

탈석탄 및 그린뉴딜 추진 전략계획 수립

박 근 오 (충남연구원 재난안전연구센터 전임책임연구원, keunoh@cni.re.kr)

방 만 기 (충남연구원 경제동향분석센터 전임책임연구원, Bangmg@cni.re.kr)

본 연구는 BH의 '2050 넷제로', 미국 바이든 대통령당선자의 '2050 탄소중립' 및 충남도지사의 탈석탄 및 기후위기대응 정책기조에 발맞춰 '탈석탄-그린뉴딜'을 위한 사업발굴 및 실행방안을 모색하는 것을 연구의 목적으로 함

CONTENTS

1. 추진배경 및 목적
2. 해외 사례 검토
 - 1) 일본(Japan)
 - 2) 독일(Germany)
3. 결론 및 제언

요약

- 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 탈석탄 정책 및 그린뉴딜 정책에 대한 관심과 관련 정책마련에 부심하고 있는 것이 현실이며, 탈석탄 및 그린뉴딜을 향한 계획적 추진전략 마련 및 실행계획 수립이 요구되며, 이에 필요한 기초적 연구가 필요함
- 일본은 전략적 이노베이션 창조프로그램(SIP), 미쓰비시 종합연구소의 2050년 에너지 비전, 제3차 에너지혁명에 따른 에너지 서플라이체인 혁신 등으로 탈석탄 및 그린뉴딜 사업을 추진하고 있음
- 독일과 유럽에서는 장기적으로 글로벌 기후 중립적인 경제 활동을 가능하게 하기 위해서는 모든 분야에서 재생 에너지를 사용할 수 있는 기술의 사용이 필수적인 전제 조건이며 동시에 산업정책적인 기회로 응용하고 있음
- 기후변화에 대처하기 위해서는 상당한 민간부문 투자가 필요하여 이에 대한 방안을 강구해야 함을 제언하였음
- 즉, 수소기술은 2050년에 기후중립을 달성하기 위한 중요한 부문이며, 민간투자 동원을 위해 부문간 CO2 가격책정, 에너지 가격개혁 및 인증 등이 필요함을 제언하였고, 정치와 기업 간의 합의에 도달하기 위해서는 공공 조정 프로세스의 선행, 로드맵 및 프레임워크 조정 등 필요한 아젠다를 정부가 적극 관리할 필요가 있음을 제언하였음

01

추진배경 및 목적

1. 추진배경

- 파리협정에 따라 전 세계는 2040년, 그리고 OECD국가는 2030년까지 탈석탄 목표치를 달성해야 함
 - 우리나라도 이를 위해 2030년까지 탄소배출 제로를 달성해야만 하는 상황
- 즉, 이러한 국가차원의 감축 목표를 달성하기 위해 발전부문에서의 탈석탄화를 빠르게 이루어내야 함
 - 석탄 사용량 대폭 감소와 재생에너지 사용 비중의 확대를 축으로 하는 체계적, 과감한 계획을 수립하여 속도감있게 정책을 추진해야만 탈석탄화를 실현할 수 있음
- 한편, 2020년 5월 문재인대통령은 그린뉴딜을 언급하면서 우리가 가야할 길임을 강조한 바 있음
 - 한국판 뉴딜은 우리나라의 경제와 사회를 새롭게 변화시키고자 하는 정책적 노력으로 디지털뉴딜, 그린뉴딜, 휴먼뉴딜, 지역균형뉴딜로 구분할 수 있음
- 이중 그린뉴딜은 탄소중립 추진기반 구축, 도시·공간·생활인프라 녹색전환, 저탄소·분산형 에너지 확산, 녹색산업혁신 생태계구축 등 4가지의 대표적 전략으로 추진되고 있음
- 이처럼 대통령의 언급 이후 그린뉴딜은 빠른 속도로 사회 전반에 스며들고 있음
 - 태양광과 풍력의 비중을 오는 2040년까지 현재 7~8% 수준에서 30~35%까지 늘리기로 하는 등 그린뉴딜의 재생에너지 확대 목표로 박차를 가해 추진되고 있음

- 전 세계적으로도 지구를 살리기 위한 탈석탄 노력의 일환으로 다양한 노력들이 진행 중임
 - 독일은 2027년 이후 온실가스 배출을 강제로 폐지하기로 하면서 고용지원금을 향후 5년간 지급하기로 하였으며, 네덜란드는 2029년까지 모든 발전소를 퇴출시키기로 결정
 - 영국은 2008년에 이미 장기계획을 세워 탄소가격하한제 등 유도책을 마련하여 시행 중이며, 미국의 경우에는 오바마 대통령 이후 탈석탄 추세가 꾸준히 이어져오고 있는 가운데 주마다 관련 법을 제정하는 등 대응책을 마련해오고 있음
- 이처럼 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 탈석탄 정책 및 그린뉴딜 정책에 대한 관심과 관련 정책마련에 부심한 것이 현실임
 - 이러한 가운데 탈석탄 및 그린뉴딜을 향한 계획적 추진전략의 마련과 그에 따른 실행계획의 수립이 요구되며, 이에 필요한 기초적 연구가 필요한 시점임

2. 연구의 목적

- 본 과업은 BH의 ‘2050 넷제로’, 미국 바이든 대통령당선자의 ‘2050 탄소중립’ 및 충남 도지사의 탈석탄 및 기후위기대응 정책기조에 발맞춰 ‘탈석탄-그린뉴딜’을 위한 사업 발굴 및 실행방안을 모색하는 것을 연구의 목적으로 함

3. 연구의 방법

- 본 연구는 각종 문헌자료 및 발표자료 등을 검색하여 내용을 검토하고, 현재 추진 중인 도정 시책을 고려하여 향후 탈석탄 및 그린뉴딜 추진을 위한 실행방안 모색을 하였음
- 먼저 탈석탄 및 그린뉴딜 추진과 관련하여 전세계 주요국가의 동향을 살펴보고, 해외에서의 주된 추진방향에 대해 고찰하였음
- 해외동향 고찰을 토대로 우리나라의 “탈석탄-그린뉴딜”의 추진방향을 정립하여 제시하였으며, 그에 따른 정책적 제언을 실시하였음

02 해외 사례 검토

제1절 일본(Japan)

1. 전략적 이노베이션 창조 프로그램(SIP)

○ SIP 에너지 캐리어의 개요

- 자원빈국인 일본에서 에너지의 다양화에 의한 안정공급과 동시에 대폭적인 저탄소화를 진행해 가야 할 필요가 있는 와중에 수소에너지의 역할에 대한 기대가 높아지고 있음
- 다만, 수소의 본격적인 이용을 위해서는 아직도 기술적, 비용적인 장벽이 높고, 현재 국가가 주도해서 산-관-학이 연대하여 All Japan으로 연구·개발부터 실증을 진행해 오고 있음
 - 수소이용, 수소관련산업에서 세계를 리드하고 일본의 에너지 환경문제에 크게 공헌할 수 있을 것으로 기대됨

○ 전략적 이노베이션 창조 프로그램(SIP)란?

- 종합과학기술·이노베이션 회의가 사령탑기능을 발휘하고, 각 부·성의 구조나 예전의 분야를 초월한 매니지먼트를 함으로써, 과학기술 이노베이션 실현을 위해 창설한 국가 프로젝트임
 - 내각부에 설치되어 있고, 정책총괄관(과학기술정책·이노베이션 담당)이 사무국을 담당하고 있음

○ 종합과학기술·이노베이션 회의 중 2014년 시작된 「전략적 이노베이션 창조 프로그램

(SIP)」의 10개 테마 중 “에너지 캐리어”로서 수소사회를 향한 기술개발 프로그램이 포함되어 있음

- 에너지 캐리어란, 기체 자체로는 저장이나 장거리 수송의 효율이 낮은 수소를 액화하거나 수소화합물로 해서 효율적으로 저장·수송하는 방법임

○ 에너지 캐리어에서는 『CO2フリー水素バリューチェーン』¹⁾의 구축을 목적으로, CO2를 배출하지 않는 수소의 제조로부터 3개의 캐리어(액화수소, 유기하이드라이드, 암모니아)에 의한 수송, 저장 그리고 수소의 이용까지의 주요한 기술개발을 추진함

○ 전략적 이노베이션 창조 프로그램 제1기(2014년) 과제리스트

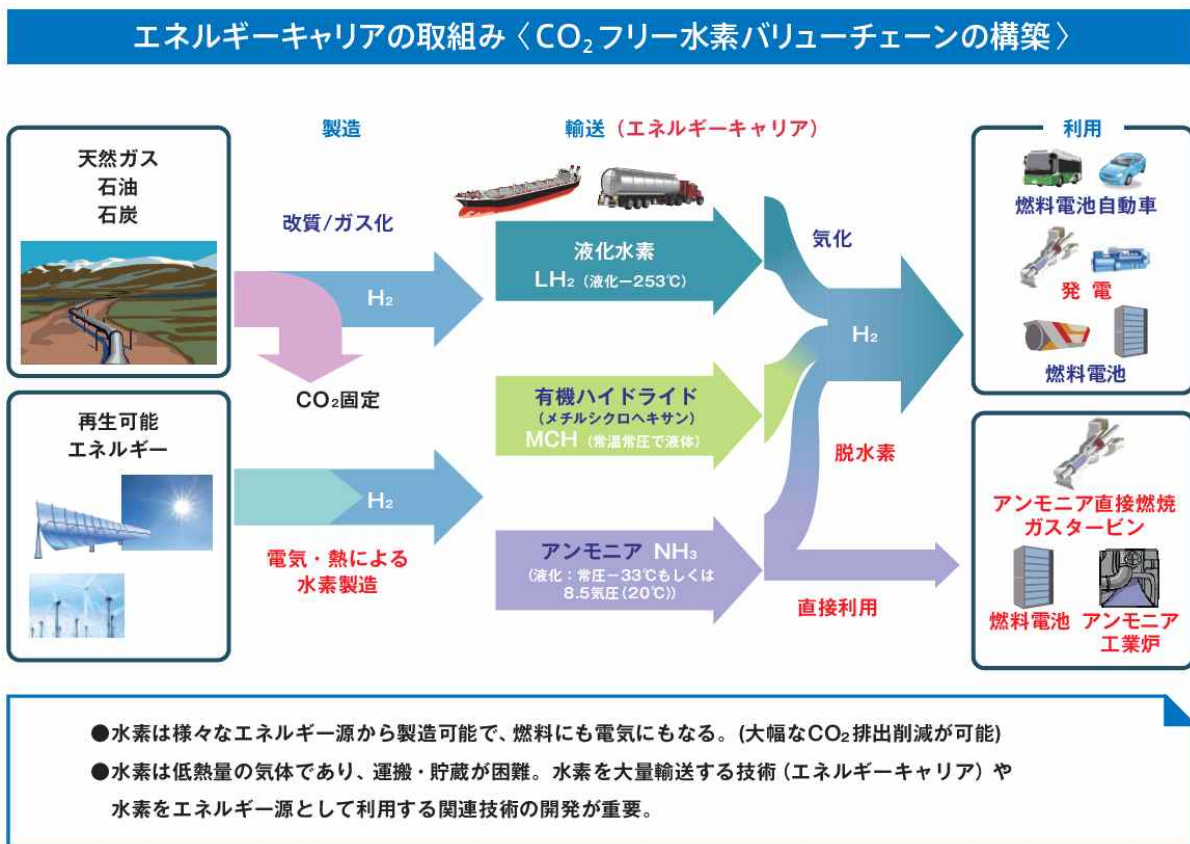
- 혁신적 연소기술
- 차세대 파워 일렉트로닉
- 혁신적 구조재료
- 에너지 캐리어
- 차세대 해양자원 조사 기술
- 자동주행시스템
- 인프라 추진관리·갱신·매니지먼트 기술
- 레질리언트한 방재·감재기능의 강화
- 차세대 농림수산 창조기술
- 혁신적 설계 생산기술
- 중요 인프라 등에서의 사이버 보안의 확보

○ 전략적 이노베이션 창조 프로그램 제2기(2018년) 과제리스트

- 빅데이터·AI를 활용한 사이버 공간기반기술
- 퍼지컬공간 디지털데이터 처리기반
- IoT 사회에 대응한 사이버 퍼지컬 보안

1) CO₂를 배출하지 않는 수소 밸류체인(가치사슬)

- 자동운전(시스템과 서비스의 확장)
- 종합형 재료개발 시스템에 의한 마테리얼 혁명
- 광·양자를 활용한 Society 5.0 실현화기술
- 스마트 바이오 산업·농업기반기술
- IoE 사회의 에너지 시스템
- 국가 레질리언스(방재·감재)
- AI(인공지능) 병원에 의한 고도진단·치료 시스템
- 스마트 물류서비스
- 혁신적 해양자원 조사 기술



[그림 2-1] 에너지 캐리어의 구조(CO₂ 제로 수소 밸류체인 의 구축)

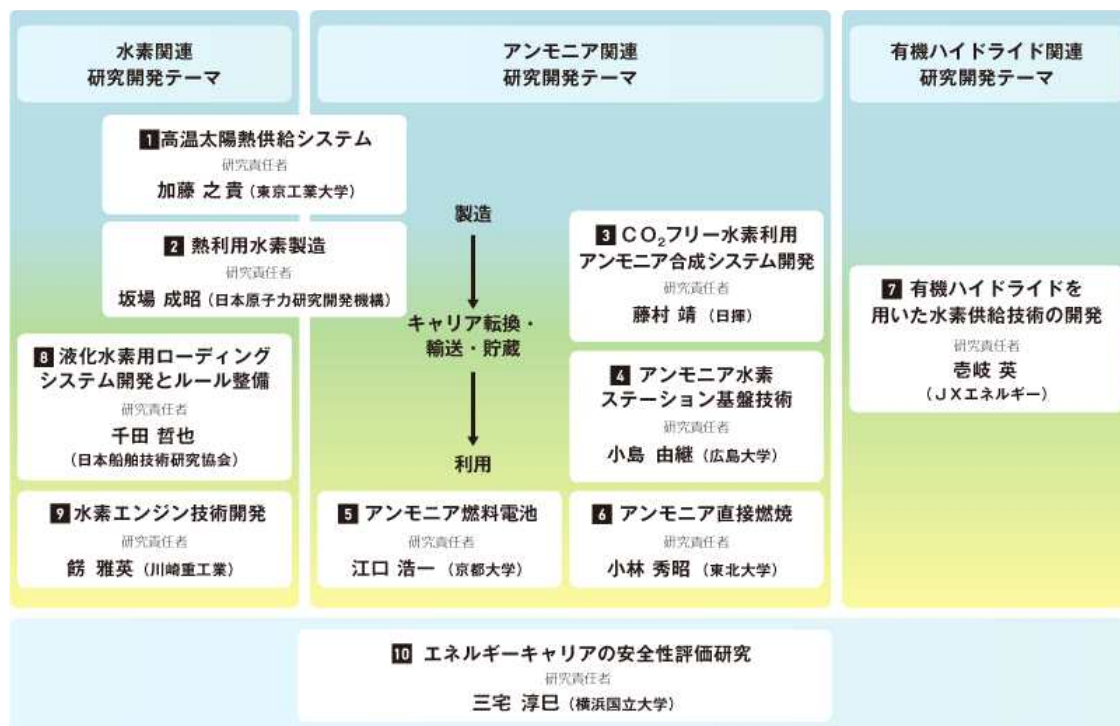
○ 비전

- 수소의 「제조」, 「수송·저장(캐리어)」, 「이용」에 관한 기술개발을 산-관-학의 연계, ALL JAPAN에 의한 대응을 강력하게 추진함으로써, 2030년까지 일본이 혁신적으로 저탄소의 수소에너지 사회를 실현하고, 수소관련 산업에서 세계시장을 리드하는 것을 목표로 함

2015~2020	2020~2030	2030~
<ul style="list-style-type: none"> 연료전지자동차, 연료전지 코제네의 보급개시 	<ul style="list-style-type: none"> 좌측내용의 보급확대 	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 수소발전 CO₂ 미배출 수소의 대량도입
<ul style="list-style-type: none"> 저가의 CO₂ 미배출 수소의 제조기술, 에너지 캐리어와 그 이용기술의 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 수소·에너지 캐리어에 의한 고효율발전의 실증 보다 대규모의 실증 	<ul style="list-style-type: none"> 일본의 수소관련 산업이 세계시장에서 활약



수소타운 실증으로, 2030년 이후의 본격적인 수소사회를 선점하고 실현



[그림 2-2] SIP 에너지 캐리어·테마 일람(2016년 4월 1일 현재)

2. 2050년 에너지 비전(미쓰비시종합연구소)²⁾

- 일본의 에너지는 탈탄소화, 저출산고령화, 인프라 노후화 및 대규모 재해대응 등 다양한 과제에 직면해 있음
 - 파리협정에 따라 전세계적으로 재생에너지의 대량 도입을 향해 나아가고 있으며, 일본도 2018년 7월 각의결정에 따른 기본계획에서 재생가능 에너지를 주력으로 한 지속가능한 추진을 강조하고 있음
- 공급자 측면에서의 이상적 에너지 : 3E+S
 - 일본은 에너지정책기본법에 근거한 정책을 통해 에너지 공급 관련 사항이 규정되고 있어 일본의 에너지정책의 기반이 되고 있다고 할 수 있음
 - 특히, 에너지정책과 관련해서는 안정공급의 확보(공급안정성), 환경에의 적합(환경적합성), 시장원리의 활용(경제성)의 3가지가 중요한 과제로 3E에 해당함
 - 이후 동일본대지진 이후 Safety가 더해져 “3E+S”라는 에너지정책의 기본적 시점이 적용되어 오고 있음

[표 2-1] 다양한 에너지 자원의 3E

구분	공급안정성 (Energy Security)	환경적합성 (Environment)	경제성 (Economic Efficiency)
석유	대부분을 수입에 의존하고 있고, 특히 중동산유국에의 의존도가 높음	에너지로 이용할 때는 CO ₂ 를 배출하고, 그 외 유황분이 높은 경우 등은 환경대책이 필요	현 시점에서는 경제합리적인 이용이 가능
석탄	대부분을 수입에 의존하고 있지만, 조달처는 비교적 다각화되어 있음	단위 에너지당 탄소량이 많고, 발전에 사용하면 CO ₂ 배출량이 가장 많음	수입자원이지만, 싸게 조달할 수 있음
천연가스	대부분을 수입에 의존하고 있지만, 조달처는 비교적 다각화되어 있음	화석연료 중에서는 CO ₂ 배출계수가 가장 낮은 1차 에너지임	단위 에너지당의 가격은 다른 화석연료보다 높고, 발전에 사용한 경우에도 석탄화력보다 고가임
수력	국내자원이고 자급률 향상에 기여하고 있음 저수식으로 하는 것으로 어느 정도 양을 컨트롤 하는 것도 가능하게 됨	화석연료의 연소를 수반하지 않는 발전방식으로 이용되고 있고, CO ₂ 배출계수는 제로이지만 발전시의 자연환경에의 부하는 크다고 할 수 있음	발전시에는 대규모 투자가 필요하지만, 장기적인 기간으로 본 발전비용은 비교적 싸게 됨
원자력	수입자원이지만, 알갱이 형태	화석연료의 연소를 수반하지	수력과 마찬가지로, 발전시에

2) 三菱総合研究所環境・エネルギー事業本部(2020), 三菱總研が描く2050年エネルギービジョン

	로 장기간 보관·이용이 가능하기 때문에, 준국산에너지로서 취급되고 있음	않는 발전방식으로 이용되고 있고, CO ₂ 배출계수는 제로 라이프사이클로 보더라도 CO ₂ 배출계수가 작은 발전방식임	는 대규모 투자가 필요하지만, 연료비가 싸고 장기적인 기간으로 본 발전비용은 싸게 됨 단, 최근에는 안전성 확보의 관점에서 필요한 설비투자가 상승하는 경향이 있음
그 외 재생에너지	수입 바이오매스 이외는 기본적으로 국내자원이고, 자급률 향상에 기여하고 있음. 다만, 태양광과 풍력은 출력이 안정적이지 않은 변동성 재생가능에너지임	화석연료의 연소를 수반하지 않는 방식으로 이용되고 있고, CO ₂ 배출계수는 제로 바이오매스에 대해서는 라이프 사이클에서의 CO ₂ 배출계수에 유의가 필요함	발전에 사용하는 경우, 종래의 발전방식에 비해 고가임 최근, 태양광과 풍력은 비용저감이 진행되고 있지만, 출력의 안정성도 고려하면, 일본에서는 아직 종래 형태의 전원대비는 말하기 어려움

※주. 미쓰비시종합연구소

○ 수요자 측면에서의 이상적 에너지 : 4개의 키워드

- 공급자 측면과 반대로 수요자 측면에서 볼 때 이상적인 에너지는 ①스트레스 제로, ②지속가능성, ③선택가능성, ④설명성의 4가지를 고려할 수 있음
- ①스트레스 제로 : 에너지 가격의 상승이나 가격변동, 조달불안, 번잡한 이용절차, 이용량의 제약 등을 수반하는 부담감이나 스트레스로부터 해방되는 것
- 지속가능성 : 지구온난화 대책을 시작으로 하는 환경문제에의 대응은 사회적인 명제이자 필수적인 키워드임
- 선택가능성 : 현재 전력·가스의 소매 자유화가 되고 있고 수요자로서는 복수의 선택지가 존재하고 있으며, 종류만이 아니라 산지지정 에너지라는 것도 선택지로서 활용할 수 있음
- 설명성 : 금후에는 수요자가 다양한 가치관하에서 스스로가 소비할 에너지를 선택할 것이며, 그 때 스스로가 선택한 에너지가 어떤 성질인지, 일정 근거를 갖고 설명하지 않으면 안될 것임

○ 2050년의 에너지 시스템

- 공급자측면에서는 재생가능한 에너지가 주력 전원이 될 것임
- 수요자측면에서는 에너지의 전화가 진전하면서, 다양한 선택지가 사용될 것임
- 분산화된 리소스가 적절하게 관리되고 에너지 시스템을 지탱할 것임

[표 2-2] 공급자와 수요자를 연결하는 『이상적인 에너지』 실현의 요건

구분	내용
공급자측의 요건	주력전원이 되는 재생가능 에너지의 최대한의 도입이 시도되고, 안정적이고 지속 가능한 에너지공급을 행함
	화석연료에 의존하지 않는 새로운 에너지 캐리어가 보급
수요자측의 요건	스트레스 제로·선택가능 등을 실현하는 에너지 판매 서비스가 보급
	재생가능 에너지나 축전지가 유효활용되고, 프로슈머로서의 공헌이 부과됨
운용면의 요건	분산 에너지가 유효활용되고, 고도의 에너지 매니지먼트(수급밸런스 등)가 실현
	새로운 플레이어(어그리 게이터 등)이 참여할 수 있도록 에너지의 시장환경이 정비됨

※주. 미쓰비시종합연구소



[그림 2-3] 미쓰비시종합연구소가 그리는 2050년 에너지 비전

3. 제3차 에너지혁명에 따른 에너지 서플라이체인 혁신³⁾

- 기존의 석탄과 석유를 기반으로 이루어진 시기를 제1차, 제2차 에너지혁명시기라고 불리우는 반면 수소에너지를 포함한 재생가능 에너지를 주이용 하는 시대를 제3차 에너지혁명 시대라고 불리워지고 있음
 - 즉, 제3차 에너지혁명이 석탄이나 석유 등의 화석연료로부터 재생가능 에너지로의 전환을 의미함
 - 파리협정을 계기로 이미 세계 각국에서 지속가능한 경제사회의 구축을 향한 움직임이 보이고 있었으며, 독일이나 네덜란드 등 유럽 일부지역에서는 2025년 또는 2030년까지 내연기관차의 판매를 금지하는 법안의 검토가 이루어진 바 있음
 - 각국 정부는 에너지 부문의 배출 CO₂ 저감책으로서 초안에는 재생가능 에너지 비율을 증가시키는 선언을 행하였으며, 일본은 2030년까지 에너지 통합(전원구성) 22~24%, 유럽 등에서도 20~30%의 도입을 제시하였음
- 제3차 에너지혁명이 끼친 것으로 크게 구분하면, 에너지 서플라이체인의 혁신, 에너지 이용의 혁신, 비즈니스 모델의 혁신을 들 수 있음
 - 제3차 에너지혁명에서는 새로운 동력원으로서 연료전지가 탄생하였고, 에너지원으로 재생가능 에너지를 이용한 수소의 활용이 진전되었음
- 에너지 서플라이체인의 혁신
 - 제1, 2차 에너지혁명과 달리, 제3차 에너지혁명에서의 특징은, 에너지 저장을 들 수 있음
 - 재생가능 에너지의 도입량 증가에 수반하여 수요 이상의 전력이 발전되는 경우가 많고, 계통전력은 불안정하게 됨. 또한 이제까지는 석유로 비축해왔고 필요한 때에 사용해 왔지만, 주요한 에너지원이 재생가능 에너지로 변한 경우, 잉여 에너지로서 발생한 전력을 저장하는 수단이 필요하게 되었음
 - 이 때, 수소제조 플랜트에서 계통전력으로부터 잉여전력을 흡수해서 수소를 제조하는 것으로 전력계통을 안정화시켜 가면서, 잉여 에너지를 저장하는 것이 가능해짐
 - 이처럼 제3차 에너지혁명에서의 에너지 제조업은, 자원을 채굴하고 연료제조·발전하

3) 데로이트토마츠컨сал्ट링(2019), 第三次エネルギー革命

는 것만이 아니라, 재생가능 에너지를 이용한 전력제조에 더해 잉여 전력 등을 활용한 연료제조(수소제조)가 행해지는 것으로 변화해오고 있다는 점임

[표 2-3] 주된 수소제조 기술과 R&D 상황

기술분야	현재의 R&D 상황	기술단계			상용화의 예상연차
		연구	실증	실용	
바이오 프로세스	박테리아를 활용하여 수소를 생성(특수조건하에서 당류를 대사·발효해서 수소생성) ·일본/미국/유럽 : 연구개발 단계의 기술이고, 주된 실증은 행해지고 있지 않음	●			N.A
인공 광합성	산화물 등 반도체입자의 광촉모를 이용하고, 빛에 의해 물을 직접 분해하여 수소를 제조 ·일본/미국/유럽 : 연구개발단계의 기술이고, 주된 실증은 행해지고 있지 않음 ·미국 : 애디에서는 2020년경에 브랜드 레벨에 서의 실증실험을 목표로 연구중	●			N.A
水熱分解 (물 열분해)	집적한 태양광 등을 이용하여 열에 의해 직접 물 을 분해해서 수소를 제조 ·일본 : 니가타대학 등의 일부에서는 소규모 실 증을 전개, SIP로 2030년경 실용화 목표 ·미국 : 2019년 5kW급 플로토타입의 설계를 목표로 연구중 ·유럽 : 스페인 등에서 실증이 행해지고 있고, 750kW급 파일롯 브랜드를 설계·건설중	●	●		2030년~
水電解 (수전해)	고분자이온 교환막과 알칼리 수용액을 이용한 물 의 전기분해에 의해, 수소를 제조 ·일본/미국/유럽 : 원료용 수소의 제조방법으로 서 공업적으로 확립된 상태는 아니지만, 각국 에서 재생가능 에너지를 이용한 실증이 전개되 고 있고, 일부 수소 스테이션에도 도입 완료됨		●	●	상용화완료 (재생가능 에너지는 실증중)
燃料改質 (연료질 개선)	화석연료를 이용하여 고온하에서 수증기와 반응 시키는 것으로 수소를 제조 ·일본/미국/유럽 : 원료용 수소의 제조방법으로 서 공업적 확립, 수소 스테이션 용으로 소형 제조장치 개발이 진행되고 있음			●	상용화완료
副生水素 (부생수소)	공업 프로세스에 의해 부산물로서 생산되는 가스 를 회수·정제하여 수소를 제조 ·일본/미국/유럽 : 일부의 공장 등에서 회수된 수소는 이미 제품으로서 판매되고 있음			●	상용화완료

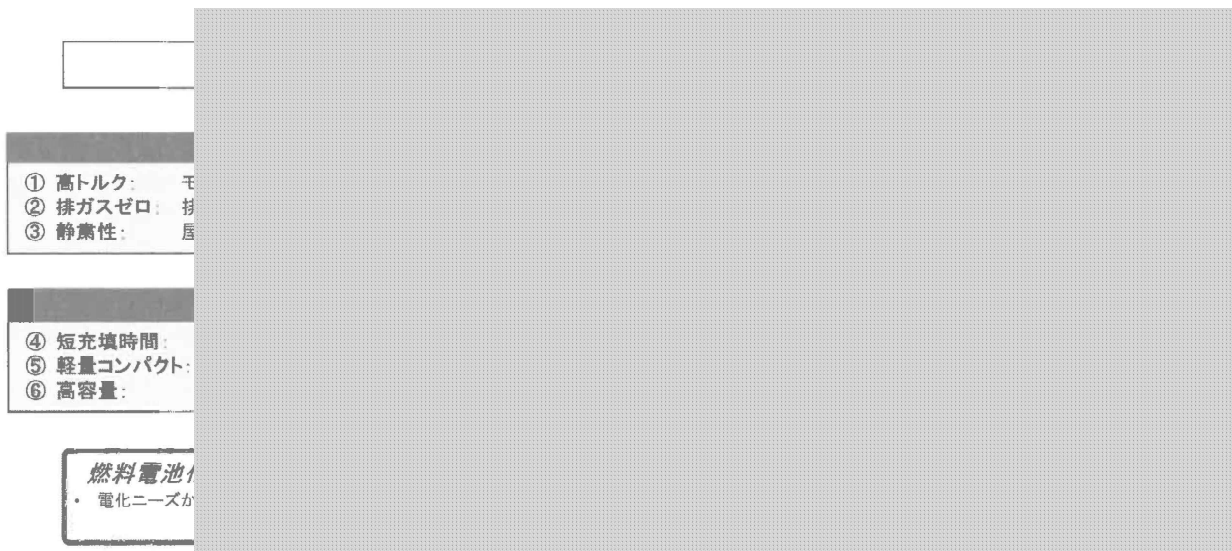
※주. 第三次エネルギー革命(2019), p.119

- 일본에서는 미이용 수소 수송기술을 선도적으로 연구개발·실증을 추진하고 있으며, 내각부의 종합과학기술·이노베이션 회의(CSTI)가 추진하고 있는 전략적 이노베이션 창조 프로그램(ISP)에서도 수소에 주목하여 대규모 에너지 수송기술의 개발을 지향하고 있음

- 이러한 그로그램에서는 수송기술로서 주로 액화수소, 유기하이드라이드, 암모니아에 주목한 연구가 진행되고 있음

○ 에너지 이용의 혁신

- 고용량, 콤팩트·단시간 충전이 요구되는 어플리케이션의 실현을 가능하게 해줌
- 다양한 연료전지 어플리케이션의 개발이 진행되고 있으나, 연료전지화의 니즈 측면에서 생각해보면, 모터에 의해 순간적으로 최대출력을 내는 것이 가능하고(고 토크), 배기가스를 내뿜지 않으며(환경성), 내연기관과 다르게 기계의 맞물림이 적고 소음이 적다(정숙성)는 점에서 그 특징을 살펴볼 수 있음
- 또한, 연료전지가 우수한 점으로서는 고압수소에 의한 단시간 충전, 높은 에너지밀도에 의한 경량·콤팩트화 또는 고용량화를 들 수 있음
- 즉, 기본적으로 자가용, 이륜차, 수송기계, 건설기계, 농기계, 로봇, 드론 등의 분야에서 수요가 높을 것으로 예상됨
- 자가용은 단시간 충전·고용량화에 의해 승용차·상용차의 클린화의 실현을 앞당겨줄 수 있으며, 수송기계는 단시간 충전·콤팩트화에 의해 물류비용의 저감에 공헌할 수 있음
- 또한 로봇이나 드론은 고용량화에 의해 새로운 어플리케이션 산업의 창출에 기여할 수 있음



[그림 2-4] 수소·연료전지기술의 수요 검증 프로세스

ニーズ判定結果の凡例

- ニーズがあり、既に企業が参入
■ ニーズはあるが、企業は未参入
■ ニーズが一部ある市場
■ ニーズが高くないと想定される市場

		電化ニーズ			燃料電池化ニーズ			競合プレーヤー例 (商用化・実証)	ニーズ 判定結果
		高トルク	排ガスゼロ	静粛性	高容量	短時間充電	軽量コンパクト		
四輪車	乗用車							トヨタ、ホンダなど	●
	トラック・特殊車両							Hydrogenics	●
	バス							日野、Ballard	●
	超小型モビリティ							N/A	○
二輪車	シニアカー								○
	スクーター							スズキ	●
	スポーツバイク							Linde	●
	電動アシスト自転車							豊田自動織機	●
輸送機械	フォークリフト								●
	その他輸送機械								●
建設機械	掘削機								●
	ホイールローダー								●
	クレーン							N/A	○
	トラクター								●
農業機械	耕耘機								●
	動力車							Ballard	○
	無動力車								○
								N/A	●
自律型ロボット(AGV)	アシストスーツ								●
	パーソナルモビリティ								●
									●
									●
船舶	小型船舶							Hydrogenics	○
								Intelligent Energy	●
航空機	ドローン								●
									●

[그림 2-5] 모빌리티에 관한 수소·연료전지 수요

○ 비즈니스 모델의 혁신

- 새로운 에너지와 그것을 활용하는 새로운 모빌리티, 전원 등의 제품은 그것들을 활용한 새로운 비즈니스를 창출하는 기회를 제공해줌
- 자동차에 관련되는 애프터마켓 시장이나 항공기에 의한 여행업계의 등장 등 제2차 에너지혁명에 의해 다양한 산업이 창출된 것과 마찬가지로, 제3차 에너지혁명이 창출하는 새로운 비즈니스에도 무한한 아이디어가 있음
- 예를 들면, “연료전지 드론 배송”의 경우, 교통정체의 심각화를 방지하고 드라이버 부족을 해소하는 솔루션으로 드론에 대한 기대가 높아지고 있음. 다만, 현재의 드론은 수십분 정도의 비행이 한계이고, 드론배송의 실현은 아직은 곤란한 상황임. 하지만, 연료전지 드론은 단시간 충전과 장시간 비행을 가능하게 해줌
- 또 다른 예로 “클린수소 물류 솔루션”을 들 수 있는데, 금후 물류 프로세스에서의

CO₂ 배출저감 니즈가 높아질 가능성이 커짐에 따라 연료전지를 동력원으로 하는
물류용 모빌리티의 연구개발·실증에서 양산화가 진행되고 있으며, 어느정도 물량이
확보된다면 안정적인 수소수요가 창출되기 때문에, 거점에 수소 스테이션을 설치해
도 사업성이 기대됨. 따라서 클린수소를 적극적으로 활용하고, 한꺼번에 배출되는
CO₂ 양을 측정할 수 있다면, 물류를 클린화하는 통합적인 솔루션이 될 수 있을 것
으로 기대됨

- 마지막으로 “수소를 활용한 지역 에너지 매니지먼트”를 들 수 있는데, 금후의 재생
가능 에너지가 확대되는 재생가능 에너지 사회에서는 수소를 활용함으로써 에너지
의 안정공급과 전기·열·연료의 클린화에 공헌할 수 있게 됨. 따라서 수소 버퍼링을
에너지 매니지먼트 시스템 속에서 다루고, 계통안정화를 실현함과 동시에 전기·열·
연료라는 다양한 형태로 수소를 소비하여 지역의 재생가능 에너지를 잘 활용한다
면, 지역사회 클린화와 에너지의 안정공급을 실현할 수 있음

제2절 독일(Germany)

1. 산업정책의 기회로써 기후 대응 정책에 대한 동기

- 온실 가스 배출을 줄이기 위해 전 세계적으로 그리고 유럽 연합(EU) 내에서 체결된 약속은 독일 산업의 구조적 변화를 불가피하다는데 공감대가 형성되었으며 특히 독일의 「기후 보호 프로그램 2030」는 중요한 역할을 담당
 - 산업분야에는 예를 들어 수소 또는 물질 에너지원 분야에서 기후 중립적 솔루션 개발, 난방, 이동성 및 산업 부문(부문 결합)을 탈탄소화하기 위한 전기 사용 또는 에너지 시스템의 디지털화가 포함
 - 독일 기업들은 핵심 기술 분야가 될 가능성이 있는 분야에 대해 상당한 전문성을 보유하고 있으며 새로운 시장을 개척할 수 있는 기회로 생각
- 기후 대응에 대한 산업적 기회를 활용하기 위해서는 기존 가치사슬에 대한 대대적인 변화와 새로운 가치사슬 구축이 필요
 - 예를 들어, 수소 기술은 복잡한 가치 사슬과 연결되어 있으며, 변환 과정에서 발생하는 조정 문제가 해결될 수 있도록 시장 조건을 설계하는 것이 중요
 - 재화와 서비스에 대한 상대 가격의 조정 효과를 강화하여 시장 지향적인 인센티브를 통해 수행할 수 있음
 - 새로운 가치 사슬을 창출할 때 변화의 맥락에서 발생하는 조정 문제는 기후 정책의 핵심 도구로서 부문 간 배출 거래가 중요한 역할을 수행(Stiglitz et al., 2017; Edenhofer and Schmidt, 2018)있음
 - 국가가 유발하는 왜곡된 세금 및 할증료를 지속적으로 폐지하면 시장의 조정 기능이 시의 적절하게 촉진될 수 있음(acatech et al., 2017)
 - 또한 에너지 운송업체가 부문 및 국가 전반에 걸쳐 CO₂ 발자국에 비례하여 부담을 느낀다면 기업은 투자를 하고 혁신을 주도하며 새로운 시장을 개발할 것임
 - 에너지 부문과 산업의 포괄적인 변화를 위해서는 광범위한 민간 부문 투자가 필요하지만 경제 활동의 기후 관련 속성에 대한 비대칭 정보는 민간 자본과 실제 경제 투자를 동원하는 데 방해가 될 수도 있어서 제품 및 프로세스의 인증 가능성이 향

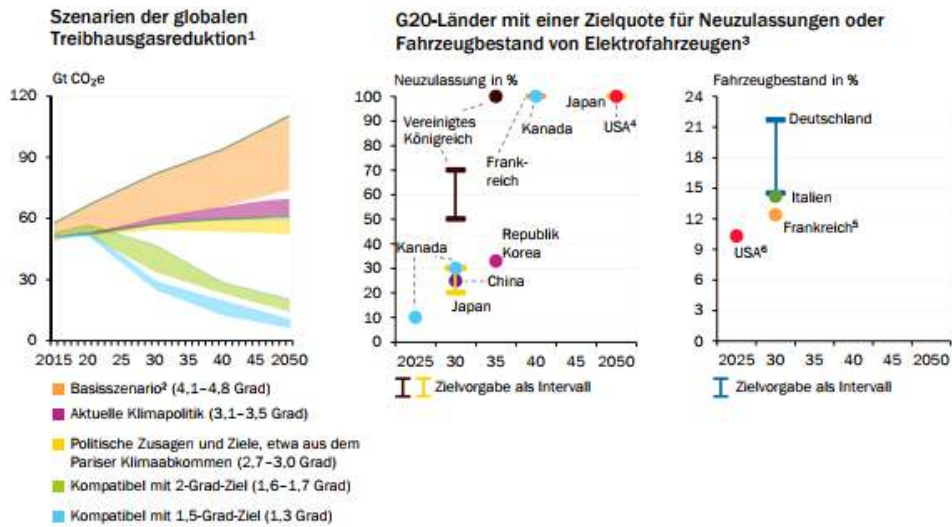
상될 필요성이 있음

- 미래를 위해 기후 보호 프로그램 2030은 CO2 가격 책정 도입 외에도 많은 소규모 개별 조치가 포함되어 있음(BMU, 2019a)
 - 일관된 CO2 기반 에너지 가격 개혁은 이러한 규제 조치의 많은 부분을 불필요하게 만들고, 그렇지 않으면 거시경제적 전환 비용을 감소시키는 역할을 함
 - 시장의 기능을 지원하고 CO2 배출 효과를 줄이기 위해 시장이 역할을 활용할 필요가 있음(SG 2019 항목 245 이하)
 - CO2 가격은 경제 주체가 결정에 온실 가스 배출의 사회적 비용을 내재화한다는 것을 의미하는데, 예를 들어 새로운 저배출 기술의 확산을 지연시키는 조정 문제 및 경로 종속성뿐만 아니라 분배 효과도 적절한 조치로 해결할 필요가 있음

2. 기후 이니셔티브와 사회·경제적 기회를 위한 에너지 정책

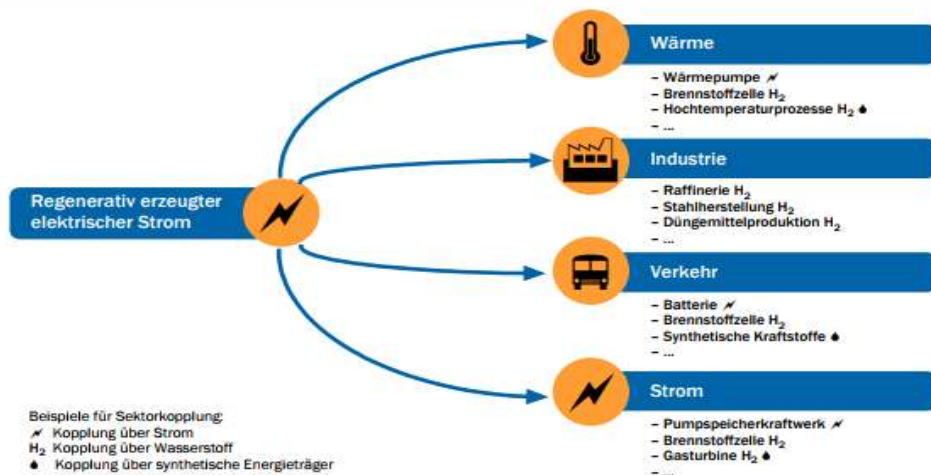
(1) 글로벌 기후 목표의 이행에 따른 새로운 시장의 개척

- 공해 기술에 대한 필요성은 EU뿐만 아니라 글로벌 이슈임
 - 파리 기후 협정의 약속이 적절한 정치적 이니셔티브를 통해 이행되고 해결된다면 CO2를 줄이기 위한 기술적 솔루션에 대한 수요는 전 세계적으로 증가할 것으로 예상됨
 - 기후 목표와 시장 기회는 서로에게 영향을 미치는데, 글로벌 기후 목표가 더 야심적일수록 비즈니스 모델과 회사에 더 광범위하고 더 빠른 조정이 필요하며, 이는 경쟁력을 위한 높은 비용과 도전을 수반하고 있으며, 기업이 저공해 생산 공정 및 제품을 개발하도록 하는 인센티브가 증가하고 있음
 - 아래 그림의 왼쪽 차트는 일 기업이 기술 솔루션을 제공하는 데 성공하면 국내의 부가가치, 고용 및 성장을 증가시키는 동시에 기후 보호에 상당한 기여를 할 수 있음을 보여주고 있음



[그림 2-6] 글로벌 배출 감소 목표 및 국가 이니셔티브를 통한 산업 정책 기회⁴⁾

ABBILDUNG 59
Sektorkopplung



Quellen: H2.B (2020), eigene Darstellung

© Sachverständigenrat | 20-403

[그림 2-7] 친환경전력 생산과 산업전반과의 연관관계

4) CAT(Climate Action Tracker)의 온난화 시나리오를 기반으로 한 연간 배출량 감소량을 보여주고 있으며 기가톤(Gt CO₂ e) 단위의 CO₂ 등가 온실 가스 배출량이 고려됨. 2. 기본 시나리오는 기후 정책 이니셔티브가 취해지지 않을 것이라고 가정. 3. 일부 국가에서는 등록된 전기 자동차의 누적 대수에 대한 목표가 설정되는데, 전기차의 절대 목표는 2015년 차량 대수를 기준으로 설정되었으며, 목록에 없는 G20 국가는 목표를 설정하지 않았음. 4. 11개 주. 5. 2028년 값. 10개 주에 대한 값이며 2019년 차량 대수 대비 목표치

- 그림 2-7은 모든 부문에서 재생 가능한 전기의 사용을 가능하게 하는 기술은 현재 지식에 기초하여 기후 중립성을 달성하기 위한 전제 조건을 의미(Federal Environment Agency, 2014; acatech et al., 2017; Ram et al., 2018; Runkel, 2018, Agora Energiewende 및 Wuppertal Institute, 2019, IRENA, 2020, Sterchele et al., 2020)
 - 비화석의 재생으로 직접 전기를 생산하는 것 외에도 전기를 수소 및 합성 에너지 운반체로 변환하는 것이 중요
 - 수소 애플리케이션은 전력망 없이 재생 가능 에너지를 이동 및 저장하는 데 사용할 수 있으며 따라서 태양열이 풍부하거나 바람이 많이 부는 국가는 에너지 수출국이 될 수 있음(Pfennig et al., 2017; Heuser et al., 2019; Timmerberg and Kaltschmitt, 2019; Grimm, 2020; Runge et al., 2020)
 - 한편, 연소 파워트레인 생산의 일자리가 감소하는 등 부작용도 발생할 것으로 예상(Falck et al., 2017; Bauer et al., 2018; Mönning et al., 2018)
 - 기업이 새로운 시장에 진입할지 여부와 시기는 초기 기술 결정의 여부에 달려 있는데(Hoppe, 2002),

(2) 유럽 및 독일 이니셔티브

- 2019년 12월, 유럽연합 집행위원회는 2050년까지 EU의 기후 중립을 중심 목표로 정의하는 유럽 그린 딜(European Green Deal)을 발표
 - 2020년 10월, 유럽 의회(EP)의 과반수가 배출 감소 목표를 확대하는 데 찬성했으며, 2030년까지 배출량을 1990년에 비해 60% 감소에 합의(이전 목표가 40%)
 - 그린 딜에는 농업, 이동성, 건물 개조, 지속 가능한 금융, 에너지 시스템 또는 연구 개발 분야와 같은 다양한 영역에서 배출량을 줄이기 위한 조치에 대한 제안이 포함됨
 - 실행 계획의 일환으로 적절한 전략과 입법 제안의 개발이 2021년으로 예정되어 있는데, 제안서의 핵심 수단에는 부문 간 CO2 가격 책정, 다양한 부문에 대한 CO2 경계 조정 시스템, 기후 친화적 기술에 대한 연구 자금 지원 및 승용차에 대한 CO2 배출 기준 개정이 포함되어 있음

○ 2020년 여름 EU는 기후 정책과 관련된 두 가지 추가 전략을 제시

- 하나는 EU의 수소 전략을 기반으로 수소 기반 기술의 사용 증가에 관한 사항 (European Commission, 2020a)인데, EU 위원회는 수소 응용 분야 산업에 대한 큰 가치 창출 잠재력을 보고 있으며, 전략은 필요한 기본 조건을 설정하고 글로벌 에너지 파트너십을 시작하며 수소 생산을 위한 인센티브를 창출하는 것을 목표로 함
- 다른 하나는 EU 집행위원회는 주로 부문 결합을 목표로 하는 통합 에너지 시스템에 대한 전략을 제시했는데, 계획된 조치의 일환으로 회원국은 무엇보다도 화석 연료에 대한 보조금을 폐지해야 한다는 것이고, 위원회는 2021년까지 유럽 배출권 거래 시스템(EU ETS)을 확장하는 제안을 발표함(European Commission, 2020b)

○ 독일 이니셔티브

- 독일은 2019년 가을에 「기후 보호 프로그램 2030」에 합의를 보았는데, 이 조치에는 기후 보호 계획 2050을 달성하기 위한 기본설계가 포함되어 있으며(BMU, 2019a) 2023년까지 540억 유로에 달하는 연방 투자 기금이 포함됨(BMF, 2019)
- 이 프로그램은 법률 및 자금 지원 프로그램을 통해 점진적으로 시행될 예정이고, 하나는 배출 감소 목표를 정의하는 연방 기후 보호법(KSG)이고, 독일은 1990년에 비해 2030년까지 온실 가스 배출량을 55% 이상 줄이도록 규정하고 있음(KSG 섹션 3(1))
- 화석연료 배출 거래법(BEH: Fuel Emissions Trading Act)에 따라 2021년부터 비EU ETS 난방 및 운송 부문에 국가 배출량 거래 시스템이 설정되는 것을 주요내용으로 하고 있는데, 국가 배출권 거래제(nEHS)의 일환으로 배출 증명서는 처음에 수량 제한 없이 매년 증가하는 고정 가격으로 발행되는데, 조정 위원회에서 연방 정부와 주 정부는 2021년 1월부터 CO2 가격을 초기에 CO2 톤당 25유로로 설정하기로 하고 2025년에는 55유로로 점차 인상하고, 2027년부터 사용 가능한 인증서 수에 대한 연간 한도가 설정되도록 합의됨
- 국가 배출량 거래 외에도 기후 보호 프로그램은 부문별 조치를 추가로 요구하고 있는데, 이 중 일부는 이미 시행되었으며(항공교통세 인상, 건물 개보수에 대한 세금 보조금, 장거리 기차표에 대한 부가가치세 인하), 2021년부터 주택보조금에 할증료를 추가하기로 결정하였음
- 한편, 2020년 여름에 발표된 국가 수소 전략을 통해 연방 정부는 독일에서 기후 중

립적인 수소 및 이를 기반으로 하는 합성 에너지원의 생성, 수입, 운송 및 사용을 강화하려 하고 있는데, 수소 경제로의 확립을 가속화하기 위한 다양한 도구가 포함되고 있으며 수소 전략은 코로나 19의 영향을 완화하기 위해 경제 부양 패키지에 미래 패키지의 일부로 통합되었으며, 재정 요구 사항은 약 90억 유로로 추산됨

- 2020년 여름에 채택된 경기 부양 프로그램은 기후 정책과 관련된 추가 조치를 제공하고 있으며, 경기 부양 프로그램의 미래 패키지에는 전기 자동차 구매 프리미엄이 3,000유로에서 6,000유로로 인상되는 내용이 포함되어 있는데, 전기 자동차의 개인 회사 자동차 사용에 대한 세금 감소와 함께 22억 유로의 보조금이 지출되고, 차량 교환 프로그램이 시작되고 자동차 산업에 대한 투자가 권장되며, 해운 및 항공 분야의 저공해 기술에 보조금을 지급하고 건물 개조 프로그램을 확대하며 재생 에너지 확대를 촉진하는 것을 주요 내용으로 함(연대 위원회, 2020)

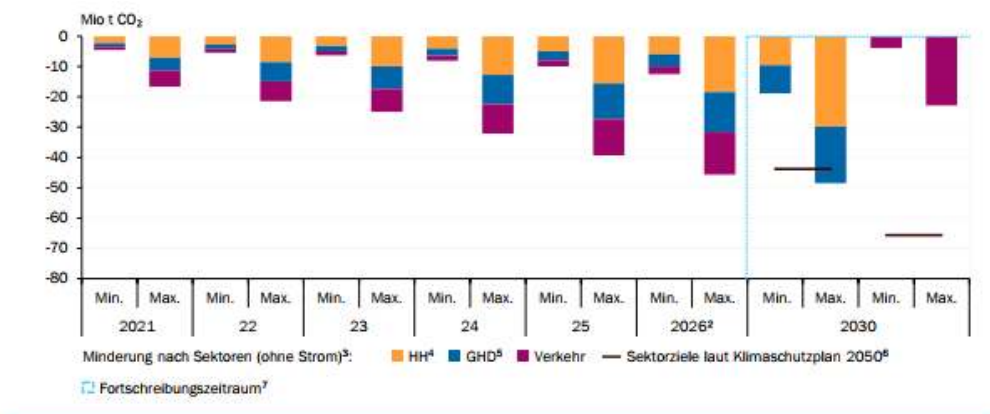
3. 시장 메카니즘의 강화와 에너지 정책

- 유럽 기후 목표를 달성하려면 상당한 투자가 필요할 것으로 예상되는데, EU 위원회는 2021년에서 2030년 사이에 약 2조 6000억 유로의 추가 민간 및 공공 투자 요구 사항을 예상하며, 이는 2010년에서 2019년 사이 투자 지출의 약 184%에 해당되는 규모임(European Commission, 2019a, 2020c)

(1) 목표 CO2 가격 경로의 효과

- 국가 배출권 거래 시스템에 정의된 가격 경로는 신뢰할 수 있고 구속력 있는 신호를 보내고 투자자와 가정에 계획 보안을 제공하고 있음
- CO2 가격이 예측 가능한 상승경로는 가정과 기업이 증가하는 비용에 적응할 수 있도록 해주는 역할을 하는데, 가격 경로이 있는 시장 체제로 전환함에 따라 가격 급등 위험과 기업과 가계의 부담 증가 위험은 최고가로 제한되며, 최저 가격은 투자 주기가 긴 가구가 저배출 기술에 대한 투자를 계획할 수 있도록 보장하도록 설계되어 있음(Edenhofer et al., 2019b; Scientific Advisory Board at BMWi, 2019a; SG 2019 항목 141 이하.)
- 정량적 측정은 불확실성으로 어려움이 있지만, 에너지원에 대한 수요와 관련 CO2

배출이 국가 배출권 거래 시스템에 의해 유발된 가격 변화에 얼마나 강하게 반응하는지는 난방 및 운송 부문의 가격 탄력성에 달려 있으며, 이를 바탕으로 Bach et al. (2019a) 국가 배출량 거래 시스템의 가격 경로가 운송 및 난방 부문의 배출량에 어떻게 영향을 미칠 수 있는지 계산하는데, 기업은 CO₂ 가격의 비용을 가계에 전액 전가할 수 있다고 가정하고 있음



[그림 2-8] 2018년 대비 국가 CO₂ 가격 책정을 통한 배출량 감소효과

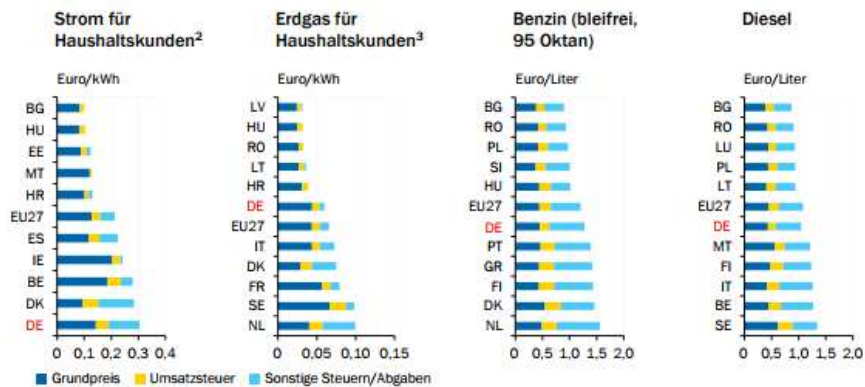
- 그림 2-8은 2021년에 톤당 25유로의 CO₂ 가격을 도입하면 단기적으로 2018년 배출량 수준과 비교하여 약 460만 톤의 CO₂를 절약할 수 있는 것으로 보여주고 있음
 - 약 220만 톤이 가정에서 차지하고 있으며, 3차 기업과 운송 부문은 각각 약 120만 톤의 CO₂를 절약해야 하는데, 2026년까지 가격 경로를 따라 더 높은 가격은 상응하는 더 높은 비용 절감으로 이어지며, 2026년에는 톤당 최고 가격이 65유로로 2018년 배출량 수준과 비교하여 최대 7,700만 톤의 CO₂를 절약할 수 있음을 보여주고 있음
- 기후 보호 계획 2050은 난방 및 운송 부문의 배출량을 1990년 배출량 수준과 비교하여 2030년까지 각각 66%에서 67% 및 40%에서 42%까지 감소하도록 규정하고 있으며 각각의 시나리오에 따라 장·단점이 존재함(BMU, 2019b)
 - 2030년에는 최대 7,200만 톤 또는 9,800만 톤의 CO₂가 배출될 것으로 예상되는데, 목표를 달성하기 위해 수반되는 조치 없이 필요한 CO₂ 가격은 국가 배출권 거래 시스템에서 제공하는 가격 경로보다 훨씬 높을 가능성이 있으며, 난방 부문(운송 부문)에서는 2018년 배출량 수준과 비교하여 2030년까지 약 44(66)백만 톤의 CO₂

를 절약해야 함을 의미함

- CO2 1톤당 가격이 65유로이면 2030년까지 운송 부문에서 최대 2천만 톤의 CO2를 절약할 수 있으며, 난방 부문에서는 예를 들어 난방 시스템 교체와 같은 해당 투자를 통한 변화가 장기적인 가격 탄력성으로 나타나며 약 5천만 톤의 CO2 절감으로 이어질 수 있음을 의미함
- Edenhofer et al.의 계산 (2019b)에 따르면 2030년에 국가 기후 목표를 달성하기 위해 2030년에 필요한 가격은 가장 유리한 시나리오에서 CO2 톤당 70유로, 최악의 시나리오에서 CO2 톤당 350유로 사이이며, 중간 시나리오에서 2030년에 필요한 가격은 CO2 톤당 130유로임(Edenhofer et al., 2020)
- 2030년 목표 달성을 보장하는 CO2 가격은 유통 정책과 관련이 있는데(SG 2019, 항목 220 ff.) 예를 들어 적절한 재분배를 통해 이 문제가 해결되더라도 위험 및 손실 회피는 개인이 CO2 가격 책정에 대해 회의적으로 만들 수 있으며(Stiglitz, 2019) 기업은 국제 경쟁력 유지에 대해 우려하고 있음(SG 2019 항목 181 이하)

(2) 조세 및 부과금에 관한 사항

- 조세 및 부과금에 관한 사항은 기존 화석연료를 사용한 가격과 전기가격과의 관계를 설정하고 탈화석연료로 전환하기 위한 전기가격에 관한 정책이 중요함
 - 우선 현재의 전력가격의 문제점으로 수많은 에너지 관련 세금과 부과금으로 인해 왜곡되고 있으며, 특히 난방유, 천연가스, 휘발유 또는 디젤과 같은 화석 연료는 CO2 배출량을 고려하여 비체계적으로 과세는 부분이 개선되어야 함(SG 2019 항목 98)
 - 에너지원에 대한 세금 부담은 탄소 배출을 적게하는 에너지를 기반으로 하는 기술에 더 많은 투자를 할 인센티브를 제공하고 다른 부문의 화석화를 제거하기 위해 이미 재생 에너지의 전기 사용을 기반으로 하는 새로운 기술의 사용을 필요하게 함
 - 아래 그림에서 보는 바와 같이 독일은 현재 EU에서 가장 높은 전기 요금체계를 갖고 있음



[그림 2-9] EU, 상위 5개국 및 하위 5개국 에너지 가격 비교 (기준 2020년)

- 다양한 과세 및 규제는 에너지 시스템의 통합된 부문 간 개발을 저해하며, 결과적으로 미래에는 특히 비용 효율적인 곳에서 배출 방지가 이루어지지 않을 위험이 있다는 것이 중요하며, 기후 정책을 일관되게 재조정하려면 전기 및 기타 에너지원에 대한 세금 및 요금 개혁이 필요하다는 데 인식이 중요하며(SG 2019 항목 126) 바람직한 정책 방향은 화석 및 재생 에너지뿐만 아니라 전기, 난방 및 운송 부문에 대한 전반적으로 일관된 규제 프레임워크이며, 이는 모든 에너지원과 기술 간의 가격 왜곡을 줄이는 것임
- 특히, 가계의 전기요금과 할증료를 경감하는 것은 저소득 10분의 1에 대한 CO₂ 가격 책정의 부정적인 분배 효과를 상쇄하는 것 이상을 할 수 있기 때문에 전기요금과 할증료를 경감하는 것은 중요함
- 또한 미래의 운송 시스템에서 대체 재원을 개발해야 하는데, 예를 들어, 미래에 도로 기반 시설의 자금 조달을 에너지원과 독립적이지만 (거리 종속) 통행료를 통한 사용에 따라 조직하는 것이 고려될 수 있으며(SRU, 2017; Cramton et al., 2018, 2019; BMWi의 과학 자문 위원회, 2019b) 교통 체증과 같은 지역 외부 효과는 도시 통행료와 같은 지역 요금에 더 정확하게 포함되어야 할 필요가 있음(Löschel et al., 2019; SG 2019 항목 127)

○ 가정 및 산업용 전기 가격과 구성요소

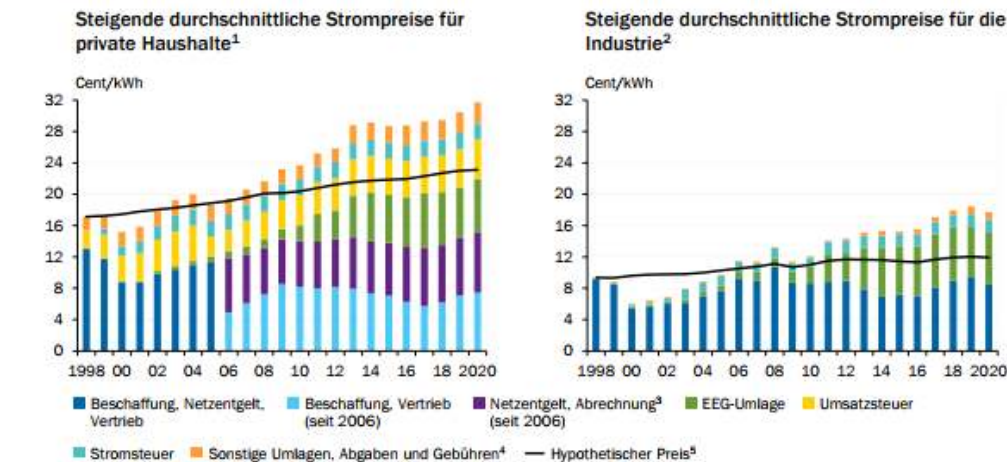
- 가정용 전기 요금에는 세 가지 주요 구성 요소가 포함되는데 전력의 구매 또는 판매 가격, 그리드 사용 요금, 세금 및 부과금으로 이루어져 있음
- 아래 그림에서 보는 바와 같이 2020년 기준 독일 가구의 평균 전기 가격은 kWh당

31.71센트였으며(BDEW, 2020, 2020년 전기세는 kWh당 2.05센트, EEG 할증료는 약 6.76센트였으며, 여기에 추가로 양허비, KWKG 부담금, § 19 Strom-NEV 부담금, 연안 그리드 부담금 및 중단 가능한 부하에 대한 부담금이 추가되어 2020년 전기 가격을 kWh당 2.67센트 인상하였으며, 2020년 하반기에 인하된 일반판매세율이 부과됩니다. 전반적으로 개인 가구의 전기 지출 중 약 53%가 세금, 부과금 및 할증료로 충당되었음

- 기업은 2020년 기준 kWh당 17.75센트의 평균 전기 요금을 지불했는데 평균적으로 약 50%가 세금, 부과금 및 할증료로 구성되어 있으며(BDEW, 2020), 회사의 경우 전기 부하가 매우 이질적인데, kWh당 약 1.54센트의 감면 세율이 농업 및 임업뿐만 아니라 제조업에도 적용되고 있으며, 특정 에너지 집약적 프로세스 및 절차에 대한 전력 소비에 대한 피크 보상 및 세금 면제를 통해 추가 혜택이 부여되고 있어 세금과 부과금은 제조업의 최종 소비자 가격에서 훨씬 더 저렴하게 운용되고 있음

ABBILDUNG 62

Strompreise und deren Bestandteile für Privathaushalte und Industriekunden



1 - Stand: 07/2020. Für einen Jahresverbrauch von 3 500 kWh. Mit dem bis 31.12.2020 befristet reduzierten Umsatzsteuersatz von 16 % ergibt sich für 2020 ein Bruttopreis von 30,91 Cent je kWh. 2 - Stand: 07/2020. Mittelspannungsseitige Versorgung; Für den Jahresverbrauch von 160 000 kWh bis 20 Mio kWh. 3 - Einschließlich Messung und Messstellenbetrieb. 4 - Konzessionsabgabe, KWKG-Umlage, §19 Strom-NEV-Umlage, Offshore-Netzumlage (bis 2018 Offshore-Haftungsumlage) und Umlage für abschaltbare Lasten. 5 - Für Privathaushalte: Strompreis des Jahres 1998 fortgeschrieben mit der Entwicklung des Verbraucherpreisindex (Stand 10/2020). Für Industrie: Strompreis des Jahres 1998 fortgeschrieben mit der Entwicklung der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte ohne elektrischen Strom, Gas und Fernwärme (Stand 09/2020).

Quellen: BDEW, Statistisches Bundesamt, eigene Berechnungen

© Sachverständigenrat | 20-291

[그림 2-10] 독일의 가정 및 산업용 전기요금 비교 (기준 2020년)

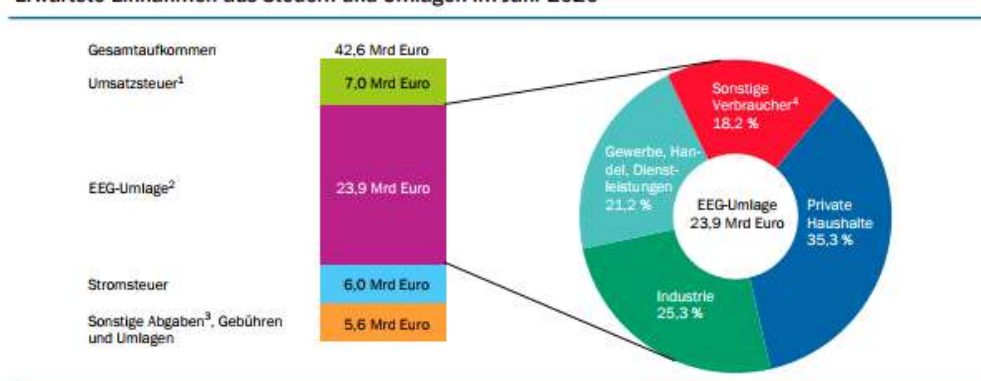
- 한편, 전기 가격에서 세금, 부과금 및 할증료가 차지하는 비율은 1998년 이후로 민간 가정 및 산업에 대해 지속적으로 증가했다가 2017년 소폭하락했는데, 이것은 재생 에너지원법 2017(EEG 2017; JG 2016 항목 891 ff.)의 입찰 절차로 전환하는 것과 관련이 있으며, 시스템 운영자에 대한 자금 조달 금액은 이전에 법적으로 규정된 자금 조달 자격 대신 경매 프로세스로 운용되었기 때문으로 볼 수 있음

(3) 에너지 가격 개혁의 효과

- 에너지 시장에서 시장 지향적인 결정 통제를 강화하기 위한 결정적인 단계는 광범위한 에너지 가격 개혁이 될 수 있으며, 이는 수량 기반 요금 및 전기 요금 부과로 소비자의 부담을 줄이는 역할을 담당
- 가계와 기업은 2020년에 239억 유로에 달하는 EEG 할증료를 부담하게 될 것인데(BDEW, 2020), 기후 보호 및 경제 부양 패키지의 결의안을 고려할 때 재생 에너지에 대한 지분을 조달하는 데 사용되는 직접 금액은 2021년부터 감소할 가능성이 높으며(Agora Energiewende, 2020; dena, 2020), 2026년에 소비자가 부담해야 하는 비용은 약 185억 유로가 될 것으로 예상됨

ABBILDUNG 63

Erwartete Einnahmen aus Steuern und Umlagen im Jahr 2020



1 - Unter Vernachlässigung der temporären Senkung der Umsatzsteuer im Rahmen des Konjunkturpakets. 2 - Von den Verbrauchern zu tragende Kosten (Umlagebetrag 2020 zuzüglich Einnahmen aus privilegiertem Letztverbrauch) für das EEG 2020. Basierend auf der Prognose der EEG-Umlage 2020 durch den BDEW vom 15.10.2019 sowie der Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromabgabe an Letztverbraucher vom 07.10.2019. 3 - KWKG-Umlage, Konzessionsabgabe, §19 Strom-NEV-Umlage, Offshore-Netzumlage, Umlage für abschaltbare Lasten. 4 - Landwirtschaft, öffentliche Einrichtungen, Verkehr.

Quellen: BDEW, eigene Berechnungen

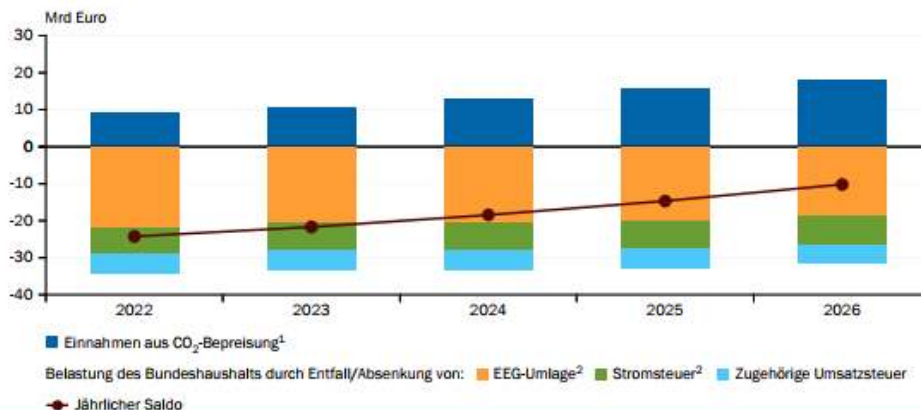
© Sachverständigenrat | 20-294

[그림 2-11] 독일의 전기요금 및 부과금의 수입체계 (기준 2020년)

- 2020년에 독일 국가는 전기세에서 60억 유로의 수입이 2026년 약 80억 유로로 상승할 것으로 예상되며, EEG의 경우 2022년에 약 290억 유로의 재정 비용을 초래할 것이지만, 2026년까지 이 금액은 약 270억 유로로 줄어들 것이며 연간 50억~60억 유로의 판매세 수입에서 손실이 예상됨
- 독일의 에너지 전환 및 기후 보호를 위한 중앙 자금 조달 수단은 에너지 및 기후 기금(EKF: EKF의 주요 수입원은 지금까지 EU ETS의 수입)인데 기후 보호 프로그램 2030으로 EKF는 389억 유로를 받았으며, 대략 동일한 금액의 연방 보조금이 향후 몇 년 동안 제공될 것이고, 2021년부터는 국가배출권거래제 소득, 자동차세 개혁, 트럭 통행료의 CO2 차등화, 항공세 인상 등도 EKF에 완전히 유입될 예정임
- EKF 기금은 향후 몇 년 동안 전기 이동성 촉진, 에너지 효율적인 건물 개조, 기차 표에 대한 부가가치세 감면 및 지역 대중 교통 지원과 같은 다양한 프로그램 조치에 자금을 제공하는 데 사용될 것이며, 2021년에는 총 268억 유로의 프로그램 지출이 계획되어 있습니다. 2024년까지 전기 가격 완화를 위해 약 300억 유로가 배정됩니다(연방 위원회, 2020)

ABBILDUNG 64

Fiskalische Gesamtwirkung von nationaler CO₂-Bepreisung und Energiepreisreform



1 - Gemäß Regierungsentwurf des Finanzplans des Bundes für die Jahre 2022 bis 2024. Für die Jahre 2025 und 2026 berechnet unter der Annahme, dass die Einnahmen mit der Rate weiterwachsen, mit der sie in den Jahren 2023 und 2024 gewachsen sind. Es wird unterstellt, dass sich im Jahr 2026 der vorgesehene Höchstpreis von 65 Euro je Tonne CO₂ einstellt. 2 - Basierend auf einer Simulation über die zukünftige Entwicklung der EEG-Umlage und der Stromsteuer durch die Deutsche Energie-Agentur.

Quellen: BMF, dena (2020), eigene Berechnungen

© Sachverständigenrat | 20-540

[그림 2-12] 독일 CO2 가격반영과 에너지 개혁으로 인한 재정효과

- (가정의 부담) CO₂ 톤당 51유로의 CO₂ 가격은 연간 약 120억 유로의 가구에 대한 총 부담을 초래할 것이며, CO₂ 가격이 CO₂ 톤당 51유로인 경우 개인 가정은 연간 평균 약 300유로를 더 부담하게 될 것으로 예상됨
- (기업에 미치는 영향) SESTA에 의한 CO₂ 가격 책정에는 기본적으로 시장에 출시된 모든 연료가 포함되는데, BEHG의 목적은 EU ETS에 기록되지 않은 배출량의 가격을 책정하는 것이고 EU ETS가 적용되는 시스템에 대한 추가 부담은 없습니다. 2018년 산업에서 배출된 1억 8,400만 톤의 CO₂ 배출량 중 약 1억 2,400만 톤이 EU ETS에 포함되었기 때문에 CO₂ 톤당 25유로의 가격은 산업에 약 15억 유로의 추가 비용을 초래하며, 2018년에 약 1억 2천만 톤의 CO₂ 배출량을 유발한 3차 부문은 경우 30억 유로 미만의 추가 비용이 발생할 것인데, 예상되는 수입은 일정한 배출량으로 2021년에 약 45억 유로, CO₂ 톤당 65유로의 가격으로 2026년에 약 116억 유로가 될 것으로 예상됨

(4) 녹색금융

- 에너지 시장에서 저탄소 경제로의 전환을 위해서는 상당한 민간 및 공공 투자가 필요할 것입니다. 금융 부문은 국제 기후 정책의 틀 내에서 글로벌 투자 수요에 자금을 조달하고 자본 흐름을 지속 가능한 투자로 이끄는 데 중요한 역할을 담당
- 최근 몇 년 동안 지속 가능한 금융 투자에 대한 수요와 공급이 크게 증가했는데, 독일의 지속 가능한 금융 상품 시장 규모는 2,693억 유로(FNG, 2020)로 전체 펀드 시장의 약 5.4%를 차지
- 독일의 최대 녹색채권 발행사는 KfW Bankengruppe입니다. 2020년 9월 독일은 처음으로 총액 65억 유로의 녹색 연방 채권을 발행했으며(Deutsche Finanzagentur, 2020) 녹색 채권의 자금 사용과 관련하여 독일에서는 에너지 부문이 62%의 점유율로 지배적인데(Liebich et al., 2020) 자금의 약 28%가 건축 부문으로 유입되며 독일의 기금 중 극히 일부만이 운송 부문에 투자됨(6.6%)

(5) 운송 부문

- 운송 부문은 독일과 유럽의 모든 연간 온실 가스 배출량의 약 19%와 22%를 담당하는데, EU ETS의 도움으로 상당한 배출량 감소가 달성되었지만 운송 부문의 배출량은 1990년과 2019년 사이에 거의 변화가 없음
 - 운송 부문에서 탄소 배출 감소를 위한 옵션은 다음과 같은 3가지를 생각할 수 있는데, 첫째, 내연기관 차량의 효율성을 더욱 높여 배출가스를 줄일 수 있고, 둘째, 교통이 전기화될 수 있음(운송에서 발생하는 배출량은 이미 EU ETS에 통합된 에너지 부문에 할당됨), 셋째, 트래픽을 완전히 피하거나 재배치하는 것임
 - 가격 인센티브를 기반으로 경제 주체는 원하는 경로를 선택할 수 있습니다. CO2 가격은 고객 수요에 영향을 미치며 이는 자동차 제조에 해당하는 신호로 이어지며, 변화하는 수요를 충족하고 새로운 수익 기회를 활용하기 위해 제품 포트폴리오가 조정되고 내연 기관의 효율성 증가가 구현되고 있으며, 충분한 범위의 대중 교통 또는 대중 교통과 전기 이동성을 위한 기반 시설이 포함되며, 소비자에게 내구성 소비재에 대한 결정을 계획할 때 배출을 피하기 위한 중요한 옵션을 제공하고 있음
 - 국가 배출권 거래는 대중 교통의 배출이 승용차의 배출보다 훨씬 적기 때문에 전동 개인 운송이 지역 대중 교통에 비해 더 비싸다는 것을 의미하며 대중 교통에 대한 수요가 증가할 가능성이 있으며(Balcombe et al., 2004), 추가 수요가 공급에 의해 충족되지 않고 가계가 이동성 요구를 이동할 수 없는 경우 CO2 가격 상승으로 인해 재정적 부담이 커질 수 있음
 - 운송 부문을 전기화하는 데 사용할 수 있는 다양한 옵션이 있는데, 배터리 구동 차량의 경우 완전 배터리 구동 차량(BEV)과 플러그인 하이브리드(PHEV)로 구분할 수 있으며 연료 전지 차량(FCEV)은 연료 전지를 사용하여 전기 모터의 전기를 생성하는 것을 예시로 들 수 있음
 - 전기 자동차의 시장 확대는 현재 많은 조치가 병행되고 있는데(Preuss, 2020), 소규모 접근 방식은 종종 비효율적이며, 이 모빌리티 분야에서 배출량 가격을 통제하는 것은 중요한 기여를 할 수 있는데, CO2 가격은 내연기관의 부정적 외부효과를 내재화할 뿐만 아니라 전기자동차의 운행에 필요한 전기생산에 따른 배출가스까지 내재화하고 있으며, 이러한 이유로 국가 배출권 거래와 EU

ETS는 점점 더 큰 역할을 해야 하며, 중기적으로는 이동성 전환을 위한 주도적인 도구가 되어야 한다고 봄

(6) 소형 모빌리티 추진과 주유 및 충전 인프라 활성화

- 유럽 수준에서 전체적인 소비 규칙은 간접적으로 전기 자동차를 홍보하고 있으며 2021년부터 드라이브 트레인 간의 가격 차이에 추가적인 영향을 미칠 수 있음
 - 차량 한도는 몇 년 동안 존재했지만 차량의 평균 배출량에 대한 사양은 2021년부터 구속력을 갖게 되는데 독일 자동차 제조업체의 경우 제조업체의 차량이 가중 평균으로 100km당 CO₂ 1g당 한도이며, 100km당 CO₂ 95g을 초과할 경우 판매된 차량당 95유로의 벌금을 지불해야 함
- 공개적으로 접근 가능한 탱크 및 충전 인프라에 자금을 지원하면 네트워크 외부성을 해결하고 기후 중립 기술로 차량 차량을 점진적으로 전환하는 데 필요한 CO₂ 가격을 줄일 수 있음
 - 탱크 및 충전 인프라에 대한 공적 자금은 현재 NOW GmbH에서 조직하고 있으며, 입찰에 따라 공공 충전소 건설을 위한 보조금이 지급되는데, 보조금은 충전 용량과 전력선 현대화 필요성에 따라 다릅니다. 또한 보조금은 지역의 필요에 따라 결정됩니다. 수소 충전소에도 보조금이 지급되고 있음
 - 보조금 지급에도 불구하고 투자위험이 너무 높기 때문에 매력도가 낮은 지역에서는 증설이 이루어지지 않을 수 있으며, 수익성 부족(Hall and Lutsey, 2017; NPM, 2019b) 외에도 다른 요인이 확장을 가로막을 수 있는데, 예를 들어 라이선스 및 조달법은 확장에 영향을 미칠 수 있으며 연료 및 충전소는 기술 표준을 충족해야 하는 어려움이 있음
 - 개인 충전소를 설정할 때 올바른 프레임워크 법적 조건을 설정하는 것이 중요하며, 새 건물에 민간 충전소를 설치하기 위한 전제 조건을 정의하고 임차인이 충전소를 쉽게 설치할 수 있도록 하기 위한 주택 소유 현대화법은 올바른 방향으로 가는 한 걸음으로 볼 수 있음

(6) 수소 에너지 전략의 실행

- 기체 및 액체 에너지 운반체는 장기적으로 유럽과 독일의 에너지 시스템에서 중요한 부분이며 현재의 화석 연료를 기후 중립적인 대안으로 대체하기 위한 옵션이 개발되어야 하는데, 현재 지식 상태에 따르면 경로는 녹색 수소, Power-to-X 프로세스 및 합성 연료(Synfuels)를 통해 이어지고 있음
 - 현재의 지식 상태에 따르면, 녹색 수소와 이를 기반으로 하는 산업용 원자재, 그리고 합성 에너지원은 중장비 차량 교통, 항공, 화학 산업 및 중공업 부분의 화석 제거를 위한 실행 가능한 옵션을 나타나고 있음(Hebling et al., 2019; Löschel et al., 2019; NPM, 2019c)
 - 회색 수소는 화석 연료에서 얻어지고 추출 중에 CO₂ 배출이 생성되지만 수소는 대안적으로 전기분해를 사용하여 물을 분해하거나 바이오매스 또는 잔류물 및 폐기물을 변환하여 생성할 수 있음
 - 녹색 수소의 생산은 현재 기존의 회색 수소 생산과 경쟁력이 없는 문제가 있으며 (Glenk and Reichelstein, 2019), 합성 연료는 화석 연료와 유사한 화학적 특성을 가지고 있지만, 사용 시 새로운 CO₂ 배출량은 배출되지 않으며 예를 들어, 대기에서 가져온 CO₂와 전기를 사용하여 생산할 수 있음(액체 전력 변환 또는 가스 전력 변환)

(7) 연구 자금의 지원

- 독일은 NIP(수소 및 연료 전지 기술을 위한 국가 혁신 프로그램)의 일환으로 2006년부터 수소 응용 프로그램을 추진해 왔음
 - 2006년과 2016년 사이에 7억 유로의 자금이 수여되었습니다. 2016년과 2026년 사이의 두 번째 자금 조달 기간(NIP II) 동안 BMWi(2020b)는 시연 프로젝트뿐만 아니라 연구 개발 자금으로 약 14억 유로가 추정되며, 2020년에서 2023년 사이의 기간 동안 EKF의 추가 기금과 실제 실험실 및 국가 탈탄소 프로그램 내 투자에 대한 기금이 추가될 예정임(BMWi, 2020b)
 - 총 90억 유로(연대 위원회, 2020)의 자금을 제공하는 NWS의 틀 내에서 더욱 추구

될 연구 자금은 합리적인 것으로 보이며, 이에 따른 지식 외부성의 도움으로 연구 자금은 기술 확립 초기 단계에서 역량을 창출하고 전문가를 양성하는 데 중요한 기여를 할 수 있을 것으로 기대됨

03 결론 및 제언

1. 요약 및 시사점

- 일본은 전략적 이노베이션 창조 프로그램(SIP), 미쓰비시 종합연구소의 2050년 에너지 비전, 제3차 에너지혁명에 따른 에너지 서플라이체인 혁신 등으로 탈석탄 및 그린 뉴딜 사업을 추진하고 있음
 - 일본의 전략적 이노베이션 창조 프로그램(SIP)에서는 종합과학기술·이노베이션 회의가 사령탑기능을 발휘하고, 각 부·성의 구조나 예전의 분야를 초월한 매니지먼트를 함으로써, 과학기술 이노베이션 실현을 위해 창설한 국가 프로젝트이고 내각부에 설치되어 있고, 정책총괄관(과학기술정책·이노베이션 담당)이 사무국을 담당하고 있음
 - 미쓰비시 종합연구소의 2050년 에너지 비전에서 공급자 측면에서의 이상적 에너지는 3E+S로 에너지정책기본법에 근거한 정책을 통해 에너지 공급 관련 사항이 규정되고 있어 일본의 에너지정책의 기반이 되고 있으며, 수요자 측면에서의 이상적 에너지로 4개의 키워드로 이적인 에너지를 ①스트레스 제로, ②지속가능성, ③선택가능성, ④설명성의 4가지를 고려하고 있음
 - 제3차 에너지혁명이 석탄이나 석유 등의 화석연료로부터 재생가능 에너지로의 전환을 의미하며, 제3차 에너지혁명이 끼친 것으로 크게 구분하면, 에너지 서플라이체인의 혁신, 에너지 이용의 혁신, 비즈니스 모델의 혁신을 들 수 있으며 제3차 에너지혁명에서는 새로운 동력원으로서 연료전지가 탄생하였고, 에너지원으로서 재생가능 에너지를 이용한 수소의 활용이 진전되었음
- 독일과 유럽에서는 장기적으로 글로벌 기후 중립적인 경제 활동을 가능하게 하기 위해서는 모든 분야에서 재생 에너지를 사용할 수 있는 기술의 사용이 필수적인 전제

조건이며 동시에 산업정책적인 기회로 응용하고 있음

- 독일은 에너지 가격 책정에서 국가가 유발하고 왜곡된 세금 및 할증료를 동시에 폐지하면서 CO₂의 일관된 가격 책정하는 것이 주요한 정책적 합의임
- 독일은 모든 부문의 국가 배출권 거래를 EU ETS로 통합하고 유럽의 부문간 배출권 거래를 확립하는 것이 정치의 주요 목표가 되고 있으며, 이것이 달성될 때까지 에너지 가격 개혁은 에너지 정책에 대한 인센티브를 강화하는 방식으로 운영되고 있음
- 독일 및 유럽에서 운영하고 있는 국가의 탄소 배출권 거래로 인한 가격의 재정적 부담을 줄여주며, 새로운 기술과 시장의 매력의 진입을 촉진시키며, 이는 에너지 효율성을 담보하는 에너지부문의 결합을 통해 미래에 중요하게 될 것으로 보임

2. 친환경 에너지 정책을 위한 제언

○ 기후변화에 대처하기 위해서는 상당한 민간 부문 투자가 필요하며 이에 대한 방안을 강구해야 함

- 기후 중립적인 제품 및 응용 프로그램의 미래 개발에 대한 오늘날의 기대는 경제 활동의 기후 관련 속성이 투명하고 이해할 수만 있다면 이미 민간 자본과 실제 경제 투자를 동원할 수 있으며, 제품 및 프로세스뿐만 아니라 지속 가능한 투자의 인 증은 새로운 회사, 혁신 또는 기술에 대한 투자를 방해하는 장애물을 제거하는 것 역시 중요한 정책적 행위임
- 시장 지향적 메커니즘은 다양한 시장 불완전성의 상호 작용으로 인해 인센티브 효과가 제한적일 수 있는데, 선택된 보완 조치가 이러한 한계를 보충하는 의미를 지니고 있으며, 특히 공공 연구 자금은 혁신 환경에 중요한 기여를 할 수 있으며, 숙련된 근로자의 미래 지향적인 개발과 목표된 추가 교육 조치는 혁신을 크게 촉진할 수 있으며 적절한 숙련 노동자를 확보하려면 지금 올바른 정책을 설정해야 함
- 운송 부문에서 네트워크 효과는 가정의 배출량 절감을 더욱 어렵게 만들 수 있으며, 전기 자동차로의 전환은 연료 공급 및 충전 인프라가 충분할 경우에만 가정에 매력적일 수 있으며, 재생에너지 부문의 확장을 위한 공공 지원이 적절할 수 있지만 특히 민간 투자를 동원하는 데 사용해야 할 필요가 있음

- 수소 기술은 2050년에 기후 중립을 달성하기 위한 중요한 부문이며 동시에 산업에 중요한 기회를 열어줄 것으로 보이는데, 민간 투자를 동원하기 위해서는 부문간 CO2 가격 책정, 에너지 가격 개혁 및 인증 진행이 필요하며, 공적 자금이 적절히 동원되어야 하며 지식 외부성, 네트워크 효과 또는 정보 비대칭과 같은 시장의 불완전성을 해결해야 할 필요가 있음
- 정치와 기업 간의 합의에 도달하기 위해서는 공공 조정 프로세스가 선행되어야 하며, 로드맵은 목표를 설정하고 프레임워크 조건에 대한 조정의 필요성을 표시하며 기업의 투자 보안을 강화하는 데 도움이 되므로 이러한 아젠다를 정부가 적극 관리할 필요가 있음

참고문헌

竹内純子(2020), 에너지産業의2050年 Utility3.0へのゲームチェンジ

一般財団法人エネルギー総合工学研究所(2020), 図解でわかるカーボンリサイクル ~CO2を利用する循環エネルギーシステム (未来エコ実践テクノロジー)

デロイトトーマツコンサルティング(2019), 第三次エネルギー革命

三菱総合研究所環境・エネルギー事業本部(2020), 三菱総研が描く2050年エネルギービジョン

文男, 西脇(2018), 日本の國家戰略「水素エネルギー」で飛躍するビジネス: 198社の最新動向

江田健二(2019), 世界の51事例から予見するブロックチェーン×エネルギービジネス

野村総合研究所(2020), エネルギー業界の破壊的イノベーション

村上敦(2019), 進化するエネルギービジネス(ポストFIT時代のドイツ)

山口豊(2020), 「再エネ大國日本」への挑戦(SDGs時代の環境問題最前線)

acatech, Leopoldina und Akademienunion (2017), Sektorkopplung - Optionen für die nächste Phase der Energiewende, Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung, Stellungnahme des Akademienprojekts „Energiesysteme der Zukunft“, München

Bauer, W., O. Riedel, F. Herrmann, D. Borrmann und C. Sachs (2018), ELAB 2.0 - Wirkungen der Fahrzeugelektrifizierung auf die Beschäftigung am Standort

- Deutschland, Abschlussbericht, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart
- BMU (2019a), Klimaschutzprogramm 2030 zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin
- Edenhofer, O. und C.M. Schmidt (2018), Eckpunkte einer CO₂-Preisreform: Gemeinsamer Vorschlag von Ottmar Edenhofer (PIK/MCC) und Christoph M. Schmidt (RWI), RWI Positionen 72, RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, Essen
- Falck, O., M. Ebnet, J. Koenen, J. Dieler und J. Wackerbauer (2017), Auswirkungen eines Zulassungsverbots für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor, ifo Forschungsbericht 87/2017, ifo Institut im Auftrag des Verbands der Automobilindustrie, München
- Grimm, V. (2020), Der Green Deal als Chance für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit in Europa: Wasserstoff und synthetische Energieträger, ifo Schnelldienst 73 (6), 22 – 28
- Heuser, P.-M., D.S. Ryberg, T. Grube, M. Robinius und D. Stolten (2019), Techno-economic analysis of a potential energy trading link between Patagonia and Japan based on CO₂ free hydrogen, International Journal of Hydrogen Energy 44 (25), 12733 – 12747.
- IRENA (2020), Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050, Global Energy Transformation Report Edition 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
- Mönning, A., C. Schneemann, E. Weber, G. Zika und R. Helmrich (2018), Elektromobilität 2035: Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Personenkraftwagen, IAB Forschungsbericht 8/2018, Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der

Bundesagentur für Arbeit, Nürnberg

Pfennig, M., N. Gerhardt, C. Pape und D. Böttger (2017), Mittel- und langfristige Potenziale von PTL- und H₂-Importen aus internationalen EE-Vorzugsregionen, Teilbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, Kassel

Ram, M. et al. (2018), Global energy system based on 100% renewable energy - Energy transition in Europe across power, heat, transport and desalination sectors, Studie, LUT Universität und Energy Watch Group, Lappeenranta und Berlin

Runge, P., C. Sölch, J. Albert, P. Wasserscheid, G. Zöttl und V. Grimm (2020), Economic comparison of electric fuels produced at excellent locations for renewable energies: A scenario for 2035, Energie Campus Nürnberg

Runkel, M. (2018), Literaturrecherche zu Studien, die eine Dekarbonisierung der Stromerzeugung und anderer Anwendungsbereiche in Deutschland, Europa und weltweit untersuchen, Climate Change 14/2018, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Stiglitz, J.E. et al. (2017), Report of the high-level commission on carbon prices, Weltbank, Washington, DC.

Timmerberg, S. und M. Kaltschmitt (2019), Hydrogen from renewables: Supply from North Africa to Central Europe as blend in existing pipelines - Potentials and costs, Applied Energy 237, 795 - 809