

2050 탄소중립 시나리오와

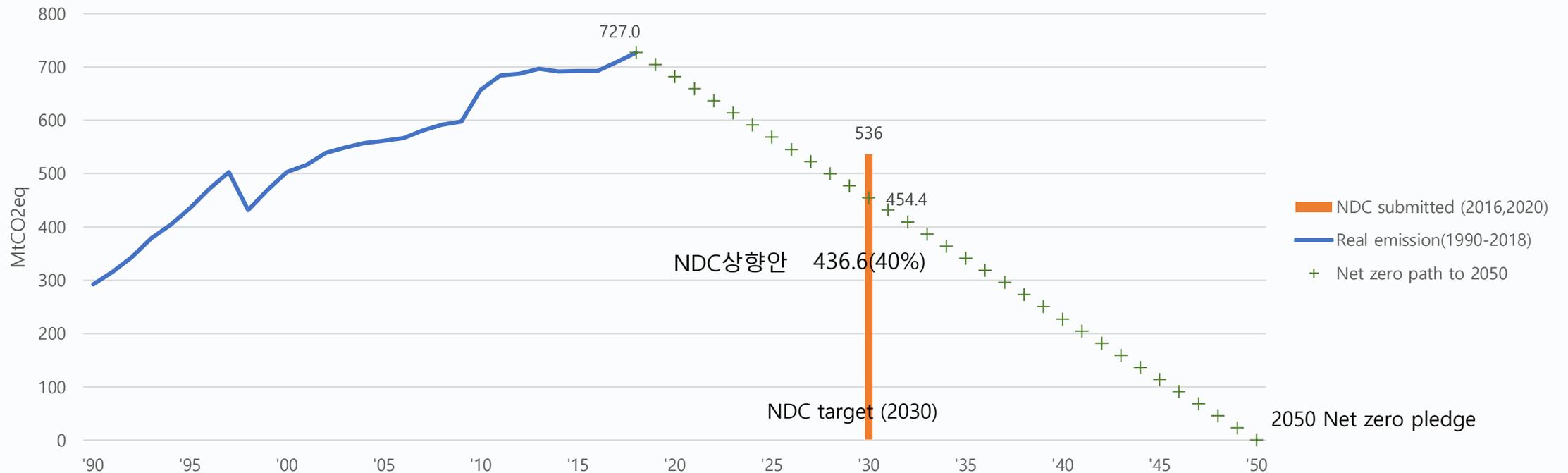
부문별 탈탄소전략

녹색에너지전략연구소 권필석



한국의 기후변화 정책

- ▶ 2016년, NDC 제출 - 536 MtCO₂eq (BAU 대비 37.4% 감소)
- ▶ 2020. 10월. 2050년 탄소중립선언
- ▶ 2020. 12월 NDC 제출 536 MtCO₂eq (2017 배출 수준 24.4% 감소)
- ▶ 2021. 9. 탄소중립 시나리오 발표
- ▶ 2021. 11월 NDC 새로운 감축목표 제출 (2018년 배출 수준 40% 감축)



탄소중립시나리오 (정부안)

□ 국내 순배출량을 0으로 하는 2개 시나리오로 구성

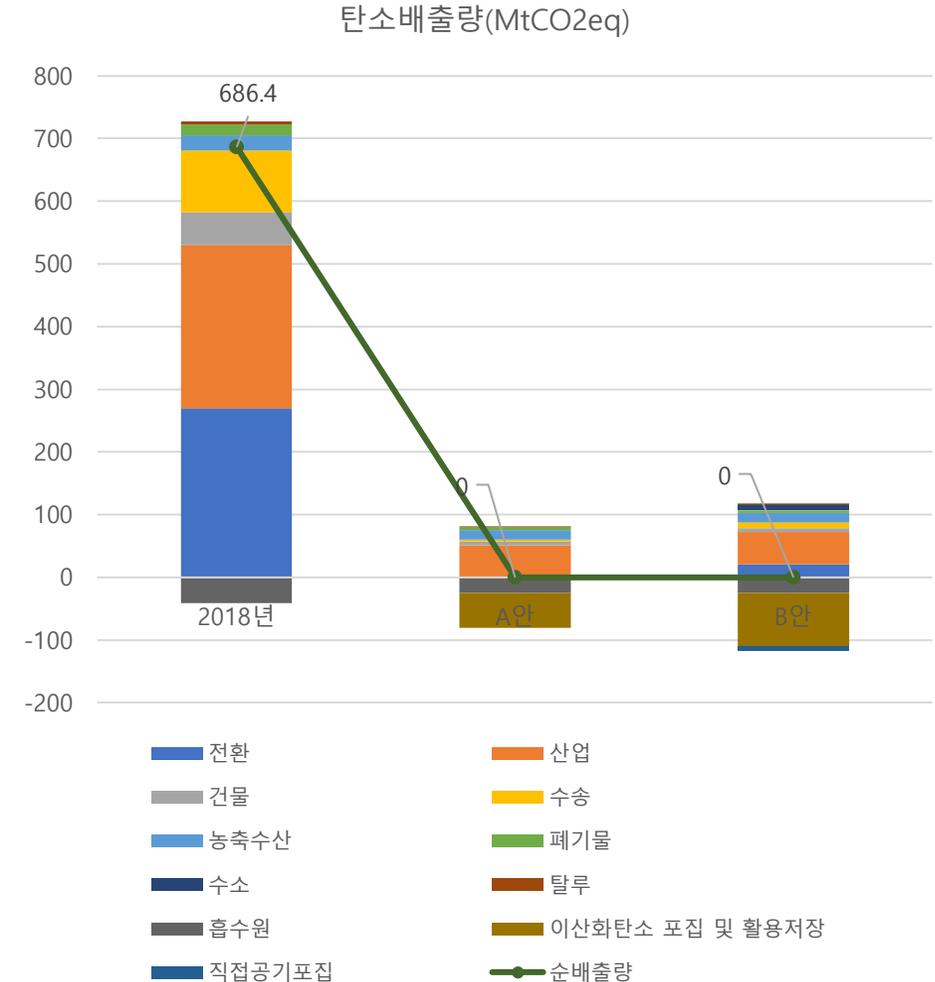
○ IPCC 1.5°C 특별보고서*(18)를 토대로 모든 국가가 2050년 탄소중립을 추진한다는 전제 下 **국의 감축분이 없는 2050년을 가정**

* 산업화 이전 대비 지구 평균온도 상승을 1.5도 이내로 억제하기 위해서는 전 지구적으로 2050년 탄소중립 필요성 제시

○ △화력발전 전면 중단 등 **배출 자체를 최대한 줄이는 A안**, △화력발전이 잔존하는 대신 CCUS 등 **제거기술을 적극 활용하는 B안** 제시

<탄소배출량/흡수량>

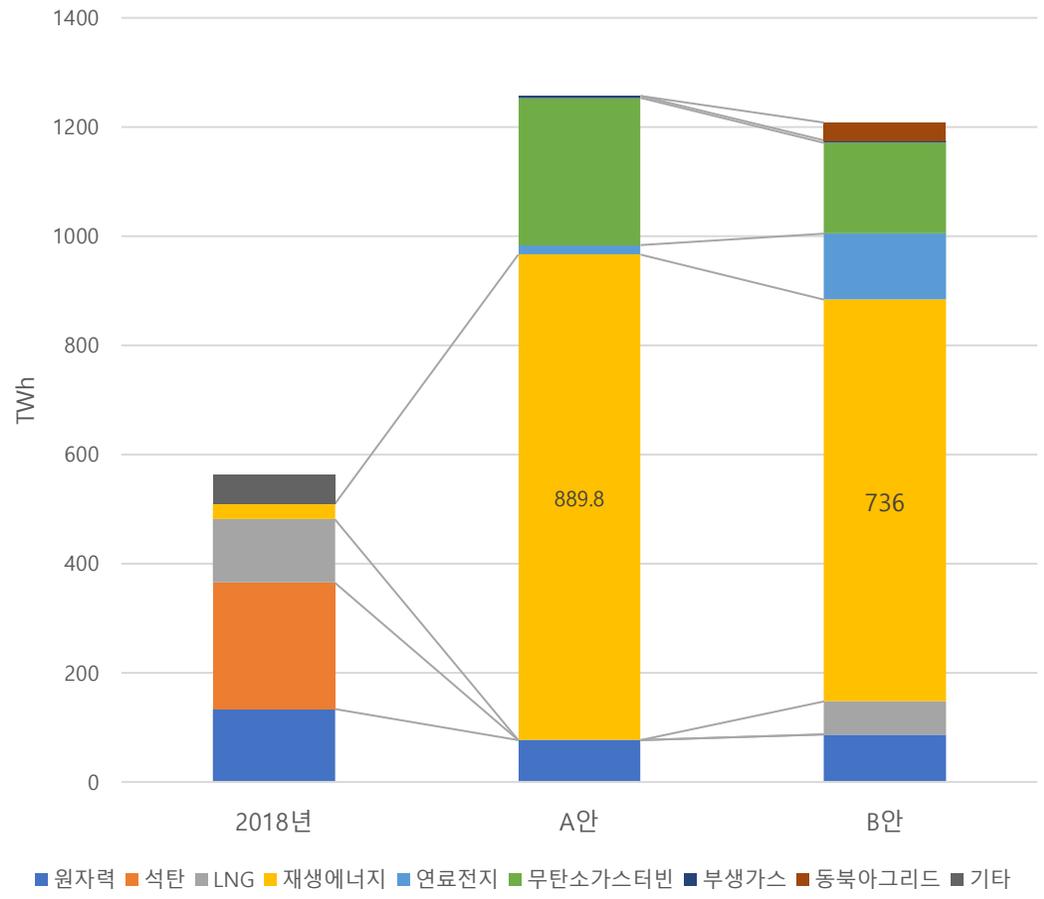
배출량(MtCO2eq)		2018년	A안	B안
배출	전환	269.6	0	20.7
	산업	260.5	51.1	51.1
	건물	52.1	6.2	6.2
	수송	98.1	2.8	9.2
	농축수산	24.7	15.4	15.4
	폐기물	17.1	4.4	4.4
	수소	0	0	9
	탈루	5.6	0.5	1.3
흡수	흡수원	-41.3	-25.3	-25.3
	이산화탄소 포집 및 활용저장		-55.1	-84.6
	직접공기포집		0	-7.4
순배출량		686.4	0	0



탄소중립시나리오(정부안) 요약

• 전력부문

2050년 전력발전 믹스



재생에너지 발전량 대폭 증가

- 재생에너지 필요 설비용량 500-600GW
- A안과 B안의 차이는 연료전지에 대한 전망 그리고 동북아 그리드 그리고 천연가스 발전 사용

석탄발전기는 보상 법안 마련 후 2050년까지 퇴출
원자력발전은 원전정책에 따라 그 규모를 줄여나감

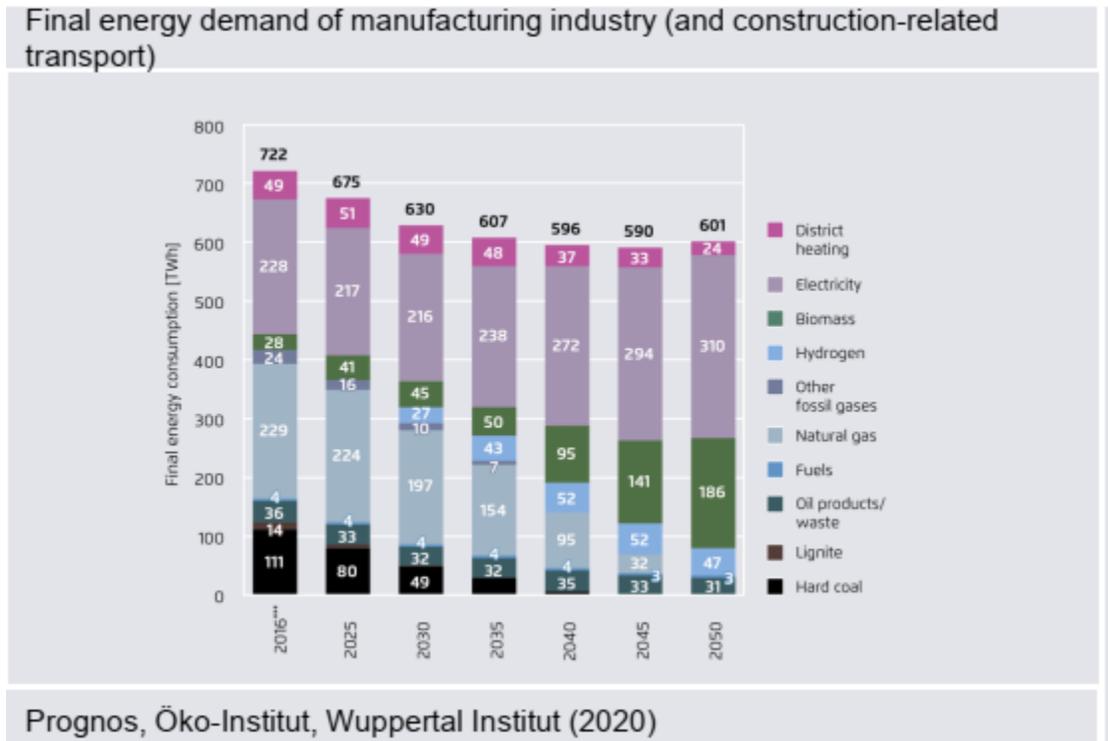
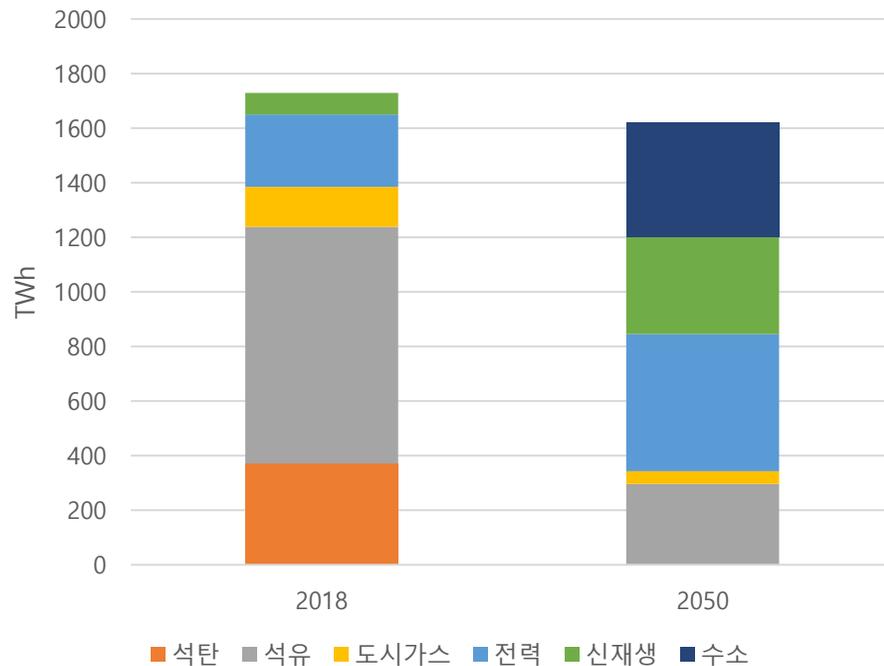
정부 B 안에는 2050년에 가스발전 존재

탄소중립시나리오(정부안) 요약

• 산업부문 탄소배출량

- 현재 산업부문에서의 배출량은 2018년 260.5 MtonCO₂
- 2050년 탄소중립시나리오에서는 80.4% 감축된 51.1 MtonCO₂
- 산업부문에서 화석연료는 연료와 원료로서 사용되고 있음
- 산업부문의 에너지 사용량은 2018년에 1729 TWh 2050년에 1620 TWh
- 독일의 시나리오 (Agora Energiewende) 산업부문에서 20% 감축

산업부문에너지 사용



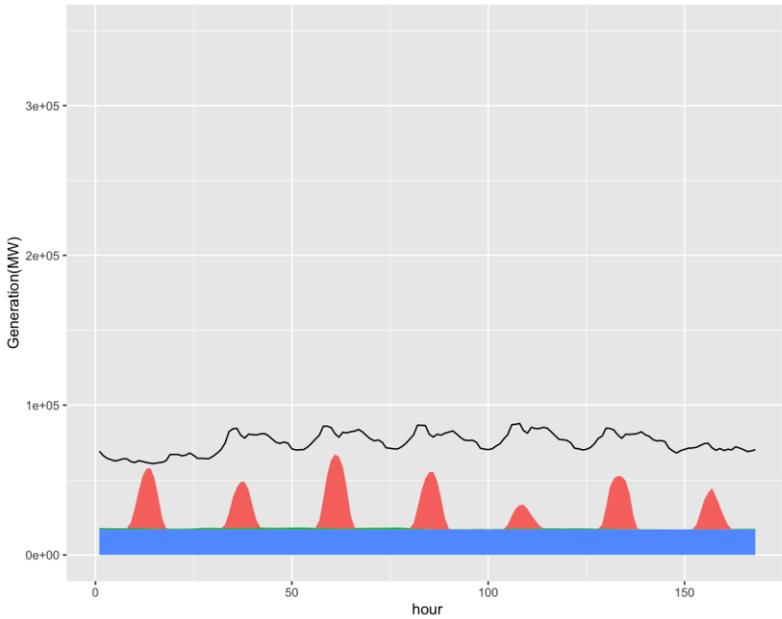
Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2020)

- 양적측면
 - 화석연료발전기 감소
 - 재생에너지증가
 - 원자력발전소 점진적인 감소
 - 다른 에너지 소비부문의 전기화를 통한 전력수요 증가
- 질적측면
 - 유연성 자원의 증가 (배터리, 수전해, 전기자동차, 히트펌프 등)
 - 수요부문의 적극적인 전력시장 참여
 - 이를 위한 전력시장 개편 필요
 - 송전망->배전망 의 단방향성에서 양방향 전력망

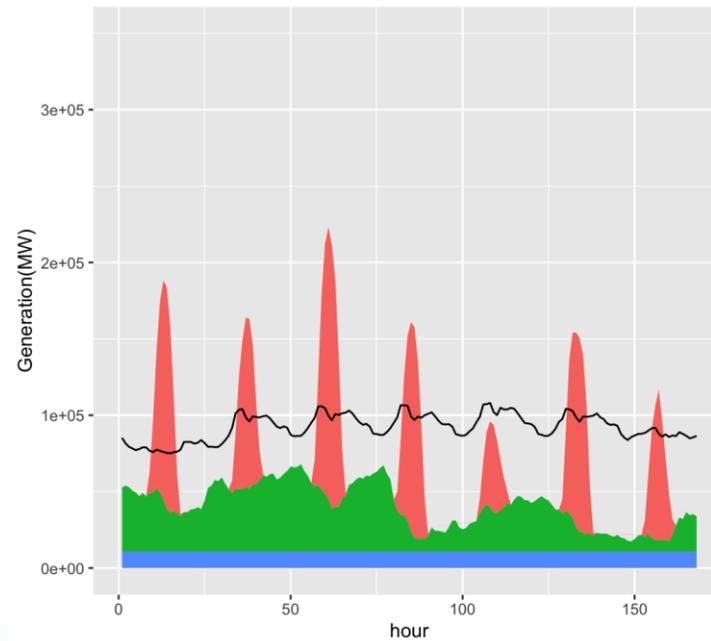
재생에너지 변동성 완화와 전력 부문외 탈탄소화

- ▶ 재생에너지 확대에 따라 전력소비를 초과하는 시간대 발생
 - ▶ 아래 그림 중 2050년은 기후중립 시나리오
- ▶ 잉여전력을 제대로 사용하기 위한 방안 마련 시급 (국내 고립 전력시스템 + 원전)
- ▶ 다양한 유연성 기술로 잉여전력문제를 해결하는 동시에 잉여전력을 수송/열/산업 부문에서의 탈탄소
- ▶ 재생에너지가 늘어나면서 유연성기술이 투자될 수 있는 여건 조성

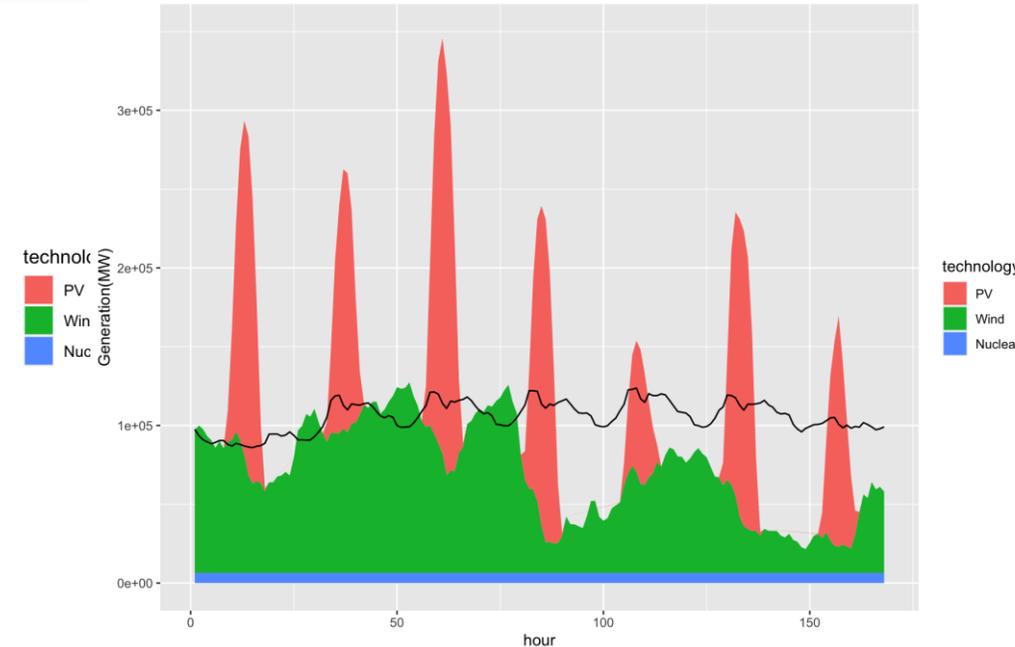
2025년



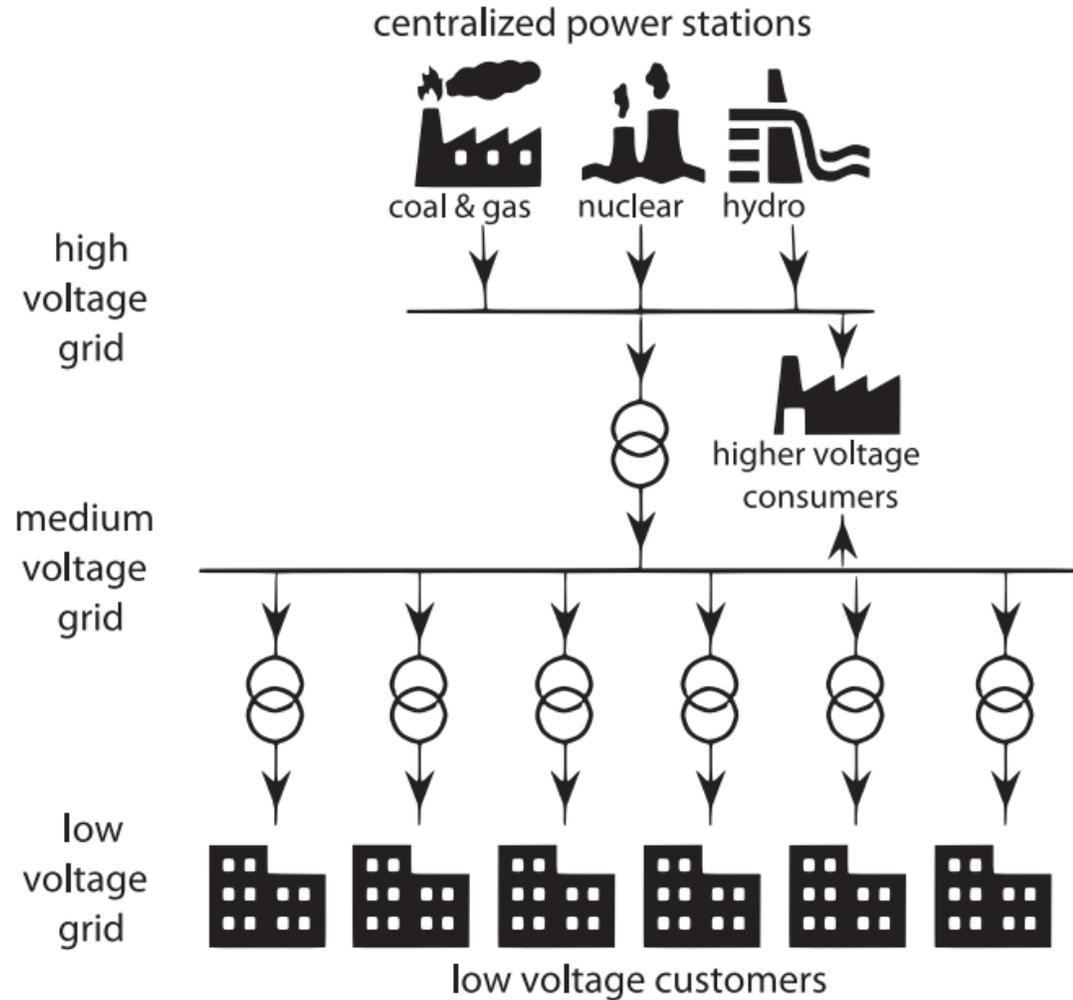
2040년



2050년

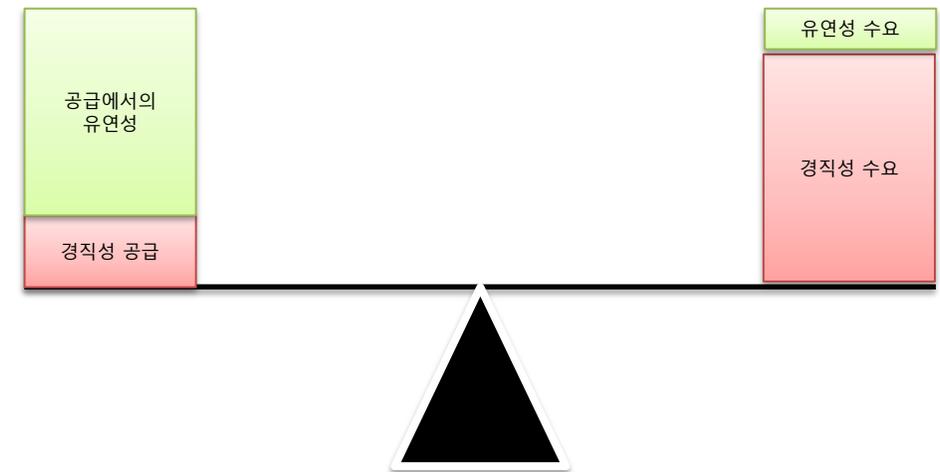


전력시스템 변화

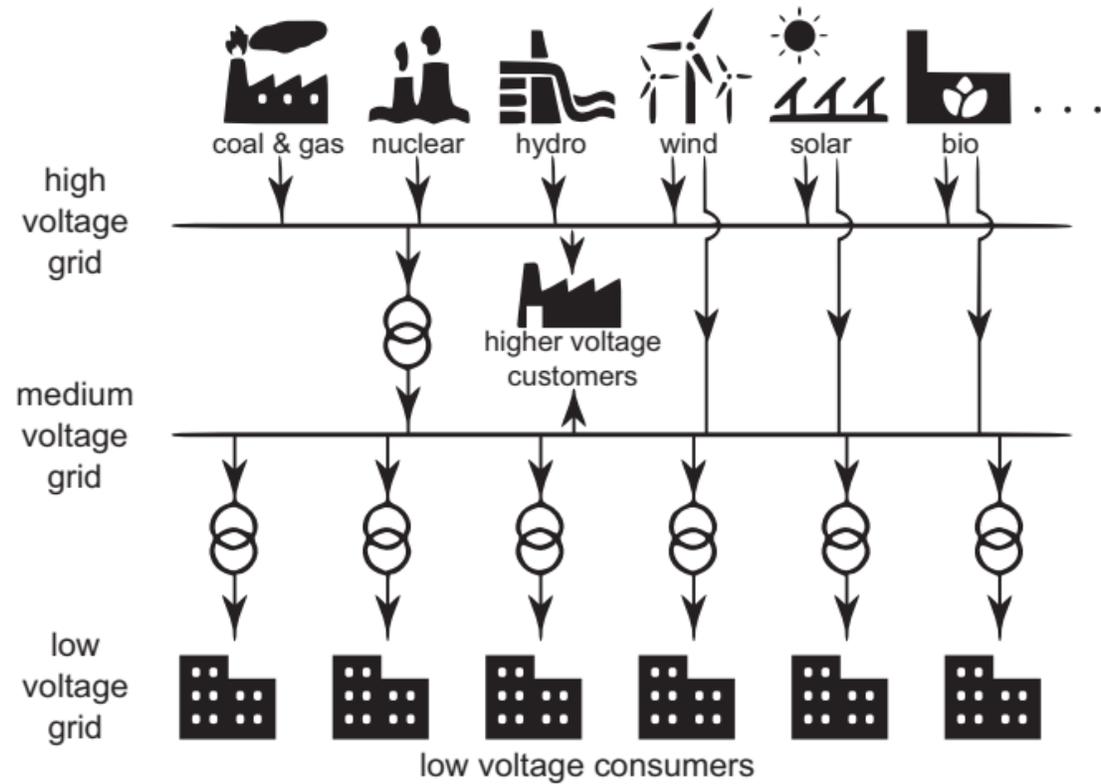


현재 전력 균형 방식

- 급전가능 화력발전소 위주 공급시스템 + 가격탄력성이 낮은 혹은 실시간 가격반영이 안되는 수요시스템
- 원자력 <-경직성 전원, 석탄<-반응 느림, 천연가스<-유연성 자원, 양수발전<-유연성
- 수요반응 시장 <-거의 활용 안함 정기적인 운영체제 부재

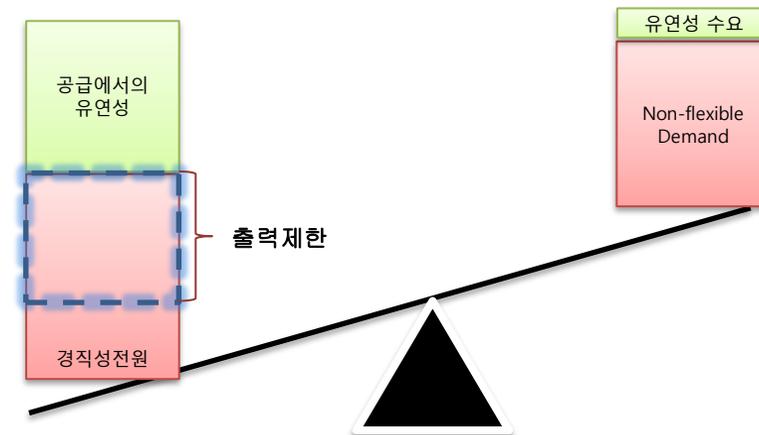


전력시스템 변화

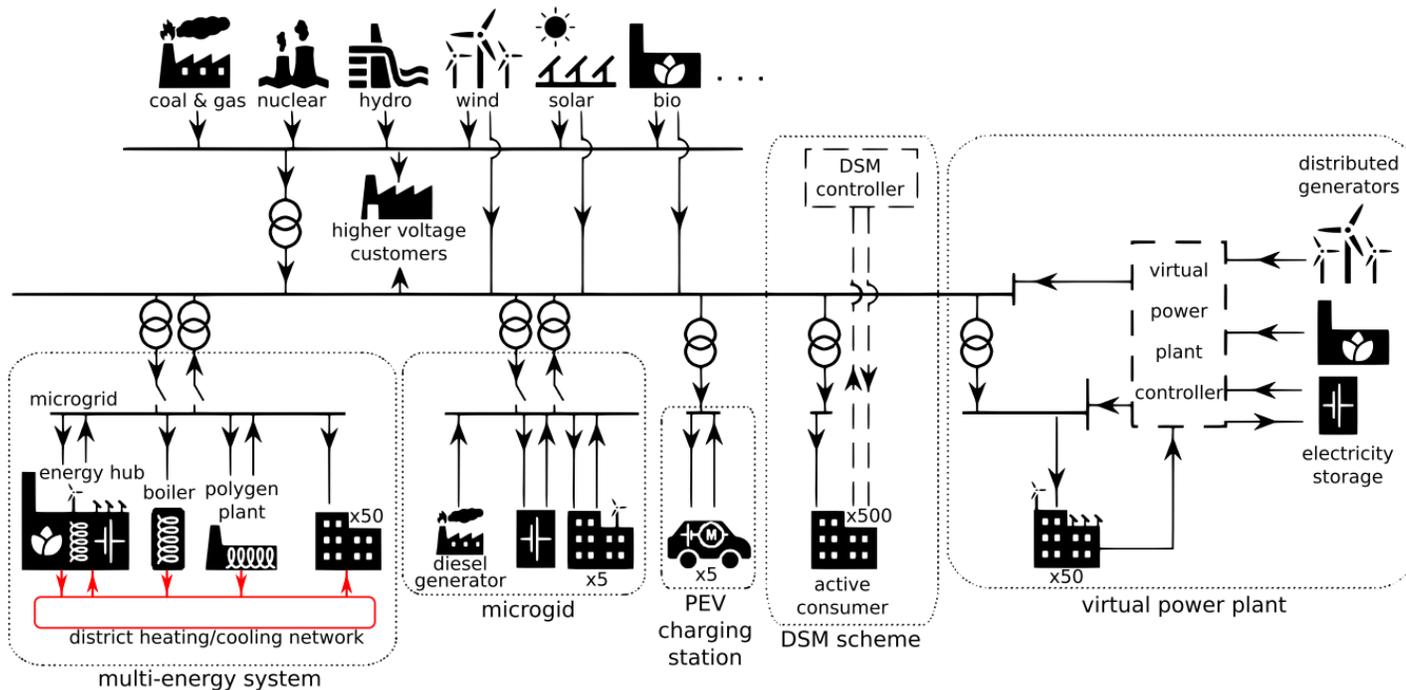


근미래 전력 균형 방식->전력균형방식 변화 필요

- 변동성 자원(재생에너지)의 확대
- 전력공급이 수요를 넘는 상황 발생
- 공급쪽의 유연성으로만 재생에너지 변동성을 감당하고 있는 상황
- 수요부문의 유연성 확대가 필요한 상황



전력시스템 변화



새로운 방식으로 전력균형 방법 모색

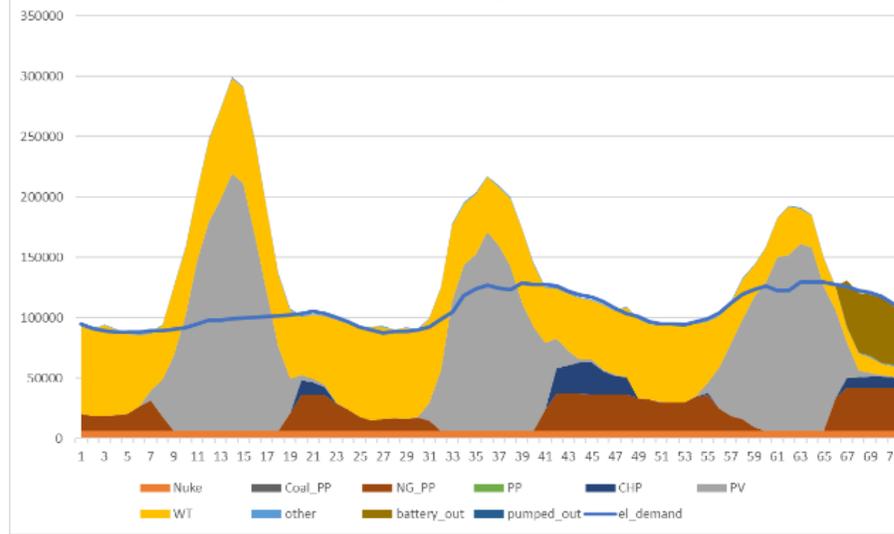
- 전력화 확대
- 섹터커플링과 에너지저장, digitalization, VPP 등으로 수요 측면에서 유연성 강화
- 에너지 네트워크 (전력, 열, 수소 네트워크) 강화 필요
- 소비자의 행동양식을 고려한 수요자원



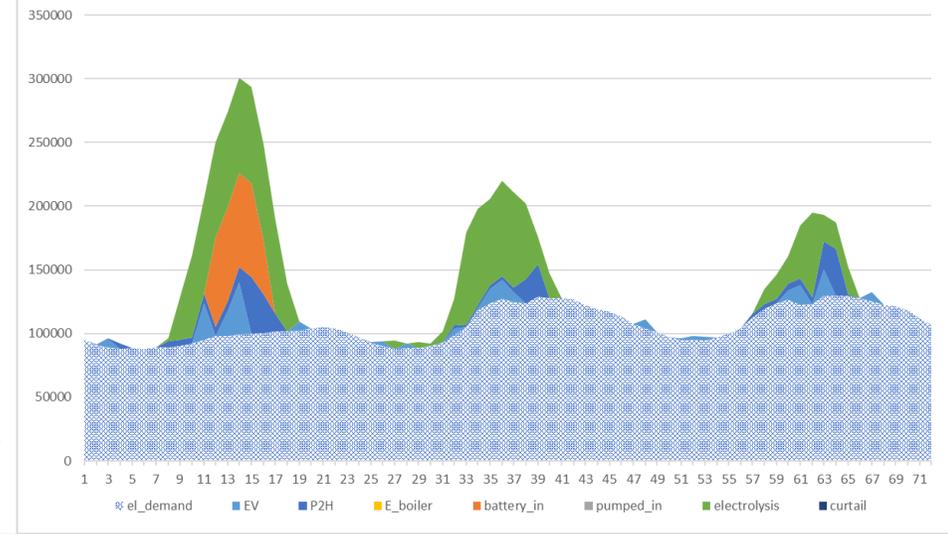
유연성 기술의 전력망에서의 역할

- ▶ 여름 전력망 수급 현황
 - 재생에너지의 공급이 수요를 넘을 경우 전기차 충전, 열생산, 배터리, 수전해 등의 유연성 기술들의 운영을 통해 전력 수급 해결
 - 재생에너지출력보다 수요가 적을 시 수소연료를 사용한 발전소와 배터리 출력을 사용

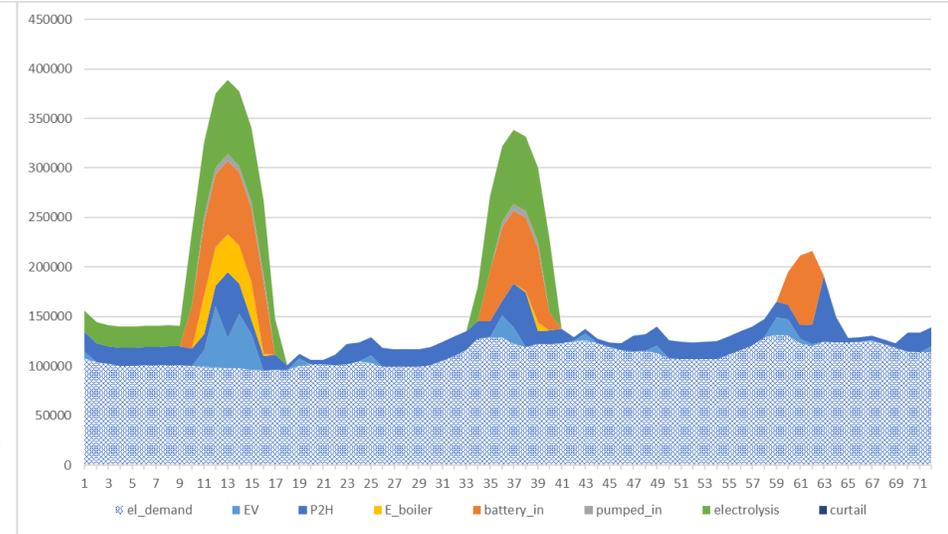
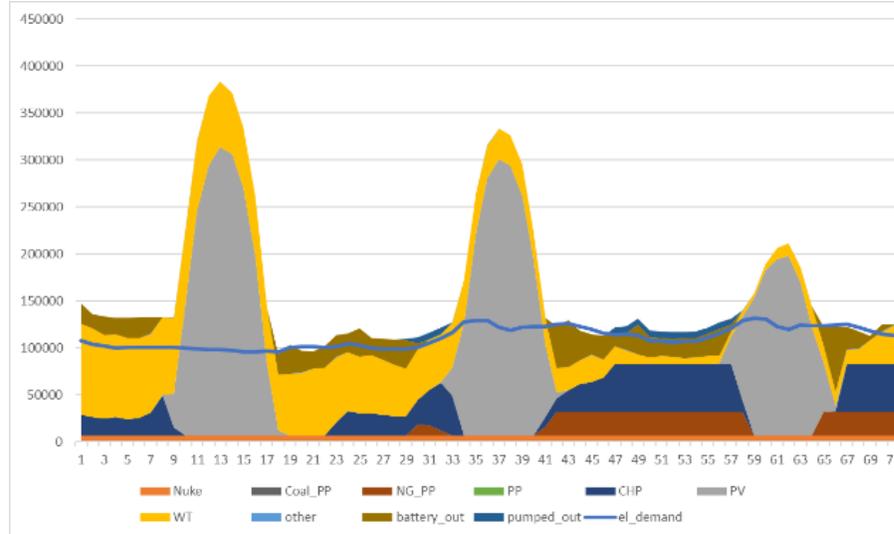
공급측면



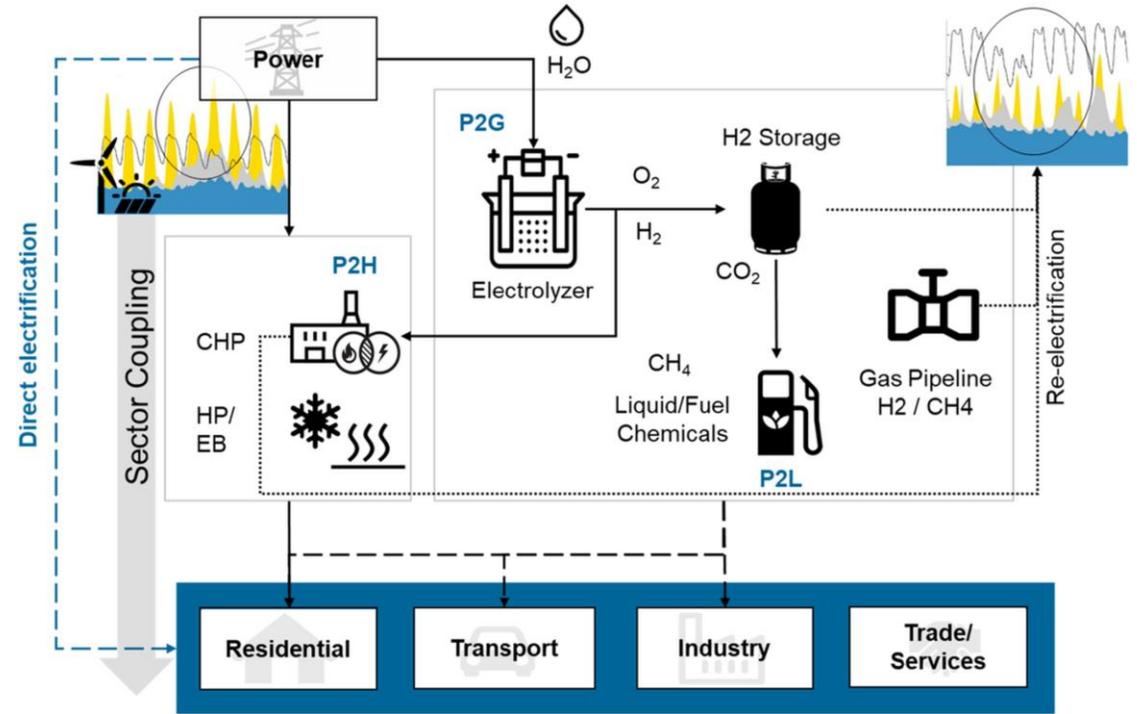
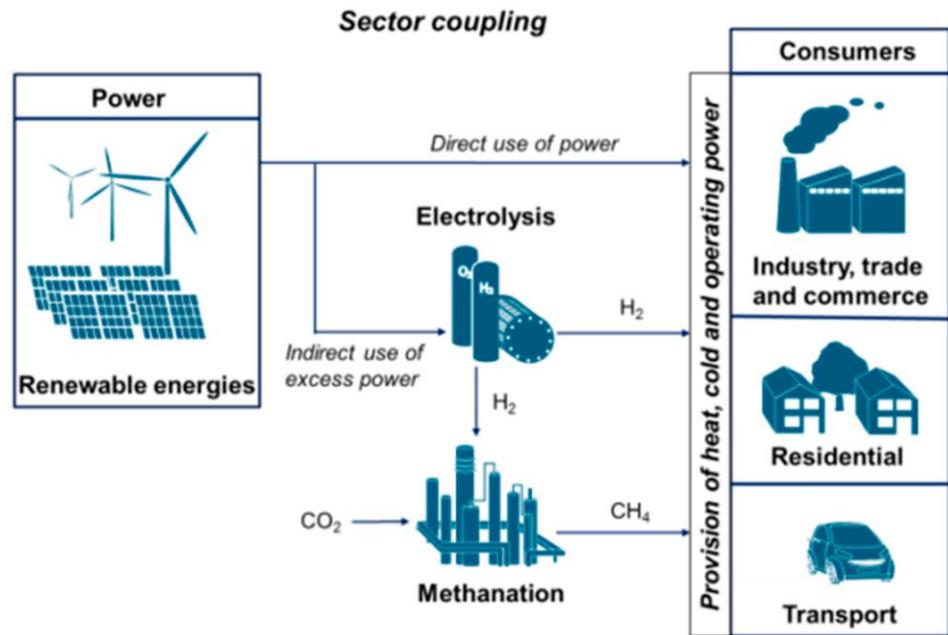
수요측면



- ▶ 겨울 전력망 수급 현황
 - 여름에 비해 히트펌프와 전기보일러 등의 열부문과 전력부문의 연계부문의 활성화



섹터커플링



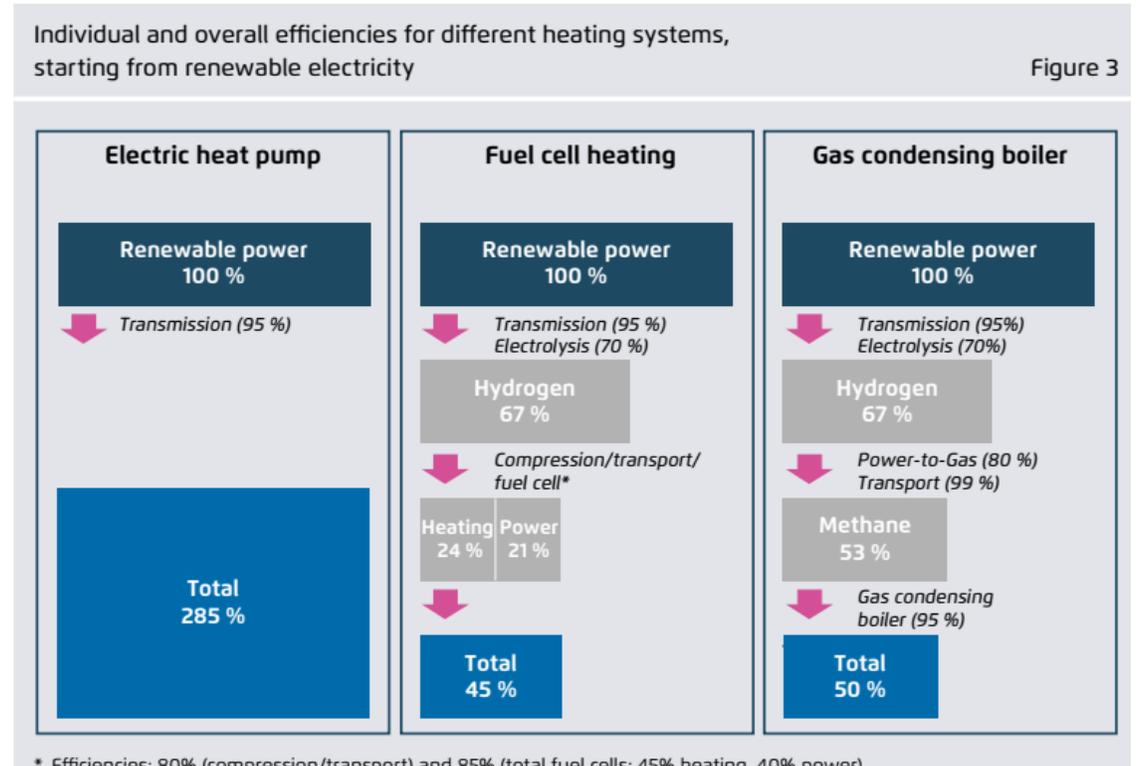
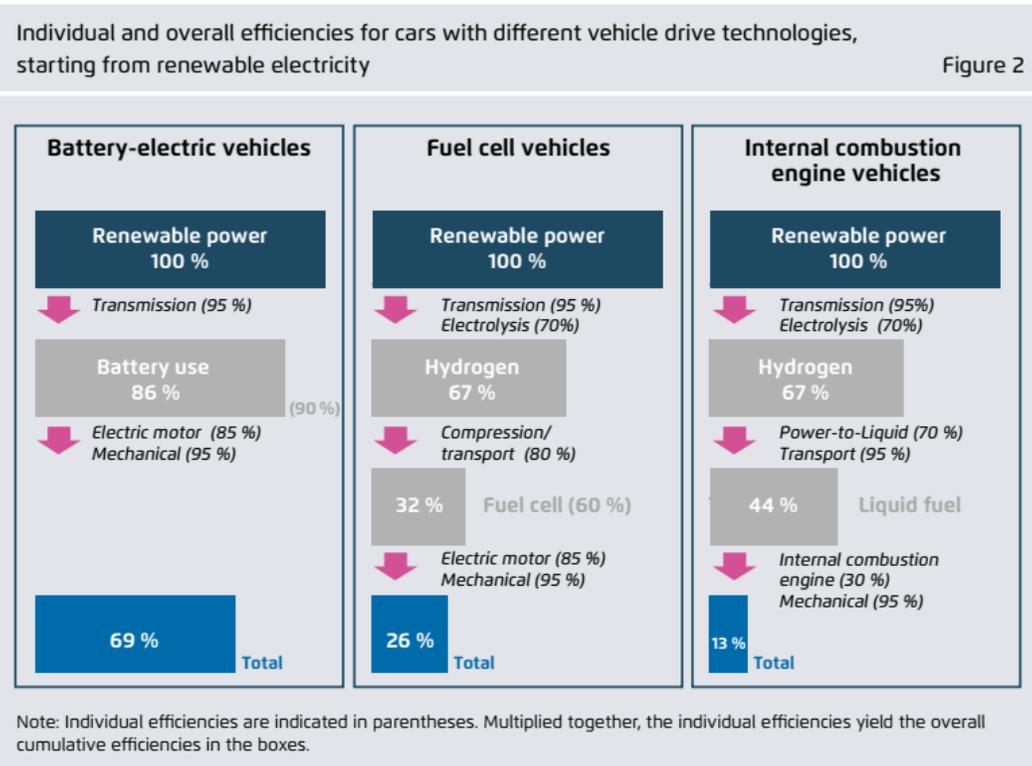
- 전기화 vs 간접전기화
- 섹터커플링을 구분하면 전기화 간접전기화
- 전기화 될 수 있는 에너지 수요와 그렇지 않은 에너지 수요가 있을 수 있음
- 전기화를 활성화하기 위해서는 전력시장 개편 및 수요의 digitalization 등과 같은 수요 부문의 변화가 필요

- 재전력화 (그림에서 re-electrification)
- 재생에너지 전력을 다시 전력으로 바꿈
- 재전력화 하는 과정에서 큰 에너지 손실이 일어남

직접 전기화 vs 수소

재생에너지로 인해 잉여전력이 발생할 경우 그 전력을 수소로 변환

- 수소는 생산방식에 따라 Gray hydrogen(천연가스 개질), blue hydrogen(천연가스에서 탄소를 분리해서 수소 생산), Green hydrogen(재생에너지 사용 수전해) 로 분류
- 수소생산은 전력에서 변환, 저장, 수송 과정에서 손실이 발생하여 효율하락
- 수소는 수송, 전력생산, 산업부문의 탈탄소화 등 여러 방면에서 사용 -> 난방에서의 사용은 비효율적



Power to heat

전력화를 통한 효율 향상

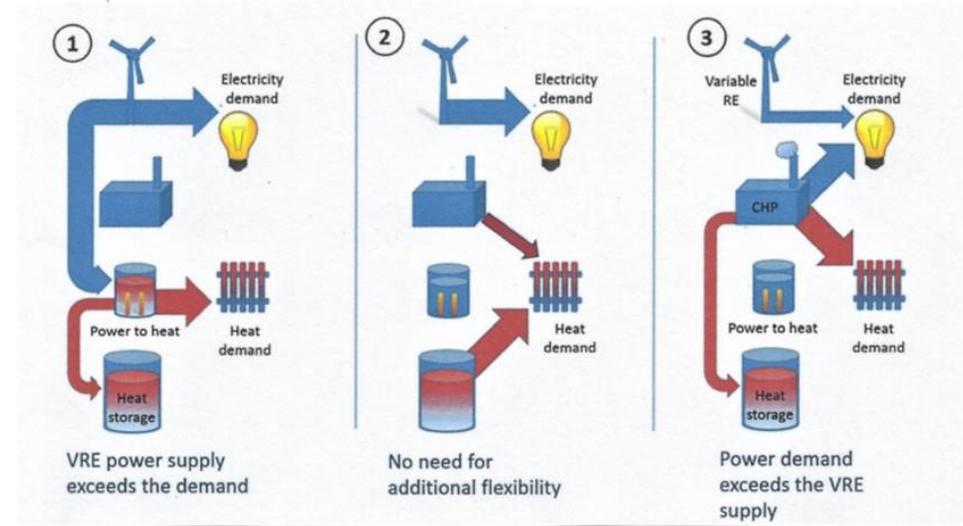
- 히트펌프, 전기보일러

지역난방시스템

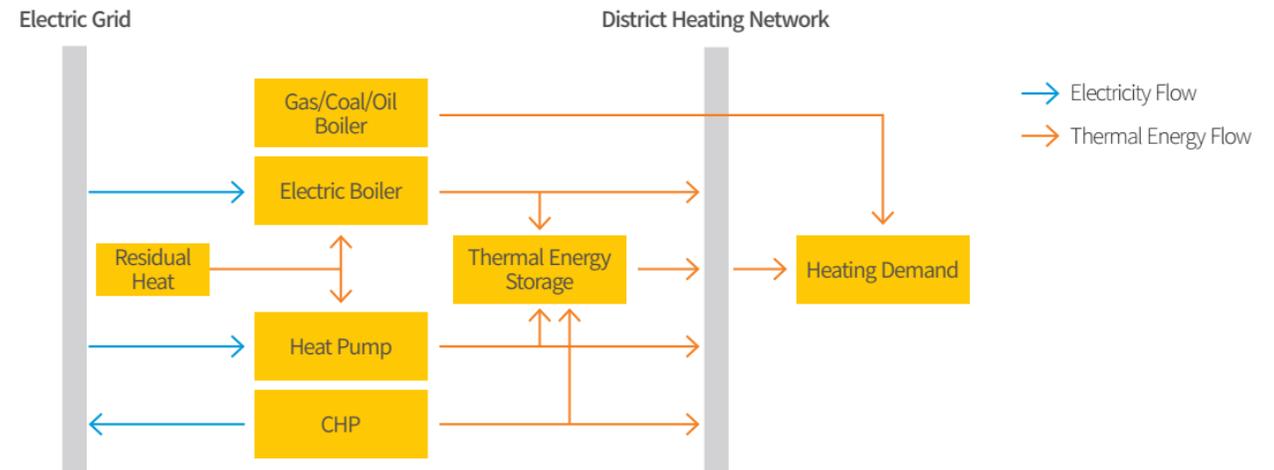
- 높은 인구밀도
- 공동의 열저장소 사용가능
- 미활용열 사용 가능

개별난방의 경우

기존의 심야전력보일러처럼 열저장소와 조합하여 운영시 전력망 운영에 도움

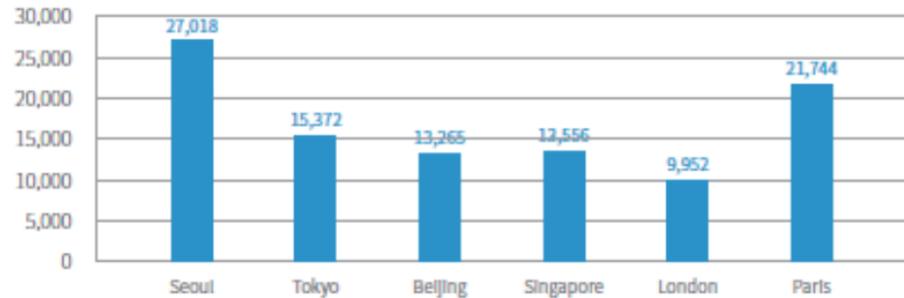


Power to heat 개념도



난방 시스템

세계주요도시 인구밀도



Power to heat (예시)

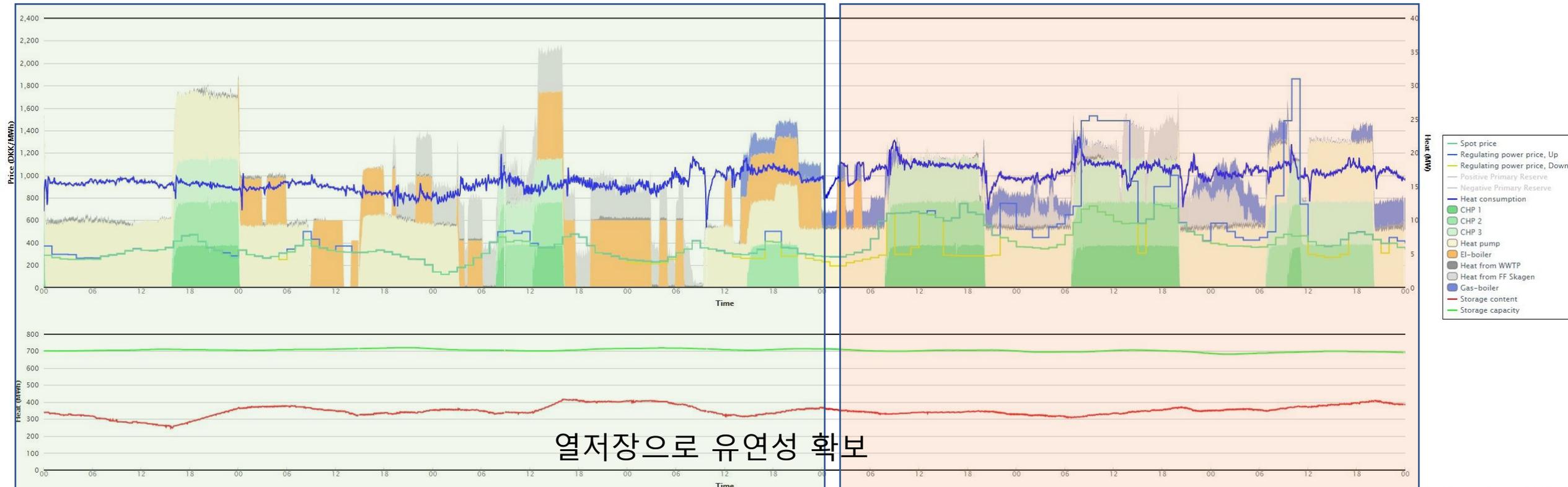
Skagen District Energy plant (덴마크)

- 3 CHP units, 전기보일러, 히트펌프, 하수처리장 열공급(WWTP), 생선가공공장 열공급 (FF Skagen), 가스 보일러, 열저장장치
- 전력 도매가격의 변동에 따라 여러 기술들을 적절히 사용하여 운영 <- 열저장시설로 유연성 확보

재생에너지 많은 시간대

Skagen District Heating, Sunday, 2021-01-10 to Saturday, 2021-01-16

재생에너지 적은 시간대



This page is hosted and maintained by EMD International A/S

Power to heat (예시)

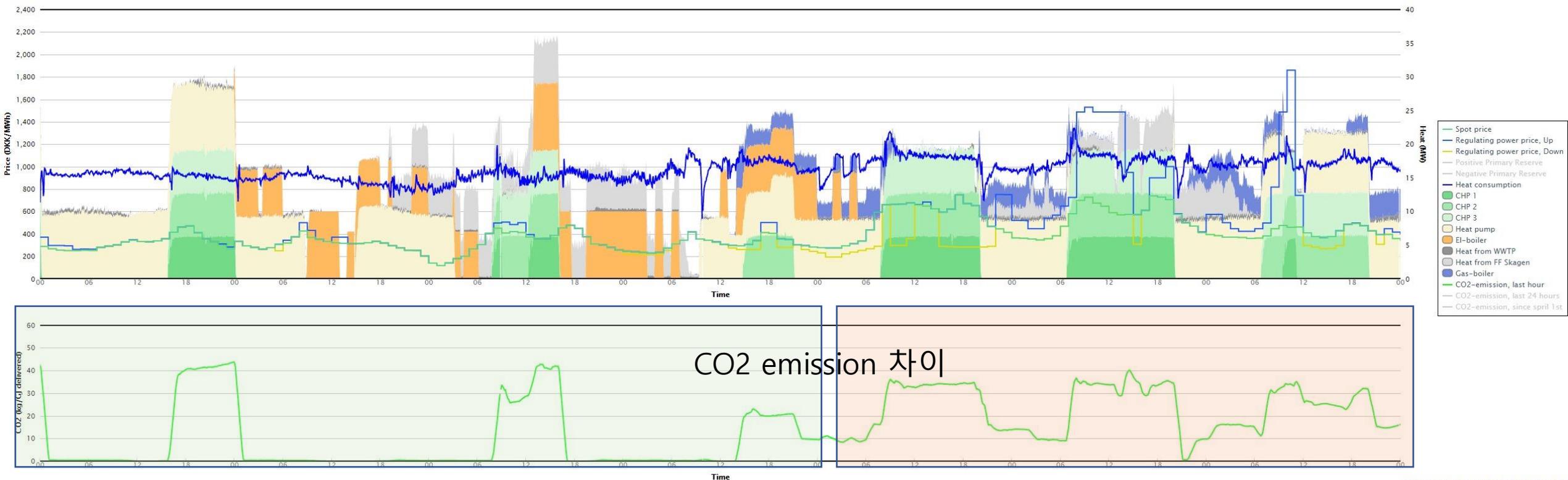
Skagen District Energy plant (덴마크)

- 3 CHP units, 전기보일러, 히트펌프, 하수처리장 열공급(WWTP), 생선가공공장 열공급 (FF Skagen), 가스 보일러, 열저장장치
- 전력 도매가격의 변동에 따라 여러 기술들을 적절히 사용하여 운영 -> 그 결과 CO2 배출량을 줄일 수 있음

재생에너지 많은 시간대

Skagen District Heating, Sunday, 2021-01-10 to Saturday, 2021-01-16

재생에너지 적은 시간대



CO2 emission 차이

Power to heat

섹터커플링 기술 중에서 현재 적용되고 있는 기술은 power to heat

- ✓ 덴마크 지역난방은 이전부터 휴일에 난방공급과 CHP 유연한 운영을 위해서 일정규모의 열저장시설을 보유하고 있었음
- ✓ 지역난방 사업자는 전력시장에서 BRP(Balancing Responsible Party) 로 혹은 BRP 의 일원으로서 도매전력시장에 참여 가능

Denmark funds heat pumps for district heating

Industry News | 04 January 2018 | by Decentralized Energy

Denmark is set to support 13 large heat pump projects with DKK23m (\$3.7m) in funding, the country's energy agency announced last week.



The 13 projects will be installed at 11 combined heat and power (CHP)-based district heating plants across Denmark, which have a combined capacity of 29.7 MWe.

Work is expected to begin in the coming months and is planned for completion by the end of 2019, the energy agency said, adding that the projects will supply heat to over 29,000 households, replace fossil fuels at some district heating plants, and improve the utilization of variable renewable power sources such as wind turbines.

Supported projects include "a wide variety of renewable energy sources and surplus heat such as surplus heat from a cookie factory, biomass flue gas, outdoor air, outdoor air combined with solar heating and wastewater from purification plants," the agency said.

Denmark's support for electric heat pumps is targeted at avoiding price rises for district heating customers when the country's current subsidy for natural gas-based CHP plants expires at the end of this year.

Heat suppliers "can reduce the heat bill by approximately DKK3000 per year per household by investing in new production units, such as electric heat pumps," the agency said in a statement. This "can be of great importance to the approximately 200,000 Danish households which in the future risk heat increases of more than DKK4000 annually."

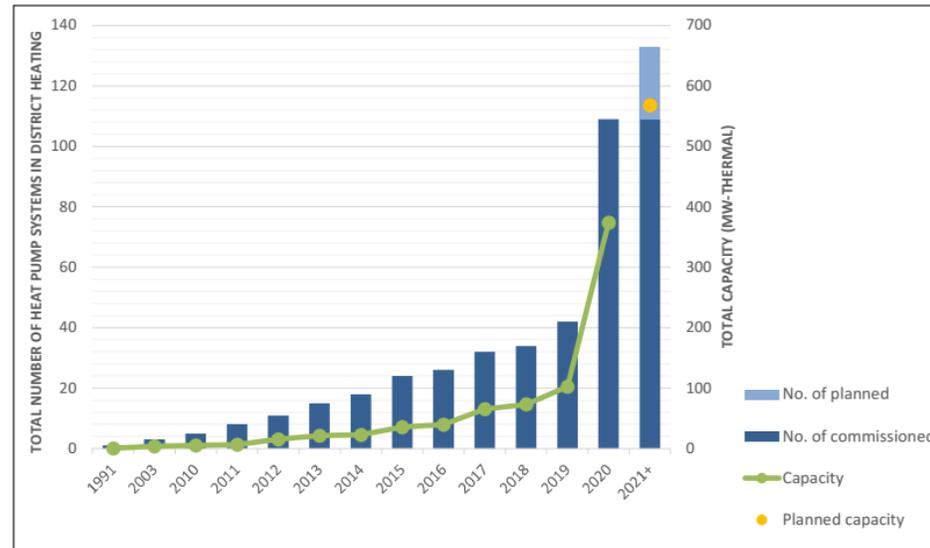
The agency received 15 applications for heat pump projects with a total capacity of 30.3 MWe and a total construction cost of DKK218m. The support scheme covers up to 15 per cent of project costs.

Energy and climate minister Lars Christian Lilleholt said the government "would like to ensure consumers both green energy and reasonable heat prices", adding that energy suppliers would "now have the opportunity to switch production to a more future-proof solution for green change, consumers and the plants themselves".

Lilleholt said it was "crucial" that green energy was used not only for Denmark's electricity supply, but also for heating. "Electric-powered heat pumps play a hero's central role because they can contribute to both electrification and the efficiency of our district heating sector. Therefore, it is very high on the government's agenda to promote the use of heat pumps," he said.

Denmark reportedly plans to increase its support for electric heat pumps in small district heating networks to DKK27.9m in 2018.

Source: Decentralized Energy



Denmark introduces incentive for green heating

Danish gas transmission system operator Evida will exempt homeowners and individuals that want to abandon gas and choose renewable energy for heating from paying the grid disconnection fee. The scheme will be run on a first-come, first-served basis.

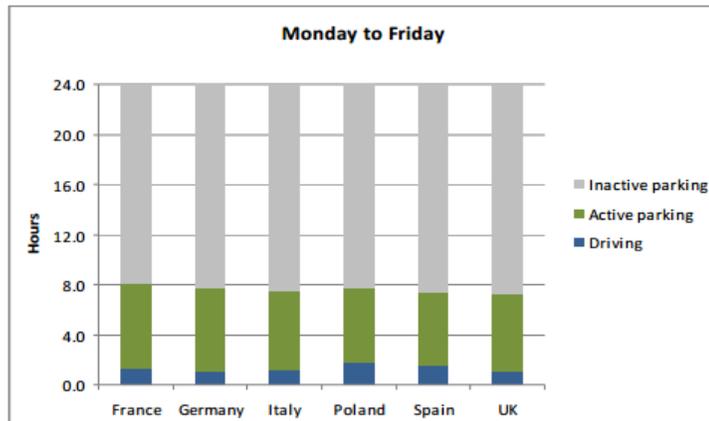
MARCH 23, 2021 EMILIANO BELLINI

MARKETS MARKETS & POLICY RESIDENTIAL PV TECHNOLOGY AND R&D DENMARK



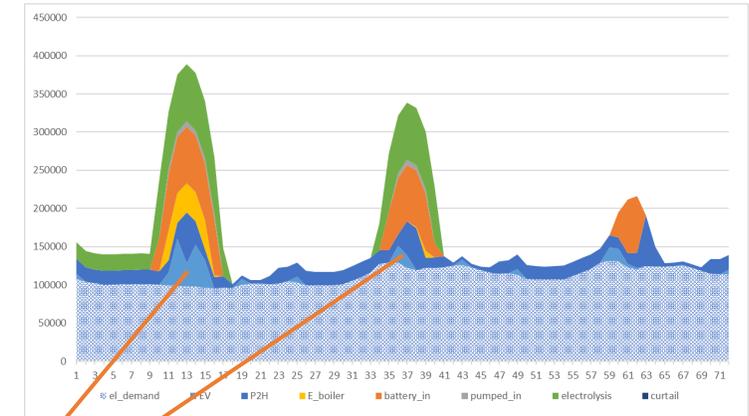
Power to mobility

- ▶ 유럽 주요 국가의 자동차 사용 패턴 분석
 - ▶ 2시간 이하 운전
 - ▶ 16시간 이상을 집에 주차(inactive parking)
 - ▶ 6-7시간을 집 외에 다른 곳 경유지에 주차 (active parking)
- ▶ 충전이 가능한 시간과 충전용량 계산이 중요

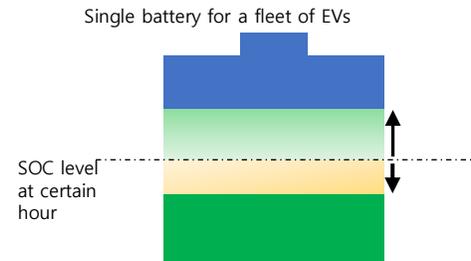


- ▶ 수송부문과 전력부문의 부문간 연계 (Sector coupling)
 - ▶ 전력망의 수급에 따라 전기자동차의 배터리를 에너지 저장수단으로 사용

전력시스템



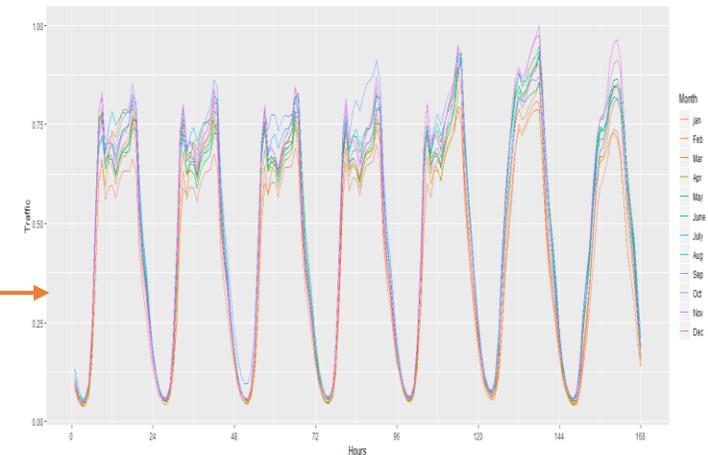
전기자동차



Charging according to short term marginal cost of electricity

Discharging electricity when driving demand occurs

전기자동차 주행 수송 수요



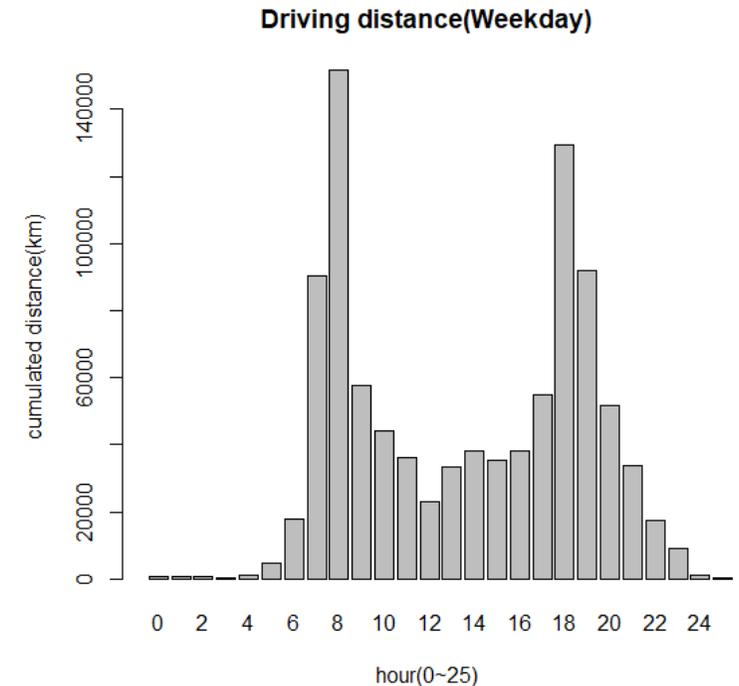
Power to mobility

- 국내 잉여전력 발생시간대는 낮에 발생 예상 (태양광 발전 비중)
- 2013년 자동차실태조사 데이터를 분석해 본 결과 75%의 차량은 낮 시간에 연속 9시간동안 운영을 안하고 있음
- 지금 현재 전기차 충전 패턴은 주거지에서 야간시간에 충전하거나 운행중에 급속충전소를 방문하는 패턴
- 수송부문에 유연성을 확보하기 위한 전략은 EV 차량 보급확대 + 충전소 확대 + 전기자동차 사용자가 전력시장에 참여할 수 있는 수단 확보 (aggregator 등)

고속충전소



주차장 충전소

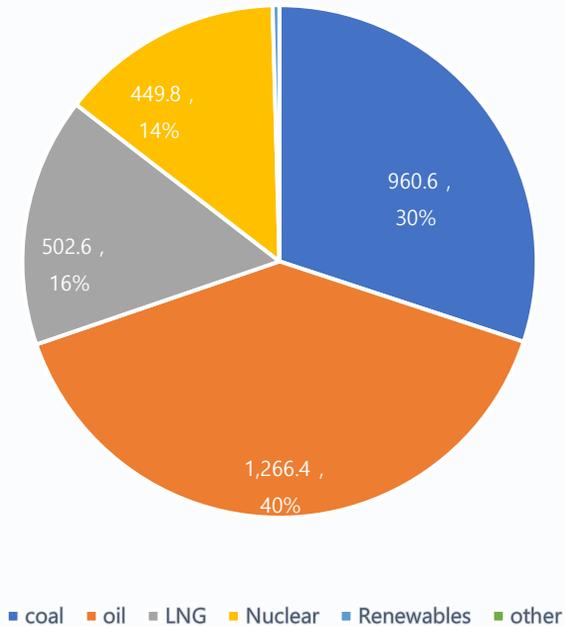


시간대별 자동차 운행거리

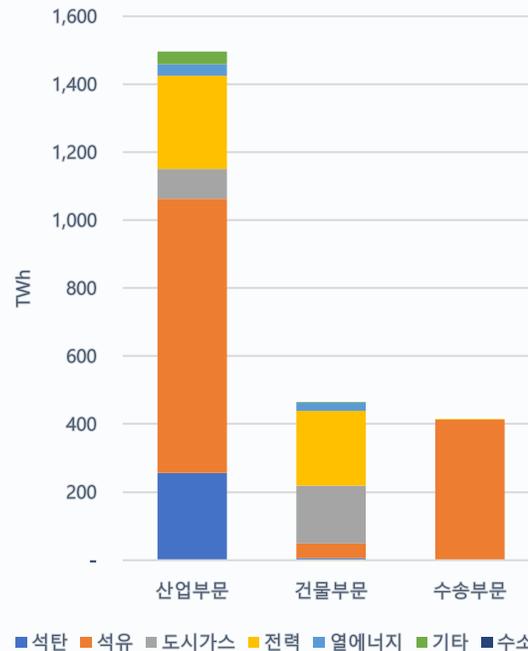
한국 에너지 소비 특징

- ▶ 국내 에너지 소비에서는 아직까지 화석연료에 대한 의존도가 높음
- ▶ 온실가스 배출은 현재도 증가하는 추세
- ▶ 최종 에너지 수요는 2,374TWh로 산업, 건물, 수송부문의 순으로 각각 63.0%, 19.6%, 17.5%를 차지
- ▶ 에너지원별로 석유, 석탄, 도시가스 등 화석연료가 전체 소비의 75.1%를 차지하고, 전력은 20.8%의 비중

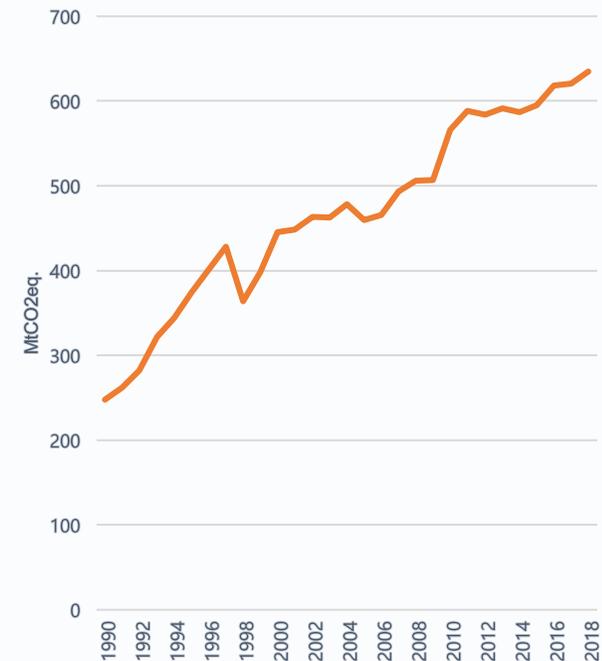
<1차 에너지 소비>



<부문별 최종 에너지 소비>



<에너지 소비관련 CO2 배출량>

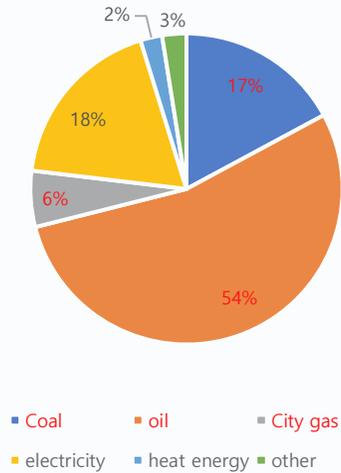


섹터별 시나리오 (산업)

- ▶ 산업부문 탈탄소 전략
 - 연료 및 원료 사용으로 구분하여 접근
 - 연료 사용은 산업 전부문에 적용
 - 원료 사용은 화석연료의 소비량이 많은 철강, 정유 및 석유화학, 시멘트산업에 대하여 적용

용도별/에너지원별 사용량(2017, TWh)

	원료	연료	계
Coal	167.8	88.3	256.1
oil	765.1	41.7	806.8
LNG	0.3	87.0	87.3
electricity	-	274.4	274.4
heat	-	33.7	33.7
other	0.0	37.5	37.5
total	933.2	562.6	1,495.9



업종별 온실가스 배출량(2017, ktCO2eq.)

구분	합계	석탄류	석유류	도시가스	기타연료	열에너지	전력
산업부문전체	349,791.4	113,825.9	66,998.6	21,708.2	5,486.9	11,551.9	130,219.9
광업	673.6	129.6	91.1	5.1	0.1	-	447.7
제조업	349,117.8	113,696.3	66,907.5	21,703.1	5,486.8	11,551.9	129,772.2
정유	38,019.2	2.2	32,201.3	734.3	102.6	887.7	4,091.1
화학	66,362.8	1,565.8	23,903.4	4,544.4	345.4	6,673.2	29,330.7
철강	133,665.3	103,435.7	1,867.1	5,699.5	289.3	517.6	21,856.1
시멘트	23,863.6	8,503.1	5,222.2	1,623.4	2,033.5	97.1	6,384.3
기타	87,206.9	189.5	3,713.5	9,101.5	2,716.0	3,376.3	68,110.0

- 전력은 간접 배출로서 배출계수 0.46 tCO2/MWh를 적용
 - 나프타는 IPCC에서 권고한 탄소물입를 적용(원료용 사용량의 1/4에서 CO2 배출)

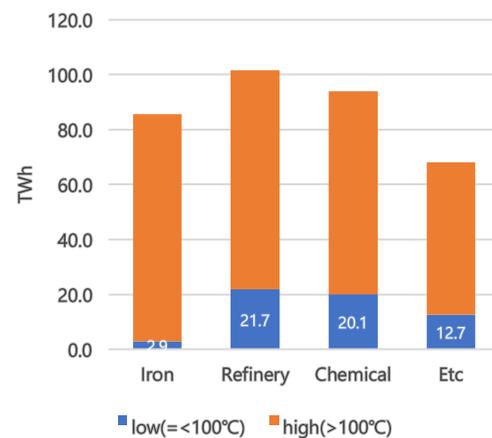
1 연료 소비의 탈탄소화

- ▶ 1) 에너지 효율 향상: 매년 전년 대비 1% 효율 개선

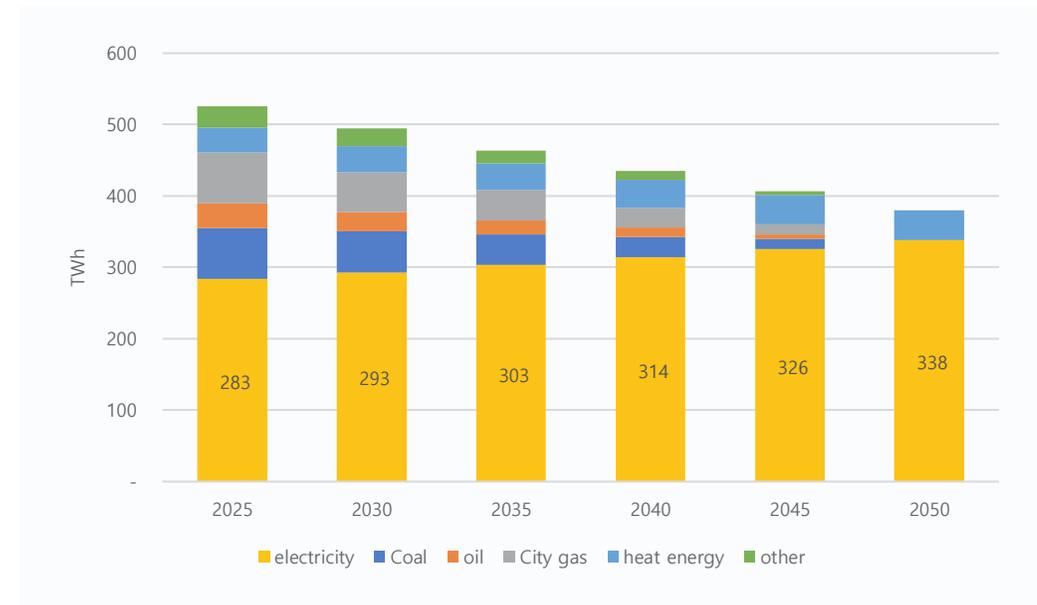
	2025	2030	2035	2040	2045	2050
효율향상(2020대비)	5%	9.8%	14.3%	18.5%	22.6%	26.5%

- ▶ 2) 연료 사용의 탈탄소화(저온열 직접사용)
 - 열 생산을 위한 연료 사용량 추정(전력/열)
 - 저온 열(100°C이하) 사용량 추정

	전력	열
Coal	-	88.3
oil	2.2	39.5
LNG	7.9	79.1
electricity	196.2	78.2
heat	1.4	32.3
other	5.7	31.8
	213.4	349.2



- ▶ 3) 연료 사용의 탈탄소화(전력화)

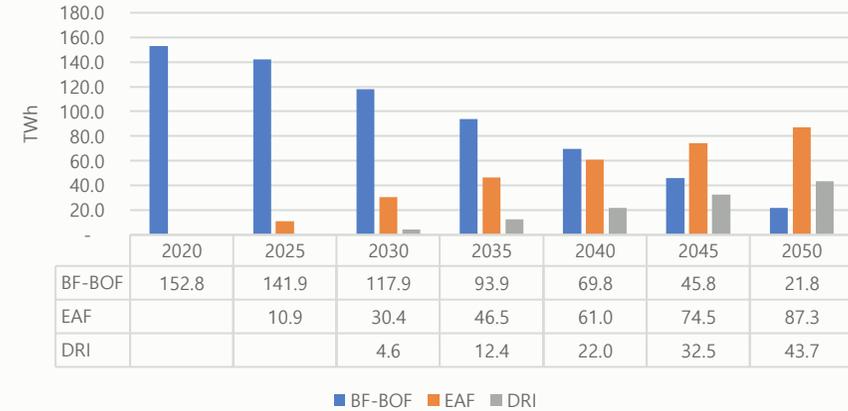


2 원료 사용의 탈탄소화(석탄)

- 철강산업 : 전기로 비중 증가 및 수소환원제철 활용
- 시멘트산업 : 석탄 사용의 점진적 퇴출

▶ 철강산업

- 2020년 현황: 고로에서 생산되는 철강의 비중은 70%, 고로에서 소비되는 석탄(코크스)는 152.8TWh
- 2050년 변화 내용:
 - 철강 생산에 필요한 원료 에너지의 총량은 2050년까지 유지된다고 가정
 - 전기로의 철강 생산 비중은 2020년 30%에서 2050년 60%까지 매년 1%씩 증가
 - 수소는 2030년 생산공정에 도입된 후, 2050년까지 매년 1.2%씩 수요 증가('50년 30%)
 - 전기와 수소 사용량의 증가만큼 석탄(코크스)의 사용량 감소



▶ 시멘트산업

- 2020년 현황: 석탄 사용량은 15.0TWh
- 2050년 변화 내용:
 - 2050년까지 시멘트 산업에서의 석탄 사용의 퇴출 및 온실가스 무배출 광물 사용으로 대체

2 원료 사용의 탈탄소화(석유)

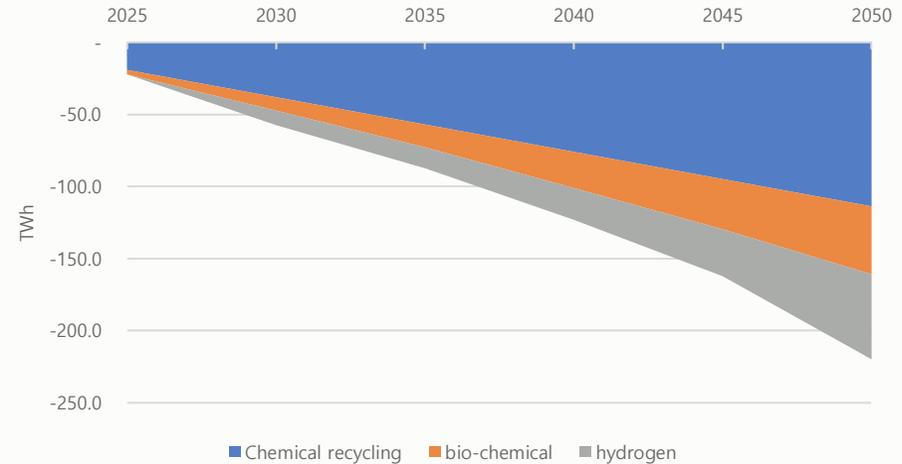
- 정유산업 : 석유제품 수요 감소 반영 - (수송)탈내연기관, (석유화학)나프타 수요 감소
- 석유화학 : 화학적 재활용, 바이오 및 수소 원료 사용 증가

▶ 정유산업

1. 석유 소비를 산업부분과 산업외부분으로 구분
2. 산업외부분의 석유제품 수요 변화를 반영
 - 수송부분의 수요가 산업외부분을 대표한다고 가정 <산업(60.5%), 수송(32.4%), 가정상업(4.9%), 공공기타(1.1%), 에너지산업(1.1%)>
3. 산업부분의 나프타 수요 반영
 - 석유화학산업에서의 감축 반영; 석유제품 재활용, 대체원료 사용 등
4. 원유의 종류 변경과 국내 생산/해외 수입의 비중 변화 적용
 - 나프타 함량: '20, 30%, -> '40, 70%
 - 나프타 수입비중: '20, 40% -> '50, 100%

▶ 석유화학산업

- 2020년 현황: 정유산업에서 석유(원유)수요는 449TWh, 석유화학산업에서 석유(나프타)수요는 316TWh
- 2050년 변화 내용:
 - 더 이상 국내에서 원유를 정제하여 석유제품을 생산하지 않고, 석유화학산업에서 필요한 석유제품을 직접 수입하여 사용(2050년 석유(나프타) 수요 106TWh)
 - 화학적 재활용 비중이 2050년 36%까지 매년 1.2%씩 증가
 - 바이오 원료 사용이 2025년 도입 이후, 2050년 15%에 도달



1 연료 사용의 탈탄소화(산업 전체 업종)

- 효율향상: 전년대비 1%의 향상가정할 경우('50년 '20년 대비 26.5%)
- 열전환(저온열): 100°C이하 열 직접사용
- 전력화: 화석연료의 전력화

2 원료 사용의 탈탄소화(철강,석유,시멘트 업종)

- 철강 : 전기로 비중 증가, 수소 사용 확대
- 정유 : 석유제품 수요감소에 따른 국내 원유 정제량 감소(2050년 0)
- 석유화학 : 석유제품의 화학적 재활용 및 대체원료 사용 증가(수소 및 바이오 원료)
- 시멘트 : 석탄 사용의 퇴출 및 온실가스 무배출 광물 대체

3 산업부문 수요 변화

- 전력화 비중 증가(2020: 18.3% -> 2050: 61.8%)
- 화석연료 의존도 감소 -> 수송부문에서 필요한 화석연료 없어짐(정유산업?)
- 수소 활용 증가 (수소환원제철, 수소와 탄소 합성물)
- 산업부문의 완전한 탄소 제로를 달성하기 위해서는 전력 및 수소 활용의 강화 등 추가적인 노력이 필요

- ✓ 2050년 기후중립은 가능함 그리고 상당한 수준의 재생에너지 확대 필요. 재생에너지 확대에 속도를 내야함.
 - 2050년까지 최소 500GW의 재생에너지
 - 2050년까지 연간 17기가 이상의 재생에너지 설치 필요 (현재 재생에너지 확대 속도 2019년 3.5기가, 2020년 3.4기가 (3사분기까지 집계))
 - 재생에너지를 위한 전력망 인프라 확대 필요

- ✓ 에너지 효율향상 및 전력화를 통해서 현재 수준의 에너지 소비를 절반 혹은 그 이상으로 줄여야 함.
 - 건물부문의 단열강화와 히트펌프
 - 수송부문에서 전기차, 수소차 변환을 통한 수송부문 에너지 수요 감축

- ✓ 재생에너지 변동성 대응을 위해 유연성 기술 필요
 - 수전해, 배터리, 수소저장, 열저장소, 히트펌프, 전기자동차 등 유연성 기술에 대한 연구개발 및 설치 계획

- ✓ 수소는 필수적인 자원이지만, 과도한 목표는 오히려 시스템의 효율성 저하 등의 부작용을 초래
 - 전력->수소->전력 의 사이클에서 상당한 에너지 손실 발생

- ✓ 전력화 및 수소인프라 확대 계획은 재생에너지 확대 일정에 맞춰야 함