# Global Report

## Call for action :
## 건설산업의 탈탄소화 기회

KAIA 국토교통 과학기술진흥원

작성자 | 이지영

세계 최대의 경제 생태계인 건설산업은 글로벌 지속가능성 목표(Global Sustainability Goals) 달성에 중요한 위치를 차지하고 있다. 본 보고서에서 '생태계(Ecosystem)'는 주거·상업 건축물과 기반시설의 설계, 자재 가공, 건설, 사용 및 철거 등을 포함한 모든 건축물의 생애주기를 의미한다. 일반적으로 건설산업계는 지속가능성 목표달성에 큰 기여를 하지 않지만, 건설산업 생태계는 전반적으로 진화할 것으로 예측된다.

COVID-19 위기는 지속가능성 목표 달성을 위한 건설산업의 변화를 가속화 하는데 중요한 변수로 작용하고 있다. 이러한 환경적인 위험에 대응하기 위하여 경제적·환경적 회복력(Resiliency) 강화와 융합된 사고를 반영한 계획은 더욱 중요할 것이다.

건설산업을 이끄는 리더(Leaders)들의 견해를 알아보기 위해, 건설업 분야에 종사하고 있는 100명의 고위직 임원들을 대상으로 'COVID-19로 인해 급격히 일어날 변화들'을 조사하였다. 그 결과, 응답자의 53%가 지속가능성(Sustainability)을 언급하였다. 그 이유는 지속가능성에 대한 기업의 인식 및 이해도 증가, 투자자 및 금융가로부터 부담 증가 등으로 조사 되었고, 이 중 10%는 COVID-19에 따른 지속가능성 관련 투자는 증가추세에 있다고 언급하였다. 지속가능성은 이미 건설산업 관련 종사자들에게 떠오르는 이슈가 되었다. COVID-19 외, 고려해야 할 또 다른 요소는 지속적인 저금리 상황과 경기 부양책이며, 이는 지속가능한 기반시설의 배치(Deployment)와 회복가능한 기반시설의 적용(Adaptation)에 영향을 줄 것이다. 그리고 이것은 관련 투자 증대 및 유사산업의 일자리 창출로 이어질 것이다. 또한, 글로벌 협력에 대한 필요성은 더욱 명확해지고 보편화 될 것이다.

McKinsey는 엔지니어링, 건설 및 건축 자재, 지속가능성, 부동산 등 각 분야의 전문지식을 결합하여 건설산업 내 지속가능성 목표 달성을 도모할 것이다. 본 보고서는 건설산업이 온실가스 배출(GreenHouse-Gas emission, GHG emission)에 미치는 영향과 탈탄소화(decarbonization) 방법을 조사할 것이며 그 과정에서 건설회사들 이익창출 방안을 모색할 것이다.

**환경적 영향(environmental impact) 측정**

ESG(Environmental(환경), Social(사회) and Governance(지배구조)) 요소들은 건설 생태계에서 기업의 지속가능성과 사회적 영향을 측정할 수 있는 중요한 지표이다. 이러한 지표는 생태계 시스템과 건물 및 기반시설의 생애주기 전반에 걸쳐 계량적인 평가를 가능하게 한다. 환경 지표들은 대기질과 에너지 관리, 생물의 다양성, 폐기물, 수질관리 등 다양한 이슈를 포괄한다. 건설 생태계 전반의 온실가스 배출량을 추정하는 것은 복잡하지만, 이 조사를 통해 연료연소로 인해 발생하는 이산화탄소는 전 세계 배출량의 약 40%, 전체 온실가스 배출량의 25%를 차지한다는 것을 알 수 있다(표1).

건설 생태계는 다량의 폐기물 발생(6.330억만 톤, 2018년 미국 기준), 물(수자원) 소비 증가(200ℓ/㎥), 미세먼지(Particular Matter, PM) 및 대기오염 발생 등 환경에 많은 영향을 주고 있다. 그러나, 본 보고서에서는 온실가스 배출에 중점을 두고자 한다.

전 세계적으로 온실가스 배출은 지난 100년간 급격하게 증가하였고, 지구온난화는 계속 진행되고 있다. 홍수, 폭염, 농업재해 등 기후변화로 인한 영향은 이미 뚜렷해지고 있으며, 그 환경적 변화는 여러 논문에서도 찾아볼 수 있다. 비즈니스 관점에서 살펴보면, 기반시설, 공급망, 식품 시스템, 자산가격, 토지 및 노동 생산성, 경제적 성장은 이미 위험 수준에 도달했다.

<표 1> 건설 생태계의 글로벌 온실가스 배출 현황 : 전체의 약 25% 차지

**$GtCO_2e$(기가톤 당 이산화탄소 환산수치)의 온실가스 배출**(2017년 기준)




<표 1_참고>

| 항목 | 수치 | 항목 | 수치 | 합계 |
|---|---|---|---|---|
| 건설 외 분야(a+b) | 40.5 | 건설 분야(d+e) | 13.7 | 54.2 |
| 그 외 온실가스 배출(a) | 19.8 | 그 외 온실가스 배출(d) | 1.6 | 21.4 |
| 연료연소에 따른 $CO_2$ 배출(b) | 20.7 | 연료연소에 따른 $CO_2$ 배출(e) | 12.1 | 32.8 |
| 전력 | 5.8 | 전력 | 7.8 | 13.6 |
| 교통 | 8 | 교통 | 0.1 | 8.1 |
| 건물관리 | 0 | 건물관리 | 2.8 | 2.8 |
| 산업 | 6.3 | 산업 | 1.7 | 7.9 |
| 기타 | 0.6 | 기타 | 0 | 0.6 |

1) '그 외 온실가스 배출'은 클링커(clinker) 처리, 채광 및 채석에서 발생하는 추가 $CO_2$ 배출량 포함
※ <표 1>에 대한 이해를 돕기 위하여 번역 과정에서 <참고> 표 삽입
자료 : IEA $CO_2$ Emissions from Fuel Combustion 2018, Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release EDGAR v5.0 (1970-2015) of November 2019
출처 : McKinsey&Company(2021)

**건설 생태계는 세계적으로 온실가스를 배출한다.**

건설 생태계가 온실가스를 배출하는 원인은 건축물·설비·시설 등의 조성을 위한 원자재 가공과 건축물 유지·관리 과정인 것으로 나타났다(표2). 건축물의 수명이 30~130년으로 고려했을 때, 기후변화 완화 목표를 2050년까지 달성하기 위하여 건축물의 수명주기가 끝난 후 내·외장재 및 설비시스템 등을 교체할 때까지 기다릴 수 없다. 또한, 기존 건축물의 약 80%가 2050년까지 존재할 것이라 예상되므로, 하루빨리 개보수를 시작해야 한다.

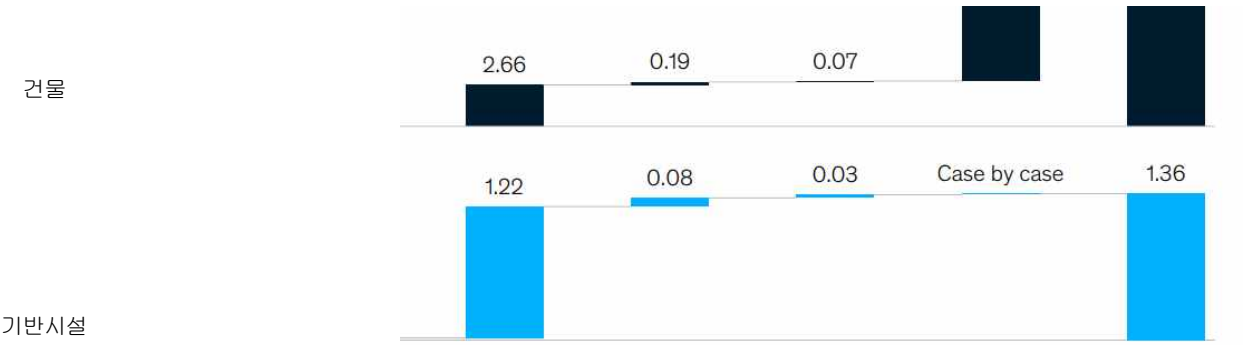
에너지 집약적 시멘트 생산(Energy-Intensive Cement Production)과 금속(전세계 철강 생산의 약 50%가 건설에 사용) 같은 건축자재는 온실가스 배출의 약 7%를 차지한다. 상업 및 주거 건물 관리 시 온실가스 발생의 주요 원인은 난방과 온수이며, 그 외에도 단열 불량에 따른 열손실 및 조명, 냉방, 가전제품 사용을 위한 에너지 사용 등이 있다.

<표 2> 건설산업의 밸류체인에서 온실가스 배출의 주요 원인 : 건물관리 및 원자재 가공

**자산 유형에 따른 $CO_2$ 배출($GtCO_2e$)**

| **생애주기** (건물) | 금융 | 설계 & 계획 | 원자재 처리 | 건설 | 개선 | 관리&사용 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **전형적인 배출 형태** | 사무실 내, 출퇴근 시 | 사무실 내, 출퇴근 시 | 시멘트 생산 시 | 건설활동, 교통 | 개선 과정 중 기계, 재료 사용 | 리모델링, 유지·관리 시 | |

**배출량 (%)**




※ 반올림으로 인해 수치의 합이 100이 아닐 수 있음
자료 : IEA $CO_2$ Emissions from Fuel Combustion 2018, OECD, Press search, Steel Construction Encyclopedia
출처 : McKinsey&Company(2021)

온실가스 배출 정도는 건축물 설계과정에서 대부분 결정되므로 건설 프로세스가 본격적으로 시작되기 전까지 온실가스 배출 요인을 알 수 없다. 즉, 건축물의 수명 동안 발생하는 온실가스 배출량은 프로젝트 초기 단계에서 결정된다.

건축물의 신축 또는 리모델링 여부, 건물의 크기·모양·단열의 정도, 층-공간간 유연성(Floor-Space Flexibility) 확보 등 기초적인 설계 관련 의사결정은 향후 수십 년간 온실가스 배출량에 상당한 영향을 줄 수 있다.

만약, 온실가스 문제를 그대로 방치한다면 인구증가와 급격한 도시화를 수용하기 위한 건설 생태계의 탄소 배출량은 향후 30년간 급격히 증가할 것이다. 긍정적인 측면에서, 이는 새로운 건축물들이 최적화할 수 있는 기회를 열어주는 동시에 재생가능한 에너지로의 변화는 온실가스 배출 감소에 기여할 것이다. 건설 및 부동산 생태계가 2016년 파리협정(2016 Paris Agreement's)의 목표인 섭씨 1.5도 제한을 달성하기 위해서는 여전히 더 많은 노력이 필요하다.

그럼에도 불구하고 온실가스 감축은 해결하기 어려운 문제로 남아있다. 그러므로 건설산업의 밸류체인(Value Chain) 전반에 걸쳐 업계 종사자 들이 공통된 목표를 실현할 수 있도록 인센티브를 제공하는 것은 매우 필수적이다. 현시점에서 건설 생태계는 산업의 전반을 재구성하는 전환기의 중심에 있다. 또 다른 과제는 건설산업의 생산성과 디지털화 수준을 높이기 위하여 스마트 기술들을 어떻게 효율적으로 배치하는가이다.

**특정 탈탄소화 계획에 초점을 맞추는 것은 경제적으로 효율적이다.**

건설 생태계에서 업계 종사자들이 직면한 온실가스 감축 문제와 더불어 탈탄소화도 중요한 이슈이다. 긍정적인 소식은 이산화탄소의 총량(Carbon Footprint) 감소를 위한 조치는 명확하며, 이러한 조치의 대부분은 비용절감 효과를 동반한다는 것이다. 하지만, 건설산업이 생태학적 수준의 탄소중립(Net-Zero Emissions) 목표를 이루기 위해서는 기존 건축물 뿐 아니라 신축 건축물 모두에 걸쳐 복합적인 노력이 필요하다. 이를 위하여, 건설산업의 탈탄소화 과정을 도표화하였다. 각 단계별로 탈탄소화의 범위를 분석한 후, 단계별 배출 저감 잠재력과 순현재가치(Net-Present-Value, NPV)를 토대로 이산화탄소 1톤당 저감비용(€, 유로 기준)을 산출하였다. 그리고 유럽 시장 내 1,000개의 비즈니스 사례를 모델링하여 경제적으로 가장 효율적인 탈탄소화 경로를 설정하였다.

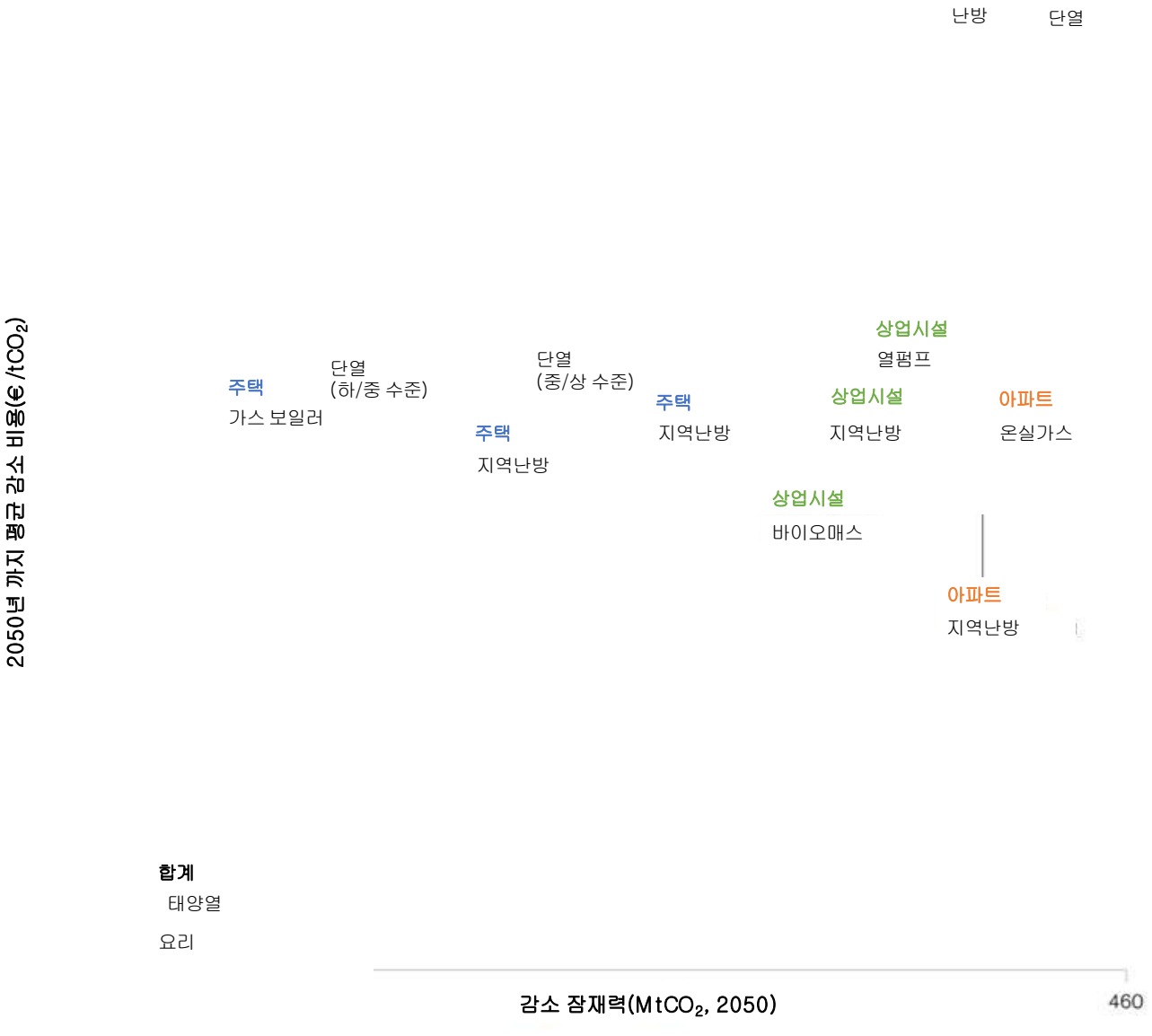
평가 결과, 건축물 유지·관리 시 이산화탄소 1톤을 가장 효율적으로 감축하기 위해서는 평균 5유로의 비용이 가장 적정한 것으로 나타났다. 이러한 노력이 실현된다면 유럽은 2050년까지 탄소중립을 달성할 수 있을 것이다.

다른 분야에서의 평균 저감 비용은 매우 다양하다. 예를 들어 산업분야에서 이산화탄소 1톤을 저감하기 위한 평균 저감 비용은 85유로 이며, 교통분야는 120유로, 농업분야는 25유로로 나타났다. 건물의 연평균 이산화탄소 배출량이 2톤임을 감안했을 때, 이산화탄소 저감 비용은 연평균 10유로(건물 또는 주택당)에 불과하며, 평균 에너지 비용은 약 1% 상승한다. 또한, 추가적인 조치 없이도 난방으로 인해 발생하는 이산화탄소의 85%가 감소 된다.

유럽연합 내 에너지 소비의 70%는 난방과 연관됨을 고려하였을 때, 기존 건축물의 유지·관리 시 온실가스가 배출되는 주요 원인은 난방임을 알 수 있다. 효율적인 난방을 구현하기 위해서는 건물의 에너지 효율성(단열 및 난방제어시스템), 난방을 위한 에너지 자원(열펌프와 가스보일러 구동 시 재생 가능한 전기 사용 등) 등 두 가지 요소를 고려하여야 한다. 단열 강화, 태양열로 전환 등 경제적으로 효율적인 방법이 있으며(표3), 난방 사용 시 재생 가능한 기술의 도입은 72%의 이산화탄소 배출 감소에 기여한다. 이는 유럽연합의 건설산업 뿐 아니라 더 많은 국가의 탄소중립 과정에 긍정적인 영향을 준다.

순현재가치를 증가시키기 위한 방법 중 하나는 주택의 단열을 보강하는 것이다. 비용측면에서 단열수준을 낮은수준(Energy Performance Certificate(EPC) 등급 F, G)에서 중간수준(EPC 등급 C, D, E)으로 업그레이드하는 것은 필수적이다. 그 이유는, 이로 인해 벽, 지붕, 바닥, 유리(섬유유리(fiberglass), 광물면(mineral wool), 폴리스틸렌(polystyrene)과 같은 단열재의 수명이 증가하기 때문이다. 업그레이드된 단열재는 앞으로 50년 동안 에너지 수요를 약 30%까지 감소시킬 것이다. 유럽의 기존 건물들은 대체로 단열에 취약하다. 유럽 거주 2억 4,500만 가구 중 약 1억 3,500만 가구의 단열수준은 낮은 편이며, 이 중 8,500만 가구는 화석연료로 난방하고 있다. 유럽연합은 2010년 이전에 지어진 건축물의 97%는 장기적인 전략적 목표를 달성하기 위해 리모델링이 필요하다고 추정한다. 2050년까지 파리협정 목표에 도

<표 3> 기존 건물의 난방 사용 시 이산화탄소 저감 방안 : 태양열 도입 및 단열 보강(낮은→보통수준)




자료 : IEA $CO_2$ Emissions from Fuel Combustion 2018, OECD, Press search, Steel Construction Encyclopedia
출처 : McKinsey&Company(2021)

달하기 위해서는 리모델링 비율을 1.0%(현재기준)에서 2.5%까지 두배 이상 높여야 한다. 이러한 조치는 순현재가치 촉진에 긍정적이지만, 그 과정이나 절차가 복잡하며 감수해야 할 부분도 많을 것이다. 단열수준 증가에 따른 에너지 수요 감소는 전체 온실가스 배출량 감소의 20%에 불과하며, 가장 큰 감소폭을 달성하기 위해서는 난방을 재생가능한 기술로 전환해야 한다. 그러나 중요한 점은, 이러한 기술들은 단열이 잘 되는 건물에서만 효율적으로 작동하기 때문에 단열 수준 향상이 우선되어야 한다는 것이다. 2050년까지 난방시스템의 전환 관련 목표는 주거용 및 상업용 건물의 40%를 열펌프로 교체하고 15%를 바이오가스 또는 수소보일러로 교체하며 10%의 태양열시스템의 도입하는 것이다.

**신축 건축물의 이산화탄소 배출 영향 감소**

건물을 신축할 때, 전 세계적으로 2.5기가 톤의 $CO_2e$(이산화탄소 환산수치)가 배출되며, 이는 전체 온실가스 배출의 5%를 차지한다. 콘크리트와 철강 가공은 탄소배출의 가장 큰 부분인 60%를 차지하고 있다. 그 이유는 전형적이고 에너지 집약적인 건설(공사)과정에서 대량의 철강과 콘크리트를 필요로 하기 때문이다.
건축물의 신축과정에서 탄소배출을 줄이기 위해서는 건물 유지·관리 시 탈탄소화 하는 것 외에도 다른 노력이 필요하다. 탈탄소화 관련 규제는 건축물 신축 시 높은 수준의 단열을 요구하는 등 점점 엄격해지고 있다. 이에, 건설재료의 탈탄소화를 실현하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

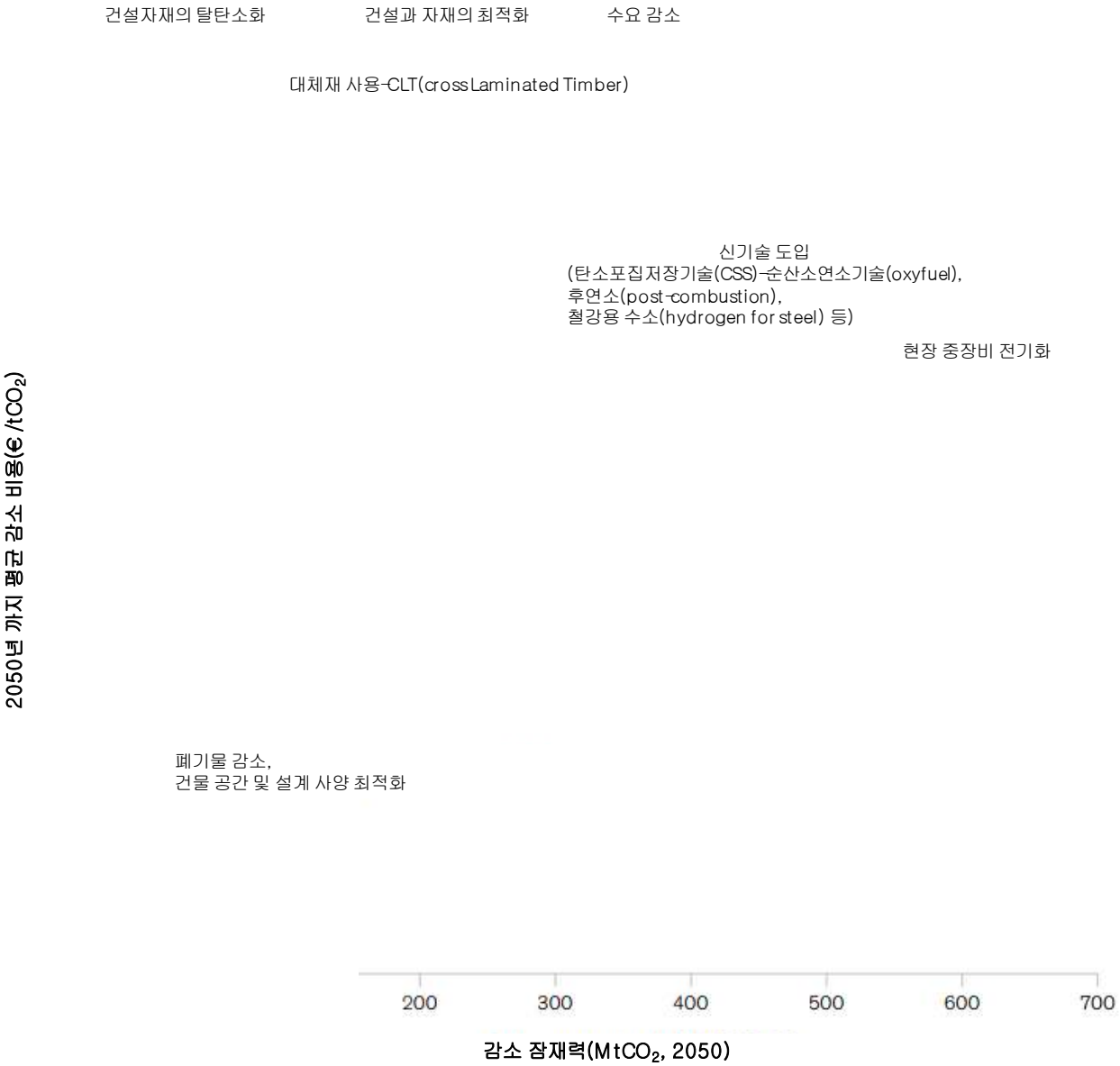
- 수요 감소 및 순환성(Circularity)
• 일차적으로 사용되는 자원의 수요를 낮추기 위하여 폐기물 감소, 건물 공간 개선, 과잉사양 자재 제한 등을 통해 설계 및 프로세스를 최적화하고, 폐루프(Closed-Loop) 시스템 도입으로 재활용 재료 사용 증가 등 건설자재의 순환성 증가 도모
• 어떤 건설자재와 설계 디자인이 온실가스 배출을 감소시킬 수 있는지 명확화하기 위하여 결과기반의 설계를 수행하고 이를 위한 제너레이티브 디자인(Generative Design) 도입

- 건설과정 및 자재의 최적화
• 저탄소 소재, 고성능 소재로의 대체, 중장비의 전기화 등 건설과정에서 일반적으로 사용되는 자재 및 장비를 에너지 효율적인 것으로 대체
• 프로젝트의 상품화, 모듈화, 공장시공(Off-Site Construction) 등을 통한 공사기간 단축

- 탈탄소화 자재
• 건설자재 생산과정에서 온실가스 감축을 위하여 생산 효율성 향상, 장비의 전기화, 기술고도화 도모

가장 최적화된 탈탄소화 방법을 찾기 위하여 유럽 내 주거용 건물(5층, 500제곱미터 규모)을 대상으로 건설 자재 및 프로세스에 대한 저감 자재력(Abatement Potential) 경로를 모델링하였다(표 4). 별도의 비용 없이 기존 건물을 탄소제로건물(Net-Zero Carbon Building)로 전환하기 위해서는 기본원칙, 그리고 기존 자재 및 대체재 간의 조합을 면밀히 살펴보아야 한다. 탈탄소화를 위한 최적의 조합은 건물 종류와 위치에 따라 다르다. 또한, 저감 잠재력은 대부분 자재생산 과정 중 초기 단계에서의 배출감소 정도에 따라 결정되는 것으로 나타났다. 그 외 저감 잠재력은 우선순위의 자원에 대한 수요를 감소하거나 순환을 촉진하는 것과 관련이 있다. 이러한 조치들은 건설업계의 비용 절감에 기여할 것이다.

<표 4> 탈탄소화 방안 : 기본원칙 및 기존자재-대체재 간의 조합 재고




자료 : Decarbonization Pathway Optimizer
출처 : McKinsey&Company(2021)

**기업은 배출 문제를 해결함으로 이익을 창출한다.**

자본시장은 ESG를 향해 변화하고 있으며, 지속가능성을 추구할수록 더 저렴하고 더 많은 자산을 접할 수 있다. 이는 ESG-친화적인 건물의 수요가 급격히 증가하는데 하나의 원동력이 될 것이다. 게다가, 소비자들은 그들의 주택과 사무실이 온실가스를 배출하고 있음을 인지하고 있다. 그들이 무엇을 운전하는지, 어떻게 이동하는지, 무엇을 먹는지 등이 환경에 미치는 영향을 알기 때문이다.

타산업의 동향을 살펴보았을 때, 건설 및 부동산 산업의 탈탄소화 및 지속가능성 실현은 불가피하다. 지속가능성에 대한 노력은 가치 창출의 중요한 기회가 될 것이다. 하지만, 그 과정에서 건설과 부동산 산업은 다음의 사항을 인지하여야 한다. 400명의 글로벌 리더들을 대상으로 한 설문조사에 따르면, 이 중 80%가 지속가능성이 향후 1~5년간 업계의 변형적인 변화를 주도할 것이라도 응답하였다. 이미 탈탄소화에 전념하는 선두기업들을 볼 수 있다. 한 글로벌기업은 2030년까지 온실가스 배출 50% 감축과 2045년까지 탄소중립 프로젝트 포트폴리오를 반드시 실천하기로 선언한 바 있다.

온실가스 배출은 건설산업 밸류체인의 다른 이해관계자(임차인, 개발자)에게 전가할 수 없는 비용이라는 기존의 관점과는 달리 ESG를 전략적인 기회로 접근함으로써 이익을 창출할 수 있다. 따라서, 탄소저감 과정은 비용측면에서 효율적일 것이다. 건물 유지·관리 과정에서 ESG를 도입하는 것은 단열재 보강 및 지역난방 설치와 더불어, 건물 신축 시 설계 및 프로세스 최적화를 통해 일반적으로 사용해 왔던 건축 자재에 대한 수요를 줄이고 에너지 효율적인 재료로 전환하는 것을 포함한다. 이러한 전략적인 기회를 활용하기 위하여, 업계 종사자들은 변화를 모색하고 새로운 비즈니스 모델의 신기술 및 서비스와 같은 메가트렌드에 대응하며 자본시장에 과감히 진출해야 할 것이다.

건설산업이 배출 저감에 대한 조치를 지금 당장 마련하지 않는다면 시장의 기대치에 더 많이 부응하는 미래 경쟁산업으로부터 위협받을 수 있을 것이다. 그 이유는 저탄소 정책에 협조적인 기업에게 인센티브를 제공하고 그렇지 않은 기업에게는 엄격한 규제 적용 또는 투자 제한과 같은 불이익 조치가 더욱 강화되기 때문이다. 반면, 새롭게 시장에 진출하는 기업들은 탄소저감을 위한 변형적인 변화를 경험하지 않고 주요 트렌드에 더욱 집중할 수 있을 것이다.

스마트빌딩의 분야의 연평균 성장률(CAGR)은 2025년까지 10~13%로 성장할 것이다. 그 예로는 폐기물 저감을 위한 새로운 건설자재 개발, 건축정보모델링(Building-Information Modeling) 기반의 친환경디자인 솔루션(Green-Design Solution), IoT 기반의 에너지 관리 등이 있다. 최근 들어 기업들의 환경적 영향(Environmental Impact) 감소에 대한 사회적 부담이 증가하고 있으며, 건설 및 부동산 산업은 규제 강화로 인해 많은 어려움을 겪고 있다. 건설자재 공급업체들은 EBITA(Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization, 이자, 세금, 감가상각 전 소득) 측면에서 탄소감축에 따른 가격 상승에 가장 많이 영향을 받는다. 50개 이상의 국가들은 이미 탄소세(Carbon Tax)를 도입하였거나, 도입을 계획하고 있기 때문에, 앞으로 배출저감에 대한 부담은 더욱 증가할 것이다.

**온실가스 배출은 모두의 문제이다.**

건설산업은 제품의 수명주기에 따라 단계별로 세분되어있다. 이 복잡한 생태계 속에서 업계 종사자들은 차이를 만들고 기회를 포착할 수 있을지라도 상호간의 협력은 필수적이다. 예를 들어 개발자는 설계와 계획에 단계에서 개입하고, 계약자는 건축물 신축 및 기존 건축물 리모델링 시 조언하는 것이다. 자산 유형에 따라, 각기 다른 이해관계자들은 제품의 수명주기의 여러 단계에 걸쳐 온실가스 배출에 다양한 영향을 줄 것이다.

배출전환(Emissions Transition)은 많은 개인과 기업들에게 새로운 기회를 제공할 것이다. 그러나, 건설업계 종사자들은 정책과 규제의 변화, 위험공유 전략(성과기반의 에너지 절감 계약 등), 대체금융모델(친환경 모기지 등), 디지털 혁신(에너지효율성 투자 절감액을 할당하도록 설계된 블록체인 기반의 플랫폼 등)에 새로운 변화에 빠르게 대응해야 할 것이다.

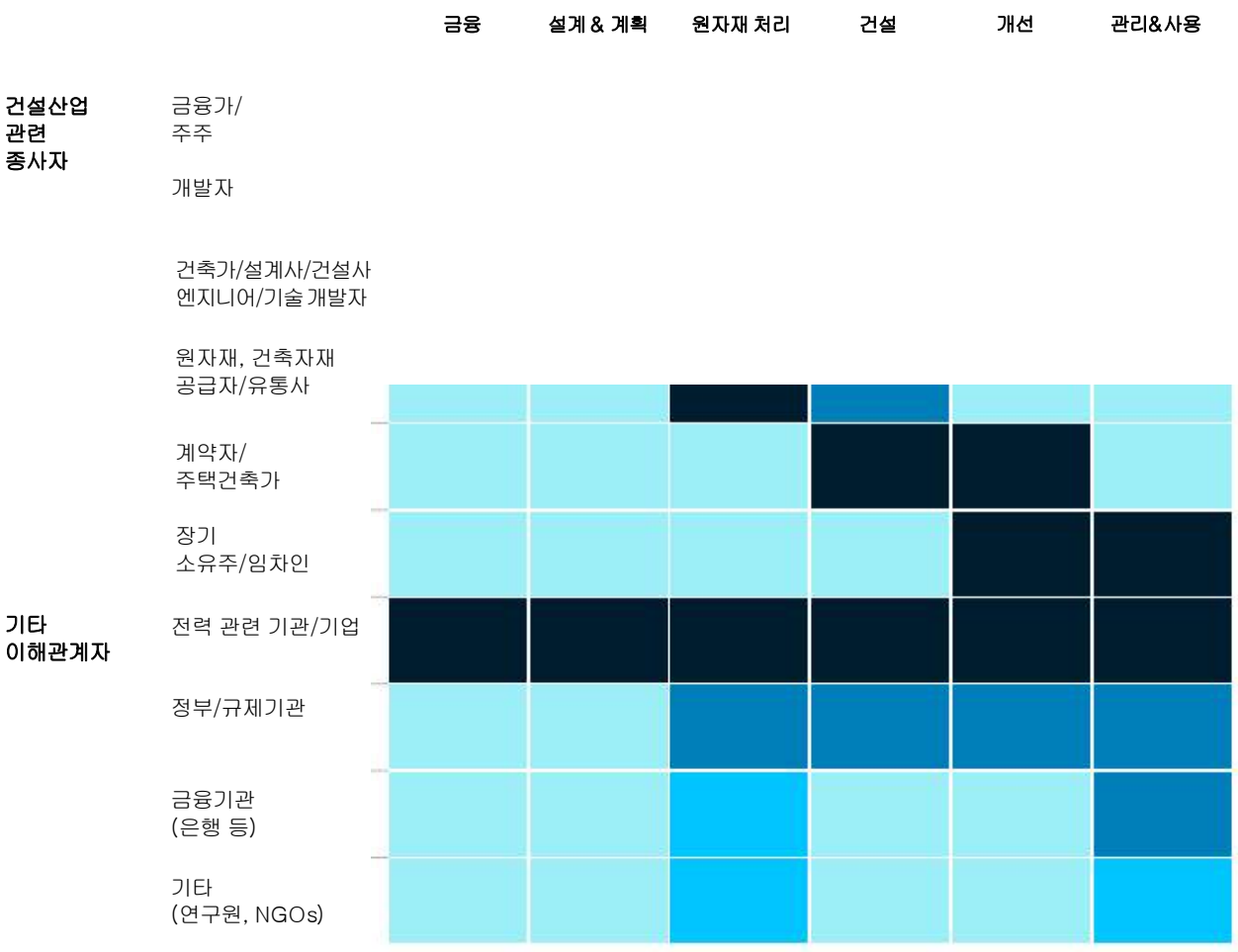
<표 5> 건물 생애주기에 따른 온실가스 배출량(업계 종사자 및 이해관계자 기준)

**건물 생애주기 단계별 온실가스 배출에 대한 영향**

건물의 생애주기에 대한 간접적인 영향

높음 낮음

배출량이 높은 단계




자료 : McKinsey analysis
출처 : McKinsey&Company(2021)

수요와 규제에 대한 부담이 증가함에 따라, 건설 생태계는 이를 해결하기 위한 메카니즘(Mechanisms)을 마련해야 한다. 예를 들어 엔지니어링 회사는 건물 생애주기 전체에 소요되는 비용을 토대로 ESG 설계 및 비용 최적화를 실현하고, 계약자들은 폐기물 최소화, 재활용 활성화, 디젤동력장비(Diesel-Powered Equipment) 전환 등의 노력을 하여야 한다.

건설산업은 혼란을 경험하고 있지만, 지속가능성 달성과 더불어 빠르게 발전하고 있다. 10년 전, 무공해 차량은 컨셉카에 불과했다면 지금은 현실이 되었다. 변화는 빠르게 일어나고 있고 우리는 새로운 프로젝트를 통해 그 변화를 경험하고 있다. 앞으로도 이러한 노력을 가속화하고 도전 과제를 정면으로 해결해야 할 것이다.

**<원문제목>** Call for action: Seizing the decarbonization opportunity in construction
**<원문출처>** Mckinsey & Company(www.Mckinsey.com)