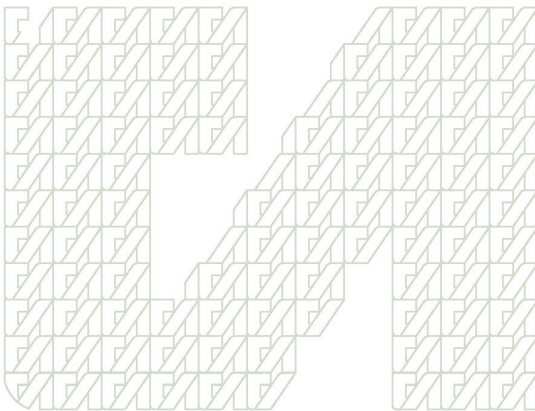


# 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 분석

남 영 식





기본연구 2022-19

# 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 분석

남 영 식

연구책임

• 남영식 / 세종연구실 연구위원

연구지원

• 강명한 / 세종연구실 조사원

기본연구 2022-19

## 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 분석

발행인 박 노 동

발행일 2022년 11월

발행처 대전세종연구원

34051 대전광역시 유성구 전민로 37(문지동)

전화: 042-530-3500 팩스: 042-530-3508

홈페이지 : <http://www.dsi.re.kr>

인 쇄 (주)경성문화사 TEL 044-868-3537 (FAX: 044-868-3565)

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시와 세종특별자치시의 정책적 입장과는 다를 수 있습니다.

출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.

# 요약 및 정책 제언

## ■ 연구 배경

- 인류의 경제 및 산업 활동으로 배출된 온실가스로 인해 기후변화가 발생하고 이에 따른 이상기후 및 재해 발생이 급증함에 따라, 기후변화 대응을 위한 탄소중립 이행 필요성이 글로벌 핵심 아젠다로 부상하고 있음
  - EU, 미국 등을 중심으로 국가 단위 대응을 위한 계획을 발표하고 있는 가운데, 한국 또한 도전적인 탄소중립 이행 계획을 정부에서 발표함
  - 한국은 2021년 9월 24일에 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(약칭: 탄소중립기본법)」을 제정하였으며, 2022년 3월 25일부터 시행 중임
  - 탄소중립기본법 제정 이후, 2050년을 목표 연도로 간주한 탄소중립 실현을 위해 2021년 10월 18일에 ‘2050 탄소중립 시나리오안’을 제시함
  - ‘2050 탄소중립 시나리오안’으로 제시된 2050년 기준 2개 안(A안 및 B안) 모두 산업부문의 배출 비중(흡수원 제외)이 전체 배출량 중 가장 큰 비중(A안(약 64%), B안(약 44%))을 차지하고 있는데, 이는 탄소중립 이행을 위해서 산업부문의 역할이 매우 중요함을 의미함
  - 산업부문에서 탄소중립 목표를 원활하게 달성하기 위해서는 산업부문 구성원으로 간주할 수 있는 기업들의 탄소중립 이행 가능성에 대해서 먼저 검토가 이루어져야 함
  - 산업부문의 탄소중립을 위해서는 산업 대전환에 가까운 대규모 투자가 수반될 것으로 예상되므로, 기업 입장에서 이와 관련된 투자 시행 시 기업 운영에 어떤 영향을 미칠지에 대한 분석이 필요한 상황임

## ■ 연구 목적

- 본 연구의 주요 목적은 탄소중립을 고려한 산업부문의 최적 투자관리 분석을 수행하는 것임
  - 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 분석을 위해 주요 산업부문을 선정하고, 해당 산업의 대표 기업 입장에서의 탄소중립 투자에 따른 경제적 타당성 확보 여부를 분석하고자 함
  - 본 연구에서는 탄소중립 관련 투자 이후 기업 운영 환경에 내포된 불확실성을 고려한 경제적 타당성 확보 여부를 확인하고자 하며, 이를 위해 실물옵션을 활용한 분석 모형을 구축하고 해당 모형을 활용하여 시뮬레이션 분석을 진행하고자 함
  - 기업들의 탄소중립 이후 운영 환경 변화는 그 누구도 정확하게 예상하기 어려우므로, 기업의 수익 및 비용 구조 변화에 대한 상황을 시나리오별로 가정한 뒤 해당 시나리오 하에서의 시뮬레이션 분석을 통해 기업의 탄소중립 투자에 따른 경제적 타당성 확보 여부를 확인하고자 함

## ■ 실물옵션 분석 모형

- 본 연구에서는 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 시뮬레이션 분석을 위해서 실물옵션 분석 모형을 구축하고자 하며, 본격적인 분석 모형 구축 이전에 실물옵션의 기본 개념을 다음과 같이 검토함
  - 실물옵션과 상호 보완적으로 활용 가능하면서 대중적으로 가장 널리 알려진 경제적 타당성 분석 방법인 순현재가치법(Net Present Value, NPV)은 특정 사업을 통해 발생하는 순편익의 현재가치가 0보다 클 경우, 해당 투자는 추진되는 것이 바람직하다는 결론을 제시함
  - 만약 해당 사업의 미래 현금흐름이 확정적인 경우에는 NPV는 상당히 유용한 경제적 타당성 분석 방법이지만, 편익 및 비용의 불확실성이 현저한 경우에는 NPV 기반 분석에서 제시되는 결과만으로는 합리적인 의사 결정에 필요한 정보를 확보하는데 한계가 있음

- NPV가 가지는 이와 같은 한계점을 보완하기 위해 실물옵션을 활용할 수 있는데, 실물옵션 기반 분석에서는 투자 관련 사업 운영 환경에 내재된 불확실성이 해당 투자의 경제적 타당성에 미치는 영향을 파악할 수 있음
  - 실물옵션 분석이 NPV 분석과 차별화되는 가장 큰 요소는 투자 관련 경제적 타당성 분석 시, 투자에 대한 의사결정자의 선택의 가치를 옵션 가치로 반영하여 신중한 의사결정을 내릴 수 있는 가이드라인을 제공한다는 것임
  - 예를 들어 NPV가 0이상인 경우라 하더라도, 투자 의사결정자 입장에서는 해당 사업 운영 환경에 내재된 불확실성을 감안하여 충분한 수익이 확보될때까지 투자 의사결정을 연기하는 것이 바람직할 수 있음
  - 실물옵션에서는 이와 같은 투자 의사결정의 연기와 관련된 요소를 기다림의 가치(waiting value)로 간주하여 분석 모형에 반영함
  - 실물옵션은 유용한 투자 관련 경제적 타당성 분석 방법이지만 모든 경제적 타당성 분석에 적용하는 것은 바람직하지 않으며, 투자 관련 사업에 현저한 불확실성(uncertainty) 및 비가역성(irreversibility)이 존재하는 경우에 한하여 NPV와 상호 보완적으로 활용하는 것이 바람직함
  - 이때 불확실성은 사업과 관련된 시장의 불확실성을 의미하는 것이며, 비가역성은 투자 비용이 매몰 비용으로서의 성격이 강해 투자 시기의 선정 여부에 따라 현저한 기회 비용이 발생하는 경우를 의미함
  - 실물옵션 분석은 NPV 분석에 비해 투자 의사결정자에게 신중한 의사결정을 위한 가이드라인을 제공한다는 장점이 존재하지만 상대적으로 분석과정에서 수리적 복잡성이 요구되므로, 투자와 관련된 사업의 불확실성 및 비가역성이 현저하지 않은 경우에는 NPV 분석을 진행하는 것이 바람직함
- 기업의 탄소중립을 고려한 실물옵션 기반 최적 투자관리 분석 모형 구축을 위해, 탄소중립 관련 투자 전 및 후의 기업 수익 구조를 다음과 같이 설정함

- (탄소중립 관련 투자 전 기업 순수익)  $R - C$ 
  - $R$  : 연간 매출액
  - $C$  : 연간 운영비(=연간 매출액 - 연간 당기순이익)
- (탄소중립 관련 투자 후 기업 순수익)  $(1 + m_{ri})R - (1 + m_{ci})C$ 
  - $m_{ri}$  : 탄소중립 투자 후 수익 구조 변화에 따른 매출액 조정계수  
( $i = u, d$ ,  $u$ : 증가,  $d$ : 감소)
  - $m_{ci}$  : 탄소중립 투자 후 비용 구조 변화에 따른 운영비 조정계수  
( $i = u, d$ ,  $u$ : 증가,  $d$ : 감소)

○ 실물옵션 기반 분석 모형 구축을 위해 먼저 탄소중립 투자 후의 기업 순수익과 매출액의 불확실성을 고려한 기업의 사업가치를 다음과 같이 제시함

- (탄소중립 투자 후 기업의 사업가치) 탄소중립 투자 후 수익 및 비용 구조 변화에 따른 매출액 및 운영비 조정계수가 반영된 기업 순수익 기반 사업가치를 의미하며,  $V(R)$ 로 표현함

- $$V(R) = E_0 \left[ \int_0^{T_1} [R - C] e^{-\rho t} dt + \int_{T_1+1}^{T_2} [(1 + m_{ri})R - (1 + m_{ci})C] e^{-\rho t} dt \right]$$

- $dR = \alpha R dt + \sigma R dw$

- $$V(R) = \int_0^{T_1} [R e^{(\alpha-\rho)t} - C e^{-\rho t}] + \int_{T_1+1}^{T_2} [(1 + m_{ri})R e^{(\alpha-\rho)t} - (1 + m_{ci})C e^{-\rho t}] dt$$

$$= \left[ \frac{R}{\alpha - \rho} \right] [e^{(\alpha-\rho)T_1} + (1 + m_{ri})e^{(\alpha-\rho)T_2} - (1 + m_{ri})e^{(\alpha-\rho)(T_1+1)} - 1]$$

$$+ \left[ \frac{C}{\rho} \right] [e^{-\rho T_1} + (1 + m_{ci})e^{-\rho T_2} - (1 + m_{ci})e^{-\rho(T_1+1)} - 1]$$

- (탄소중립 투자에 대한 옵션가치) 탄소중립 투자에 대한 옵션가치는 투자 의사결정 선택에 대한 가치를 의미함. 해당 가치는 일반적으로 불확실성을 반영하는 요소(기업 매출액  $R$ )의 변화에 따라 지수적으로 변화하는 함수로 표현하는데, 기업 매출액이 증가할수록 투자에 대한 옵션가치는 증가하는 특성을 가지므로 양의 지수함수 형태로 표현 가능함

- $F(R) = AR$



$E_0$  : t=0 시점 기준의 기대 연산자

$T_1 + 1$  : 탄소중립 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화의 반영 시기

$T_2$  : 탄소중립 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화의 종료 시기

$\alpha$  : 매출액의 평균 증가율(drift rate)

$\sigma$  : 매출액의 순간 변동율(instantaneous volatility rate)

$dw$  : 위너 증분(Wiener increment)

$\rho$  : 기업의 가중평균 자본비용(Weighted Average of Capital Cost)

$e$  : 자연지수

- 탄소중립 투자와 관련된 사업가치 및 옵션가치의 일치조건 및 한계일치조건을 고려한 최종적인 매출액 기준 투자 임계값은 다음과 같이 정리할 수 있음

$$\cdot R^* = \left[ \frac{\beta}{\beta - 1} \right] \left[ \frac{\alpha - \rho}{e^{(\alpha - \rho)T_1} + (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)T_2} - (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)(T_1 + 1)} - 1} \right] \\ \times \left[ K - \left[ \frac{C}{\rho} \right] \left[ e^{-\rho T_1} + (1 + m_{ci})e^{-\rho T_2} - (1 + m_{ci})e^{-\rho(T_1 + 1)} - 1 \right] \right]$$

- 여기서  $R^*$ 는 매출액  $R$ 의 불확실성을 고려한 탄소중립 관련 기업 투자에 따른 경제적 타당성 확보가 가능한 투자 임계값을 의미함
- 실측된 매출액  $R$ 이  $R^*$ 보다 클 경우  $R$ 의 불확실성을 고려한 경우에도 해당 투자의 경제적 타당성이 확보되는 것으로 해석할 수 있음

## ■ 시뮬레이션 분석 위한 시나리오 및 주요 파라미터 설정

- 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 분석을 위해 실물옵션 기반 기업의 최적 투자관리 분석 모형을 앞서 구축하였으며, 이를 활용한 시뮬레이션 분석을 위해서 분석을 위한 시나리오가 우선 설정될 필요가 있음
- 본 연구에서의 시뮬레이션 분석 시나리오는 기업이 탄소중립과 관련된 투자를 시행한 이후 발생 가능한 기업의 수익 및 비용 구조 전환 상황에 따라 설정함

- 시나리오 설정과 관련된 전제 조건들을 정리하면 다음과 같음
  - (전제 조건 1) 탄소중립 관련 기업의 투자 활동은 투자 이후 기업의 수익 및 비용 구조 전환에 기여하며, 해당 사항은 기업의 주요 재무 자료에 반영됨. 투자 비용은  $t=0$  기준의 현재가치화된 초기 투자 비용으로 간주하고, 해당 투자 이후 일정 시간( $T_1$ )까지는 기존 기업 수익 및 비용 구조가 유지되며, 그 이후부터 기업의 수익 및 비용 구조가 전환되는 것으로 간주함
  - (전제 조건 2) 탄소중립 관련 기업의 투자 활동이 투자 이후 기업 운영에 영향을 미치는 상황에 따라, 기업의 수익 및 비용 구조 전환에 기여하는 기간이 제한적임
- 앞서 제시된 전제 조건들을 고려하여 기업의 탄소중립 투자에 대한 최적 투자관리 시뮬레이션 분석을 수행하기 위한 기업 수익 및 비용 구조 전환 상황별 시나리오는 다음과 같음
- [시나리오 1] 매출액에만 영향을 미치는 경우
  - (시나리오 1-1) 매출액 증가( $m_{ru}$ : 0.05, 0.1, 0.2)
  - (시나리오 1-2) 매출액 감소( $m_{rd}$ : -0.05, -0.1, -0.2)
- [시나리오 2] 운영비에만 영향을 미치는 경우
  - (시나리오 2-1) 운영비 증가( $m_{cu}$ : 0.05, 0.1, 0.2)
  - (시나리오 2-2) 운영비 감소( $m_{cd}$ : -0.05, -0.1, -0.2)
- [시나리오 3] 매출액 및 운영비 모두에 영향을 미치는 경우
  - (시나리오 3-1) 매출액 증가 및 운영비 감소  
( $m_{cu}$ : 0.05, 0.1, 0.2 &  $m_{cd}$ : -0.05, -0.1, -0.2)
  - (시나리오 3-2) 매출액 증가 및 운영비 증가  
( $m_{ru}$ : 0.05, 0.1, 0.2 &  $m_{cu}$ : 0.05, 0.1, 0.2)
  - (시나리오 3-3) 매출액 감소 및 운영비 감소  
( $m_{rd}$ : -0.05, -0.1, -0.2 및  $m_{cd}$ : -0.05, -0.1, -0.2)
  - (시나리오 3-4) 매출액 감소 및 운영비 증가  
( $m_{rd}$ : -0.05, -0.1, -0.2 및  $m_{cu}$ : 0.05, 0.1, 0.2)

- 시뮬레이션 분석에 활용되는 주요 파라미터 설정은 다음과 같음
- 기업의 탄소중립 관련 연간 투자 비용 규모
  - (연간 투자 비용 규모) 당기순이익의 5%, 10%, 20%
  - 탄소중립 관련 투자 규모에 대한 신뢰성 있는 정보 확보에 한계가 있어, 시나리오 외에 탄소중립 관련 연간 투자 비용 규모에 따른 민감도 분석을 진행하기 위해 당기순이익 기준의 연간 투자 비용 규모 수치를 가정함
- 기업의 탄소중립 관련 연간 투자 기간
  - (연간 투자 기간) 5년
  - 산업 또는 기업마다 탄소중립 관련 연간 투자 기간이 다를 수 밖에 없으나, 동일 조건에서의 시뮬레이션 분석을 위해 일괄적으로 탄소중립 관련 연간 투자가 5년간 진행되는 것으로 가정함
- 기업의 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 시작 시점
  - (투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 시작 시점) 투자 종료 이후 익년 부터 변화 시작
  - 산업 또는 기업마다 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화의 시작 시점이 다를 수 밖에 없으나, 동일 조건에서의 시뮬레이션 분석을 위해 일괄적으로 탄소중립 관련 투자 종료 이후 익년부터 발생하는 것으로 가정함( $T_1$ : 5)
- 기업의 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 기간
  - (투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 기간) 20년
  - 산업 또는 기업마다 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 기간이 다를 수 밖에 없으나, 동일 조건에서의 시뮬레이션 분석을 위해 일괄적으로 탄소중립 관련 투자 종료 이후 익년부터 20년간 발생하는 것으로 가정함( $T_2$ : 25)

## ■ 시뮬레이션 분석 결과

- 본 연구에서는 다양한 시나리오와 투자 규모에 대한 민감도 분석을 고려한 분류 기준 하에서 시뮬레이션 분석 결과를 제시함
  - 제시되는 시나리오뿐만 아니라 시나리오별 수익 및 비용 구조 변화 정도에 대한 파라미터 수치 관련 경우의 수가 많은 관계로, 주요 산업부문별 대표 기업별(철강(포스코홀딩스), 석유화학(LG화학), 시멘트(쌍용씨앤이), 반도체·디스플레이(삼성전자))로 탄소중립 관련 연간 투자 규모의 가정(당기순이익 대비 5%, 10%, 20%)을 상위 분류 기준으로 간주함
  - 이후 제시된 투자 규모 가정 하에서의 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 정도에 대한 파라미터 수치( $m_{ri}$  &  $m_{ci}$ :  $\pm 0.1$ ,  $\pm 0.2$ ,  $\pm 0.3$ )를 고려한 시나리오(시나리오 1(6개), 시나리오 2(6개), 시나리오 3(36개))를 하위 분류 기준으로 간주함
  - 앞서 설명한 상위 및 하위 분류 기준을 종합적으로 고려하여 각 상황별 경제적 타당성 확보 여부에 대한 분석 결과를 정성적으로 정리한 다음, 매출액 관련 투자 임계값 대비 실제 매출액 비율( $\frac{R}{R^*}$ )에 대한 분석 결과를 시나리오별 최저 및 최고 값으로 제시하고, 분석 대상 기업의 매출액 불확실성을 고려한 탄소중립 관련 투자 관련 경제적 타당성 확보 여부에 대한 정보를 제공함

### ① 철강산업(포스코홀딩스)

- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 5%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.4181(최저) & 0.7239(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개
- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 10%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.4171(최저) & 0.7216(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개

- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 20%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.4150(최저) & 0.7171(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개

## ② 석유화학산업(LG화학)

- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 5%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6403(최저) & 1.0805(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 3개/48개
- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 10%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6388(최저) & 1.0771(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 3개/48개
- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 20%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6357(최저) & 1.0704(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 3개/48개

## ③ 시멘트산업(쌍용시멘트)

- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 5%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6398(최저) & 1.0708(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 3개/48개
- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 10%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6377(최저) & 1.0664(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 2개/48개

- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 20%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6336(최저) & 1.0575(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 1개/48개

④ 반도체·디스플레이산업(삼성전자)

- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 5%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.3211(최저) & 0.5560(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개
- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 10%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.3201(최저) & 0.5536(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개
- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 20%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.3180(최저) & 0.5490(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개

**[요약 표 1] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.5715	0.6314	0개
	2	3개	0.4715	0.5315	0개
시나리오 2	1	3개	0.4890	0.5344	0개
	2	3개	0.5696	0.6322	0개
시나리오 3	1	9개	0.5903	0.7239	0개
	2	9개	0.5067	0.6119	0개
	3	9개	0.4870	0.6093	0개
	4	9개	0.4181	0.5150	0개

자료: 저자작성.

**[요약 표 2] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.5699	0.6297	0개
	2	3개	0.4702	0.5300	0개
시나리오 2	1	3개	0.4878	0.5330	0개
	2	3개	0.5680	0.6302	0개
시나리오 3	1	9개	0.5886	0.7216	0개
	2	9개	0.5055	0.6103	0개
	3	9개	0.4856	0.6073	0개
	4	9개	0.4171	0.5136	0개

자료: 저자작성.

**[요약 표 3] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.5667	0.6262	0개
	2	3개	0.4676	0.5271	0개
시나리오 2	1	3개	0.4854	0.5301	0개
	2	3개	0.5648	0.6262	0개
시나리오 3	1	9개	0.5853	0.7171	0개
	2	9개	0.5030	0.6070	0개
	3	9개	0.4829	0.6035	0개
	4	9개	0.4150	0.5109	0개

자료: 저자작성.

**[요약 표 4] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8614	0.9463	0개
	2	3개	0.7198	0.8048	0개
시나리오 2	1	3개	0.7410	0.8080	0개
	2	3개	0.8597	0.9512	0개
시나리오 3	1	9개	0.8890	1.0805	3개
	2	9개	0.7662	0.9178	0개
	3	9개	0.7429	0.9188	0개
	4	9개	0.6403	0.7805	0개

자료: 저자작성.

**[요약 표 5] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8590	0.9437	0개
	2	3개	0.7179	0.8026	0개
시나리오 2	1	3개	0.7392	0.8058	0개
	2	3개	0.8573	0.9482	0개
시나리오 3	1	9개	0.8865	1.0771	3개
	2	9개	0.7644	0.9154	0개
	3	9개	0.7408	0.9160	0개
	4	9개	0.6388	0.7785	0개

자료: 저자작성.

**[요약 표 6] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8544	0.9386	0개
	2	3개	0.7140	0.7982	0개
시나리오 2	1	3개	0.7357	0.8016	0개
	2	3개	0.8525	0.9423	0개
시나리오 3	1	9개	0.8815	1.0704	3개
	2	9개	0.7607	0.9106	0개
	3	9개	0.7366	0.9103	0개
	4	9개	0.6357	0.7744	0개

자료: 저자작성.

**[요약 표 7] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8562	0.9386	0개
	2	3개	0.7188	0.8012	0개
시나리오 2	1	3개	0.7376	0.8039	0개
	2	3개	0.8551	0.9454	0개
시나리오 3	1	9개	0.8835	1.0708	3개
	2	9개	0.7621	0.9105	0개
	3	9개	0.7417	0.9141	0개
	4	9개	0.6398	0.7772	0개

자료: 저자작성.



**[요약 표 8] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8531	0.9352	0개
	2	3개	0.7162	0.7983	0개
시나리오 2	1	3개	0.7352	0.8010	0개
	2	3개	0.8519	0.9415	0개
시나리오 3	1	9개	0.8801	1.0664	2개
	2	9개	0.7596	0.9073	0개
	3	9개	0.7389	0.9103	0개
	4	9개	0.6377	0.7745	0개

자료: 저자작성.

**[요약 표 9] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8469	0.9284	0개
	2	3개	0.7110	0.7925	0개
시나리오 2	1	3개	0.7305	0.7954	0개
	2	3개	0.8455	0.9337	0개
시나리오 3	1	9개	0.8735	1.0575	1개
	2	9개	0.7547	0.9009	0개
	3	9개	0.7334	0.9028	0개
	4	9개	0.6336	0.7690	0개

자료: 저자작성.

**[요약 표 10] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.4403	0.4885	0개
	2	3개	0.3601	0.4083	0개
시나리오 2	1	3개	0.3784	0.4118	0개
	2	3개	0.4376	0.4830	0개
시나리오 3	1	9개	0.4541	0.5560	0개
	2	9개	0.3927	0.4741	0개
	3	9개	0.3714	0.4647	0개
	4	9개	0.3211	0.3962	0개

자료: 저자작성.

**[요약 표 11] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.4387	0.4867	0개
	2	3개	0.3588	0.4068	0개
시나리오 2	1	3개	0.3771	0.4103	0개
	2	3개	0.4359	0.4809	0개
시나리오 3	1	9개	0.4524	0.5536	0개
	2	9개	0.3914	0.4724	0개
	3	9개	0.3700	0.4627	0개
	4	9개	0.3201	0.3948	0개

자료: 저자작성.

**[요약 표 12] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.4355	0.4831	0개
	2	3개	0.3562	0.4038	0개
시나리오 2	1	3개	0.3746	0.4074	0개
	2	3개	0.4326	0.4769	0개
시나리오 3	1	9개	0.4490	0.5490	0개
	2	9개	0.3888	0.4690	0개
	3	9개	0.3672	0.4589	0개
	4	9개	0.3180	0.3920	0개

자료: 저자작성.

- 본 연구의 분석 결과를 통해, 탄소중립 관련 투자 이후 매출액의 불확실성을 고려할 경우, 경제적 타당성 확보 여부는 기업 규모보다 기업 운영과 관련된 다른 요소들에 의해 좌우될 수 있음을 확인함
  - 특히 탄소중립 관련 투자 이후 기업의 수익 및 비용 구조 변화 정도에 따라 기업 입장에서의 탄소중립 투자에 대한 경제적 타당성 확보 여부가 달라질 수 있음을 분석 결과를 통해 확인할 수 있음
  - 이는 탄소중립 관련 투자가 투자 이후 기업의 매출액 증가 및 운영비 감소에 유의미한 영향을 끼치는 경우에 한해, 해당 투자에 대한 경제적 타당성이 확보될 가능성이 있음을 의미함

- 탄소중립 관련 투자에 따라 기업의 매출액이 증가하기 위해서는, 주요 산업부문 관련 저탄소 제품에 대한 확실한 시장 선호도가 형성되어야 할 것으로 판단됨
- 탄소중립 관련 투자에 따라 기업의 운영비가 감소하기 위해서는, 제품 생산 과정을 고려한 탄소비용 현실화 및 투자 이전 대비 생산공정 효율화가 이루어져야 할 것으로 판단됨
- 본 연구에서는 탄소중립 관련 투자 이후 매출액의 불확실성을 고려하지 않은 경우에 대한 경제적 타당성 확보 여부에 대한 분석 또한 진행하였으며, 해당 분석 결과는 본 연구의 부록에 표로 정리하여 별도로 제시함
  - 매출액의 불확실성을 고려하지 않은 경우는 불확실성 반영에 따른 투자 지연 효과( $\frac{\beta}{\beta-1}$ )가 반영되지 않아, 매출액에 대한 투자 임계값 ( $R^*$ )의 규모가 불확실성을 고려한 경우에 비해 상대적으로 낮은 특성을 가짐
  - 분석 결과를 종합적으로 비교해보면, 매출액의 불확실성을 고려한 경우가 매출액의 불확실성을 고려하지 않은 경우에 비해 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성이 확보되는 경우가 상대적으로 훨씬 적은 것으로 나타남
  - 탄소중립 관련 산업부문 투자의 경우 대규모 투자가 요구될 뿐만 아니라 투자와 관련된 불확실성이 큰 것으로 알려져 있어, 기업 입장에서 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성 확보 여부를 확인하기 위해서는 투자 환경에 내포된 불확실성을 반영하는 것이 매우 중요할 것으로 판단됨

## ■ 정책적 제언

- 기업의 탄소중립 관련 핵심기술 개발 및 이전을 위한 정부 지원 필요
  - 본 연구에서 제시된 주요 산업부문의 탄소중립 대응 방향을 살펴보면

산업부문마다 세부 대응 방향에 차이는 있지만, 큰 틀에서 공통적으로 탄소중립 이행에 필요한 핵심기술 개발과 관련된 지원이 필요한 것으로 나타남

- 주요 산업부문별로 탄소중립 관련 핵심기술 개발은 개별 기업 단독으로 수행하기에는 기술력, 시간, 자원 등에 한계가 있는 것으로 알려져 있음
- 그러므로 정부 지원을 통해 제한된 기간 내에 기업이 탄소중립 관련 핵심기술을 개발하고, 개발된 핵심기술을 관련 기업에 원활하게 이전할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있음
- 정부 지원을 통해 탄소중립 관련 핵심기술 개발 및 이전이 원활하게 이루어질 수 있다면, EU의 탄소국경조정제(CBAM) 등과 같은 글로벌 탄소중립 이슈에 원활하게 대응하면서 주요 산업부문의 글로벌 경쟁력 강화에도 기여할 수 있을 것으로 기대됨

○ 기업의 탄소중립 대응을 지원할 수 있는 제도적 기반 마련 필요

- 분석 결과에서도 제시된 바와 같이 기업 입장에서 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성을 확보하기 위해서는, 투자 이후 기업의 매출액 및 운영비에 긍정적인 변화가 발생하는 것이 중요함
- 기업의 매출액이 증가되기 위해서는 저탄소화를 위한 노력이 반영된 제품에 대한 시장 선호도가 형성될 필요가 있으며, 이를 위해 저탄소 제품의 시장 진입을 방해하는 규제들을 검토하여 완화하거나 저탄소 제품을 활용하는 수요자들에게 세제 혜택을 제공할 수 있는 제도적 기반이 마련되어야 함
- 기업의 운영비가 감소되기 위해서는 탄소중립을 위해 노력한 기업들이 상대적으로 덜 노력한 기업들에 비해 운영비를 절감할 수 있도록 하는 탄소비용 현실화 및 생산공정 효율성 개선 관련 투자를 장려할 수 있는 금융·세제 혜택 제공이 가능하도록, 제도적 기반이 마련되어야 함
- 이와 같은 제도적 지원은 저탄소 제품의 시장 선호도를 형성하고 기업의 생산 효율성 개선에 기여하여, 중장기적인 관점에서 기업 경쟁력 강화에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단됨

- 또한, 제도적 지원은 탄소중립 실현을 위해 추진되고 있는 다양한 형태의 산업부문 규제에 기업들이 원활하게 대응할 수 있는 기반을 제공하여, RE100 참여, 탄소중립 관련 기술혁신 등에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대됨

## ■ 연구의 한계

- 본 연구에서는 탄소 다배출 산업으로 간주되는 주요 산업부문의 대표 기업 입장에서 탄소중립 관련 투자의 경제적 타당성을 확인하기 위한 시뮬레이션 분석을 실시하였으나, 한계 또한 존재함
  - 시대적 흐름을 고려하여 탄소중립 대응을 회피할 수 없는 현실을 고려할 때, 국가 탄소중립 목표 달성에 있어 중요한 역할을 담당하고 있는 산업부문의 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성을 분석한 것은 시의성을 가지는 일이라 생각함
  - 하지만 시나리오 기반의 시뮬레이션 분석이라는 측면에서, 본 연구가 가지는 한계가 존재함
  - 특히 기업의 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조의 변환 정도, 주요 기업의 탄소중립 연간 투자 규모, 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변환이 시작되는 시점 및 영향을 미치는 기간 등 투자와 관련된 다양한 요소들을 시나리오 기반으로 일괄적으로 가정을 했기 때문에, 기업별로 차별화될 수 밖에 없는 탄소중립과 관련된 실제 투자 여건을 세심하게 반영하지 못했음
  - 그러므로 본 연구의 분석 결과만을 가지고 분석 대상 기업이 탄소중립 관련 투자 시 경제적 타당성을 확실하게 확보할 수 있다고 말하기는 어려운 한계가 존재함
  - 하지만 현재 당사자인 기업들 입장에서도 국가 탄소중립 목표 달성에 기여하기 위해 어느 정도의 투자가 어느 정도 기간까지 시행되어야 할지 정확히 예상하기 어려운 상황임을 고려할 때, 본 연구에서 제시된 시뮬레이션 분석이 대안적 방안을 모색할 수 있는 나침반 역할을 할 수 있다고 여겨짐

- 특히 기업 운영 입장에서 가장 중요한 매출액의 불확실성을 고려한 탄소중립 관련 투자에 대한 최적 투자관리 분석을 진행했다는 측면에서 기존 연구들과 차별성을 가진다고 볼 수 있음
- 향후 본 연구를 보완하기 위해서는 분석 대상 확대, 분석 자료 및 목적식 구성 보완 등이 이루어질 필요가 있음
  - 본 연구에서는 탄소중립과 관련된 주요 산업부문의 대표 기업을 분석 대상으로 간주함
  - 탄소중립 이행에 핵심역할을 할 수 있는 기업들을 대상으로 분석을 진행하였기에 실효성 측면에서는 의미가 있지만, 본 분석만으로 주요 지역 기업들의 탄소중립 이행을 위한 전략을 제시하는 것에는 한계가 있음
  - 그러므로 본 연구에서 주요 산업부문별 대표 기업의 탄소중립 관련 최적 투자관리 분석 경험을 바탕으로, 향후 주요 지역 기업들의 탄소중립 이행을 지원할 수 있는 추가적인 연구 수행이 필요할 것으로 판단됨
  - 또한 기업의 탄소중립 이행 방안이 구체화 된다면 기업별로 예상되는 탄소중립 관련 투자 비용을 현실적으로 반영하여, 보다 현실적인 분석 결과를 제시할 수 있도록 분석 자료 보완이 이루어지면 좋을 것으로 판단됨
  - 마지막으로 향후 추가 연구 수행 시에는 탄소중립 관련 투자 이후의 기업 수익 구조를 반영한 목적식 구축 시 탄소중립 관련 투자 이전의 기업 수익 구조를 제외하여, 본 연구에서보다 엄밀하게 기업의 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성 확보 여부를 분석할 필요가 있음

# 차 례

제1장 서론 .....	1
제1절 연구 배경 및 목적 .....	3
1. 연구 배경 .....	3
2. 연구 목적 .....	4
제2절 연구 방법 및 주요 내용 .....	5
1. 연구 방법 .....	5
2. 주요 내용 .....	6
제2장 탄소중립 관련 주요 현황	
제1절 통계 현황 .....	9
1. 인구 및 생산 현황 .....	9
2. 에너지 소비 및 온실가스 배출 현황 .....	12
제2절 연구 현황 .....	17
1. 개요 .....	17
2. 산업부문 대응 관련 연구 현황 .....	19
3. 실물옵션 관련 연구 현황 .....	25
제3절 제도 현황 .....	31
1. 법률 현황 .....	31
2. 계획 현황 .....	36
제3장 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 시뮬레이션 분석 ...	45
제1절 분석 모형 .....	47
1. 분석 모형 개요 .....	47
2. 실물옵션 기반 기업의 최적 투자관리 분석 모형 .....	49

제2절 최적 투자관리 시뮬레이션 분석 .....	54
1. 시뮬레이션 분석 개요 .....	54
2. 시나리오별 시뮬레이션 분석 결과 .....	64
<b>제4장 결론 및 정책적 제언 .....</b>	<b>75</b>
제1절 결론 .....	77
제2절 정책적 제언 .....	80
1. 정책적 제언 .....	80
2. 연구의 한계 .....	81
<b>참고문헌 .....</b>	<b>84</b>
<b>[부록] 탄소중립 관련 투자 이후 매출액 불확실성을 고려하지 않은     시뮬레이션 분석 결과 .....</b>	<b>87</b>



## 표 차례

[표 2-1] 국내 권역별 주민등록인구 .....	9
[표 2-2] 국내 GDP(실질) 및 경제활동별 부가가치 현황 .....	11
[표 2-3] 부문별 최종 에너지 소비 현황 .....	12
[표 2-4] 에너지원별 최종 에너지 소비 현황 .....	14
[표 2-5] 온실가스 총 배출량 및 순 배출량 .....	15
[표 2-6] 부문별 온실가스 배출량 .....	16
[표 2-7] 탄소중립 관련 연구 리스트 .....	18
[표 2-8] 탄소중립 추진전략(안) 3+1 추진전략별 중점과제 .....	38
[표 2-9] 환경부 탄소중립 이행계획(21.3) 기본방향별 세부과제 .....	39
[표 3-1] 포스코홀딩스 주요 재무 자료 .....	60
[표 3-2] LG화학 주요 재무 자료 .....	61
[표 3-3] 쌍용씨앤이 주요 재무 자료 .....	62
[표 3-4] 삼성전자 주요 재무 자료 .....	63
[표 3-5] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%) .....	68
[표 3-6] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%) .....	68
[표 3-7] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%) .....	69
[표 3-8] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%) .....	70
[표 3-9] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%) .....	70
[표 3-10] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%) .....	70
[표 3-11] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%) .....	71
[표 3-12] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%) .....	72
[표 3-13] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%) .....	72
[표 3-14] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%) .....	73
[표 3-15] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%) .....	73
[표 3-16] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%) .....	74

## 그림 차례

[그림 2-1] 국내 권역별 주민등록인구 그래프 .....	10
[그림 2-2] 국내 GDP(실질) 및 경제활동별 부가가치 그래프 .....	11
[그림 2-3] 부문별 최종 에너지 소비 그래프 .....	13
[그림 2-4] 에너지원별 최종 에너지 소비 그래프 .....	14
[그림 2-5] 국내 온실가스 배출 그래프 .....	15
[그림 2-6] 부문별 온실가스 배출량 그래프 .....	16
[그림 2-7] EU programmes supporting the decarbonisation of the steel industry .....	20
[그림 2-8] End-uses for iron & steel and cement & concrete, as a volume proportion of all use .....	21
[그림 3-1] 포스코홀딩스 매출액, 당기순이익 추이 .....	60
[그림 3-2] LG화학 매출액, 당기순이익 추이 .....	61
[그림 3-3] 쌍용씨앤이 매출액, 당기순이익 추이 .....	62
[그림 3-4] 삼성전자 매출액, 당기순이익 추이 .....	63

# 서론

제1절 연구 배경 및 목적

제2절 연구 방법 및 주요 내용

1장



# 제1장 서론

## 제1절 연구 배경 및 목적

### 1. 연구 배경

- 인류의 경제 및 산업 활동으로 배출된 온실가스로 인해 기후변화가 발생하고 이에 따른 이상기후 및 재해 발생이 급증함에 따라, 기후변화 대응을 위한 탄소중립 이행 필요성이 글로벌 핵심 아젠다로 부상하고 있음
  - EU, 미국 등을 중심으로 국가 단위 대응을 위한 계획을 발표하고 있는 가운데, 한국 또한 도전적인 탄소중립 이행 계획을 정부에서 발표함
  - 한국은 2021년 9월 24일에 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(약칭: 탄소중립기본법)」을 제정하였으며, 2022년 3월 25일부터 시행 중임
  - 탄소중립기본법 제정 이후, 2050년을 목표 연도로 간주한 탄소중립 실현을 위해 2021년 10월 18일에 ‘2050 탄소중립 시나리오안’을 제시함
  - ‘2050 탄소중립 시나리오안’으로 제시된 2050년 기준 2개 안(A안 및 B안) 모두 산업부문의 배출 비중(흡수원 제외)이 전체 배출량 중 가장 큰 비중(A안(약 64%), B안(약 44%))을 차지하고 있는데, 이는 탄소중립 이행을 위해서 산업부문의 역할이 매우 중요함을 의미함
  - 산업부문에서 탄소중립 목표를 원활하게 달성하기 위해서는 산업부문 구성원으로 간주할 수 있는 기업들의 탄소중립 이행 가능성에 대해서 먼저 검토가 이루어져야 함

- 산업부문의 탄소중립을 위해서는 산업 대전환에 가까운 대규모 투자가 수반될 것으로 예상되므로, 기업 입장에서 이와 관련된 투자 시행 시 기업 운영에 어떤 영향을 미칠지에 대한 분석이 필요한 상황임

## 2. 연구 목적

- 본 연구의 주요 목적은 탄소중립을 고려한 산업부문의 최적 투자관리 분석<sup>1)</sup>을 수행하는 것임
  - 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 분석을 위해 주요 산업부문을 선정하고, 해당 산업의 대표 기업 입장에서의 탄소중립 투자에 따른 경제적 타당성 확보 여부를 분석하고자 함
  - 본 연구에서는 탄소중립 관련 투자 이후 기업 운영 환경에 내포된 불확실성을 고려한 경제적 타당성 확보 여부를 확인하고자 하며, 이를 위해 실물옵션을 활용한 분석 모형을 구축하고 해당 모형을 활용하여 시뮬레이션 분석을 진행하고자 함
  - 기업들의 탄소중립 이후 운영 환경 변화는 그 누구도 정확하게 예상하기 어려우므로, 기업의 수익 및 비용 구조 변화에 대한 상황을 시나리오별로 가정한 뒤 해당 시나리오 하에서의 시뮬레이션 분석을 통해 기업의 탄소중립 투자에 따른 경제적 타당성 확보 여부를 확인하고자 함

---

1) 본 연구에서의 최적 투자관리 분석은 기업 입장에서 탄소중립 관련 투자에 내포된 불확실성을 고려하면서 경제성을 확보할 수 있는 최적 투자시점을 투자 임계값 형태로 산출하는 것을 의미한다. 이는 기업의 최적 투자규모를 산출하는 것과 다른 개념이며, 탄소중립 관련 투자규모는 시나리오별 가정을 통해 설정되었음을 밝힌다.

## 제2절 연구 방법 및 주요 내용

### 1. 연구 방법

#### ○ 연구 범위

- 본 연구에서는 탄소중립 관련 주요 현황들을 검토한 뒤, 산업부문의 탄소중립 관련 투자 적정성에 대해 분석함
- 탄소중립 관련 주요 현황 검토를 위해 탄소중립과 관련된 주요 통계, 연구, 제도 현황을 검토함
- 산업부문의 탄소중립 관련 투자 적정성 분석을 위해 탄소 다배출 산업으로 분류되는 산업부문을 주요 산업부문으로 간주하고, 해당 산업부문의 대표 기업을 분석 대상으로 선정함
- 그리고 기업 운영 과정에서의 불확실성과 기업 운영에 따른 수익 및 비용과 관련된 다양한 요소들의 변화를 고려하여, 분석 대상 기업들의 탄소중립 관련 투자 이후 경제적 타당성 확보 가능성을 분석함

#### ○ 연구 방법

- 탄소중립 관련 주요 통계 검토
  - 탄소중립 이행과 직·간접적인 연관성을 가지는 사회 및 경제 활동 관련 주요 통계 현황을 검토함
- 탄소중립 관련 기존 문헌 검토
  - 탄소중립과 관련된 산업부문 대응 및 투자관리 분석에 대한 연구 현황을 검토함
  - 탄소중립과 관련된 주요 법률 및 계획 현황을 검토함
- 분석 모형 구축 및 시뮬레이션 분석을 위한 전문가 자문 진행
  - 기업의 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성 검토를 위해, 실물 옵션 분석 모형 구축 및 이를 활용한 시뮬레이션 분석에 관한 전문가 자문을 진행함

## 2. 주요 내용

- 탄소중립 관련 주요 현황
  - 통계 현황
    - 인구 및 생산 현황
    - 에너지 소비 및 온실가스 배출 현황
  - 연구 현황
    - 산업부문 대응 관련 연구 현황
    - 실물옵션 관련 연구 현황
  - 제도 현황
    - 법률 및 계획 현황
- 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 시뮬레이션 분석
  - 분석 모형
    - 실물옵션 개요 설명
    - 실물옵션 기반 분석 모형 구축
  - 최적 투자관리 시뮬레이션 분석
    - 시뮬레이션 분석 위한 시나리오 구성
    - 시나리오별 시뮬레이션 분석 결과 정리



## 탄소중립 관련 주요 현황

제1절 통계 현황

제2절 연구 현황

제3절 제도 현황



## 제2장 탄소중립 관련 주요 현황

### 제1절 통계 현황

#### 1. 인구 및 생산 현황

##### (1) 인구 현황

- 2021년 기준 총 주민등록인구는 약 5,164만 명으로 21년간 0.36%의 연평균 증가율을 보였으며, 수도권 및 충청권의 연평균 증가율은 전국 연평균 증가율을 상회하는 0.76% 및 0.70%인 것으로 나타남

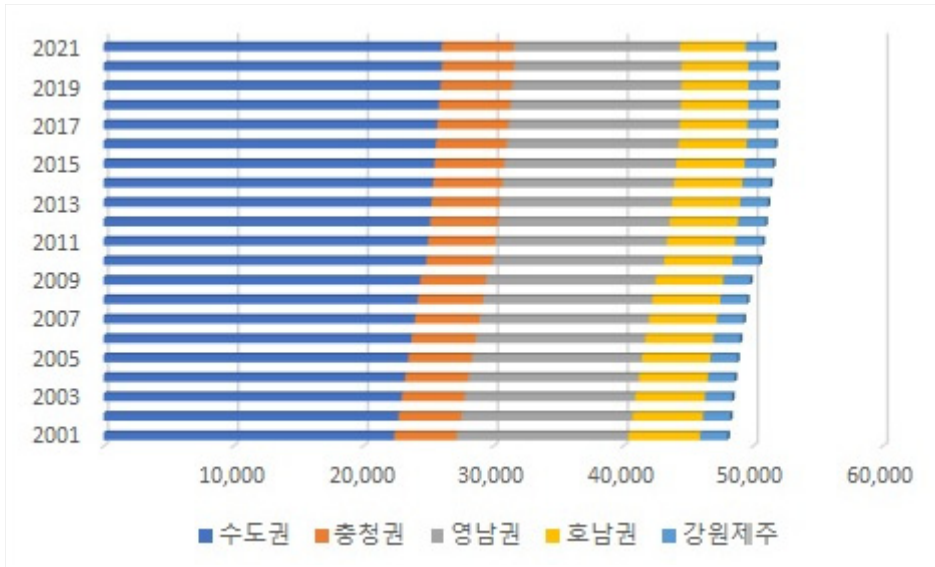
[표 2-1] 국내 권역별 주민등록인구

(단위: 천 명, %)

연도	수도권	충청권	영남권	호남권	강원·제주	총계
2001	22,372	4,818	13,242	5,490	2,099	48,022
2002	22,713	4,820	13,202	5,406	2,090	48,230
2003	22,951	4,835	13,154	5,368	2,079	48,387
2004	23,215	4,886	13,112	5,294	2,077	48,584
2005	23,465	4,906	13,086	5,254	2,071	48,782
2006	23,712	4,935	13,062	5,219	2,064	48,992
2007	23,963	4,978	13,059	5,206	2,063	49,269
2008	24,186	5,019	13,069	5,197	2,069	49,540
2009	24,379	5,049	13,068	5,201	2,076	49,773
2010	24,857	5,129	13,186	5,242	2,101	50,516
2011	24,988	5,180	13,202	5,252	2,113	50,734
2012	25,133	5,232	13,209	5,252	2,122	50,948
2013	25,258	5,275	13,219	5,253	2,136	51,141
2014	25,364	5,329	13,230	5,253	2,152	51,328
2015	25,471	5,391	13,243	5,251	2,174	51,529
2016	25,590	5,446	13,230	5,238	2,192	51,696
2017	25,680	5,494	13,183	5,215	2,207	51,779
2018	25,797	5,530	13,110	5,179	2,210	51,826
2019	25,926	5,539	13,028	5,144	2,212	51,850
2020	26,038	5,542	12,926	5,106	2,217	51,829
2021	26,023	5,541	12,798	5,061	2,215	51,639
CAGR	0.76	0.70	-0.17	-0.41	0.27	0.36

자료: 통계청, 국가통계포털 내 주민등록인구 자료 참고하여 재정리함.

(단위: 천 명)



자료: 통계청, 국가통계포털 내 주민등록인구 자료 참고하여 재정리함.

[그림 2-1] 국내 권역별 주민등록인구 그래프

## (2) 생산 현황

- 2021년 국내총생산(Gross Domestic Production, GDP)은 약 1,916조 원이며, 21년간 3.58%의 연평균 증가율을 보임
  - 경제활동별 부가가치를 살펴보면, 2021년 기준 서비스업 1,075조 원, 제조업 517조 원, 건설업 86조 원에 이르는 것으로 나타남
  - 21년간 경제활동별 부가가치의 연평균 증가율을 살펴보면, 서비스업 3.64%, 제조업 4.52%, 건설업 1.18%에 이르는 것으로 나타남
  - 경제활동별 부가가치의 가장 큰 비중을 차지하는 것은 서비스업이지만 과거 통계 기반의 연평균 증가율 관점에서 제조업의 부가가치가 가장 크게 증가한 것으로 나타났으며, 상대적으로 강한 것으로 평가되는 제조업 경쟁력에 영향을 받은 것으로 판단됨

**[표 2-2] 국내 GDP(실질) 및 경제활동별 부가가치 현황**

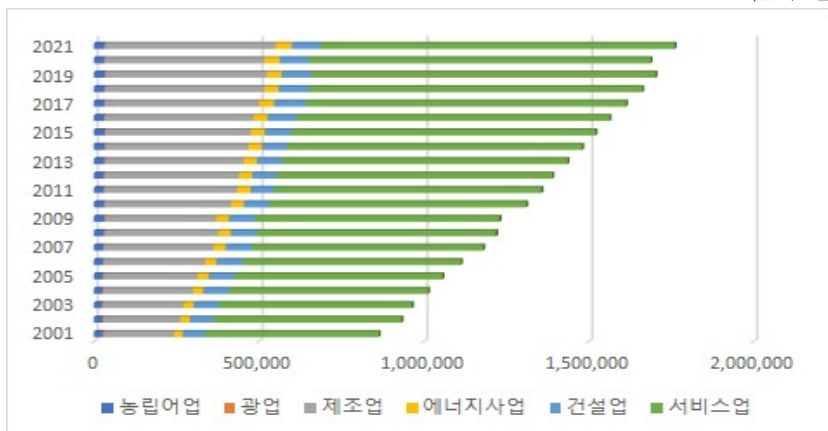
(단위: 십억 원, %)

연도	GDP	농림 어업	광업	제조업	수도·전기 ·가스	건설업	서비스업
2001	947,395	27,180	3,407	213,365	25,710	67,899	526,377
2002	1,020,582	26,360	3,393	233,593	27,936	70,743	570,718
2003	1,052,703	24,738	3,470	245,340	28,924	76,829	584,947
2004	1,107,416	26,642	3,333	270,703	30,886	78,338	603,821
2005	1,155,130	26,794	3,256	285,096	33,077	78,384	630,414
2006	1,215,940	27,414	3,219	307,506	33,982	78,981	661,440
2007	1,286,459	28,783	3,031	332,669	35,333	80,858	699,783
2008	1,325,219	30,636	3,028	344,459	36,616	78,208	726,755
2009	1,335,724	32,056	2,952	336,416	38,327	79,283	741,372
2010	1,426,618	30,888	2,661	382,243	39,918	76,144	779,212
2011	1,479,198	30,571	2,346	402,282	39,823	72,505	809,610
2012	1,514,737	30,420	2,260	407,960	40,543	72,170	836,807
2013	1,562,674	31,697	2,356	420,493	39,510	75,294	866,808
2014	1,612,718	33,307	2,363	433,854	40,511	76,415	894,041
2015	1,658,020	33,225	2,145	441,134	41,760	81,174	921,470
2016	1,706,880	31,353	2,296	451,294	41,263	89,140	948,419
2017	1,760,812	32,060	2,205	468,070	43,814	94,369	973,106
2018	1,812,005	32,109	2,042	483,530	43,083	91,741	1,010,423
2019	1,852,666	33,373	1,916	488,935	44,928	89,366	1,044,554
2020	1,839,523	31,442	1,853	483,691	46,762	88,193	1,036,169
2021	1,915,778	32,634	1,880	517,025	48,610	85,902	1,075,382
CAGR	3.58	0.92	-2.93	4.52	3.24	1.18	3.64

자료: 통계청, 국가통계포털 내 경제활동별 국내총생산 자료 참고하여 재정리함.

주: 부문별 수치는 부가가치를 의미하며, 총합은 GDP 수치와 차이가 있음.

(단위: 십억 원)



자료: 통계청, 국가통계포털 내 경제활동별 국내총생산 자료 참고하여 재정리함.

**[그림 2-2] 국내 GDP(실질) 및 경제활동별 부가가치 그래프**

## 2. 에너지 소비 및 온실가스 배출 현황

### (1) 에너지 소비 현황

- 2020년 기준 최종 에너지 소비는 2.2억 toe(ton of oil equivalent)에 달하는 것으로 나타났으며, 20년간 1.99%의 연평균 증가율을 보임
- 2020년 기준 부문별 최종 에너지 소비는 산업부문이 1.4억 toe로 가장 높은 것으로 나타났으며, 가정·상업부문 및 수송부문에서 각각 0.4억 toe에 달하는 것으로 나타남

[표 2-3] 부문별 최종 에너지 소비 현황

(단위: 천 toe, %)

연도	산업	가정·상업	수송	공공	최종
2001	85,562	32,639	31,910	2,991	153,103
2002	89,755	34,160	33,765	3,196	160,876
2003	91,400	34,786	34,634	3,730	164,550
2004	93,650	34,566	34,635	3,600	166,452
2005	95,578	36,336	35,534	4,095	171,543
2006	98,577	35,921	36,522	3,853	174,873
2007	104,866	35,941	37,059	4,150	182,015
2008	106,902	36,286	35,756	4,110	183,054
2009	106,053	35,829	35,892	4,305	182,080
2010	116,590	37,425	36,903	4,482	195,401
2011	125,332	38,265	36,842	4,800	205,239
2012	126,368	38,603	36,783	5,214	206,968
2013	128,920	37,765	36,961	4,716	208,362
2014	132,897	35,627	37,241	4,683	210,448
2015	133,416	37,021	39,851	5,101	215,389
2016	135,698	38,721	42,271	5,246	221,936
2017	142,519	39,860	43,183	5,461	231,023
2018	143,498	41,334	42,969	5,567	233,368
2019	142,903	40,056	42,996	5,399	231,353
2020	137,964	39,912	39,436	5,251	222,563
CAGR	2.55	1.06	1.12	3.01	1.99

자료: 에너지경제연구원, 에너지수급통계 자료 참고하여 재정리함.

(단위: 천 toe)



자료: 에너지경제연구원, 에너지수급통계 자료 참고하여 재정리함.

### [그림 2-3] 부문별 최종 에너지 소비 그래프

- 2020년 기준 에너지원별 최종 에너지 소비 현황을 살펴보면, 석유, 전력, 석탄을 중심으로 소비 구조가 형성되어 있음을 확인할 수 있음
  - 석유의 2020년 최종 에너지 소비는 1.1억 toe에 이르는 것으로 나타났으며, 20년간 0.82%의 연평균 증가율을 보임
  - 전력의 2020년 최종 에너지 소비는 0.4억 toe에 이르는 것으로 나타났으며, 20년간 3.65%의 연평균 증가율을 보임
  - 석탄의 2020년 최종 에너지 소비는 0.3억 toe에 이르는 것으로 나타났으며, 20년간 2.14%의 연평균 증가율을 보임
  - 신재생에너지를 통한 최종 에너지 소비는 20년간 7.38%의 연평균 증가율을 보였으나, 그 비중은 아직 미미한 것으로 나타남

[표 2-4] 에너지원별 최종 에너지 소비 현황

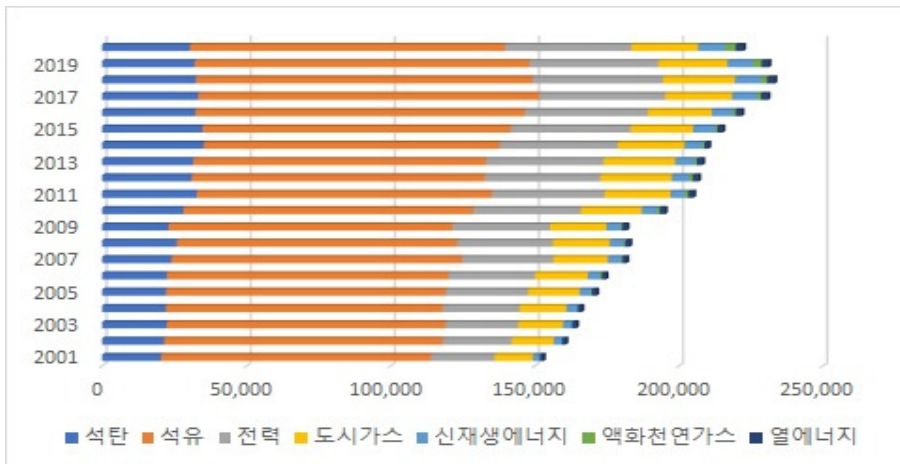
(단위: 천 toe, %)

연도	석탄	석유	전력	도시가스	신재생에너지	액화천연가스	열에너지	최종
2001	20,357	93,617	22,165	13,290	2,456	0	1,218	153,103
2002	21,485	96,635	23,947	14,567	2,925	0	1,316	160,876
2003	22,428	96,669	25,250	15,470	3,210	0	1,523	164,550
2004	22,100	95,942	26,840	16,193	3,928	0	1,449	166,452
2005	22,154	97,076	28,588	17,811	3,896	367	1,652	171,543
2006	22,461	97,665	29,990	18,379	4,092	738	1,549	174,873
2007	24,057	100,720	31,700	18,955	4,491	518	1,576	182,016
2008	25,879	97,316	33,116	19,765	4,747	564	1,668	183,054
2009	23,015	98,516	33,925	19,459	4,867	589	1,709	182,080
2010	28,189	100,519	37,338	21,081	5,346	989	1,939	195,401
2011	32,860	102,294	39,136	22,871	4,850	1,252	1,976	205,239
2012	31,017	101,683	40,127	24,728	6,156	1,156	2,102	206,969
2013	31,603	101,522	40,837	24,878	6,639	813	2,070	208,362
2014	35,198	102,664	41,073	23,041	6,175	769	1,528	210,448
2015	34,849	106,854	41,594	21,678	7,595	851	1,967	215,389
2016	32,342	114,264	42,745	22,186	7,173	1,044	2,183	221,936
2017	33,360	118,289	43,666	23,258	8,638	1,370	2,441	231,023
2018	32,480	116,831	45,249	24,979	9,110	2,038	2,682	233,368
2019	32,057	116,125	44,763	23,943	8,910	2,909	2,647	231,354
2020	30,457	109,344	43,797	23,100	9,493	3,602	2,770	222,563
CAGR	2.14	0.82	3.65	2.95	7.38	16.45	4.42	1.99

자료: 국가에너지통계포털, 최종 에너지 소비 자료 참고하여 재정리함.

주: 액화천연가스의 연평균 증가율은 2005년부터 계산함.

(단위: 천 toe)



자료: 국가에너지통계포털, 최종 에너지 소비 자료 참고하여 재정리함.

[그림 2-4] 에너지원별 최종 에너지 소비 그래프



## (2) 온실가스 배출 현황

- 2019년 기준 국내 온실가스 총 배출량은 7.0억 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 19년간 1.72%의 연평균 증가율을 보였으며, 순 배출량은 약 6.6억 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 19년간 2.07%의 연평균 증가율을 보임

[표 2-5] 온실가스 총 배출량 및 순 배출량

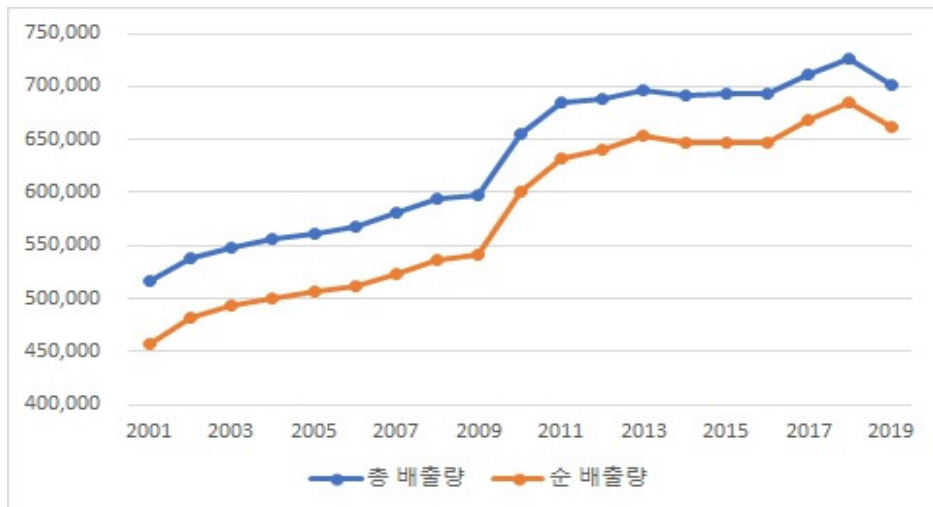
(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq., %)

연도	총 배출량	순 배출량	연도	총 배출량	순 배출량
2001	515,955	457,546	2011	684,703	631,443
2002	538,406	482,275	2012	688,035	639,994
2003	548,762	493,177	2013	697,309	653,919
2004	557,012	500,145	2014	692,101	647,719
2005	561,472	506,510	2015	692,576	647,012
2006	566,998	510,829	2016	693,612	647,071
2007	580,341	523,528	2017	710,743	668,186
2008	593,991	536,386	2018	727,045	684,959
2009	598,001	540,874	2019	701,370	661,820
2010	656,049	601,295	CAGR	1.72	2.07

자료: 국가에너지통계포털, 온실가스 배출량 자료 참고하여 재정리함.

주: 온실가스 순 배출량은 총 배출량에서 흡수원만큼 차감한 값을 의미함.

(단위: 천톤 CO<sub>2</sub>eq.)



자료: 국가에너지통계포털, 온실가스 배출량 자료 참고하여 재정리함.

[그림 2-5] 국내 온실가스 배출 그래프

- 2019년간 부문별 국내 온실가스 배출량을 살펴보면, 에너지부문이 6.1억 톤 CO2eq.로 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 19년간 2.03%의 연평균 증가율을 보임

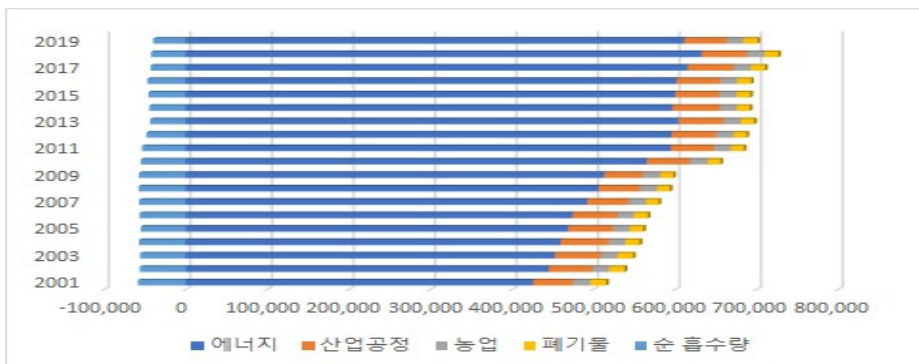
[표 2-6] 부문별 온실가스 배출량

(단위: 천톤 CO2eq., %)

연도	에너지	산업공정	농업	폐기물	순 흡수량
2001	425,929	49,389	20,868	19,769	-58,409
2002	445,255	53,683	20,731	18,737	-56,131
2003	452,963	56,489	20,474	18,836	-55,584
2004	460,071	58,665	20,568	17,709	-56,866
2005	469,373	54,562	20,739	16,799	-54,962
2006	474,785	54,323	20,845	17,045	-56,169
2007	492,405	51,061	21,071	15,805	-56,813
2008	506,555	50,710	21,146	15,581	-57,605
2009	513,042	47,778	21,655	15,527	-57,127
2010	565,692	52,936	22,070	15,350	-54,754
2011	594,655	52,908	21,121	16,019	-53,260
2012	596,004	54,423	21,470	16,138	-48,041
2013	604,525	55,062	21,348	16,374	-43,390
2014	596,943	57,908	21,374	15,875	-44,382
2015	600,256	54,497	20,984	16,839	-45,564
2016	602,214	53,467	20,810	17,122	-46,541
2017	615,605	56,453	20,958	17,727	-42,557
2018	632,572	55,795	21,136	17,543	-42,086
2019	611,499	51,994	20,965	16,912	-39,550
CAGR	2.03	0.29	0.03	-0.86	-2.14

자료: 국가에너지통계포털, 온실가스 배출량 자료 참고하여 재정리함.

(자료 Gg CO2eq.)



자료: 국가에너지통계포털, 온실가스 배출량 자료 참고하여 재정리함.

[그림 2-6] 부문별 온실가스 배출량 그래프

## 제2절 연구 현황

### 1. 개요

- 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 분석을 진행하기에 전에 관련 연구 현황에 대해서 살펴보고자 함
  - 연구 현황은 크게 탄소중립에 대한 산업부문 대응 관련 연구와 최적 투자관리 분석을 위한 분석 모형으로 활용될 실물옵션 모형 관련 연구로 구분하여 정리하고자 함
- 산업부문 대응 관련 연구
  - 넓은 의미에서의 탄소중립 관련 산업부문 대응 관련 연구는 기후변화 및 온실가스 감축(적응)을 주제로 다루거나 핵심적 이슈로 다룬 연구들이 꾸준히 진행되어 왔음
  - 2020년 이후에는 탄소중립을 키워드로 하는 연구수요가 증가하면서 탄소중립을 실현을 위한 국가발전 전략이나 특정 산업군의 대응 등에 관한 연구가 다수 진행되고 있으며, 탄소중립 과정에서 논의가 필요한 사항을 발굴하고 이에 대한 분석을 수행함
- 실물옵션 관련 연구
  - 본 연구에서는 탄소중립을 고려한 최적 투자관리 분석을 위해 실물옵션 분석 모형을 활용하므로, 이와 관련된 연구 현황을 살펴봄
  - 실물옵션은 투자 사업에 내포된 불확실성을 고려하여 최적 투자관리 분석을 위해 활용되는 분석 방법임<sup>2)</sup>
  - 관련 연구는 해외를 중심으로 탄소중립과 연계 가능한 투자 사업들의 불확실성을 반영한 가치 평가 및 대응 방안 모색을 위해 이루어짐

---

2) 실물옵션과 관련된 구체적인 설명은 본 연구의 제3장 1절 분석 모형에서 제시함.

[표 2-7] 탄소중립 관련 연구 리스트

주제	저자(연도)	연구명
산업대응	European Parliament (2021)	Moving towards Zero-Emission Steel : Technologies Available, Prospects, Timeline and Costs
	OECD(2019)	Low and zero emissions in the steel and cement industries
	Swennenhuis, Floris. et al. (2022)	Towards a CO2-neutral steel industry: Justice aspects of CO2 capture and storage, biomass- and green hydrogen-based emission reductions
	송홍선 (2022)	2050 탄소중립을 위한 자본시장의 변화와 발전 과제
	박종욱, 이나윤 (2021)	기후변화 대응이 산업에 미치는 영향
실물옵션	Zhang, Xian, et al. (2014)	A novel modeling based real option approach for CCS investment evaluation under multiple uncertainties
	Acciaro, Michele. (2014)	Real option analysis for environmental compliance: LNG and emission control areas
	Wang, Xiping, and Du, Lei. (2016)	Study on carbon capture and storage (CCS) investment decision-making based on real options for China's coal-fired power plants
	Abadie, Luis M., et al. (2017)	Carbon risk and optimal retrofitting in cement plants: An application of stochastic modelling, MonteCarlo simulation and Real Options Analysis
	박호정 (2005)	배출권 가격 불확실성을 고려한 기업의 환경투자 실물옵션 연구
	박호정·남영식 (2018)	전력가격 평균 회귀성을 고려한 연료전지 발전의 실물옵션 분석
	남영식·이재형 (2020)	태양광 REC 최적 거래 방식에 관한 연구

자료: 저자 작성.

## 2. 산업부문 대응 관련 연구 현황

### (1) Moving towards Zero-Emission Steel : Technologies Available, Prospects, Timeline and Costs(European Parliament, 2021)

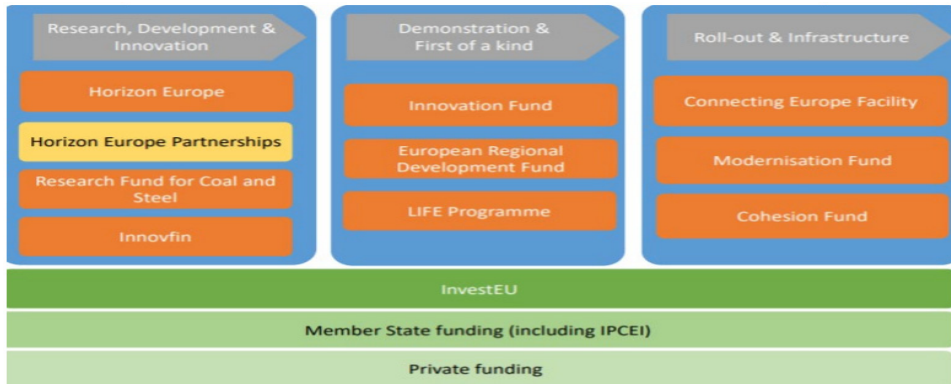
#### ○ 연구목적

- 철강산업에서 탄소중립(Zero-emission) 달성을 위해 도입 가능한 기술 옵션과 EU 차원에서 사용 가능한 자금 흐름의 적절성 평가와 유럽의회 위원회(EU Parliament Committee)의 "Fit for 55" 패키지를 고려한 유럽 철강 산업의 탈탄소 경로 평가를 목적으로 함
- 유럽의회(EU Parliament)가 산업, 연구 및 에너지 위원회(ITRE)에 요청함에 따라 연구가 수행됨

#### ○ 주요 내용

- 사용 가능한 기술적 옵션과 활용 가능한 자금도입 방안을 고려할 때, 전통적인 철강 산업 생산공정에 기반한 옵션으로는 철강 산업에 요구되는 배출량 감소 수준 달성은 어려움
- 현재 도입 가능한 기술 수준과 비용을 분석하였으며 현재의 철강생산 방식으로는 획기적인 절감이 어려우며, 장기적 관점에서 기술발전이 요구됨
- 사례분석(Case study)을 통해 기업의 인터뷰를 수행하였고, 기업에 현재 도입된 재생에너지 지침(RED), 에너지 효율 지침(EED), 에너지 과세 지침(Energy Taxing Directive) 및 EU ETS 등 산업계에 전달하는 정책의 일관성이 부족하여 기업 입장에서 전략적 선택의 어려움이 있음을 제시함
- 탄소중립(Zero-Emission)이 가능한 옵션을 사용하려면 현행 철강 산업과 관련 산업 전반에 걸친 기술 수준 향상이 필요함
- 특히 친환경 전력시스템(Green electricity), 수소, 및 CCS/CCUS 인프라 등 새로운 기술의 광범위한 가용성 확보의 병행이 요구됨

- 탄소중립을 위한 철강 산업의 대응을 위해선 재생에너지, 저장 및 인프라에 대한 더 많은 투자가 필요한데, TRL(Technology Readiness Level)이 낮은 기술에서 많은 실증 프로젝트가 필요함
- 특히 기업/산업 입장에서 투자에 대한 위험을 제거할 수 있는 정책적 메커니즘과 획기적인 기술에 대한 연구개발투자를 장려할 것을 제안함
- 탈탄소에 관한 기술적 옵션 선택의 유연성은 부존 천연자원과 인프라를 포함한 지역 특성에 따라 차이가 존재할 수 있음
- 또한, 산업 측면에서 탈탄소화 전략을 수행하는 과정에서 직업/직장이 사라질 수 있다는 점을 고려하면서, 탈탄소를 위한 전환/변화 과정에서 바람직하지 않은 사회적 결과를 완화하기 위한 노력이 필요함



자료: ESTEP AISBL(2020), Proposal for a European Partnership under Horizon Europe Clean Steel – Low Carbon Steelmaking.

[그림 2-7] EU programmes supporting the decarbonisation of the steel industry

## (2) Low and zero emissions in the steel and cement industries (OECD, OECD 2019 GGSD Forum, 2019)

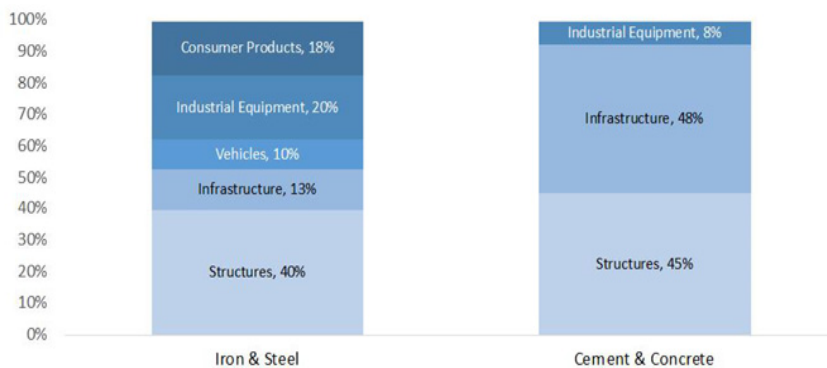
### ○ 연구목적

- 2019년 GGSD 포럼 내 “Driving innovation for greening heavy industries” 논의 차원에서 연구를 수행함
- 철강 및 시멘트 산업의 탈탄소화에 대한 주요 장벽과 가능한 해결책에 대한 논의결과를 제시함

- 저탄소 전환을 방해하는 경제적, 규제적, 기술적, 정치적 경제 장벽을 설명하고 탈탄소화를 촉발하는 데 기여할 수 있는 정책패키지를 논의함
- 산업 내 환경성을 강화하는데 있어 연·원료 효율성과 향상된 재활용의 역할을 다루고, 새로운 상용화 가능한 저배출 또는 제로 배출 생산 기술을 검토함

○ 주요 내용

- 철강과 시멘트(콘크리트 포함) 산업은 세계 경제의 발전 주요 요소이면서 산업 및 생활 인프라구축 과정에 필수적이지만, 대표적인 탄소 다배출산업이라는 점에서 발전과 탄소 배출량 저감이라는 목표를 동시에 달성하기 위해 더 큰 노력이 필요함
- 시멘트와 철강 부분은 전 세계 에너지 연소 및 산업공정 배출량에서 각각 6~8% 수준의 큰 비중을 차지함
- 특별한 대책이 도입되지 않고 현재의 전망대로 배출된다면, 2060년에는 배출량이 두 배에 이를 것으로 예상됨
- 생산과정의 배출량을 줄이기 위해서는 새로운 공정, 기존 노후시설의 조기 퇴출, 원재료 대체, 부품 재사용 등 모든 과정에 걸친 혁신이 필요함



자료: OECD, OECD 2019 GGSD Forum 10p.

**[그림 2-8] End-uses for iron & steel and cement & concrete, as a volume proportion of all use**

- 철강과 시멘트 산업 내 탄소배출을 줄일 수 있는 공정 변화, 대체연료 개발 현황, 신기술 도입 가능성 등을 검토하고 산업경쟁력을 유지할 수 있도록 탄소중립 이행을 위한 비용 부담 수용이 필요함
- 신기술 도입과정에서 발생하는 비용과 제품가격의 인상 등 경제적 타격이 필연적이라는 점과 현재의 투자 및 비용 회수에 대한 불확실성을 제거할 수 있는 정치적 및 경제적으로 잘 설계된 정책패키지가 필요함

**(3) Towards a CO<sub>2</sub>-neutral steel industry: Justice aspects of CO<sub>2</sub> capture and storage, biomass and green hydrogen-based emission reductions (Swennenhuis, Floris. et al., Energy Research & Social Science Volume 88, 2022)**

○ 연구목적

- 탄소중립을 달성하기 위한 기업의 투자와 전략으로 인해 기존의 사회경제체제를 유지하던 이해관계자 간의 불평등과 불공정한 변화를 겪을 수 있다는 점을 지적하면서, 어떠한 방식이 지역사회의 지속가능성과 공존에 적합한지를 기존의 문헌을 바탕으로 살펴봄

○ 주요내용

- 탄소중립을 위한 세심한 전략을 마련하고 지속가능한 전환을 시도하지 않을 경우 기존의 이해관계자들 사이에 미치는 영향이 불균등하게 나타날 수 있으며, 이해당사자별로 긍정적 혹은 부정적인 사회경제적 영향을 주기 때문에 공정의 문제로 귀결될 수 있음
- 이 연구에서는 기존 사회체제 내의 이해관계자가 겪을 수 있는 불공정한 전환의 우려를 해결할 수 있도록 현재의 배출원이 배출량을 줄일 때 선택할 수 있는 대표적인 옵션을 공정의 관점에서 살펴봄
- 이를 위해 철강 산업을 대상으로 관련 옵션을 살펴보았으며, 첫째로 CO<sub>2</sub> 포집 및 저장(CCS)(최대 70% 저감 가능), 둘째로 바이오 기반 제강(최대 50% 저감 가능), 마지막으로 그린수소 기반의 철강 생산(최대 100% 저감 가능)을 검토함



- 제시된 세 가지 옵션에 대해서 에너지, 기후, 노동 및 환경 정의에 관한 선행연구 및 관련 문헌에서 공정의 지표를 선정하였으며, 해당 지표들을 바탕으로 각 기술 옵션별로 발생 가능한 상황을 고려한 정성적 평가를 진행함
- 각 옵션은 공정에 관한 지표에 따라 다르게 평가될 수 있으며 특히 이해관계자에게 미치는 영향이 지역에 따라 다르게 나타날 수 있으므로, 지역사회가 특정 산업에 가지는 경제적 의존성 및 환경영향으로 인해 각 지역별로 옵션에 대한 평가가 달라질 수 있음
- 철강 산업 내 옵션 중 CCS나 바이오 기반 제철 경로는 기존의 산업이 유지될 수 있다는 점에서 경제적 이익이 해당 지역을 중심으로 공유될 수 있고, 수소 기반 제철 공정을 도입할 경우 환경 문제에 대한 대응력이 더 강한 것으로 평가됨
- 탄소중립을 위한 기술의 발전과 선택과정에서 지속가능한 전환과 공정이라는 측면에서 의사결정과 기술 수준에 대한 투명성 확보의 필요성을 시사점으로 제시함

**(4) 2050 탄소중립을 위한 자본시장의 변화와 발전 과제(자본시장포커스, 자본시장연구원, 송홍선, 2022)**

○ 연구목적

- 탄소중립을 위한 변화 측면에서 기존의 금융 및 자본시장의 변화 양상을 살펴보고, 탄소중립을 지원하기 위한 자본시장의 과제와 발전 방향을 제안함

○ 주요 내용

- UNFCCC의 기후변화 협상 과정과 파리협정 등 논의결과에서 기후변화 대응을 위한 기후금융(Climate Finance)의 중요성을 거듭 강조하고 있지만, 국내외에서 기후금융의 성장 속도나 자본시장 인프라 개선 속도, 금융회사의 탄소중립을 위한 준비가 빠르지 않음
- 금융은 자본시장 내에서 포트폴리오 넷 제로(Net Zero)를 구성하여

산업계의 탄소중립을 지원할 수 있는 자원배분 기능을 가진다는 점을 강조함

- 금융시장을 활용할 경우 탄소중립 실현과정에서 얻을 기회와 위험을 관리하는 역할을 수행할 수 있음
- 최근 사회적 책임투자의 질적 지표에 해당하는 ESG 점수가 자본시장의 지표로서 역할을 하고 자본시장의 투명성과 신뢰가 훼손되지 않도록, 녹색분류체계, 평가체계, 방법론, 평가기관 등 자본시장 인프라 등에 대한 규제와 관리·감독 강화가 필요함
- 또한 기업의 사업 및 투자 포트폴리오 넷 제로를 탄소중립으로 인한 규제로 해석하기보다는, 저탄소 분야를 중심으로 시장이 재편되는 글로벌 자산시장의 변화를 고려하여 글로벌 자산시장에서 나타나는 자산 배분의 대전환에 대응하는 전략이 필요함
- 저자는 포트폴리오 넷 제로 투자 전략이 환경성을 강조한 기만적 경영 전략에 해당하는 그린워싱(green washing)으로부터 투자자를 보호할 수 있는 자본시장의 발전전략이자 투자자 보호장치임을 설명함

#### **(5) 기후변화 대응이 산업에 미치는 영향(박종욱, 이나윤, 한국은행 조사통계월보 제75권 제9호, 2021)**

##### ○ 연구목적

- 2000년 이후 우리나라의 산업별 이산화탄소 배출량 현황을 바탕으로 탄소가격정책(탄소세)에 의한 산업별 영향을 생산비용 및 산업구조 측면에서 분석함
- 탄소가격정책이 도입되어 탄소배출을 규제하는 상황에서 관련 기술과 정책이 이를 뒷받침하지 않을 경우 산업별 생산비용 및 산업구조에 미치는 영향을 분석함

##### ○ 주요내용

- 우리나라의 산업부문에서 기인한 이산화탄소 배출량에 대해서 구조분해를 수행한 결과, 지속적인 기술개발 등의 노력에도 불구하고 국내외

수요의 증가가 탄소배출 증가로 연결된 것으로 나타남

- 산업별로는 1차 금속제품, 화학제품 등은 수출 수요 확대가, 음식점 및 숙박서비스 등은 국내 수요 확대가 이산화탄소 배출을 주도한 것으로 분석됨
- 분석을 위해 시나리오<sup>3)</sup>를 설정하고 산업별로 탄소세율이 부과되도록 모형을 설정하였으며, 분석 결과를 통해 탄소배출 저감 노력이 수반되지 않으면 규제가 본격화될 때 주요 제조업의 생산위축과 수출감소를 유발할 수 있음을 제시함
- 또한 탄소중립을 위한 각 기업의 대응과 더불어 정부의 다양한 정책적 지원(배출저감장치 설치비용 지원, 에너지 사용 절감에 따른 인센티브 지급 등)을 통해, 탄소중립 이행과정의 부작용을 최소화할 필요가 있음을 제시함

### 3. 실물옵션 관련 연구 현황

(1) A novel modeling based real option approach for CCS investment evaluation under multiple uncertainties(Zhang, Xian, et al., Applied Energy, Volume 142, 2014)

#### ○ 연구목적

- 발전기업의 관점에서 두 가지 유형의 발전소에 대한 CCS 설비 도입에 대한 투자가치를 평가하기 위해 실물옵션 분석을 진행함

#### ○ 주요 내용

- 이 연구에서는 탄소 가격, 정부 인센티브, 연간 가동 시간, 발전소 수명, 기술 개선의 불확실성을 고려하여 분석 모형을 구축하였으며, 분석 결과, 설비 유형에 따른 투자 시점의 차이가 발생하며, 특히 CCS 기술에 대한 즉각적인 투자가 투자 지연에 비해 유리하지 않음을 확인함

---

3) 지구 평균온도 상승 폭을 산업화 이전대비 1.5~2.0℃ 이내로 억제하는 '시나리오 1'과 1.5℃ 이하로 억제하는 '시나리오 2'로 구분함.

- 분석 결과를 통해 설비 특성별로 신규설비 도입을 위한 탄소가격의 임계치를 고려할 때 최적 투자 시점이 각각 다르게 나타날 수 있음을 제시하였으며, 즉각적인 설비 도입을 위한 투자를 지지할 수 있을만큼의 적절한 탄소가격이 아직 형성되지 않은 것으로 나타남

**(2) Real option analysis for environmental compliance: LNG and emission control areas(Acciario, Michele., Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 28, 2014)**

○ 연구목적

- 선박 소유주들이 전통적인 해양 연료 대신 LNG를 수송할 수 있도록 선박을 개조하는 것에 대한 최적 투자 의사결정을 분석함

○ 주요 내용

- 전통적인 해상 연료와 LNG 연료 가격 차이를 고려한 실물옵션 모형을 활용하여, 선박 소유주가 기존 선박을 LNG 수송이 가능한 선박으로 개조하는 것에 대한 최적 투자시기를 분석함
  - 이 연구에서는 관련 투자 시 자본 비용 및 선박 개조에 요구되는 비용의 감소 수준과 더불어 미래의 연료 가격이 최적 투자 의사결정을 위한 주요 변수인 것으로 나타남
  - ECA(Emission Control Areas) 준수를 위해 채택될 수 있는 많은 조치는 선박 에너지 효율성을 개선할 수 있는 잠재력을 가지고 있지만, 다른 한편으로는 해당 조치와 관련된 가용성, 신뢰성 및 비용에 관한 다양한 불확실성이 지속되는 것으로 나타남

**(3) Study on carbon capture and storage(CCS) investment decision-making based on real options for China's coal-fired power plants (Wang, Xiping, and Du, Lei., Journal of Cleaner Production, Volume 112, 2016)**

○ 연구목적

- 실물옵션 분석 모형을 활용하여 중국 내 현재 운영 중인 석탄화력 발

전소에서 배출되는 온실가스에 대한 탄소포획 및 저장(CCS)을 위한 투자 성과를 분석함

○ 주요 내용

- 이 연구에서는 탄소가격, 화석연료가격, 투자 비용, 정부 보조금의 불확실성을 고려한 투자 성과 분석을 할 수 있는 분석 모형을 개발함
- 중국 내 운영 중인 일반적인 600MW급 석탄화력발전소를 분석대상으로 하였으며, 해당 시설에서 탄소배출을 줄이기 위한 CCS 투자 시 필요한 정부 보조금 수준을 살펴보기 위해 탄소가격을 복수의 시나리오로 구성하여 분석함
- 분석 결과, 현재의 탄소가격이 기업 입장에서 CCS 투자를 상쇄하기에 충분한 수준이 아닌 것으로 나타남

**(4) Carbon risk and optimal retrofitting in cement plants: An application of stochastic modelling, MonteCarlo simulation and Real Options Analysis(Abadie, Luis M., et al. Journal of Cleaner Production, Volume 142, 2017)**

○ 연구목적

- 몬테카를로 시뮬레이션과 실물옵션 모형을 활용하여, CO2 배출 집약도가 높고 배출량 비중이 높은 시멘트 산업을 중심으로 EU ETS 내 배출권 가격 위험을 고려한 관련 설비개선 최적 투자 의사결정을 분석함

○ 주요 내용

- 이 연구에서는 EU의 기후변화 정책에 의해 영향을 받는 탄소가격과 에너지 시장 내 연료가격의 불확실성을 고려한 시멘트 산업의 설비개선 최적 투자 의사결정 모형을 개발함
- 투자 환경에 내포된 불확실성을 확률적 과정으로 고려한 실물옵션 분석 모형과 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하여 투자와 관련된 위험 가치를 평가하였으며, 무상배출권 수준, 미래의 탄소가격 변동성 등에

따른 민감도 분석 또한 수행함

- 특히 실물옵션 분석 모형을 활용하여, 배출권 가격의 불확실성 하에서 습식 시멘트 공장을 건식 시멘트 공장으로 전환하기 위한 최적 수명 및 생산량 조건을 분석함

**(5) 배출권 가격 불확실성을 고려한 기업의 환경투자 실물옵션 연구  
(박호정, 경제학 연구, 제53권 4호, 2005)**

○ 연구목적

- 배출권거래제 하에서 투자의 비가역성과 배출권 가격 불확실성을 고려하여 기업 입장에서의 환경투자에 대한 최적 의사결정 모형을 분석하기 위해, 실물옵션 모형을 활용한 연구를 수행함

○ 주요 내용

- 분석 모형 구축 시 배출권이 예치 불가능한 경우와 예치 가능한 경우를 구분하였으며, 미국 ‘산성비 프로그램’ 데이터를 활용하여 분석한 결과 배출권 예치가 가능한 경우에 기업의 환경투자 인센티브가 제고되는 것으로 나타남
- 배출권 예치가 가능할 경우 기업이 환경투자를 통해 확보한 잉여 배출권을 상황에 따라 신축적으로 활용할 수 있기 때문에 환경투자 인센티브 제고가 가능한 것으로 제시함

**(6) 전력가격 평균 회귀성을 고려한 연료전지 발전의 실물옵션 분석(박호정·남영식, 자원·환경경제연구, 제27권 4호, 2018)**

○ 연구목적

- 연료전지 발전 시설 투자의 비가역성과 전력가격의 불확실성을 고려하여, 연료전지 발전 시설 투자자 입장에서의 실물옵션 모형을 활용한 투자 경제성을 분석함

## ○ 주요 내용

- 일반적으로 실물옵션 모형을 활용한 투자 의사결정 분석 시에는 불확실성의 확률과정을 기하학적 브라운 운동으로 반영하여 분석해 형태의 투자 임계값을 산출함
- 그러나 이 연구에서는 기하학적 브라운 운동의 확률과정을 반영한 투자 임계값뿐만 아니라, 평균회귀의 확률과정을 반영한 수치해석 기반의 투자 임계값 또한 산출하여 최적 투자시점을 비교 가능하게 제시함
- 전력가격의 투자 임계값의 규모는 기하학적 브라운 운동의 확률과정을 반영한 경우가 평균회귀의 확률과정을 반영한 경우보다 더 낮은 것으로 나타남
- 전력가격의 불확실성을 고려하지 않은 경우에는 연료전지 발전 시설 투자의 경제성이 확보되는 것으로 나타났으나 불확실성을 고려한 경우에는 투자 경제성 확보가 어려운 것으로 나타나, 대규모 투자에 대한 경제성 분석 시 불확실성을 고려한 투자 경제성 분석이 필요함을 확인할 수 있음

## (7) 태양광 REC 최적 거래 방식에 관한 연구(남영식·이재형, 자원·환경경제연구, 제29권 1호, 2020)

### ○ 연구목적

- 신재생에너지공급의무화(RPS) 제도 하에서 REC 현물시장 가격의 불확실성을 고려하여 소형 태양광 발전사업자 입장에서의 REC 거래 방식 최적 전환 시점을 분석하기 위해, 실물옵션 모형을 활용한 분석을 진행함

### ○ 주요 내용

- 소형 태양광 발전사업자들은 태양광 발전을 통해 확보 가능한 REC를 현물시장 또는 고정가격 방식으로 거래할 수 있음

- 할인율 및 고정가격 계약기간 관점에서의 민감도 분석 결과, REC 가격의 불확실성을 고려하지 않은 경우에는 기존의 현물시장거래 방식이 효과적인 것으로 나타났으나, REC 가격의 불확실성을 고려할 경우 고정가격거래 방식이 효과적인 것으로 나타남
- 분석 결과를 통해 RPS 의무 이행주체들의 입장을 고려하면서 소형 태양광 사업자들이 고정가격거래에 보다 원활하게 참여할 수 있도록 고정가격계약 경쟁입찰 용량을 확대하는 방안 모색이 필요함을 제시함



## 제3절 제도 현황

### 1. 법률 현황

#### (1) 2050 탄소중립위원회의 설치 및 운영에 관한 규정 [시행 2021. 5. 4.]

[대통령령 제31669호, 2021. 5. 4., 제정]

##### ○ 수립 배경 및 목적

- 탄소중립 실현을 위해 우리나라의 경제, 사회 등 모든 영역에서 정책을 추진할 수 있도록 법적 배경을 마련함
- 탄소중립 달성을 위한 산업 생태계를 조성하며, 추진과정에서 소외되는 계층이나 지역이 없도록 하는 등 새로운 사회로의 전환을 도모하기 위한 의사결정체인 2050 탄소중립위원회를 설치하여 탄소중립에 관한 사항을 관장하도록 함
- 2050 탄소중립위원회는 탄소중립에 대한 국가 비전, 탄소중립 이행 계획의 수립에 관한 사항 등을 심의하며 대통령실 소속으로 구성과 운영은 대통령령을 통해 정함

##### ○ 주요 내용

- 2050 탄소중립위원회의 설치 및 기능(제2조)
  - 탄소중립에 대한 국가 비전, 탄소중립 사회로의 전환을 위한 이행계획 수립 등에 관련된 사항을 심의하기 위하여 대통령 소속으로 2050 탄소중립위원회를 설치함
- 2050 탄소중립위원회의 구성(제3조)
  - 위원회는 위원장 2명을 포함하여 50명 이상 100명 이하의 위원으로 구성하도록 하고, 위원장은 국무총리와 탄소중립 사회로의 전환에 관하여 전문적인 지식이나 경험이 풍부한 사람으로서 대통령이 위촉하는 위원 중에서 대통령이 지명함

- 분과위원회 등의 설치(제8조)
  - 위원회의 업무를 효율적으로 수행하기 위하여 위원회에 분야별 분과 위원회를 두고, 분과위원회 업무 전반에 대한 총괄 조정과 원활한 운영을 위하여 위원회에 총괄기획위원회를 둠
- 국민정책참여단의 설치(제9조)
  - 위원회의 업무에 관한 국민 의견을 수렴하고, 정책 참여를 촉진하기 위하여 위원회에 국민정책참여단을 둠

## (2) 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 [시행 2022. 7. 1.]

[법률 제18469호, 2021. 9. 24., 제정]

### ○ 수립 배경 및 목적

- 전지구적인 기후변화와 기후위기에 대응하기 위해 2015년 파리에서 채택된 「파리협정」에 따라 당사국 모두는 자발적으로 온실가스 감축 목표를 수립하고 이행할 의무를 가짐
  - EU, 미국, 영국, 일본 등 세계 각국은 2050년까지 온실가스 순배출량 제로(0)를 제시하며 탄소중립을 선언하고 이에 부합하는 경제체제 구축 등을 시도하고 있으며, 이에 따라 우리나라도 2020년 7월 그린뉴딜 정책을 발표하고, 동해 10월 2050년 탄소중립을 선언함
- 본 법률 제정 이전에는 「저탄소 녹색성장 기본법」을 중심으로 기후위기 대응 체계를 구성하여 그간 우리나라 기후변화 대응 정책을 이끌어 옴
  - 「저탄소 녹색성장 기본법」에 따라 국가 온실가스 감축목표 설정과 온실가스 배출권거래제 출범의 기반을 다지는 등 관련 제도를 구축하고 기존의 법률 체계를 바탕으로 온실가스 감축 성과를 거두었으나, 탄소중립 사회로의 전환과 기후위기 대응이라는 전사회적 대응을 위해서 새로운 법률 체계가 요구됨
  - 해당 법 제정을 통해 국가기본계획의 수립·시행, 이행현황의 점검 등을 포함하는 기후위기 대응 체계를 정비하고, 기후변화영향평가 및 탄소흡수원의 확충 등 온실가스 감축시책과 국가·지자체·공공기관의

기후위기 적응대책 수립·시행, 녹색기술·녹색산업 육성·지원 등 녹색성장 시책을 포괄하는 정책수단과 이를 뒷받침할 기후대응기금 신설 규정 등 탄소중립 사회로의 이행과 녹색성장의 추진을 위한 제도 와 기반을 마련함

## ○ 주요 내용

- 국가비전 및 국가전략(제7조)
  - 정부는 2050년까지 탄소중립을 목표로 하여 탄소중립 사회로 이행하고 환경과 경제의 조화로운 발전을 도모하는 것을 국가비전으로 하며, 이를 실현하기 위한 국가전략을 수립함
- 중장기 국가 온실가스 감축 목표 등(제8조), 이행현황의 점검 등(제9조)
  - 정부는 국가비전을 달성하기 위한 중장기감축목표를 설정하고, 그 이행현황을 매년 점검하며, 중앙행정기관·지방자치단체·공공기관은 부진·개선사항을 해당 기관의 정책 등에 의무적으로 반영함
- 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획의 수립·시행(제10조), 시·도 계획의 수립 등(제11조, 제12조)
  - 정부는 국가비전 및 중장기감축목표를 달성하기 위해 20년을 계획기간으로 하는 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획을 5년마다 수립·시행함
  - 시·도지사 및 시장·군수·구청장은 국가기본계획과 관할 구역의 지역적 특성 등을 고려하여 10년을 계획기간으로 하는 시·도 탄소중립 녹색성장 기본계획 및 시·군·구 탄소중립 녹색성장 기본계획을 5년마다 수립·시행함
- 기후위기 적응 시책(제37조~제46조)
  - 정부·지방자치단체 및 기후위기 영향에 취약한 시설을 보유·관리하는 공공기관은 기후위기적응대책을 5년마다 수립·시행함
  - 기후위기 감시·예측, 지역 기후위기 대응사업, 기후위기 대응을 위한 물 관리, 녹색국토의 관리, 농림수산 전환 촉진, 국가 기후위기 적응센터 지정 등 기후위기 적응을 위한 제도·시책을 시행함

- 탄소중립 사회 이행과 녹색성장의 확산(제65조~제68조)
  - 지방자치단체의 탄소중립 사회 이행과 녹색성장 추진을 위한 탄소중립 지방정부 실천연대의 구성·운영, 녹색제품 등 생산·소비 문화의 확산, 녹색생활 운동 지원 및 교육·홍보, 탄소중립 지원센터 설립 등 탄소중립 사회 이행과 녹색성장이 사회 전반에 확산되도록 하기 위한 제도·시책을 시행함

### (3) 대기환경보전법 [시행 2022. 3. 25.] [법률 제18469호, 2021. 9. 24., 타법개정]

#### ○ 수립 배경 및 목적

- 국내 대기환경보전을 위한 관련 조항을 정비하여 대기질 개선을 통해 국민 건강과 환경 위해를 예방하는 것을 목적으로 법제정을 함
- 「대기환경보전법」에서는 관리대상이 되는 대기오염물질을 규정하고 각 물질별 배출환경기준과 관리방안을 법률로 정하고 있으며, 사업장, 생활환경, 자동차, 선박 등의 배출허용기준을 제시하고 검사와 규제에 대한 사항을 종합적으로 제시함
- 배출원별/오염물질별 이슈가 발생할 경우 대기환경보전법 내 환경위해로부터 국민건강을 보호한다는 법 제정 목적을 활용하여 하위법 또는 시행령을 통해 대응하고 있음
- 대기환경보전법은 기후변화 대응을 위해 온실가스 배출저감 및 환경위성을 통한 자료 분석 등의 기반을 마련함

#### ○ 주요 내용

- 상시 측정 및 환경위성 관측망의 구축운영 등(제3조), 측정망 설치계획의 결정 등(제4조)
- 배출원별 관측과 조사를 통해 정보를 수집하고 활용할 수 있는 기반을 마련하고, 대기오염도에 대한 정보를 국민에게 쉽게 접근할 수 있는 제도적 기반을 제공함

- 기후생태계 변화유발물질 배출 억제(제9조)
  - 해당 조항에서는 기후·생태계 변화 유발물질에 대한 국제적 협력과 관련 사업의 수행을 제시함
  - 특히 기후변화 관련 대국민 인식확산 및 실천지원, 전문인력 육성에 관한 법적인 근거를 제시함
- 대기환경개선 종합계획의 수립 등(제11조)
  - 대기환경 관리를 위한 국가 계획 중 최상위 계획에 해당하는 대기환경개선 종합계획에서 대기환경개선을 위한 비전과 전략 및 주요 대책을 제시함에 있어 국가온실가스 감축목표(2030 NDC) 및 탄소중립 계획 등 기후변화전략을 고려하도록 하고 있음
  - 대기환경개선 종합계획은 계획기간이 10년에 이르는 장기계획으로 이보다 짧은 미세먼지 관리 종합계획이나 대기환경관리 기본계획과의 정합성을 갖추고 있음
- 자동차 온실가스 배출관리(제76조)
  - 자동차제작자는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제32조 제2항과 대기환경보전법에서 각기 제시된 자동차 평균에너지 소비효율기준과 자동차 온실가스 배출허용기준 중 하나를 선택하여 준수하여야 함
  - 기존의 대기환경보전법과 신설된 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」을 통해, 자동차 배출 온실가스에 대한 관리가 이루어지고 있음

## 2. 계획 현황

### (1) 2050 장기 저탄소 발전 전략(20.12)

#### ○ 수립 배경 및 목적

- 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 제출한 우리나라 2050 장기저탄소발전전략(2050 LEDES)에서는 2050년 탄소중립을 2050 대한민국 비전으로 제시하고 탄소중립 달성을 위한 장기 발전전략을 2050년을 목표연도로 제시함

#### ○ 주요 내용

- 2050 장기저탄소발전전략에서는 ①깨끗하게 생산된 전기·수소의 활용 확대, ②에너지 효율의 혁신적인 향상, ③탄소 제거 등 미래기술의 상용화, ④순환경제 확대로의 산업의 지속가능성 제고, ⑤탄소흡수 수단 강화를 ‘2050 탄소중립 기본방향’으로 도출함
- 해당 전략에서는 전환, 산업, 건물, 수송, 폐기물, 농축산, 흡수원 각 부문별 감축수단을 목록화하여 제시하고 있으며, 제시된 감축수단을 바탕으로 2050 탄소중립에 대한 구체적인 감축수단과 세부계획 등은 현재 환경부 등 관련부처 및 전문가 협의과정을 거쳐 제시될 예정임

### (2) 탄소중립 추진전략(안)(20.12) 및 환경부 탄소중립 이행계획(21.3)

#### ○ 수립 배경 및 목적

- 탄소중립이라는 키워드가 국제적으로 통용된다는 의미는 세계경제와 규제에 큰 변화가 나타날 것이고 각국의 산업 및 생활 전방위에 걸친 전향적 사고와 능동적 혁신의 필요성이 대두된 상황이라고 볼 수 있으며, 이와 같은 여건과 앞서 제시된 탄소중립 계획을 달성하기 위한 전략 마련 차원에서 “탄소중립 추진전략” 및 “탄소중립 이행계획”을 발표함
- 2050 탄소중립이 글로벌 선도국가의 새로운 발전전략이자 패러다임으로 대두되었으며, 새로운 경제질서의 형성과 시장진출이라는 측면에서 전방위적인 추진전략 마련을 제시함

- 한국은 2020년대에 온실가스 배출 정점에 도달하고 이후 탄소중립 소요기간 및 산업구조, 에너지믹스 등의 변화를 위해서 도전적인 추진전략이 요구되며, 특히 탄소 다배출 업종이 국가 기간산업으로 오랜 기간 국가경제에 기여하고 있다는 점에서 저탄소 산업으로의 구조전환에 어려움이 있음
- 산업 및 에너지 부문 등의 기업 뿐만 아니라 국민 개개인에도 부담<sup>4)</sup>이 커질 수 있다는 점에서 추진전략 기반의 계획적인 접근이 필요함

### ○ 주요 내용

- 「2050 탄소중립」 추진전략(안)(관계부처 합동, 2020)은 2050 탄소중립을 위한 비전, 3대 정책방향, 10대 과제 및 탄소중립 제도적 기반 강화, 추진체계를 포함하고 있음
- 온실가스 감축 중심의 “적응적(adaptive) 감축”에서 새로운 경제·사회 발전전략 수립을 통해 “능동적(Proactive) 대응”으로 도모하여 탄소중립·경제적 성장·삶의 질 향상을 동시에 달성하는 것을 비전으로 제시함
- 이를 위해 ①(적응)경제구조의 저탄소화, ②(기회)신(新)유망 저탄소산업 생태계 조성, ③(공정)탄소중립 사회로의 공정전환, ④(기반)탄소중립 제도적 기반 강화를 통한 3+1 전략을 수립하고, 추진전략별 부처별 중점과제를 제시함
- 「2021년 환경부 탄소중립 이행계획」(환경부, 2021)은 “2050 탄소중립 사회 ①탄소순배출 제로, ②경제적 성장 달성, ③포용사회 구현”이라는 비전을 달성하기 위하여 2050 탄소중립 사회 실현을 위한 환경부 소관 업무에 대한 이행계획을 수립함
- 2050 탄소중립 추진전략(안)(관계부처합동, 2020)의 3+1 전략에 기반하여 3대 정책 및 제도적 기반 방향을 제시하고 이에 대한 세부과제를 도출함

4) 기존산업(예: 화력발전, 내연차 등) 기반 약화로 인한 일자리 감소 및 전기요금·난방비 등 공공요금 상승 등 물가상승이 우려됨.

[표 2-8] 탄소중립 추진전략(안) 3+1 추진전략별 중점과제

기본방향	중점과제	정 책	주관부처
경제구조의 저탄소화	에너지전환	「에너지 탄소중립 혁신전략」 마련	산업부
	고탄소 산업	「탄소중립 산업 대전환 추진전략(제조업 르네상스 2.0)」 마련	산업부
		「전통 중소기업 저탄소경영 지원방안」 마련	중기부
	미래 모빌리티	「수송부문 미래차 전환전략」 마련	산업부 등
	도시·국토	「건물부문 2050 탄소중립 로드맵」 수립	국토부
		「자연·생태기반 온실가스 감축 적응전략」 마련	환경부 등
		「2050 탄소중립을 위한 농식품분야 기후변화 대응 기본계획」 수립	농식품부
		「해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵」 수립	해수부
		「2050 탄소중립 산림부문 전략」 마련	산림청
	신유망 저탄소 산업생태계 구성	신유망산업	「수소경제이행 기본계획(수소경제로드맵 2.0)」 수립
혁신생태계		「그린 분야 혁신 벤처·창업 생태계 조성방안」 마련	중기부 등
		「녹색 유망기술 상용화 로드맵」 수립	환경부
순환경제	「K-순환경제 혁신 로드맵」 수립	환경부	
탄소중립 사회로의 공정전환	신산업 체제로 편입	「지역에너지산업 전환」 연구	산업부
		「중소벤처기업 신사업 개척 및 재도약 촉진방안」 마련	중기부
	지역중심	「지역사회 탄소중립 이행 및 지원 방안」 마련	환경부
	국민인식	「탄소중립 등 학교 환경교육 지원 방안」 마련	교육부 등
		「탄소중립 사회에 대한 국민 인식 제고 전략」 마련	환경부
「가정·기업·학교 등 분야별 기후행동 매뉴얼」 마련	환경부		
탄소중립 제도적 기반 강화	배출권거래제	「배출권 거래제 기술혁신이행 로드맵」 수립	환경부
	녹색금융	「기후리스크 관리·감독 추진계획」 수립	금융위
		「금융권 녹색투자 가이드라인」 마련	금융위
		「기후환경 정보공시 확대방안」 마련	금융위
		「녹색금융 분류체계」 수립	환경부
		「스튜어드십코드」 시행성과 평가 및 개정검토	금융위
	연구개발	「탄소중립 R&D 전략」 마련	과기부
		「CCU 로드맵」 수립	과기부
		「탄소중립 R&D 투자전략」 수립	과기부
		「(가칭) 2050 탄소중립 10대 R&D 프로젝트」 기획	과기부
국제협력	P4G 정상회의 개최 및 녹색 의제 주도	외교부	
	그린뉴딜 ODA 비중 확대 로드맵 수립	외교부	

자료: 관계부처 합동(2020), p.23.



[표 2-9] 환경부 탄소중립 이행계획('21.3) 기본방향별 세부과제

기본방향	중점과제	정 책
경제구조의 저탄소화	에너지전환	주민참여형 수상태양광 개발 확대
		친환경 수열에너지 활성화
		환경영향평가 제도개선을 통한 해상풍력 활성화
		환경기초시설 신재생에너지 생산·보급 기지화
		환경자원 활용 재생에너지 보급·확대 로드맵 수립
	탈탄소 산업구조	배출권거래제 대상기업 탄소감축 지원 사업 확대
		배출권거래제 탄소배출량 측정·관리체계 지원
		중소규모 배출원 목표관리제 강화
		통합허가제도 활용한 저탄소 전환 촉진
		불소계 냉매 온실가스 관리 강화
	미래 모빌리티	배출권거래제 기술혁신·이행 로드맵 수립
		무공해차 보급: 2021년 무공해차 30만(누적) 시대 달성
		편리한 충전인프라 구축
		온실가스 기준 강화 등 내연기관차 감축 추진
	탄소중립 도시·건물	「수송부문 미래차 전환 전략」 마련
		탄소중립 선도모델 구축 및 사업추진 공공기관이 선제적으로 탄소중립 실현
	흡수원 관리	보호지역 탄소흡수원 확대
		도심·수변 등의 탄소흡수원 확대
		「자연·생태기반 온실가스 감축·적응전략」 마련
	폐기물제로 순환경제	폐기물 발생 감축
재활용을 극대화하려는 생산 구조, 순환 체계 확립		
발생지 책임 및 직매립 금지 원칙		
「순환경제 혁신 로드맵」수립		
농축산·식품 부문 관리	저탄소 농업 기반 구축	
	가축분뇨 활용 친환경 에너지 생산 확대	
	음식물 쓰레기 감량	
신유망 저탄소 산업생태계 조성	신유망산업 육성	탄소중립 경계를 선도하는 녹색산업 집중 육성
		기업의 탄소중립 전환
	혁신생태계 저변	녹색분야 인재양성 확대
		녹색융합클러스터로 지역 성장거점 확보
		친환경 경제활동·기업이 투자도 잘 받도록 녹색금융 제도 확립
	녹색기술 혁신	녹색산업 유망분야 육성 방안 마련
		(기술개발) 실효성이 높은 탄소중립 R&D에 신속하게 투자 (사업화) 기술개발된 제품·설비의 사업화 지원
		「녹색 유망기술 상용화 로드맵」 수립

기본방향	중점과제	정 책
기후위기 적응 및 공정 전환	기후위기 적응	과학적 감시·예측 기반 마련 및 기후변화 시나리오 제안
		홍수·가뭄 등에 대한 선제적 대응체계 구축
		생태계 기반 기후변화 적응
		국민편익 고려한 국가 적응대책 실질적 이행체계 정립
	취약산업·계층 보호	기후위기 적응의 주류화
		기후변화 영향·취약성 평가 강화
	지역공동체 중심 기후탄력성 강화	취약 지역·계층의 기후탄력성 제고 지원
		지역사회 탄소중립 이행 및 지원방안 마련
제도적 기반 강화	2050 탄소중립 시나리오 마련 및 NDC 상향	지자체의 기후적응 시스템 구축 지원
		2050 탄소중립 시나리오 및 감축경로 마련
		감축 시나리오를 바탕으로 탄소중립 국가전략 수립
		이번 정부 임기 내 2030 감축목표(NDC) 상향 추진
	기후변화영향평가 도입 및 기후대응기금 조성	감축 경로 이행평가 및 이행점검체계 개선
		국가 정책 전반에 대한 기후변화영향평가 기반 구축
	탄소중립을 위한 인식제고·교육강화	기후대응기금 조성 추진
		탄소중립 인식제고 및 기후행동 참여 확대
		탄소중립 사회에 대한 국민인식 제고 전략 마련
		탄소중립 등 학교 환경교육 강화
		사회 구성원의 환경참여도를 높이는 대상별 맞춤형 교육
	탄소중립 글로벌 리더십 제고	탄소중립 학교 환경교육 지원방안 마련
P4G 성공적 개최로 글로벌 탄소중립 리더십 제고		
그린뉴딜·탄소중립 글로벌 네트워크 확대·강화		
그린 ODA 확대를 통한 포용적 탄소중립 연대 선도		
운영체계 확립	탄소중립 대응 기반 마련	
	탄소중립 비전·전략 수립	
	온실가스 감축목표 및 이행계획	
		이행점검

자료: 환경부(2021)을 참고하여 저자작성.

#### (4) 2050 탄소중립 시나리오안('21.10)

##### ○ 수립 배경 및 목적

- 2020년 10월 국가 비전으로 2050년 탄소중립 선언 및 후속대응 차원에서 2050 시나리오안을 수립함
- 2021년 5월에 출범한 탄소중립위원회에서 기술작업반 시나리오(안)

검토를 바탕으로 2021년 8월에 발표한 '2050 탄소중립 시나리오' 초안의 보완 내용으로 작성됨

- 탄소중립을 위한 기술 혁신 및 상용화, 국민인식과 생활양식 변화를 전제로 하여 경제적 부담과 편익, 식량·에너지 안보, 국제사회에서의 역사적 책임 등을 종합적으로 고려한 시나리오안을 작성함

#### ○ 주요 내용

- '기후위기로부터 안전하고 지속가능한 탄소중립 사회'라는 비전 하에 ①책임성의 원칙(사회구성원 전체가 지구촌의 책임있는 일원으로 참여), ②포용성의 원칙(미래세대와 인류 외 다른 생물종까지 배려), ③공정성의 원칙(취약 집단을 보호하고 소외된 자 없이 모두의 참여를 보장), ④합리성의 원칙(객관적인 자료에 바탕을 둔 실현가능성 높은 미래상 도출), ⑤혁신성의 원칙(과학기술과 제도의 혁신을 통한 미래 성장동력 발굴)을 제시함
- 최종적인 시나리오안은 2개안(A안 및 B안)으로 제시함
  - 2018년에 제시된 IPCC 1.5℃ 특별보고서에 제시된 내용을 참고하여, 모든 국가의 2050년 탄소중립 추진을 전제로 국외 감축분이 포함되지 않은 2050년 탄소중립 실현을 가정함
  - (A안) 화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 감축하는 안
  - (B안) 화력발전을 일부 유지하면서, CCUS 등 온실가스 제거기술을 활용하는 안
- 제시된 탄소중립 시나리오안에 대한 사회적 과제는 다음과 같음
  - (제도적 기반 마련) 탄소중립에 초점을 둔 국가 재정 운용이 이루어질 수 있도록 온실가스감축인지 예결산제도 및 기후대응기금을 도입하고, 지자체가 지역 특성에 맞는 탄소중립 정책을 추진할 수 있도록 제도 및 예산 지원이 필요함
  - (공정하고 정의로운 전환) 고용 안정성 강화를 위해 고용영향평가를 실시하고 근로조건 개선, 신규 일자리 창출, 노동전환 교육 확대 등 지원방안을 마련하는 한편, 기후위기에 따른 생애주기별 위험 요인

진단 및 해소방안을 마련하여 취약계층에 대한 안전망 구축이 필요함

- (핵심기술 개발 및 투자 확대) 탄소중립 이행을 위한 중장기적인 기술개발 전략 마련과 정책 추진에 필요한 제도 및 예산 지원을 실시하고, 실수요에 기반한 기술개발 과제 발굴이 필요함
- (사회구성원의 참여 활성화를 위한 소통·협력·교육) 탄소중립 대응과 관련한 일련의 사항들에 대한 정보를 투명하게 공개하여 이를 기반으로 정부와 국민 간 양방향 소통을 활성화하고, 기후환경교육 강화, 학교환경교육 의무화 등 학교 교육의 대전환이 필요함

## (5) 2차 기후변화대응 기본계획('19.10)

### ○ 수립 배경 및 목적

- 기후변화대응 기본계획은 저탄소 녹색성장 기본법 제40조에 따라 20년을 계획기간으로 5년마다 기후변화에 대응하기 위한 계획을 수립하기 위해 도입되었으며, 해당 계획은 기후변화와 관련된 타 계획 간 정합성을 갖추기 위한 체계적 구성을 하고 있음
- 해당 계획은 「녹색성장 국가전략」과 「녹색성장 5개년 계획」의 하위계획의 성격을 가지고 동시에 「배출권거래제 기본계획」, 「배출권할당 계획」, 「기후변화적응대책」 등을 하위계획으로 두고 있으며, 관련계획으로 「에너지기본계획」과 「전력수급계획」등이 있음
- 1차 계획은 2017년부터 2036년을 기간으로 계획을 수립한 바 있으며,<sup>5)</sup> 2차 계획은 2021년부터 2040년을 대상기간으로 하여 2019년에 수립되었고, 3차 계획은 탄소중립 추진전략을 포함한 계획으로 구성될 것으로 전망됨
- 기후변화 대응의 최상위 계획으로서 우리나라의 기후변화 정책의 철학과 비전을 장기적 관점에서 제시하는 것을 계획수립의 목표로 하며, 더불어 온실가스 감축의무 이행과 지구 온난화 적응을 위한 정책방향

5) 제1차 계획을 '16.12월에 수립하였으나 '2030 국가 온실가스 감축 로드맵('18.7)'의 감축 목표 및 이행수단 등을 반영하기 위해 제2차 계획이 조기 수립됨.

설정 및 에너지 등 유관계획과 정합성 확보 목적을 고려하여 내용을 구성하고 있음

- 파리협정 상 5년 단위 NDC 갱신 일정에 맞추어 국가 온실가스 감축목표 및 이행로드맵을 포함한 기후변화대응 기본계획을 수립함
- 더불어 기후변화 부문에서 상위계획에 해당하는 녹색성장 국가전략을 실현하기 위한 이행계획이자 유관계획 및 하위계획의 작성방향을 제시하고 있음

#### ○ 주요 내용

- 국내·외 기후변화 현상의 추세와 국내 온실가스 배출 및 흡수 현황과 전망결과를 제시하고 있으며, 이를 바탕으로 온실가스 배출 중장기 감축목표 설정 및 부문별·단계별 대책을 제시함
- 감축목표와 대책은 총괄적인 관점과 부문별 접근으로 이원화 되어 총괄목표와 부문별 주요 감축수단을 제시하고 있으며, 또한 부문별 온실가스 감축 이행지표, '30년 목표와 담당부처 정보를 포함함
- 기후변화대응을 위한 국제협력 대응력 강화, 다자·양자 협력채널 구축, 개도국 지원 확대 등 선도적 국가로서의 역할에 대한 전략을 제시함
- 국제협력 측면에서 기후변화대응을 위한 국가와 지방자치단체의 협력에 관한 사항과 연구개발 및 인력양성에 관한 사항을 제시함
- 기후변화의 감시·예측·영향·취약성평가 및 재난방지 등 적응에 관한 사항을 포함하여 기후변화대응 기반 조성을 위한 제도·조직 등 기초 인프라 강화 전략을 제시함

### (6) 전력수급기본계획(9차)('20.12)

#### ○ 수립 배경 및 목적

- 전기사업법 제25조 및 시행령 제15조에 따라 2년 주기로 계획기간 15년으로 전력산업 부문의 대표적인 장기계획에 해당함
- '22년은 9차 전력수급기본계획('20~'34년) 내에 있으며, 해당 계획에서는 직전 계획에 대한 평가, 장기 수급전망, 수요관리 목표, 발전

및 송변전 설비계획, 분산형 전원 확대, 온실가스 미세먼지 감축방안 등을 다루고 있음

- 전력수급기본계획이 정기적으로 수립되는 것은 전력수요에 대한 적절한 대응과 발전설비의 공급을 안정적으로 수행하기 위함임
  - 특히 발전소 및 전력산업 내 인프라는 설비 계획부터 실제 운영까지 상당한 시일이 소요된다는 점에서 장기 계획기간의 계획을 2년마다 수립하고 있음
- 중장기 전력수요 전망 및 이에 따른 전력설비 확충을 위한 계획을 수립하게 된 배경에는 전력수요 대비 발전설비 공급이 갈수록 빠르게 이루어져야 하는 상황이 있음

#### ○ 주요 내용

- 9차 전력수급계획 이전에 총 8회차의 전력수급기본계획 수립과정을 거치면서 구축한 수요전망 방법론을 현행화하면서 예측오차 최소화 방안을 마련함
- 전력수요관리를 위해 기존에 도입된 수단의 이행력을 제고하기 위한 방안을 제시하고, 신사업이나 혁신기술을 기반으로 하는 신규수요관리 수단의 도입을 제시함
- 전력수급계획의 핵심적인 내용으로 발전원별 중장기 설비계획을 제시하고 있으며, 9차 전력수급기본계획에서는 안정적 전력수급을 전제로 친환경 전원으로의 전환 가속화와 재생에너지 확대가 핵심적인 설비계획의 방향으로 제시됨<sup>6)</sup>
- 재생에너지 확대에 대비한 선제적 계통 보강 및 확대에 따른 편익산정과 보상제도 도입 등을 검토하여, 분산형 전원 확대를 유도하는 전략을 제시함
- 온실가스 감축 및 친환경재생에너지 도입 및 이용 확대를 고려한 유연성 자원 보상 확대, 신재생 입찰제도 도입 등 전력시장 제도 개선 방안을 제시함

6) 원전은 점진적으로 감축하고 석탄발전은 과감하게 감축하며, 안정적 전력공급을 위해 폐지석탄은 LNG발전으로 보완하는 것으로 제시함.

# 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 시뮬레이션 분석

제1절 분석 모형

제2절 최적 투자관리 시뮬레이션 분석

## 3장





# 제3장 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 시뮬레이션 분석

## 제1절 분석 모형

### 1. 분석 모형 개요

- 본 연구의 주요 목적인 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 시뮬레이션 분석을 위해서는 이를 위한 분석 모형 구축이 선행되어야 함
  - 국가에서 제시한 탄소중립 목표를 달성하기 위해 산업부문은 기존의 일반적인 투자를 넘어서서 해당 산업의 구조적 전환을 가능하게 하는 대규모 투자를 이행해야할 것으로 예상됨
  - 산업부문의 탄소중립 목표 달성이 원활하게 이루어지기 위해서는 해당 산업의 핵심 구성원인 주요 기업들이 주어진 상황을 고려하여 탄소중립 목표 달성을 위한 이행 방안을 실천하는 것이 가장 중요함
  - 기업 입장에서는 탄소중립을 고려한 대규모 투자가 이루어질 경우, 기업 운영과 관련된 다양한 불확실성을 고려하여 해당 투자에 대한 경제적 타당성이 확보될 수 있는지에 대한 정보를 확보할 필요가 있음
  - 그러므로 본 연구에서는 탄소중립이 요구되는 산업부문의 기업이 이와 관련된 대규모 투자 이행 시, 기업 운영의 불확실성을 고려하면서 해당 투자에 대한 경제적 타당성 확보 여부를 판단할 수 있는 최적 투자관리 시뮬레이션 분석을 시행하고자 함
  - 이를 통해 탄소중립 관련 투자의 기업 운영에 대한 영향 및 이를 고려한 대응 방향을 모색할 수 있을 것으로 기대됨

- 본 연구에서는 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 시뮬레이션 분석을 위해서 실물옵션 분석 모형을 구축하고자 하며, 본격적인 분석 모형 구축 이전에 실물옵션의 기본 개념을 다음과 같이 검토하고자 함)
  - 실물옵션과 상호 보완적으로 활용 가능하면서 대중적으로 가장 널리 알려진 경제적 타당성 분석 방법인 순현재가치법(Net Present Value, NPV)은 특정 사업을 통해 발생하는 순편익의 현재가치가 0보다 클 경우, 해당 투자는 추진되는 것이 바람직하다는 결론을 제시함
  - 만약 해당 사업의 미래 현금흐름이 확정적인 경우에는 NPV는 상당히 유용한 경제적 타당성 분석 방법이지만, 편익 및 비용의 불확실성이 현저한 경우에는 NPV 기반 분석에서 제시되는 결과만으로는 합리적인 의사 결정에 필요한 정보를 확보하는데 한계가 있음
  - NPV가 가지는 이와 같은 한계점을 보완하기 위해 실물옵션을 활용할 수 있는데, 실물옵션 기반 분석에서는 투자 관련 사업 운영 환경에 내재된 불확실성이 해당 투자의 경제적 타당성에 미치는 영향을 파악할 수 있음
  - 실물옵션 분석이 NPV 분석과 차별화되는 가장 큰 요소는 투자 관련 경제적 타당성 분석 시, 투자에 대한 의사결정자의 선택의 가치를 옵션 가치로 반영하여 신중한 의사결정을 내릴 수 있는 가이드라인을 제공한다는 것임
  - 예를 들어 NPV가 0이상인 경우라 하더라도, 투자 의사결정자 입장에서는 해당 사업 운영 환경에 내재된 불확실성을 감안하여 충분한 수익이 확보될때까지 투자 의사결정을 연기하는 것이 바람직할 수 있음
  - 실물옵션에서는 이와 같은 투자 의사결정의 연기와 관련된 요소를 기다림의 가치(waiting value)로 간주하여 분석 모형에 반영함

---

7) 실물옵션의 기본 개념 관련 내용은 '실물옵션과 투자분석: 불확실성과 경제적 타당성 평가 (박호정, 2018)'에 제시된 내용을 참고하여 재정리함.

- 실물옵션은 유용한 투자 관련 경제적 타당성 분석 방법이지만 모든 경제적 타당성 분석에 적용하는 것은 바람직하지 않으며, 투자 관련 사업에 현저한 불확실성(uncertainty) 및 비가역성(irreversibility)이 존재하는 경우에 한하여 NPV와 상호 보완적으로 활용하는 것이 바람직함
- 이때 불확실성은 사업과 관련된 시장의 불확실성을 의미하는 것이며, 비가역성은 투자 비용이 매몰 비용으로서의 성격이 강해 투자 시기의 선정 여부에 따라 현저한 기회 비용이 발생하는 경우를 의미함
- 실물옵션 분석은 NPV 분석에 비해 투자 의사결정자에게 신중한 의사 결정을 위한 가이드라인을 제공한다는 장점이 존재하지만 상대적으로 분석과정에서 수리적 복잡성이 요구되므로, 투자와 관련된 사업의 불확실성 및 비가역성이 현저하지 않은 경우에는 NPV 분석을 진행하는 것이 바람직함

## 2. 실물옵션 기반 기업의 최적 투자관리 분석 모형

- 기업의 탄소중립을 고려한 실물옵션 기반 최적 투자관리 분석 모형 구축을 위해, 탄소중립 관련 투자 전 및 후의 기업 수익 구조를 다음과 같이 설정함
  - (탄소중립 관련 투자 전 기업 순수익)  $R - C$ 
    - $R$  : 연간 매출액
    - $C$  : 연간 운영비(=연간 매출액 - 연간 당기순이익)
  - (탄소중립 관련 투자 후 기업 순수익)  $(1 + m_{ri})R - (1 + m_{ci})C$ 
    - $m_{ri}$  : 탄소중립 투자 후 수익 구조 변화에 따른 매출액 조정계수  
( $i = u, d, u$ : 증가,  $d$ : 감소)
    - $m_{ci}$  : 탄소중립 투자 후 비용 구조 변화에 따른 운영비 조정계수  
( $i = u, d, u$ : 증가,  $d$ : 감소)

○ 실물옵션 기반 분석 모형 구축을 위해 먼저 탄소중립 투자 후의 기업 순수이익과 매출액의 불확실성을 고려한 기업의 사업가치를 다음과 같이 제시함

- (탄소중립 투자 후 기업의 사업가치) 탄소중립 투자 후 수익 및 비용 구조 변화에 따른 매출액 및 운영비 조정계수가 반영된 기업 순수이익 기반 사업가치를 의미하며,  $V(R)$ 로 표현함<sup>8)</sup>

$$\bullet V(R) = E_0 \left[ \int_0^{T_1} [R - C] e^{-\rho t} dt + \int_{T_1+1}^{T_2} [(1 + m_{ri})R - (1 + m_{ci})C] e^{-\rho t} dt \right]$$

$$\bullet dR = \alpha R dt + \sigma R dw$$

$$\begin{aligned} \bullet V(R) &= \int_0^{T_1} [R e^{(\alpha-\rho)t} - C e^{-\rho t}] + \int_{T_1+1}^{T_2} [(1 + m_{ri})R e^{(\alpha-\rho)t} - (1 + m_{ci})C e^{-\rho t}] dt \\ &= \left[ \frac{R}{\alpha - \rho} \right] [e^{(\alpha-\rho)T_1} + (1 + m_{ri})e^{(\alpha-\rho)T_2} - (1 + m_{ri})e^{(\alpha-\rho)(T_1+1)} - 1] \\ &\quad + \left[ \frac{C}{\rho} \right] [e^{-\rho T_1} + (1 + m_{ci})e^{-\rho T_2} - (1 + m_{ci})e^{-\rho(T_1+1)} - 1] \end{aligned}$$

$E_0$  : t=0 시점 기준의 기대 연산자

$T_1 + 1$  : 탄소중립 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화의 반영 시기

$T_2$  : 탄소중립 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화의 종료 시기

$\alpha$  : 매출액의 평균 증가율(drift rate)

$\sigma$  : 매출액의 순간 변동율(instantaneous volatility rate)

$dw$  : 위너 증분(Wiener increment)

$\rho$  : 기업의 가중평균 자본비용(Weighted Average of Capital Cost)

$e$  : 자연지수

- (탄소중립 투자에 대한 옵션가치) 탄소중립 투자에 대한 옵션가치는 투자 의사결정 선택에 대한 가치를 의미함. 해당 가치는 일반적으로 불확실성을 반영하는 요소(기업 매출액  $R$ )의 변화에 따라 지수적으로 변화하는 함수로 표현하는데, 기업 매출액이 증가할수록 투자에 대한 옵션가치는 증가하는 특성을 가지므로 양의 지수함수 형태로 표현 가능함

8) 기대연산자  $E_0$ 가 반영된 이후의 사업가치  $V(R)$  우변의  $R$ 은 분석 대상 기업의 확보 가능한 가장 최근 연간 매출액 수준을 의미함.

- $F(R) = AR$
  - 테일러 급수(Taylor series)에 기반한 확률 미적분에 적용되는 이토 보조정리(Ito's lemma) 및 해밀토니안 자코비 벨만 방정식(Hamiltonian Jacobi Bellman equation)을 적용하면, 옵션가치  $F(R)$ 을 다음과 같이 정리할 수 있음
  - $\rho F(R) = \alpha R F(R)_R + \frac{1}{2} \sigma^2 R^2 F(R)_{RR}$
  - $\rho AR^\beta = \alpha RA\beta R^{\beta-1} + \frac{1}{2} \sigma^2 R^2 A\beta(\beta-1)R^{\beta-2}$   
 $= A\alpha\beta R^\beta + \frac{1}{2} A\sigma^2 \beta(\beta-1)R^\beta$
  - $\rho = \alpha\beta + \frac{\sigma^2}{2}\beta(\beta-1) = \frac{\sigma^2}{2}\beta^2 - \left(\frac{\sigma^2}{2} - \alpha\right)\beta$
  - $\frac{\sigma^2}{2}\beta^2 - \left(\frac{\sigma^2}{2} - \alpha\right)\beta - \rho = 0$
  - 근의 공식을 통해,  $\beta$ 에 대한 해를 정리하면 다음과 같음
  - $\beta = \frac{\left(\frac{\sigma^2}{2} - \alpha\right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma^2}{2} - \alpha\right)^2 + 2\sigma^2\rho}}{\sigma^2} = \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}}$
  - $R$ 의 값이 커질수록 옵션가치  $F(R)$ 이 커짐을 고려하면  $\beta$ 는 양의 값을 가져야하므로 위에 도출된 식을 통해  $\beta > 1$ 임을 알 수 있으며, 옵션가치의 함수 방향을 결정하는  $A$  또한  $A > 0$ 임을 알 수 있음
  - $\beta = \left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2}\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{\sigma^2}\right)^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}}$
- (탄소중립 투자에 대한 사업가치 및 옵션가치의 경계조건) 앞서 도출된 탄소중립 투자에 대한 사업가치 및 옵션가치의 경계조건을 고려하여 투자 관련 최적 의사결정의 기준값에 해당되는 투자 임계값을 제시할 수 있음. 사업가치 및 옵션가치의 경계조건에 해당하는 가치일치 조건(Value matching condition)과 한계가치일치조건(Smooth pasting condition)의 의미 및 식 구성은 다음과 같음

- (가치일치조건) 투자 이후 발생 가능한 사업가치에서 투자 금액을 제외한 값이 투자 의사결정의 선택 가치인 옵션가치와 일치하는 조건을 의미하며, 다음의 식과 같이 구성됨<sup>9)</sup>
- $V(R) - K = F(R)$
- (한계가치일치조건) 투자 이후 발생 가능한 사업가치에서 투자 금액을 제외한 값이 투자 의사결정의 선택 가치인 옵션가치의 한계가치 (사업가치 및 옵션가치에 영향을 미치는 불확실성을 가진 요소 한 단위 변화에 따른 각 가치들의 변화 정도)가 일치하는 조건을 의미하며, 다음의 식과 같이 구성됨
- $V(R)_R = F(R)_R$
- 가치일치조건을 고려한 식 전개는 다음과 같음
- $$\left[ \frac{R}{\alpha - \rho} \right] \left[ e^{(\alpha - \rho)T_1} + (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)T_2} - (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)(T_1 + 1)} - 1 \right] + \left[ \frac{C}{\rho} \right] \left[ e^{-\rho T_1} + (1 + m_{ci})e^{-\rho T_2} - (1 + m_{ci})e^{-\rho(T_1 + 1)} - 1 \right] - K = AR^\beta$$
- 한계가치일치조건을 고려한 식 전개는 다음과 같으며, 전개된 식의 좌변 및 우변 모두에  $R$ 을 곱한 결과는 다음과 같음
- $$\left[ \frac{1}{\alpha - \rho} \right] \left[ e^{(\alpha - \rho)T_1} + (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)T_2} - (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)(T_1 + 1)} - 1 \right] = A\beta R^{\beta - 1}$$
- $$\left[ \frac{1}{\beta} \right] \left[ \frac{R}{\alpha - \rho} \right] \left[ e^{(\alpha - \rho)T_1} + (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)T_2} - (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)(T_1 + 1)} - 1 \right] = AR^\beta$$
- 한계가치일치조건에서 정리된  $AR^\beta$ 를 가치일치조건에서 정리된 식에 대입하면 다음과 같음
- $$\left[ \frac{\beta - 1}{\beta} \right] \left[ \frac{1}{\alpha - \rho} \right] \left[ e^{(\alpha - \rho)T_1} + (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)T_2} - (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)(T_1 + 1)} - 1 \right] R = K - \left[ \frac{C}{\rho} \right] \left[ e^{-\rho T_1} + (1 + m_{ci})e^{-\rho T_2} - (1 + m_{ci})e^{-\rho(T_1 + 1)} - 1 \right]$$
- $$R^* = \left[ \frac{\beta}{\beta - 1} \right] \left[ \frac{\alpha - \rho}{\left[ e^{(\alpha - \rho)T_1} + (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)T_2} - (1 + m_{ri})e^{(\alpha - \rho)(T_1 + 1)} - 1 \right]} \right] \times \left[ K - \left[ \frac{C}{\rho} \right] \left[ e^{-\rho T_1} + (1 + m_{ci})e^{-\rho T_2} - (1 + m_{ci})e^{-\rho(T_1 + 1)} - 1 \right] \right]$$

9) 여기서  $K$ 는  $t=0$  시점 기준으로 현재 가치화된 탄소중립 관련 전체 투자비용을 의미함.

- 여기서  $R^*$ 는 매출액  $R$ 의 불확실성을 고려한 탄소중립 관련 기업 투자에 따른 경제적 타당성 확보가 가능한 투자 임계값을 의미함
- 실측된 매출액  $R$ 이  $R^*$ 보다 클 경우  $R$ 의 불확실성을 고려한 경우에도 해당 투자의 경제적 타당성이 확보되는 것으로 해석할 수 있음

## 제2절 최적 투자관리 시뮬레이션 분석

### 1. 시뮬레이션 분석 개요

#### (1) 시뮬레이션 분석 시나리오 설정

- 탄소중립을 고려한 산업부문 최적 투자관리 분석을 위해 실물옵션 기반 기업의 최적 투자관리 분석 모형을 앞서 구축하였으며, 이를 활용한 시뮬레이션 분석을 위해서 분석을 위한 시나리오가 우선 설정될 필요가 있음
  - 본 연구에서의 시뮬레이션 분석 시나리오는 기업이 탄소중립과 관련된 투자를 시행한 이후 발생 가능한 기업의 수익 및 비용 구조 전환 상황에 따라 설정함
  - 시나리오 설정과 관련된 전제 조건들을 정리하면 다음과 같음
    - (전제 조건 1) 탄소중립 관련 기업의 투자 활동은 투자 이후 기업의 수익 및 비용 구조 전환에 기여하며, 해당 사항은 기업의 주요 재무 자료에 반영됨. 투자 비용은 t=0 기준의 현재가치화된 초기 투자 비용으로 간주하고, 해당 투자 이후 일정 시간( $t_1$ )까지는 기존 기업 수익 및 비용 구조가 유지되며, 그 이후부터 기업의 수익 및 비용 구조가 전환되는 것으로 간주함
    - (전제 조건 2) 탄소중립 관련 기업의 투자 활동이 투자 이후 기업 운영에 영향을 미치는 상황에 따라, 기업의 수익 및 비용 구조 전환에 기여하는 기간이 제한적임
  - 앞서 제시된 전제 조건들을 고려하여 기업의 탄소중립 투자에 대한 최적 투자관리 시뮬레이션 분석을 수행하기 위한 기업 수익 및 비용 구조 전환 상황별 시나리오는 다음과 같음
    - [시나리오 1] 매출액에만 영향을 미치는 경우
      - (시나리오 1-1) 매출액 증가( $0 < m_{ru} < 1$ )
      - (시나리오 1-2) 매출액 감소( $-1 < m_{rd} < 0$ )



- [시나리오 2] 운영비에만 영향을 미치는 경우
  - (시나리오 2-2) 운영비 증가( $0 < m_{cu} < 1$ )
  - (시나리오 2-2) 운영비 감소( $-1 < m_{cd} < 0$ )
- [시나리오 3] 매출액 및 운영비 모두에 영향을 미치는 경우
  - (시나리오 3-1) 매출액 증가 및 운영비 감소
    - ( $0 < m_{ru} < 1$  및  $-1 < m_{cd} < 0$ )
  - (시나리오 3-2) 매출액 증가 및 운영비 증가
    - ( $0 < m_{ru} < 1$  및  $0 < m_{cu} < 1$ )
  - (시나리오 3-3) 매출액 감소 및 운영비 감소
    - ( $-1 < m_{rd} < 0$  및  $-1 < m_{cd} < 0$ )
  - (시나리오 3-4) 매출액 감소 및 운영비 증가
    - ( $-1 < m_{rd} < 0$  및  $0 < m_{cu} < 1$ )

## (2) 탄소중립 대응이 필요한 주요 산업부문 설정 및 대응 방향 검토

- 본 연구에서는 국가 탄소중립 목표 달성을 위한 산업부문 대응 시 핵심역할을 할 것으로 기대되는 주요 산업부문(철강, 석유화학, 시멘트, 반도체·디스플레이)을 시뮬레이션 분석 대상 산업부문으로 설정하고, 해당 산업부문의 탄소중립 대응 방향 대해서 검토하고자 함<sup>10)</sup>
- 철강산업 탄소중립 대응 방향<sup>11)</sup>
  - (연구개발 투자 강화를 통한 친환경 철강 기술경쟁력 확보) 국내 철강사의 탄소중립 기술개발 수준(수소환원제철, 초고속 전기로 개발 등)은 주요국에 비해 상대적으로 뒤쳐진 것으로 평가되고 있으므로, 이를 극복할 수 위해 선도적인 기술개발을 통한 기술경쟁력 확보가 필요함

10) 본 연구에서 탄소중립 관련 주요 산업을 선정한 기준은 산업연구원 주최로 진행된 「산업부문 탄소중립 추진전략과 주요 과제」 온라인 세미나에서 제시된 4개 산업부문임을 밝힘. 해당 산업부문들은 탄소배출량 기준 다배출 산업들로 알려져 있으므로, 국가 탄소중립 목표 달성과 관련해서 주요한 산업부문으로 간주하는데 무리가 없을 것으로 판단됨.

11) 이재윤·양진혁(2022)에 제시된 철강산업의 탄소중립 이행을 위한 주요 과제에 제시된 내용을 참고하여 정리함.

- (탄소중립 인프라 확보를 통한 대체 연·원료 공급 불확실성 해소) 철강을 수소환원 방식으로 생산하기 위해서는 연료에 해당하는 수소를 합리적인 가격에 충분히 공급할 수 있는 인프라를 확보하고, 전기로의 원료에 해당하는 철스크랩을 안정적으로 확보할 수 있는 공급체계 또한 마련할 필요가 있음
- (철강산업 탄소중립 지원을 위한 제도적 기반 강화) 탄소중립을 위한 전환과정에 소요되는 비용이 개별 기업이 감당할 수 없는 수준으로 예상되므로, 철강산업 온실가스 감축의 사회적 파급효과를 고려하여 적극적인 재정 및 금융 지원이 이루어질 수 있는 제도적 기반이 마련될 필요가 있음
- (중장기적인 종합 대응 로드맵 수립) 국가가 제시한 탄소중립 목표 달성에 기여할 수 있는 철강산업의 탄소중립 이행은 개별적 및 단기적 대응만으로는 불가능하므로, 종합적 및 장기적 관점에서의 대응을 위한 로드맵을 수립하여 지속성 및 일관성을 가지는 지원이 이루어질 필요가 있음

○ 석유화학산업 탄소중립 대응 방향<sup>12)</sup>

- (탄소중립 관련 핵심기술 상용화 위한 연구개발 투자 확대) 석유화학산업의 탄소중립 생산 기술 수준은 대부분 실증 단계 이전에 머물러 있는 상황이므로, 민간 투자를 저해하지 않는 범위 내에서 공공부문을 중심으로 석유화학산업의 전주기적인 탄소중립 핵심기술 상용화를 위한 연구개발 투자를 확대할 필요가 있음
- (비석유계 원료 가격의 불안정성 해소를 위한 CfD 도입) 석유화학산업의 온실가스 감축 대응 과정에서 향후 비석유계 원료의 초과수요로 인한 가격 폭등이 발생할 수 있으므로, 이와 관련된 가격 불안정성을 해소하기 위해 CfD(Contract for Difference)<sup>13)</sup> 도입이 필요함

12) 조용원 외(2021)에서 제시된 석유화학산업의 탄소중립을 이행을 위한 정책과제 내용을 참고하여 정리함.

13) CfD(Contract for Difference)는 정부와 기업간에 비석유계 원료의 가격에 대해 사전적으로 계약가격(strike price)을 설정한 후, 가격 변동 상황에 따라 차액 부담방식을 결정하는 것으로, 원료 가격이 계약 가격보다 높을 경우 정부가 가격 차액을 지원하며, 원료 가격이 계약 가격보다 낮으면 기업이 가격을 부담하는 방식을 의미함(조용원 외,

- (효율적인 온실가스 감축을 위한 제도적 지원 방안 마련) 폐플라스틱 업사이클링, 폐플라스틱 열분해유 등을 배출권거래제와 연동 가능한 온실가스 감축 수단으로 인정받기 위해 관련 법률을 개정하고, 석유화학 탄소배출 저감형 관련 기술을 조세특례제한법상 신성장 및 원천 기술에 포함시키는 등 제도적 지원이 가능한 방안 마련이 필요함

○ 시멘트산업 탄소중립 대응 방향<sup>14)</sup>

- (온실가스 감축수단별 기술 관련 연구개발 지원) 연료 및 원료 대체(비탄산염 원료 사용량의 확대, 혼합재 비율 확대, 혼합 시멘트 생산 비중 증대를 위한 기술개발 등), 에너지 효율화(폐열 발전 강화 등을 통한 에너지 효율화 및 수소·바이오매스 사용 기술 개발 등), CCUS(CO<sub>2</sub> 포집-수송-저장 기술, 광물 자원화, CO<sub>2</sub> 반응경화 시멘트 제품 개발 등) 등 주요 감축수단별 기술 관련 연구개발이 필요한 분야를 발굴 및 지원할 필요가 있음
- (친환경 혼합 시멘트 수요처 확대) 기존의 포틀랜드 시멘트 중심의 국내 시멘트 시장 수급구조는 향후 저탄소 혼합 시멘트 생산 확대에 제약 요인이 될 것으로 예상되므로, 공급부문에서는 포틀랜드 시멘트 수준의 성능 구현이 가능한 혼합 시멘트를 개발하고, 수요부문에서는 일정 수준 이상의 품질이 보증되는 혼합 시멘트를 적극적으로 도입할 수 있는 기반을 조성할 필요가 있음
- (시멘트산업 탄소중립 지원을 위한 제도적 기반 마련) 조세특례제한법상 신성장·원천기술에 시멘트산업 관련 온실가스 감축기술을 포함시켜 이와 관련된 연구개발 및 설비투자 비용에 대한 세액 공제가 가능하도록 하고, 탄소중립 이행에 필요한 설비 구입 등에 대한 정책 금융을 확대하여 시멘트산업 기업들이 생산 공정 전환 과정에서 자금조달을 원활하게 할 수 있도록 지원할 필요가 있음

2021).

14) 이고은(2022)에 제시된 시멘트산업의 탄소중립 이행을 위한 정책과제 내용을 참고하여 정리함.

○ 반도체·디스플레이산업 탄소중립 대응 방향<sup>15)</sup>

- (친환경 기술 관련 연구개발 지원) 반도체 및 디스플레이 생산과정에서 활용되는 친환경 공정가스 및 고효율 분해시설 관련 기술의 연구개발 지원이 필요함
- (탄소중립 투자 관련 인증평가 및 표준화 지원) 반도체·디스플레이용 친환경 공정가스의 수용성을 높이기 위해서는 해당 가스에 대한 저감 인증평가 및 표준화 시스템이 구축되어야 하는데, 이를 위해 공공부문을 중심으로 공신력 있는 인증평가센터를 운영하고 국제 표준화를 고려한 표준화 시스템을 구축할 필요가 있음
- (탄소중립 대응 지원을 위한 제도 개선) 조세특례제한법상 신성장·원천기술에 반도체·디스플레이산업에 적용되는 공정가스 배출저감 기술을 포함시키고, 탄소중립 관련 신시장 개척을 위한 연구개발 및 시설 투자 관련해서는 최저한세(17%)를 제외하는 등의 제도 개선이 필요함

**(3) 주요 산업부문 대표 기업 설정**

- 주요 산업부문 입장에서의 탄소중립 관련 최적 투자관리 시뮬레이션 분석은 현실적인 여건(자료 확보 가능성, 분석 모형 적용 가능성 등)상 어려움이 있으므로, 해당 산업부문의 대표 기업(철강(포스코홀딩스), 석유화학(LG화학), 시멘트(쌍용씨앤이), 반도체·디스플레이(삼성전자))을 설정하여 해당 기업의 자료들을 검토하고자 함
- 본 연구에서는 기업의 탄소중립 관련 최적 투자관리 시뮬레이션 분석을 시행하고자 하므로, 분석 시행 전에 해당 기업의 주요 재무 자료(매출액, 당기순이익, 운영비(=매출액-당기순이익), WACC)를 검토하고자 함
  - 특히 해당 기업의 주요 재무 자료 검토 과정에서 실물옵션 기반 탄소중립 관련 최적 투자관리 시뮬레이션 분석의 가능 여부를 판단할 수

---

15) 남상욱(2022)에 제시된 반도체·디스플레이산업의 탄소중립 이행을 위한 정책과제 내용을 참고하여 정리함.

있는 파라미터 산출을 통해, 본 연구에서 제시된 분석 모형의 적용 가능성 또한 검토하고자 함<sup>16)</sup>

○ 철강산업(포스코홀딩스) 주요 재무 자료 검토

- (매출액) 2021년 40.0조 원, 최근 5개년 평균은 31.2조 원
- (영업이익) 2021년 6.6조 원, 최근 5개년 평균은 3.4조 원
- (당기순이익) 2021년 5.2조 원, 최근 5개년 평균은 2.2조 원
- (운영비) 2021년 34.7조 원, 최근 5개년 평균은 29조 원

○ 석유화학산업(LG화학) 주요 재무 자료 검토

- (매출액) 2021년 20.5조 원, 최근 5개년 평균은 21.3조 원
- (영업이익) 2021년 3.0조 원, 최근 5개년 평균은 1.8조 원
- (당기순이익) 2021년 2.5조 원, 최근 5개년 평균은 1.2조 원
- (운영비) 2021년 18.0조 원, 최근 5개년 평균은 20.1조 원

○ 시멘트산업(쌍용씨앤이) 주요 재무 자료 검토

- (매출액) 2021년 1.1조 원, 최근 5개년 평균은 1.0조 원
- (영업이익) 2021년 0.2조 원, 최근 5개년 평균은 0.2조 원
- (당기순이익) 2021년 0.2조 원, 최근 5개년 평균은 0.2조 원
- (운영비) 2021년 1.0조 원, 최근 5개년 평균은 0.8조 원

○ 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 주요 재무 자료 검토

- (매출액) 2021년 200.0조 원, 최근 5개년 평균은 171.0조 원
- (영업이익) 2021년 32.0조 원, 최근 5개년 평균은 29.0조 원
- (당기순이익) 2021년 31.0조 원, 최근 5개년 평균은 25.0조 원
- (운영비) 2021년 146.0조 원, 최근 5개년 평균은 170.0조 원

---

16) 실물옵션 기반 최적 투자관리 분석은 분석 모형의 구조적 특성 상 불확실성이 존재하는 요소(연간 매출액을 의미함)의 평균 증가율이 미래 현금흐름에 대한 할인율(WACC를 의미함)보다 작은 경우에만 분석이 가능한 특징을 가지므로, 주요 산업부문의 대표 기업 재무 자료 검토를 통해 최적 투자관리 시뮬레이션 분석 가능성을 검토하고자 함.

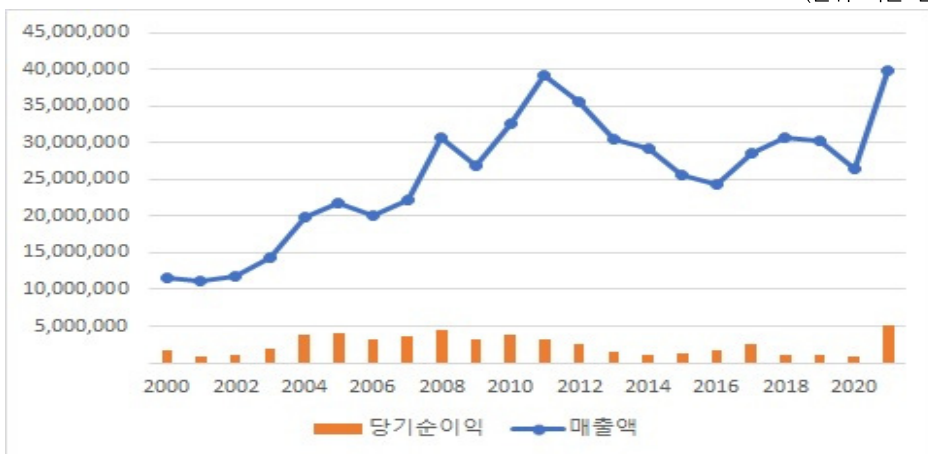
[표 3-1] 포스코홀딩스 주요 재무 자료

(단위: 백만 원)

연도	내용			
	매출액	영업이익	당기순이익	운영비
2000	11,692,000	2,099,224	1,636,991	10,055,009
2001	11,086,119	1,429,457	819,319	10,266,800
2002	11,728,595	1,833,485	1,101,325	10,627,270
2003	14,359,329	3,058,534	1,980,572	12,378,757
2004	19,792,478	5,053,728	3,826,016	15,966,462
2005	21,695,044	5,911,886	3,994,565	17,700,479
2006	20,043,409	3,892,307	3,206,605	16,836,804
2007	22,206,685	4,308,275	3,679,431	18,527,254
2008	30,642,409	6,540,059	4,446,933	26,195,476
2009	26,953,945	3,147,998	3,172,264	23,781,681
2010	32,582,037	4,904,125	3,784,361	28,797,676
2011	39,171,703	4,330,381	3,188,845	35,982,859
2012	35,664,933	2,789,597	2,499,523	33,165,410
2013	30,543,545	2,215,133	1,582,596	28,960,949
2014	29,218,854	2,350,035	1,138,958	28,079,896
2015	25,607,221	2,238,249	1,318,271	24,288,949
2016	24,324,933	2,635,337	1,785,046	22,539,887
2017	28,553,815	2,902,453	2,545,685	26,008,129
2018	30,659,425	3,809,376	1,072,592	29,586,834
2019	30,373,511	2,586,359	1,175,712	29,197,798
2020	26,509,920	1,135,197	965,863	25,544,057
2021	39,920,201	6,649,600	5,181,227	34,738,973

자료: 전자공시시스템 내 포스코홀딩스 사업보고서 자료 참고하여 재정리함.

(단위: 백만 원)



자료: 전자공시시스템 내 포스코홀딩스 사업보고서 자료 참고하여 재정리함.

[그림 3-1] 포스코홀딩스 매출액, 당기순이익 추이

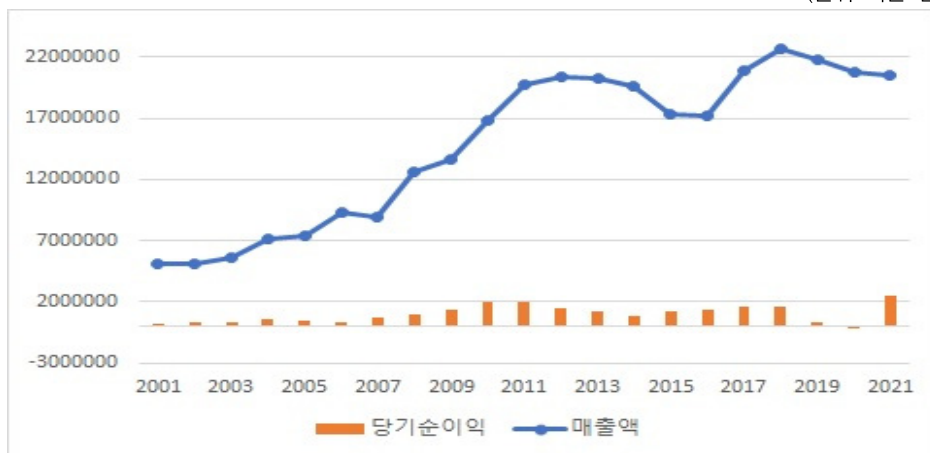
[표 3-2] LG화학 주요 재무 자료

(단위 백만 원)

연도	내용			
	매출액	영업이익	당기순이익	운영비
2000	5,420,738	595,859	324,820	5,095,918
2001	5,052,750	409,040	215,433	4,837,317
2002	5,114,624	510,497	345,277	4,769,347
2003	5,672,466	473,658	362,108	5,310,358
2004	7,127,411	522,918	536,420	6,590,991
2005	7,425,104	421,714	403,611	7,021,493
2006	9,280,154	336,340	316,000	8,964,154
2007	8,899,578	662,338	686,205	8,213,373
2008	12,645,000	1,344,349	1,002,585	11,642,415
2009	13,694,516	1,854,481	1,384,472	12,310,044
2010	16,850,454	2,516,390	1,970,993	14,879,461
2011	19,809,874	2,522,382	2,028,321	17,781,553
2012	20,442,790	1,726,960	1,440,317	19,002,473
2013	20,255,935	1,579,269	1,174,392	19,081,543
2014	19,675,975	1,133,125	823,496	18,852,479
2015	17,334,109	1,620,092	1,203,855	16,130,254
2016	17,264,845	1,813,245	1,379,589	15,885,256
2017	20,880,236	2,293,229	1,605,223	19,275,013
2018	22,700,373	1,981,181	1,581,064	21,119,309
2019	21,809,592	624,165	365,924	21,443,668
2020	20,830,009	1,114,437	-98,223	20,928,232
2021	20,471,044	3,019,160	2,514,263	17,956,781

자료: 전자공시시스템 내 LG화학 사업보고서 자료 참고하여 재정리함.

(단위 백만 원)



자료: 전자공시시스템 내 LG화학 사업보고서 자료 참고하여 재정리함.

[그림 3-2] LG화학 매출액, 당기순이익 추이

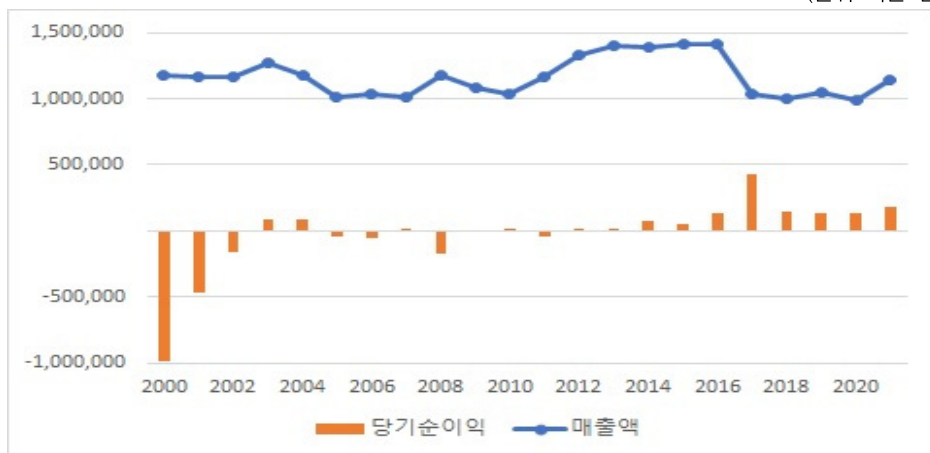
[표 3-3] 쌍용씨앤이 주요 재무 자료

(단위 백만 원)

연도	내용			
	매출액	영업이익	당기순이익	운영비
2000	1,173,243	6,425	-985,825	2,159,068
2001	1,168,168	103,460	-462,501	1,630,669
2002	1,165,048	171,733	-156,668	1,321,716
2003	1,273,600	240,569	83,144	1,190,456
2004	1,180,829	123,376	83,212	1,097,617
2005	1,015,456	5,707	-41,214	1,056,671
2006	1,038,260	-7,026	-54,052	1,092,312
2007	1,015,541	5,396	6,732	1,008,810
2008	1,172,374	-15,629	-168,705	1,341,079
2009	1,083,333	73,047	-2,639	1,085,972
2010	1,036,368	57,312	2,135	1,034,233
2011	1,165,195	7,308	-43,241	1,208,436
2012	1,333,799	81,942	13,148	1,320,651
2013	1,401,315	84,195	15,628	1,385,687
2014	1,387,093	117,965	79,941	1,307,152
2015	1,416,157	162,971	49,852	1,366,305
2016	1,411,404	178,361	134,926	1,276,477
2017	1,033,257	174,463	422,650	610,607
2018	995,863	167,468	150,905	844,957
2019	1,044,760	171,194	136,912	907,848
2020	992,644	196,067	134,193	858,451
2021	1,142,260	182,874	179,291	962,969

자료: 전자공시시스템 내 쌍용씨앤이 사업보고서 자료 참고하여 재정리함.

(단위 백만 원)



자료: 전자공시시스템 내 쌍용씨앤이 사업보고서 자료 참고하여 재정리함.

[그림 3-3] 쌍용씨앤이 매출액, 당기순이익 추이

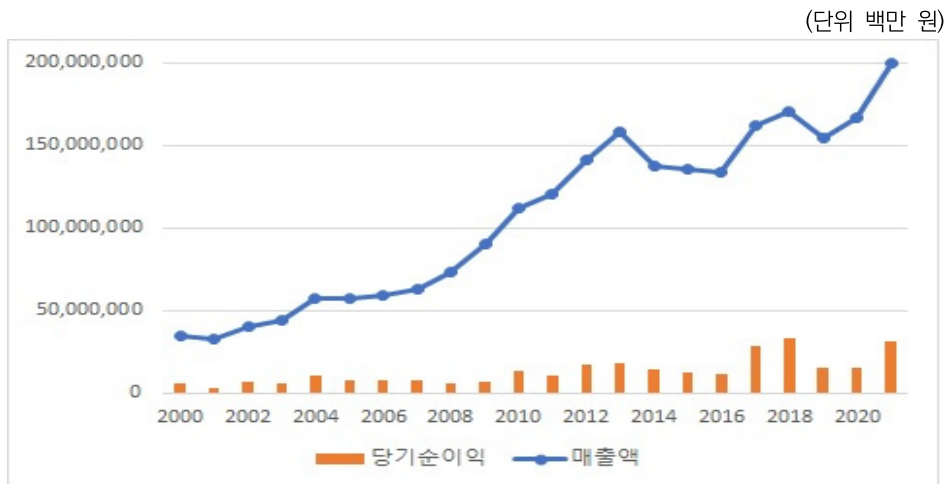


[표 3-4] 삼성전자 주요 재무 자료

(단위: 백만 원)

연도	내용			
	매출액	영업이익	당기순이익	운영비
2000	34,283,752	7,435,155	6,014,530	28,269,222
2001	32,380,375	2,295,334	2,946,935	29,433,440
2002	39,813,109	7,478,195	7,051,761	32,761,348
2003	43,582,016	7,192,702	5,958,998	37,623,018
2004	57,632,359	12,016,877	10,786,742	46,845,617
2005	57,457,670	8,059,775	7,610,755	49,846,915
2006	58,972,765	6,933,933	7,916,491	51,056,274
2007	63,175,968	5,942,855	7,425,016	55,750,952
2008	72,952,991	4,134,070	5,525,904	67,427,087
2009	89,772,834	7,387,134	6,208,140	83,564,694
2010	112,249,475	12,377,566	13,262,281	98,987,194
2011	120,815,977	9,758,083	10,048,192	110,767,785
2012	141,206,377	18,510,436	17,398,530	123,807,847
2013	158,372,089	21,807,005	17,929,520	140,442,569
2014	137,825,547	13,924,994	14,591,781	123,233,766
2015	135,205,045	13,398,215	12,238,469	122,966,576
2016	133,947,204	13,647,436	11,579,749	122,367,455
2017	161,915,007	34,857,091	28,800,837	133,114,170
2018	170,381,870	43,699,451	32,815,127	137,566,743
2019	154,772,859	14,115,067	15,353,323	139,419,536
2020	166,311,191	20,518,974	15,615,018	150,696,173
2021	199,744,705	31,993,162	30,970,954	168,773,751

자료: 전자공시시스템 내 삼성전자 사업보고서 자료 참고하여 재정리함.



자료: 전자공시시스템 내 삼성전자 사업보고서 자료 참고하여 재정리함.

[그림 3-4] 삼성전자 매출액, 당기순이익 추이

## 2. 시나리오별 시뮬레이션 분석 결과

### (1) 기업별 주요 재무자료 기반 적용 수치

- 주요 산업부문 대표 기업의 탄소중립 관련 투자에 대한 최적 투자관리 시뮬레이션 분석을 위해 적용되는 주요 항목(매출액, 운영비, WACC<sup>17)</sup> 매출액 평균 증가율, 매출액 순간 변동율<sup>18)</sup>)의 수치는 다음과 같음
  - 철강산업(포스코홀딩스) 주요 수치
    - (매출액,  $R$ ) 40.0조 원(2021년 기준)
    - (운영비,  $C$ ) 34.7조 원(2021년 기준)
    - (WACC,  $\rho$ ) 0.0625(2001년-2021년 평균)
    - (매출액 평균 증가율,  $a$ ) 0.0336(2011년-2021년 자료 적용)
    - (매출액 순간 변동율,  $\sigma$ ) 0.1738(2011년-2021년 자료 적용)
  - 석유화학산업(LG화학) 주요 수치
    - (매출액,  $R$ ) 20.5조 원(2021년 기준)
    - (운영비,  $C$ ) 18.0조 원(2021년 기준)
    - (WACC,  $\rho$ ) 0.0693(2001년-2021년 평균)
    - (매출액 평균 증가율,  $a$ ) 0.0221(2011년-2021년 자료 적용)
    - (매출액 순간 변동율,  $\sigma$ ) 0.0937(2011년-2021년 자료 적용)
  - 시멘트산업(쌍용씨앤이) 주요 수치
    - (매출액,  $R$ ) 1.1조 원(2021년 기준)
    - (운영비,  $C$ ) 1.0조 원(2021년 기준)
    - (WACC,  $\rho$ ) 0.0704(2011년-2021년 평균)
    - (매출액 평균 증가율,  $a$ ) 0.0167(2011년-2021년 자료 적용)
    - (매출액 순간 변동율,  $\sigma$ ) 0.1254(2011년-2021년 자료 적용)

17) 분석 대상 기업의 WACC는 KISVALUE에서 제공하는 연간 WACC 자료를 참고함.

18) 매출액 평균 증가율 및 순간 증가율은 Tsay(2001)에 제시된 산출 방식을 참고함.

- 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 주요 수치
  - (매출액,  $R$ ) 200.0조 원(2021년 기준)
  - (운영비,  $C$ ) 146.0조 원(2021년 기준)
  - (WACC,  $\rho$ ) 0.0743(2011년-2021년 평균)
  - (매출액 평균 증가율,  $\alpha$ ) 0.0583(2011년-2021년 자료 적용)
  - (매출액 순간 변동율,  $\sigma$ ) 0.1091(2011년-2021년 자료 적용)

## (2) 시나리오별 기업 수익 및 비용 구조 변화에 대한 적용 수치

- 앞서 제시된 시나리오별 기업 수익 및 비용 구조 변화를 나타내는 파라미터 수치는 다음과 같음
  - [시나리오 1] 매출액에만 영향을 미치는 경우
    - (시나리오 1-1) 매출액 증가( $m_{ru}$ : 0.05, 0.1, 0.2)
    - (시나리오 1-2) 매출액 감소( $m_{rd}$ : -0.05, -0.1, -0.2)
  - [시나리오 2] 운영비에만 영향을 미치는 경우
    - (시나리오 2-1) 운영비 증가( $m_{cu}$ : 0.05, 0.1, 0.2)
    - (시나리오 2-2) 운영비 감소( $m_{cd}$ : -0.05, -0.1, -0.2)
  - [시나리오 3] 매출액 및 운영비 모두에 영향을 미치는 경우
    - (시나리오 3-1) 매출액 증가 및 운영비 감소  
( $m_{cu}$ : 0.05, 0.1, 0.2 &  $m_{cd}$ : -0.05, -0.1, -0.2)
    - (시나리오 3-2) 매출액 증가 및 운영비 증가  
( $m_{ru}$ : 0.05, 0.1, 0.2 &  $m_{cu}$ : 0.05, 0.1, 0.2)
    - (시나리오 3-3) 매출액 감소 및 운영비 감소  
( $m_{rd}$ : -0.05, -0.1, -0.2 및  $m_{cd}$ : -0.05, -0.1, -0.2)
    - (시나리오 3-4) 매출액 감소 및 운영비 증가  
( $m_{rd}$ : -0.05, -0.1, -0.2 및  $m_{cu}$ : 0.05, 0.1, 0.2)

### (3) 시뮬레이션 분석 시 적용된 기타 요소 관련 적용 수치

- 기업의 탄소중립 관련 연간 투자 비용 규모
  - (연간 투자 비용 규모) 당기순이익의 5%, 10%, 20%
  - 탄소중립 관련 투자 규모에 대한 신뢰성 있는 정보 확보에 한계가 있어, 시나리오 외에 탄소중립 관련 연간 투자 비용 규모에 따른 민감도 분석을 진행하기 위해 당기순이익 기준의 연간 투자 비용 규모 수치를 가정함
- 기업의 탄소중립 관련 연간 투자 기간
  - (연간 투자 기간) 5년
  - 산업 또는 기업마다 탄소중립 관련 연간 투자 기간이 다를 수 밖에 없으나, 동일 조건에서의 시뮬레이션 분석을 위해 일괄적으로 탄소중립 관련 연간 투자가 5년간 진행되는 것으로 가정함
- 기업의 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 시작 시점
  - (투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 시작 시점) 투자 종료 이후 익년 부터 변화 시작
  - 산업 또는 기업마다 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화의 시작 시점이 다를 수 밖에 없으나, 동일 조건에서의 시뮬레이션 분석을 위해 일괄적으로 탄소중립 관련 투자 종료 이후 익년부터 발생하는 것으로 가정함( $T_1: 5$ )
- 기업의 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 기간
  - (투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 기간) 20년
  - 산업 또는 기업마다 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 기간이 다를 수 밖에 없으나, 동일 조건에서의 시뮬레이션 분석을 위해 일괄적으로 탄소중립 관련 투자 종료 이후 익년부터 20년간 발생하는 것으로 가정함( $T_2: 25$ )

#### (4) 시뮬레이션 분석 결과

- 본 연구에서는 다양한 시나리오와 투자 규모에 대한 민감도 분석을 고려한 분류 기준 하에서 시뮬레이션 분석 결과를 제시함
  - 제시되는 시나리오뿐만 아니라 시나리오별 수익 및 비용 구조 변화 정도에 대한 파라미터 수치 관련 경우의 수가 많은 관계로, 주요 산업부문별 대표 기업별(철강(포스코홀딩스), 석유화학(LG화학), 시멘트(쌍용씨앤이), 반도체·디스플레이(삼성전자))로 탄소중립 관련 연간 투자 규모의 가정(당기순이익 대비 5%, 10%, 20%)을 상위 분류 기준으로 간주함
  - 이후 제시된 투자 규모 가정 하에서의 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 정도에 대한 파라미터 수치( $m_{ri}$  &  $m_{ci}$ :  $\pm 0.1$ ,  $\pm 0.2$ ,  $\pm 0.3$ )를 고려한 시나리오(시나리오 1(6개), 시나리오 2(6개), 시나리오 3(36개))를 하위 분류 기준으로 간주함
  - 앞서 설명한 상위 및 하위 분류 기준을 종합적으로 고려하여 각 상황별 경제적 타당성 확보 여부에 대한 분석 결과를 정성적으로 정리한 다음, 매출액 관련 투자 임계값 대비 실제 매출액 비율( $\frac{R}{R^*}$ )에 대한 분석 결과를 시나리오별 최저 및 최고 값으로 제시하고, 분석 대상 기업의 매출액 불확실성을 고려한 탄소중립 관련 투자 관련 경제적 타당성 확보 여부에 대한 정보를 제공함

##### ① 철강산업(포스코홀딩스)

- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 5%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.4181(최저) & 0.7239(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개
- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 10%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.4171(최저) & 0.7216(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개

- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 20%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.4150(최저) & 0.7171(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개

**[표 3-5] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.5715	0.6314	0개
	2	3개	0.4715	0.5315	0개
시나리오 2	1	3개	0.4890	0.5344	0개
	2	3개	0.5696	0.6322	0개
시나리오 3	1	9개	0.5903	0.7239	0개
	2	9개	0.5067	0.6119	0개
	3	9개	0.4870	0.6093	0개
	4	9개	0.4181	0.5150	0개

자료: 저자작성.

**[표 3-6] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.5699	0.6297	0개
	2	3개	0.4702	0.5300	0개
시나리오 2	1	3개	0.4878	0.5330	0개
	2	3개	0.5680	0.6302	0개
시나리오 3	1	9개	0.5886	0.7216	0개
	2	9개	0.5055	0.6103	0개
	3	9개	0.4856	0.6073	0개
	4	9개	0.4171	0.5136	0개

자료: 저자작성.

[표 3-7] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.5667	0.6262	0개
	2	3개	0.4676	0.5271	0개
시나리오 2	1	3개	0.4854	0.5301	0개
	2	3개	0.5648	0.6262	0개
시나리오 3	1	9개	0.5853	0.7171	0개
	2	9개	0.5030	0.6070	0개
	3	9개	0.4829	0.6035	0개
	4	9개	0.4150	0.5109	0개

자료: 저자작성.

② 석유화학산업(LG화학)

○ (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 5%

- ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6403(최저) & 1.0805(최고)

- (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 3개/48개

○ (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 10%

- ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6388(최저) & 1.0771(최고)

- (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 3개/48개

○ (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 20%

- ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6357(최저) & 1.0704(최고)

- (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 3개/48개

**[표 3-8] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8614	0.9463	0개
	2	3개	0.7198	0.8048	0개
시나리오 2	1	3개	0.7410	0.8080	0개
	2	3개	0.8597	0.9512	0개
시나리오 3	1	9개	0.8890	1.0805	3개
	2	9개	0.7662	0.9178	0개
	3	9개	0.7429	0.9188	0개
	4	9개	0.6403	0.7805	0개

자료: 저자작성.

**[표 3-9] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8590	0.9437	0개
	2	3개	0.7179	0.8026	0개
시나리오 2	1	3개	0.7392	0.8058	0개
	2	3개	0.8573	0.9482	0개
시나리오 3	1	9개	0.8865	1.0771	3개
	2	9개	0.7644	0.9154	0개
	3	9개	0.7408	0.9160	0개
	4	9개	0.6388	0.7785	0개

자료: 저자작성.

**[표 3-10] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8544	0.9386	0개
	2	3개	0.7140	0.7982	0개
시나리오 2	1	3개	0.7357	0.8016	0개
	2	3개	0.8525	0.9423	0개
시나리오 3	1	9개	0.8815	1.0704	3개
	2	9개	0.7607	0.9106	0개
	3	9개	0.7366	0.9103	0개
	4	9개	0.6357	0.7744	0개

자료: 저자작성.



③ 시멘트산업(쌍용씨앤이)

- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 5%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6398(최저) & 1.0708(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 3개/48개
- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 10%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6377(최저) & 1.0664(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 2개/48개
- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 20%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.6336(최저) & 1.0575(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 1개/48개

[표 3-11] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8562	0.9386	0개
	2	3개	0.7188	0.8012	0개
시나리오 2	1	3개	0.7376	0.8039	0개
	2	3개	0.8551	0.9454	0개
시나리오 3	1	9개	0.8835	1.0708	3개
	2	9개	0.7621	0.9105	0개
	3	9개	0.7417	0.9141	0개
	4	9개	0.6398	0.7772	0개

자료: 저자작성.

[표 3-12] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8531	0.9352	0개
	2	3개	0.7162	0.7983	0개
시나리오 2	1	3개	0.7352	0.8010	0개
	2	3개	0.8519	0.9415	0개
시나리오 3	1	9개	0.8801	1.0664	2개
	2	9개	0.7596	0.9073	0개
	3	9개	0.7389	0.9103	0개
	4	9개	0.6377	0.7745	0개

자료: 저자작성.

[표 3-13] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.8469	0.9284	0개
	2	3개	0.7110	0.7925	0개
시나리오 2	1	3개	0.7305	0.7954	0개
	2	3개	0.8455	0.9337	0개
시나리오 3	1	9개	0.8735	1.0575	1개
	2	9개	0.7547	0.9009	0개
	3	9개	0.7334	0.9028	0개
	4	9개	0.6336	0.7690	0개

자료: 저자작성.

④ 반도체·디스플레이산업(삼성전자)

○ (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 5%

- ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.3211(최저) & 0.5560(최고)

- (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개

○ (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 10%

- ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.3201(최저) & 0.5536(최고)

- (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개

- (탄소중립 관련 연간 투자 규모) 당기순이익 대비 20%
  - ( $\frac{R}{R^*}$  최저 및 최고 값) 0.3180(최저) & 0.5490(최고)
  - (경제적 타당성 확보 가능한 경우의 수) 0개/48개

**[표 3-14] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.4403	0.4885	0개
	2	3개	0.3601	0.4083	0개
시나리오 2	1	3개	0.3784	0.4118	0개
	2	3개	0.4376	0.4830	0개
시나리오 3	1	9개	0.4541	0.5560	0개
	2	9개	0.3927	0.4741	0개
	3	9개	0.3714	0.4647	0개
	4	9개	0.3211	0.3962	0개

자료: 저자작성.

**[표 3-15] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.4387	0.4867	0개
	2	3개	0.3588	0.4068	0개
시나리오 2	1	3개	0.3771	0.4103	0개
	2	3개	0.4359	0.4809	0개
시나리오 3	1	9개	0.4524	0.5536	0개
	2	9개	0.3914	0.4724	0개
	3	9개	0.3700	0.4627	0개
	4	9개	0.3201	0.3948	0개

자료: 저자작성.

**[표 3-16] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)**

구분	세부	구성 수	R/R*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	0.4355	0.4831	0개
	2	3개	0.3562	0.4038	0개
시나리오 2	1	3개	0.3746	0.4074	0개
	2	3개	0.4326	0.4769	0개
시나리오 3	1	9개	0.4490	0.5490	0개
	2	9개	0.3888	0.4690	0개
	3	9개	0.3672	0.4589	0개
	4	9개	0.3180	0.3920	0개

자료: 저자작성.

## 결론 및 정책적 제언

제1절 결론

제2절 정책적 제언

4장



## 제4장 결론 및 정책적 제언

### 제1절 결론

- 본 연구에서는 탄소중립을 고려한 주요 산업부문별 대표 기업을 대상으로 최적 투자관리 시뮬레이션 분석을 실시함
  - 시나리오는 기업들의 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변화 정도에 따라 구성하였으며, 기업별로 48개(시나리오 1(6개), 시나리오 2(6개), 시나리오 3(36개))의 세부 시나리오를 적용함
  - 또한 기업별 탄소중립 투자 규모에 대한 정보 수집의 한계로 인해 당기순이익 대비 비중에 따라 3개의 연간 투자 규모(당기순이익 대비 5%, 10%, 20%)에 따른 민감도 분석을 실시함
- 본 연구에서 가정한 시나리오 및 탄소중립 투자 규모를 고려한 시뮬레이션 분석 결과는 다음과 같음
  - (철강산업(포스코홀딩스)) 모든 시나리오에서 탄소중립 관련 투자 경제적 타당성이 확보되지 않는 것으로 나타남
  - (석유화학산업(LG화학)) 시나리오 3-1(탄소중립 투자 이후 매출액 증가 및 운영비 감소)하에서만, 제한적으로 탄소중립 투자에 대한 경제적 타당성 확보가 가능한 것으로 나타남
  - (시멘트산업(쌍용씨앤이)) 시나리오 3-1(탄소중립 투자 이후 매출액 증가 및 운영비 감소)하에서만, 제한적으로 탄소중립 투자에 대한 경제적 타당성 확보가 가능한 것으로 나타남
  - (반도체·디스플레이산업(삼성전자)) 모든 시나리오에서 탄소중립 관련 투자 경제적 타당성이 확보되지 않는 것으로 나타남

- 본 연구의 분석 결과를 통해, 탄소중립 관련 투자 이후 매출액의 불확실성을 고려할 경우, 경제적 타당성 확보 여부는 기업 규모보다 기업 운영과 관련된 다른 요소들에 의해 좌우될 수 있음을 확인함
  - 특히 탄소중립 관련 투자 이후 기업의 수익 및 비용 구조 변화 정도에 따라 기업 입장에서의 탄소중립 투자에 대한 경제적 타당성 확보 여부가 달라질 수 있음을 분석 결과를 통해 확인할 수 있음
  - 이는 탄소중립 관련 투자가 투자 이후 기업의 매출액 증가 및 운영비 감소에 유의미한 영향을 끼치는 경우에 한해, 해당 투자에 대한 경제적 타당성이 확보될 가능성이 있음을 의미함
  - 탄소중립 관련 투자에 따라 기업의 매출액이 증가하기 위해서는, 주요 산업부문 관련 저탄소 제품에 대한 확실한 시장 선호도가 형성되어야 할 것으로 판단됨
  - 탄소중립 관련 투자에 따라 기업의 운영비가 감소하기 위해서는, 제품 생산 과정을 고려한 탄소비용 현실화 및 투자 이전 대비 생산공정 효율화가 이루어져야 할 것으로 판단됨
- 본 연구에서는 탄소중립 관련 투자 이후 매출액의 불확실성을 고려하지 않은 경우에 대한 경제적 타당성 확보 여부에 대한 분석 또한 진행하였으며, 해당 분석 결과는 본 연구의 부록에 표로 정리하여 별도로 제시함<sup>19)</sup>
  - 매출액의 불확실성을 고려하지 않은 경우는 불확실성 반영에 따른 투자 지연 효과( $\frac{\beta}{\beta-1}$ )가 반영되지 않아, 매출액에 대한 투자 임계값 ( $R^*$ )의 규모가 불확실성을 고려한 경우에 비해 상대적으로 낮은 특성을 가짐

19) 탄소중립 관련 투자 이후 매출액의 불확실성을 고려하지 않은 경우에 대한 경제적 타당성 확보 여부에 대한 분석 결과는 표로 정리하여 부록에서만 제시함. 본 연구는 주요 목적이 탄소중립 관련 투자 이후 매출액의 불확실성을 고려한 기업 입장에서의 경제적 타당성 확보 여부를 분석하는 것이기 때문에, 매출액의 불확실성을 고려하지 않은 경우의 분석 결과는 비교 대상으로 부록에 결과 값만 제시하였음을 밝힘.



- 분석 결과를 종합적으로 비교해보면, 매출액의 불확실성을 고려한 경우가 매출액의 불확실성을 고려하지 않은 경우에 비해 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성이 확보되는 경우가 상대적으로 훨씬 적은 것으로 나타남(불확실성 고려하지 않은 모든 경우에 있어 경제적 타당성이 확보되는 것으로 나타남, 부록 결과 참고)
- 탄소중립 관련 산업부문 투자의 경우 대규모 투자가 요구될 뿐만 아니라 투자와 관련된 불확실성이 큰 것으로 알려져 있어, 기업 입장에서 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성 확보 여부를 확인하기 위해서는 투자 환경에 내포된 불확실성을 반영하는 것이 매우 중요할 것으로 판단됨

## 제2절 정책적 제언

### 1. 정책적 제언

- 본 연구의 분석 결과를 통해, 다음의 정책적 제언을 제시하고자 함
  - 기업의 탄소중립 관련 핵심기술 개발 및 이전을 위한 정부 지원 필요
  - 기업의 탄소중립 대응을 지원할 수 있는 제도적 기반 마련 필요
- 기업의 탄소중립 관련 핵심기술 개발 및 이전을 위한 정부 지원 필요
  - 본 연구에서 제시된 주요 산업부문의 탄소중립 대응 방향을 살펴보면 산업부문마다 세부 대응 방향에 차이는 있지만, 큰 틀에서 공통적으로 탄소중립 이행에 필요한 핵심기술 개발과 관련된 지원이 필요한 것으로 나타남
  - 주요 산업부문별로 탄소중립 관련 핵심기술 개발은 개별 기업 단독으로 수행하기에는 기술력, 시간, 자원 등에 한계가 있는 것으로 알려져 있음
  - 그러므로 정부 지원을 통해 제한된 기간 내에 기업이 탄소중립 관련 핵심기술을 개발하고, 개발된 핵심기술을 관련 기업에 원활하게 이전할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있음
  - 정부 지원을 통해 탄소중립 관련 핵심기술 개발 및 이전이 원활하게 이루어질 수 있다면, EU의 탄소국경조정제(CBAM) 등과 같은 글로벌 탄소중립 이슈에 원활하게 대응하면서 주요 산업부문의 글로벌 경쟁력 강화에도 기여할 수 있을 것으로 기대됨
- 기업의 탄소중립 대응을 지원할 수 있는 제도적 기반 마련 필요
  - 분석 결과에서도 제시된 바와 같이 기업 입장에서 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성을 확보하기 위해서는, 투자 이후 기업의 매출액 및 운영비에 긍정적인 변화가 발생하는 것이 중요함
  - 기업의 매출액이 증가되기 위해서는 저탄소화를 위한 노력이 반영된 제품에 대한 시장 선호도가 형성될 필요가 있으며, 이를 위해 저탄소

제품의 시장 진입을 방해하는 규제들을 검토하여 완화하거나 저탄소 제품을 활용하는 수요자들에게 세제 혜택을 제공할 수 있는 제도적 기반이 마련되어야 함

- 기업의 운영비가 감소되기 위해서는 탄소중립을 위해 노력한 기업들이 상대적으로 덜 노력한 기업들에 비해 운영비를 절감할 수 있도록 하는 탄소비용 현실화 및 생산공정 효율성 개선 관련 투자를 장려할 수 있는 금융·세제 혜택 제공이 가능하도록, 제도적 기반이 마련되어야 함
- 이와 같은 제도적 지원은 저탄소 제품의 시장 선호도를 형성하고 기업의 생산 효율성 개선에 기여하여, 중장기적인 관점에서 기업 경쟁력 강화에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단됨
- 또한, 제도적 지원은 탄소중립 실현을 위해 추진되고 있는 다양한 형태의 산업부문 규제에 기업들이 원활하게 대응할 수 있는 기반을 제공하여, RE100 참여, 탄소중립 관련 기술혁신 등에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대됨

## 2. 연구의 한계

- 본 연구에서는 탄소 다배출 산업으로 간주되는 주요 산업부문의 대표 기업 입장에서 탄소중립 관련 투자의 경제적 타당성을 확인하기 위한 시뮬레이션 분석을 실시하였으나, 한계 또한 존재함
  - 시대적 흐름을 고려하여 탄소중립 대응을 회피할 수 없는 현실을 고려할 때, 국가 탄소중립 목표 달성에 있어 중요한 역할을 담당하고 있는 산업부문의 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성을 분석한 것은 시의성을 가지는 일이라 생각함
  - 하지만 시나리오 기반의 시뮬레이션 분석이라는 측면에서, 본 연구가 가지는 한계가 존재함
  - 특히 기업의 탄소중립 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조의 변환 정

도, 주요 기업의 탄소중립 연간 투자 규모, 관련 투자 이후 수익 및 비용 구조 변환이 시작되는 시점 및 영향을 미치는 기간 등 투자와 관련된 다양한 요소들을 시나리오 기반으로 일괄적으로 가정을 했기 때문에, 기업별로 차별화될 수 밖에 없는 탄소중립과 관련된 실제 투자 여건을 세심하게 반영하지 못했음

- 그러므로 본 연구의 분석 결과만을 가지고 분석 대상 기업이 탄소중립 관련 투자 시 경제적 타당성을 확실하게 확보할 수 있다고 말하기는 어려운 한계가 존재함
  - 하지만 현재 당사자인 기업들 입장에서도 국가 탄소중립 목표 달성에 기여하기 위해 어느 정도의 투자가 어느 정도 기간까지 시행되어야 할지 정확히 예상하기 어려운 상황임을 고려할 때, 본 연구에서 제시된 시뮬레이션 분석이 대안적 방안을 모색할 수 있는 나침반 역할을 할 수 있다고 여겨짐
  - 특히 기업 운영 입장에서 가장 중요한 매출액의 불확실성을 고려한 탄소중립 관련 투자에 대한 최적 투자관리 분석을 진행했다는 측면에서 기존 연구들과 차별성을 가진다고 볼 수 있음
- 향후 본 연구를 보완하기 위해서는 분석 대상 확대, 분석 자료 및 목적식 구성 보완 등이 이루어질 필요가 있음
- 본 연구에서는 탄소중립과 관련된 주요 산업부문의 대표 기업을 분석 대상으로 간주함
  - 탄소중립 이행에 핵심역할을 할 수 있는 기업들을 대상으로 분석을 진행하였기에 실효성 측면에서는 의미가 있지만, 본 분석만으로 주요 지역 기업들의 탄소중립 이행을 위한 전략을 제시하는 것에는 한계가 있음
  - 그러므로 본 연구에서 주요 산업부문별 대표 기업의 탄소중립 관련 최적 투자관리 분석 경험을 바탕으로, 향후 주요 지역 기업들의 탄소중립 이행을 지원할 수 있는 추가적인 연구 수행이 필요할 것으로 판단됨
  - 또한 기업의 탄소중립 이행 방안이 구체화 된다면 기업별로 예상되는

탄소중립 관련 투자 비용을 현실적으로 반영하여, 보다 현실적인 분석 결과를 제시할 수 있도록 분석 자료 보완이 이루어지면 좋을 것으로 판단됨

- 마지막으로 향후 추가 연구 수행 시에는 탄소중립 관련 투자 이후의 기업 수익 구조를 반영한 목적식 구축 시 탄소중립 관련 투자 이전의 기업 수익 구조를 제외하여, 본 연구에서보다 엄밀하게 기업의 탄소중립 관련 투자에 대한 경제적 타당성 확보 여부를 분석할 필요가 있음

## 참고문헌

### □ 문헌

관계부처합동(2019) 제2차 기후변화대응 기본계획.

관계부처합동(2020), 2050 탄소중립 추진전략.

남상욱(2022), 반도체·디스플레이산업의 탄소중립 추진전략과 정책과제, 산업연구원 이슈페이퍼 2022-02.

남영식·이재형(2020), 태양광 REC 최적 거래 방식에 관한 연구, 자원·환경경제연구 제29권 1호.

대한민국정부(2020), 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략.

박종욱, 이나윤(2021), 기후변화 대응이 산업에 미치는 영향, 한국은행, 조사통계월보 제75권 9호(2021.9).

박호정(2005), 배출권 가격 불확실성을 고려한 기업의 환경투자 실물옵션 연구, 경제학 연구 제53권 4호.

박호정(2018), 실물옵션과 투자분석- 불확실성과 경제적 타당성 평가, 리얼포탈.

박호정·남영식(2018), 전력가격 평균 회귀성을 고려한 연료전지 발전의 실물옵션 분석, 자원·환경경제연구 제27권 4호.

산업통상자원부(2020), 제9차 전력수급기본계획(2020~2034).

산업연구원(2021), 산업부문 탄소중립 추진전략과 주요 과제, 온라인 세미나 자료.

송홍선(2022), 2050 탄소중립을 위한 자본시장의 변화와 발전 과제, 자본시장포커스 2022-02호.

이고은(2022), 국내 시멘트산업의 탄소중립 추진 전략과 정책과제, 산업연구원 이슈페이퍼 2022-01.

이재윤, 양진혁(2022), 철강산업의 탄소중립 추진 전략과 정책과제, 산업연구원 이슈페이퍼 2022-06.

조용원, 이상원, 김경문(2021), 석유화학산업 탄소중립 전략과 정책적 대응방안, 산업연구원 이슈페이퍼 2021-19.

환경부(2021), 2021년 환경부 탄소중립 이행계획.

Abadie, Luis M., et al.(2017), Carbon risk and optimal retrofitting in cement plants: An application of stochastic modelling, MonteCarlo simulation and Real Options Analysis, Journal of Cleaner Production Vol. 142.

Acciaro, Michele(2014), Real option analysis for environmental compliance: LNG and emission control areas, Transportation Research Part D:

Transport and Environment Vol. 28.  
 European Parliament(2021), Moving towards Zero-Emission Steel :  
 Technologies Available, Prospects, Timeline and Costs.  
 OECD(2019), Low and zero emissions in the steel and cement industries.  
 Swennenhuis, Floris. et al.(2022), Towards a CO2-neutral steel industry:  
 Justice aspects of CO2 capture and storage, biomass- and green  
 hydrogen-based emission reductions Energy Research & Social  
 Science Vol. 88.  
 Wang, Xiping, and Du, Lei.(2016), Study on carbon capture and storage  
 (CCS) investment decision-making based on real options for China's  
 coal-fired power plants " Journal of Cleaner Production Vol. 112.  
 Zhang, Xian, et al(2014), A novel modeling based real option approach  
 for CCS investment evaluation under multiple uncertainties." Applied  
 Energy Vol. 113.

□ 법률

<2050 탄소중립위원회의 설치 및 운영에 관한 규정>(제정 2021. 5. 4.), 대통령령  
 제 31669호,  
 <기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법>(제정 2021, 9, 24), 법률 제  
 18469호.  
 <대기환경보전법>(타법개정 2021. 9. 24) 법률 제 18469호.

□ 홈페이지

국가에너지통계종합정보시스템 (<http://www.kesis.net/main/main.jsp>).  
 국가통계포털 (<https://kosis.kr/index/index.do>).  
 에너지경제연구원 (<https://www.keei.re.kr/main.nsf/index.html>).  
 전자공시시스템 (<https://dart.fss.or.kr>).  
 통계청 (<https://kostat.go.kr/portal/korea/index.action>).





## [부록] 탄소중립 관련 투자 이후 매출액 불확실성을 고려하지 않은 시뮬레이션 분석 결과

- 탄소중립 관련 투자 이후 매출액 불확실성을 고려하지 않은 경우의 주요 산업부문별 대표기업별 경제적 타당성 확보 여부에 대한 시뮬레이션 분석 결과를 표로 정리하여 다음과 같이 제시함
  - 해당 결과는 본 연구의 본문에 제시된 시뮬레이션 분석 결과와 비교 자료로 활용하기 위해 제시함
  - 본 연구의 본문에 제시된 매출액 관련 투자 임계값( $R^*$ )의 구성 요소 중  $\left(\frac{\beta}{\beta-1}\right)$ 이 제외된 값이 불확실성을 고려하지 않은 경우의 매출액 관련 투자 임계값( $R_{NPV}^*$ )으로 간주할 수 있음

**[부록 표 1] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)**

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	1.6854	1.8623	3개
	2	3개	1.3905	1.5674	3개
시나리오 2	1	3개	1.4422	1.5761	3개
	2	3개	1.6800	1.8645	3개
시나리오 3	1	9개	1.7409	2.1349	9개
	2	9개	1.4945	1.8047	9개
	3	9개	1.4363	1.7969	9개
	4	9개	1.2330	1.5189	9개

자료: 저자작성.

**[부록 표 2] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)**

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	1.6807	1.8571	3개
	2	3개	1.3866	1.5631	3개
시나리오 2	1	3개	1.4387	1.5719	3개
	2	3개	1.6752	1.8586	3개
시나리오 3	1	9개	1.7360	2.1282	9개
	2	9개	1.4909	1.7998	9개
	3	9개	1.4322	1.7912	9개
	4	9개	1.2300	1.5149	9개

자료: 저자작성.

**[부록 표 3] 철강산업(포스코홀딩스) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)**

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	1.6715	1.8469	3개
	2	3개	1.3790	1.5545	3개
시나리오 2	1	3개	1.4317	1.5635	3개
	2	3개	1.6657	1.8469	3개
시나리오 3	1	9개	1.7261	2.1148	9개
	2	9개	1.4836	1.7903	9개
	3	9개	1.4241	1.7799	9개
	4	9개	1.2240	1.5068	9개

자료: 저자작성.

[부록 표 4] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	1.4599	1.6038	3개
	2	3개	1.2200	1.3639	3개
시나리오 2	1	3개	1.2560	1.3694	3개
	2	3개	1.4572	1.6121	3개
시나리오 3	1	9개	1.5067	1.8312	9개
	2	9개	1.2987	1.5556	9개
	3	9개	1.2591	1.5573	9개
	4	9개	1.0852	1.3229	9개

자료: 저자작성.

[부록 표 5] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	1.4559	1.5995	3개
	2	3개	1.2167	1.3602	3개
시나리오 2	1	3개	1.2529	1.3658	3개
	2	3개	1.4530	1.6071	3개
시나리오 3	1	9개	1.5024	1.8255	9개
	2	9개	1.2955	1.5514	9개
	3	9개	1.2555	1.5524	9개
	4	9개	1.0826	1.3194	9개

자료: 저자작성.

[부록 표 6] 석유화학산업(LG화학) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	1.4480	1.5908	3개
	2	3개	1.2100	1.3528	3개
시나리오 2	1	3개	1.2469	1.3586	3개
	2	3개	1.4449	1.5971	3개
시나리오 3	1	9개	1.4940	1.8142	9개
	2	9개	1.2892	1.5433	9개
	3	9개	1.2485	1.5428	9개
	4	9개	1.0774	1.3124	9개

자료: 저자작성.

[부록 표 7] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	1.4341	1.5721	3개
	2	3개	1.2040	1.3420	3개
시나리오 2	1	3개	1.2355	1.3465	3개
	2	3개	1.4323	1.5836	3개
시나리오 3	1	9개	1.4798	1.7936	9개
	2	9개	1.2765	1.5251	9개
	3	9개	1.2423	1.5311	9개
	4	9개	1.0717	1.3018	9개

자료: 저자작성.

[부록 표 8] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	1.4288	1.5664	3개
	2	3개	1.1996	1.3371	3개
시나리오 2	1	3개	1.2315	1.3417	3개
	2	3개	1.4269	1.5770	3개
시나리오 3	1	9개	1.4742	1.7861	9개
	2	9개	1.2723	1.5196	9개
	3	9개	1.2376	1.5247	9개
	4	9개	1.0682	1.2972	9개

자료: 저자작성.

[부록 표 9] 시멘트산업(쌍용씨앤이) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	1.4185	1.5550	3개
	2	3개	1.1909	1.3274	3개
시나리오 2	1	3개	1.2235	1.3323	3개
	2	3개	1.4162	1.5640	3개
시나리오 3	1	9개	1.4631	1.7714	9개
	2	9개	1.2641	1.5089	9개
	3	9개	1.2284	1.5121	9개
	4	9개	1.0613	1.2881	9개

자료: 저자작성.

**[부록 표 10] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 5%)**

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	2.2541	2.5004	3개
	2	3개	1.8436	2.0899	3개
시나리오 2	1	3개	1.9368	2.1080	3개
	2	3개	2.2400	2.4722	3개
시나리오 3	1	9개	2.3247	2.8460	9개
	2	9개	2.0100	2.4268	9개
	3	9개	1.9013	2.3788	9개
	4	9개	1.6439	2.0283	9개

자료: 저자작성.

**[부록 표 11] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 10%)**

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	2.2458	2.4912	3개
	2	3개	1.8367	2.0821	3개
시나리오 2	1	3개	1.9304	2.1004	3개
	2	3개	2.2314	2.4618	3개
시나리오 3	1	9개	2.3158	2.8340	9개
	2	9개	2.0034	2.4180	9개
	3	9개	1.8940	2.3687	9개
	4	9개	1.6385	2.0210	9개

자료: 저자작성.

**[부록 표 12] 반도체·디스플레이산업(삼성전자) 시뮬레이션 결과(투자 규모 20%)**

구분	세부	구성 수	R/R_NPV*		경제적 타당성 확보
			최저	최고	
시나리오 1	1	3개	2.2292	2.4728	3개
	2	3개	1.8232	2.0668	3개
시나리오 2	1	3개	1.9177	2.0854	3개
	2	3개	2.2145	2.4412	3개
시나리오 3	1	9개	2.2982	2.8103	9개
	2	9개	1.9902	2.4007	9개
	3	9개	1.8797	2.3489	9개
	4	9개	1.6277	2.0066	9개

자료: 저자작성.





34051 대전광역시 유성구 전민로37(문지동)  
TEL. 042-530-3500 FAX. 042-530-3508  
[www.dsi.re.kr](http://www.dsi.re.kr)

ISBN 979-11-6075-345-5 93350