

독일 에너지전환이 한국에 주는 시사점

박 상 철

한국산업기술대학교 지식기반기술
에너지대학원

scpark@kpu.ac.kr

1. 배경

- 21세기 인류 최대 관심사: **환경과 에너지**
- 유엔기후변화회의의 **파리협약** (Paris Climate Accord): 2015년 12월
- 유럽연합 (EU)의 **이산화탄소 배출권거래시장 운영**: 2005년, **탄소세 (Carbon Tax) 도입**
- **환경 친화적 독일 에너지정책**
 - 이산화탄소 배출 억제
 - **환경 및 에너지기술개발을 통한 성장정책**
 - **에너지정책과 지속성장정책**
 - 재생에너지개발, 생태적 에너지세, 배출권 거래제도

- 독일 에너지전환: 1980년대 초
 - 재생에너지 개발을 통한 화석연료 소비감소
 - 원자력 에너지폐쇄로 인한 에너지안보 확립 필요성
 - 재생에너지 개발정책 지원: 탄소세, 배출권 거래제도
- 목적
 - 독일 에너지정책 핵심인 에너지전환 배경 및 전략
 - 한국 에너지정책에 대한 시사점

2. 독일 에너지전환정책

- 에너지전환 개념

- 자연과학 내 순수한 분자변화의 과정 (1930년대)
- 에너지자원 가격변동성으로 인한 에너지 대체재 사용 (1970년대)
- 에너지체제를 변화시켜 국가경제 운영 (1990년대 이후)
 - ✓ 고 탄소 에너지체제에서 저 탄소 에너지체제로 변화
- 저 탄소 경제체제 구축: 청정기술개발, 재생에너지, 지속 성장

- 독일 에너지전환정책

- 세계 제 1차 및 2차 석유위기 (1973/4년, 1979년)
- 미국 원자력발전소 폭발사고 (1979년), 소련 체르노빌 원자력 폭발사고 (1987년)
- 인식변화 및 환경의식 향상

- 보수연합정부 (기독교민주당 + 자유민주당)
 - 전력차액지원법 (Feed in Tariff: FIT): 1991
 - 재생에너지 생산지원
 - 온실가스 배출 20% 감축 (2005년)
- 진보연합정부 (사회민주당 + 녹색당)
 - 환경세 부과 및 재생에너지법 (Renewable Energy Act) 제정
 - 원자력발전소 단계적 폐쇄 합의 (2022년)
 - 원자력법 (Atomgesetz) 개정 (2002년)
 - ✓ 신규 원자력발전소 건설금지
 - 저 탄소 경제체제 전환을 위한 정책방향 설정

- 보수 및 진보 거대연합정부 (2007년)
 - 에너지 및 기후변화 연계 프로그램
 - 재생에너지 전력생산 비율 25-30% (2020년)
 - 일반기후변화적응전략 및 기후변화연계 법률안
- 보수연합정부 (CDU + FDP) (2009년)
 - 원자력발전소 폐기일정 8년 연장
 - 에너지개념 (구상) (Energy Concept) 승인 (2010년)
 - ✓ 저 탄소 경제체제 구축을 위한 장기 시나리오 및 로드 맵
- 에너지개념과 에너지 전환정책
 - 장기 에너지정책 추진계획
 - 에너지 미래 개척 및 발전을 통한 저 탄소 경제체제 구축
 - 환경 친화적이며 안정적인 에너지 공급
 - 온실가스 배출 1990년 대비 80-95% 감축 (2050년)

- 장기 에너지정책 수립 이유
 - 최고의 에너지 효율성과 환경 친화적 경제체제 구축
 - 경쟁력 있는 에너지 가격확보
 - 지속적 경제적 번영 창출
- 에너지 개념 목표
 - 에너지 수요 및 공급에 관한 종합적 에너지정책 수행 수단
 - 과잉생산 방지를 위한 중앙집중 방식에서 지방분산형 전환
 - 에너지 절약 및 효율 향상
- 에너지 전환정책
 - 부문별 구체적 목표 설정 (표 1)

표 1: 에너지전환과 부문별 2050 목표, 출처: Agora Energiewende, 2017

		현상 유지	2020	2025	2030	2035	2040	2050
온실 가스 배출	1990년 대비 감축	-27% (2016)	-40%		-55%		-70%	-80~95%
원자력 폐쇄	점진적 폐쇄 (2022년)	11발전소 폐쇄 (2015)	8개 원자로 유지					
재생 에너지	최종 에너지소비 비율	14.9% (2015)	18%		30%		45%	최소 60%
	전력 소비 비중	32.3% (2016)		40-45%		55-60%		최소 80%
에너지 효율성	일차 에너지소비 감소 (2008년)	-7.6% (2015)	-20%					-50%
	총전력소비 감소 (2008년)	-4% (2015)	-10%					-25%

- 기존 화석연료 정부보조금 폐지 및 청정기술 개발 지원
- 원자력 에너지 폐쇄 결정 (2022년) (징검다리 에너지)
- 원자력 에너지 폐쇄를 위한 의회 내 합리적 의사결정
 - ✓ 의회 내 85% 지지, 국민 90% 지지
 - ✓ 에너지 전환정책 법률제정 (2010, 2011년)
- 혁신적이며 통합적인 정책 틀의 역할
- 에너지 전환정책 목표
 - 기후변화에 능동적으로 대처
 - 원자력 에너지원에서 발생할 수 있는 위험 극소화
 - 에너지 안보 강화
 - 국가경쟁력 향상 및 지속성장 달성

3. 에너지정책과 지속가능 성장정책

- 에너지정책 핵심 전환

- 20세기 공급자 및 중앙중심의 화석연료
- 21세기 수요자 및 지방분산형 중심의 친환경 에너지원
- 에너지 의존도에 관계 없이 합리적이며 효율적 에너지 정책 중요성
- 효율적 에너지정책과 지속가능 성장정책

- 기본방향 및 전략

- 에너지 수입의존도 최소화
- 환경 친화적 에너지 소비구조 정착
- 에너지정책 및 기후정책 간 정책적 통합 강화
- 시장자유화 및 규제완화
- 에너지시장 경쟁체제 구축
- 재생에너지 사용 우선권 부여

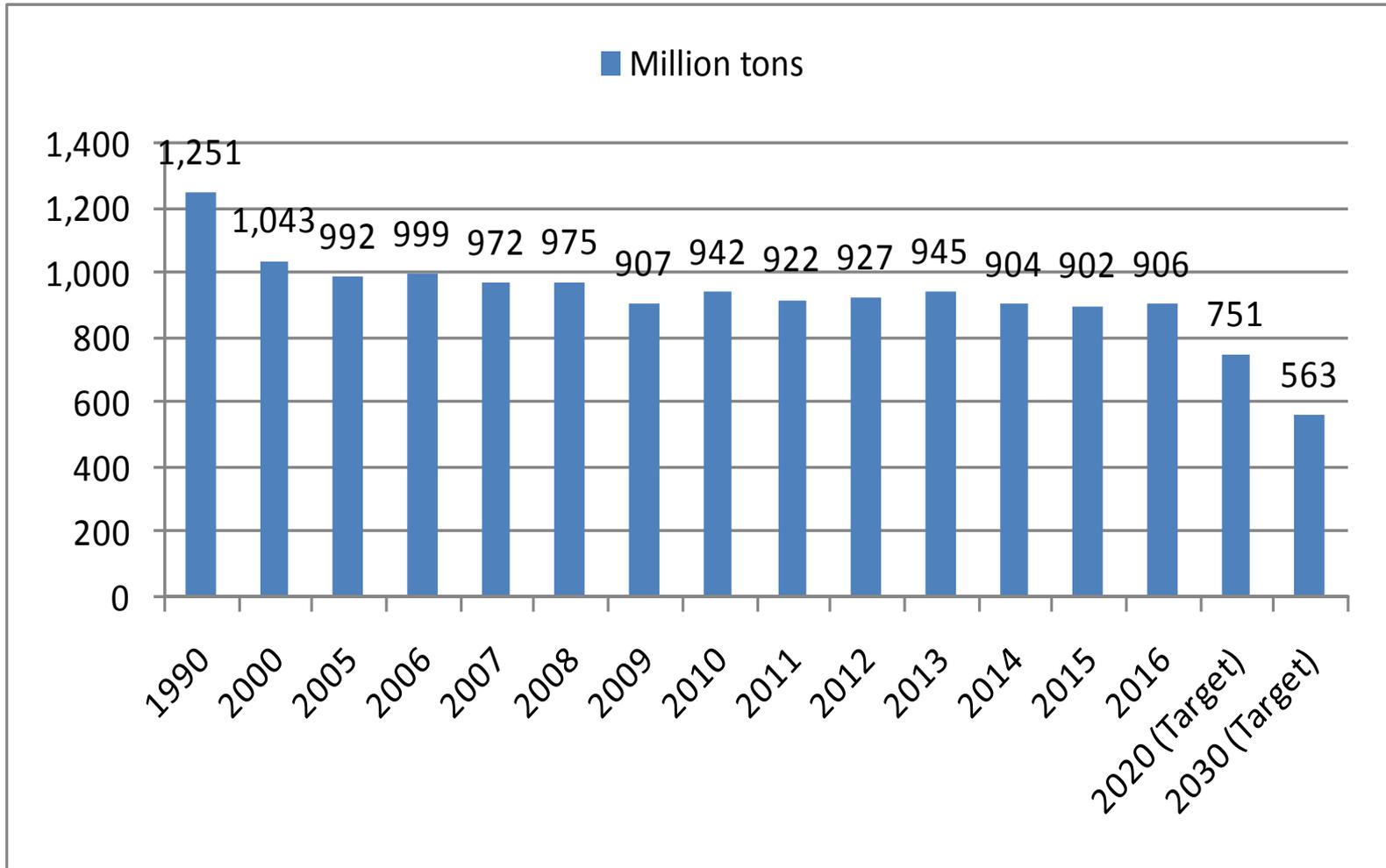
- 친환경 에너지정책

- 수요자 중심 및 지방분산형 에너지자원 개발
 - ✓ 태양광/열, 풍력, 바이오
- 생태적 에너지세 및 이산화탄소 배출권시장
- 재생에너지부문 고용창출 (334,000명, 2016년) (표 2)
- 재생에너지 보급 및 확산을 통한 이산화탄소 배출량 감축 (그림 1)
- 지속가능 성장정책 및 기후변화정책 직접적 영향
 - ✓ 에너지 소비감소와 경제성장 달성
 - ✓ 이산화탄소, 메탄, 이산화질소 배출 감소
- 배출권 거래제도 실시 및 기업 영향
 - ✓ 생산성 향상 및 가격탄력성 강화, 글로벌시장 비교우위 확보
 - ✓ 기술혁신을 통한 신제품 개발 및 가격경쟁력 향상

표 2: 세계 주요국가 재생에너지 고용창출 (2016년), 출처: IRENA, 2017

국가	고용창출 수 (1,000명)
중국	3,643
유럽연합	1,163
독일	334
프랑스	162
기타회원국	667
브라질	876
미국	777
인디아	385
일본	313
방글라데시	162
남아프리카	30
북아프리카	16
기타 아프리카	15
합계	8,300

그림 1: 독일 부문별 온실가스배출 감축 추이 (1990년-2016년), 출처: UBA, 2017, BMUB, 2017



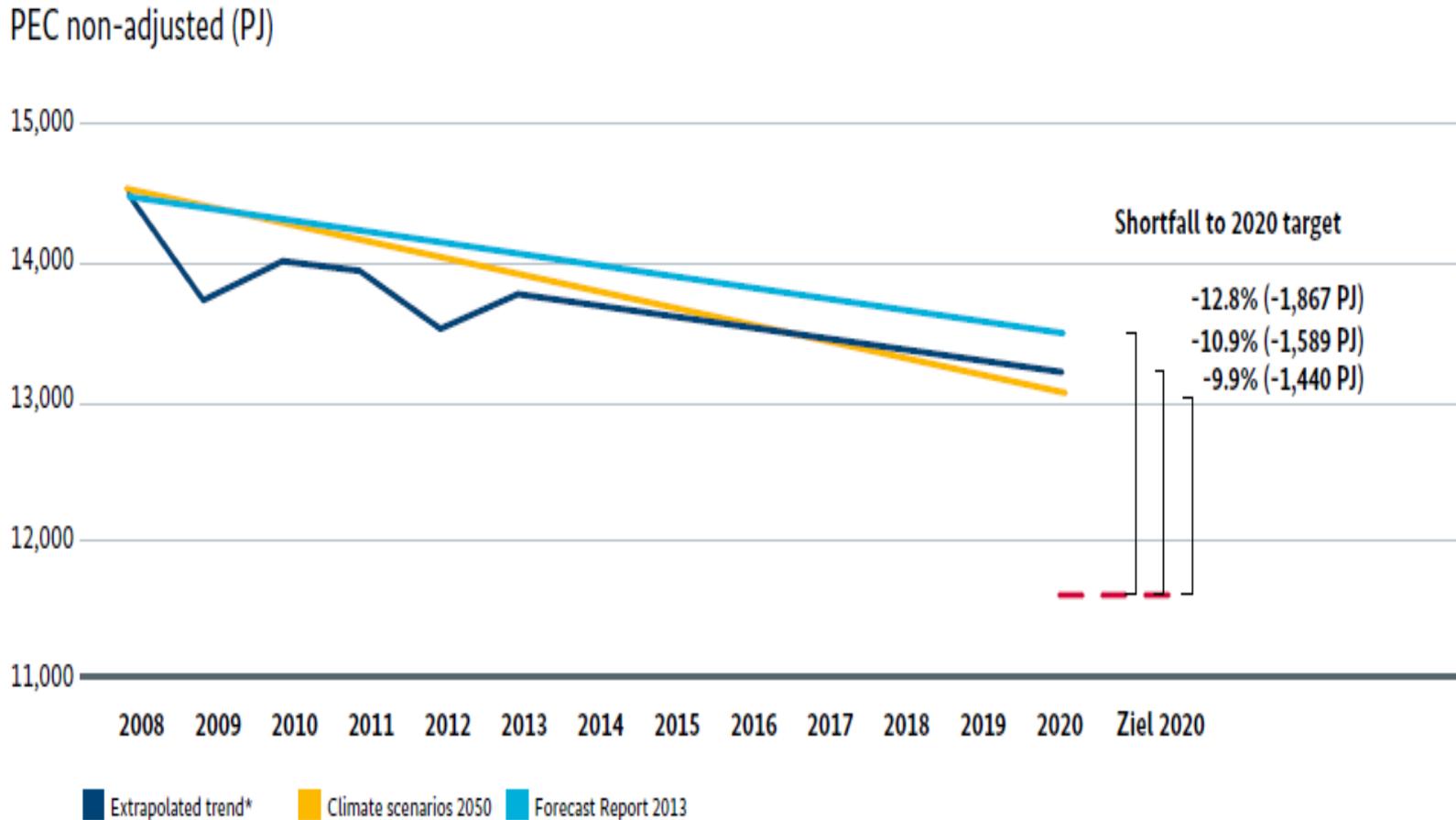
- 재생에너지 개발전략 및 수단
 - 에너지전환 (Energiewende)
 - ✓ 장기 및 상호 연계된 에너지자원 경로 구축
 - ✓ 지속 가능한 에너지정책 및 종합적 에너지 수급전략 (2050년)
- 에너지정책 및 지속성장 정책의 핵심
 - 에너지 소비 효율화
 - 재생에너지개발
- 주요 정책 수단
 - 발전차액지원제도 (FIT)
 - 재생에너지원 의무할당제도 (RSP)
 - 생태적 에너지세 및 이산화탄소 배출권 거래제도

- 에너지정책 수행방법
 - 에너지시장의 경쟁력 강화 및 시장중심 접근방법
 - 지속적인 경제성장, 직장창출, 기술혁신 유발
 - 기후정책과 연계: 이산화탄소 배출 감축
 - 에너지개념 (Energy Concept): 장기정책수행 가이드라인
- 주요 수행과제
 - 재생에너지 사용비율 확대
 - 에너지배합 (Energy Mix)에 재생에너지 비율 최대화
 - 화석연료 소비 점진적 감소
 - 원자력 에너지 대체 활용: 2022년 초
- 수행방법
 - 시장중심의 자유경쟁 유도
 - 전력, 운송, 난방 등 전 시장의 기술부문 개방
 - 중앙정부 및 지방정부 역할분담: 정책수립 및 시행

- **재생에너지자원법** (Renewable Energy Resources Act: EEG): 2000년, 2004년, 2014년, 2017년
 - **관세경매 (Tariff Auction) 참여: 태양광발전 의무화** (2014년)
 - **관세경매 참여: 풍력발전 의무화** (2017년)
 - 전력시장 프리미엄 확보를 위한 **기술부문 경매 입찰**
- **난방 및 교통부문 재정적 인센티브**
 - **교통부문 바이오 연료 사용 증대**
 - 2000년 (0.5%), 2005년 (4.5%), 2020년 (10%)
 - **바이오 연료 일정비율 의무사용제도 (A Bio fuels Quota)** (2007년)
- **에너지 효율성 향상 방안** (2008년 대비)
 - **주요에너지소비 20%** (2020년) 및 **50%** (2050년) 감소
 - **전력소비 10%** (2020년) 및 **25%** (2050년) 감소

- 총 건축물 수리비율 증가 (1% 에서 2%)
- 에너지 효율성 향상부문 도전 증가
 - ✓ 효율성 증가 미미 (그림 2)
 - ✓ 목표 달성 가능성에 대한 부정적 평가 (그림 3, 표 3)
- 에너지 효율성 향상 전략
 - 기업 및 일반소비자 인식전환
 - 주요부문 수행행동 제공
 - 단기 및 장기수행방법 및 과정 분리
 - 정보, 투명성, 인센티브, 법률 및 제도 배합
 - ✓ 에너지효율성을 위한 국가행동계획 (National Action Plan on Energy Efficiency: NAPE): 2014년
- 효율성 향상정책
 - 건축물 보호 및 최종소비재 재정적 인센티브 운영: 규제, 저금리 은행융자, 건축물 수리지원
 - 에너지절약법령: 에너지관련 정보제공 및 검사

그림 2: 시나리오 별 2020년 주요에너지 소비 감축 예상

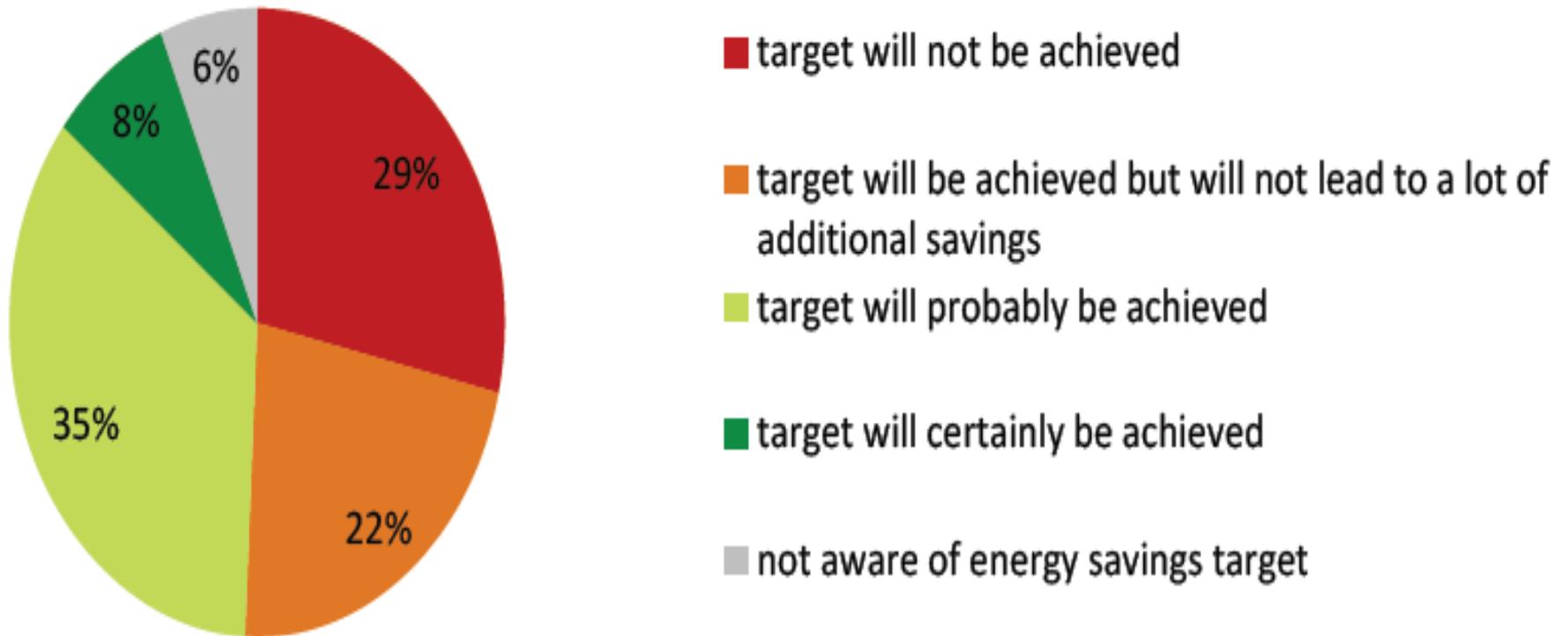


*Based on statistics from 2008 to 2013 (as of 2014)

출처: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2014

그림 3: 2020년 에너지소비 감소 목표치 달성가능성 분석

Germany: achievement of national energy savings target



출처: www.energy-efficiency-watch.org

표 3: 2020년 국가 에너지 및 기후변화 목표달성 현황, 출처: AGEB, 2015, BMWi, 2015

온실가스 배출	2014	2020
1990년 기준 온실가스 배출	-27.0%	최소 -40%
재생에너지 자원	2014	2020
총 전력소비 비중	27.4%	최소 35%
총 에너지소비 비중	13.5%	18%
에너지 효율성	2014	2020
주요에너지소비 (2008년 기준)	-8.7%	-20%
기온변화 제외	-7.0%	
기온변화 포함		
총 전력소비 (2008년 기준)	-4.6%	-10%
전력생산 비중	17.3%	25%
에너지 생산성		
최종 에너지 생산성	1.6%/년	2.1%/년
주요 에너지 생산성 (기온변화 제외)	2.2%/년	
주요 에너지 생산성 (기온변화 포함)	1.8%/년	
건축물	2014	2020
난방수요 (2008년 기준)	-12.4%	-20%
운송부문	2014	2020
최종 에너지 소비 (2005년 기준)	+1.7%	-10%
전기자동차 보급 수	28,264	1,000,000

4. 에너지전환 비용분석

- **에너지전환비용**: **정확한 총비용은 불확실 및 가변적**
(2018년 1월 의회 정부공식 답변)
 - 환경오염, 공공위생 피해, 기후변화에 따른 장기영향 등에 따른 **추가비용 발생**
 - **재생에너지 수요**를 증가시키기 위한 비용: **연간 190억 유로** 추정 (2015년 총 에너지 소비비용: 1,930억 유로)
- **5개 에너지전환비용 연구보고서 (2017년)**
 - EWI, Prognos AG, GWS, Fraunhofer ISE, Oeko Institut
 - **기존시나리오** (Business As Usual: BAU), **에너지전환 시나리오** (Reference Case) 간 비용차이 비교분석
 - **비용 및 효용에 대한 상이한 결과**: 에너지 소비가격, 기술 투자비용, 자본투자비용, 이산화탄소 감축비용

- 에너지전환비용
 - 연간 최소 150억 유로 ~ 최대 400억 유로
 - 2017년 독일 국내총생산 3조 2,000억 유로의 0.47% ~1.25%
- 국가경제에 걱정 혹은 부담?
 - 진영 간 논리 및 입장차이 존재
- 에너지전환 총비용 분석 (2015년-2050년)
 - 국제에너지기구 (IEA): 세계 에너지모델 (World Energy Model: WEM)
 - 국제재생에너지기구 (IRENA): 재생에너지 로드맵 모델 (REmap Model)
 - 총비용 (116조 달러), 연간평균비용 (3조 3,000억 달러), 재생에너지 소비비중 확대 추가비용 (29조 달러, 연평균 8,300억 달러) (표 4 참조)

표 4: 독일 에너지전환비용과 글로벌 에너지전환비용 비교분석 (2015~2050년)

출처: Agora Energiewende, 2018; OECD et al., 2017; World Bank, 2018
 비교: 달러대비 유로환율은 2017년 평균 환율 1.15로 계산하였음.

	독일	글로벌	전환비용비율 (독일/ 글로벌)	경제규모비율 (독일/ 글로벌)
에너지전환 비용	최소 (6,038억 달러) 최대 (1조 6,100억 달러)	116조 달러 (연평균 3조 3,000억 달러)	최소 (0.52%) 최대 (1.4%)	4.6%
추가비용	최소 (989억 달러) 최대 (1,265억 달러)	29조 달러 (연평균 8,300억 달러)	최소 (0.34%) 최대 (0.44%)	4.6%

- 에너지전환 효과분석
 - 독일 에너지전환 및 글로벌 에너지전환 효용분석
 - 재생에너지 소비 및 에너지 효율성 증가를 위한 자본투자로 인하여 발생하는 국내총생산 및 고용창출 증가 비교분석
- EWI, Prognos & GWS
 - 화석연료가격 불변 시: 독일 GDP 0.1% 증가 (2030년), 1% 증가 (2050년)
- Oeko Institut & Fraunhofer ISI
 - 화석연료가격 변화 시: 독일 GDP 2.5% 증가 (2030년), 4.4% 증가 (2050년)
 - 고용창출: 2030년까지 감소, 2050년 11,8000명 증가
- 국제에너지기구 (IEA) 및 국제재생에너지기구 (IRENE)
 - 세계경제 0.8% 증가 (2050년), 고용창출 (600만) (표 5 참조)

표 5: 독일 에너지전환과 글로벌 에너지전환 효과 비교분석 (2015년~2050년)

출처: EWI, Prognos & GWS, 2014; Öko-Institut과 Fraunhofer ISI, 2015; Agora Energiewende, 2018; OECD et al., 2017

	독일 에너지전환	글로벌 에너지전환	비율 (독일/글로벌)
총생산 증가 (GDP)	화석연료가격 불변 0.1% (2030) 1.0% (2050)	0.8% (2050)	125%
	화석연료가격 변동 2.5% (2030) 4.4% (2050)	0.8% (2050)	550%
고용창출	118,000명	6000,000명	1.97%

- 에너지전환의 경제적 효과
 - 화석에너지가격 불변 시 미미
 - 에너지전환 투자비율이 국내총고정자본 형성에 낮은 비율
 - 재생에너지 소비증가 및 에너지 효율성 향상을 통한 화석연료 수입감소
 - 기술혁신을 통한 신 산업 진출
 - 글로벌 경쟁력 강화
 - 화석연료 가격 급상승 대비한 장기 국가발전전략

5. 한국에 주는 시사점

- 장기에너지정책 추진을 위한 정부의 철학 및 전략: 에너지개념 (Energy Concept)
- 21세기 에너지전환 (Energiewende) 패러다임 이해
 - 20세기 에너지 공급자 및 중앙집중 방식
 - 21세기 에너지 수요자 및 지방분산형 방식
 - 장기 및 종합적 에너지정책 수립
- 1980년대 이후 장기간 준비과정
 - 국민의식수준 향상
 - 각 주체간 합리적 의사결정을 통한 의회 및 국민지지 확보
 - 기업의 자발적 참여 및 경쟁력 향상 여건 제공

- 재생에너지 개발 및 에너지 효율성 향상 동시 추진
 - 에너지 기술혁신, 시장 내 자유경쟁 유도
- 에너지정책, 기후정책, 지속가능 성장정책 연계
 - 총체적 국가발전 전략
- 유럽연합 (EU) 내 에너지협력
 - 역내 회원국 간 에너지 수입 및 수출 조정가능
 - 원자력발전소 폐쇄로 인한 충격 최소화
 - 동북아시아 에너지협력 현실과 상이함
- 독일 내 우수한 재생에너지 생산 및 기술개발 환경 및 정책
 - 한국의 재생에너지 생산 환경과 차이점 (표 6, 7 참조)
 - 재생에너지 투자비용 및 전기료 인상 가능성 (표 8, 9 참조)

표 6: 한국과 독일의 재생에너지 발전여건 비교

출처: 박 희 천, 2018

구성	한국	독일
태양광 (자원의 질/기술)	우수/우수	다소 미흡/우수
풍력 (자원의 질/기술)	매우 미흡/다소 미흡	우수/우수
입지면적	부족	풍부
전력무역	불가능	활성화
토지비용	고비용	저비용
생산단가 및 요금차이	높음	낮음
요금인상 수용성	낮음	높음
일인당 전력소비 증감	증가	감소
일인당 전력소비 (2016년)	11,252 kWh	6,917 kWh

표 7: 에너지수입 의존도와 총 에너지 공급량 추이 (2010-2015년)

출처: 국가에너지통계종합정보시스템, www.kesis.net 2018

연도	2010	2011	2012	2013	2014	2015
수입의존도 (%)	96.5	96.4	96.0	95.7	95.2	94.8
총 공급량 (백만 톤)	263.8	276.6	278.7	280.3	282.9	287.5
연 증가율 (%)	8.4	4.9	0.8	0.6	0.9	1.6

표 8: 재생에너지 투자비용 및 전기료 인상 추정 (2017년)

출처: 산업통상자원부, 2017; 에너지경제연구원, 2017; 현대경제연구원, 2017; 강병희, 2017; 정범진, 2017

예측 내용 및 주체	기간	전제조건
재생에너지 투자비용	2018-2030	
산업통상자원부	92조원	공공 51조원, 민간 41조원 풍력: 16.5GW, 태양광: 30.8GW
학계 (정범진)	360조원	전력소비 연평균 2% 증가 시 88GW 설치
기업 (딜로이트)	117조원	연평균 9조원 투자
전기료 인상	2017-2030	전제조건
산업통상자원부	10.9%	재생전력단가 최소 30% 감소, 전력 소비량 연평균 1% 증가
에너지경제연구원	약 21% 24.2-30.8%	발전비용 연간 11.2조원 추가 시 유가 70-150달러/bbl 상승 시
현대경제연구원	11.9%	발전비용 6.6조원 추가 시
국회입법조사처	20% 이상 Prof. Dr. Dr. Sang Chul Park	7차 전력수급기본계획 대비 발전비 용 232조원 증가 시 (연간 11조원)

표 8: 2030년 발전자원 별 균등화 발전비용 (원/kWh)
출처: 에너지경제연구원, 2017

원자력		태양광 (3 MW 이상)	풍력	석탄	가스복합
하한	상한	약 80원	약 90원	약 100원	약 100원
약 65원	약 75원				



박상철

- 독일기센대학교 정치학 박사
- 스웨덴 고텐버그대학교 경제학 박사
- 독일 기센대학교 허빌리타지온 (Habilitation) (정교수: 정치학)
- 스웨덴 고텐버그대학교 도센트 (Docent) (종신 부교수: 경제학)
- KAIST 겸직교수
- 서울대학교 객원교수
- 일본 오카야마국립대학교 교수
- 중국 상하이 푸단대학교 초빙교수
- 현) 한국산업기술대학교 교수
- 중견기업육성연구소 소장
- 스웨덴 고텐버그대학교 초빙교수

독일 재생에너지 정책과 지속 가능 발전전략

 박상철 지음



박상철 지음

SAPYOUNG ACADEMY

글로벌 에너지협력과 국제정치·경제 및 전략

서유럽과 구소련 간 천연가스 무역과
동북아시아 및 러시아 간 천연가스 무역 가능성