증제도 등이 건축물의 운영탄소 감축에 초점을 두고 있는 반면, 생애주기관점 탄소중립건물 관리제도는 건축자재 생산단계, 시공단계를 포함해 해체/폐기단계까지 건축물의 전 생애주기에 걸쳐 운영탄소와 내재탄소를 모두 포함해 종합적인 탄소배출 통계를 추적하고 관리하고자 하는 제도이다.

□ 환경성적표지제도(Environmental Product Declaration)

생애주기관점 탄소중립 건물제도를 시행하기 위해서는 다양한 건설상품을 대상으로 생애주기 관점의 탄소배출량, 즉 탄소발자국(carbon footprint) 자료의 축적 및 관리가 필요하다. 이와 관련된 제도가 환경성적표지제도(EPD)이다. 환경성적표지제도는 제품 및 서비스의 환경성 제고를 위해 제품 및 서비스의 원료채취, 생산, 수송·유통, 사용, 폐기 등 전 과정에 대한 환경영향을 계량적으로 표시하는 제도이다. 환경성적표지제도는 구체적으로 탄소발자국, 물발자국, 오존층 영향, 산성비, 부영양화, 광화학 스모그, 자원 발자국 등 7대 영향범주에 대해 환경영향을 평가해 표시한다.

이 중에서 탄소중립과 직접적 관련이 있는 탄소발자국의 경우 제품 및 서비스의 원료 채취, 생산, 수송·유통, 사용, 폐기 등 전 과정에서 발생하는 온실가스 발생량을 이산화탄소 배출량으로 환산하여 라벨형태로 제품에 표시한다. 탄소발자국은 1단계 탄소발자국 인증, 2단계 저탄소제품 인증으로 구성되어 있으며, 탄소발자국 인증은 제품 및 서비스의 생산부터 폐기까지의 전 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정한 제품임을 정부가 인증하는 것이다. 저탄소제품은 동종제품의 평균 탄소배출량 이하(탄소발자국 기준)이면서 저탄소 기술을 적용하여 온실가스 배출량을 4.24%(탄소감축률 기준) 감축한 제품을 대상으로 정부가 인증하는 것을 말한다.

② 건설산업의 파급효과

2001년 이후 시행된 환경성적표지제도(EPD)를 통해 현재 콘크리트 단열재, 벽지 등 건설자재 중 저탄소인증을 받은 자재가 늘어나고 있다. 향후 환경성적표지제도의 지속적인 추진을 통해 대다수 건설자재의 전 과정 탄소발자국이 산정될 경우 건축물을 포함한 건설상품 유형별로 각 생애주기단계의 탄소배출 자료가 보다 엄밀하게 축적될 수 있다. 아울러 생애주기관점 탄소중립건물 관리제도가 시행되면, 건설산업 측면에서는 운영탄소 감축뿐만이 아니라 전 생애주기에 걸친 내재탄소 감축이 본격적으로 중요한 이슈로 부각할 전망이다. 즉 기존의 건설산업이 제로에너지빌딩, 녹색건축인증제도 등을 통해 건축물의 에너지효율을 제고하고 운영탄소 감축에만 초점을 맞춘 것에서 건축물의 전 생애주기 단계별 내재탄소의 감축을 포함한 건축물의 전 생애주기 탄소배출 감축을 중

합적으로 추진하는 것이 중요해질 것이다.

이 경우 건설기업은 제로에너지빌딩과 같은 에너지 효율을 제고한 건축물의 시공 역량을 제고해야 할 뿐만 아니라 건축물의 전 생애주기 단계별 탄소배출 구조와 배출량, 즉 탄소발자국 DB를 구축하고, 자재생산업체와의 협력관계 구축 등을 통해 전 생애주기에 걸쳐 운영탄소와 내재탄소를 종합적으로 감축하는 전략체계를 구축해야만 할 것이다. 특별히 탈탄소 건축자재와 소재의 사용, 저에너지 시공, 건설폐기물 최소화 등이 중요한 경영과제로 등장하게 될 것이다.

제 3 장 건설산업의 탄소배출 현황과 구조적 특징

건설산업이 효과적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 먼저 건설산업의 탄소배출 현황과 탄소배출의 구조적 특징과 원인을 파악하는 것이 중요하다.

1. 건설산업의 탄소배출 현황 및 구성

McKinsey & Company(2021)의 자료에 의하면, 건설산업은 건설상품의 전 생애주기(total life cycle), 즉 건설단계, 운영단계, 해체단계에 걸쳐 연간 약 13.7기가톤(GtCO₂eq)¹²⁾의 온실가스를 배출하고, 이는 전 세계 온실가스 배출량의 25.3%에 달한다. 건설산업이 배출하는 온실가스를 이산화탄소와 기타 온실가스로 구분하면, 에너지 생산 등을 위한 연료 연소 과정에서 배출되는 이산화탄소가 12.1기가톤(GtCO₂eq)으로 대부분인 88.3%를 차지하고, 기타 온실가스는 1.6기가톤(GtCO₂eq)으로 11.7%에 불과하다. 반면, 건설산업 외 기타 산업의 경우 전체 온실가스 배출량 중 연료 연소로 인한 이산화탄소 배출량이 20.7기가톤(GtCO₂eq)으로 51.1%를 차지하고, 기타 온실가스도 19.8기가톤(GtCO₂eq)으로 절반에 가까운 48.9%를 차지하고 있다.

<표 III-1> 건설산업과 기타 산업의 온실가스 배출 현황 및 구성비

구 분		이산화탄소	기타 온실가스	합계
건설산업	배출량(GtCO ₂ eq)	12.1	1.6	13.7
	구성 비중	88.3%	11.7%	100.0%
기타 산업	배출량(GtCO ₂ eq)	20.7	19.8	40.5
	구성 비중	51.1%	48.9%	100.0%
합계	배출량(GtCO ₂ eq)	32.8	21.4	54.2
	구성 비중	60.5%	39.5%	100.0%

주 : 국제에너지기구(IEA)의 2018년 통계를 기초로 전 세계 건설산업의 온실가스 배출량을 분석한 McKinsey & Company 보고서 내용을 활용해 재작성함. 기타 온실가스는 온실가스별 지구온난화 지수를 기초로 이산화탄소 배출량으로 환산한 수치임.

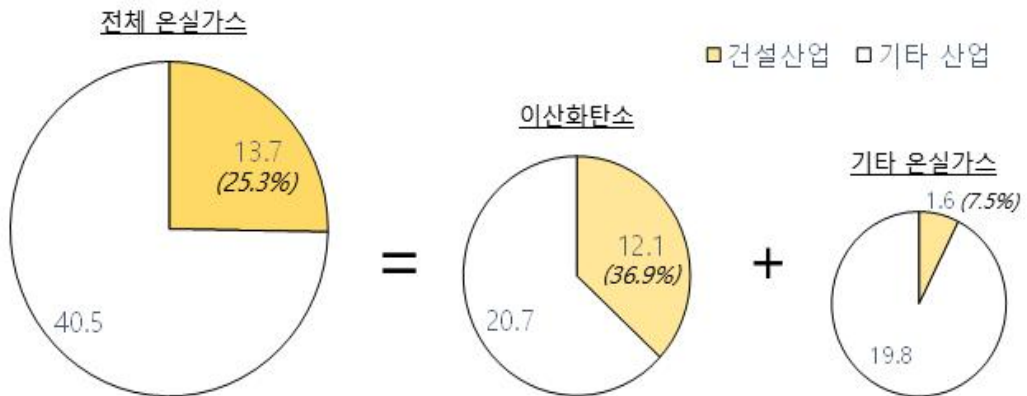
자료 : McKinsey & Company, Call for action : Seizing the decarbonization opportunity in construction, 2021.7.

12) 탄소배출량 단위인 이산화탄소 환산기가톤(GtCO₂eq)은 온실가스별 배출량을 지구온난화 기여도(이산화탄소 기여도=1)를 고려하여 이산화탄소 배출량으로 환산한 단위이다.

1997년 교토의정서에서 규제 대상으로 지정한 6대 온실가스 중 이산화탄소는 지구온난화의 주범으로 지목받았으며, 탄소중립의 주요 대상이다. 이러한 이산화탄소를 건설산업은 12.1기가톤(GtCO₂eq)이나 배출하고 있으며, 이는 전 세계 이산화탄소 배출량의 36.9%에 해당하는 상당한 양이다. 건설산업이 배출하는 온실가스가 전 세계 온실가스 배출량에서 차지하는 비중은 25.3%이지만, 탄소중립의 주요 대상인 이산화탄소를 놓고 보면, 건설산업은 이보다 더 높은 전 세계 이산화탄소 배출량의 36.9%를 배출하고 있다. 따라서 향후 이산화탄소 감축을 주요 목표로 하는 탄소중립 추진은 건설산업에 상당한 도전이 될 것으로 판단된다.

<그림 III-1> 건설산업의 온실가스 배출 현황 및 점유 비중

(단위 : GtCO₂eq)



주 : 국제에너지기구(IEA)의 2018년 통계를 기초로 전 세계 건설산업의 온실가스 배출량을 분석한 McKinsey & Company 보고서 내용을 활용해 재작성함. 기타 온실가스는 온실가스별 지구온난화 지수를 기초로 이산화탄소 배출량으로 환산한 수치임.

자료 : McKinsey & Company, Call for action : Seizing the decarbonization opportunity in construction, 2021.7.

2. 건설산업의 에너지 소비 및 탄소배출 현황

위에서 살펴본 것처럼 건설산업이 배출하는 온실가스 중 약 90%는 이산화탄소이다. 이산화탄소는 지구온난화의 주요 원인으로 탄소중립의 주요 감축 대상인데, 대부분 화

석연료를 활용한 에너지 생산과정에서 배출된다. 건설산업의 이산화탄소 배출량은 전 세계 이산화탄소 배출량의 36.9%를 차지하며 상당한데, 이는 건설산업이 전 생애주기에 걸쳐 에너지 소비량이 많기 때문이다.

건설산업은 건설자재 생산과정을 포함한 건설단계와 건물운영(building operation) 단계에서 전 세계 에너지 소비의 40% 이상을 소비한다. 이에 따라 전 세계 에너지 생산과 관련해 배출되는 이산화탄소의 50% 가까이를 건설산업이 배출하고 있다. 아래에서 건설산업과 건물운영 부문의 에너지 소비 및 탄소배출 현황을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

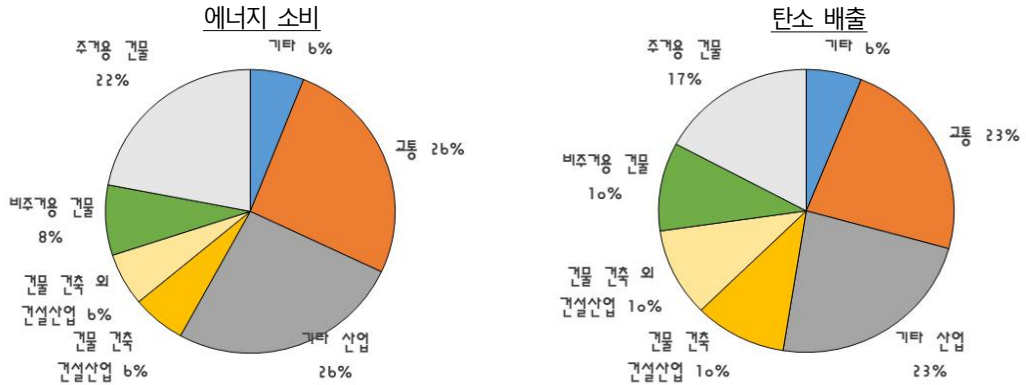
(1) 건설산업과 건물운영 부문의 에너지 소비 현황

세계 건축 및 건설연맹(Global Alliance for Buildings and Construction) 보고서¹³⁾에 따르면, 건설자재 생산과정을 포함한 광의의 건설산업과 건물운영 부문에서 소비된 에너지는 2020년 기준 전 세계 에너지 소비의 42%를 차지하고 있다. 광의의 건설산업이 2020년 기준 전 세계 에너지 소비의 12%를 차지했고, 건물의 운영단계에서도 전 세계 에너지 소비의 30%를 차지하여 건설산업은 에너지 관련 탄소배출 유발이 클 수밖에 없음을 알 수 있다.

세부적으로 건설산업을 건물 건축 건설산업과 이외 건설산업으로 나눠 살펴보면, 건물(주거 및 비주거용 건물) 건축 건설산업에서 소비된 에너지가 6%의 비중을 차지하고, 건물 건축 외 건설산업에서 소비된 에너지 역시 6%의 비중을 차지하였다. 준공 이후 건물의 운영단계에서도 에너지 소비가 발생하는데, 전 세계 에너지 소비의 30% 비중 중 주거용 건물 운영에 소비된 에너지가 22%를 차지하고, 비주거용 건물 운영에 소비된 에너지가 8%를 차지하였다.

13) UNEP, Global ABC, '2021 Global Status Report for Buildings and Construction', 2021.10.

<그림 III-2> 주요 부문별 에너지 소비 및 탄소배출 비중



주 : 세계 건축 및 건설연맹(Global ABC)에서 국제에너지기구(IEA) 데이터를 기초로 분석한 결과이며, 최종 소비자(end users) 관점의 분류임. 이산화탄소 배출 비중은 에너지(전기, 열 등) 생산과정에서 배출된 이산화탄소의 배출 비중임. 건설산업에는 건설자재 제조업이 포함됨.

자료 : UNEP, Global ABC, '2021 Global Status Report for Buildings and Construction', 2021.10.

(2) 건설산업과 건물운영 부문의 에너지 소비 관련 탄소배출 현황

① 탄소배출 현황

세계 건축 및 건설연맹 보고서에 따르면, 건설자재 생산과정을 포함한 광의의 건설산업과 건물운영 부문에서 배출된 이산화탄소는 2020년 기준 전 세계 에너지 관련 이산화탄소 배출의 47%를 차지해 상당한 수준이다. 즉 향후 탄소중립은 건설산업에 상당한 도전이 될 전망이다.

② 세부 부문별 탄소배출 비중

건설산업과 건물운영 부문의 탄소배출 비중을 세부적으로 살펴보면, 우선 건설자재 생산과정을 포함한 광의의 건설산업, 즉 전체 건설단계에서 배출된 이산화탄소는 2020년 기준 전 세계 에너지 생산과정에서 배출된 이산화탄소의 20%를 차지하였다. 건설산업을 건물 건축 건설산업과 이외 건설산업으로 나눠 살펴보면, 건물(주거 및 비주거용 건물) 건축 건설산업에서 배출된 이산화탄소가 10%의 비중을 차지하고, 건물 건축 외

건설산업에서 배출된 이산화탄소 역시 10%의 비중을 차지하였다.

다음으로 건물 운영(operation)단계에서 배출된 이산화탄소는 에너지 생산과정에서 배출된 전체 이산화탄소의 27% 비중을 차지하였다. 세부적으로 주거용 건물 운영에서 배출된 이산화탄소가 17%(직접 배출 6%, 간접 배출 11%)의 비중을 차지하고, 비주거용 건물 운영에서 배출된 이산화탄소가 10%(직접 배출 3%, 간접 배출 7%)의 비중을 차지했다. 여기서 직접 배출은 해당 분류의 경계 내(해당 건물 내의 보일러 시설 등)에서 일어나는 탄소배출이며, 간접 배출은 에너지 소비는 해당 경계 내에서 일어나지만 탄소배출은 경계 밖(해당 건물 밖의 발전시설 등)에서 일어나는 탄소배출을 의미한다.

③ 우리나라 건축물의 탄소배출 현황 및 추이

한편, 우리나라의 경우 2018년 기준으로 건물의 이산화탄소 배출이 1억 8,000만톤 CO₂eq으로 국가 전체 탄소배출량의 24.7%를 차지하고 있다. 이는 전 세계 건축물의 이산화탄소 배출 비중 27%에 비해 소폭 낮은 비중이다. 2010년 우리나라 건축물의 탄소배출 비중은 26.6%이었으나, 이후 소폭 낮아졌다.

우리나라 건축물의 탄소배출을 직접배출과 간접배출로 구분해보면, 건축물 경계 내에서 화석연료 등을 사용한 직접적 탄소배출이 5,200만톤으로 7.2%의 비중을 차지했고, 건축물 경계 밖에서 생산된 전력에너지 사용으로 간접 배출한 탄소는 1억 2,700만톤으로 17.5%의 비중을 차지했다.

<표 III-2> 우리나라 총 탄소배출량 대비 건축물의 탄소배출 비중

(단위 : %)

구 분	2000년	2005년	2010년	2015년	2018년
	24.7	26.1	26.6	23.3	24.7
건물					
직접배출	13.9	11.5	8.5	7.2	7.2
간접배출	10.8	14.6	18.1	16.1	17.5

자료 : 국토교통부, 국토교통 탄소중립 로드맵, 2021.12, p.3.

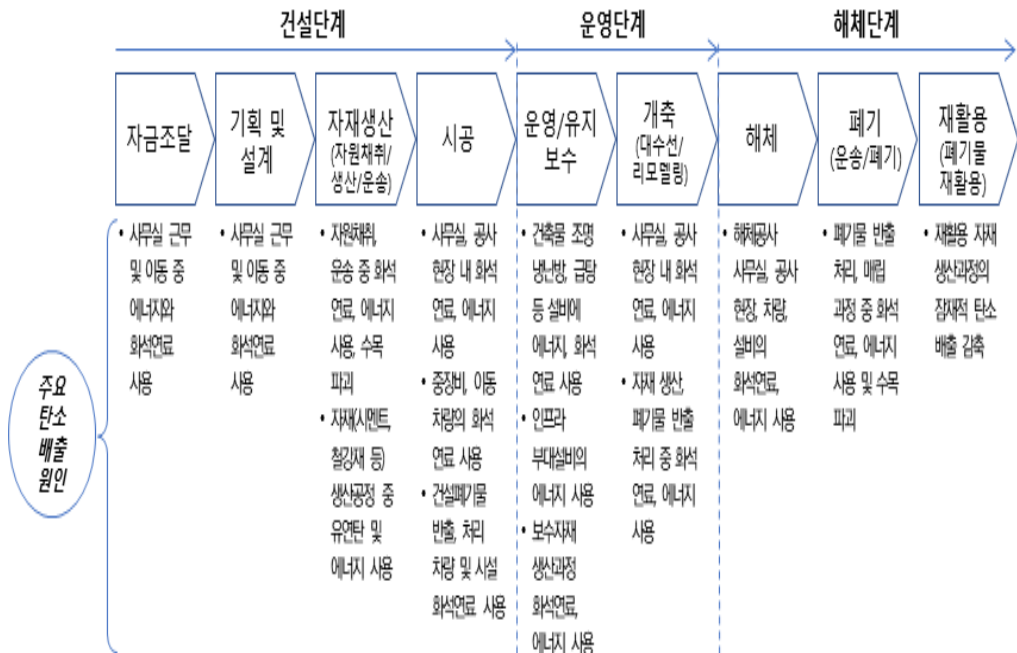
3. 건설산업의 탄소배출 구조와 원인

(1) 건설상품의 생애주기 단계별 탄소배출의 주요 원인

① 개요

국내 건설산업이 효과적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 건설산업이 탄소를 배출하는 구조적 원인을 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 건설상품의 전 생애주기(total life cycle) 단계별로 세부적인 탄소배출 원인을 살펴보는 것이 효과적이다. 건설상품의 전 생애주기 단계별 세부 활동을 구분하고, 각 활동별로 탄소배출의 원인을 살펴보면 다음의 그림과 같다.

<그림 III-3> 건설상품의 생애주기 단계별 탄소배출의 주요 원인



② 건설단계 탄소배출의 주요 원인

건설단계에서는 우선 자금조달, 기획 및 설계 과정에서 사무실의 냉난방, 조명, 보일러 등의 설비사용을 위한 에너지 및 화석연료 사용(전기, 가스, 등유 등 사용)으로 인한 직간접 탄소배출¹⁴⁾, 차량 운행 중 경유 등 화석연료 사용으로 인한 탄소배출이 있다.

다음으로 건설자재 생산과정에서 상당히 많은 탄소가 배출되는데, 대표적으로 시멘트, 철강재 생산과정에서 상대적으로 가장 많은 탄소가 배출된다. 시멘트의 경우 석회석 원료를 투입한 소성공정에서 다량의 이산화탄소가 배출되고 있다. 철강재는 고로공정에서 유연탄을 연료로 사용하면서 많은 탄소가 배출되는데, 건설 과정에 투입되는 철근을 비롯한 봉형강의 경우는 고로가 아닌 전기로에서 대부분 생산되므로 직접적인 탄소배출량은 많지 않고, 간접적 탄소배출량이 많은 상황이다. 이외에도 유리, 플라스틱 등 다양한 건설자재의 생산과정에서도 시멘트, 철강재만큼은 아니지만, 제조시설의 에너지 사용, 공정 내 화석연료 투입으로 인한 탄소가 배출된다.

마지막으로 시공과정에서는 본사 및 현장 사무소의 냉난방, 조명, 보일러 사용과 중장비, 기자재 운송차량 등의 운용을 위한 경유 등 화석연료 사용 과정에서 탄소가 배출된다. 구체적으로 건설기업의 본사 및 지역사무소, 현장사무소, 공사 현장 내의 냉난방, 조명, 보일러 등의 설비사용을 위한 에너지 및 화석연료 사용, 그리고 현장 내 중장비, 기자재 운송차량, 직원 이송차량 등의 운용을 위한 경유 등 화석연료 사용 과정에서 탄소가 배출된다. 또한, 건설폐기물 반출 및 처리 과정에서도 차량, 소각시설 이용 등으로 인해 화석연료가 사용되고 이로 인해 탄소가 일부 배출된다.

③ 운영단계 탄소배출의 주요 원인

운영단계에서는 준공 이후 건설상품의 사용 과정에서의 냉난방, 조명, 보일러 등 설비 사용, 개보수 공사에 투입되는 자재생산 및 시공 과정에서 탄소가 배출된다. 구체적으로 준공 이후 건설상품의 운영과정에서의 냉난방, 조명, 보일러 등의 설비사용을 위한 에너

14) 직접 배출은 해당 분류의 경계 내(해당 건물 내의 보일러 시설 등)에서 일어나는 탄소배출이며, 간접 배출은 에너지 소비는 해당 경계 내에서 일어나지만 탄소배출은 경계 밖(해당 건물 밖의 발전시설 등)에서 일어나는 탄소배출을 의미한다.

지 및 화석연료 사용과 소규모 보수/보강 및 대규모 개축(대수선, 리모델링 등) 공사에 투입되는 기자재 생산과정에서의 탄소배출, 보수/보강 및 개축공사 시공 과정에서의 에너지 및 화석연료 사용, 공사 폐기물 운송 및 처리 과정에서 탄소배출이 발생한다.

특히 건설상품 중 건축물의 운영과정에서 냉난방, 조명, 보일러 등의 설비사용을 위한 에너지 및 화석연료 사용으로 인한 탄소배출이 가장 많다. 도로, 철도, 댐 등 인프라 시설의 운영과정에서도 가로등, 신호등, 갑문 등과 같은 부대시설과 설비의 운영에 에너지가 사용되지만, 건축물 운영에 소비되는 에너지양과 이로 인한 탄소배출에 비해 훨씬 적다. 구체적인 건축물과 인프라 시설의 운영과정에 배출되는 탄소 현황은 다음 절에 수록되어 있다.

④ 해체단계 탄소배출의 주요 원인

마지막으로 해체단계에서는 해체공사 및 폐기물 운송과정에서의 사무실, 설비, 차량 등의 에너지 및 화석연료 사용, 폐기물 반출 및 처리 과정에서의 운송차량, 소각시설 이용 등의 화석연료 사용으로 인해 탄소가 배출된다.

다만, 다음 절에서 구체적으로 살펴보겠지만, 해체단계에서의 탄소배출은 건설 및 운영단계에 비해 많지 않다. 뿐만 아니라 해체된 폐기물 중 일부를 재활용함으로써 탄소배출을 감축하는 효과도 나타난다. 즉 폐기물의 재활용을 통해 해당 건설자재의 생산과정에서 발생하게 될 잠재적인 탄소배출을 감축하는 효과를 얻을 수 있다. 대표적으로 폐콘크리트를 재활용할 경우 그만큼 시멘트, 골재, 레미콘 생산과정에서 발생하는 탄소배출을 감축할 수 있다.

⑤ 시사점

그동안 건설산업의 탄소배출 감축은 건축물을 중심으로 한 운영단계의 탄소감축에 많이 초점이 맞춰져 있었으나, 건설상품의 생애주기 단계별 탄소배출의 주요 원인을 살펴본 결과, 건설단계 및 해체단계의 탄소배출 감축도 중요한 이슈이다. 향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출량을 감축하기 위해서는 준공 후 운영단계에서 배출되는 탄소의 감축을 포함해 전 생애주기에 걸쳐 탄소배출을 감축하는 것이 중요하다.

또한, 해체단계 이후 해체된 건축물이나 인프라 시설을 다시 새롭게 재축할 경우에는 위에서 살펴본 건설단계에서 발생한 탄소가 반복적으로 다시 배출된다. 따라서 건설산업이 탄소를 성공적으로 감축하기 위해서는 장수명 건설상품의 건설과 그린리모델링, 예방적 유지보수활동 등을 통해 건설상품의 수명을 연장하는 것도 탄소감축에 상당히 긍정적 영향을 미칠 것이다.

(2) 운영탄소(operational carbon)와 내재탄소(embodied carbon)의 구분

① 운영탄소와 내재탄소의 구분

건설산업의 탄소배출, 즉 건설상품의 전 생애주기 단계별로 배출되는 탄소를 위에서 처럼 생애주기 단계가 아닌 운영탄소(operational carbon)와 내재탄소(embodied carbon)로 구분할 수도 있다. 운영탄소는 건설상품의 생애주기상 운영단계에서 건설상품의 운영과정에서 에너지 사용 및 화석연료 사용을 통해 직간접적으로 배출된 탄소를 말한다. 운영탄소는 주로 건축물의 운영과정에서 배출되는데, 건축물의 운영과정에서 냉난방, 조명, 보일러 등의 설비사용을 위한 에너지 및 화석연료 사용(전기, 가스, 등유 등 사용)으로 인해 직간접적으로 탄소가 배출된다. 건축물에 비해 훨씬 탄소배출량은 적지만, 도로, 철도, 댐 등 인프라 시설의 운영과정에서도 부대시설과 설비의 운영에 에너지가 소비되고 이로 인해 운영탄소가 배출된다.

한편, 내재탄소는 건설상품의 운영과정에서 배출되는 탄소를 제외한 건설자재 생산과정을 포함한 건설단계, 개보수과정, 해체과정에서 배출된 모든 탄소를 포함한다. 특히 건설상품이 준공되기 직전까지 건설자재 생산과정과 시공과정에서 배출된 탄소를 내재탄소라고 일컫는다. 즉 내재탄소는 건설상품이 준공되었을 때 이미 해당 건설상품의 건설과정에서 내재된 탄소배출이라는 의미가 있다.

<표 III-3> 운영탄소와 내재탄소의 구분

구분	명칭
운영탄소 (operational carbon)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설상품의 운영과정에서 에너지 사용 및 화석연료 사용을 통해 직간접적으로 배출된 탄소 ▪ 인프라 시설보다는 건축물의 운영과정에서 대부분의 탄소배출 ▪ 건축물의 운영과정에서 냉난방, 조명, 보일러 등의 설비사용을 위한 에너지 및 화석연료 사용(전기, 가스, 등유 등 사용)으로 인해 직간접적으로 탄소배출 ▪ 도로, 철도, 댐 등 인프라 시설의 운영과정에서도 부대시설과 설비의 운영에 에너지 및 화석연료 사용으로 인해 탄소배출
내재탄소 (embodied carbon)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설상품의 운영과정에서 배출되는 탄소를 제외한 건설자재 생산과정을 포함한 건설단계, 개보수과정, 해체과정에서 배출된 탄소 ▪ 특히 건설상품이 준공되기 직전까지 건설자재 생산과정과 시공과정에서 배출된 탄소 → 건설상품이 준공되었을 때 이미 해당 건설상품의 건설과정에서 내재된 탄소배출의 의미

② 시사점

결국 향후 건설산업과 건설기업이 탄소중립 시대에 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 운영탄소와 내재탄소를 모두 감축해야 한다. 즉 건설상품, 특히 건축물의 준공 이후 운영과정에서 에너지 사용을 최소화함으로써 운영탄소 배출을 최소화해야 하고, 건설단계에서 탄소배출을 감축한 건설자재의 사용과 시공단계의 에너지 및 탄소배출 저감을 통해 내재탄소를 최소화하는 것이 필요하다.

구체적으로 패시브 건축물, 제로에너지빌딩과 같은 에너지 및 탄소배출 저감형 건축물의 건설을 통한 운영탄소 배출 감축이 중요하고, 탄소배출 저감형 자재의 조달, 일명 그린조달과 에너지 저감형 시공법(OSC공법 등) 개발/적용, 해체단계에서 탄소배출이 적고 폐자재의 재활용이 가능한 건설상품 시공 등이 중요하다. 또한, 내재탄소는 자재생산 및 시공과정에서 불가피하게 배출될 수밖에 없으므로 장수명 건설상품을 시공하는 것도 매우 중요하다고 할 수 있다.

4. 건설상품의 전 생애주기 단계별 탄소배출¹⁵⁾ 비중

건설산업의 탄소배출 감축을 위해서는 건축물 등 건설상품의 전 생애주기 단계별로 탄소배출의 구조적 원인을 파악하는 것과 더불어 전 생애주기 단계별 탄소배출 비중을 비교, 분석하는 것도 중요하다. 건설상품의 전 생애주기 단계별 탄소배출 현황을 파악하고, 비중을 분석하기 위해서는 ‘전 과정평가(LCA : Life Cycle Assessment)’ 방법론을 활용하게 된다.

(1) 산업연관표 활용 추정

건설상품의 생애주기별 탄소배출 현황을 평가하는 전 과정평가(LCA)와 관련된 연구에는 우선 국가의 중앙은행에서 발표하는 산업연관표를 활용하여 건설상품의 생애주기 단계별로 배출된 탄소배출량을 추정한 연구가 있다.

<표 III-4> 산업연관표를 활용한 건축물 생애주기 단계별 탄소배출 비중 분석

구 분		건설단계			운영단계		해체단계		합계
이강희 (1998)	세부 단계	시공			운영	개보수	해체		소계
	탄소배출 비중(%)	27.0			62.0	8.0	3.0		100.0
		27.0			70.0		3.0		
김성완, 이종성 (1988)	세부 단계	시공			운영	개보수	해체		소계
	탄소배출 비중(%)	15.0			81.0	2.0	2.0		100.0
		15.0			83.0		2.0		
태성호 (2022)	세부 단계	자재생산	자재운송	시공	운영	유지관리	해체	폐기	소계
	탄소배출 비중(%)	29.0	1.0	2.0	62.0	3.0	2.5	0.5	100.0
		32.0			65.0		3.0		

주 : 이강희(1998), 김성완-이종성(1988) 자료는 강운산(2010) 연구에 포함된 자료를 재인용함. 태성호(2022) 자료는 2022년 탄소중립 건축컨퍼런스 발표집에 포함된 자료로 산업연관표를 활용한 자료이며, 건축물 수명 40년을 가정함.

15) 선행연구에 따라 탄소배출이라는 용어를 사용한 경우도 있고, 온실가스배출이라는 용어를 사용한 경우도 있으나, 대부분 배출량은 이산화탄소 환산계수를 적용해 탄소배출량 수치로 표기하고 있으므로 본 연구에서는 명확히 온실가스배출량을 산출한 경우가 아니면, 용어를 탄소배출로 통일했다.

산업연관표에서는 최종 산출물이 생산되기까지 최초 투입재료부터 중간재 투입까지 모든 투입요소의 연관관계와 투입계수값을 제시하고 있다. 따라서 이러한 연관관계와 계수값을 활용해 건설상품이 최종적으로 산출되기 위해 필요한 각 단계별 에너지 소비와 탄소배출량을 추정하는 연구를 진행하였다. 동 연구는 주로 건축물을 대상으로 연구가 진행되었는데, 몇몇 연구들을 살펴보면 <표 III-4>와 같다.

연구 결과를 구체적으로 살펴보면, 건축물의 건설단계에서 배출되는 탄소배출이 약 15~30%대 초반의 비중을 차지하고, 건축물의 운영단계에서 배출되는 탄소가 약 65~80%대 초반의 비중을 차지하는 것으로 추정되고 있다. 해체단계에서도 2~3% 정도의 탄소가 배출되는 것으로 추정되고 있다.

(2) 국가 에너지 통계자료 활용 추정

기후변화 문제가 심각해지면서 다양한 산업 및 상품의 생애주기 단계별로 실제 에너지 소비 및 국가별 온실가스 배출계수 관련 통계자료가 점차 축적되기 시작했다. 이에 따라 국가 에너지 통계자료와 온실가스 배출계수를 활용한 연구가 증가하고 있다. 건설산업의 경우 앞서 살펴본 세계 건축 및 건설연맹(Global ABC)에서 국제에너지기구(IEA)가 발표하는 에너지 사용 데이터를 기초로 건설산업과 건축물에서 배출되는 에너지 소비 및 탄소배출량 자료를 매년 분석하여 발표하고 있다.

McKinsey & Company에서도 2018년 국제에너지기구(IEA)의 통계를 기초로 건축물과 인프라를 포함한 건설상품의 전 생애주기 단계별 탄소배출 비중을 분석해 발표하였다. McKinsey & Company에서 분석한 건설 생애주기별 온실가스 배출 비중을 살펴보면, 산업연관표를 활용해 분석한 결과와 마찬가지로 건설자재 생산과정과 준공 후 건설생산물의 운영단계에서 대부분의 온실가스가 배출되는 것으로 분석되었다. 세부적으로 전체 건설 생애주기 단계 중 건설자재(시멘트, 철강재 등) 생산단계에서 약 28%가 배출되며, 운영/유지보수 단계에서 약 69%가 배출되는 것으로 분석되었다. 이외 단계에서 배출되는 온실가스 배출 비중은 3.06%에 불과하였다. 크게 건설단계와 운영단계로 나눠 살펴보면, 자재생산과 시공을 포함한 전체 건설단계에서 약 30%, 운영 및 유지보수 단계에서 약 68%의 배출 비중을 차지해 역시 산업연관표를 활용한 분석과 크게 차이가 나지 않았다.

<표 III-5> 건설산업의 생애주기 단계별 탄소배출 비중 분석

구 분		건설단계				운영/해체단계		합계	
McKinsey & Company (2021)	단계	자금조달	기획 및 설계	자재생산	시공	운영/유지보수	개축	소계	
	배출량 (GtCO2eq)	0.02	0.03	3.88	0.27	9.41	0.1	13.71	
	배출 비중(%)	0.15	0.22	28.3	1.97	68.64	0.73	100.0	
		30.6				69.4			
BIS (2010)	단계	설계		자재생산	운송	시공	운영	수선/해체	소계
	배출량 (MtCO2eq)	1.3		45.2	2.8	2.6	246.4	1.3	298.4
	배출 비중(%)	0.5		15.0	1.0	1.0	83.0	0.4	100.0
		17.5				83.4			

주 : McKinsey & Company(2021)는 국제에너지기구(IEA)의 2018년 통계를 기초로 전 세계 건설산업의 온실가스 배출량(이산화탄소 12.1기가톤, 기타 온실가스 1.6기가톤)을 분석한 자료이며, BIS(2010)는 영국 에너지기후변화대응청(DECC)의 2008년 통계를 기초로 영국 건설산업의 탄소배출량을 분석한 자료임.

자료 : McKinsey & Company, Call for action : Seizing the decarbonization opportunity in construction, 2021.7. ; BIS, Estimating the amount of CO2 emissions that the construction industry can influence, Autumn, 2010.

2010년 영국의 BIS(Department for Business, Innovation & Skills)에서도 영국 에너지기후변화대응청(DECC)의 2008년 통계를 기초로 전 과정평가(LCA) 연구를 진행하였다. 그 결과, 건설단계에서의 탄소배출 비중이 17.5%, 운영/해체단계에서의 탄소배출 비중이 83.4%를 차지했다. 세부적으로 살펴보면, 설계단계에서 0.5%, 시공단계에서 1.0%, 수선/해체단계에서 0.4%를 차지해 McKinsey & Company(2021)의 분석 결과와 어느 정도 비슷한 결과를 보였다. 그러나, 자재생산 단계에서는 McKinsey & Company(2021)의 28.3%에 비해 상당히 낮은 15.0%의 비중을 보였고, 대신 운영단계의 탄소배출 비중이 83.0%로 McKinsey & Company(2021)의 분석 결과인 68.6%에 비해 훨씬 높은 결과를 보였다. 이러한 차이는 건축물의 사용 연수가 더 길거나, 에너지 소비가 더 많은 선진국 특성 등이 반영된 결과로 보이는데, McKinsey & Company(2021) 분석의 경우 전 세계 에너지 관련 통계를 기초로 한 분석인 반면, BIS(2010) 분석의 경우 선진국이라고 할 수 있는 영국 자료만을 사용한 결과로 추정된다.

McKinsey & Company(2021) 분석 결과의 경우 특정 개별 국가가 아닌 전 세계 에너

지 통계 자료를 기초로 분석하였고, 또한 더욱 최근의 통계자료를 기초로 분석했다는 점에서 BIS(2010)의 분석 결과보다 더 일반적으로 활용할 수 있는 객관적인 자료라고 할 수 있겠다. 그런데, 2018년 국제에너지기구(IEA) 통계를 기초로 분석한 결과인 McKinsey & Company 보고서에서도 과거 산업연관표를 활용해 분석한 연구 결과와 마찬가지로 운영단계에서의 온실가스 배출 비중이 여전히 70% 가까운 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 아직 녹색건축인증, 제로에너지건축인증 등과 같은 인증이 적용된 에너지 절감형 건축물의 확산이 본격적으로 이뤄지지 않았고, 또한 소득증가 등의 환경변화 요인에 따라 거주자의 에너지 소비도 좀 더 증가한 때문으로 추정된다.

(3) 실제 사례분석 연구

① 해외 사례분석 연구

국제에너지기구(IEA), 주요 국가의 공공 통계 등을 활용한 연구 외에 특정 개별 건설상품의 생애주기 단계별 실제 탄소배출에 대한 사례분석 자료를 기반으로 한 전 과정평가(LCA) 연구도 진행되고 있다. 특히 우리나라에서 환경영향성적표지제도로 불리는 EPD(Environmental Product Declaration) 체계가 다수의 주요국들을 중심으로 시행되고 있는데, 동 제도는 대부분 상품의 전 생애주기 단계별로 탄소배출을 포함해 수자원 고갈 등 다양한 실제 환경영향 데이터의 축적을 의무화한 제도이다. 우리나라의 환경영향성적표지제도는 탄소발자국(Carbon Footprint) 등 7대 환경영향 범주별 환경영향 데이터를 수집하고 있다. 이를 통해 건설상품의 세부 유형 및 생애주기 단계별로 실제 탄소배출 현황 자료도 정확히 파악할 수 있게 되었다. 그리고, 동 데이터가 축적되면서 이를 활용한 실증연구도 조금씩 이뤄지고 있다.

아래 표에서는 스웨덴의 아파트와 호주의 호텔을 대상으로 생애주기 단계별 실제 배출된 탄소배출량 사례를 분석한 결과가 제시되어 있다. 스웨덴 아파트의 경우 건설단계에서 44.4%, 운영단계에서 54.7%, 해체단계에서 0.9%의 탄소가 배출되었다. 그리고, 호주 호텔의 사례에서는 건설단계에서 21.5%, 운영단계에서 77.4%, 해체단계에서 3.3%의 탄소가 배출되었고, 재활용단계에서 해체 후 폐기물의 재활용을 통해 2.1%의 탄소배출이 감축되었다. 스웨덴 아파트와 호주 호텔의 전 생애주기 탄소배출량을 비교하면, 호주

호텔이 약 8배(7.9배) 더 많은데, 이는 두 건축물의 용도 차이가 가장 큰 이유로 보인다. 또한, 호주 호텔의 경우 스웨덴 아파트에 비해 운영단계의 탄소배출 비중이 월등히 높게 나타났는데, 이 또한 호텔 건물의 특성이 가장 큰 영향을 미친 것으로 추정된다. 단, 호텔 건물의 특성상 재활용 단계에서는 폐자재 등의 재활용을 통해 잠재적인 탄소배출량을 감축하는 효과를 보였다.

<표 III-6> 사례를 활용한 건축물 생애주기 단계별 탄소배출 비중 분석

구 분		건설단계		운영단계	해체 단계	재 활용단계	합계
		자재생산	시공				
스웨덴 아파트 사례	탄소배출량 (kgCO2eq)	210	48	318	5.24	-	580.94
	탄소배출 비중(%)	36.1	8.3	54.7	0.9	-	100.0
		44.4		54.7	0.9	-	
호주 호텔 사례	탄소배출량 (kgCO2eq)	774	213	3,560	151.8	-97.6	4,601.1
	탄소배출 비중(%)	16.8	4.6	77.4	3.3	-2.1	100.0
		21.5		77.4	3.3	-2.1	

주 : 스웨덴 아파트는 Folkhem's Concept Building, 호주 호텔은 NXTTM Concept Building(Wyndham LUX Perth Hotel)에 대한 사례임.

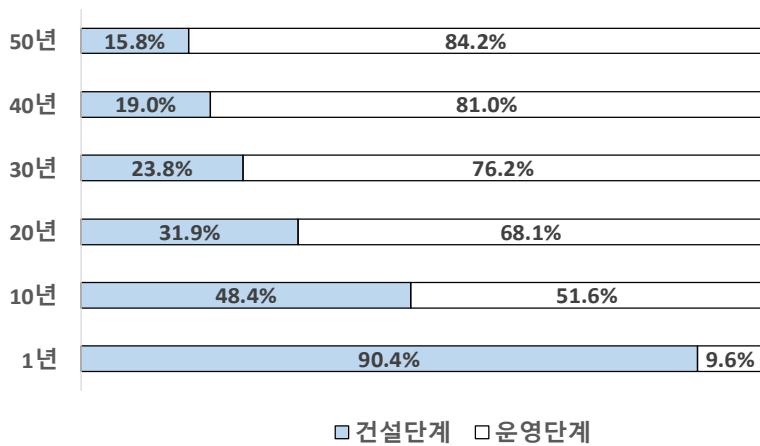
자료 : 채창우, '탄소중립을 위한 건축물 전과정적 고려와 건축물 EPD 추진방향', 2022년 탄소중립 건축컨퍼런스 발표집, 2022.3. p.13.

② 국내 사례분석 연구

국내에서도 실제 건설상품의 탄소배출 사례에 대해 분석한 연구들이 다수 진행되었다. 다만, 해당 사례의 생애주기 단계별로 실제 탄소배출량을 측정하는 것은 아니고, 해당 사례의 생애주기 각 단계별 에너지 소비량을 분석한 후 배출계수를 활용해 탄소배출량을 추정하였다. 대표적으로 2010년 국토해양부는 위탁연구를 통해 국제적으로 표준화된 가이드라인에 따라 도로(교량 및 터널 포함), 철도, 건축물 재료생산 및 시공단계에서 배출되는 온실가스 산정방법을 개발, 시범적용 했다. 시범사례 분석결과, 이산화탄소 환산 기준으로 교량과 터널을 포함한 왕복 4차선 고속도로 5km 건설 시 약 10만톤의 이산화탄소가, 총연면적 10만㎡(세대수 464세대) 공동주택 건설공사에서는 약 4만 7,000톤의 이산화탄소가 재료생산 및 시공 과정에서 배출되는 것으로 조사됐다. 또한, 건축물의 내

구연한을 20년으로 가정할 경우 건축물 전체 탄소배출량 중 재료생산 및 시공 과정에서 약 30%가, 운영단계에서 약 70%가 배출될 것으로 추정했다. 건축물의 내구연한을 연장할 경우 사용 연수 연장에 따라 운영단계에서 배출되는 이산화탄소가 비례하여 증가한다. 내구연한을 50년으로 가정할 경우 건축물 전체 탄소배출량 중 재료생산 및 시공 과정에서 약 16%가, 운영단계에서 약 84%가 배출될 것으로 추정했다.

<그림 III-4> 건축물의 내구연한에 따른 건설 및 운영단계의 탄소배출 비중 변화



주 : 공동주택 건설공사 사례를 기초로 한 분석 결과임.
 자료 : 국토해양부 보도자료, 2010.1.

전병일(2012) 연구에서는 주요 토목구조물을 대상으로 건설단계에서 배출되는 탄소배출량에 대해 사례분석을 실시하였다. 동 연구에서는 해당 사례의 건설단계에 투입된 주요 자재와 공정별 에너지 소비량을 조사하고, 각 항목별로 우리나라 정부 등에서 발표한 공신력 있는 탄소배출계수를 활용해 탄소배출량을 산출했다. 구체적으로 국토상 교량과 하천 인도교 신설공사의 사례를 보면, 두 공사 모두 자재생산단계에 80% 이상의 탄소가 배출되었고, 시공단계에 10~15% 수준의 탄소가 배출되었다. 세부 공정별로는 철근콘크리트교량인 국토상 교량의 경우 철근콘크리트공사에 57.4%, 철근조립에 20.3%의 탄소가 배출되었고, 강교인 하천 인도교의 경우 강교제작에 40.9%, 철근콘크리트공사에 14.0%의 탄소가 배출되었다.

<표 III-7> 교량 건설단계의 주요 분야 및 공정별 탄소배출 비중

국도상 교량 신설공사			하천 인도교 신설공사		
구분		비중	구분		비중
분야별 배출 비중	자재생산	86.0%	분야별 배출 비중	자재생산	82.2%
	시공	11.5%		시공	14.5%
	수송	1.6%		수송	2.5%
	폐기물 처리	0.9%		폐기물 처리	0.8%
공정별 배출 비중	철근콘크리트	57.4%	공정별 배출 비중	강교제작	40.9%
	철근조립	20.3%		철근콘크리트	14.0%
	그라우팅	7.0%		가시설	8.1%
	강관비계	5.2%		가설벨트	7.7%
	파일천공	3.3%		강교가설	7.4%
	거푸집	2.5%		SIP공법	6.9%
	기타	4.3%		기타	15.0%

주 : 국도상 교량은 전남 강진군 군동면 국도23번 삼신교 신설공사, 하천 인도교는 서울 중랑천 인도교 신설공사임.
 자료 : 전병일, '건설공사 시공과정에서의 온실가스 배출량 산정 기법에 관한 연구', 국민대학교 대학원 박사학위논문, 2013.6.

5. 건설상품 유형 및 공종별 탄소배출 비중

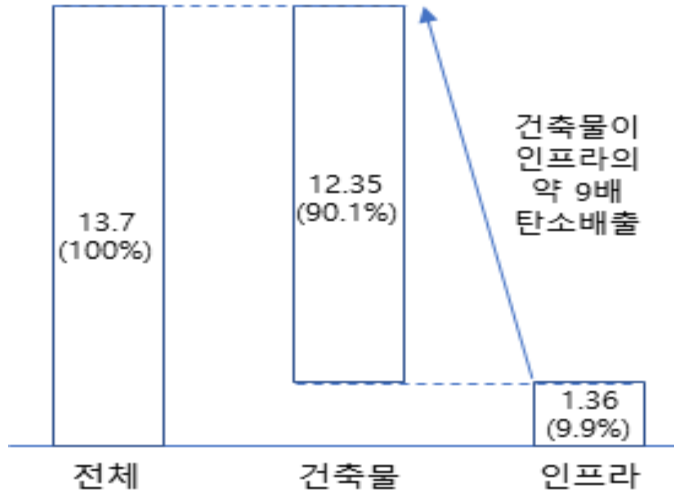
① 건설상품 유형별 탄소배출 비중

건축물 탄소배출 총량이 인프라의 약 9배

건설산업의 탄소배출 현황을 건설상품의 유형별로 구분해 보면, 건축물이 인프라 시설에 비해 훨씬 더 탄소배출이 많다. McKinsey & Company 보고서에서는 건축물과 인프라를 구분해 총생애주기의 탄소배출을 비교하였는데, 건축물의 탄소배출이 인프라에 비해 약 9배에 달하는 것으로 나타났다. 구체적으로 인프라 시설의 전 생애주기 탄소배출은 1.36기가톤(GtCO₂eq)인데 반해, 건축물은 12.35기가톤(GtCO₂eq)에 달했다. 이를 탄소배출 비중으로 나타내면, 전 생애주기에 걸쳐 건축물이 배출한 탄소가 건설산업 전체 탄소배출의 약 90%를 차지하고, 인프라 시설이 약 10%의 비중을 차지한다.

<그림 III-5> 건축물 및 인프라의 탄소배출 현황

(단위 : GtCO₂eq)



주 : 국제에너지기구(IEA)의 2018년 이산화탄소 배출 통계를 기초로 분석한 McKinsey & Company의 2021년 보고서 내용을 활용해 계산한 재작성.

자료 : McKinsey & Company, 'Call for action: Seizing the decarbonization opportunity in construction', 2021.7.

□ 건축물 운영단계의 탄소배출이 인프라의 약 940배, 건설단계도 인프라의 약 2배

건축물의 탄소배출이 인프라에 비해 많은 가장 큰 원인은 운영단계에서 탄소배출이 월등히 많기 때문인데, 건축물의 운영단계에서 탄소배출은 9.4기가톤(GtCO₂eq)으로 76.1%를 차지했다. 인프라의 경우 운영단계 탄소배출이 0.01기가톤(GtCO₂eq)으로 0.74%에 불과했는데, 건축물 운영단계의 탄소배출이 무려 940배나 많은 것으로 나타났다. 건축물이 운영단계에서 탄소배출이 많은 원인은 냉난방설비, 가전제품 사용 등으로 인해 에너지 소비가 인프라 시설에 비해 훨씬 더 많기 때문이다.

둘째로 운영단계만큼은 아니지만 건설단계의 탄소배출 역시 건축물이 인프라에 비해 훨씬 더 많다. 이는 건축물에 대한 건설투자가 인프라에 대한 건설투자보다 더 많기 때문으로 판단된다. 통상 건축물이 인프라 시설에 비해 평균적으로 약 2배 가까운 건설투자가 이뤄지기 때문에 인프라 시설의 건설단계에 비해 더 많은 에너지 사용과 탄소배출이 이뤄지게 된다.

세부적으로 살펴보면, 자재생산 단계에서 건축물은 2.66기가톤(GtCO₂eq)의 탄소를 배출한다. 이는 전 생애주기 탄소배출의 21.54%에 해당해 운영단계 다음으로 많은 비중을 차지한다. 인프라의 경우는 자재생산 단계에서 1.22기가톤(GtCO₂eq)의 탄소가 배출돼 생애주기 전체에서 89.7%로 대부분의 탄소배출을 차지했다. 이는 운영단계에서 탄소배출이 0.74%로 매우 적기 때문이다. 비록 자재생산 단계에서 많은 비중의 탄소가 배출되지만, 탄소배출량 자체는 건축물 자재생산 단계의 탄소배출량에 절반에도 소폭 못 미친다. 인프라 자재생산 단계에서 탄소배출량이 건축물의 절반에 불과한 것은 앞서 언급한 바와 같이 인프라 건설투자 규모 자체가 건축물에 비해 훨씬 적기 때문이다. 시공단계의 탄소배출 역시 건축물이 인프라의 2배에 해당하는 탄소를 배출하고 있다.

<표 III-8> 건축물 및 인프라의 생애주기 단계별 탄소배출 비중

구 분		자금조달	기획 및 설계	자재생산	시공	운영/유지 보수	개축	합계
건축물	탄소배출량 (GtCO ₂ eq)	0.01	0.02	2.66	0.19	9.4	0.07	12.35
	탄소배출 비중(%)	0.08	0.16	21.54	1.54	76.11	0.57	100.0
인프라	탄소배출량 (GtCO ₂ eq)	0.01	0.01	1.22	0.08	0.01	0.03	1.36
	탄소배출 비중(%)	0.74	0.74	89.71	5.88	0.74	2.21	100.0

주 : IEA의 2018년 CO₂ 배출 통계를 기초로 분석한 McKinsey & Company 보고서 내용을 활용해 건설업 재작성.
 자료 : McKinsey & Company, 'Call for action: Seizing the decarbonization opportunity in construction', 2021.7.

② 건설공사 공종별 탄소배출 비중

□ 공동주택 등 건축물 건설공사의 공종별 탄소배출 비중은 건축공사가 80% 이상 차지

건설단계에서 배출되는 탄소배출량을 공종별로 비교, 분석한 연구도 시도되고 있다. 이강희(2003) 연구에서는 산업연관분석표를 활용해 공동주택 건설공사의 단위면적당 탄소배출 원단위를 분석하였다. 그 결과, 건축공사가 80.9%로 가장 높은 비중을 차지했고, 토목공사는 4.4%, 기타 공사는 14.7%의 비중을 차지하였다. 2010년 국토해양부는 위탁 연구를 통해 공동주택의 시범사례를 조사해 건축물 건설단계의 주요 공정별 탄소배출

비중을 분석하여 발표하였다. 발표 내용을 살펴보면, 건축공사가 83.5%로 가장 높은 비중을 차지했고, 조경공사 11.3%, 토목공사 3.84%, 기계 및 전기공사 1.3%를 차지하였다. 마지막으로 태성호(2022) 발표자료에서도 산업연관분석표를 활용한 건축물의 공종별 탄소배출 비중을 비교 분석해 제시하였다. 그 결과, 건축공사가 85.3%를 차지해 이강희(2003) 연구와 2010년 국토해양부 위탁연구에서 발표한 비중과 거의 유사했다. 다음으로는 설비공사가 12.0%, 토목공사가 2.7%의 탄소배출 비중을 차지했다. 공정별로 건축공사가 가장 높은 탄소배출 비중을 차지하는 이유는 우선 공동주택 등 건축물 건설공사의 경우 주요 공정 중 건축공사의 투자액 비중이 가장 높고, 둘째로 건설단계에서 탄소배출은 구조적으로 시멘트, 철강재 등의 자재 생산단계에서 가장 많이 발생하는데, 건축공사에는 동 자재들이 많이 사용되기 때문이다.

<표 III-9> 건축물 건설공사의 주요 공종별 탄소배출 비중

(단위 : %)

구 분	건축공사	토목공사	기타 공사			합계
			기계공사	전기공사	조경공사	
이강희 (2003)	80.9	4.4	14.7			100.0
국토해양부 (2010)	83.5	3.9	1.08	0.22	11.28	100.0
			12.6			
태성호 (2022)	85.3	2.7	12.0			100.0

주 : 이강희(2003) 연구 결과는 강운산(2010) 연구에 포함된 내용을 재인용 한 것으로 산업연관분석표를 활용해 분석한 공동주택 건설공사의 공종별 탄소배출 원단위 자료를 기초로 탄소배출 비중을 계산함. 국토해양부(2010) 자료는 공동주택 사례분석을 기초로 분석해 발표한 자료임. 태성호(2022) 자료는 2022년 탄소중립 건축컨퍼런스 발표집에 포함된 자료로 산업연관표를 활용해 분석한 자료임.

□ 세부 공종별로는 철근콘크리트공사, 미장공사가 각각 20% 이상 차지

이강희(2003) 연구에서는 공동주택 건설공사의 세부 공종별로도 단위 면적당 탄소배출 원단위를 분석해 발표했다. 분석 결과를 살펴보면, 미장공사가 25.7%로 가장 높은 비중을 차지했고, 그 다음으로 철근콘크리트공사가 20.8%의 비중을 차지했다. 그 외에는 단열공사 11.2%, 지정공사 10.9%, 오배수공사가 10.8%의 비중을 차지했고, 나머지는 모두 10% 미만의 비중을 차지했다. 태성호(2022) 발표자료에서는 건축물 공사의 주된 공

정인 건축공종의 세부 공종별로 탄소배출 비중을 분석했는데, 철근콘크리트공사가 75%로 가장 높은 비중을 차지했다. 이외 세부 공종들은 크게 비중이 두드러지는 공종이 없고, 발코니 마감공사, 유리공사, 미장공사, 가설공사, 방수공사 등이 대체로 5~10% 내외의 비중을 차지했다. 세부 공정별로 철근콘크리트공사, 미장공사 등에서 탄소배출 비중이 많은 것은 상위 공정 중 건축공사에서 탄소배출이 가장 많이 배출되는 원인과 마찬가지로 동 세부 공정에 탄소배출이 가장 많은 시멘트, 철강재 등이 많이 투입되기 때문으로 판단된다.

<표 III-10> 건축물 건설공사의 세부 공종별 탄소배출 비중

(단위 : %)

구 분	세부 공종	탄소배출 비중	세부 공종	탄소배출 비중
건축공사	철근콘크리트공사	20.8	창호 및 유리공사	6.7
	단열공사	11.2	지정공사	10.9
	목공사	5.7	미장공사	25.7
토목공사	포장공사	1.3	공동구공사	1.1
	토공사	1.1	부대시설공사	0.9
기계 및 설비 공사	오배수공사	10.8	난방공사	2.2
	급수공사	1.7	-	-

주 : 강운산(2010) 연구에 포함된 이강희(2003) 연구 결과를 재인용한 것으로 공동주택 건설공사의 세부 공종별 탄소배출 원단위 자료를 기초로 탄소배출 비중을 계산함.

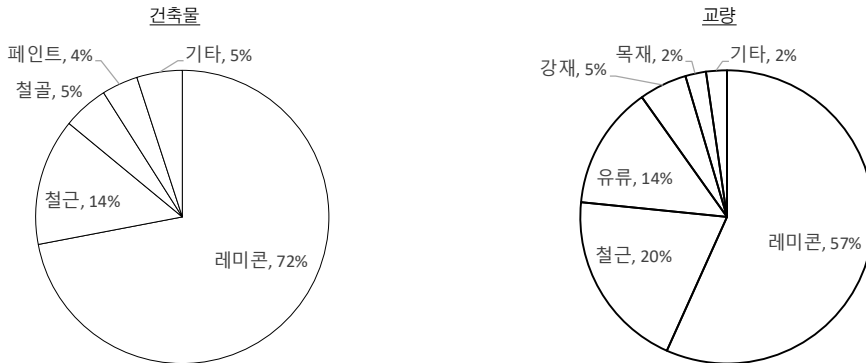
자료 : 이강희, '공동주택 건설공사에서의 공중에 대한 LCA 적용 연구', 대한건축학회논문집, 제19권2호, 2003. 2.

③ 주요 자재별 건설단계의 내재탄소 배출 비중

한편, 사례연구를 기초로 건설공사에 투입된 주요 자재별 탄소배출량 비중을 분석한 연구도 있는데, 건축물의 경우는 태성호(2022) 연구에서 9개 공동주택과 7개의 사무용 건축물의 신축공사를 대상으로 투입된 자재별 탄소배출량 비중을 분석하였다. 그리고, 전병일(2013) 연구에서는 교량 신설공사 사례를 기초로 투입된 자재별 탄소배출량 비중을 분석하였다. 그 결과, 건축물과 교량 모두 레미콘의 비중이 가장 높은 비중을 차지했다. 특히 건축물의 경우 레미콘이 72%로 대부분의 비중을 차지했다. 이는 레미콘의 주요 재료인 시멘트 제조과정, 구체적으로 소성공정에서 많은 탄소가 배출되기 때문이다. 레미콘의 탄소배출 비중이 건설자재 중 가장 높은 것은 위에서 살펴본 세부 공종별 분

석에서 철근콘크리트공사가 75%를 차지한 것과 유사한 맥락으로 볼 수 있다. 다음으로 철근이 높은 비중을 차지했는데, 건축물의 경우 14%, 교량의 경우 20%의 비중을 차지했다.

<그림 III-6> 주요 자재별 건설단계의 내재탄소 배출 비중



주 : 건축물은 9개 공동주택과 7개의 사무용 건축물 신축공사에 투입된 자재의 탄소배출량 비중이며, 교량은 국도 23번 삼신교(철근콘크리트교량) 신설공사에 투입된 자재의 탄소배출량 비중임.

자료 : (건축물) 태성호, '정부의 탄소중립 정책에 따른 건설산업의 대응 전략', Korea Build 2022 탄소중립 건축 컨퍼런스 자료집, 2022.3, p.27. (교량) 전병일, '건설공사 시공과정에서의 온실가스 배출량 산정 기법에 관한 연구', 국민대학교 대학원 박사학위논문, 2013.6, p.68.

6. 소결

이상에서 살펴본 건설산업의 탄소배출 현황과 탄소배출의 구조적 특징을 요약하면 다음과 같다.

□ 건설산업 탄소배출, 전 세계 탄소배출의 47% 차지

건설산업이 배출하는 온실가스 중 약 90%는 이산화탄소이다. 이산화탄소는 지구온난화의 주요 원인으로 탄소중립의 주요 감축 대상인데, 대부분 화석연료를 활용한 에너지 생산과정에서 배출된다. 건설산업은 자재생산 및 시공, 건물운영 부문을 포함해 2020년

기준 전 세계 에너지 소비의 42%를 소비하고 있다. 이에 따라 건설산업은 전 세계 에너지 생산 관련 탄소배출의 47%를 배출하고 있다. 건물운영 부문에서 27%의 탄소를 배출하고, 건설자재 생산을 포함한 건설단계에서 20%의 탄소를 배출한다. 결국 건설산업은 전 세계에서 배출되는 탄소배출량의 50% 가까이에 직접적 영향을 미치고 있으며, 향후 탄소중립 추진은 건설산업에도 상당한 도전이 될 전망이다.

□ 건설단계에서 30% 내외, 운영단계에서 70% 내외 탄소배출

건설상품의 전 생애주기 단계별로 탄소배출 비중을 비교·분석한 선행연구들을 살펴본 결과, 연구 결과마다 편차가 있지만, 대체로 자재생산, 시공 등을 포함한 건설단계에서 30% 내외, 준공 이후 운영단계에서 70% 내외, 해체/폐기단계에서 2% 내외의 탄소가 배출되는 것으로 분석된다. 아울러 해체된 폐기물의 재활용을 통해 약 0~2%의 탄소배출을 감축할 수 있는 것으로 분석된다.

□ 건축물이 인프라 시설에 비해 약 9배의 탄소배출(전 생애주기 기준)

건설상품의 유형별로는 건축물의 전 생애주기에 걸친 탄소배출량이 인프라 시설의 전 생애주기에 걸친 탄소배출량보다 약 9배 더 많은 것으로 분석되었다. 이를 탄소배출 비중으로 나타내면, 건설 및 운영, 해체/폐기단계를 모두 포함한 건설산업의 전체 탄소배출 중 건축물이 약 90%, 인프라 시설이 약 10%의 비중을 차지한다. 건축물의 탄소배출량이 인프라 시설보다 9배나 더 많은 원인은 운영단계에서 건축물의 탄소배출이 인프라 시설에 비해 약 940배나 더 많기 때문이다. 또한, 건설단계에서도 건축물에 대한 건설투자가 인프라에 비해 더 많기 때문에 탄소배출 역시 약 2배 정도 더 많이 배출되고 있다.

□ 공종별로는 건축물 기준 건축공사 약 80~85%, 토목공사 약 3~5% 탄소배출

건설공사의 공종별 탄소배출 비중과 관련해서는 선행연구를 참조할 때, 공동주택과 같은 건축물 공사의 경우 건축공사가 약 80~85%, 토목공사가 약 3~5%, 이외 설비공사 등이 약 12~15%의 탄소배출 비중을 차지하는 것으로 분석된다. 세부 공종별로는 철

근콘크리트공사, 미장공사가 각각 20% 이상을 차지하는 것으로 분석된다.

□ 건설자재별로는 건축물 기준 레미콘 약 70%, 철골 약 5% 탄소배출

건설단계에 투입된 주요 건설자재별로 탄소배출 비중을 비교·분석한 선행연구에서는 레미콘이 72%의 비중을 차지해 대부분의 탄소배출이 레미콘 생산과정에서 배출되는 것으로 분석되었다. 다음으로 철골이 5%, 페인트가 4%의 탄소배출 비중을 차지했다.

□ 종합적 시사점

건설산업의 탄소배출 현황 및 구조적 특징을 요약해 볼 때, 향후 건설산업이 효과적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 우선 운영단계에서 건물운영 부문의 탄소배출 감축, 즉 건축물 운영탄소의 감축이 중요함을 알 수 있다. 건물운영 부문의 탄소배출은 주로 건물의 냉난방, 급탕 등 에너지 소비와 관련된 직간접적인 탄소배출이라는 점에서 향후 에너지 효율을 제고한 건축물의 건설과 기존 건축물의 에너지 효율 제고를 위한 개보수(그린리모델링)가 건설산업의 탄소배출 감축을 위해 중요할 것이다. 또한, 발전산업이 기존의 화석연료를 신재생에너지로 전환하여 건물운영 부문의 간접적인 탄소배출이 감축되는 것도 중요할 것이다.

둘째로 건설단계의 탄소배출 비중도 약 30% 내외로 상당한 수준이다. 따라서 건축물 운영탄소의 감축과 더불어 건설단계에서 배출되는 내재탄소의 감축도 중요하다. 건설단계에서의 탄소배출은 주로 자재생산 과정에서 배출되므로 건설단계에서 자재생산, 특히 시멘트, 철강재 생산 관련 탄소배출 감축이 중요하다. 시멘트를 비롯한 건설자재의 탄소배출 감축과 관련해서는 건설자재 생산업계의 기술개발 및 공정혁신과 더불어 건설업계에서도 내재탄소를 감축하기 위한 최적 설계와 시공, 탄소 저감형 건설자재 제조업체와의 협력관계 강화 등이 중요할 것으로 판단된다. 향후 건설산업이 효과적으로 탄소배출을 감축하기 위한 핵심적 감축방안들에 대해서는 제4장에서 자세히 살펴보고자 한다.

1. 건설산업의 탄소배출 감축 전략방향 및 핵심적 감축방안 도출

(1) 전략방향 및 핵심적 감축방안 도출 절차

① 전략방향 설정

향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 먼저 탄소배출 감축을 위한 전략방향을 설정하고, 이 전략방향에 기초하여 핵심적 감축방안을 도출한 후 이를 중점적으로 추진하는 것이 바람직하다. 건설산업의 탄소배출 감축을 위한 전략방향은 첫째로 건설산업의 전 생애주기 단계 및 단계 내 세부 과정/활동 중 탄소배출 비중이 높은 부분에 탄소배출 감축을 추진해 탄소배출 감축효과를 제고한다는 것이다. 둘째로는 건설산업의 전 생애주기 단계별 탄소배출 원인을 해결하기 위한 감축방안 중 건설산업 차원에서 특화해 전략적 추진 필요성이 큰 감축방안에 집중한다는 것이다. 즉 에너지 효율적 업무공간 사용, 전기차 사용 등과 같이 타 산업과 모든 경제주체들에게도 일반적으로 적용할 수 있는 탄소배출 감축방안이 아닌 건설산업이 특화해 전략적으로 추진이 필요한 감축방안을 도출해 집중적으로 추진한다는 것이다.

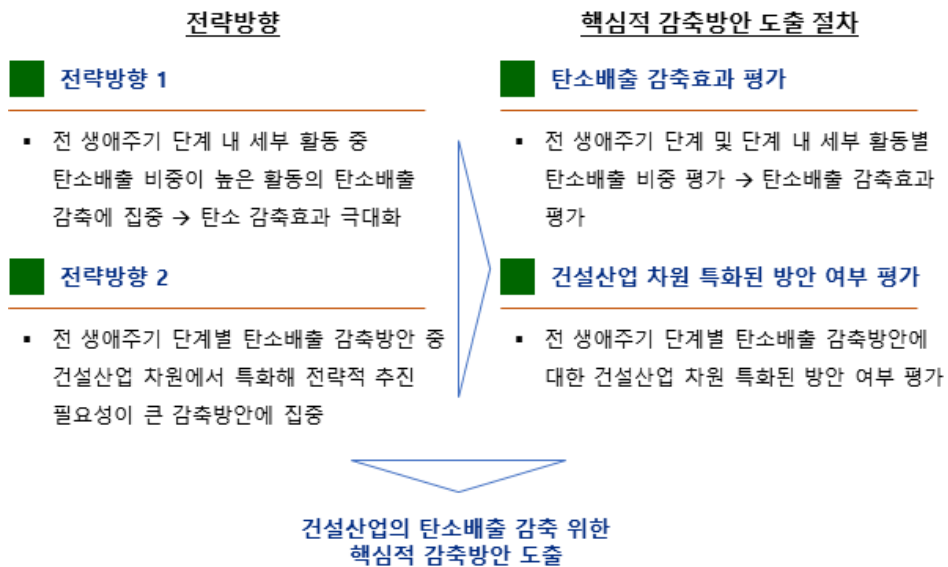
② 핵심적 감축방안 도출 절차

건설산업의 탄소배출 감축을 위한 전략방향에 기초한 핵심적인 탄소배출 감축방안을 도출하기 위해 본 연구에서는 건설상품의 전 생애주기 단계별로 탄소배출 비중에 기초한 감축 효과성 평가와 탄소배출 감축방안에 대한 건설산업 차원의 전략적 추진 필요성에 대해 평가를 한 후 이를 기초로 향후 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축을 위해 바람직한 핵심적 감축방안을 도출하고자 한다.

구체적으로 본 연구에서는 먼저 건설상품의 전 생애주기 단계별 탄소배출 비중 분석

을 통해 탄소배출 감축 효과가 큰 부분을 파악하고자 한다. 둘째로 전 생애주기 단계별 탄소배출 감축 원인을 기초로 이를 해결하기 위한 감축 방향 및 방안들을 도출하고, 이 중에서 건설산업 차원에서 특화해 전략적으로 추진이 필요한 감축 방향 및 방안을 파악하고자 한다. 건설산업에 특화된 방안은 타 산업에서 일반적으로 추진하는 방안과 중복되지 않으므로 국가 차원에서 볼 때 동 방안의 추진 필요성이 있기 때문이다. 이상의 두 가지 평가를 종합해 최종적으로 향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출 감축을 추진하기 위한 바람직한 핵심 감축방안을 도출하고자 한다.

<그림 IV-1> 건설산업의 탄소배출 감축 전략방향 및 핵심적 감축방안 도출 절차



(2) 생애주기 단계별 탄소배출 비중 고려한 핵심 단계 및 활동 파악

제3장에서 건설상품의 생애주기 단계별 탄소배출 비중에 대해 살펴보았는데, 동 비중은 향후 건설산업이 탄소배출 감축 추진 시 어떤 부분에서 탄소배출을 감축하는 것이 효과가 더 큰지를 알려준다. 즉 건설상품의 전 생애주기 단계 중 어떤 단계와 세부적으로 어떤 과정 및 활동에서 탄소배출을 감축하는 것이 중요한지 판단할 수 있는 근거를 제공한다.

① 건설단계

자금조달 및 기획/설계 단계

자금조달 및 기획/설계 단계의 경우 앞 장에서 살펴본 바와 같이 건설상품 전 생애주기 탄소배출 중 약 1% 미만의 탄소만을 배출하고 있다. 따라서 자금조달 및 기획/설계 단계에서의 탄소배출 감축 자체는 건설산업 전체의 성공적인 탄소배출 감축을 위해 핵심적인 부분이라고 보기 어렵다.

자재생산 단계

다음으로 자재생산 단계의 탄소배출 비중을 감안할 때 동 단계의 탄소배출 감축은 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축을 위해 상당히 중요하다. 자재생산 단계에서 배출되는 탄소가 건설산업의 전 생애주기에서 배출되는 전체 탄소의 15~35% 수준의 상당한 비중을 차지하기 때문이다. 운영단계를 제외한 준공 전까지 가치사슬 단계, 즉 건설단계에서 배출되는 탄소만 놓고 보면, 자재생산 단계에서 배출되는 탄소의 비중이 80% 이상을 차지한다.

시공단계

마지막으로 시공단계에서 배출되는 탄소는 건설산업의 전 생애주기에서 배출되는 전체 탄소의 약 2~8% 수준으로 자금조달 및 기획/설계단계에 비해서는 높지만, 자재생산 단계에서 배출되는 탄소배출량에 비해서는 많지 않다. 따라서 탄소배출 비중 측면에서는 시공단계의 탄소배출 감축 중요성이 자재생산 단계에 비해서는 낮다고 판단된다.

② 운영단계

운영단계

운영단계에서 배출되는 탄소는 건설산업의 전 생애주기에서 배출되는 전체 탄소의 약 65% 내외를 기록하고 있으며, 건설산업의 탄소배출 감축에 가장 핵심적 부분이라고 할 수 있다. 인프라 시설의 경우 건설단계에서 95% 이상의 탄소가 배출되고 운영단계에서의 탄소배출이 매우 적지만, 건축물의 경우는 운영단계 탄소배출이 70% 내외를 기록하므로 건축물의 탄소배출 감축은 운영탄소 감축이 가장 핵심적이다.

□ 개보수단계

한편, 개보수단계에서 배출되는 탄소는 전 생애주기에서 배출되는 전체 탄소의 약 2~3% 내외로 운영/사용 과정에서 배출되는 탄소배출량에 비해 많지 않다. 다만, 향후 건축물의 운영탄소 감축을 위해 기존 건축물의 개보수(그린리모델링)가 활성화될 경우 기존 건축물의 많은 재고 물량을 감안할 때 개보수단계의 탄소배출 비중이 상당 폭 상승할 수 있고, 이 경우 동 단계의 탄소배출 감축이 중요해질 수 있다. 그러나, 앞서 제3장에서 살펴본 것처럼 개보수단계에 투입되는 자재의 경우 탄소배출이 가장 많은 시멘트, 철강재의 투입이 아주 적으므로 상대적으로 시공단계에 비해서는 내재탄소 배출 감축을 위한 중요성이 낮은 부분이라고 할 수 있겠다.

③ 해체단계

마지막으로 해체 및 폐기단계에서 배출되는 탄소는 전 생애주기에서 배출되는 전체 탄소의 약 3% 내외로 건설단계의 자재생산 과정이나 운영단계의 운영/사용 과정에서 배출되는 탄소배출에 비해 비중이 크지 않다. 다만, 동 단계에서는 전 생애주기 단계 중 유일하게 폐기물의 재활용을 통해 재활용 자재와 관련한 향후 잠재적인 내재탄소 배출을 감축할 수 있는 기회를 제공하게 된다는 전략적 의미가 있다. 제3장에서 사례분석 결과, 현재 수준에서 재활용을 통해 감축할 수 있는 탄소배출 감축 비중은 호텔과 같이 재활용할 자재가 많은 건축물의 경우 약 2% 수준까지도 가능하다. 현재 상황에서 동 비중은 크지 않으나, 향후 재활용이 가능하도록 자재를 개발, 투입할 경우 동 비중은 제고될 가능성이 있다는 점에서 현재 수준의 탄소배출 감축 비중보다는 더 큰 전략적 중요성이 있다고 판단된다.

④ 소결

이상에서 건설상품의 전 생애주기 단계 및 단계 내 세부 과정/활동별 탄소배출 비중을 기초로 향후 건설산업이 탄소배출 감축 추진 시 어떤 부분에서 탄소배출을 감축하는 것이 효과가 더욱 큰지를 비교·분석했다. 그 결과, 건설단계의 건설자재 생산 관련 내재탄소 감축과 운영단계의 건축물 운영탄소 감축이 중요한 부분으로 판단되었다. 해체단계의 경우 탄소배출 비중이 크지 않지만, 폐기물의 재활용을 통해 재활용 자재와 관련한 잠재적인 내재탄소 배출을 감축할 수 있는 기회를 제공한다는 점에서 전략적 의미가 일부 있었다. 건설상품의 생애주기 단계별 탄소배출 비중을 기초로 탄소배출 감축 효과가 큰 핵심 단계 및 활동을 평가한 결과를 요약하면 다음 표와 같다.

<표 IV-1> 생애주기 단계별 탄소배출 비중 고려한 핵심적 부분 평가

단계		탄소배출 비중	중요성 평가
건설단계	자금조달 및 기획/실계	1% 미만	▪ 건설자재 생산 관련 내재탄소 감축이 중요
	자재생산	15~35% 수준	
	시공	2~8% 수준	
운영단계	운영	65% 내외 (건축물 70% 내외, 인프라 5% 내외)	▪ 건축물 운영단계의 운영탄소 감축이 중요
	개보수	2~3% 수준	
해체단계	해체	3% 내외	▪ 탄소배출 비중 관점에서 중요성 미흡 ▪ 단, 폐자재 재활용 통해 내재탄소 감축이 가능한 유일한 단계
	폐자재 재활용	△0~2% 수준	

주 : 운영단계의 건축물 탄소배출 비중 70% 내외는 건축물 전 생애주기 탄소배출 중 건축물 운영단계에 70% 내외가 배출된다는 의미이며, 인프라 역시 인프라의 전 생애주기 탄소배출 중 인프라 운영단계에 5% 내외가 배출된다는 의미임. 한편, 건설산업 전체의 탄소배출 중 건축물 운영탄소가 차지하는 비중은 약 60% 수준임.

(3) 생애주기 단계별 탄소감축 방안의 건설산업 차원 특화 여부 평가

건설산업의 탄소배출 감축은 그동안 건축물을 중심으로 한 운영탄소의 감축에 상대적으로 많이 초점이 맞춰져 있었다. 이는 준공 이후 건축물 운영단계에서 배출된 탄소배출 비중이 전체 건설산업 탄소배출의 약 60% 내외를 차지하며 상대적으로 가장 높았기 때문일 것이다. 그러나, 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 준공 후 운

영단계에서 배출되는 운영탄소의 감축을 포함해 전 생애주기에 걸쳐 탄소배출을 감축하는 것이 중요하다. 이는 무엇보다 준공 이후 운영단계 외의 생애주기에서 배출되는 탄소배출 비중이 제2장에서 살펴본 것처럼 35% 내외를 보일 정도로 상당하기 때문이다. 결국 향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 전 생애주기 단계별로 탄소배출의 주요 원인을 해결하는 것이 필요하다. 제2장에서 건설상품의 전 생애주기 단계별로 탄소배출의 주요 원인을 살펴보았는데, 이를 해결하기 위한 생애주기 단계별 탄소배출 감축방안들을 살펴보고, 동 방안들이 건설산업에 특화된 방안인지, 아니면 타 산업과 모든 경제주체들에게도 일반적으로 적용할 수 있는 방안인지 평가해 보고자 한다. 건설산업에 특화된 방안은 타 산업에서 일반적으로 추진하는 방안과 중복되지 않으므로 국가 차원에서 볼 때 동 방안의 추진 필요성이 존재하기 때문이다.

① 건설단계

□ 자금조달 및 기획/설계 단계

자금조달 및 기획/설계 단계의 탄소배출 감축 방향은 업무 공간 및 차량의 에너지와 화석연료 사용을 최소화하는 것이다. 이를 위한 구체적 방안은 업무 공간 및 차량의 에너지 절약과 더불어 제로에너지빌딩, 전기차 등과 같이 에너지 효율적인 업무 공간 및 차량을 사용하는 것이다. 이를 통해 직간접적인 탄소배출 감축이 가능하다. 동 방안들은 건설산업에 특화된 감축방안이라기보다는 업무공간과 차량을 이용하고 있는 타 산업과 모든 경제주체들에게도 일반적으로 적용할 수 있는 탄소배출 감축방안이다. 따라서 동 방안들은 향후 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축을 위해 산업 차원에서 전략적으로 추진이 필요한 방안이라고 보기는 어렵다.

□ 자재생산 단계

자재생산 단계의 탄소배출 감축 방향은 자원채취, 자재생산, 자재운송 등의 과정에서 에너지와 화석연료 사용을 최소화하는 것이다. 특히 자재생산 과정에서 전기에너지 사용이 많고, 유연탄 등 화석연료를 원료 및 연료로 사용하는 과정에서 가장 많은 탄소가

배출되므로 이러한 자재생산 과정에서의 탄소배출 최소화가 중요하다. 이를 위한 구체적인 방안은 탄소배출 저감형 자재를 개발하고 사용하는 방안과 탄소배출량이 많은 기존 자재의 사용을 최소화하는 방안으로 나뉘볼 수 있다.

첫째, 탄소배출 저감형 자재를 개발, 사용하는 방안은 자재생산기업이 자재생산 과정의 직간접 탄소배출 감축을 위한 기술개발 및 공정혁신을 통해 탄소배출 저감형 자재를 개발하고, 건설기업이 동 자재를 조달해 사용하는 방안이다. 특히 시멘트, 철강재 생산 과정에서 가장 많은 탄소가 배출되므로 동 자재 생산공정의 혁신이 필요한데, 유연탄을 원료 및 연료로 사용하는 공정의 혁신을 위한 기술개발과 설비투자가 필요하다.

둘째, 탄소배출량이 많은 기존 자재의 사용을 최소화하는 방안은 시멘트, 철강재 등 탄소배출이 많은 자재의 건설단계 투입을 최소화하는 방안이다. 이를 위한 세부적 방안으로는 탄소배출 자재의 투입 최소화를 위한 구조 및 설계 지향, 재활용 자재의 활용, 건설상품의 내구성 제고 및 장수명화 유도 등이 있다.

이상 자재생산 단계의 탄소배출 감축 방안들은 타 산업과 모든 경제주체들에게도 일반적으로 적용할 수 있는 탄소배출 감축방안이라기보다는 건설산업에 특화된 감축방안들이다. 따라서 향후 건설산업 측면에서 구체적인 탄소배출 감축방안을 적극적으로 강구하고, 동 방안들을 성공적으로 이행하는 것이 향후 건설산업의 탄소배출 감축의 성공을 위해 매우 중요하다.

□ 시공단계

시공단계의 탄소배출 감축 방향은 현장사무소 등 업무공간과 이동 차량, 공사 장비 및 설비의 에너지와 화석연료 사용을 최소화하고, 공사 현장에서 발생하는 건설폐기물을 최소화하고 재활용 비중을 확대하는 것이다. 이를 위한 구체적 방안은 현장사무소 등 업무공간의 에너지 효율화 및 절약, 특히 냉난방설비 에너지 효율 개선 및 절약, 이동 차량의 전기차 및 하이브리드카 비중 확대 등이다. 동 방안들은 건설산업에 특화된 감축방안이라기보다는 업무공간과 차량을 이용하고 있는 타 산업과 모든 경제주체들에게도 일반적으로 적용할 수 있는 탄소배출 감축방안에 가깝다.

이와 달리 탄소배출 감축이 가능한 것으로 알려진 OSC(Off-Site Construction) 공법을 비롯한 에너지 및 탄소배출 저감 공법의 도입 및 활용과 건설폐기물 감축을 위한 분

리배출 및 재활용 시도는 건설산업에 특화된 탄소배출 감축방안이다. 따라서 향후 건설 산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서 시공단계에서는 탄소배출 저감 공법의 도입 및 활용, 건설폐기물 감축 등과 같은 탄소배출 저감 건설방식의 강구와 적극적 도입이 전략적으로 중요하다.

② 운영단계

□ 운영단계

운영단계의 탄소배출 감축 방향은 인프라 시설의 경우 운영탄소 배출이 많지 않으므로 건축물의 운영탄소 배출 감축에 초점이 맞춰진다. 즉 건축물을 중심으로 냉난방, 급탕, 조명, 전자기기 등의 사용 과정에서의 에너지와 화석연료 사용을 최소화하는 것이다. 이를 위한 구체적 방안은 건축물의 에너지 효율을 제고하는 방안과 건축물이 사용하는 에너지 및 연료의 탈탄소화를 추진하는 방안이다.

첫째, 건축물의 에너지 효율을 제고하는 방안은 에너지 효율 제고를 위한 패시브(passive) 및 액티브(active) 기술을 활용해 건축물을 신축하거나, 기존 건축물을 개보수(그린리모델링)함으로써 건축물의 에너지 효율을 제고하는 방안이다.

둘째, 건축물이 사용하는 에너지 및 연료의 탈탄소화 방안은 건축물에 태양광 발전시설, 지열활용 시설 등 신재생에너지 관련 시설을 설치해 활용함으로써 건축물의 직간접적인 에너지 사용 및 연료 사용을 최소화하는 방안이다.

이상 운영단계의 탄소배출 감축 방안들은 타 산업과 모든 경제주체들에게도 일반적으로 적용할 수 있는 탄소배출 감축방안이 아닌 건설산업에 특화된 감축방안들이다. 따라서 향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 건축물 운영단계의 탄소배출 감축방안을 적극적으로 신축 건축물에 적용하고, 더 나아가 기존 건축물에 대한 개보수(그린리모델링)를 통해 동 방안들을 적극적으로 적용하는 것이 매우 중요하다.

□ 개보수단계

개보수단계의 탄소배출 감축방안은 개보수 공사를 위한 공간 및 차량, 장비 등의 에너

지와 화석연료 사용을 최소화하고, 개보수 공사에 투입되는 자재의 생산 및 운송과정에서도 에너지와 화석연료 사용을 최소화하는 것이다. 또한, 개보수 공사에서 발생하는 폐기물을 최소화하는 것이다. 동 방안들은 건설산업에 특화된 감축방안이라기보다는 업무공간과 차량을 이용하고 있는 타 산업과 모든 경제주체들에게도 일반적으로 적용할 수 있는 탄소배출 감축방안에 가깝다. 시공단계의 감축방안인 에너지 감축 시공방식의 도입방안과 같이 건설산업에 특화해 적용할 수 있는 감축방안도 개보수단계에서는 많지 않다.

다만, 위에서 살펴본 건축물 운영탄소의 감축방안을 기존 건축물에 적용할 경우 개보수 단계에서 기존 건축물의 운영탄소 감축을 위한 개보수(그린리모델링)가 필요하며, 이를 위한 최적 방안을 강구하고 적용하는 것이 건설산업의 탄소배출 감축을 위해 중요하다. 또한, 폐기물 최소화 방안이 건설산업에 일부 특화된 방안이라고 할 수 있는데, 동 방안은 자재생산단계에서 탄소배출 자재 사용의 최소화 방안 중 하나인 건설상품의 내구성 제고 및 장수명화, 재활용 자재의 활용에 포함되는 방안이라고 볼 수 있다.

③ 해체단계

해체단계의 탄소배출 감축방안은 해체 공사를 위한 공간 및 차량, 장비 등의 에너지와 화석연료 사용을 최소화하고, 폐콘크리트와 같은 폐기물의 재활용 비중을 높이는 것이다. 동 방안 중 건설산업이 특화해 추진할 필요성이 있는 방안은 폐기물의 재활용 비중을 높이는 것이다. 해체단계에서는 전 생애주기 단계 중 유일하게 폐기물의 재활용을 통해 향후 잠재적인 내재탄소 배출을 감축할 수 있는 기회를 제공하게 된다는 전략적 의미가 있다. 따라서 향후 건설산업이 성공적인 탄소배출 감축을 위해 재활용이 가능하도록 자재를 개발, 투입할 수 있는 방안을 강구해 적용을 확산하는 것이 필요하다.

④ 소결

건설상품의 전 생애주기 단계별 탄소배출 감축방안을 살펴본 결과, 어떤 감축방안이 건설산업 차원에서 특화해 전략적으로 추진이 필요한 방안인지 구별할 수 있었다. 건설단계의 자금조달 및 기획/설계 과정의 탄소배출 감축방안과 시공단계의 업무공간 및 차

량/장비의 에너지 절약/효율화 방안, 운영단계의 개보수 과정과 해체단계의 업무공간 및 차량/장비의 에너지 절약 및 효율화 방안은 모두 건설산업에 특화된 탄소배출 감축 방향과 방안이라기보다는 일반적인 사회 전반의 감축방안과 유사했다. 즉 건설산업에 특화된 탄소배출 감축 방안으로 보기 어려우며, 전기차 비중 확대 등과 같이 동 방안을 적용하는 데 어려움도 크지 않다. 따라서 사회 전반적으로 탄소중립을 위해 추진해 가는 과정에서 건설산업도 동 방안들을 적용하거나 선제적으로 도입하여 탄소중립 달성을 적극 추진할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 IV-2> 생애주기 단계별 탄소감축 방안의 건설산업 차원 특화 여부 평가

단계	탄소배출 감축방안	건설산업 차원 특화 여부	
건설 단계	자금조달 및 기획/설계	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재 생산 관련 내재 탄소 감축방안이 건설산업에 특화된 감축방안 ▷ 탄소배출 저감형 자재 개발/사용 방안 ▷ 탄소배출 자재의 사용 최소화 방안 ▪ 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용방안이 건설산업에 특화된 감축방안 ▷ 탄소배출 저감 공법 도입 및 활용방안 ▷ 건설폐기물 감축 위한 분리배출/재활용 등 	
	자재생산		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소배출 저감형 자재 개발/사용 : 자재생산기업의 기술개발 및 공정혁신 후 건설기업의 그린조달 ▪ 탄소배출 자재의 사용 최소화 : 탄소배출 자재의 투입 최소화 위한 구조/설계 지향, 재활용 자재 사용, 건설상품의 장수명화 유도 등
	시공		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 일반적 감축방안 : 업무공간 및 차량/장비의 에너지 절약 및 효율화 (현장사무소 냉난방설비 에너지 효율 개선/절약, 이동 차량의 전기차 비중 확대 등) ▪ 건설산업 특화 감축방안 : OSC공법 등 탄소배출 저감 공법 도입 및 활용, 건설폐기물 감축 위한 분리배출/재활용 등 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용방안
운영 단계	운영	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건축물 운영탄소 감축방안이 건설산업에 특화된 감축방안 ▷ 건축물 에너지 효율 제고 ▷ 건축물 사용 에너지 및 연료 탈탄소화 	
	개보수		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 업무공간 및 차량/장비의 에너지 절약 및 효율화
해체 단계	해체	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 폐기물 재활용 방안이 건설산업에 특화된 감축방안 	
	재활용		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 폐기물(폐콘크리트 등) 재활용 비중 제고

반면, 건설단계의 자재생산 관련 내재탄소 감축방안, 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용방안(탄소배출 저감 공법 도입/활용, 건설폐기물 감축 등), 그리고 운영단계의 건축

물 운영탄소 감축방안과 해체단계의 폐기물 재활용 방안이 건설산업에 특화된 탄소배출 감축방안들이었다. 동 방안들은 타 산업에서 일반적으로 추진하는 방안과 중복되지 않는 방안들이므로 국가 차원에서 볼 때 탄소중립을 위해 추진할 필요가 있다. 따라서 동 방안들을 향후 탄소중립 추진을 위한 건설산업의 핵심적 탄소배출 감축방안으로 포함한다.

(4) 건설산업의 탄소배출 감축 위한 핵심적 감축방안 도출

건설상품의 전 생애주기 단계별 탄소배출 비중을 기초로 한 감축 효과성 평가와 탄소배출 감축방안에 대한 건설산업 차원의 전략적 추진 필요성 평가 결과를 함께 고려할 때 향후 건설산업의 탄소배출 감축을 위한 핵심적인 감축방안은 최종적으로 건설단계의 자재생산 관련 내재탄소 감축방안과 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용방안, 운영단계의 건축물 운영탄소 감축방안으로 판단된다.

건축물의 운영탄소 감축방안과 건설자재의 내재탄소 감축방안은 건축물의 운영탄소 배출량과 건설자재의 내재탄소 배출량을 감안할 때 중요성이 큰 핵심적인 감축방안들이고, 동시에 건설산업 차원에서 특화해 추진할 필요성도 큰 핵심적인 감축방안들이었다. 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용방안은 탄소배출 감축효과는 상대적으로 크지 않지만¹⁶⁾, 일반적인 감축방안과는 차이가 있는 건설산업 차원에서 특화해 추진할 필요성이 있는 감축방안이었다. 건설산업의 탄소배출 감축을 위한 핵심적 감축방안 도출 결과를 요약하면 다음 표와 같다.

16) 건설산업의 전 생애주기 탄소배출 중 시공단계의 탄소배출 비중이 약 2~8% 수준이므로 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용을 통해 시공단계에서 배출되는 탄소의 직접적 감축량은 크지 않지만, 동 방안의 세부 내용에 탄소배출 저감형 자재의 채택/사용도 포함되므로 건설자재의 내재탄소 감축방안과 연계해 내재탄소 감축에 간접적으로 기여한다는 점에서는 탄소배출 감축효과도 적지 않다고 볼 수 있다.

<표 IV-3> 건설산업의 탄소배출 감축 위한 핵심적 감축방안 도출

단계	탄소배출 감축효과 평가 결과 감안 핵심적 감축방안	건설산업 특화 여부 평가 결과 감안 핵심적 감축방안	최종 핵심적 감축방안 도출 결과
건설단계	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재의 내재 탄소 감축방안 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재의 내재 탄소 감축방안 ▪ 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용 방안 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소배출 감축효과도 크고, 건설산업에 특화된 핵심적 감축방안 : 건설자재의 내재탄소 감축방안, 건축물 운영탄소 감축방안 ▪ 탄소배출 감축효과는 작지만, 건설산업에 특화된 핵심적 감축방안 : 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용, 폐자재 재활용 방안
운영단계	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건축물 운영탄소 감축방안 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건축물 운영탄소 감축방안 	
해체단계	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해체 이후 폐자재 재활용 방안 	

2. 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안의 세부 내용

제1절에서 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안을 도출한 결과, 건축물의 운영탄소 감축방안, 건설자재의 내재탄소 감축방안, 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용방안 등이 도출되었다.¹⁷⁾ 건축물 운영탄소의 감축방안은 탄소배출 감축효과가 가장 큰 방안인데, 건축물의 에너지 효율을 제고하는 방안과 건축물이 사용하는 에너지 및 연료의 탈탄소화를 추진하는 방안으로 크게 구분해 볼 수 있다. 건설자재의 내재탄소 감축방안은 구체적으로 탄소배출 저감형 자재 사용방안과 탄소배출 자재의 사용 자체를 최소화하는 방안으로 구분해 볼 수 있다. 제2절에서는 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안들의 세부적인 내용과 성공적인 추진 방법 등에 대해 살펴보고자 한다.

(1) 건축물 운영탄소 감축방안의 세부 내용

① 개요

향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위한 첫 번째 핵심적인 감축방안은

17) 해체단계의 폐자재 재활용 방안은 별도의 탄소배출 감축방안으로 분리하기에는 방안의 세부 내용이 많지 않고, 무엇보다 탄소배출 저감형 건설방식 도입/활용방안에 포함될 수 있는 방안이므로 동 방안에 포함하였다.

건축물의 운영탄소를 감축하는 것이다. 건설산업 전체의 탄소배출량 중 건축물 운영탄소가 차지하는 비중이 약 60% 내외를 차지하는 것을 감안하면 건축물 운영탄소 감축은 건설산업 차원에서 가장 핵심적인 감축방안 중 하나이다. 건축물의 운영탄소는 건축물의 냉난방, 급탕, 조명, 전자기기 등의 사용을 위해 전기에너지와 화석연료가 사용되면서 발생한다. 특히 제3장에서 살펴본 것처럼 냉난방 과정에서 가장 많은 탄소가 발생한다. 따라서 건축물의 운영탄소를 감축하는 방안은 건축물의 에너지 효율을 개선하는 방안과 건축물이 사용하는 에너지의 탈탄소화를 추진하는 방안으로 구분된다.

첫째로 건축물의 에너지 효율을 개선하는 방안은 패시브(passive) 및 액티브(active) 기술을 활용해 건축물의 에너지 효율을 제고하는 방안이다. 둘째로 건축물이 사용하는 에너지의 탈탄소화 방안은 건축물에 태양광 발전시설, 지열활용 시설 등 신재생에너지 관련 시설을 설치해 활용함으로써 건축물의 직간접적인 에너지 사용 및 연료 사용을 최소화하는 방안이다. 이상과 같은 두 가지 방안은 건축물을 신축할 때뿐만이 아니라 기존 건축물을 개보수(그린리모델링)할 때도 적용할 수 있다.

② 건축물의 에너지 효율 개선

□ 건축물의 에너지 효율 개선 기술

건축물의 운영탄소 감축을 위해서는 우선 건축물의 에너지 효율 개선이 필요하다. 건축물의 에너지 효율 개선을 위한 기술은 크게 패시브(passive) 기술과 액티브(active) 기술로 구분된다. 패시브 기술은 단열, 기밀성능 강화 등을 통해 건축물의 냉난방 에너지 요구량을 최소화하는 기술이다. 즉 건물 외부 기온 등의 변화가 건축물에 미치는 영향을 최소화해 적은 에너지만으로도 쾌적한 실내환경을 유지하게 하는 기술을 말한다. 액티브 기술은 건물의 주어진 에너지 요구량 하에 고효율 설비 등을 통해 에너지 소비량을 최소화하는 기술을 의미한다. 즉 적은 에너지를 사용하면서 높은 성능으로 운전이 가능하거나 스스로 에너지를 생산할 수 있는 기술을 적용하는 것을 말한다.

정부는 그동안 건축물 단열시공 의무화 및 에너지절약설계 의무화, 건축물의 에너지 절약 설계기준의 적용, 건물에너지효율 등급 인증제도 등을 통해 건축물의 에너지 효율 제고를 위한 제도적 지원과 규제를 추진해왔다. 최근에는 2017년 1월 「녹색건축물 조

성 지원법」 제17조에 의거해 제로에너지건축물 인증제도를 본격 시행한 이후 연면적 1,000㎡ 이상의 공공 건축물을 대상으로 인증제도가 적용되기 시작했다. 향후 이를 민간 건축물을 대상으로도 확대할 방침이다. 이에 따라 기존의 단열재 및 창호 강화를 넘어서 기밀강화, 자연채광, 자연환기 등 모든 분야의 패시브 기술을 적용하고, LED 및 동작인식 조명, 고효율 보일러, 폐열 회수 환기장치, 건물에너지관리시스템 등 액티브 기술을 적용한 건축물도 점차 늘어나고 있는 상황이다.

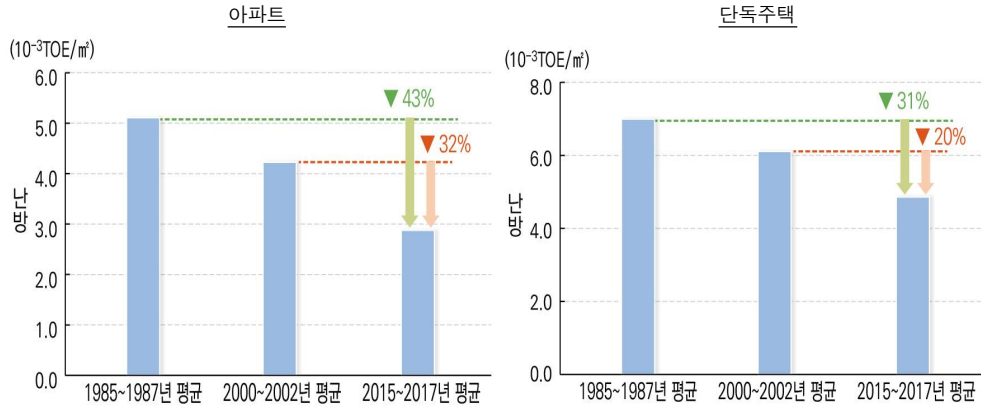
<표 IV-4> 건축물의 에너지 효율 제고 위한 핵심 기술

구분	내용
패시브(passive) 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 목표 : 건축물의 난방 에너지 요구량 자체의 최소화 ▪ 사례 : 자연환기, 자연채광, 기밀강화, 고성능창문(창호), 외부차양, 외단열
액티브(active) 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 목표 : 설비의 에너지 소비량 최소화 ▪ 사례 : 고효율 보일러, LED조명, 동작인식 조명 등 고효율 기기 및 설비, 폐열 회수 환기장치, 건물에너지관리시스템

□ 건축물의 에너지 효율 개선 통한 탄소배출 감축 효과

과거에 비해 건축물의 외단열을 강화하고 고성능창호를 적용하면서 최근에 지어진 건축물의 경우 과거에 비해 단위 면적당 에너지 사용량이 감소하고 있다. 실제로 30년 전에 지어진 건축물과 최근에 지어진 건축물의 단위 면적당 난방에너지 사용량을 비교해 보면 최근에 지어진 아파트의 경우 43%, 단독주택의 경우 31% 정도 에너지 사용량이 절감되었다.

<그림 IV-2> 주거용 건물 단위면적당 난방 에너지사용량



자료 : 국토교통부, 제2차 녹색건축물 기본계획, 2019.

한편, 운영탄소 감축에 효과적인 패시브주택을 포함해 건축물의 유형별 사례를 대상으로 전 생애주기 단계별 탄소배출량에 대한 사례분석 연구도 실시되었는데, 패시브주택의 경우 기존 건축물에 비해 내재탄소는 더 많이 배출되나, 준공 후 운영단계의 운영탄소 배출이 급감해 전 생애주기에 걸친 탄소배출량이 결국 가장 적은 것으로 분석되었다.

구체적으로 패시브주택은 철근콘크리트조 공동주택, 한옥, 경량목조주택 등에 비해 자재생산단계의 내재탄소 배출량은 더 많으나, 준공 이후 운영탄소가 월등히 적었다. 이에 따라 전 생애주기에 걸친 탄소배출량이 타 유형의 건축물에 비해 패시브주택이 가장 적었다. 다음 <표 IV-5>에서 제시한 사례분석의 경우 준공 이후 30년 사용을 가정한 것인데, 세부적으로 패시브주택은 운영단계의 운영탄소 배출과 더불어 시공단계의 내재탄소 배출도 타 유형에 비해 더 적었다. 다만, 탄소배출량 격차는 운영탄소에서 훨씬 컸다. 그리고, 자재생산단계뿐 아니라 해체/폐기단계에서도 패시브주택의 탄소배출량이 더 많았는데, 자재생산단계의 격차에 비해서는 그 정도가 크지 않았다.

<표 IV-5> 건축물 유형별 전 생애주기 탄소배출 사례분석

구분	한옥	경량 목조주택	철근콘크리트조 공동주택	패시브 하우스
자재생산단계	287.7	249.9	504.8	1,042.2
시공단계	57.5	54.7	48.0	0.6
운영단계	3,787.9	1,701.0	1,876.3	421.2
폐기단계	80.0	26.1	58.5	127.1
합계	4,213.2	2,031.7	2,487.9	1,591.1

주 : 운영단계 탄소배출량은 준공 이후 30년 사용을 가정함.

자료 : 채창우, '탄소중립을 위한 건축물 전과정적 고려와 건축물 EPD 추진 방향', Korea Build 2022 탄소중립 건축 컨퍼런스 자료집, 2022.3, p.8

위의 표에서 제시한 사례분석의 경우 준공 이후 30년 사용을 가정한 것인데, 사용 연수가 길어질 경우 운영탄소 배출량 격차는 더 크게 벌어질 것이다. 건설산업의 두 번째 핵심적인 탄소배출 감축방안인 '건설자재의 내재탄소 감축방안의 세부 내용'에서 세부적으로 살펴보겠지만, 건축물을 포함해 건설상품의 장수명화가 이뤄질 경우 건설자재의 내재탄소 배출량은 이에 비례해 감축된다. 따라서 향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 패시브 건축물과 더 나아가 액티브 기술까지 포함한 제로에너지건축물의 신축 비중을 높이고, 이러한 에너지 효율적 건축물의 장수명화를 추진하는 것이 탄소배출량 감축효과가 가장 높을 것으로 판단된다.

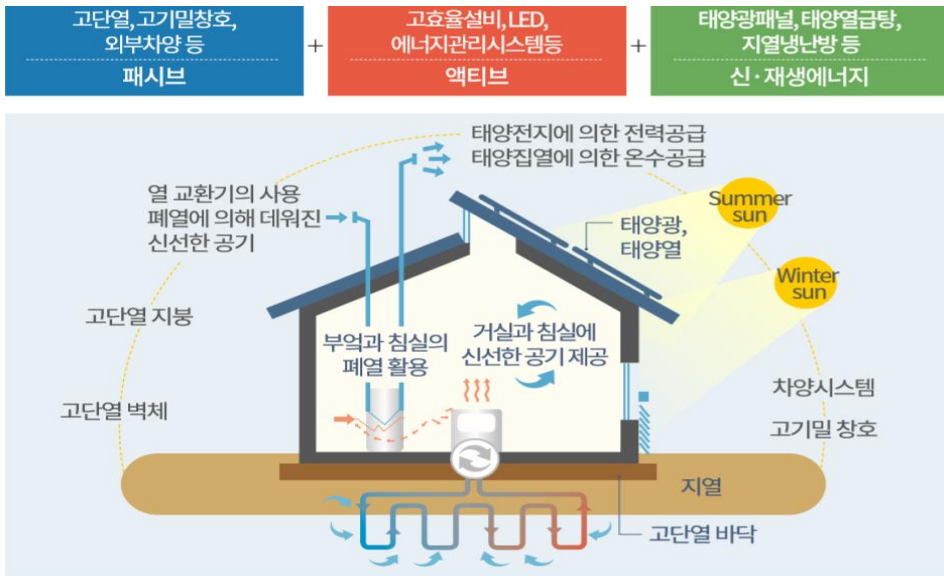
③ 건축물 사용 에너지의 탈탄소화

신재생에너지 시설 설치 및 활용

건축물이 사용하는 에너지의 탈탄소화 방안은 건축물에 태양광 발전시설, 지열활용 시설 등 신재생에너지 관련 시설을 설치해 활용함으로써 건축물의 직간접적인 에너지 사용 및 연료 사용을 최소화하는 방안이다. 신재생에너지는 세부적으로 수소, 산소 등 화학반응을 통해 전기 또는 열을 생산하는 신에너지와 태양열 등 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 재생에너지로 구분된다. 현재 건축물에 사용되는 에너지의 탈탄소화는 신에너지보다는 대부분 태양열, 지열 등 재생에너지를 활용해 건축물의 에너지 소요

량을 최소화하는 방향으로 추진되고 있다. 구체적으로 현재 제로에너지건축물 인증제도의 경우에도 패시브 및 액티브 기술의 적용과 더불어 건축물에 신재생에너지 관련 시설 설치를 포함하고 있는데, 태양광 패널, 태양열 급탕, 지열 활용 냉난방 등 주로 재생에너지 활용에 초점을 두고 있다.

<그림 IV-3> 제로에너지빌딩의 3가지 핵심기술 구성요소



자료 : <https://zeb.energy.or.kr>

□ 건축물 경계 밖 발전시설의 에너지 전환

건축물 사용 에너지의 탈탄소화는 건축물 경계 내뿐만 아니라, 건축물 경계 밖 발전시설의 에너지 전환도 중요하다. 화석연료를 기반으로 한 발전시설이 신재생에너지 등으로 에너지 전환을 통해 탄소배출을 얼마나 감축하느냐에 따라 건축물의 운영탄소 배출도 간접적으로 영향을 받는다. 즉 건축물의 사용하는 에너지의 탈탄소화는 발전산업의 에너지 전환과 연계되어 있고, 발전산업의 에너지 전환에 간접적으로 영향을 받는다.

제3장에서 살펴본 것처럼 2020년 기준 주거용 건축물의 운영탄소 배출 비중은 직접배출 6%, 간접배출 11%이고, 비주거용 건축물의 운영탄소 배출 비중은 직접배출 3%, 간

접배출 7%이다. 건축물의 운영단계에서 배출되는 운영탄소의 경우 건축물의 직접배출보다 건축물의 경계 밖의 발전시설 등에서 건축물로 에너지 공급을 위해 배출되는 간접배출 탄소가 더 많은 것이다. 따라서 건축물의 탄소배출 감축은 건축물의 운영탄소 감축도 중요하지만, 건축물 경계 밖 발전시설의 에너지 전환도 중요하다. 향후 화석연료를 기반으로 한 발전시설이 신재생에너지 등으로 에너지 전환을 통해 탄소배출을 얼마나 감축하느냐에 따라 건축물의 운영탄소 배출도 간접적으로 영향을 받는다.

④ 기존 건축물의 에너지 효율 제고 위한 개보수(그린리모델링)

□ 필요성

- 탄소중립 달성 위해 기존 건축물의 대부분이 개보수 필요

탄소중립 목표 달성을 위해서는 신축 건축물의 운영탄소 감축뿐만 아니라 기존 건축물의 운영탄소 감축을 위한 개보수도 매우 중요하다. 이는 첫째로 기존 건축물의 운영탄소 감축이 탄소중립 달성 위해 가장 핵심적인 사항 중 하나이기 때문이다. 건축물 운영 단계에서 배출되는 탄소는 제2장에서 살펴본 바와 같이 전 세계 에너지 생산 관련 이산화탄소의 30% 가까이를 차지하고 있기 때문이다.

둘째로 건축물의 운영탄소 감축을 위해서는 신축 건축물의 운영탄소 감축뿐만 아니라 기존 건축물의 운영탄소 감축을 위한 개보수도 중요한데, 이는 기존 건축물 대부분이 에너지 효율 제고를 위한 개보수가 필수적이기 때문이다. 현재 시점에서 기존 건축물의 대부분이 탄소중립 달성을 위해 필요한 에너지 효율 관련 규제를 적용받지 않았고, 동 건축물들의 잔존 수명이 다하기까지 상당량의 운영탄소를 배출하게 될 것이다. 유럽연합(EU)이 발표한 자료에 의하면, 2010년 이전까지 신축된 건축물의 97%가 탄소중립 목표 달성을 위해서는 개보수가 불가피하다고 추정된다.¹⁸⁾ 즉 현재 시점에 거의 대부분의 건축물은 탄소중립 목표 달성을 감안한 에너지 효율 관련 규제가 적용되지 않은 건축물이다. 우리나라 역시 유럽과 마찬가지로 탄소중립 목표 달성을 위해서는 최근에 준공된 일

18) McKinsey & Company(2021) 보고서(p. 8)에서 인용한 내용이다.

부 제로에너지건축물을 제외하고 대부분의 기존 건축물의 개보수가 필요할 것이다.

셋째로 에너지 효율이 낮은 기존 건축물의 잔존수명 동안 운영탄소 배출이 매우 많은 전망이기 때문에 기존 건축물의 개보수가 중요하다. 건축물의 수명이 30~100년까지 가능한 것을 감안하면, 에너지 효율이 낮은 기존 건축물이 수명주기가 끝나 재건축될 때까지 배출하는 이산화탄소량은 상당할 수밖에 없고, 이를 해결하지 않을 때 탄소중립 목표 달성은 불가능에 가깝다. 제3장에서 살펴본 것처럼 건축물의 수명을 50년으로 가정하면, 전 생애주기 동안 운영단계에서 배출되는 탄소배출 비중이 약 85%에 달한다. 유럽연합(EU)의 경우 탄소중립 달성 목표 시점인 2050년 기준으로 건축물 재고의 약 80%는 현재 시점에 이미 건축물 재고로 존재하고 있는 건축물일 것으로 추정하고 있다. 그리고, 위에서 언급한 것처럼 기존 건축물의 95% 이상이 에너지 효율이 낮은 건축물이므로 동 건축물의 에너지 효율 제고를 위한 개보수 없이는 탄소중립 달성이 거의 불가능한 상황이다. 결국 에너지 효율이 낮은 기존 건축물의 개보수는 탄소중립 달성을 위해 가장 핵심적인 부분 중 하나라고 할 수 있다.

- 기존 건축물의 재축 통해 운영탄소 감축 가능하나, 내재탄소 상당량 배출

물론 운영탄소 배출이 많은 기존 건축물을 제로에너지빌딩 등과 같은 탄소배출이 적은 건축물로 재축할 수도 있다. 이 경우 기존 건축물의 개보수에 비해 운영탄소 배출이 더 축소될 가능성이 높다. 그러나, 재축의 경우 재축비용이 발생하고, 또한 무엇보다 건설단계에서 개보수에 비해 훨씬 더 많은 내재탄소가 배출된다. 제3장에서 살펴보았듯이 건설상품의 전 생애주기 탄소배출량 중 약 30%는 건설단계에서 배출되고, 특히 시멘트, 철강재 등과 같은 자재생산 과정에서 대부분의 내재탄소가 배출된다. 따라서 이러한 자재투입이 많은 재축의 경우 개보수에 비해 내재탄소가 훨씬 많이 배출되는 문제가 있다. 따라서 재축보다는 개보수를 통해 운영탄소 배출을 축소하는 것이 총량적인 탄소 배출량 감축에 더 유리할 가능성이 크다.

<표 IV-6> 기존 건축물의 개보수 필요성

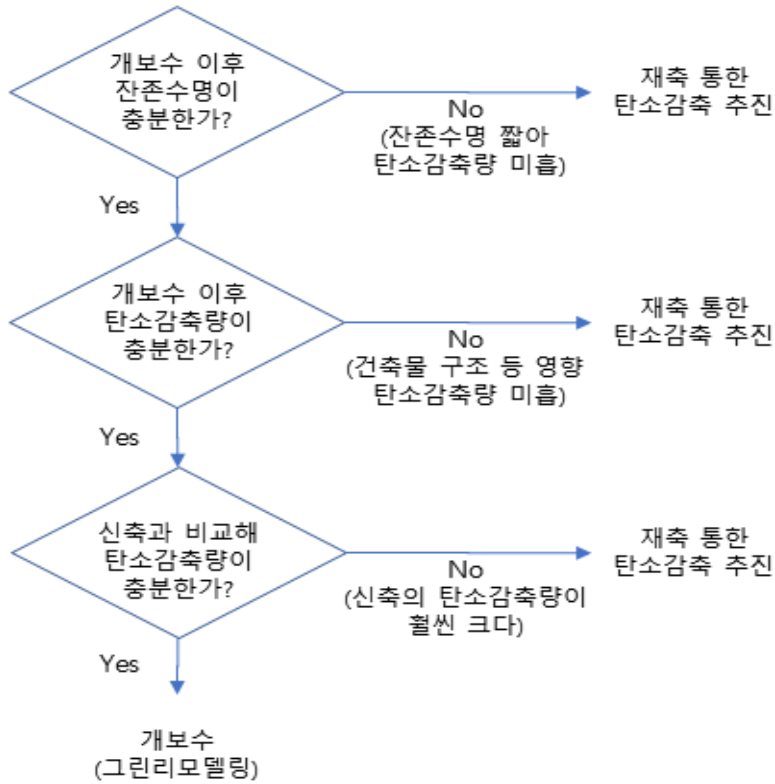
구분	내용
기존 건축물의 운영탄소 배출 과다	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 건축물의 운영탄소 감축은 탄소중립 달성 위해 핵심적 사항 중 하나 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 기존 건축물의 운영탄소 배출이 전 세계 에너지 생산 관련 탄소배출의 약 30% 차지 ▪ 탄소중립 달성 위해 기존 건축물 대부분이 에너지 효율 제고 위한 개보수 필요 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 현재 대부분의 건축물이 탄소중립 달성을 위한 에너지 효율등급 규제가 적용되지 않음 ▷ 예를 들어 EU의 경우 탄소중립 달성 위해 2010년 기준 건축물의 97%가 개보수 필요 ▪ 에너지 효율이 낮은 기존 건축물의 잔존수명 동안 운영탄소 배출이 매우 많을 전망 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 건축물 수명이 30~100년임을 감안할 때 에너지 효율이 낮은 기존 건축물이 배출하는 탄소가 향후 상당 기간 동안 지속 가능 ▷ 유럽의 경우 2050년 기준 건축물 재고의 약 80%는 현재 존재하는 건축물로 추정
재축 시 내재탄소 배출 과다	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 건축물의 재축 통해 운영탄소 감축 가능하나, 내재탄소 상당량 배출 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 재축 시 개보수보다 더 많은 운영탄소 감축 가능 ▷ 단, 재축 시 개보수와 달리 시멘트, 철강재 등 탄소 배출이 많은 자재 투입으로 내재탄소 배출 → 건설단계 내재탄소는 전 생애주기 배출 탄소의 약 30% 차지하는 상당량 ▷ 결국 총량적 탄소배출 감축 측면에서 재축보다 개보수가 더 유리한 경우 많음

□ 개보수 vs. 재축의 선택 기준

위에서 살펴본 것처럼 재축의 경우 상당한 양의 내재탄소 배출 문제가 있기 때문에 기존 건축물의 개보수가 더 유리하다. 그럼에도 불구하고 기존 건축물의 잔존 수명이 많이 남지 않았거나, 개보수를 통한 에너지 효율개선 수준과 운영탄소 감축 수준이 낮은 경우에는 재축을 통한 운영탄소 감축을 고려할 필요가 있다. 따라서 기존 건축물의 총량적인 탄소배출 감축 측면에서 개보수 혹은 재축을 선택하는 의사결정 기준은 다음과 같다.

첫째, 기존 건축물의 잔존 수명이 얼마 남지 않아 개보수 이후 남은 잔존수명 동안 누적된 운영탄소 감축량이 크지 않은 경우 재축을 통한 운영탄소 감축을 고려할 필요가 있다. 둘째, 기존 건축물의 구조적 특성 등의 문제로 인해 개보수를 하더라도 에너지 효율개선 수준과 운영탄소 감축 수준이 낮은 경우에도 재축을 통한 운영탄소 감축을 고려할 필요가 있다. 셋째, 기존 건축물의 개보수를 통한 운영탄소 감축 수준이 낮지 않지만, 신축을 통한 운영탄소 감축량과의 격차가 상당한 경우 재축을 통한 운영탄소 감축을 고려할 필요가 있다.

<그림 IV-4> 기존 건축물의 탄소배출 감축 위한 개보수 vs. 재축의 선택 기준



주 : 건축물의 탄소배출 감축 외 경제적 요인 등 다른 요인은 감안하지 않은 선택 기준임.

□ 그린리모델링 통한 운영탄소 감축 방법

기존 건축물의 개보수 과정에서 에너지 효율을 개선하는 그린리모델링은 공공 건축물을 대상으로 시작해 현재는 민간 건축물까지 지원 대상에 포함하고 있다. 동 그린리모델링 사업의 지원대상 공사를 살펴보면, 패시브, 액티브 기술의 적용뿐만 아니라 건축물이 사용하는 에너지의 탈탄소화, 즉 신재생에너지 설비의 적용도 포함한다. 즉 그린리모델링 사업은 기존 건축물을 대상으로 신축의 제로에너지건축 인증제도와 동일하게 패시브, 액티브, 신재생에너지 기술 모두의 적용을 목표로 하고 있다.

<표 IV-7> 건축물 그린리모델링 사업의 지원 대상 및 기준

구분		내용
공공 건축물	필수공사	<ul style="list-style-type: none"> 고성능 창 및 문, 폐열회수형 환기장치, 내·외부 단열보강, 고효율 냉난방장치, 고효율 보일러, 고효율 조명(LED) 신재생에너지(태양광) 건물에너지 관리 시스템(BEMS) 또는 원격검침전자식계량기
	선택공사 및 추가지원 가능공사	<ul style="list-style-type: none"> Cool Roof(차열도료), 일사조절장치, 스마트에어샤워, 순간온수기 기타 에너지 성능향상 및 실내공기질 개선을 위한 공사 기존공사 철거 및 폐기물처리, 석면조사 및 제거 구조안정보강, 기타 GR 관련 건축 부대공사, 열원 교체에 따른 공사비 또는 분담금, 전기용량증설 등 GR 관련 전기공사, 이사비 및 임차비용
민간 건축물	필수공사	<ul style="list-style-type: none"> 건축물 에너지성능 향상 공사 <ul style="list-style-type: none"> 단열보완, 기밀성 강화, 외부창호 성능개선, 일사조절장치 등 건축물 외피 성능 향상 일사조절장치 : 외부차양장치, 차양제어장치 등
	추가지원 가능공사	<ul style="list-style-type: none"> 건축물 에너지성능 향상 공사와 병행가능 공사 <ul style="list-style-type: none"> 에너지 관리 장치 : 조닝제어장치, 대기전력 차단 장치, BEMS(건물에너지 관리시스템) 장치, 스마트계량기 등 피크부하 저감 장치 : 에너지 저장 시스템(ESS), 빙축열 등 신재생에너지 공사 : 태양광, 태양열, 지열, 풍력 등 에너지 성능개선 관련 공사 : 고효율 냉·난방장치, LED 조명 등 에너지 성능개선 공사와 연관된 부대공사 부대공사의 인정 여부는 해당 사업의 에너지 성능개선 공사 범위와 내용을 참고하여 정함

자료 : LH 그린리모델링 창조센터 홈페이지.

(2) 건설자재 내재탄소 감축방안의 세부 내용

① 개요

필요성

향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위한 두 번째 핵심적 감축방안은 자재생산 과정에서 발생하는 내재탄소를 감축하는 것이다. 건설산업 전체의 탄소배출량 중 건축물 운영탄소가 차지하는 비중이 30% 가까이 차지하는 것을 감안하면 건축물 운영탄소 감축은 건설산업 차원에서 매우 중요하다. 향후에도 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 건축물의 운영탄소 감축이 가장 핵심적인 부분 중 하나가 될 것이다.

그러나, 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 준공 후 운영단계에서 배출되는 운영탄소의 감축을 포함해 전 생애주기에 걸쳐 탄소배출을 감축하는 것도 중요하다. 이는 무엇보다 준공 이후 운영단계 외의 생애주기에서 배출되는 탄소배출 비중이 제2장에서 살펴본 것처럼 35% 내외를 보일 정도로 상당하기 때문이다. 특히 건설단계 중 자재생산 단계의 탄소배출 비중은 전 생애주기 탄소배출의 약 15~35%의 비중을 차지해 두 번째로 탄소배출 비중이 높은 단계이다. 준공 이후 운영단계를 빼고 건설 Value Chain상에서만 보면 내재탄소 배출 비중은 90%를 상회한다. 건축물과 달리 준공 이후 운영단계에서 탄소배출이 거의 없는 인프라 시설의 경우는 전 생애주기에서도 자재생산 단계에서 배출되는 탄소가 90% 이상을 차지한다. 따라서 건설자재의 내재탄소 감축방안은 건축물의 운영탄소 감축방안과 더불어 가장 핵심적인 감축방안 중 하나가 되어야만 할 것이다.

□ 세부 방안

건설자재의 내재탄소 감축방안은 세부적으로 탄소배출 저감형 자재의 생산·활용 방안과 탄소배출 자재의 사용 최소화 방안으로 구분해 볼 수 있다. 내재탄소 감축을 위해서는 첫째로 건설단계 및 개보수단계에서 탄소배출 저감형 건설자재의 생산 및 활용 비중을 높이는 것이 중요하다. 이를 위해서는 자재생산기업이 중심이 되거나, 건설기업과 자재생산기업의 협업을 통해 자재생산기업이 기술개발 및 공정혁신을 추진하고, 이를 통해 탄소배출 저감형 건설자재를 생산하는 것이 우선 중요하다. 그리고, 건설기업이 건설단계 및 개보수단계에 동 자재에 대한 구매(그린조달) 및 사용 비중을 높이는 것이 필요하다. 이를 위해서는 정책적 유도 하에 건설기업과 발주자의 인식변화도 중요하다.

둘째로 내재탄소 감축을 위해서는 건설자재를 탄소배출 저감형 자재로 대체하는 것과 더불어 탄소배출 자재의 사용량 자체를 최소화하는 방안의 추진도 필요하다. 이를 위해서는 세부적으로 설계기준 충족 범위 내 자재 투입량 최소화를 위한 구조형식/설계 지향, 재활용 자재의 사용, 건설상품의 장수명화 유도 등의 세부 방안들이 있다.

② 탄소배출 저감형 건설자재의 생산 및 활용(건설자재의 탈탄소화)

건설자재의 내재탄소 감축을 위해서는 첫째로 건설단계 및 개보수단계에 탄소배출 저감형 건설자재의 생산 및 활용 비중을 높이는 것이 중요하다. 이를 위해서는 자재생산기업의 기술개발 및 공정혁신이 필요하고, 건설기업에서도 탄소배출 저감형 건설자재의 사용 비중을 높여야 한다. 무엇보다 우선 자재생산기업이 기술 및 공정혁신을 통해 탄소배출 저감형 건설자재를 생산하는 것이 중요하다. 구체적으로 자재생산기업이 기술개발 및 공정혁신을 통해 화석연료 중심의 연료 및 원료 전환이 필요하다. 건설자재 중 생산과정에서 가장 많은 탄소를 배출하는 자재는 시멘트, 철강재가 가장 대표적이다. 이외에도 페인트, 유리, 알루미늄, 단열재 등의 다양한 자재생산 과정에서도 일정 부분 탄소가 배출된다. 건설단계에 투입되는 자재생산 과정에서 배출되는 내재탄소량을 자재의 종류에 따라 살펴보면, 제3장에서 살펴본 것처럼 시멘트 투입이 많은 레미콘에서 가장 높은 비중의 탄소가 배출되었다. 건축물의 경우 72%로 대부분의 비중을 차지했고, 철근콘크리트교량의 경우에도 탄소배출 비중이 60% 가까이 차지했다. 다음으로 철근이 약 15~20%의 비중을 차지했다. 이외에 기타 강재, 유리, 단열재 등에서도 일부 탄소가 배출되었다.

□ 철강재의 탈탄소화 : 전기로 비중 확대, 철근·형강은 에너지 전환 통한 간접적 배출 감축 필요

건설자재 중에서는 특히 시멘트와 철강재의 제조 과정에서 가장 많은 탄소가 배출된다. 우선 철강업계의 경우 탄소배출이 많은 고로의 생산 비중을 축소하고 전기로 생산 비중을 확대함과 동시에 중장기적으로는 수소환원제철과 같은 기술 및 공정혁신을 추진하고 있다. 세부적으로 철근, 형강 등 건설공사에 투입되는 철강재의 경우는 후판 등과 같이 탄소배출이 많은 고로가 아닌 전기로에서도 주로 생산되기 때문에 전기에너지 사용으로 인한 간접적 탄소배출이 많다. 따라서 현재 철강업계에서 추진하고 있는 탄소배출 감축방안에 의해 직접적으로 건설자재의 내재탄소를 감축하기는 쉽지 않다. 향후 발전업계에서 신재생에너지로의 에너지 전환이 점차 일어날 경우 이와 병행하여 건설단계에 투입되는 철강재의 탄소배출량은 상당 폭 감축이 가능하다. 다만, 발전업계의 에너지

전환이 중장기적으로 추진된다는 점에서 철근, 형강 등과 관련한 간접적인 내재탄소 배출을 감축하기에는 상당 기간 시간이 소요될 전망이다.

□ 시멘트의 탈탄소화 : 원료전환(슬래그 등) 및 연료전환 통한 탄소배출 감축

간접적 탄소배출이 많은 철근, 형강 등과 달리 시멘트의 경우 원료인 석회석 소성공정 자체에서 유연탄 사용으로 인한 직접적 탄소배출량이 매우 많아, 건설산업의 내재탄소 배출에 직접적 영향을 미치고 있다. 이로 인해 앞에서 언급한 바와 같이 건축공사에서 배출되는 탄소의 약 70%가 시멘트를 주요 자재로 투입하는 레미콘공정에서 배출되고 있다. 따라서 건설자재의 탈탄소화, 즉 탄소저감형 건설자재 투입과 관련해서는 향후 탄소저감형 시멘트 투입이 가장 중요하고, 다음으로 탄소저감형 철강재 투입이 중요하다. 이외에도 페인트, 유리, 알루미늄, 단열재 등의 자재에서도 일부 탄소가 발생되므로 동 자재와 관련해 탄소저감형 자재가 개발된 경우 이를 투입하거나, 대체 자재를 모색, 투입할 필요가 있다.

현재 시멘트 제조업계에서는 연료전환과 관련해 고체 화석연료(유연탄)를 폐합성수지, 수소열원(바이오매스 연동) 등으로 대체하고, 원료전환은 석회석 원료를 제철소 고로에서 나오는 부산물인 고로슬래그, 화력발전소에서 나오는 연소 부산물인 플라이애쉬(flyash) 등 산업부산물로 대체하고 혼합재 비중을 확대하는 방식으로 소성공정에서 발생하는 탄소를 감축하고자 시도하고 있다. 현재 국내에서도 고로슬래그로 석회석 원료를 대체한 탄소배출 저감형 슬래그 시멘트가 사용되고 있으며, 정부 2050 탄소중립 전략에서 석회석 원료 대체율을 총 12%까지 높이는 것을 목표로 하고 있다.

□ 기타 건설자재 탈탄소화 기술개발 : 슈퍼콘크리트, 이산화탄소 흡수 시멘트 등

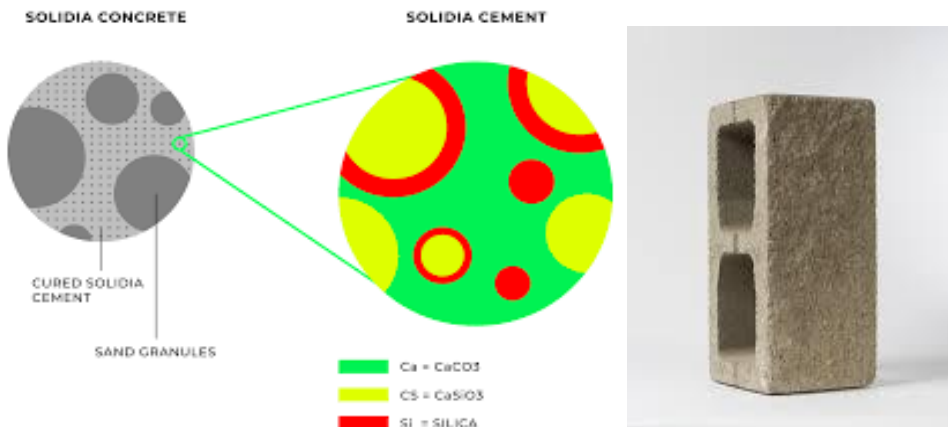
시멘트의 탄소배출 감축은 석회석 원료 대신 고로슬래그 등 산업부산물을 원료로 활용하는 방안과 더불어 콘크리트의 강도를 높여 시멘트를 적게 투입하는 슈퍼콘크리트와 이산화탄소 자체를 흡수하는 시멘트에 대한 연구개발 등이 이뤄지고 있다.

우선 슈퍼콘크리트는 시멘트와 콘크리트를 적게 사용하면서 강도가 높은 재료를 개발하는 것으로 국내에서도 한국건설기술연구원에서 강도가 5배 이상 높은 슈퍼콘크리트

를 개발하였다. 슈퍼콘크리트는 기존 콘크리트에 비해 인장력에 견디는 특성도 강하고, 시멘트 사용량 감축뿐 아니라 제조원가도 50% 가까이 줄일 수 있고 수명도 일반 콘크리트보다 긴 것으로 평가되고 있다. 국내에서 슈퍼콘크리트는 2017년에 최초로 울릉도 힐스테이 코스모스리조트에 적용되었고, 2018년 춘천대교 주탑에도 사용되었다.

한편, 해외에서는 이산화탄소를 흡수하는 시멘트에 대한 기술개발이 2000년대 들어 이뤄졌는데, 캐나다의 Calera사는 발전소 등에서 발생하는 이산화탄소를 포집하여 시멘트로 개발하였고, 영국 Novacem사는 양생과정에서 공기 중의 이산화탄소를 흡수하는 시멘트(carbon negative cement)를 개발하여 주목을 받기도 하였다. 2010년 미국 MIT 대학은 인류의 생활을 변화시킬 10대 신기술(10 Emerging Technologies)의 하나로 이산화탄소를 흡수하는 그린 콘크리트(Green Concrete)를 선정하기도 하였다. 최근에는 미국의 Solidia Technologies사에서도 이산화탄소를 흡수하는 시멘트 벽돌을 개발하였는데, 기존의 시멘트보다 석회석을 적게 사용하고 물 대신 이산화탄소를 주입해 굳힌 것이다. 이를 통해 Solidia Technologies사는 이산화탄소 배출을 30% 저감했다고 밝혔다. 그리고, 미국 UCLA대학 연구팀에서도 포틀랜드다이트라는 광물을 활용해 이산화탄소를 흡수하는 시멘트를 개발하였고, 실제 석탄화력발전소에서 발생하는 이산화탄소를 흡수해 시멘트를 생산하는 시험 생산도 추진하였다.

<그림 IV-5> 이산화탄소 흡수하는 시멘트



자료 : Solidia Technologies사 홈페이지, <https://www.fuelsandlubes.com>.

이상에서 살펴본 슈퍼콘크리트와 이산화탄소 흡수 시멘트 외에도 옥수수기름 등 식물성 원료를 미생물과 효소로 처리해 석유화학 성분을 대체한 바이오 페인트가 개발되었고, 이산화탄소와 에폭사이드로부터 직접 고분자 합성한 수지를 활용해 단열재를 생산하는 기술과 페타이어를 활용한 레미콘 및 벽돌제작 기술 등 탄소배출을 저감하기 위한 기술개발 등이 지속되고 있는 상황이다.

□ 건설기업의 탄소배출 저감형 건설자재 사용

건설자재의 내재탄소 감축을 위해서는 건설기업이 건설단계에서 탄소배출 저감형 자재를 조달하여 사용하는 것도 중요하다. 탄소배출 저감형 건설자재 활용은 건설단계뿐 아니라 준공 이후 유지보수, 개축단계에서도 필요하다. 다만, 동 단계에서 탄소배출 비중은 제3장에서 살펴본 대로 1% 내외에 불과하다. 또한, 개보수단계에서는 생산과정에서 탄소배출이 많은 시멘트, 철강재 투입이 제한적이라는 점에서 건설단계에 비해서는 탄소감축 효과가 미미하다고 할 수 있겠다. 그러나, 향후 노후 건축물 증가와 더불어 유지보수 및 개축 수요도 급증한다는 점에서 동 단계에 탄소배출 저감형 건설자재가 활용되는 것도 중요하다.

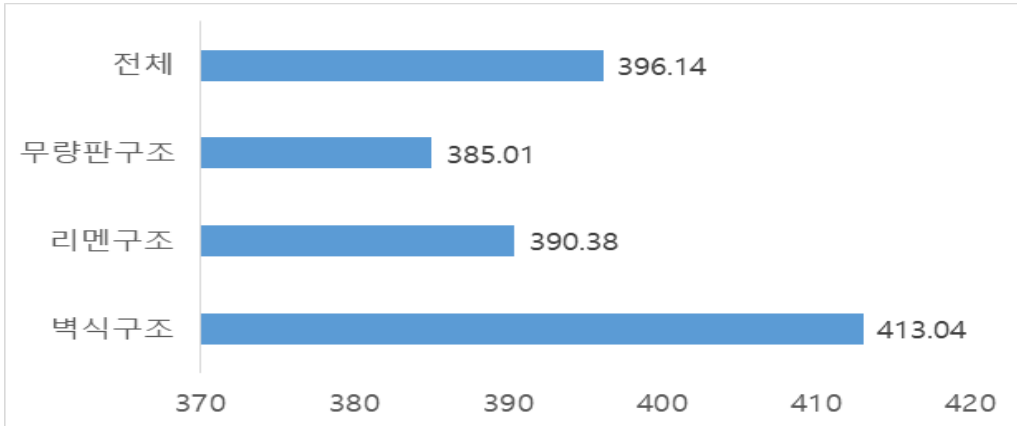
③ 탄소배출 건설자재의 사용량 최소화

건설자재 생산과정에서 발생하는 내재탄소를 감축하기 위해서는 탄소배출 저감형 건설자재를 생산하고 사용하는 것과 더불어 탄소배출 자재의 사용량 자체를 최소화하는 방안의 추진도 필요하다. 이를 위한 세부적 방안은 설계기준 충족 범위 내에서 탄소배출 자재 투입량 자체의 최소화를 위한 구조형식/설계 지향, 건설상품의 장수명화 유도방안 등이 있다. 이외에도 재활용 자재의 사용방안도 탄소배출 자재의 사용량을 최소화하는 방안 중 하나라고 할 수 있는데, 동 방안은 마지막 핵심적 탄소배출 감축방안인 ‘탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안’에도 포함되므로 그곳에서 살펴보고자 한다. 탄소배출 건설자재 투입량 최소화를 위한 구조형식/설계 지향방안과 건설상품의 장수명화 유도방안의 세부 내용은 다음과 같다.

□ 탄소배출 건설자재 투입량 최소화를 위한 구조형식/설계 지향

<그림 IV-6> 아파트의 구조별 탄소배출량 비교

(단위 : kgCO₂eq/m²)



주 : 노승준 금오공대 교수 연구팀이 2005~2013년 동안 설계된 443개 동의 아파트를 대상으로 전 생애주기에 걸쳐 레미콘, 철근 등 주요 6대 자재의 실제 투입량을 기초로 내재탄소 배출량을 산출한 자료임.

자료 : e대한경제 2021.10.26 기사 '심층분석 탄소 더 내뿜는 신축아파트(김태형 기자)', 원문은 노승준 금오공대 교수 연구팀 분석자료.

건설단계의 건설자재 생산과정에서 발생하는 내재탄소 배출량은 건설상품의 구조형식에도 상당한 영향을 받는다. 즉 건설상품의 구조형식 변경을 통해 자재투입량을 최소화하는 것도 내재탄소를 감축할 수 있는 방법이다. 예를 들어 공동주택과 같은 건축물의 경우에는 벽식구조이나 혹은 라멘구조, 무량판구조냐에 따라 건설단계의 내재탄소 배출량이 크게 차이가 난다. 금오공대 노승준 교수 연구팀에서는 2005~2013년 동안 설계된 443개 동의 아파트를 대상으로 전 생애주기에 걸쳐 레미콘, 철근 등 주요 6대 자재의 실제 투입량을 기초로 내재탄소 배출량을 산출하였다. 그 결과, 벽식구조 아파트의 단위 면적당 탄소배출량이 가장 많았고, 수평 보 없이 슬래브와 기둥만으로 이뤄진 무량판구조 아파트의 탄소배출량이 가장 적었다. 무량판구조 아파트는 벽식구조에 비해 7.3% 정도 단위 면적당 탄소배출량이 적었다. 수평 보와 기둥으로 이뤄진 라멘구조 아파트의 탄소배출량은 벽식구조보다는 적고, 무량판구조보다는 많았다. 결국 건설단계에서 내재탄소 배출을 감축하기 위해서는 탄소배출 건설자재 투입량 최소화를 위한 건설상품의 구조형식/설계를 지향하는 것이 필요하다.

□ 건설상품의 장수명화 유도

제3장에서 살펴보았듯이 건설상품의 전 생애주기 탄소배출량 중 약 30%는 건설단계에서 배출된다. 특히 시멘트, 철강재 등과 같은 자재생산 과정에서 대부분의 내재탄소가 배출된다. 운영단계를 제외한 건설단계에서는 시멘트, 철강재 등 자재생산 과정에서 90% 이상의 탄소가 배출된다. 따라서 건축물, 인프라 시설과 같은 건설상품의 수명이 다하여 재축할 경우에는 전 생애주기 탄소배출량의 약 30%에 해당하는 탄소가 다시 배출되어야 한다. 이 중에서 90% 이상은 건설자재의 생산과정에서 배출되는 내재탄소이다. 결국 건설자재 생산으로 인한 내재탄소를 감축하기 위해서는 건설상품의 장수명화가 매우 중요한 요소이다.

건설상품의 장수명화를 위해서는 건설단계의 경우 장수명화에 적합한 구조와 자재의 선정, 운영단계의 경우 예방적 유지관리가 중요하다. 장수명화에 적합한 구조는 공동주택과 같은 건축물의 경우 기존의 벽식 구조에서 기둥식 구조로의 전환이 적합하고, 내구성능이 보완된 자재의 사용이 중요하다. 운영단계에서는 적시에 적절한 보수/보강 및 개축과 같은 예방적 유지관리를 통해 수명을 최대한 연장할 수 있는 관리기법과 조치들이 중요하다.

이상에서 언급한 건설상품의 장수명화를 위한 세부 방안들은 기술적인 제약요인보다는 비용적 측면의 제약요인이 크다. 현재 건설상품의 발주자나 소유자 입장에서는 현재 시점이나 일정 기간 내에 투입 비용 대비 최대한의 자산가치를 추구할 수밖에 없기 때문에 과도한 비용투입을 필요로 하는 구조나 자재의 변경이 쉽지 않다. 이는 운영단계에서 예방적 유지관리를 위한 조치들의 경우에도 마찬가지이다. 따라서 건설상품의 장수명화를 위한 건설단계와 운영단계에서의 다양한 방안들이 이행되기 위해서는 정부에서 적절한 지원제도의 마련과 지원이 필요할 것으로 판단된다.

(3) 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안의 세부 내용

① 개요

□ 필요성

향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위한 세 번째 핵심적 감축방안은 탄소배출 저감형 건설방식을 도입해 활용하는 것이다. 전 생애주기 단계 중 건설단계의 탄소배출 비중은 약 30% 내외에 달한다. 그리고, 탄소배출 감축이 가능한 것으로 알려진 OSC(Off-Site Construction) 공법과 같은 탄소배출 감축 공법의 도입 및 활용은 건설산업에 특화된 탄소배출 감축방안이다. 따라서 향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서 건설단계에서는 탄소배출 감축 공법을 비롯한 탄소배출 저감을 위한 건설방식의 강구와 적극적 도입이 중요하다.

□ 세부 방안

탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안은 세부적으로 다음의 표와 같이 5가지 세부적 방안으로 구분해 볼 수 있다.

<표 IV-8> 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안의 내용

구분	내용
탄소배출 저감형 공법 도입·활용	<ul style="list-style-type: none"> - 건설기업이 시공단계에서 탄소배출 저감형 공법 도입·활용 <ul style="list-style-type: none"> • 모듈러 건축공법의 경우 RC조와 같은 전통적 공법에 비해 약 30% 이상 탄소배출 감축효과 발생 • BIM(Building Information Modeling), 프리팹(Prefab) 방식도 건설공사의 생산성 향상과 더불어 탄소배출 감축효과도 일부 발생
탄소배출 저감형 건설자재 및 재활용 자재 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 건설기업이 시공단계에서 탄소배출 저감형 자재 조달해 사용 <ul style="list-style-type: none"> • 탄소배출 저감형 건설자재 생산기업과 협력관계 강화 후 그린조달 비중 상향 조정 • 예시 : 고로슬래그 활용한 탄소저감형 시멘트 사용비율 확대 - 건설기업이 시공단계에서 재활용 자재 조달해 사용 <ul style="list-style-type: none"> • 사례연구 결과, 폐자재 재활용 통해 약 2%의 탄소배출 감축 가능 • 예시 : 페콘크리트 사용
탄소배출 저감형 건설기계 및 장비 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 건설기업이 시공단계에서 탄소배출 저감형 건설기계 및 장비 사용 <ul style="list-style-type: none"> • 건설기계에서 배출되는 이산화탄소는 건설산업 전체 이산화탄소 배출량의 약 1~2% 수준 • 예시 : 전기 굴착기와 수소연료전지 굴착기 등 친환경 건설기계 • 친환경 건설기계와 더불어 자동화 장비, 스마트 기기 등을 도입해 활용할 경우 시공단계에서 탄소배출 추가 감축 가능
건설현장의 사무소 및 차량의 탈탄소화	<ul style="list-style-type: none"> - 건설현장 사무소 및 차량의 탈탄소화 추구 <ul style="list-style-type: none"> • 냉난방설비 에너지 효율 개선 및 절약(온도준수 등) • 저에너지 현장사무소 사전 제작 및 재사용 : 태양광 패널이 설치되고, 단열재가 보강되어 사전 제작된 이동식 사무실 제작 및 재사용
건설폐기물 감축	<ul style="list-style-type: none"> - 건설폐기물 분리 배출 : 재활용품, 생활쓰레기 분리 배출 - 건설폐기물의 재활용 <ul style="list-style-type: none"> • 건설폐기물의 재활용 수준은 2019년 기준으로 이미 98.9% 수준으로 높은 편인데, 건설폐기물의 지속적 재활용 추진

② 탄소배출 저감형 공법 도입·활용

첫 번째 탄소배출 저감형 공법 도입·활용방안은 건설기업이 시공단계에서 탄소배출 저감형 공법을 도입해 활용하는 방안이다. 최근 전통적인 건설현장 중심의 건설방식과 차별화된 탈현장화공법, 즉 OSC공법(Off-Site Construction) 공법이 주목을 받고 있다. 그중에서도 OSC공법을 주도하고 있는 모듈러 건축공법이 전 생애주기 단계에서 기존 공법 대비 탄소배출량이 낮아 건물산업의 탄소중립 실현에 기여할 수 있을 것으로 전망된다. 한양대 안용한 교수 연구팀에서는 전 과정평가(LCA) 관점에서 천안두정 공공주택, 인천용진 공공주택, 광양제철소 기숙사, 유강초등학교, 자월보건지소 등 모듈러 건축 공법으로 준공된 프로젝트의 탄소배출량을 분석하였다. 구체적으로 투입건축자재 누적 질량 기준으로 기존 공법 대비 모듈러 건축의 탄소배출량을 비교한 결과, 평균 35.5%의 저감효과가 있는 것으로 분석되었다. 구체적으로 살펴보면 천안두정 공공주택은 437.5kgCO₂ eq/m²에서 279.5kgCO₂ eq/m²로 36.1% 저감, 인천용진 공공주택은 373kgCO₂ eq/m²에서 307.9kgCO₂ eq/m²로 17.44% 저감, 광양제철소 기숙사는 275.6kgCO₂ eq/m²에서 202.7kgCO₂ eq/m²로 26.5% 저감, 유강초등학교는 801kgCO₂ eq/m²에서 180.8kgCO₂ eq/m²로 77.4% 저감, 자월보건지소는 540kgCO₂ eq/m²에서 431.7kgCO₂ eq/m²로 20.1% 저감되었다. 동 분석에서는 자재의 재활용을 고려하지 않은 분석으로 모듈러 건축공법의 경우 자재 재활용이 기존 공법에 비해 훨씬 높은 것을 감안하면 향후 탄소배출 감축효과는 더욱 증대될 것으로 판단된다.

<그림 IV-7> 모듈러 건축공법의 탄소배출량 감축효과 분석 사례



주 : 2022년 3월 13일자 Kharn저널 스페셜리포트에 포함된 내용으로 해당 내용의 원저자는 한양대 안용한 교수, 금오공대 노승준 교수 등이며, 2020년 발표한 내용임.

자료 : Kharn저널 스페셜리포트, 2022.3.13.

한편, 김태우·김창윤(2021) 연구에서는 모듈러 건축물의 탄소배출 감축효과를 전 생애주기 단계별로 구분하여 분석하였다. 동 연구에서는 RC조와 모듈러의 탄소배출량을 비교·분석하기 위해 연면적이 동일한 건물의 면적당 탄소배출량을 분석하였다. 그리고, 모듈러 건축물의 탄소배출 감축효과를 전 생애주기 단계별로 비교·분석하기 위해 생산단계, 시공단계, 운영단계로 나누어 비교·분석했는데, 운영단계는 준공 후 30년 운영을 가정하였다. 분석 결과, 모든 단계에서 모듈러가 RC조보다 훨씬 낮은 수치의 탄소배출량을 배출하는 것으로 분석되었다. 전 생애주기에 걸친 총 탄소배출량은 RC조가 모듈러에 비해 2배 가까이 달했으며, 단계별로는 자재생산단계와 시공단계에서 탄소배출량 차이가 많이 났다. 운영단계에서 차이가 크지는 않았지만, 모듈러가 RC조에 비해 탄소배출량이 소폭 낮은 것으로 분석되었다.

<표 IV-9> 모듈러 건축과 RC조의 생애주기 단계별 탄소배출 분석

(단위 : TonCO2/m²)

구분	RC조	모듈러
생산단계	0.935	0.292
시공단계	0.048	0.005
운영단계 (30년)	1.946	1.492
합계	2.929	1.789

자료 : 김태우·김창윤, “저탄소 시대를 맞이하는 CO2 배출 저감 이동식 목조 모듈러 학교 설계”, 아주대학교 건축전, 2021.

이상에서 살펴본 바와 같이 OSC공법을 주도하고 있는 모듈러 건축공법의 경우 RC조와 같은 전통적 공법에 비해 약 30% 이상 탄소배출 감축효과가 있는 것으로 판단된다. 모듈러 건축공법은 탄소배출 감축효과뿐 아니라 공기단축 등의 효과도 기대된다. 모듈러 건축공법 외에도 BIM(Building Information Modeling), 프리랩(Prefab) 방식도 건설공사의 생산성 향상과 더불어 탄소배출 감축효과를 일부 기대할 수 있는 것으로 평가받고 있다. 우선 BIM의 경우 종이도면 절감을 통한 탄소배출 감축과 더불어 건설공사 참여자 간의 차량을 이용한 물리적 이동을 축소함으로써 차량에서 배출되는 탄소배출

감축도 가능할 것으로 기대된다. 프리팹(Prefab)은 건물의 골조, 벽체, 지붕, 바닥, 계단 등을 공장에서 사전 제작해서 현장에서 조립하는 공법으로 모듈러 단위로 사전 제작 후 현장에서 조립하는 모듈러 건축공법에 비해서는 현장 작업이 좀 더 많다. 그러나, 프리팹(Prefab) 역시 모듈러 건축공법과 마찬가지로 공기를 획기적으로 단축할 수 있는 것으로 평가되고 있고, 자재의 재활용 비율도 기존 RC조에 비해 훨씬 더 높아 탄소배출 감축효과로 이어질 수 있다.

결국 모듈러 건축공법을 비롯한 BIM, 프리팹(Prefab) 등과 같은 탄소배출 저감형 공법 도입·활용을 통해 건설기업은 시공단계에서 탄소배출을 상당 폭 감축할 수 있다. 따라서 향후 탄소중립 시대에 모듈러 건축공법을 비롯한 탄소배출 저감형 공법을 보다 확대 적용하기 위해 제도적 지원 등 다양한 방안의 강구가 필요할 것으로 판단된다. 예를 들어 기업들의 녹색활동에 대한 금융지원을 비롯한 제도적 지원의 기초가 되는 녹색분류체계에 모듈러 건축공법을 비롯한 건설기업의 탄소배출 저감형 건설방식이 포함되어 건설기업의 탄소배출 감축활동을 적극적으로 유인하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

③ 탄소배출 저감형 건설자재 및 재활용 자재의 사용

□ 탄소배출 저감형 건설자재 사용

탄소배출 저감형 건설자재의 사용방안은 건설기업이 시공단계에서 탄소배출 저감형 자재를 조달하여 사용하는 것이다. 준공 이후 운영단계를 빼고 건설단계에서의 자재생산과 사용 과정에서 배출되는 내재탄소 배출 비중은 90%를 상회한다. 따라서 건설기업은 건설단계에서 탄소배출을 감축하기 위해서는 탄소배출 저감형 자재의 조달과 사용이 중요함을 인식하고, 해당 자재생산기업과 협력관계를 강화하고 그린조달 비중을 높여야만 할 것이다.

시멘트, 철강재 등 탄소배출량이 많은 자재생산기업이 기술 및 공정혁신을 통해 자재의 탈탄소화를 추구하더라도 건설기업이 건설단계에서 탄소저감형 자재를 활용하지 않는다면 건설산업의 탈탄소화는 불가능하다. 따라서 건설기업이 건설단계에서 탄소저감형 자재를 적극적으로 사용하도록 건설기업과 발주자에 대한 정책적 지원과 인식전환이 중요하다. 탄소배출 저감형 공법 도입/활용방안에서 언급한 것처럼 녹색분류체계에 탄

소배출 저감형 건설방식이 포함되고, 탄소배출 저감형 건설방식의 세부 내용으로 탄소배출 저감형 건설자재의 사용비율을 일정 비율 이상 규정하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

최근 ESG 경영이 중요해지면서 국내 건설사 중에서도 탄소배출 저감형 시멘트를 사용하는 사례들이 등장하고 있다. 포스코건설의 경우 건설공사에 투입되는 기존의 시멘트를 고로슬래그를 활용한 탄소저감형 시멘트로 점차 대체함으로써 건설단계의 내재탄소를 감축하고 있다. 포스코건설은 동 시멘트를 ‘포스멘트’라고 명명했는데, 포스멘트는 원료를 굽는 과정이 필요 없는 고로슬래그를 58%까지 사용하기 때문에 일반 시멘트보다 생산과정 중 발생하는 이산화탄소를 최대 60%까지 줄일 수 있다. 포스코건설은 아파트 건설 시 탄소저감형 시멘트인 ‘포스멘트’ 사용을 확대하고 있는데, 2021년 사용량 20만톤에서 2022년 30만톤 이상 사용을 계획하였다. 2023년에는 45만톤 이상으로 확대함으로써 전체 시멘트 사용량의 53% 이상을 포스멘트로 대체할 계획이다.

□ 재활용 자재 사용

재활용 자재의 사용방안은 건설기업이 시공단계에서 재활용 자재를 조달하여 사용하는 것이다. 건설자재 생산과정에서 발생하는 탄소배출을 감축하기 위해서는 건설기업이 건설공사 중 재활용 자재의 사용을 늘리는 것도 필요하다. 재활용 자재를 사용할 경우 해당 자재의 생산과정에서 필연적으로 발생할 수밖에 없는 잠재적인 탄소배출을 원천적으로 감축할 수 있다. 제3장에서 살펴본 호주의 한 호텔 사례연구에서는 해체/폐기단계에서 폐자재의 재활용을 통해 약 2%의 탄소배출을 감축할 수 있는 것으로 분석되었다. 물론 해당 사례가 재활용이 가능한 자재가 많은 호텔이라는 특수성을 반영한 결과로 보이기 때문에 이를 일반화하기는 어려울 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 해체/폐기단계에서 폐자재를 재활용할 경우 분명 일정 부분의 탄소감축 효과가 발생할 수밖에 없다.

현재 해체/폐기단계에서 일반적으로 많이 활용되는 폐자재는 폐콘크리트이다. 콘크리트 생산을 위해 시멘트 생산과정이 필수적이고, 시멘트의 경우 건설산업에서 가장 많은 내재탄소 발생원이라는 점에서 의미가 크다. 그러나, 향후에는 해체/폐기단계에서 재활용이 가능한 자재를 폐콘크리트 외의 자재로 확대해 나가는 것이 필요하다. 해체/폐기단

계에서 폐기될 자재의 재활용을 통해 해당 자재의 생산과정에서 배출될 잠재적 탄소배출을 감축하기 위해서는 설계단계와 건설단계에서부터 향후 자재의 재활용을 감안해 해체 이후 재활용이 가능한 자재의 투입 비중을 확대하는 것이 필요하다.

④ 탄소배출 저감형 건설기계 및 장비의 사용¹⁹⁾

셋째로 탄소배출 저감형 건설기계 및 장비의 사용 방안은 건설기업이 시공단계에서 탄소배출 저감형 건설기계 및 장비를 도입하여 사용하는 것이다. 건설기계에서 배출되는 이산화탄소는 건설산업 전체 이산화탄소 배출량의 약 1~2% 수준으로 평가된다. 건설기계가 전체 수송 차량에서 차지하는 양적 비중은 매우 적지만, 이에 비해 탄소배출 비중은 훨씬 더 큰 것으로 알려져 있다. 이는 굴착기와 같은 건설기계가 디젤 경유와 같이 이산화탄소 배출량이 많은 화석연료를 사용하고, 1대당 연료소비량도 일반 차량에 비해 훨씬 더 많기 때문이다.

세계 각국의 탄소중립 추진에 따라 건설기계 생산업체들도 건설기계의 기존 내연기관과 유압시스템을 없애고, 전기 굴착기와 수소연료전지 굴착기와 같은 친환경 건설기계의 개발을 추진하고 있다. 세계 최대의 가전제품 전시회인 'CES 2022'에서도 전기 굴착기와 수소연료전지 건설기계 부문이 주목을 받았다.

예를 들어 두산밥캣은 건설 중장비에서 기존 내연기관과 유압시스템을 모두 없애고, 완전 전동식의 콤팩트 트랙로더 'T7X'를 시연하는 등 친환경 건설장비 솔루션을 선보였다. 현대건설기계 등도 지능형 로봇틱스와 관련한 플랫폼 서비스를 2025년도까지 상용화할 계획을 발표했다. 건설기업 측면에서는 탄소배출 저감형 건설기계의 도입·사용을 통한 탄소배출 감축을 위해 건설기계 생산업체들의 이상과 같은 탈탄소 건설기계 개발 및 양산계획을 모니터링하고, 향후 적극적인 탈탄소 건설기계의 도입과 활용이 필요하다.

건설기계뿐만 아니라 기타 자동화 장비나 태블릿PC 같은 스마트 기기 도입을 통해서도 건설공사 현장의 탄소배출을 일부 감축할 수 있다. 일본의 경우 국토교통성이 주도하는 건설업 생산성 혁신정책인 'i-Construction 정책'에서 건설업의 디지털화와 동시에

19) 탄소배출 저감형 건설기계 및 장비의 사용 부분은 전수진 외(2022) 연구에 수록된 내용을 참조해 작성되었다.

탄소배출을 감축할 수 있는 목표를 설정하고 평가를 하고 있다. 즉 디지털 기술을 건설 산업에 적극 도입해 생산성을 제고함과 동시에 에너지 절약을 통해 탄소배출 저감을 추진하고자 하는 것이다.

국도교통성에서 배포한 기술적용 사례집에서 다양한 디지털 장비의 생산성 제고 효과와 함께 탄소배출 감축 효과를 제시했는데, 예를 들어 머신 컨트롤러(MC) 모터 그레이더를 활용한 노반공사를 통해 시공효율 및 시간 단축에 의한 탄소배출 절감 효과를 다음 표와 같이 제시하였다. 또한, 공사현장에서 태블릿PC 단말기를 배포해 페이퍼리스를 시도한 결과 인쇄비용 절감으로 인한 탄소배출 감축효과도 제시하였다. 이외에도 현장사무실과 본부 간의 실시간 디지털 정보공유를 통해 차량을 이용한 이동이 감소해 탄소배출 감축효과에 기여하였다. 이상에서 살펴본 바와 같이 건설기업이 시공단계에서 친환경 건설기계와 더불어 자동화 장비, 스마트 기기 등을 도입해 활용할 경우 시공단계에서 탄소배출 감축이 가능하다.

<표 IV-10> 건설현장의 자동화 장비 및 스마트 기기 활용 통한 탄소배출 감축 사례

구분		내용
머신 컨트롤러(MC) 모터 그레이더	적용 전	$5.3\text{L}/100\text{m}^2 \times 18,600\text{m}^2 = 986\text{L}$
	적용 후	$3.2\text{L}/100\text{m}^2 \times 18,600\text{m}^2 = 595\text{L}$
	CO ₂ 감소량	$(986-595)\text{L} \times 2.62\text{kgCO}_2/\text{L} = \Delta 1,024\text{kgCO}_2$
태블릿PC	적용 전	$5,000\text{장} \times 4\text{g} \div 106 \times 1,270.47\text{kgCO}_2/\text{t} = 25\text{kgCO}_2$
	적용 후	0
	CO ₂ 감소량	$\Delta 25\text{kgCO}_2$

주 : CO₂ 감소량은 경유 및 사무용지의 이산화탄소 배출계수 활용해 계산된 수치임.

자료 : 전수진, 정종홍, '건설분야 탄소중립 정책동향과 스마트 건설기술의 역할', 건설관리, 제23권 제2호, 2022.4.

⑤ 기타 방안 : 건설현장 사무소·차량의 탈탄소화 및 건설폐기물 재활용·감축

마지막으로 건설기업은 시공단계에서 건설현장 사무소 및 차량의 탈탄소화와 건설폐기물 재활용·감축을 통해 추가적으로 탄소배출을 감축할 수 있다. 건설현장 사무소 및

차량의 탈탄소화와 관련해서는 냉난방설비 에너지 효율 개선 및 절약(온도준수 등), 태양광판넬 설치, 저에너지 현장사무소 사전 제작 및 재사용 등이 필요하다. 저에너지 현장사무소는 태양광 판넬이 설치되고, 단열재가 보강되어 사전 제작된 이동식 사무실로서 다수 현장에 재사용함으로써 탄소배출을 줄일 수 있다. 한편, 건설폐기물의 재활용 수준은 2019년 기준으로 이미 98.9% 수준으로 높은 편인데, 향후 건설폐기물 관련 탄소배출 감축을 위해 건설폐기물 분리 배출(재활용품, 생활쓰레기 분리)과 건설폐기물의 추가적인 재활용 시도가 필요하다.

본 장에서는 향후 건설산업이 탄소배출 감축방안을 성공적으로 이행하기 위해 필요한 각 주체들의 역할과 협업 구조에 대해 살펴보고자 한다. 향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 탄소배출 감축 전략과 핵심적인 감축방안의 도출뿐만 아니라 이를 성공적으로 추진하기 위해 건설기업, 자재생산기업, 설계·엔지니어링업체, 금융기관, 정부 등 다양한 주체들이 각자의 역할을 성공적으로 수행하고 협업하는 것도 중요하다.

1. 건설산업 탄소배출 감축방안 유형별 수행 주체

(1) 일반적 탄소배출 감축방안의 수행 주체

 : 생애주기 단계별 관련 주체들이 직접 주도해 감축방안 수행

제4장에서는 건설상품의 각 생애주기 단계별 탄소배출 감축방안들을 먼저 살펴보았고, 이 중에서 향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해 필요한 핵심적인 감축방안을 도출하였다. 핵심적인 탄소배출 감축방안을 제외한 업무공간과 차량의 에너지 및 연료사용 최소화과 같은 일반적인 감축방안들의 경우는 기본적으로 각 생애주기 단계 내 활동들을 수행하는 주체들이 주도해 직접적으로 수행하면 된다. 즉 건설단계의 경우 하위 단계별 부가가치 창출 활동을 수행하는 자재생산기업, 건설기업 등 관련 기업들이 주도하여 직접적으로 각 단계별 일반적인 감축방안을 수행하면 된다. 운영단계의 경우는 하위 단계인 운영·유지관리단계에서는 건축물 등 건설상품의 소유자 및 사용자, 개보수단계에서는 리모델링업체 등 개보수공사업체가 주도하여 각 단계별 일반적인 감축방안을 수행하면 된다.

(2) 핵심적 탄소배출 감축방안의 수행 주체

 : 생애주기 단계별 관련 주체들과 더불어 다양한 주체들의 협업 필요

① 개요

제4장에서 도출한 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안의 경우에도 각 생애주기 단계별로 관련된 주체들이 직접적으로 주도해 해당 감축방안들을 추진하는 것이 필요하다. 즉 건설단계의 핵심적 감축방안 중 하나인 건설자재의 내재탄소 감축은 시멘트 제조업체, 철강 및 제강업체 등 자재생산기업이 주도하여 직접 추진하면 된다. 종합건설 기업은 시공단계의 탄소배출 감축방안인 업무공간과 차량 및 장비 등의 에너지와 연료 사용 최소화 등과 관련된 일반적 탄소배출 감축방안을 직접 수행함과 동시에 OSC(Off-Site Construction) 등 탄소저감형 건설방식 도입·활용방안도 직접 주도하여 추진하면 된다. 운영단계의 탄소배출 감축방안 역시 각 단계별 관련 주체들이 주도해 직접 수행하면 되는데, 핵심적 감축방안인 건축물 운영탄소 감축의 경우 건축물 발주자 내지 소유주가 에너지 효율형 건축물 공사발주 등을 통해 동 방안을 직접 수행하는 역할을 수행한다.

그러나, 일반적인 탄소배출 감축방안과 달리 제4장에서 도출한 건설자재의 내재탄소 감축, 건축물의 운영탄소 감축 등과 같은 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안은 각 생애주기 단계별 관련 주체들과 더불어 해당 생애주기 단계 밖의 다양한 주체 간 협업과 역할 수행을 통해 성공적으로 이행할 수 있다. 예를 들어 건축물의 운영탄소 감축방안의 경우 건축물의 발주자 및 소유자 외에 제로에너지빌딩 등 운영탄소 감축에 적합한 건축물 시공을 위해 설계업체, 자재생산기업, 건설기업의 역할과 협업도 필요하다. 또 다른 핵심적 감축방안인 건설자재의 내재탄소 감축방안도 마찬가지로 탄소저감형 자재 생산을 위한 자재생산기업의 기술 및 공정혁신 외에 설계업체의 해당 자재 설계반영, 건설기업의 해당 자재 조달 등과 같은 간접적인 역할과 협업이 필요하다. 건설기업이 주도하는 탄소배출 저감형 건설방식 역시 설계업체, 자재생산기업, 발주자 등의 간접적 역할과 협업이 필요하다. 아래에서는 핵심적인 탄소배출 감축방안별로 다양한 주체들의 역할에 대해 살펴보고자 한다.

② 건축물의 운영탄소 감축방안의 수행 주체

향후 건설산업이 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해 가장 중요한 탄소배출 감축

방안 중 하나인 건축물 운영탄소 감축방안의 직접적인 수행 주체는 건축물의 발주자 혹은 소유자와 사용자이다. 그러나, 핵심적인 탄소배출 감축방안의 경우 성공적 이행을 위해 해당 생애주기 단계의 관련 주체 외에 타 단계의 관련 주체들도 모두 간접적으로 역할 수행이 필요하다고 지적했다. 건축물 운영탄소 감축방안 역시 동 방안의 성공적 이행을 위해 설계·엔지니어링업체, 자재생산기업, 건설기업, 정부, 금융기관 등 생애주기 각 단계별 모든 관련 주체들의 역할 수행 및 협업이 필요하다.

□ 설계·엔지니어링업체의 역할

건축물의 준공 이후 운영탄소 배출량에 결정적 영향을 미치는 건축물의 에너지 효율 수준은 기획·설계단계에서 대부분 결정된다. 동 단계에서 설계·엔지니어링업체는 건축물 발주자와 협의 하에 건축물의 에너지 효율 수준에 직접적 영향을 미치는 단열재 종류와 단열 수준, 창호 종류 및 기밀 수준 등을 결정한다. 이외에도 외부로부터 공급된 전기에너지 사용으로 간접적 탄소배출을 최소화하기 위한 자체 태양열 및 지열 에너지 활용 설비 등 재생에너지 사용 여부와 수준을 결정하는 역할을 수행한다.

□ 자재생산기업의 역할

자재생산기업의 경우 제로에너지빌딩을 비롯한 운영탄소 감축에 적합한 건축물을 위한 건설자재의 생산 및 공급 역할을 수행이 필요하다. 예를 들어 벽체 단열재, 단열 및 기밀 창호시스템 등 건축물의 에너지 효율 제고를 위한 건설자재의 생산과 공급이 필요하다. 그리고 건축물의 에너지 자립도를 높이고 화석연료 사용을 최소화하기 위해 필요한 태양광 패널 등 재생에너지 생산을 위한 설비 및 자재의 생산과 공급도 필요하다. 이와 같이 건축물의 운영탄소 감축을 위해 필요한 다양한 자재의 생산과 동 자재들의 품질 및 원가 개선 등을 통해 운영탄소 감축에 적합한 건축물의 건축이 활성화될 수 있는 자재생산기업의 역할이 필요하다.

□ 종합건설기업의 역할

종합건설기업의 경우 제로에너지빌딩 등 운영탄소 감축에 적합한 건축물의 시공을 담당하는 역할을 수행한다. 특히 종합건설기업은 현재 국내 건설산업의 가치사슬 생태계에서 실제적으로 주도적인 역할을 하기 때문에 단순 시공을 넘어 운영탄소 감축에 적합한 건축물의 생산 및 공급을 위한 적극적인 역할 수행이 필요하다. 즉 운영탄소 저감 건축물의 생산과 공급을 위한 종합적인 솔루션 제공 역할을 하는 것이 바람직하다. 이를 위해 운영탄소 저감 건축물 건축을 위한 핵심 엔지니어링 역량 확보가 필요한데, 구체적으로 자재, 설비, 건물 구조형식 등 다양한 변수가 건축물 운영탄소 배출에 미치는 영향과 핵심 성공요소를 이해하고 이를 조합할 수 있는 역량이 필요하다. 아울러 운영탄소 저감 건축물 생산을 위한 기자재업체 등 다양한 협력업체 네트워크 구축 및 운영이 필요하다.

□ 정부 및 금융기관의 역할

정부는 건축물의 운영탄소 감축방안이 원활히 추진될 수 있도록 국가 녹색분류체계 등의 동 방안 반영과 제로에너지건축물 인증제도 등 친환경 인증제도의 개선과 같은 역할을 수행하는 것이 필요하다. 그리고, 이를 기초로 금융기관은 제로에너지빌딩 건축 등 건설산업의 녹색경제활동 대상 자금조달을 지원해야 할 것이다. 현재 한국형 녹색분류체계에서는 녹색건축 관련 분류항목이 어느 정도 반영이 되어있는데, 도시·건물 분야에 제로에너지 건축물 또는 녹색건축물의 신규 건설 및 리모델링 등 4가지 경제활동이 포함되어 있다. 그러나, 건축물 친환경 인증제도와 관련해서는 친환경 건축물 인증제도, 건축물 에너지성능등급 표시제도, 친환경 주택건설기준, 제로에너지건축물 인증제도 등으로 인증 및 기준이 나뉘어 있어 통합화와 표준화할 필요성이 있다. 또한, 현재는 신규 건축물의 에너지 성능향상에 좀 더 초점이 맞춰져 있으나, 기존 건축물의 개보수를 포함해 전 생애주기에 걸친 종합적인 운영탄소 감축방안이 추진되어야 한다.

③ 건설자재의 내재탄소 감축방안의 수행 주체

건설산업의 핵심적 탄소배출 감축방안 중 하나인 건설자재의 내재탄소 감축방안의 직접적 수행 주체는 자재생산기업이다. 자재생산기업은 기술 및 공정혁신을 통해 건설

자재의 내재탄소 감축방안을 주도할 필요가 있으며, 실제로 현재 시멘트, 철강재 생산기업 등은 석회석 소성공정상의 화석연료와 원료 전환, 고로조강의 전기로 조강 대체, 수소환원제철 공정 등 탄소배출을 최소화하기 위한 기술 및 공정혁신을 추진하고 있다.

그러나, 건설산업의 핵심적 탄소배출 감축방안인 건설자재의 내재탄소 감축방안은 건축물의 운영탄소 감축방안과 마찬가지로 성공적인 이행을 위해 설계·엔지니어링업체, 건설기업, 정부, 금융기관 등 생애주기 각 단계별 모든 관련 주체들의 역할 수행 및 협업이 필요하다.

□ 설계·엔지니어링업체의 역할

건축물의 운영탄소와 마찬가지로 특정 건설상품의 건설공사에 건설자재 투입으로 인한 내재탄소 배출량도 기획 및 설계단계에서 대부분 결정된다고 볼 수 있다. 즉 향후 시공단계에 투입될 자재의 종류와 수량, 탄소저감형 자재 투입 여부 및 수량 등이 기획 및 설계단계에서 대부분 결정되고, 내재탄소를 가장 많이 배출하는 시멘트와 철강재의 투입량에 영향을 미치는 건설상품의 구조형식 등도 기획 및 설계단계에서 결정된다는 점에서 내재탄소 감축에 설계·엔지니어링업체의 역할이 상당 부분 중요하다. 또한, 제4장에서 살펴본 바와 같이 내재탄소 감축을 위해서는 근본적으로 건설상품의 장수명화가 중요한데, 건설상품의 장수명화 역시 설계단계에서 해당 상품의 설계수명이 결정된다는 점에서 설계·엔지니어링업체의 역할이 중요하다.

□ 종합건설기업의 역할

건축물의 운영탄소 감축방안과 마찬가지로 건설자재의 내재탄소 감축방안의 성공적 이행을 위해서도 종합건설기업의 역할이 중요하다. 국내 건설산업의 가치사슬 생태계에서 주도적인 역할을 수행하고 있는 종합건설기업은 내재탄소 감축 솔루션을 제공할 수 있는 엔지니어링 역량을 강화하고, 탄소저감형 자재생산기업과의 협력관계 구축 및 그린조달에 힘써야 한다. 특히 다양한 건설상품의 전 생애주기와 가치사슬(Value Chain) 상에서 내재탄소 배출을 추적하고 관리할 수 있는 툴(tool)을 활용해 내재탄소 감축을 위한 최적 솔루션을 제공하는 역할 수행이 필요하다. 해외 선진건설기업인 Skanska사

의 경우 EC3(Embodied Carbon in Construction Calculator) 툴(tool)을 활용해 내재탄소 감축을 위한 최적 솔루션을 제공하는 역할을 실제 건설프로젝트에서 수행하고 있다.²⁰⁾

□ 정부 및 금융기관의 역할

정부 및 금융기관은 건설자재의 내재탄소 감축방안이 원활히 추진될 수 있도록 국가 녹색분류체계와의 동 방안 반영 등 필요한 지원 역할을 수행해야 한다. 특히 대표적인 내재탄소 배출 기업인 시멘트 및 철강재 생산기업이 탄소배출 감축방안을 원활히 추진할 수 있도록 금융조달을 지원하고, 아울러 기술 및 공정혁신을 위한 연구개발 지원 등의 활동을 지속해야 할 것이다.

③ 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안의 수행 주체

건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안 중 마지막으로 탄소배출 저감형 건설방식의 도입·활용방안은 종합건설기업이 직접 주도하여 수행한다. 그러나, 다른 핵심적인 탄소배출 감축방안과 마찬가지로 설계·엔지니어링업체, 자재생산기업 등의 역할 수행 및 협업이 필요하다.

설계·엔지니어링업체의 경우 모듈러 건축공법과 같이 탄소배출 저감형 건설공법에 최적화된 건설상품의 구조형식, 투입 자재의 종류 및 형태, 시공방식 및 절차 등을 종합 건설기업과의 협업 하에 결정하는 역할 수행이 필요하다. 자재생산기업 역시 모듈러 건축과 같은 OSC 시공을 위하여 종합건설기업과 협업 하에 공장 등에서 주요 부위의 사전제작이나 모듈러 시공에 유리한 형태의 자재를 생산해 공급하는 역할 수행이 필요하다. 이외에도 탄소배출 저감형 건설방식을 위한 정부의 제도적 지원과 금융기관의 금융조달 지원 등도 중요하다. 현재 한국형 녹색분류체계에는 건축물 운영탄소 감축을 위한 경제활동과 시멘트, 철강재 등 주요 자재제조업체의 내재탄소 감축을 위한 경제활동은 포함되어 있는 반면, 모듈러 건축공법과 같은 탄소배출 저감형 건설방식을 도입·활용하기 위한 경제활동은 포함되어 있지 않다. 따라서 한국형 녹색분류체계에 포함된 ‘저탄소

20) Skanska사의 EC3(Embodied Carbon in Construction Calculator) 구체적인 활용 사례는 제2절의 ‘(5) 종합 건설기업의 역할’ 부분에서 상세히 기술하였다.

농업'과 같은 '저탄소 건설'의 포함을 전향적으로 검토해야 할 것이다.

<표 V-1> 건설산업의 핵심적 탄소배출 감축방안의 수행 주체와 역할

감축방안	수행 주체	역할
건축물 운영탄소 감축방안	설계·엔지니어링업체	<ul style="list-style-type: none"> 건축물 에너지 효율 수준에 영향 미치는 설계 요소 결정 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 단열재 종류와 단열 수준, 창호 종류 및 기밀 수준 등 건축물 사용 에너지 및 연료 탈탄소화 위한 설계 요소 결정 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 태양열 및 지열 에너지 활용 설비 등 재생에너지 사용 설비 및 수준 결정
	자재생산기업	<ul style="list-style-type: none"> 운영탄소 감축에 적합한 건축물 위한 건설자재 생산 및 품질·원가개선 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 패시브주택, 제로에너지건축물 등의 벽체 단열재, 단열 및 기밀 창호시스템 등 건축물 사용 에너지 및 연료 탈탄소화 위한 기자재 생산(태양광 패널 등)
	종합건설기업	<ul style="list-style-type: none"> 운영탄소 감축에 적합한 건축물(제로에너지건축물 등)의 시공 담당 가치사슬 전체에 걸쳐 운영탄소 저감 건축물 생산 및 공급 위한 주도적 역할 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 운영탄소 저감 건축물의 생산 및 공급 위한 종합적인 솔루션의 발주자 제공 역할 ▷ 운영탄소 저감 건축물 생산 위한 설계업체, 기자재업체 등 다양한 협력업체와 네트워크 구축 및 운영
	정부·금융기관	<ul style="list-style-type: none"> 건축물 운영탄소 감축 위한 제도적 지원과 금융조달 지원 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 정부 : 녹색분류체계에 건축물 운영탄소 감축방안 반영, 제로에너지건축 인증제도 등 친환경 인증제도의 보완 등 ▷ 금융기관 : 녹색경제활동 대상 원활한 자금조달 지원
건설자재 내재탄소 감축방안	설계·엔지니어링업체	<ul style="list-style-type: none"> 건설자재 내재탄소 감축에 영향을 미치는 설계 요소 결정 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 탄소저감형 자재, 재활용 자재의 투입 여부 및 수량, 시멘트 등 탄소배출 자재의 투입량에 영향 미치는 구조형식 등 내재탄소 감축에 중요한 건설상품의 장수명화 역시 설계단계에서 설계수명 결정
	자재생산기업	<ul style="list-style-type: none"> 건설자재 내재탄소 감축방안의 직접적 수행 주체 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 기술개발 및 공정혁신 통한 탄소배출 저감형 자재 생산
	종합건설기업	<ul style="list-style-type: none"> 탄소배출 저감형 자재생산기업과의 협력관계 구축 및 그린조달 가치사슬 전체에 걸쳐 건설자재 내재탄소 감축 위한 주도적 역할 수행 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 전 생애주기와 가치사슬 상에서 내재탄소 발자국을 추적하고 관리할 수 있는 툴(tool)을 활용해 내재탄소 감축 위한 최적 솔루션 제공 역할
	정부·금융기관	<ul style="list-style-type: none"> 건설자재 내재탄소 감축 위한 제도적 지원과 금융조달 지원 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 녹색분류체계에 시멘트, 철강재 등 건설자재 생산기업의 탄소저감 활동 반영, 기술 및 공정혁신 위한 연구개발 지원 등
탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용 방안	설계·엔지니어링업체	<ul style="list-style-type: none"> 탄소배출 저감형 건설방식 적용 위한 설계 요소 결정 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 모듈러 건축공법 등 탄소배출 저감형 건설공법에 최적화된 구조형식, 투입자재 종류 및 형태, 시공방식 및 절차 등
	자재생산기업	<ul style="list-style-type: none"> 탄소배출 저감형 건설방식(OSC 등)에 적합한 자재의 생산과 사전제작 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 모듈러 시공에 적합한 자재 생산, 주요 부위의 사전제작 등
	종합건설기업	<ul style="list-style-type: none"> 탄소배출 저감형 건설방식의 도입·활용방안의 직접적 수행 주체 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 가치사슬 전체에 걸쳐 탄소배출 저감형 건설방식 활용 위한 주도적 역할 수행
	정부·금융기관	<ul style="list-style-type: none"> 탄소배출 저감형 건설방식 적용 위한 제도적 지원과 금융조달 지원 <ul style="list-style-type: none"> ▷ 녹색분류체계에 탄소배출 저감형 건설방식('저탄소 건설') 반영

(3) 소결

이상에서 살펴본 바와 같이 건설산업의 탄소배출 감축방안 중 업무공간과 차량의 에너지 및 연료사용 최소화와 같은 일반적인 감축방안들은 생애주기 단계별 관련 주체들이 직접적으로 주도해 이행하면 된다. 그러나, 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안은 각 생애주기 단계별 관련 주체들의 역할뿐 아니라 해당 생애주기 단계 밖의 다양한 주체들의 역할과 협업이 중요하다. 특히 국내 건설산업의 가치사슬 생태계에서 주도적 역할을 수행하는 종합건설기업의 역할이 중요하고, 건축물의 에너지 효율등급과 운영탄소 배출 수준, 탄소저감형 자재 투입 종류 및 수준을 결정하는 기획·설계단계의 설계업체의 역할도 중요하다. 아울러 탄소중립 관련 각종 규제와 지원제도를 설계하는 정부의 역할, 녹색금융을 통해 자금조달 인센티브를 지원하는 금융기관의 역할도 매우 중요하다. 뿐만 아니라 건축물과 생애주기 단계별 모든 주체들의 간접적 탄소배출에 결정적 영향을 미치는 발전기업의 에너지 전환 역할도 중요하다. 신재생에너지로 발전기업의 에너지 전환이 이뤄질 때 건설산업의 모든 생애주기별 간접적인 탄소배출 감축이 비로소 가능하다. 이렇게 향후 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안 성공적 이행과 건설산업의 탄소중립 달성을 위해서는 다양한 주체들의 역할과 협업 구조가 필수적이다. 다음 절에서는 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안들의 직간접적인 수행 주체별로 구체적인 역할에 대해 자세히 살펴보고자 한다.

2. 건설산업 탄소배출 감축방안의 주요 수행 주체별 역할

제1절에서 핵심적인 탄소배출 감축방안의 경우 성공적 이행을 위해 해당 생애주기 단계의 관련 주체 외에 타 단계의 관련 주체들도 모두 역할 수행이 필요하다고 지적했다. 건축물의 운영탄소 감축, 건설자재의 내재탄소 감축, 탄소저감형 건설방식 활용과 같은 핵심적 탄소배출 감축방안의 성공적 이행을 위해 역할이 필요한 주요 수행 주체들은 정부, 금융기관, 설계업체, 자재생산기업, 건설기업 등과 같다. 본 절에서는 탄소배출 감축방안의 주요 수행 주체별 역할에 대해 좀 더 자세히 살펴보고자 한다.

(1) 정부의 역할

정부의 경우 국가의 탄소중립 관련 전반적인 정책방향과 더불어 각종 규제 및 지원제도 등 다양한 제도를 결정한다는 점에서 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축에 상당한 영향을 미친다고 할 수 있다. 건설산업 측면에서는 제4장에서 도출한 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안들이 향후 원활히 추진될 수 있도록 정부의 규제 개선 및 지원제도의 정비가 필요하다.

현재까지 탄소중립 관련 정부의 제도는 신규 건축물의 에너지 효율 제고와 관련된 규제가 주를 이루었으나, 향후에는 건축물을 포함한 전체 건설상품을 대상으로 전 생애주기 관점의 탄소배출 감축을 위한 제도 마련이 중요하다. 즉 건설자재 생산과정을 포함한 전체 건설단계에서의 탄소배출 감축과 건설상품 운영단계 및 폐기단계에서의 탄소배출 감축을 포함한 전 생애주기 관점의 탄소중립을 위한 제도적 기반 마련과 추진이 필요하다. ‘2050 탄소중립 시나리오’에서 향후 생애주기 관점의 탄소중립 건물제도의 추진 필요성이 제기되었는데, 건축물뿐만 아니라 인프라 시설을 포함한 전체 건설상품을 대상으로 전 생애주기 관점의 탄소배출 감축을 위한 제도적 기반 마련이 필요하다. 또한, 현재 탄소중립 관련 제도의 주를 이루고 있는 건축물의 친환경 및 에너지 성능 관련 인증제도의 통합도 검토할 필요가 있다. 통합된 건축물 인증제도의 개발 및 도입 시 향후 국내 건설산업의 해외진출 촉진을 위해 해외 인증제도와의 호환성을 강화를 고려해 통합할 필요가 있다.

다음으로는 한국형 녹색분류체계에 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안들이 모두 포함되어 건설기업을 비롯한 관련 주체들이 동 방안들을 추진할 경우 원활한 금융조달 지원을 하는 것이 필요하다. 제2장에서 살펴본 것처럼 한국형 녹색분류체계는 금융기관의 ESG 혹은 녹색금융방침의 근간이 되어 건설산업의 탄소배출 감축방안에 대한 투자와 대출 등 금융조달 여부와 인센티브 수준을 결정하기 때문이다. 향후 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안의 원활한 추진을 위해 필요한 국가 녹색분류체계의 구체적인 개선사항을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

□ 한국형 녹색분류체계의 건설 관련 경제활동 분류 현황과 문제점

제2장에서 살펴본 한국형 녹색분류체계의 경우 건설산업 탄소배출의 핵심적 감축방안인 건축물 운영탄소 감축방안, 건설자재 내재탄소 감축방안과 관련된 내용을 어느 정도 포함하고 있으나, 탄소배출 저감형 건설방식과 관련된 내용은 구체적으로 포함하지 않은 한계가 있다.

세부적으로 살펴보면, 한국형 녹색분류체계는 온실가스 감축, 기후변화 적응, 환경개선에 기여하는 경제활동의 분류체계로서 건설의 경우는 도시건물 부문으로 분류되어 하위 4가지 경제활동을 포함하고 있다. 구체적으로 도시건물 부문의 하위 분류로는 제로에너지 특화 도시개발·운영, 제로에너지 건축물 또는 녹색건축물 신규 건설 및 리모델링, 건축물 관련 온실가스 감축 설비·인프라 구축·운영, 저탄소 인터넷 데이터 센터 구축·운영의 4가지 경제활동이 포함되어 있다.

<표 V-2> 한국형 녹색분류체계의 건설 관련 경제활동 분류 현황

분야	경제활동	설명
도시·건물	제로에너지 특화 도시 개발·운영	(1) 신규 제로에너지 특화 도시를 개발하거나, (2) 기존 도시를 제로에너지 특화 도시로 전환하기 위해 도시를 개발·운영하는 활동
	제로에너지 건축물 또는 녹색건축물 신규 건설 및 리모델링	신규로 건축물을 건축하거나 기존 건물을 그린리모델링하는 활동
	건축물 관련 온실가스 감축 설비·인프라 구축·운영	주거용, 상업용 등 (1) 건축물 자체의 온실가스를 감축하거나, (2) 건축물을 활용하여 직간접적으로 온실가스를 감축하는데 필요한 설비, 시스템 등 인프라를 구축·운영하는 활동
	저탄소 인터넷 데이터 센터 구축·운영	인터넷 데이터 센터를 신규로 구축·운영하거나 기존 설비의 개조를 위해 필요한 온실가스 감축 설비, 시스템 등 인프라를 구축·운영하는 활동
산업	배출원단위가 상대적으로 낮은 철강 제조	배출원단위가 상대적으로 낮은 소결광·코크스·선철 생산 및 전기아크로를 이용한 조강 반제품 생산에 필요한 설비 또는 온실가스 감축에 기여하는 최적가용기법(BAT)으로 철강을 생산하는 설비를 구축·운영하는 활동
	배출원단위가 상대적으로 낮은 시멘트 제조	배출원단위가 상대적으로 낮은 회색클링커 소성시설의 제품 생산에 필요한 설비를 구축·운영하는 활동

주 : 산업 분야에는 표에 포함된 철강, 시멘트 제조 외에 유기화합물 제조 등 4가지 경제활동이 추가로 포함되어 있는데, 건설자재 관련 경제활동만을 표에 포함함.

현재 한국형 녹색분류체계는 건축물의 운영탄소 감축방안과 관련해서는 도시건물 부

문의 하위 경제활동에 대부분 포함되어 있다고 볼 수 있다. 즉 제로에너지 건축물 또는 녹색건축물 신규 건설 및 리모델링, 건축물 관련 온실가스 감축 설비·인프라 구축·운영 등의 경제활동이 건축물의 운영탄소 감축과 관련된 활동으로 볼 수 있다. 또한, 건설자재의 내재탄소 감축방안과 관련해서는 도시건물 부문이 아닌 산업 부문의 하위 분류인 배출원단위가 상대적으로 낮은 철강제조와 시멘트제조에 상당 부분 포함되어 있다고 볼 수 있다. 그러나, 탄소배출 저감형 건설방식, 즉 저탄소 건설 활동과 관련된 내용은 녹색분류체계의 도시건물 부문이나 산업 부문 어디에도 구체적으로 내용이 포함되어 있지 않다.

결국 현재 한국형 녹색분류체계는 건축물, 도시, 데이터 센터 등 건설상품의 탄소배출량 감축에는 긍정적 효과를 가져올 수 있지만, 건설기업의 수행하는 건설 활동 자체의 탄소배출 저감에는 긍정적 효과를 가져오기에 한계가 있는 체계로 판단된다. 물론 건설산업의 탄소배출은 크게 건축물의 준공 후 운영탄소 배출과 건설자재 생산과정의 내재탄소 배출로 구분할 수 있지만, 건설기업이 건설 활동에 저탄소 건설자재를 채택해 사용하지 않을 경우 건설자재의 내재탄소 감축효과에는 한계가 있을 수밖에 없다. 또한, 제4장에서 살펴본 것처럼 모듈러 건축공법과 같은 탄소배출 저감형 공법을 건설 활동에 적용함으로써 기존 공법에 비해 탄소배출량을 30% 이상 크게 감축할 수도 있음을 감안할 때 현행 한국형 녹색분류체계가 건설기업의 탄소배출 저감형 건설방식, 즉 저탄소 건설 활동 자체를 구체적으로 포함하지 않은 것은 향후 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축에 부정적 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

□ 한국형 녹색분류체계에 ‘저탄소 건설’ 활동 포함 필요성

최근 국내 총생산(GDP) 대비 건설투자의 비중은 약 15% 수준으로 상당하다. 또한, 제3장에서 살펴본 것처럼 전 세계 이산화탄소 배출량 중에 건설단계에서 배출되는 이산화탄소 배출량의 비중이 2020년 기준으로 20%를 기록해 매우 높다. 건축물의 준공 후 운영단계에서 배출되는 이산화탄소의 배출 비중이 27%인데, 준공 전 건설단계에서 배출되는 이산화탄소의 배출 비중이 20%로 건축물 운영탄소에 조금 못 미친다. 건설상품의 전 생애주기 단계별 탄소배출 비중을 분석한 실증연구들에서도 준공 전 건설단계에서 배출되는 탄소배출 비중이 개별 연구마다 상이하지만, 대략 30% 수준을 차지하는 것

으로도 분석되고 있다.

반면, 제4장에서 기술한 바와 같이 탄소배출 저감형 건설방식의 세부 내용 중 하나인 모듈러 건축공법을 적용할 경우 기존 공법에 비해 약 30% 이상 탄소배출량 감축이 가능한 것으로 분석되고 있다. 또한, 시멘트, 철강재 등 건설자재 생산기업이 기술 및 공정 혁신을 통해 저탄소 건설자재를 생산하더라도 건설기업이 실제 건설 활동에 저탄소 건설자재를 투입하지 않으면 저탄소 건설자재 생산을 통한 내재탄소 감축이 궁극적으로 효과를 거두기 힘들다.

따라서 한국형 녹색분류체계에 탄소배출 저감형 건설방식, 즉 저탄소 건설 활동을 반영함으로써 건설기업이 탄소배출 저감형 공법 도입·활용, 저탄소 건설자재의 채택·활용, 재활용 자재 사용 등 탄소배출 저감 건설방식을 적극 도입하도록 장려할 필요가 있다. 제4장에서 살펴본 선행연구들을 기초로 볼 때 향후 대부분의 건설기업이 모두 저탄소 건설 활동을 수행할 경우 준공 전 건설단계에서 배출되는 탄소배출량이 최대 50% 가까이 감축할 수 있을 것으로 판단된다.

□ 한국형 녹색분류체계의 ‘저탄소 건설’ 활동 포함방안

이상에서 살펴본 것처럼 향후 건설산업의 모든 핵심적인 탄소배출 감축방안이 원활하게 추진되어 건설산업의 탄소중립이 달성되기 위해서는 현행 한국형 녹색분류체계에 탄소배출 저감형 건설방식, 즉 저탄소 건설 활동과 관련된 내용의 반영이 필요하다고 판단된다. 예를 들어 한국형 녹색분류체계의 경제활동 분야 중 농업 분야의 하위 단위 경제활동으로 ‘저탄소 농업’ 활동이 제1호 경제활동으로 포함되어 있고, ‘저탄소 농업’ 활동을 ‘식량, 채소, 과일, 화훼 작물 등 농산물을 재배하는 과정에서 온실가스 감축에 기여하는 기술이나 방법을 적용하는 활동’으로 설명하고 있다.

따라서 구체적으로 현재 한국형 녹색분류체계의 산업 분야 혹은 도시건물 분야의 하위 단위 분류(호 단위 분류)로 ‘저탄소 건설’ 활동을 포함하는 것이 필요하다. 그리고, ‘저탄소 건설’ 활동의 구체적인 판단기준, 즉 활동기준, 인정기준, 배제기준을 나열하면 다음의 표와 같다.

<표 V-3> 한국형 녹색분류체계에 포함할 '저탄소 건설' 활동 관련 판단기준(안)

구분	내용	
활동 기준	주택 및 건축물, 도로·철도·항만·공항 등 SOC, 공장 등 산업시설 등을 건설하는 과정에서 온실가스 감축에 기여하는 기술이나 방법을 적용하는 활동	
인정기준	주택 및 건축물, 도로·철도·항만·공항 등 SOC, 공장 등 산업시설 등을 건설하는 활동으로 가. 건설 현장에 별도 환경관리 조직을 두고 있는가? 나. 저탄소 건설기계의 사용 다. 건설폐기물 발생 저감이 상위 5% 이내 라. 그린마트 등 저탄소 자재의 사용 비율이 60% 이상 마. 오프사이트(off site) 시공, 모듈러 시공 등 저탄소 공법의 채택 바. 건설현장 발생 폐기물 및 산업폐기물 재활용 자재의 사용 사. 지하철 공사 등에서 발생하는 용수의 재활용 등 자원 및 에너지 재활용 시공법 포함 등에서 3가지 이상을 충족하는 건설 활동	
배제기준	기후변화 적응	'붙임2. 배제기준-기후변화 적응'의 관련 요건을 충족하고 있는가?
	물	'붙임3. 배제기준-물'의 관련 요건을 충족하고 있는가? 모든 수도설비(수도꼭지, 변기)는 한국산업표준(KS 마크) 또는 환경표지 인증을 받은 절수설비·절수기기로 설치할 계획을 가지고 있고 이에 따라 설치·운영하고 있는가?
		'붙임4. 배제기준-오염'의 관련 요건을 충족하고 있는가? 다중이용시설 또는 공동주택인 경우, 접착제, 페인트, 실란트 등 건축물 내부에 사용되는 건축자재가 '건축자재 오염물질 방출 기준'을 준수하도록 건설 계획을 수립하고 이에 따라 건축자재를 사용하고 있는가?
	오염	'붙임5. 배제기준-자원순환'의 관련 요건을 충족하고 있는가? 건축물 내에 우수재활용 인증(GR마크)을 획득한 자재를 사용할 계획을 가지고 있으며 이에 따라 사용하고 있는가?
	자원 순환	'붙임6. 배제기준-생물다양성'의 관련 요건을 충족하고 있는가? 한국산림인증제도 또는 삼림관리협회(FSC:Forest Stewardship Council) 인증, 삼림인증 승인프로그램(PEFC:Program for the Endorsement of Forest Certification), 지속가능 산림이니셔티브(SFI:Sustainable Forestry Initiative), ISO22095의 임산물 생산·유통(CoC:Chain of Custody) 인증을 획득한 자재를 사용할 계획을 가지고 있으며 이에 따라 사용하고 있는가?
	생물 다양성	
보호기준	해당 경제활동이 기획, 건설, 운영 과정에서 한국 사회 통념상 허용되지 않는 아동노동, 강제노동, 문화재 파괴 등 행위를 하지 않았는가?	

제4장에서 살펴본 바와 같이 건설산업의 탄소배출 감축을 위한 핵심적 방안 중 하나인 탄소배출 저감형 건설방식의 도입·활용방안에는 탄소배출 저감형 공법 도입·활용, 탄소배출 저감형 건설자재의 채택·사용, 재활용 자재의 사용 등이 세부적 방안들로 포함되어 있다. 따라 한국형 녹색분류체계에 저탄소 건설 활동을 포함하고, 세부적 내용으로 탄소배출 저감형 공법 도입·활용, 탄소배출 저감형 건설자재의 채택·사용, 재활용 자

재의 사용 등을 포함해 규정할 필요가 있다. 또한, 탄소배출 저감형 건설자재의 채택·사용의 경우에는 슬래그 시멘트 등과 같은 탄소배출 저감형 건설자재의 사용 비율 관련 구체적 기준을 포함해 저탄소 건설 활동에 해당되는지 여부를 명확히 판단할 수 있도록 규정할 필요가 있다. 제4장에서 살펴본 바와 같이 대형 건설기업의 경우 대표적인 탄소배출 자재인 시멘트의 고로슬래그 시멘트 대체율을 50% 이상으로 설정하는 사례가 등장하고 있다. 이러한 최근의 동향을 감안할 때 저탄소 시멘트의 대체율을 60%로 설정할 때 이는 현 상황에서 탄소배출 저감형 건설방식에 대한 적절한 기준으로 볼 수 있다고 판단된다.

(2) 금융기관의 역할

건설상품의 전 생애주기 단계 중 자금조달단계의 경우 앞에서 살펴본 바와 같이 생애주기 전체 탄소배출의 약 0.5% 미만의 적은 탄소만을 배출하고 있다. 동 단계의 탄소배출 감축방안 역시 사회 전반과 타 산업에서 일반적으로 추진하는 감축방안과 차이가 없어 향후 건설산업 차원에서 특화해 전략적으로 추진할 필요성이 크지 않았다.

그러나, 자금조달 단계에서는 금융기관이 향후 건설산업의 성공적 탄소중립 달성을 위해 건설산업의 탄소배출 관련 다양한 활동에 대한 적절한 자금조달 지원을 원활히 하는 것이 매우 중요하다. 특히 자금조달 단계에서는 국가의 녹색분류체계를 비롯한 탄소중립 관련 금융정책과 연계하여 건설산업의 탄소배출 감축을 위한 다양한 활동에 대한 자금조달 관련 인센티브 지원 여부가 결정된다는 점에서 중요성이 크다. 따라서 금융기관들이 국가의 녹색분류체계, 금융당국의 녹색금융 가이드라인과 더불어 각 금융기관의 개별적 ESG 혹은 녹색금융방침에 따라 건설기업 등 건설산업의 탄소중립을 추진하는 주체들에게 어느 정도 적절한 금융지원을 하느냐가 향후 건설산업의 탄소감축 전략 및 핵심적 감축방안 추진에 매우 중요하다.

(3) 설계·엔지니어링업체의 역할

① 개요

기획·설계단계 역시 동 단계 자체에서 배출되는 탄소배출량은 전 생애주기 탄소배출량의 0.5% 미만으로 건설산업 측면에서 매우 적다. 그러나, 동 단계에서 건축물의 에너지 효율등급 및 운영탄소 배출 수준을 결정하고, 탄소저감형 자재 종류 및 투입 수준을 결정하며, 더 나아가 해체단계 폐기물의 재활용 수준에도 영향을 미친다는 점에서 설계·엔지니어링업체들의 역할이 향후 건설산업 탄소중립 추진에 매우 중요하다.

실제로 기획 및 설계단계는 건설상품의 전 생애주기에 걸쳐 배출되는 탄소배출량을 거의 결정하는 단계라고 할 수 있다. 설계 이후 착공 시점에는 이미 대부분의 건설상품의 건설 및 운영단계에서 발생하는 탄소배출량과 해체단계에서 감축할 수 있는 탄소감축량이 거의 결정되어 있다고 할 수 있다.

② 건축물 운영탄소 배출량의 결정 역할

기획·설계단계에서 건축물의 에너지 효율등급 및 운영탄소 배출 수준이 결정된다는 점에서 설계·엔지니어링업체는 건축물의 운영탄소 배출량에도 상당한 영향을 미치게 된다. 구체적으로 건축물 운영탄소와 관련해 기획·설계단계에서 건축물의 에너지 효율과 준공 후 운영탄소 배출에 결정적 영향을 미치는 단열수준, 단열재 종류, 채광수준, 창호 종류 및 기밀 수준 등이 대부분 결정된다. 이외에도 외부로부터 공급된 전기에너지 사용으로 인한 간접적 탄소배출을 최소화하기 위한 자체 태양열 및 지열 에너지 활용 설비 등이 기획·설계에서 결정된다.

③ 건설자재 내재탄소 배출량의 결정 역할

건설자재의 내재탄소 배출과 관련해서도 기획·설계단계에서 탄소저감형 자재의 투입 여부와 자재의 종류 및 수량을 결정한다. 내재탄소 배출에 가장 큰 부분을 차지하는 시멘트와 철강재의 투입량에 큰 영향을 미치는 건축물 등 건설상품의 구조형식도 설계단계에서 결정된다. 무엇보다 건설자재의 내재탄소 감축은 제4장에서 살펴본 바와 같이 건설상품의 장수명화가 근본적으로 중요한데, 건설상품의 장수명화 역시 설계단계에서 해당 상품의 설계수명이 결정된다는 점에서 설계·엔지니어링업체의 역할이 중요하다. 해체단계의 폐기물 재활용을 통한 잠재적인 내재탄소 배출량의 감축방안 역시 기획·설

계단계에서 향후 해체단계에서 재활용이 가능한 자재투입을 결정한다는 점에서 상당한 영향을 미친다고 할 수 있다.

④ 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안의 지원 역할

종합건설기업이 주체가 되어 주도하는 탄소배출 저감형 건설방식 역시 기획·설계단계에서 탄소배출 저감형 건설방식에 최적화된 건설상품의 구조형식, 투입 자재의 종류 및 형태와 더불어 구체적인 시공방식을 결정하게 된다. 즉 모듈러 공법과 같은 탄소배출 저감형 건설방식에 최적화된 투입 자재의 형태, 시공절차 등을 기획·설계단계에서 설계·엔지니어링업체가 건설기업과 협력 하에 결정하며, 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용의 지원 역할을 수행하게 된다.

⑤ 소결

이상에서 살펴본 바와 같이 기획·설계단계에서 배출되는 탄소배출량과 동 단계 자체의 탄소감축 방안의 전략적 중요성은 크지 않으나, 동 단계의 관련 주체인 설계·엔지니어링업체들이 향후 건설산업의 성공적 탄소중립을 위해 어떤 역할을 하느냐는 매우 중요하다. 기획 및 설계단계는 건설상품의 전 생애주기에 걸쳐 배출되는 탄소배출량을 거의 결정하는 단계라고 할 수 있을 정도로 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안의 성공적 수행을 위해 설계·엔지니어링업체의 역할 수행이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 따라서 구체적으로 설계·엔지니어링업체들이 건설상품의 운영탄소 및 내재탄소 감축을 위한 설계반영 등을 통해 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축에 긍정적인 영향을 미칠 필요가 있다.

(4) 자재생산기업의 역할

① 건설자재 내재탄소 감축방안의 주도적 수행 역할

자재생산단계에서 배출되는 탄소배출량은 전 생애주기 탄소배출량의 약 15~35% 수

준으로 운영단계를 제외하면 탄소배출 비중이 가장 높다. 건설단계의 하위 단계인 기획·설계단계, 자재생산단계, 시공단계 중에서는 가장 탄소배출 비중이 높다.

제4장에서 살펴본 바와 같이 자재생산단계와 관련된 건설산업의 핵심적 탄소배출 감축방안은 건설자재의 내재탄소 감축방안이다. 동 감축방안은 자재생산기업이 우선적으로 직접 주도해 방안을 추진하는 것이 필요하다. 대표적으로 건설자재 중 시멘트와 철강재 생산과정에서 가장 많은 탄소가 배출되는데, 시멘트 및 철강재 생산기업이 기술 및 공정혁신을 통해 자재생산 과정에서의 탄소배출량을 최소화할 필요가 있다. 시멘트는 연료 및 원료 전환을 위한 기술 및 공정혁신이 추진되고 있는데, 연료 전환은 화석연료 대신 폐합성수지, 수소열원(바이오매스 연동)으로 대체를 추진하고 있고, 원료 전환은 석회석 원료를 슬래그 등으로 대체하는 방안과 혼합재 비중 확대를 추진하고 있다. 철강재의 경우 전기로 조강 확대와 더불어 장기적으로는 수소환원제철 기술개발을 추진하고 있다. 이외에도 유리, 플라스틱 등 다양한 건설자재의 생산과정에서도 일정 부분 탄소가 배출되는데, 역시 해당 자재생산기업에서 공정 내 에너지 및 화석연료 사용을 축소하기 위한 기술 및 공정혁신이 필요하다.

② 건축물 운영탄소 감축방안 수행의 지원 역할

자재생산기업은 건축물의 운영탄소 감축에 필요한 자재의 생산 및 공급을 건축물 운영탄소 감축방안을 지원하는 역할도 수행한다. 건축물의 운영탄소 감축을 위해서는 벽체 단열재, 단열 및 기밀 창호시스템 등 에너지 효율적 건축물 시공을 위한 자재 개발 및 생산이 필요하고, 태양광 패널 등 건축물 자체의 대체에너지 생산 및 활용을 위한 자재와 설비의 생산 및 공급도 필요하다.

③ 탄소배출 저감형 건설방식 수행의 지원 역할

건설산업의 핵심적 탄소배출 감축방안 중 건설기업이 주도하는 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용방안과 관련해서도 자재생산기업의 지원 역할이 필요하다. 탄소배출 저감형 건설방식 중 하나인 OSC(Off-Site Construction) 시공을 위해서는 종합건설기업의 주도 하에 공사 현장이 아닌 공장 등에서 주요 부위의 사전제작이나 모듈러 시공

에 유리한 형태의 자재를 생산해 공급하는 것이 필요하다. 철강재 생산기업이 건설기업과 협력관계 하에 OSC 시공을 위한 모듈러를 사전 제작하여 공급하는 것 등이 관련 사례가 될 수 있다. 이와 같이 탄소배출 저감형 건설방식의 도입 및 활용을 위해서는 해당 공법의 원활한 적용을 위한 자재의 생산 및 공급이 중요하다. 이를 위해 자재생산기업은 건설기업과의 원활한 협력관계 하에 탄소배출 저감형 건설방식의 적용을 위한 지원 역할을 수행하는 것이 필요하다.

(5) 종합건설기업의 역할

① 시공단계 탄소배출 감축방안 수행 역할

종합건설기업은 건설단계의 하위 단계인 시공단계를 담당하는 주체이다. 제4장에서 살펴본 결과, 시공단계에서 배출되는 탄소는 건설산업의 전 생애주기에서 배출되는 전체 탄소의 2~8% 수준으로 자금조달 및 기획·설계단계, 해체·폐기단계에 비해서는 많지만, 운영단계나 자재생산 단계에서 배출되는 탄소배출량에 비해서는 많지 않다.

시공단계의 탄소배출 감축방안 중에서는 OSC(Off-Site Construction) 등 시공방식 개선을 통한 탄소배출 감축방안이 향후 건설산업이 특화해 전략적으로 추진이 필요한 핵심적 감축방안 중 하나로 판단되었다. 나머지 감축방안들의 경우 주로 업무공간, 차량 및 장비 등의 에너지와 연료 절약과 관련된 것들로 사회 전반과 타 산업에서 일반적으로 추진하는 감축방안과 차이가 크지 않아 전략적 추진 필요성이 크지는 않았다.

종합건설기업이 일반적인 탄소배출 감축방안을 이행하기 위해서는 건설기업이 보유하거나 사용하고 있는 건물의 탄소배출 감축을 위해 냉난방 및 조명설비의 에너지 효율 개선·절약, 사옥 그린리모델링 혹은 제로에너지 빌딩 건축 등을 검토하는 것이 필요할 것이다. 또한, 건물의 재생에너지 사용 비중 확대를 위해 태양광 발전설비 구축과 함께 재생에너지 발전사업자와 전력구매계약(PPA), 재생에너지 프로젝트 참여(지분 및 시공 참여) 후 전력구매계약도 검토할 수 있다. 수송의 경우 건설기업이 보유하거나 사용하고 있는 수송수단의 탄소배출 감축을 위해 전기차 등 수송수단의 에너지 효율을 개선하고, 공유차·카풀제도 등 에너지 절감 운동도 검토해야 한다.

다음으로 핵심적인 탄소배출 감축방안 중 하나인 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활

용방안과 관련해서는 건설현장의 경우 공사용 및 현장시설 에너지 효율 개선·절감, 탄소배출 감축이 가능한 것으로 알려진 OSC공법을 비롯한 에너지 감축 시공방식 도입, 건설폐기물 감축 방안의 추진이 필요하다. 종합건설기업의 시공단계 탄소배출 감축방안을 위한 역할을 요약하면, 다음 표와 같다.

<표 V-4> 종합건설기업의 시공단계 탄소배출 감축방안을 위한 역할

감축방안	역할	세부 내용
일반적 탄소배출 감축방안 : 건물 및 수송수단의 에너지 절감 및 재생에너지 비중 확대	건물 에너지 효율화	냉난방설비 에너지효율 개선, LED조명 설치, 단열재 보수, 에너지이용 최적제어 통합관리시스템(BEMS) 활용, 건물 전체 그린리모델링, 제로에너지 사옥 건축·이전
	건물 에너지 절약	실내 조명 및 외부 조명(간판 등) 운영시간 단축, 냉난방 온도준수 및 운영시간 단축, 전 직원 에너지 절약 캠페인 전개
	건물의 재생에너지 사용 비중 확대	사옥 등 보유 건물에 태양광 발전설비 구축 및 에너지저장장치(ESS) 설치, 재생에너지 전력구매계약(PPA) 체결, 재생에너지 프로젝트 참여(지분 및 시공 참여) 후 전력구매계약 체결
	수송수단 에너지 효율 개선	전기차·하이브리드카 비중 및 이용 확대
	수송 에너지 절감	공유차 및 카풀제도 운영, 대중교통 이용 캠페인, 수송수단 활용 쿠폰제 등 에너지 절감운동 전개
핵심적 탄소배출 감축방안 : 탄소배출 저감형 건설방식 도입·활용	현장시설 에너지 효율화·절약	냉난방설비 에너지 효율 개선 및 절약(온도준수 등), 태양광판넬 설치, 저에너지 현장사무소 사전 제작 및 재사용(태양광판넬, 단열재 보강 등이 된 이동식 사무실 제작 및 다수 현장 재사용)
	탄소배출 저감형 건설방식 적용	PC공법, 모듈러 등 OSC공법 적용, 기타 저에너지 시공법 개발·적용
	건설폐기물 감축	건설폐기물 분리 배출(재활용품, 생활쓰레기 분리), 건설폐기물 재활용 시도

② 시공단계 외 핵심적 탄소배출 감축방안 주도 역할 수행

건설산업의 탄소배출 저감을 위해서는 건설생산 과정 중 탄소(embodied carbon) 배출이 적은 자재 사용, 준공 이후 운영단계에서 탄소(operational carbon) 배출이 적은 건설상품(제로에너지 빌딩 등)이 필요하다는 점에서 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축 방안을 이행하기 위해서 종합건설기업은 개별 기업의 범위를 넘어선 Scope 3²¹⁾ 영역의

21) Scope 1은 기업이 소유, 통제(운용)하는 발생원(보일러, 보유 설비·차량 등)에서 직접 배출한 온실가스, Scope 2는 기업이 구입 또는 소비한 에너지(전기, 열 등)의 생산(화력발전 등)으로 인해 간접적으로 배출한 온실가스, Scope 3은 기업이 소유, 통제하지 않지만, 기업 관련 가치사슬(원자재 생산 등)과 판매 제품·서비스의 사용으로 간접 배출된 온실가스를 말한다.

역할 수행이 요구된다.

비록 시공단계의 탄소배출량이 건축물 운영단계나 자재생산단계에 비해 적지만, 시공 단계의 관련 주체인 건설기업, 특히 원도급자인 종합건설기업은 건설기업이 건설상품을 생산하는 전체 가치사슬(value chain)상에서 설계업체, 자재생산기업 등과 협업관계를 맺고, 이를 주도하는 역할을 수행한다는 점에서 시공단계 외 단계의 핵심적인 탄소배출 감축방안의 수행에서도 종합건설기업의 역할은 매우 중요하다. 따라서 국내 건설산업의 경우 종합건설기업이 전 생애주기에 걸쳐 운영탄소와 내재탄소를 감축할 수 있는 탄소 저감형 건설상품을 생산하기 위해 가치사슬상의 다양한 주체들의 협업을 주도하는 역할을 수행하는 것이 필요하다.

구체적으로 종합건설기업은 설계업체, 자재생산기업 등과 협력관계를 맺고, 에너지 효율 제고를 위한 건축물 생산, 내재탄소 저감형 자재 조달 및 투입 등을 기획하고 주도하는 등 건설산업의 다양한 주체들 사이에서 탄소배출 감축과 관련해 핵심적 역할을 수행할 필요가 있다. Skanska사의 경우 다양한 건설상품의 총생애주기와 가치사슬(value chain)상에서 탄소배출을 추적하고 관리할 수 있는 툴인 EC3를 활용하여 가치사슬상 다양한 주체들 사이에서 탄소배출 감축과 관련해 핵심적 역할을 수행하고 있다. 이와 같이 개별 종합건설기업 차원에서도 탄소중립시대에 경쟁우위를 확보하기 위해서는 개별 건설기업의 범위를 넘어선 Scope 3, 즉 건설상품 총생애주기 단위에서 탈탄소 전략의 수립, 이행이 필요하다.

건축물 운영탄소 감축방안 관련 역할

건축물 운영탄소 감축방안의 수행을 위해서 종합건설기업은 탄소배출 저감 건축물의 솔루션 제공 역량 강화가 필요하다. 즉 운영단계에서 탄소배출을 감축하는 건축물 건축을 위한 핵심 엔지니어링 역량 확보와 더불어 협력업체 네트워크를 구축, 운영하는 것이 필요하다. 종합건설기업이 자재, 설비(냉난방·환기 등), 구조 등 다양한 요소들이 건축물의 운영탄소 감축에 미치는 영향과 핵심 성공요소를 이해하고, 이를 조합할 수 있는 기획·설계역량이 필요하다. 다음으로 핵심 성공요소를 충족할 수 있는 다수의 협력업체 네트워크를 구축하고, 건축물의 운영탄소 감축을 위한 건축물 생산을 위해 유연하게 이를 조합할 수 있는 네트워크 운영역량이 필요하다. 향후 제로에너지 건축물 등 탄

소저감 건설상품의 시장이 급성장할 경우 핵심 설계·엔지니어링 역량의 사내 보유 혹은 자회사화를 검토할 필요도 있다. 또한, 탄소저감 건설상품의 핵심 자재 생산업체와 협력 관계를 강화함과 동시에 대체 자재 및 생산업체를 지속 발굴해야 한다.

제2장에서 살펴본 것처럼 2050년 탄소중립 달성을 위해 향후 신축 건축물의 제로에너지 등급 대상 확대 및 등급목표 상향, 그린리모델링 민간 부문 확대, 생애주기관점 탄소중립건물 관리제도 마련, 도시정비사업 온실가스 감축제도 마련 등 향후 저탄소 건설상품의 시장 확대가 전망된다. 저탄소 건설상품 시장의 점진적 확대에 따라 중장기적으로 저탄소 건설상품의 건설에 경쟁우위를 가진 건설기업이 탄소중립 환경하에서는 괄목할 만한 성장을 할 것이다. 2000년대 중반 이후 미국의 건설시장에서 LEED 인증 적용이 확대되면서 그린빌딩 건설시장이 급성장한 시기에 미국 Turner사는 USGBC의 인증을 받은 전문가의 사내 보유를 급격히 늘리는 등 경쟁우위 확보를 통해 그린빌딩 건설시장 매출 1위를 달성하였다. 이와 같이 국내 종합건설기업이 건축물의 운영탄소 감축을 위한 최적 솔루션 제공 역량을 갖추어 나갈 때 해당 기업은 탄소중립 시대에 상당한 경쟁우위를 갖추게 될 것이다. 이를 위한 국내 종합건설기업의 구체적인 역할을 요약하면 다음의 표와 같다.

<표 V-5> 건축물 운영탄소 감축 위한 종합건설기업의 역할

역할	세부 내용
탄소배출 저감 건설상품 솔루션 제공 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 탄소저감 건설상품별(저에너지빌딩 등)의 투입 자재 DB 구축 및 관련 생산업체 네트워크 확보 ▪ 탄소저감 건설상품의 핵심 설계·엔지니어링 역량 사내 보유 혹은 자회사 확보 ▪ 협력업체와 탄소저감 건설상품 투입 자재 공동 개발 및 기술개발 지원 ▪ 탄소저감 건설상품 핵심 자재의 대체 자재 및 생산업체 지속 발굴 ▪ 탄소저감 건설상품 핵심 자재 기술보유 기관·벤처기업 등과 협력관계 구축 및 지원

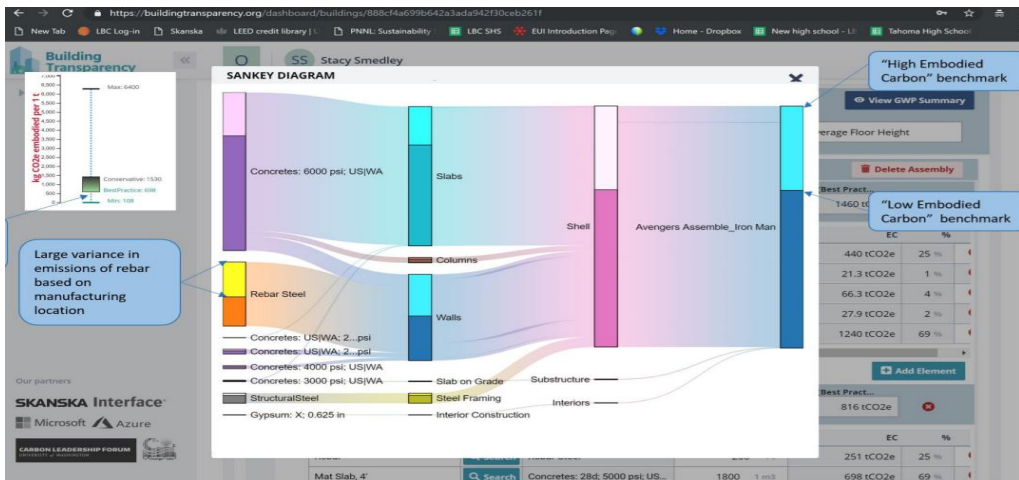
건설자재의 내재탄소 감축방안 관련 역할

건설자재의 내재탄소 감축방안과 관련해서 종합건설기업은 탄소감축 자재 생산업체와 협력관계 구축 및 구매 비중 확대와 내재탄소 감축 솔루션 제공 역량강화가 필요하

다. 특히 건설자재 중 내재탄소 배출 비중이 높은 시멘트, 레미콘, 철강재 생산기업 중 탄소감축 기술 보유 업체, 저탄소 자재생산 업체(슬래그 시멘트, 저탄소 콘크리트 등)와 네트워크 구축을 통해 탄소배출량 감축 자재구매 비중을 확대하는 역할이 필요하다. 또한, 저탄소 건설자재 생산업체와 협력관계를 강화함과 동시에 대체 자재 및 생산업체를 지속 발굴할 필요도 있다.

내재탄소 감축 솔루션 제공 역량강화 역할은 다양한 건설상품의 총생애주기와 Value Chain상에서 내재탄소 배출을 추적하고 관리할 수 있는 툴(tool)을 활용해 내재탄소 감축을 위한 최적 솔루션을 제공하는 역할이다. Skanska사의 경우 2045년 탄소중립을 목표로 설정하고, 마이크로소프트 등과 EC3(Embodied Carbon in Construction Calculator)를 공동개발해 건설상품 Value Chain상에 내재화된 탄소배출 구조, 즉 탄소 발자국(carbon footprint)을 모델화했다. EC3은 약 3만개 가까운 건설자재, 그리고 건설 공법들의 탄소발자국을 모두 DB화하여 다양한 자재와 공법의 조합·비교를 통해 기획, 설계단계에서부터 탄소배출량을 시뮬레이션할 수 있다. EC3은 클라우드 기반의 오픈 시스템으로 기획, 설계·엔지니어링, 자재생산, 시공단계에서 다양한 주체들이 다양한 공간에서 디지털 협업을 가능하게 했다. Skanska는 마이크로소프트 본사 건물의 리모델링시 EC3모델을 최초 적용해 탄소배출량을 30% 감축하는 효과를 달성하였다.

<그림 V-1> Skanska의 EC3(Embodied Carbon in Construction Calculator) 분석 화면



자료 : Skanska, 'Quantifying the Carbon Footprint of Every Building', PH Northwest, 2019.

Skanska의 사례처럼 국내 종합건설기업이 단순 시공기업이 아닌 내재탄소를 최소화한 저탄소 건설상품의 최적 솔루션을 제공하는 역량을 갖추는 때 향후 탄소중립시대에 교섭력과 경쟁우위를 가질 수 있을 것이다. 이를 위해 국내 종합건설기업은 다음 표와 같은 구체적인 역할이 필요할 것으로 판단된다.

<표 V-6> 건설자재의 내재탄소 감축 위한 종합건설기업의 역할

역할	세부 내용
탄소배출량 감축 자재 구매 비중 확대	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 저탄소 자재생산 업체 및 탄소감축 기술 보유 업체와 네트워크 강화 통한 탄소배출량 감축 자재구매 비중 확대(슬래그 시멘트, 저탄소 콘크리트 등) ▪ 고탄소 건설자재의 대체 자재·공법 지속 발굴 ▪ 협력업체와 탄소감축 자재 개발을 위한 협업 및 기술개발 지원 ▪ 탄소감축 기술 보유 기관·벤처기업 등과 협력관계 구축 및 지원
내재탄소 감축 솔루션 제공 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설자재 탄소발자국(carbon footprint) DB 구축 ▪ 탄소발자국 DB 활용 건설상품 및 생애주기 단계별 탄소배출량 시뮬레이션 모델 구축(예시 : Skanska사의 EC3모델)

(6) 발전기업의 역할

한편, 향후 건설산업의 성공적인 탄소배출 감축을 위해서는 이상에서 살펴본 다양한 주체들의 역할뿐만 아니라 제1절에서 간략히 언급한 바와 같이 발전기업들의 에너지 전환 역할도 중요하다. 발전기업들이 화석연료를 기반으로 한 화력발전을 신재생에너지 등으로 에너지 전환을 이룰 때 건설산업의 생애주기 단계별 관련 주체들의 간접적 탄소배출과 건축물 운영탄소의 간접적 배출도 감소할 수 있기 때문이다.

제3장에서 살펴본 것처럼 건축물 운영탄소의 경우 2020년 기준 전 세계 에너지 관련 탄소배출의 약 27%를 차지하고 있는데, 이중 직접 배출이 9%, 간접 배출이 18%였다. 즉 건축물 운영탄소 중 건축물 외부에서 발전기업이 화석연료를 기반으로 에너지를 생산하는 과정에서 배출된 간접 배출 이산화탄소가 직접 배출 이산화탄소보다 더 많은 것이다.

건설산업의 생애주기 단계별 자재생산기업, 건설기업 등 관련 주체들이 배출하는 탄소 역시 각 주체들이 사용하는 전기에너지의 경우는 발전기업이 에너지 전환을 이루기 전까지는 대부분 간접적인 탄소배출로 연결된다. 건설단계에서 발생하는 내재탄소의 큰

비중을 차지하는 철근, H형강 등 건설자재용 철강재는 대부분 전기로에서 생산되므로 이 역시 발전기업의 에너지 전환이 이루어지기 전까지는 이산화탄소의 간접 배출이 상당히 많을 수밖에 없다.

결국 향후 건설산업의 성공적 탄소배출 감축과 탄소중립 달성을 위해서는 발전기업의 에너지 전환 역할도 중요하다. 현재 국가의 탄소중립 전략에 의하면, 발전기업의 에너지 전환은 2050년까지 석탄발전을 중단하는 등 화력발전을 대폭 축소하고, 신재생에너지 및 수소 기반 발전을 확대하는 방향을 수립하고 있다. 세부적으로 화력발전을 전면 중단하는 A안과 화력발전을 일부(LNG) 유지하는 B안이 있는데, 두 안 모두 2050년까지 석탄발전은 중단한다는 계획이다.

<표 V-7> 국가 탄소중립 전략에 포함된 2050년 에너지 전환 계획

구분	원자력	석탄	LNG	재생E	연료전지	동북아 그리드	무탄소 가스터빈	부생 가스	합계	예상 배출량 (백만톤)
A안	76.9 (6.1%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	889.8 (70.8%)	17.1 (1.4%)	0.0 (0.0%)	270.0 (21.5%)	3.9 (0.3%)	1257.7 (100%)	0
B안	86.9 (7.2%)	0.0 (0.0%)	61.0 (5.0%)	736.0 (60.9%)	121.4 (10.1%)	33.1 (2.7%)	166.5 (13.8%)	3.9 (0.3%)	1,208.8 (100%)	20.7

자료 : 정부 보도자료, '2050 탄소중립 시나리오안', 2021.10.18.

국가의 탄소중립 전략에 포함된 방침과 같이 발전기업의 에너지 전환이 향후 점차 이뤄짐에 따라 건설산업의 관련 주체들과 건축물 운영단계에서 배출되는 간접적 탄소배출은 비례하여 감축될 수 있을 것이다. 다만, 국가 탄소중립 전략에서는 향후 에너지 전환을 위해 배출권거래제 강화, 탄소비용의 전기요금 반영 등을 추진할 방침이므로 간접적 탄소배출의 감축과 더불어 건설기업을 비롯한 건설산업 관련 주체들의 에너지 비용 증가, 건설상품 생산 과정상의 에너지 비용 증가와 같은 부정적 파급효과도 나타날 수 있을 것으로 우려된다.

(7) 소결

이상에서 살펴본 바와 같이 건설산업이 향후 성공적으로 탄소배출을 감축하기 위해서는 설계업체, 자재생산기업, 건설기업, 정부, 금융기관 등 다양한 주체들의 역할 수행과 협업이 필수적이다. 특히 국내 건설산업의 가치사슬 생태계에서 주도적 역할을 수행하는 종합건설기업이 탄소감축 관련 설계업체, 자재생산기업 등과 협력 네트워크를 구축·운영하며, 단순 시공을 넘어 핵심적인 탄소배출 감축방안의 성공적 이행을 노력하는 것이 중요하다.

구체적으로 건설상품의 전 생애주기와 가치사슬 전반에 걸쳐 건축물 운영탄소 감축과 건설자재 내재탄소 감축을 위한 솔루션을 제공하는 역할을 수행하는 것이 필요하다. 또한, 건설산업의 핵심적 탄소배출 감축방안에 상당한 영향을 미칠 수밖에 없는 각종 규제와 지원제도를 결정한다는 점에서 정부의 역할도 매우 중요하다. 특히 건설산업의 탄소배출 감축방안에 대한 금융조달 지원을 비롯해 모든 규제와 지원제도의 근간이 되는 녹색분류체계에 건설산업의 핵심적인 탄소배출 감축방안이 모두 반영되는 것이 우선 필요하다.

그러나, 앞서 살펴보았듯이 한국형 녹색분류체계에 건축물 운영탄소 감축방안과 건설자재 내재탄소 감축방안은 어느 정도 반영이 되어있지만, 탄소배출 저감형 건설방식의 경우 포함되어 있지 않다. 모듈러 건축공법과 같은 탄소배출 저감형 공법을 적용할 때 기존 공법에 비해 탄소배출량을 30% 이상 감축할 수 있고, 건설자재의 내재탄소 감축도 건설기업이 그린조달 활동을 하지 않을 경우 실현되기 어렵다는 점 등을 감안하면, 한국형 녹색분류체계에 탄소배출 저감형 건설방식, 즉 ‘저탄소 건설’의 반영이 중요하다고 판단된다. 향후 자재생산기업, 종합건설기업, 정부 등 다양한 주체들의 성공적인 역할 수행과 협업을 통해 건설산업의 성공적인 탄소중립이 추진될 수 있길 기대한다.

참고 문헌

국내 문헌

- 강운산, '기후변화와 건설산업', 기상기술정책 Vol.3, No.1(통권 제9호), 2010.3.25., p.46~56.
- 권오현, 기후변화에 대응한 건설산업의 역할 모색과 과제, 한국건설산업연구원, 2012. 11.
- 국토교통부/산업통상자원부/한국에너지공단, 'ZERO ENERGY BUILDING 2020 인증안 내서 ver2', 2020.3.
- 국토교통부, 국토교통 탄소중립 로드맵, 2021.12.
- 김성완·이종성, 공동주택의 생애총에너지소비량산정에 관한 연구, 대한주택공사, 1998.
- 김태우·금창윤, "저탄소 시대를 맞이하는 CO2 배출 저감 이동식 목조 모듈러 학교 설계", 아주대학교 건축전, 2021.
- 동아일보 기사, '이산화탄소 먹어 치우는 착한 콘크리트 온실가스 주범 오명 씻는다(윤신영 기자)', 2020.2.17.
- 안용한 외, '생산성 한계 건설산업...모듈러건축 기반 혁신해야', Kharn저널 스페셜리포트, 2022.3.13.
- 이강희, 건축물의 친환경성 평가방법에 관한 연구, 대한주택공사, 1998.
- 이강희, '공동주택 건설공사에서의 공중에 대한 LCA적용 연구', 대한건축학회논문집 19권 2호, 2003.
- 이홍일, '2050 탄소중립 시나리오: 건설산업의 도전과 과제', 한국건설산업연구원, 2022.1.
- 전병일, '건설공사 시공과정에서의 온실가스 배출량 산정 기법에 관한 연구', 국민대학교 대학원 박사학위논문, 2013.6.
- 전수진, 정종홍, '건설분야 탄소중립 정책동향과 스마트 건설기술의 역할', 건설관리, 제 23권 제2호, 2022.4.

채창우, '탄소중립을 위한 건축물 전과정적 고려와 건축물 EPD 추진 방향', Korea Build 2022 탄소중립 건축 컨퍼런스 자료집, 2022.3.

태성호, '정부의 탄소중립 정책에 따른 건설산업의 대응 전략', Korea Build 2022 탄소중립 건축 컨퍼런스 자료집, 2022.3.

한국경제신문 기사, '포스코 더샵, 친환경 아파트로...탄소저감 시멘트 사용 협약(장현주 기자)', 2022.03.17.

e대한경제 기사 '심층분석 탄소 더 내뿜는 신축아파트(김태형 기자)', 2021.10.26.

Korea Build 2022 탄소중립 건축 컨퍼런스 자료집, 2022.3.

국외 문헌

BIS(Department for Business, Innovation and Skills, UK), Estimating the amount of CO2 emissions that the construction industry can influence, Autumn, 2010.

McKinsey & Company, Call for action : Seizing the decarbonization opportunity in construction, 2021.7.

웹사이트 자료

<https://www.hankyung.com/realestate/article/2022031728421>

<https://zeb.energy.or.kr>

<https://www.fuelsandlubes.com>

<https://www.solidiatech.com>

Abstract

A Study on Carbon Reduction Strategies in the construction industry.

In this study, the environmental change of the construction industry in the carbon-neutral era was analyzed, and furthermore, strategic directions and key carbon reduction measures for the successful achievement of carbon neutrality in the construction industry were derived.

The specific objectives of this study are as follows. First, it aims to identify opportunities and threats that carbon neutrality will have on construction companies in the future. Second, we intend to derive strategic directions and key carbon emission reduction measures for the success of carbon neutrality in the construction industry in the future carbon-neutral era. Third, to clarify the role and cooperative structure of major industrial actors (construction companies, material production companies, government, etc.) for successful carbon emission reduction in the construction industry.

The strategic direction for the reduction of carbon emissions in the construction industry is, first, to enhance the carbon emission reduction effect by reducing carbon emission in the part with a high proportion of carbon emission among activities in the life cycle stage of the construction industry. Secondly, among the measures to reduce carbon emissions, it is to focus on reduction measures that are specific to the construction industry.

As a result of evaluating the carbon emission reduction effect based on the proportion of carbon emission in each stage of the life cycle, the reduction of embodied carbon related to the production of construction materials in the construction stage and the reduction of carbon in operation of buildings in the operation stage were evaluated as important parts. As a result of the evaluation of

specialization at the level of the construction industry, additional measures to utilize low-carbon construction techniques were evaluated as important.

In the end, it was determined that the core carbon emission reduction measures of the construction industry were the material production-related embodied carbon reduction measures, the use of carbon emission reduction construction techniques, and the building operational carbon reduction measures.

○ 저자 소개

이홍일 (hilee@cerik.re.kr)

연세대학교 상경대학 경영학과 졸업

연세대학교 일반대학원 경영학과 석사

한양대학교 일반대학원 경영학과 박사

(前) 대우경제연구소 선임연구원

(前) Author Andersen Korea 부장컨설턴트

(前) PwC Consulting Korea 수석컨설턴트

(前) 한국건설산업연구원 경영금융연구실장

(現) 한국건설산업연구원 연구위원