

독일 에너지전환의 생태적 효과

2019.06.14



SMU

세명대학교 건축공학과 이태구

목 차

- 1 탈원전 정책의 배경
- 2 독일의 탈원전 정책 변화
- 3 독일 탈원전 정책의 영향
- 4 탈원전에 따른 건설 동향
- 5 건축과 에너지기술의 융합
- 6 정책제안

탈원전 정책의 배경

- ✓ 2017년 6월 19일
- ✓ 문재인 대통령, 부산 기장군 고리원전 1호기 영구정지 선포
- ✓ 국민 생명, 안전, 건강 위협요인 제거 필요성



탈원전 정책의 배경

- ✓ 원전, 개발도상국 시기에 선택한 에너지정책
 - 국가 경제수준, 환경중요성 인식 높아져.
 - 지속가능한 환경, 성장 - 우리가 추구해야 할 목표
- ✓ 일본 - 후쿠시마 원전 사고, 1,368명 사망
 - 후쿠시마 원전 사고 당시, 30km 안 인구, 17만명
 - 서구 선진 국가들, 탈핵 선언
- ✓ 우리나라- 전 세계에서 원전이 가장 밀집한 나라
 - 총 382만명 (부산 - 338만명, 울산- 104만명, 경남 - 29만명),
 - 원전 설비용량, 반경 30km 이내 인구수 " 세계 1위" (일본의 22배)
 - 경주 대지진, 한반도서 가장 강한 지진
- ✓ 세월호 이전, 이후 전혀 다른 ' 안전한 대한민국' 약속

"후쿠시마 원전 사고' 겪은 일본, 1,368명 사망"

탈원전 정책의 배경

✓ 한국의 탈핵 로드맵

- 친환경 에너지 세제 정비
- 에너지 고소비 산업구조 개편
- 고리1호기 영구 정기 : 원전 해체 산업 육성 계기(미국, 독일, 일본)
- 목표 : 국민 생명, 안전 지키며 전력공급 유지

✓ 사우디아라비아 '탈석유' 선언

✓ 후쿠시마 원전 사고 이후 탈원전으로 복귀한 독일의 사례에 관심 집중

독일의 탈원전 정책 변화

집권당	1998~2005 사민당+녹색당 (슈뢰더 총리)	2005~2009 기민당+사민당 (메르켈 총리)	2009~현재 기민당+사민당+자민당 (메르켈 총리)
요인	• 환경보호 정당출범, 체르노빌 영향	• 온실가스배출 억제, 산업경쟁력 확보	• 후쿠시마 영향, 재생에너지 확대
주요 에너지 정책	<u>재생에너지법(EEG) 제정</u>	<u>2010 에너지구상(Energy Concept)</u>	<u>2011 에너지패키지(Energy Package)</u>
탈원전	(1998)단계적 폐쇄 추진 - 원자력의 단계적 폐쇄 정책	(2009.10) 원전 폐쇄 논의 - 원자력 단계적 폐쇄법 철회	(2011.4) 안전한에너지공급을 위한 윤리위원회 - 새로운 에너지원이 원자력을 대체할 수 있는가? - 에너지 전문가 17인의 토론 및 여론 수렴
정책 결정	<u>2000년 탈원전 합의</u> (2002) 원자력법 개정 - 신규원전 건설 금지 - 기존 원전 2022년까지 <u>단계적 폐쇄</u> - 원전수명 32년	<u>2010년 탈원전 보류 (2010.10)</u> - 1980년 이전 건설 6기: 8년 연장 - 1980년 이후 건설 11기: 14년 연장 - 신규원전 건설 금지	<u>2011년 탈원전 복귀 (2011.6.6)</u> - 독일 연방의회, 원전 폐기안 최종 승인 - 2022년까지 가동원전 17기 <u>단계적 폐쇄</u>

출처 : 독일의 탈원전 정책과 시사점(윤성원 외2, 2017)

독일의 에너지 전환 목표 및 주요내용

구 분		목표치			
		2020	2030	2040	2050
온실가스	1990년 대비 배출량	-40%	-55%	-70%	-80 ~ -95%
재생 에너지	전력소비 비중	>35%	>50%	>65%	>80%
	최종 에너지소비 비중	18%	30%	45%	60%
에너지 효율	2008년 대비 1차 에너지 소비	-20%	→		-50%
	2008년 대비 전력 소비	-10%	→		-25%
원자력	<div><div><div>(2010 에너지구상) 2000년 합의된 원전 운전 기간 8~14년 연장</div><div>→</div><div>(2011 에너지패키지) 2022년까지 모든 원전 정지</div></div></div>				

출처: Fifth Energy Transition Monitoring Report 'The Energy of the Future'(BMWi, 2016).

독일의 에너지 전환 목표 및 주요내용

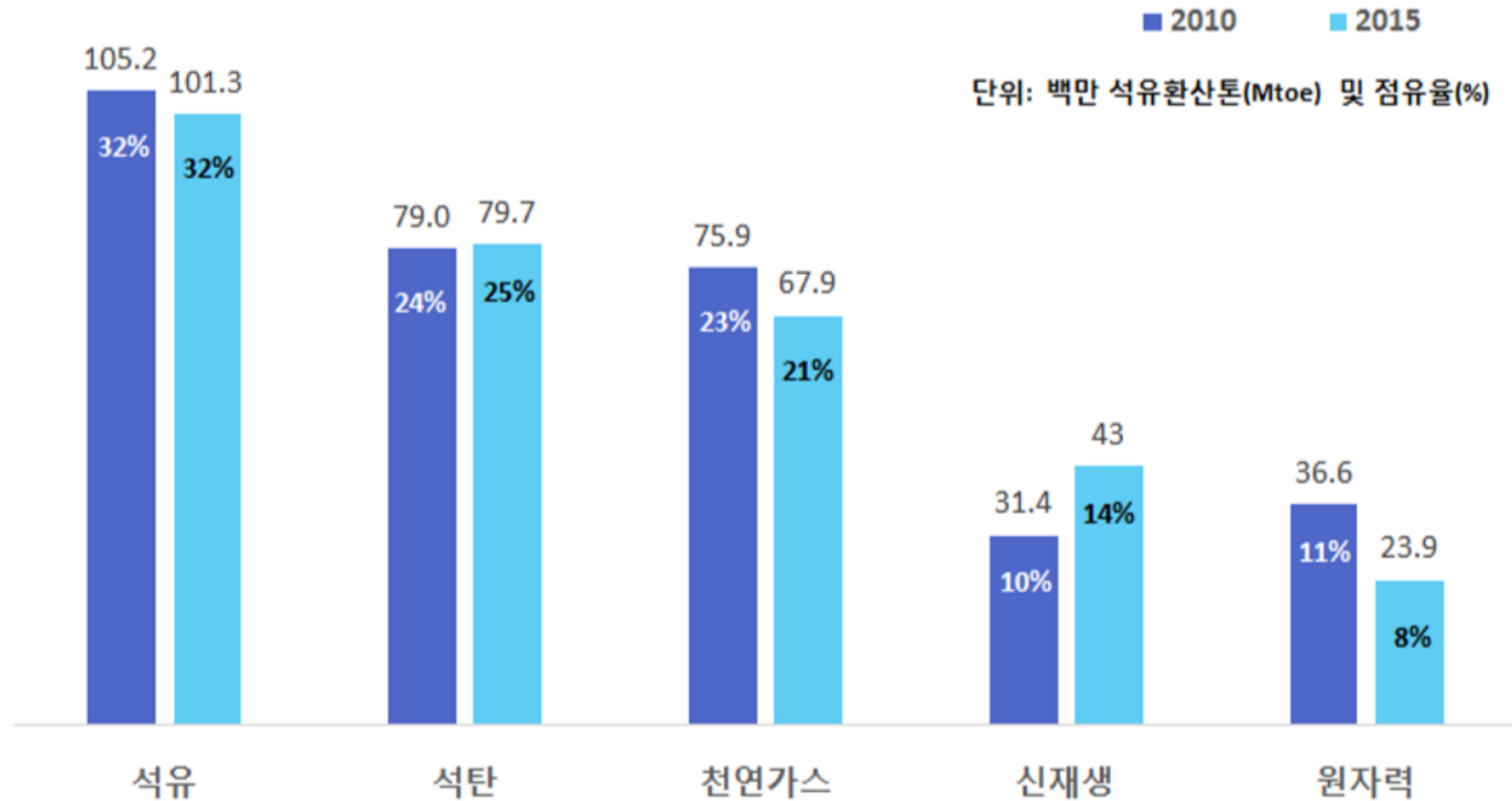
✓ 독일의 2011년 에너지패키지의 법령과 조례

법령 및 조례	내용
전력망확대촉진법 (Act to Accelerate the Expansion of Electricity Networks; NABEG)	독일 북부와 남부지역의 전력망 연계 및 확대
에너지산업법 (Energy Industry Act; EnWG)	송전망 세분화 및 전력망 사업자 간의 공동 전력망 구축
재생에너지법 (Renewable Energies Act, EEG)	비용 효율적인 재생에너지 확장
원자력법 (Nuclear Energy Act)	8기 원전 즉각 폐쇄 및 2022년까지 모든 원전 폐쇄
에너지 및 기후변화 기금법 (Energy and Climate Fund Act)	온실가스 배출권 거래 수익을 적립하여 기후 및 환경보호 사업에 사용
도시지방연계기후개발강화법 (Act to Strengthen Climate-compatible Development in Cities and Municipalities)	도시/지방의 재생에너지 및 열병합발전 사용 확대
공공계약 수여에 관한 조례 (Ordinance on the Award of Public Contracts)	—

출처: ENERGY POLICIES OF IEA COUNTRIES, OECD/IEA, 2013, https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Germany2013_free.pdf (검색일: 2017. 6. 22).

탈원전 정책의 영향

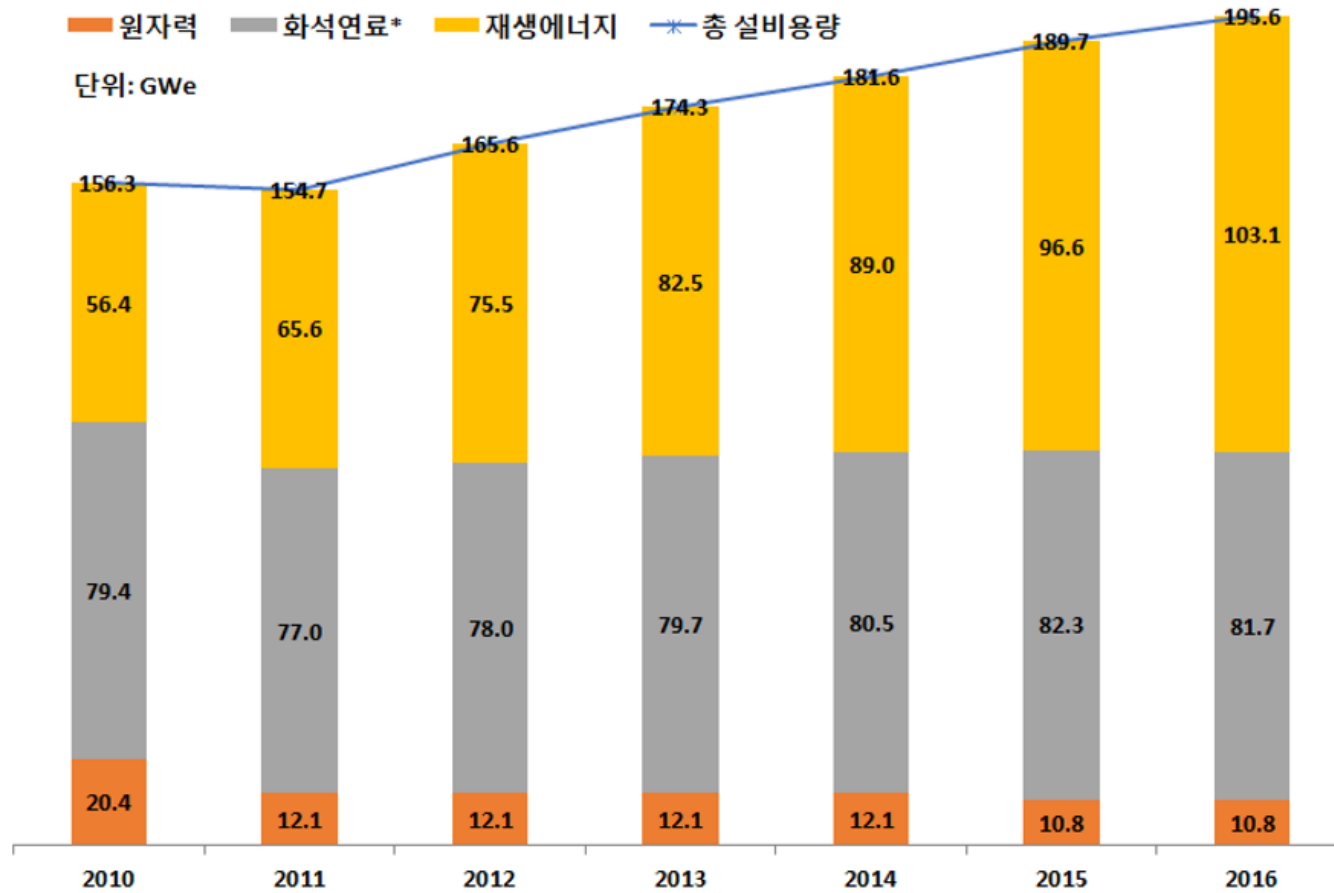
✓ 독일의 에너지 및 전력 수급변화



독일의 1차 에너지소비 비교(2010년, 2015년)

탈원전 정책의 영향

✓ 독일의 에너지원별 설비용량 변화



독일의 에너지원별 설비용량 변화

출처: ENERGY CHARTS 'Net installed electricity generation capacity in Germany'(Fraunhofer ISE).

탈원전 정책의 영향

✓ 독일의 에너지원별 발전량 변화

단위: TWh, (%)

구 분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
총발전량	530.8	515.8	534.4	538.7	544.5	546.0	546.4
원자력발전량	133.0 (25.0)	102.2 (19.8)	94.2 (17.6)	92.1 (17.1)	91.8 (17.7)	86.8 (15.9)	80.0 (14.6)
화석연료* 발전량	293.2 (55.2)	290.3 (56.3)	297.6 (55.7)	294.4 (54.7)	270.1 (52.0)	276.6 (50.7)	281.0 (51.4)
재생에너지** 발전량	104.6 (19.7)	123.2 (23.9)	142.6 (26.7)	152.2 (28.2)	157.3 (30.3)	182.6 (33.4)	185.4 (33.9)

* 화석연료는 갈탄, 무연탄, 천연가스, 석유를 포함

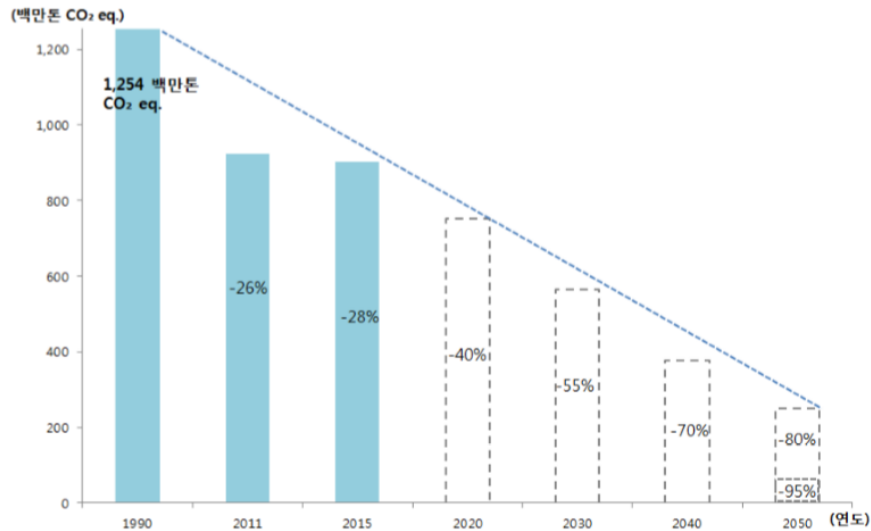
**재생에너지는 수력, 바이오매스, 풍력, 태양광을 포함

출처: ENERGY CHARTS 'Annual electricity generation in Germany 2010–2016'(Fraunhofer ISE, 2017).

탈원전 정책의 영향

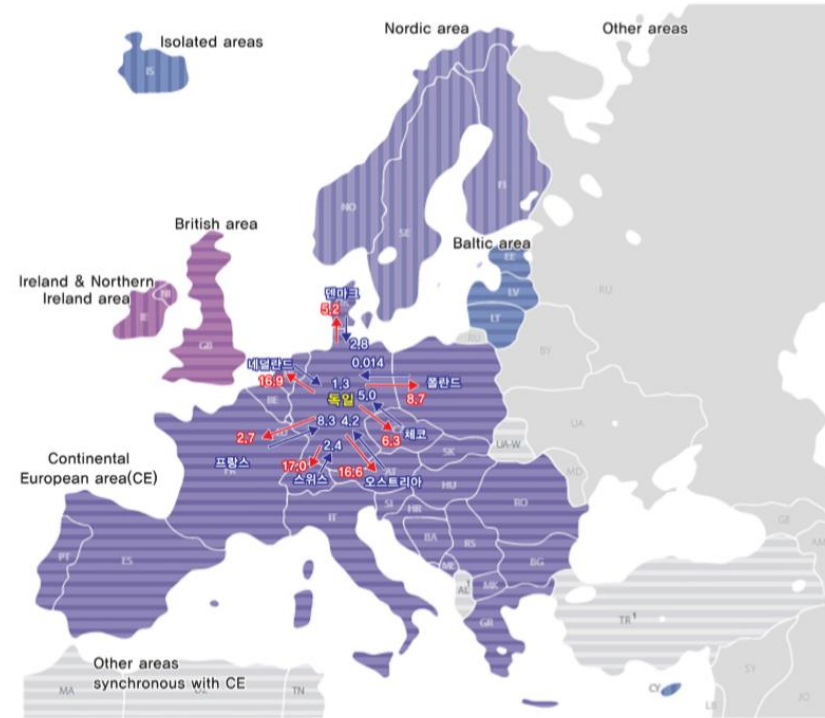
✓ 독일의 온실가스 배출량 감축률 둔화

✓ 전력공급의 안정성 저해



독일의 온실가스 배출량 목표치(1990년 대비)

출처: Zahlen und Fakten Energiedaten, Treibhausgas-Emissionen(BMWi, 2017).

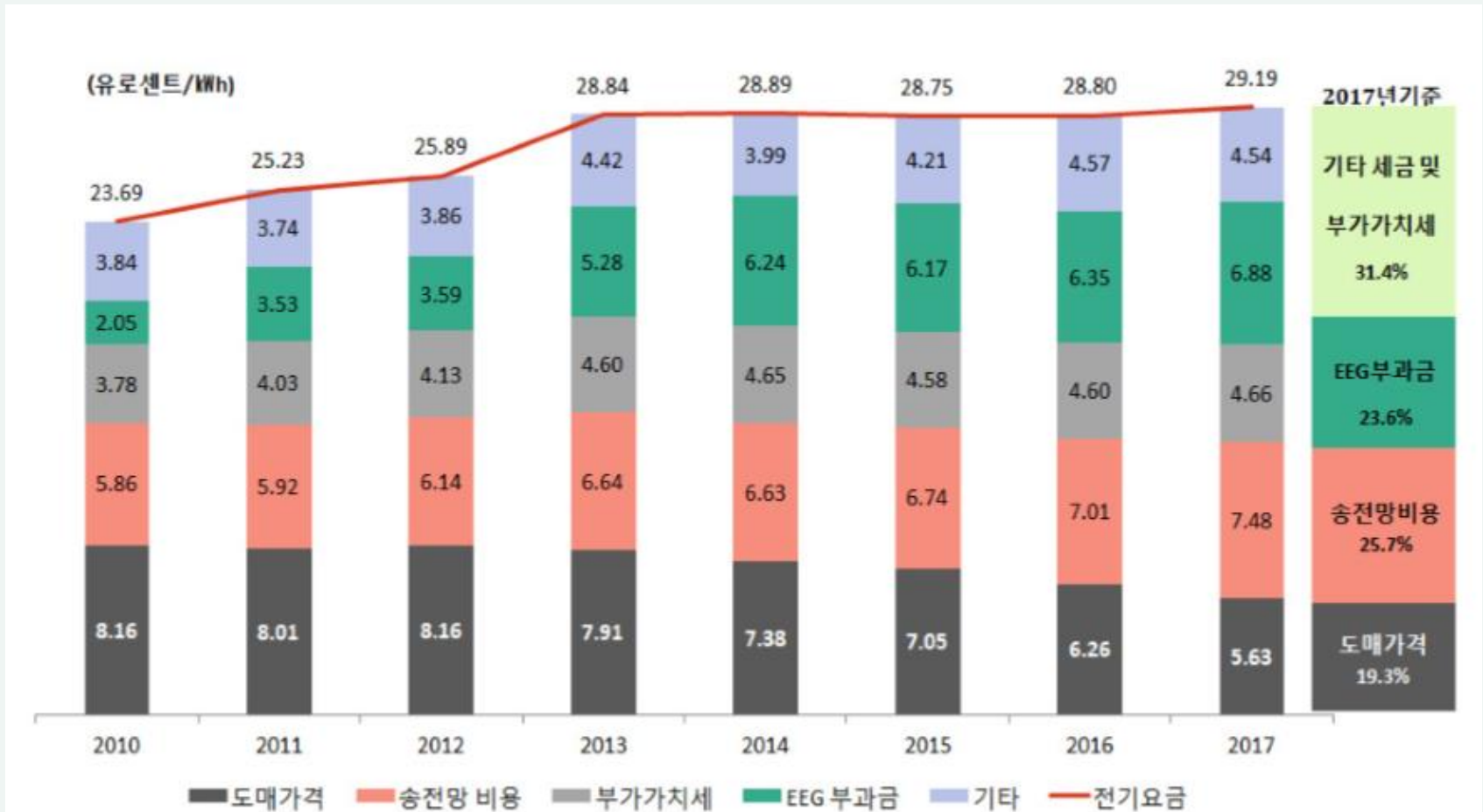


2016년 독일의 전력망 연계 및 수출입 현황 (단위: TWh)

출처: Statistical Factsheet 2016(ENTSO-E, 2016).

탈원전 정책의 영향

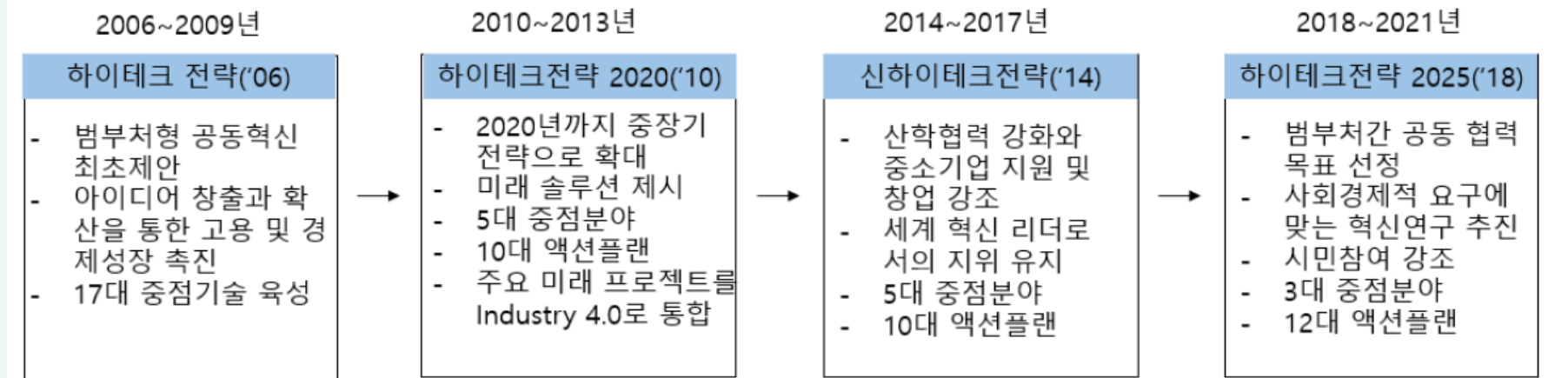
전기요금 상승



독일의 가정용 전기요금의 변화(연간 3500 kWh를 사용하는 가정 기준)

출처: Strompreisanalyse Februar 2017, Strompreis für Haushalte(BDEW, 2017).

독일의 건설정책 변화



독일 하이테크전략 2020('10) 미래 프로젝트 목록

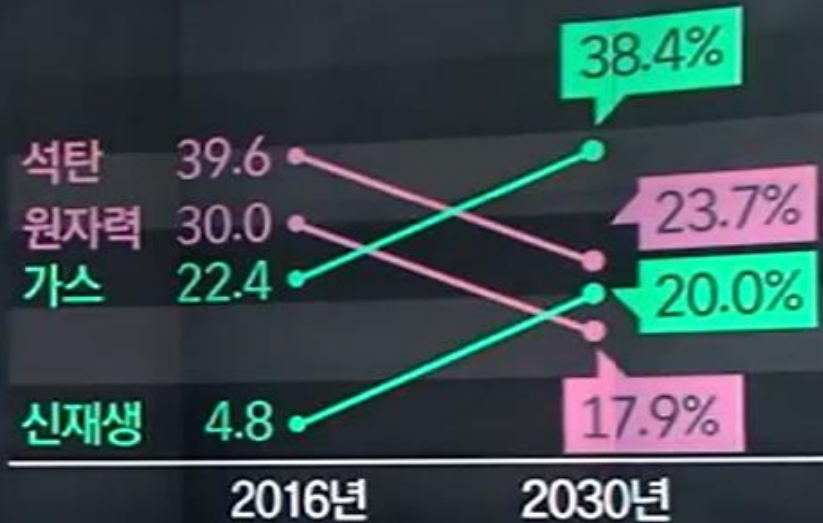
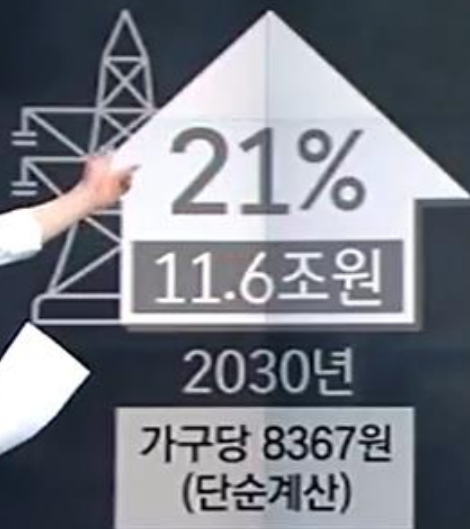
10대 미래 프로젝트	주관부처	투자규모
탄소중립,에너지 효율, 기후변화적응 도시건설	BMVBS, BMBF	5.6억 유로
석유 대체용 재생바이오물질 개발	BMBF, BMELV	5.7억 유로
지능형 에너지 공급체계로의 재구조화	BMBF	37억 유로
개인맞춤형 의료를 통한 효과적 질병 치료	BMBF	3.7억 유로
최적화된 식단을 통한 건강증진	BMBF	9천만 유로
고령자의 자립적 생활	BMBF	3.05억 유로
2020년 독일 내 100만의 전기자동차(지속가능한 교통구축)	BMVBS, BMWi	21.9억 유로
커뮤니케이션 네트워크 효과적 보호	BMBF, BMI	6천만 유로
글로벌 지식에 대한 디지털 접근 및 활용 강화	BMWi	3억 유로
내일의 직업세계와 그 구조: 인더스트리 4.0	BMBF, BMWi	2억 유로

'탈원전'으로 전기료 폭등?

'탈원전'으로 전기료 폭등?

jtbc

발전비용 증가



에너지경제연구원

jtbc
news
구독

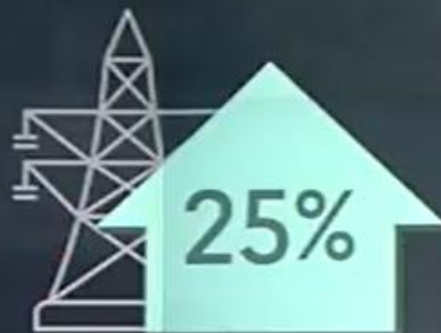


1:55 / 4:30

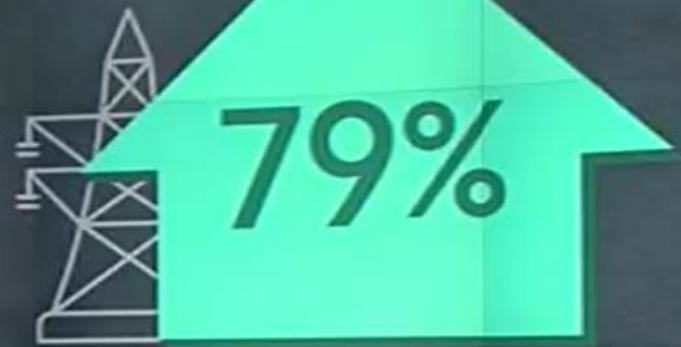


'탈원전'으로 전기료 폭등?

'탈원전'으로 전기료 폭등?



LNG로 대체



신재생 에너지로 대체

출처: 황주호 한국원자력확장



2:59 / 4:30

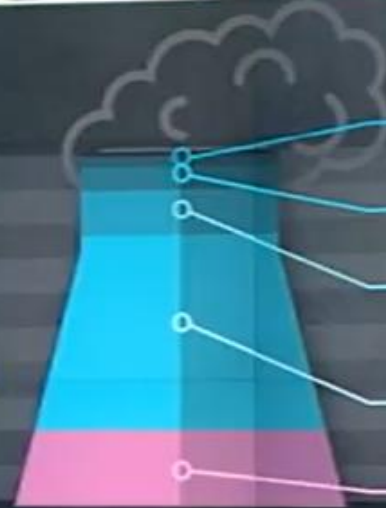


'탈원전'으로 전기료 폭등?

'탈원전'으로 전기료 폭등?



원전축소 위한 전기료 인상 감내 수준



30% 이상	3.1%
21~30%	6.1%
11~20%	14.7%
10% 이내	54.7%
인상불가	21.4%

현대경제연구원 (2012년)



▶ ⏮ 🔊 3:43 / 4:30



독일의 재생에너지 현황

- 독일 경제는 30여 년에 걸친 에너지전환 과정에서 탄탄한 성장세를 지속(1991년 대비 2018년 1인당GDP 1.9배 5만\$)
- 2000년 이후 재생에너지 산업 투자금액은 총 2200억유로(약 290조원)에 달함
- 앞으로 10년간 연평균 100억유로(약 13조원)의 자금이 재생에너지 발전분야에 투자예상
 - 재생에너지 설비 비용은 빠르게 하락 , 태양광 발전설비 비용 ,10년 만에 75% 하락 : 평균 5000유로(1kWp당 약 660만원, 2006년)
 - 약 1270유로(약 167만원,2016년)
 - 기술발전으로 생산단위가 커지면서 비용이 줄어드는 '규모의 경제'가 구현
 - 평균 전력 도매가격은 2016년 3.2유로센트(약 42원)로 하락(2010년 kWh당 5.9유로센트,약 77원)
 - 2016년 현재 독일에는 약 158만개의 태양광 설비가 설치. 발전용량은 총 41.2GW(기가와트), 우리나라 가동 중인 원전 23기 전체 설비용량(21.85GW)의 2배 가까운 규모

독일의 재생에너지 현황

2016년 독일의 에너지원별 균등화발전비용(LCOE)



- 막대그래프 아래칸 : 최소산출비용, 윗칸은 최대산출비용.
- 최대-최소비용 간 차이는 산출과정에서 가정하는 설비투자비용, 발전시설 가동 시간 등의 최대·최소값

건축기술과 에너지기술의 융합

- 💡 최근 에너지의 효율적인 사용은 우리나라 뿐 아니라 전세계의 공동의 과제로 인식
 - 문재인 정부의 에너지 정책은 원전비중 축소, 탈(脫)석탄, 신재생에너지 사용 확대하여 '안전하고 깨끗한 에너지'로의 전환 추구
 - 당사국 196개국이 합의한 신기후체계가 2015년 파리 기후변화협약(파리협정)에서 채택되면서 선진국 및 개도국에서도 효율적인 에너지 사용을 위해 노력

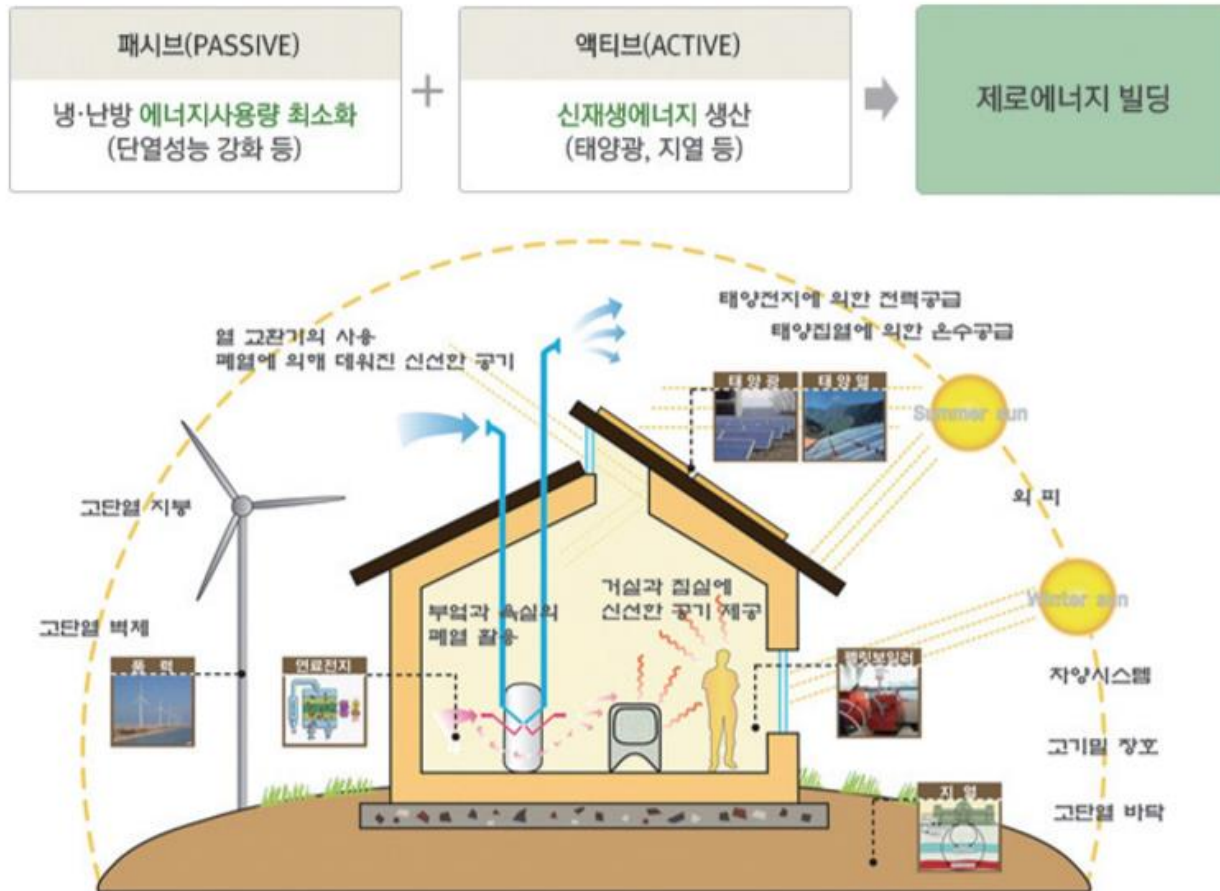
- 💡 국내 에너지소비 비율 중 건축물의 비중이 20% 이상을 차지하고 있어 건축물의 에너지 효율 향상이 필요
 - 국내에너지소비 비율은 산업 28.2%, 운송 19.2%, 건축 23.1% 기타 25.5%를 차지(IEA, '15)
 - 건축물은 한번 건축되면 장기간 유지되기 때문에 에너지 효율을 고려한 건물을 건축하는 것이 중요

- 💡 건축물의 에너지효율을 향상시키기 위해 우리나라 및 해외 선진국가들은 제로에너지건축물 의무화 추진
 - 제로에너지건축물은 건축기술에 신재생에너지기술을 융합하여 건축물의 에너지 효율을 향상시켜 에너지 소비량을 저감하는 건축물
 - 프랑스, 독일, 미국, 일본 등 선진국들은 공공 및 상업건물에 제로에너지건축물을 단계별 의무화 목표 설정
 - 우리나라도 제로에너지건축물을 2020년 이후 단계적으로 의무화하기 위한 로드맵 수립

- 💡 이에 제로에너지건축물 활성화를 위한 국내외 정책 동향에 대해 살펴보고자 함

건축기술과 에너지기술의 융합

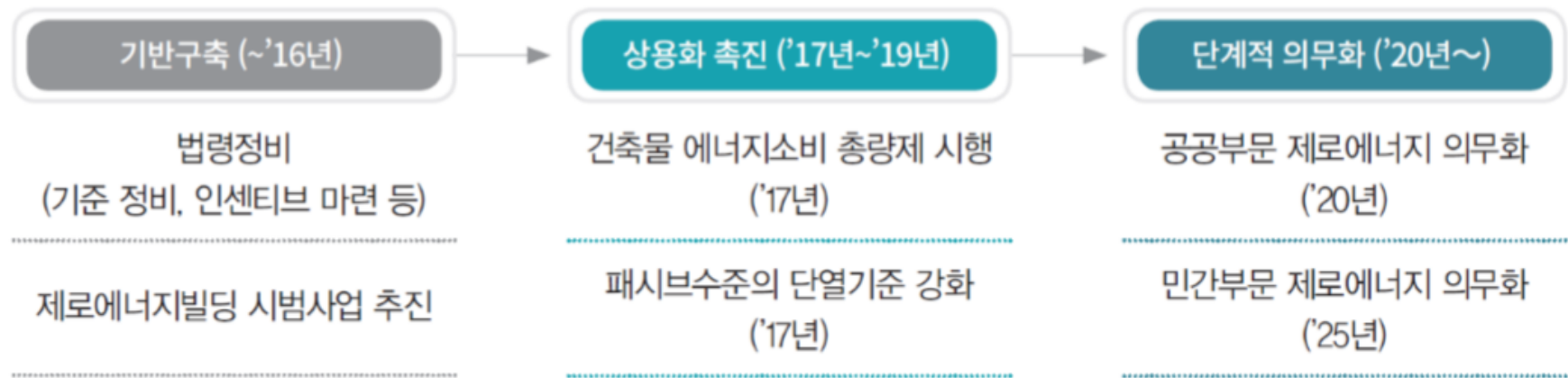
① 그림 1. 제로에너지건축물 개념도



※ 출처 국토교통부HP

건축기술과 에너지기술의 융합

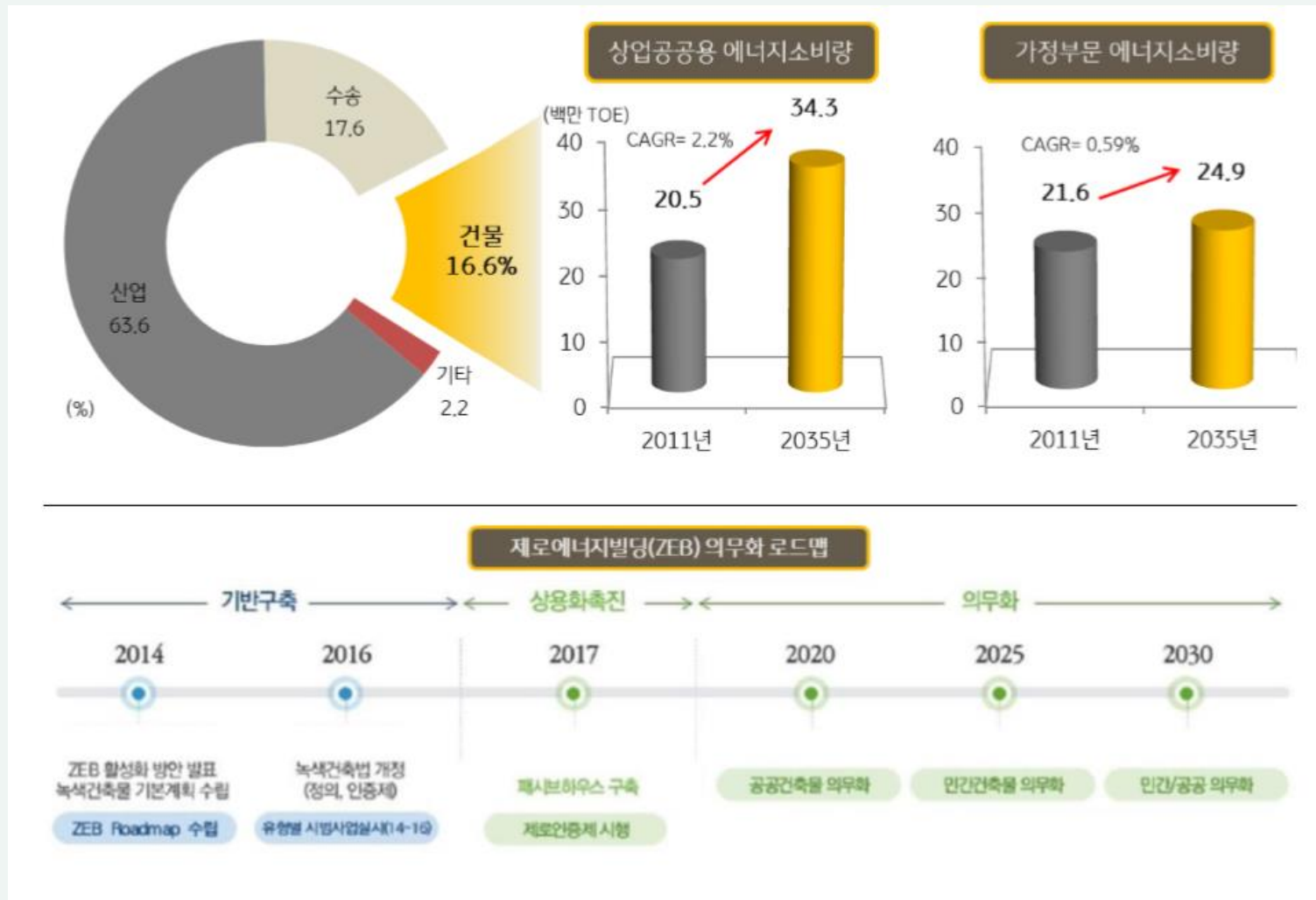
① 그림 2. 제로에너지건축물 국가로드맵



※ 출처 김예성(2017)

건축기술과 에너지기술의 융합

국내 에너지 소비처별 온실가스 배출 비율 및 제로에너지빌딩 의무화 로드맵



건축기술과 에너지기술의 융합

패시브 제로에너지 HOUSE 사례

독일 Iserlohn



건축기술과 에너지기술의 융합

패시브 제로에너지 HOUSE 사례

독일 Vauban



건축기술과 에너지기술의 융합

독일 도르트문트



독일 프라이부르크



독일 비스마르크

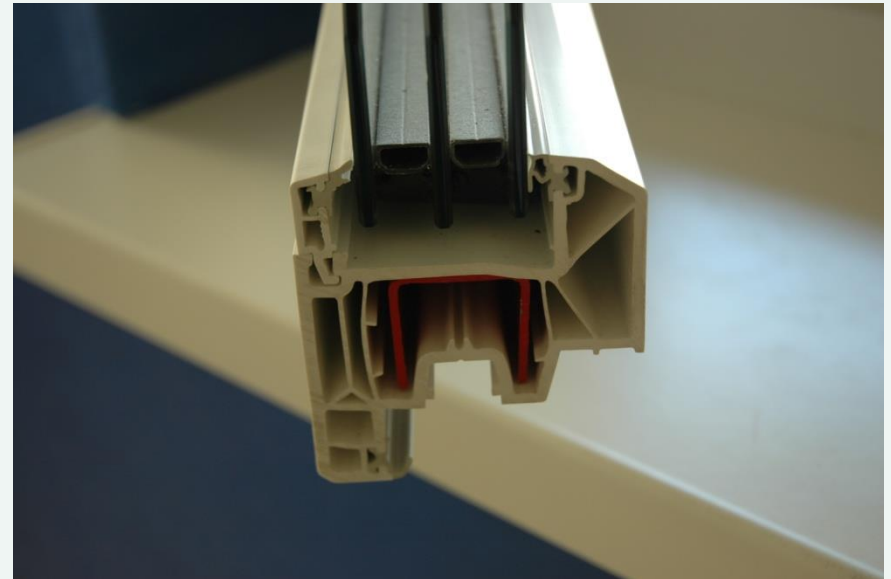
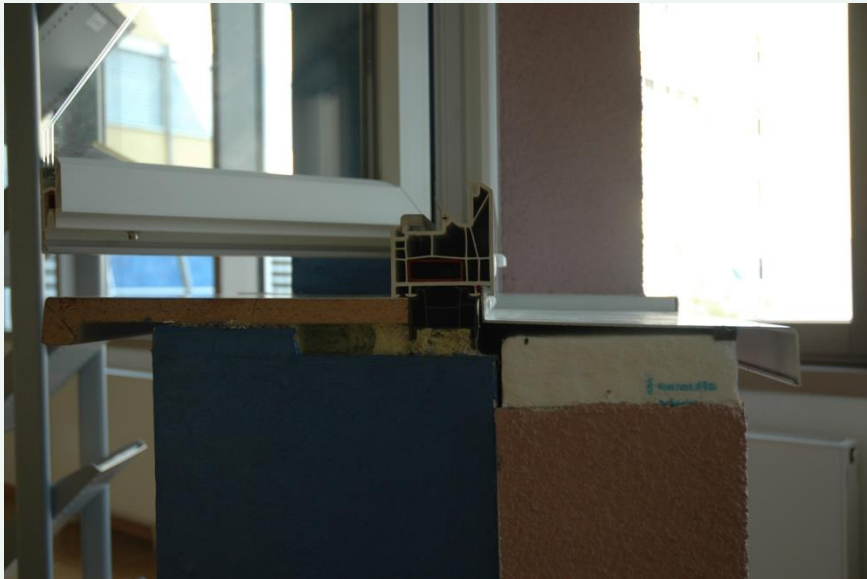


독일 비스마르크



건축기술과 에너지기술의 융합

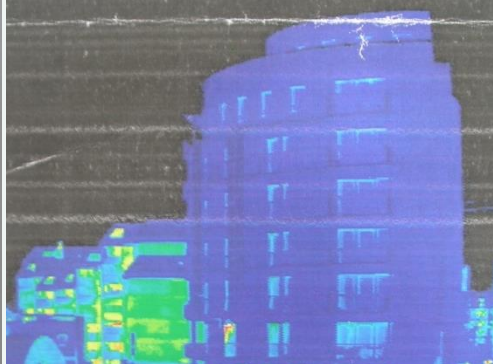
패시브하우스 시공시 부분 단면



건축기술과 에너지기술의 융합

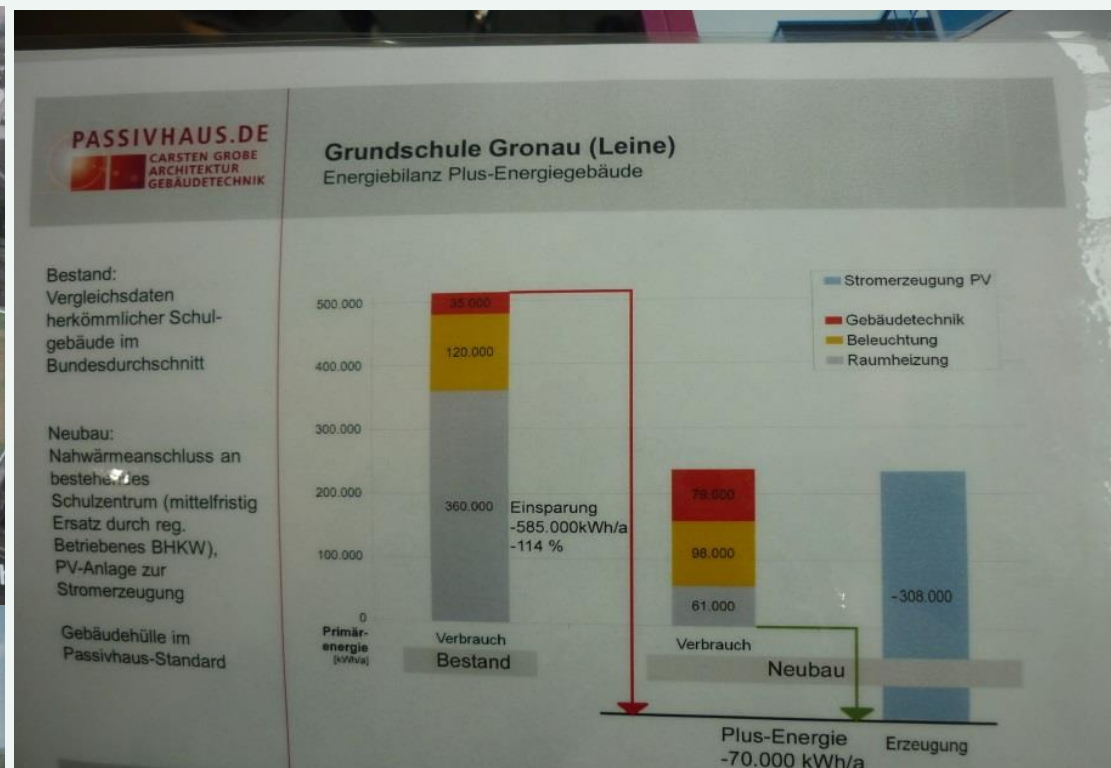
패시브하우스 국외 사례

독일 함부르크-에네르기하우스



건축기술과 에너지기술의 융합

제로에너지 그로나우 학교



건축기술과 에너지기술의 융합

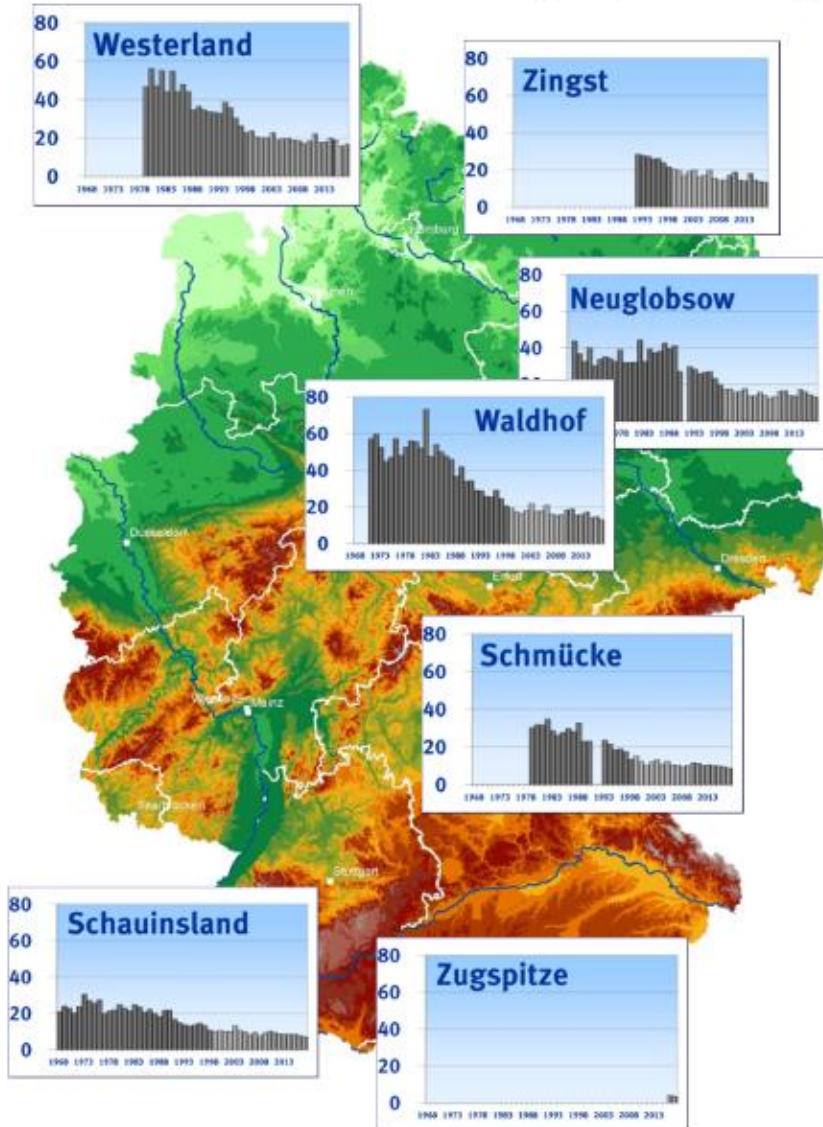
• 독일 겔센키르헨 생태학교



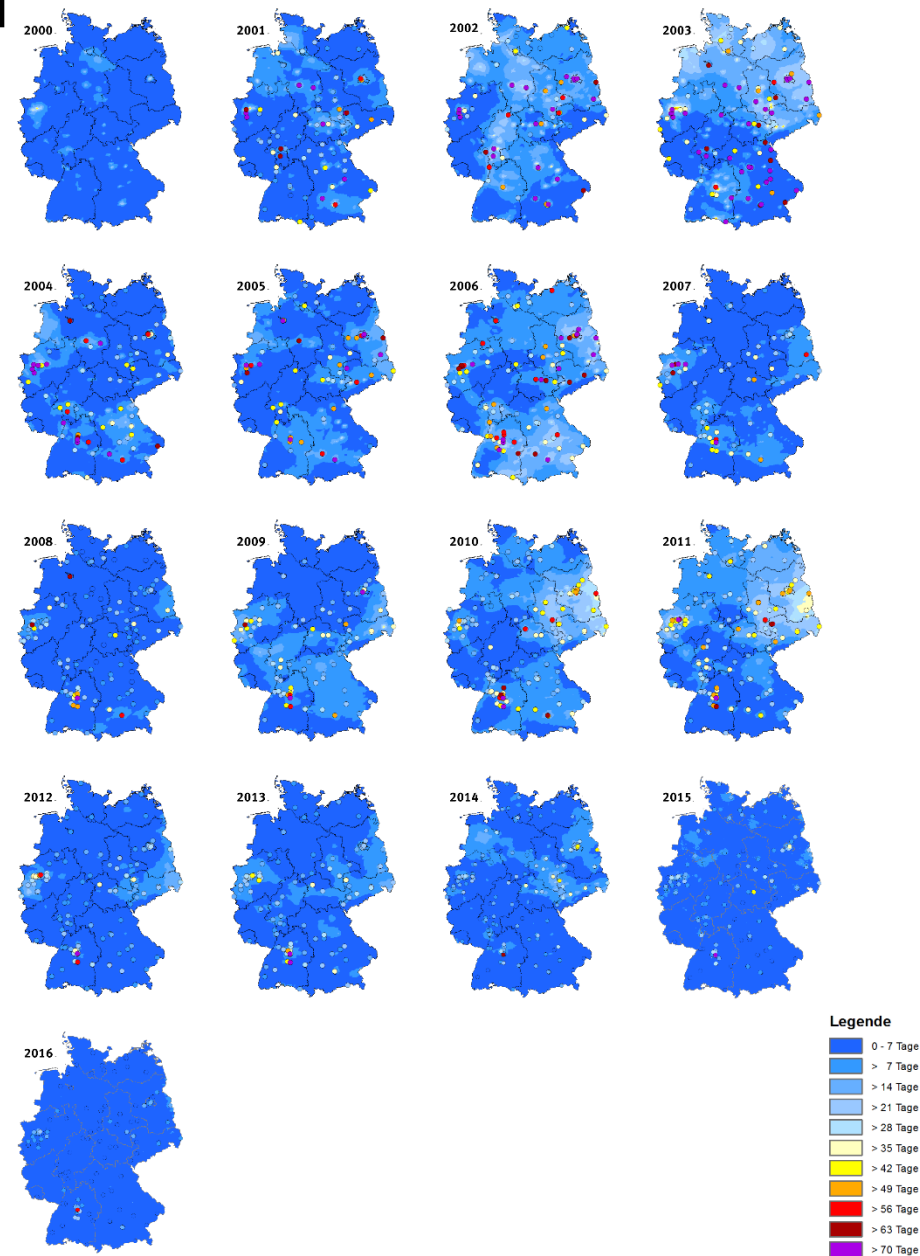
독일의 미세먼지 발생변화

Zahl der Überschreitungen des PM₁₀-Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ mit Spots aus Ländermeldungen

Schwebstaub-Jahresmittel 1968 bis 2017 (in µg/m³), seit 1999 PM₁₀



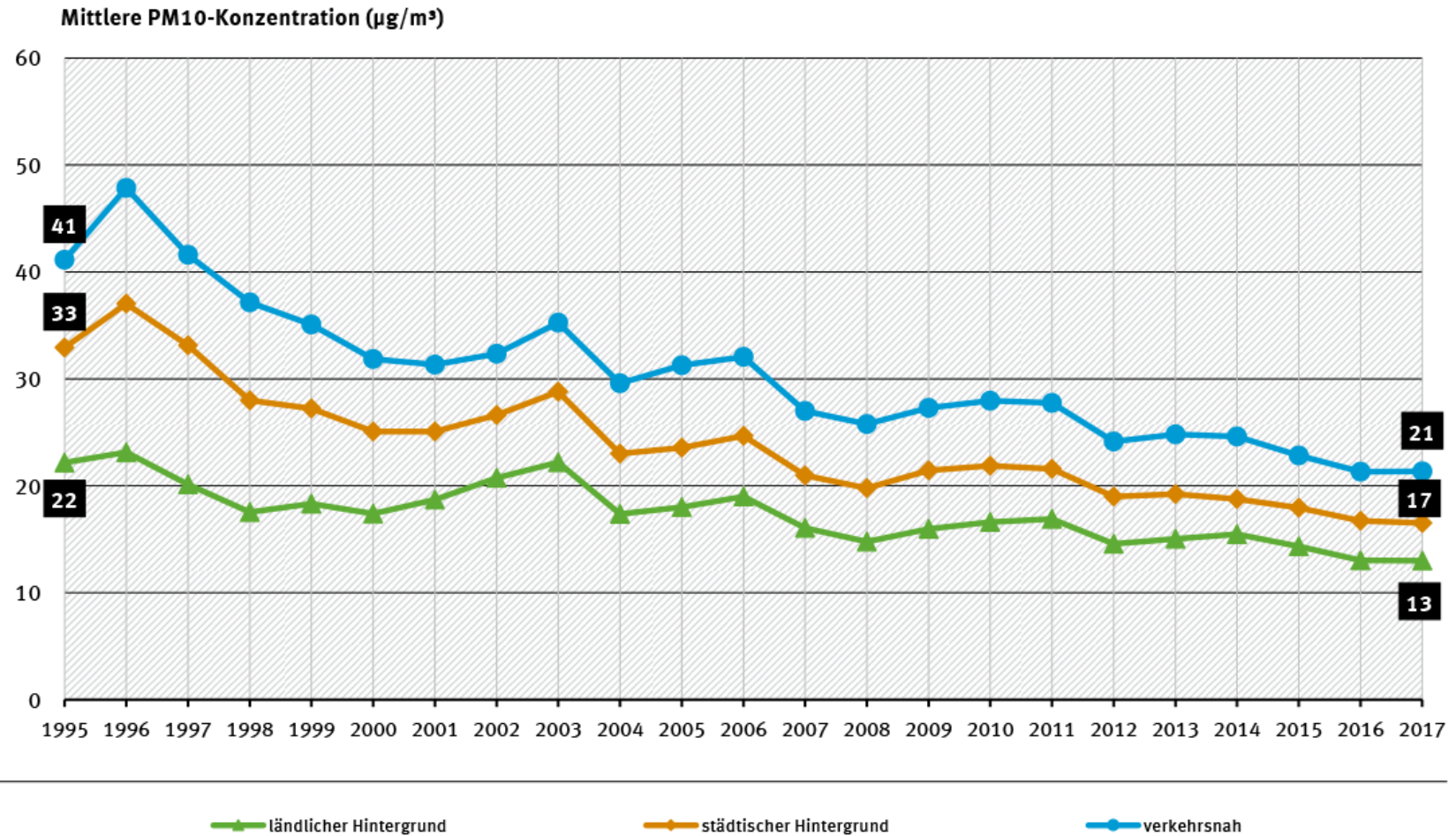
Quelle: Luftmessnetz des Umweltbundesamtes, 2018



Quelle: Umweltbundesamt 2017

독일의 미세먼지 발생변화

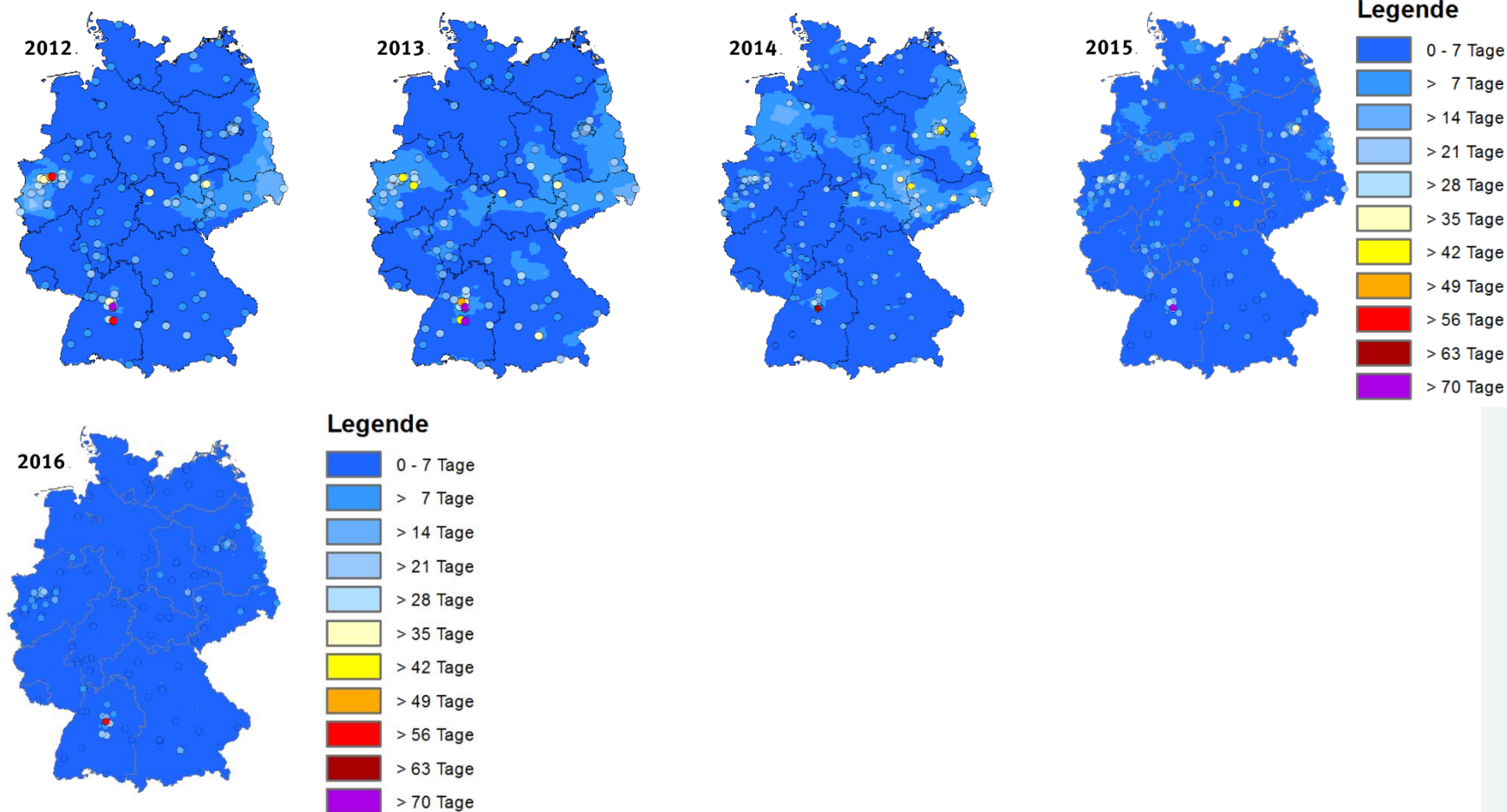
Trend der PM10-Jahresmittelwerte



Quelle: Umweltbundesamt 2018

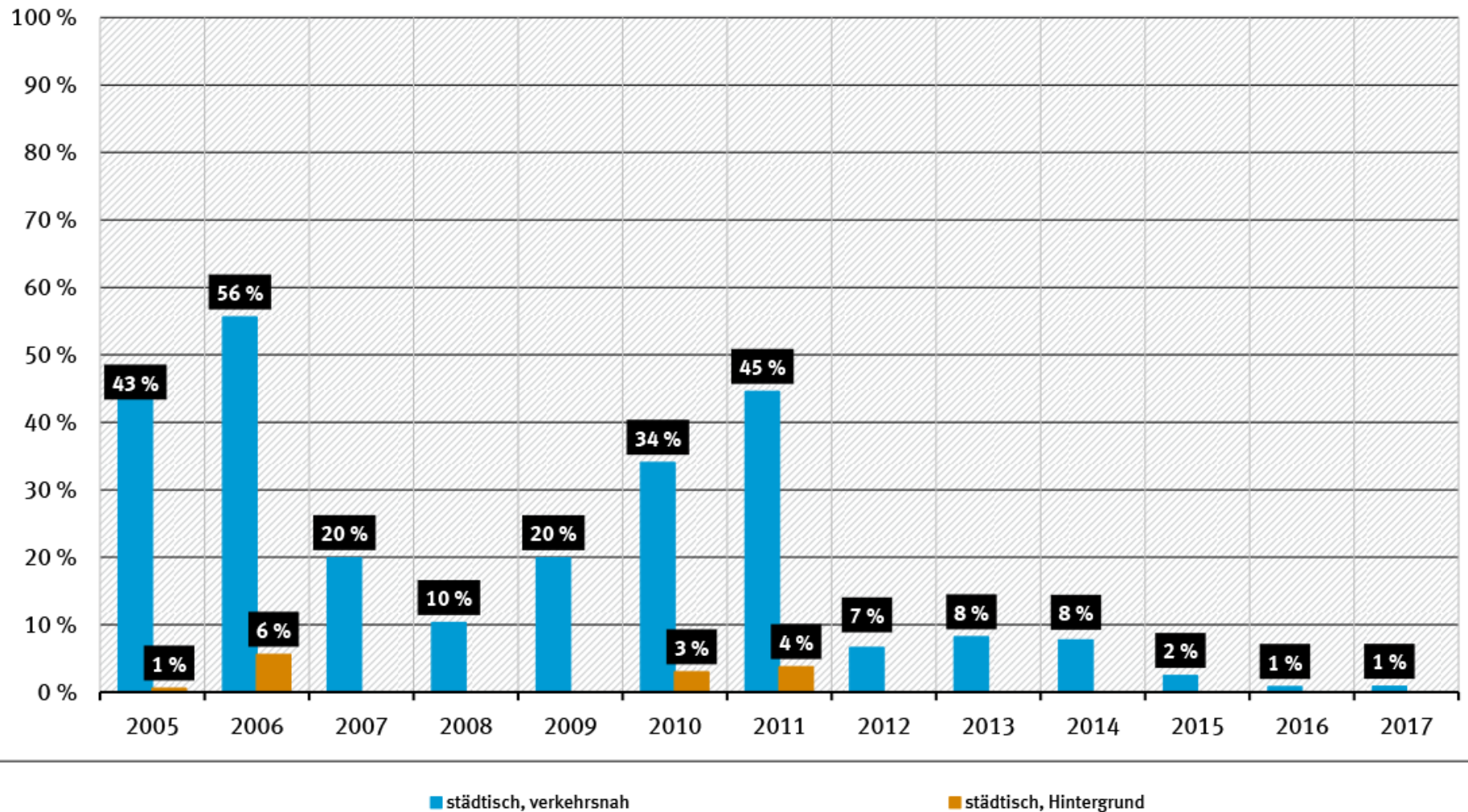
독일의 미세먼지 발생변화

Zahl der Überschreitungen des PM_{10} -Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit Spots aus Ländermeldungen



독일의 미세먼지 발생변화

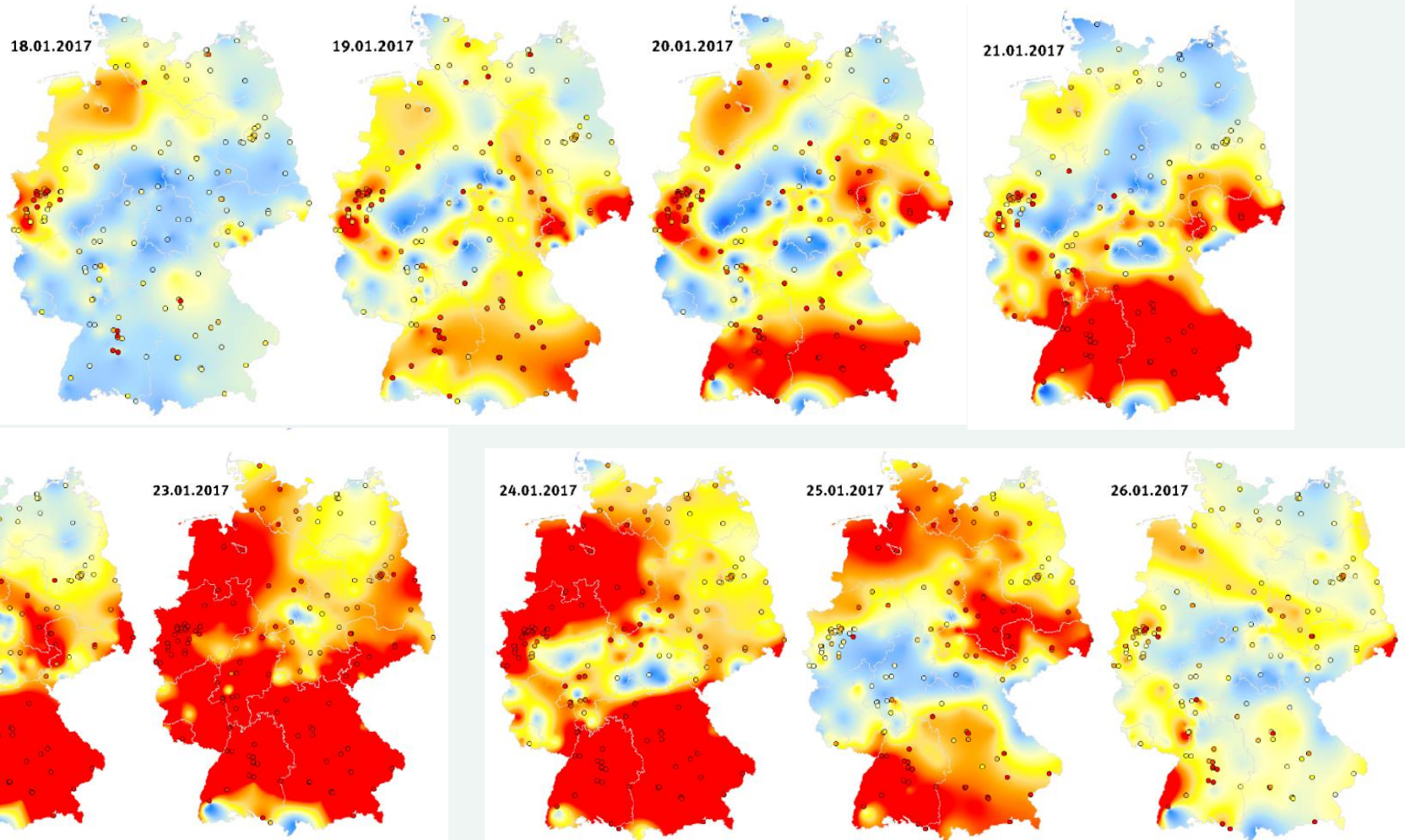
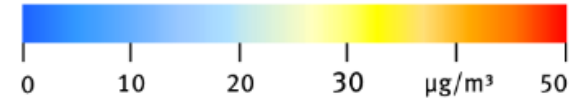
Prozentualer Anteil der Messstationen mit mehr als 35 Überschreitungen des 24-h-Grenzwertes ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{PM}_{10}$), bezogen auf den jeweiligen Stationstyp



독일의 미세먼지 발생변화

Tagesmittelwerte der Partikelkonzentration PM_{10} in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft

Episode vom 18.01.2017 bis 26.01.2017



건축기술과 에너지기술의 융합

공기순환을 위한 인공지반녹화

- 옥상녹화에 적용되는 식물의 선택은 다양하며 지역 기후와 풍토에 맞는 식물군을 선택 해야 함





건축기술과 에너지기술의 융합

인공지붕 녹화 사례



- 지붕녹화 식물은 건조지역에 살 수 있는 세덤류를 선택



건축기술과 에너지기술의 융합



건축기술과 에너지기술의 융합

공기순환을 위한 녹화



건축기술과 에너지기술의 융합



건축기술과 에너지기술의 융합

공기순환을 위한 녹화



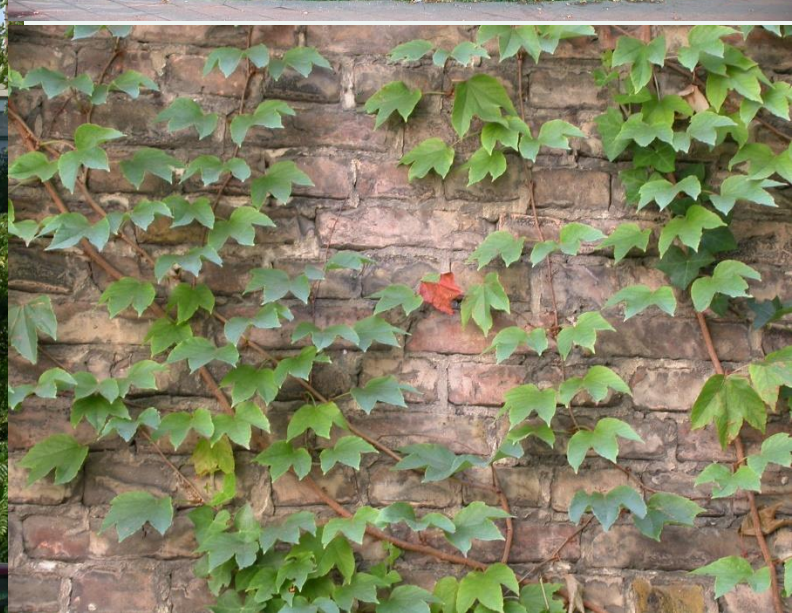
건축기술과 에너지기술의 융합

■ 주차장(Parkplaetze) – 아파트 주차



건축기술과 에너지기술의 융합

■ 교통소음으로부터 보호

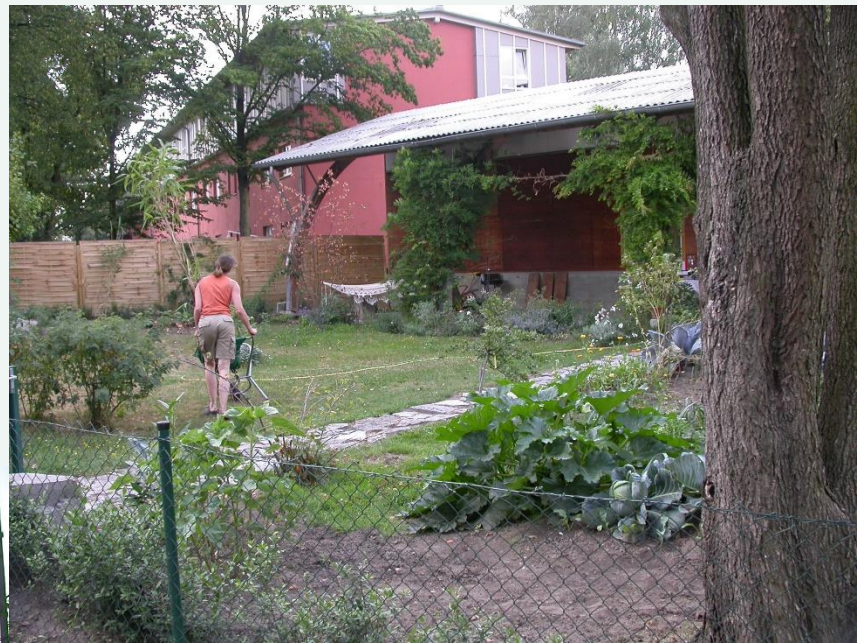


건축기술과 에너지기술의 융합

공기순환을 위한 외부공간 녹화



건축기술과 에너지기술의 융합



건축기술과 에너지기술의 융합

표면침투

- 투수구덩이, 투수구덩이-자갈층 조합시설, 침투 트렌치, 저류 연못 등

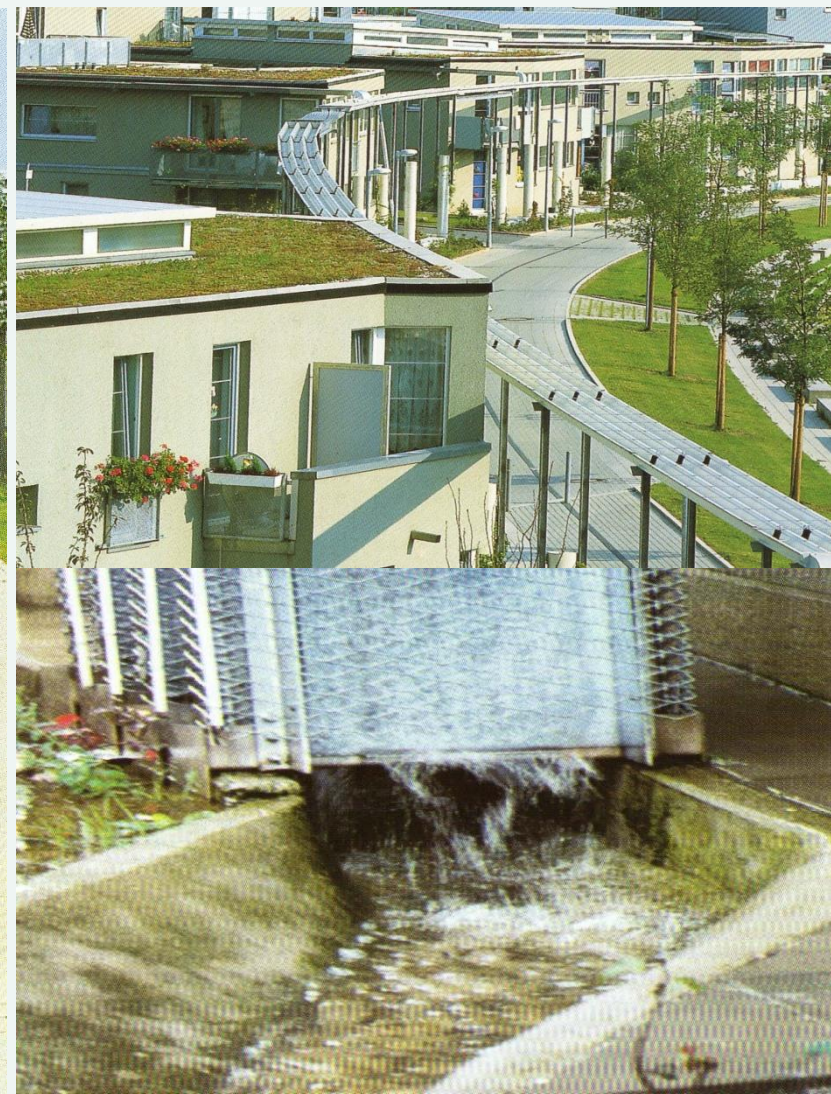


건축기술과 에너지기술의 융합

공기순환을 위한 외부공간 조성



건축기술과 에너지기술의 융합



건축기술과 에너지기술의 융합

공기순환을 위한 외부공간 조성



공기순환을 위한 외부공간 조성



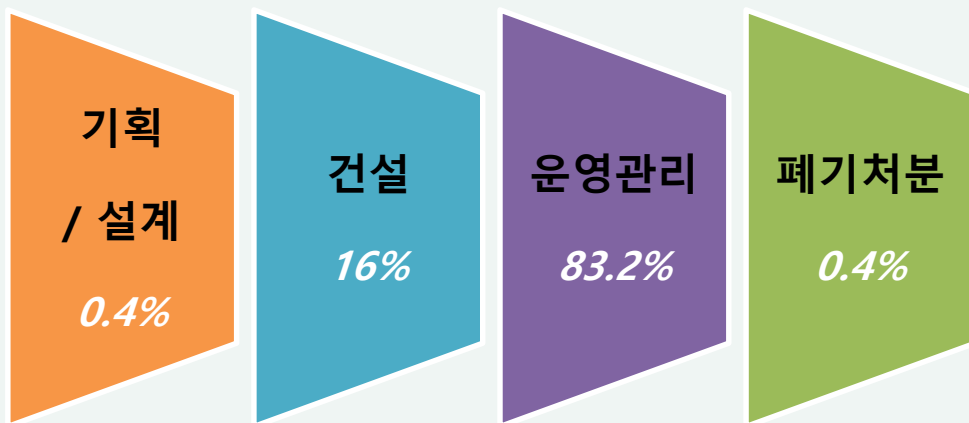
건축물 효율적 관리 추진

5
1

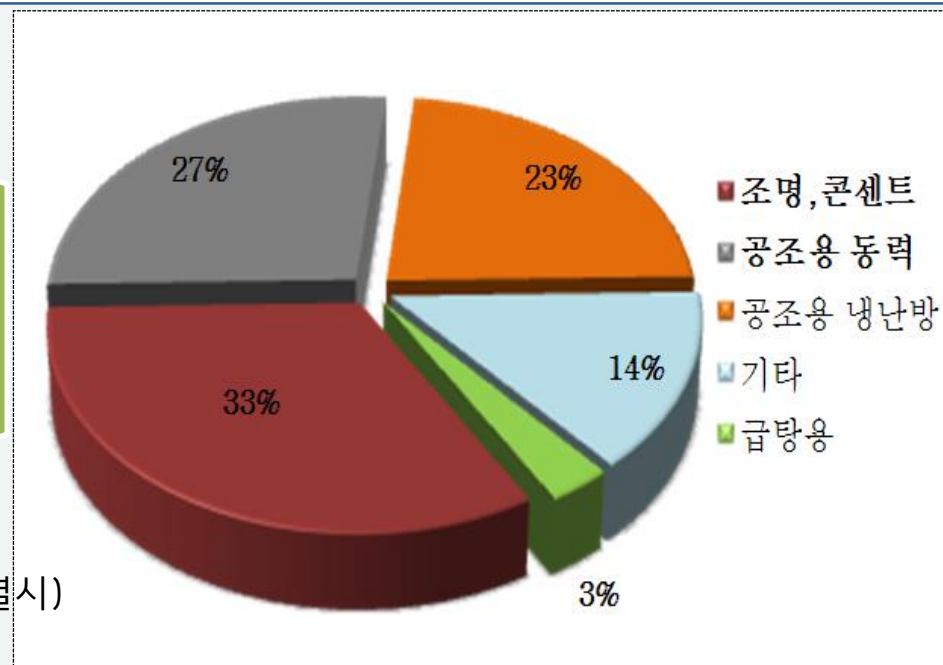
- 국내 총 에너지소비량의 22%와 온실가스배출량의 25%가 건축 및 공공부문에서 차지
- 건물 생애 비용의 83%가 운영관리 중에 이용됨



- 국가 온실가스 감축목표를 이행하고 저탄소 녹색성장을 구현하기 위해 건축물 분야의 역할이 매우 중요
- 신축/기존건물의 그린화 및 리모델링을 통해 에너지 손실 방지



건물 생애 비용의 83%가 운영관리 중에 발생 (서울특별시)



정책제안

- 독일의 경우 기금조성 및 정부의 예산지원을 통해 저 에너지 건축물에 무이자, 저리융자 및 보조금 형식으로 지원
- 국민주택기금 및 전력기반기금, 민간자금 등에서 펀드를 조성하여 저에너지 건축에 지원
- 기존건물의 생태적 개선, 즉 외벽 단열, 지붕 단열, 창호개선, 열공급시스템의 교체, 열교환기시스템의 설치 등을 지원
- 정부가 초기 투자비를 지원함으로써 주택 에너지 효율 개선사업의 초기비용 부담 문제 해소하고 수혜자가 유지비 감축분으로 투자비용을 지불
- 저에너지 건물에 대한 재산세, 취득등록세 등 세제혜택 확대

기대효과

- ✓ 과도한 냉난방없이 여름겨울철 건축물의 쾌적한 온도유지로 건강한 건축공간 확보
- ✓ 에너지빈곤층에 대한 복지혜택 확대
- ✓ 국제 유가상승에 따른 에너지소비부담감소
- ✓ 온실가스감축으로 산업경쟁력 강화
- ✓ 에너지수입감소로 경제활성화
- ✓ 발전소 및 송배전 추가 설립 회피
- ✓ 건설경기 활성화 및 새로운 일자리 창출

감사합니다