

2018 인하대 **K-MOOC** 강의 교재

인류의 그림자, 에너지 바로알기

신 현돈 교수

(hyundon.shin@inha.ac.kr)

인하대학교 에너지자원공학과

2018



10. 신재생에너지, 구세주인가 ?



10-1: 신재생에너지란 ?

에너지는 어디에서 오나

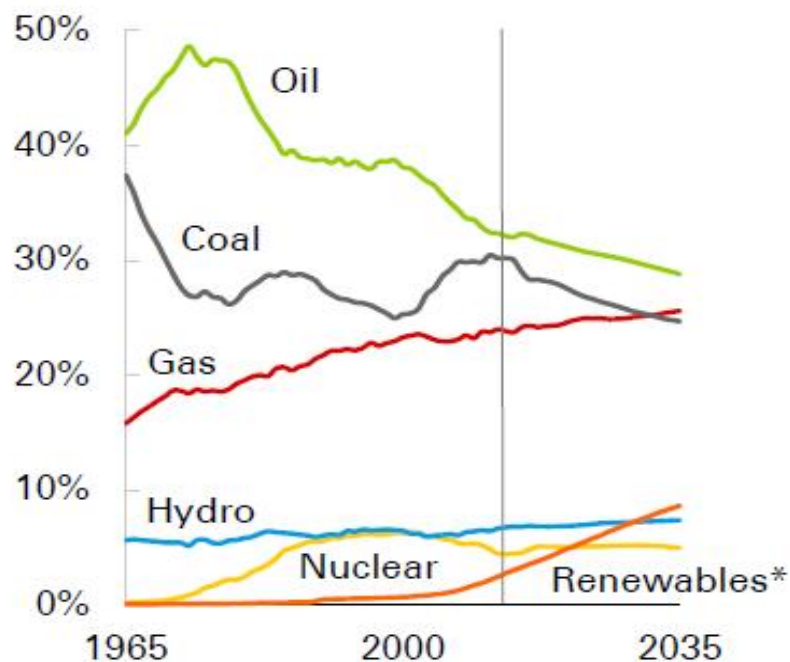
- 석탄, 석유, 가스: 화석연료
- 원자력
- 태양광, 풍력, 지열: 재생에너지
- 수소에너지, 연료전지

화석연료
원자력
재생에너지
수소에너지

에너지 유형별 수요

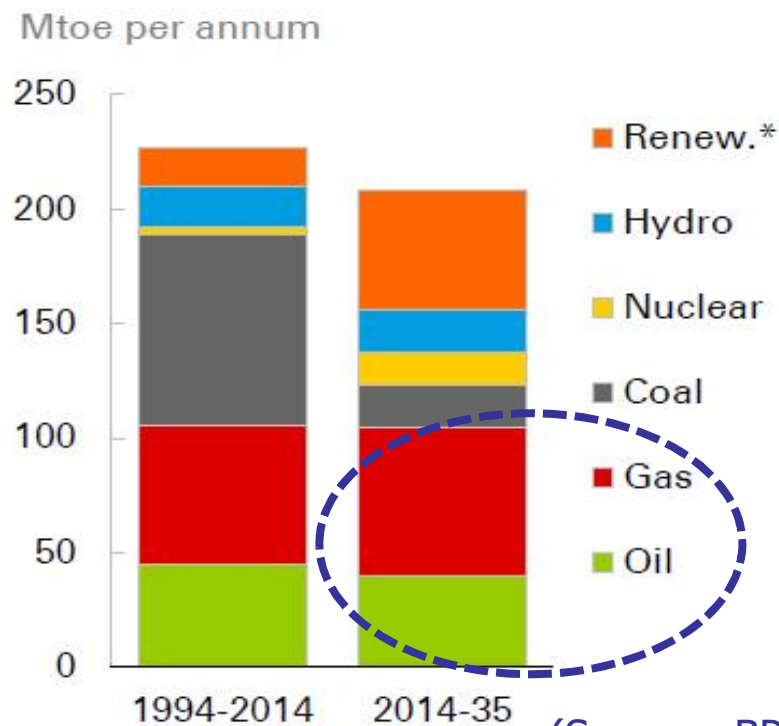
- 석유-석탄-가스 (2015) → 석유-가스-석탄 (2035년)
- 화석연료 비중은 감소하지만 수요량은 지속적으로 증가

Shares of primary energy



*Includes biofuels

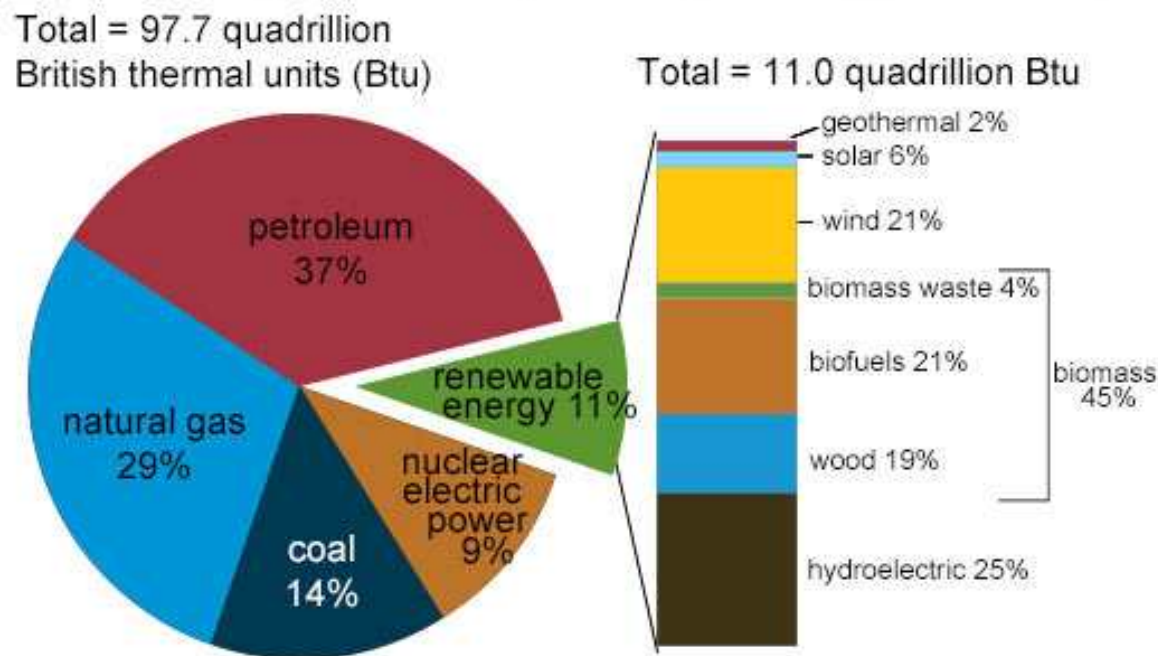
Annual demand growth by fuel



(Source: BP 2016)

에너지 공룡인 미국의 에너지원

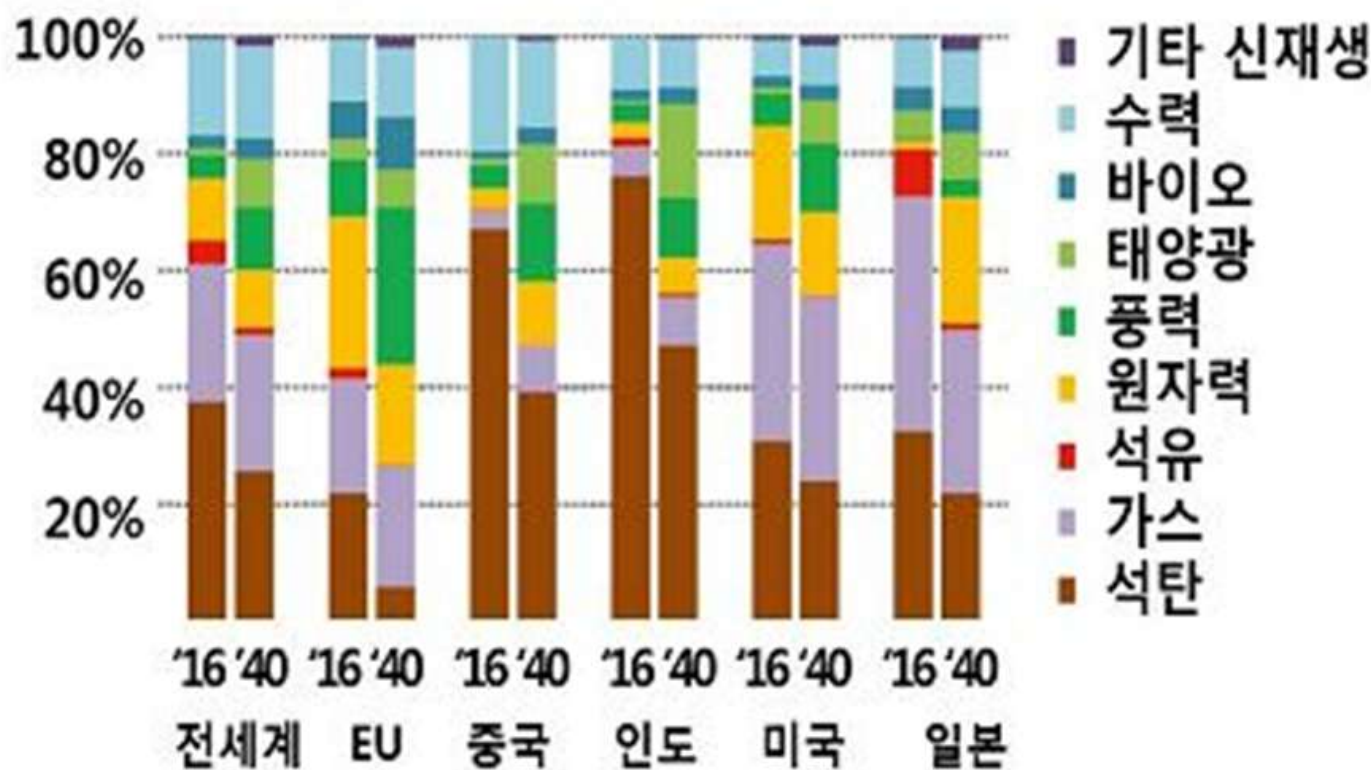
- 석유(**37%**)-가스(29%)-석탄(14%): 80% (2017)
- 신재생 (11%) 중 바이오매스가 45% 차지



Note: Sum of components may not equal 100% because of independent rounding.
 Source: U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, Table 1.3 and 10.1, April 2018, preliminary data.

각 국의 다양한 전력 원 구성

- 선진국: 신재생 중심으로 재편
- 중국, 인도: **70%** 이상 석탄



화석연료란 ?

- 유기물이 지하내부에 매장되어 고온고압상태에서 만들어짐
- 고체, 액체, 기체 상태로 존재 가능
: 석탄, 석유, 가스
- 현재 전체 에너지원의 대부분 차지

화석연료별의 특성

Increasing Energy Content

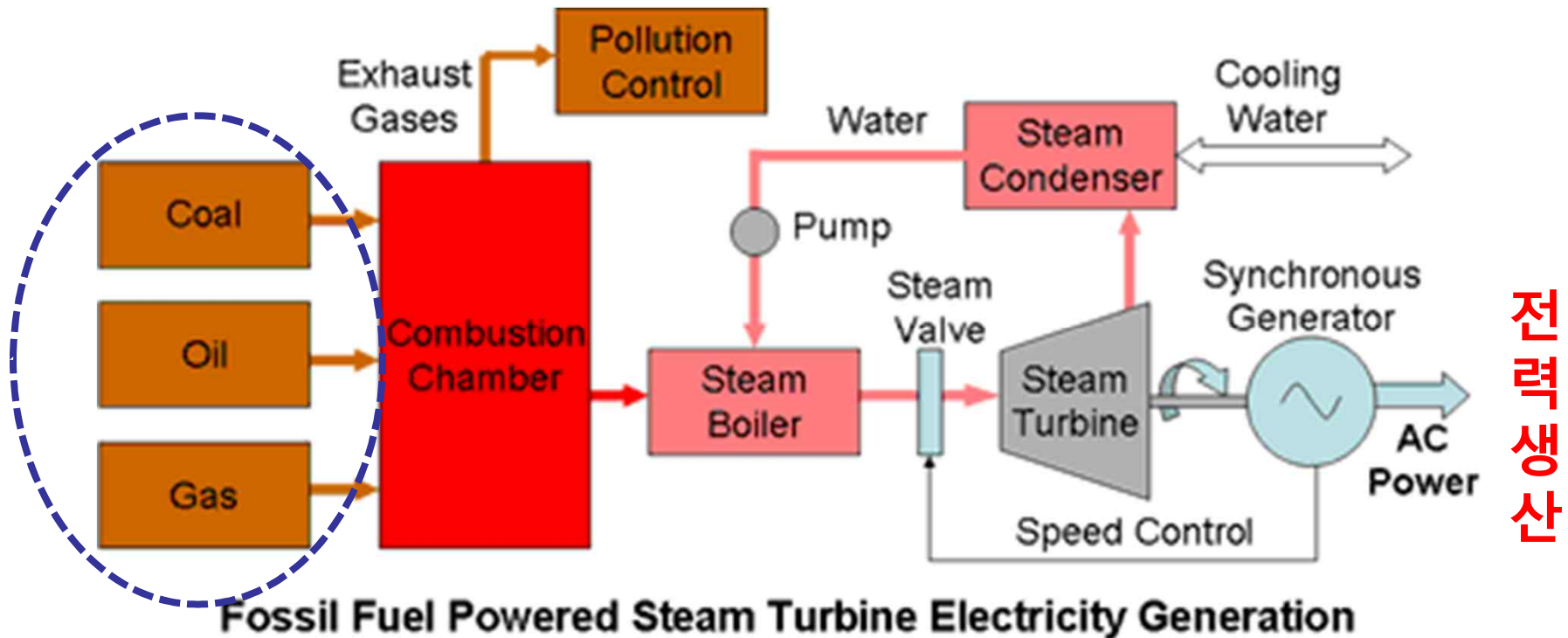
Increasing H/C Ratio

Increasing CO₂ generation

natural gas > petroleum > coal

화석연료와 전력

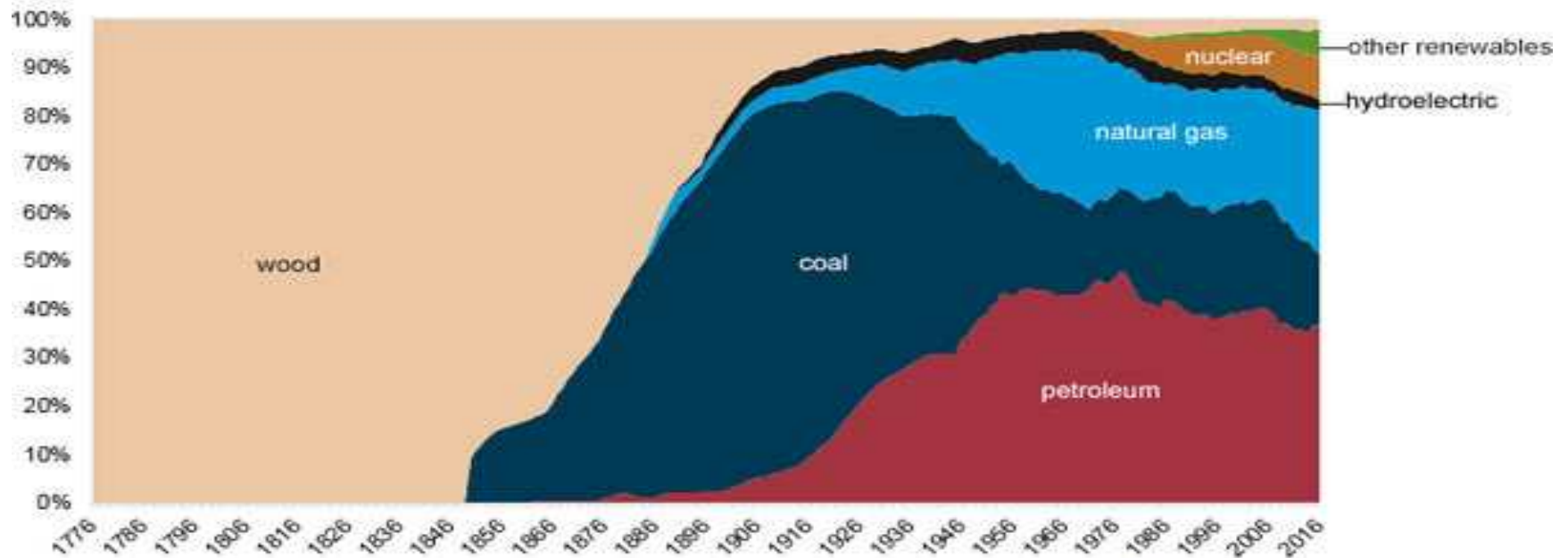
- 환경문제의 화석연료 vs. 친환경 전력
- 전력의 공급원은 화석연료 !



화석연료의 변천사

- Wood- coal- petroleum-gas-?
- 인류의 문명과 산업 발전에 따라 변화

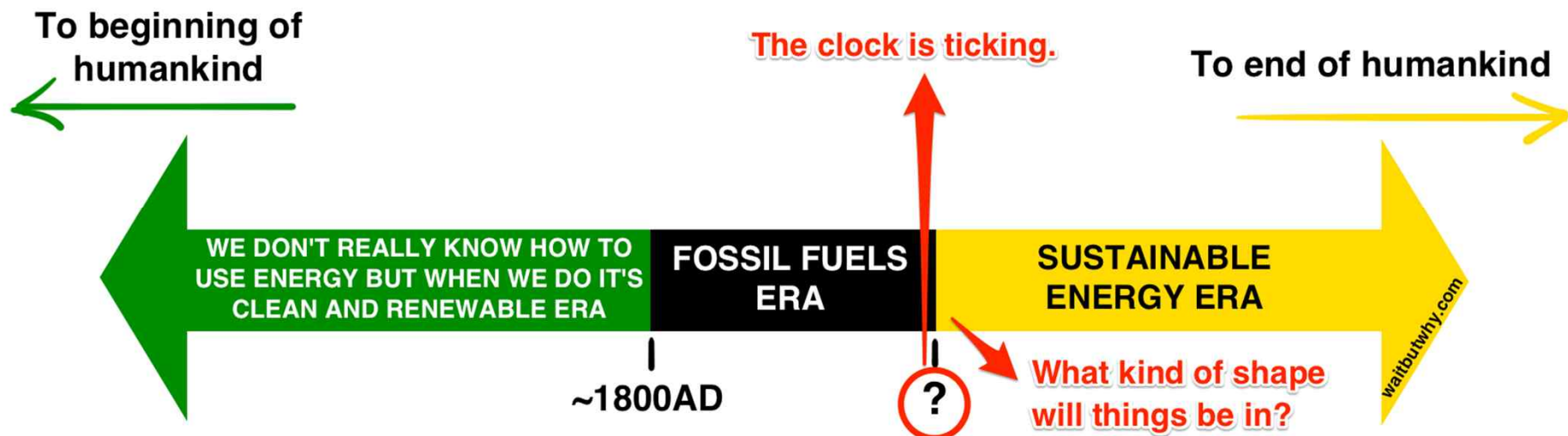
Share of U.S. energy consumption by major sources, 1776–2016



Source: U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, April 2017, preliminary data for 2016

인류와 에너지

- 인류의 역사와 함께 변화
- 깨끗한 재생에너지-화석연료-지속가능에너지



신재생에너지의 탄생

- 1979년 미국 카터 정부: 태양열 온수 난방 장치 백악관에 설치 -> 2000년까지 신재생 몫 20%
- 2010년 에너지의 8% 차지 (바이오 제외 시 1.5%)
- 에너지공급, 안보, 기후변화 문제 해결을 위한 핵심사항으로 각광: 잃어버린 25년
- 재생에너지 전 세계적으로 확장 추세: 유럽국가 2020년까지 20% 목표
- 타 에너지원가격, 세계 경기와 맞물려 부침 반복: 국가 정책적 뒷받침으로 지속성장 가능성

신재생에너지 분류와 종류

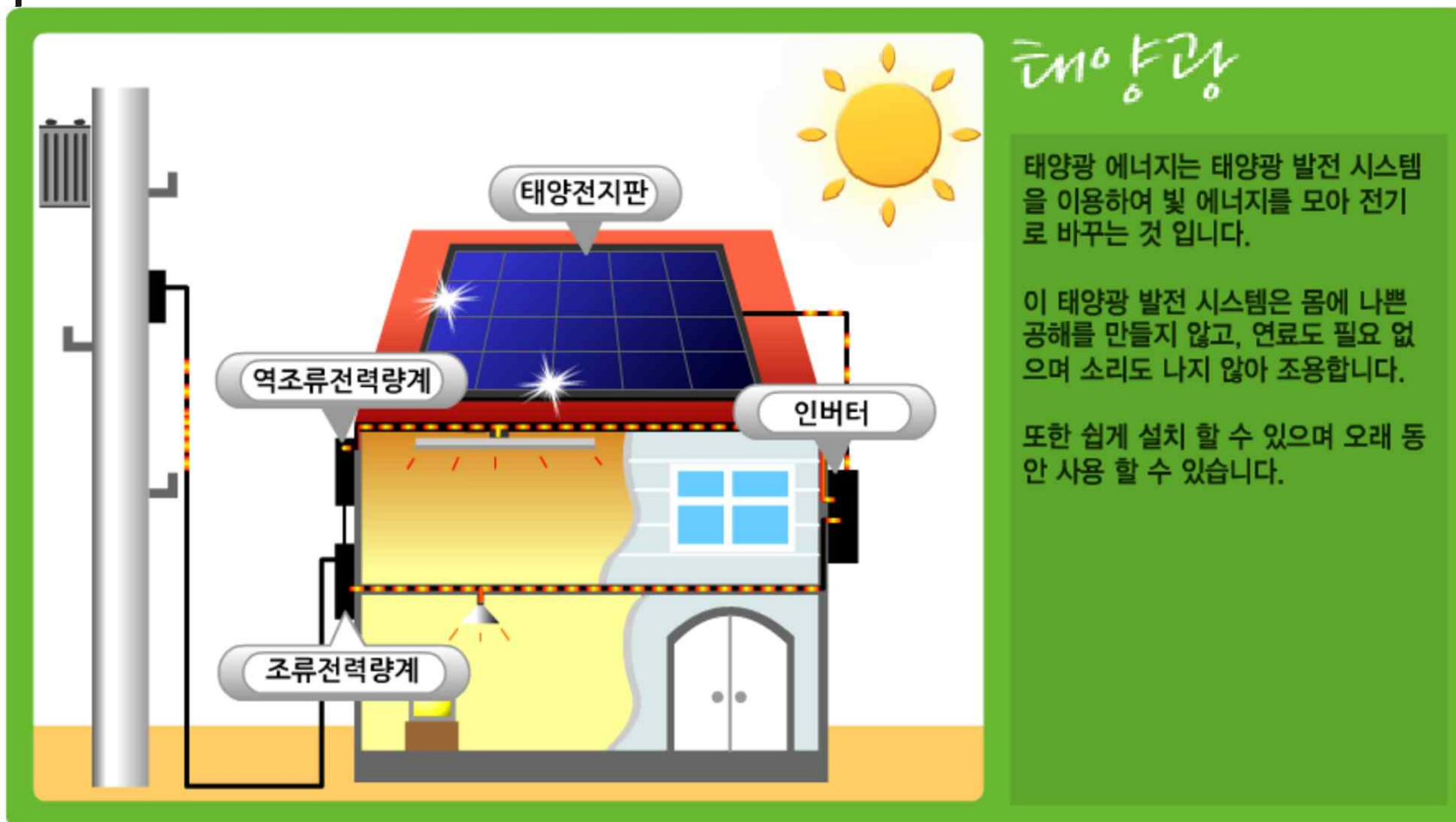
- 고갈 안되고 환경 친화적인 에너지
 - 풍력: 바람을 이용한 전력 생산
 - 태양광: 빛 에너지를 전류로 전환
 - 바이오 연료: 식물에서 에탄올, 바이오디젤 등 추출
 - 바이오 매스: 식물연료나 동물의 분뇨 연소
 - 지열: 지하의 열을 활용
 - 수력: 낙수나 가압수 활용 전력생산
 - 태양열: 에너지 효율 향상을 통한 친환경 건물
- 폐기물 에너지, 전기자동차 배터리

10-2: 신재생에너지의 특성

신재생에너지 종류

- 태양광: 빛 에너지를 전류로 전환
- 태양열: 에너지 효율 향상을 통한 친환경 건물
- 풍력: 바람으로 터빈을 회전시켜 전력 생산
- 연료전지:
 - 바이오 연료: 식물에서 에탄올, 바이오디젤 등 추출
 - 바이오 매스: 식물연료나 동물의 분뇨 연소로 열 발생
- 지열: 지하의 열을 활용
- 수력: 낙수나 가압수 활용 전력생산

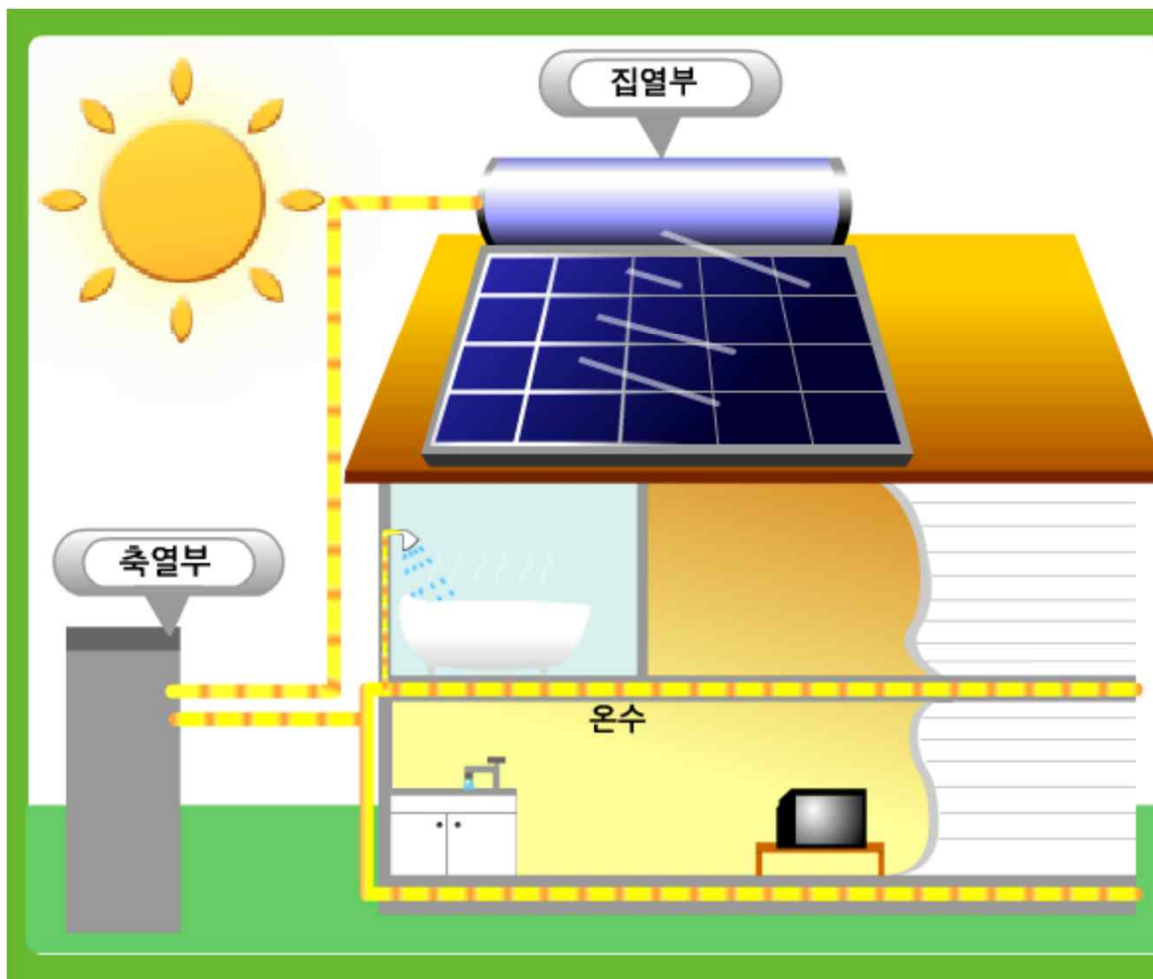
태양광-발전시스템



태양광 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> •에너지원이 청정·무제한 •필요한 장소에서 필요량 발전가능 •유지보수가 용이, 무인화 가능 •긴수명 (20년 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> •전력생산량이 지역별 일사량에 의존 •에너지밀도가 낮아 큰 설치면적 필요 •설치장소가 한정적, 시스템 비용이 고가 •초기투자비와 발전단가 높음

태양열- 난방장치



태양열

태양에서는 따뜻한 열이 나옵니다. 이러한 열 에너지를 이용하여 바로 사용 하거나 한꺼번에 모아 사용 함으로써 집을 따뜻하게 하고 물을 데우는데 사용 하는데 이러한 장치가 태양열 난방 장치 입니다.

풍력



풍력

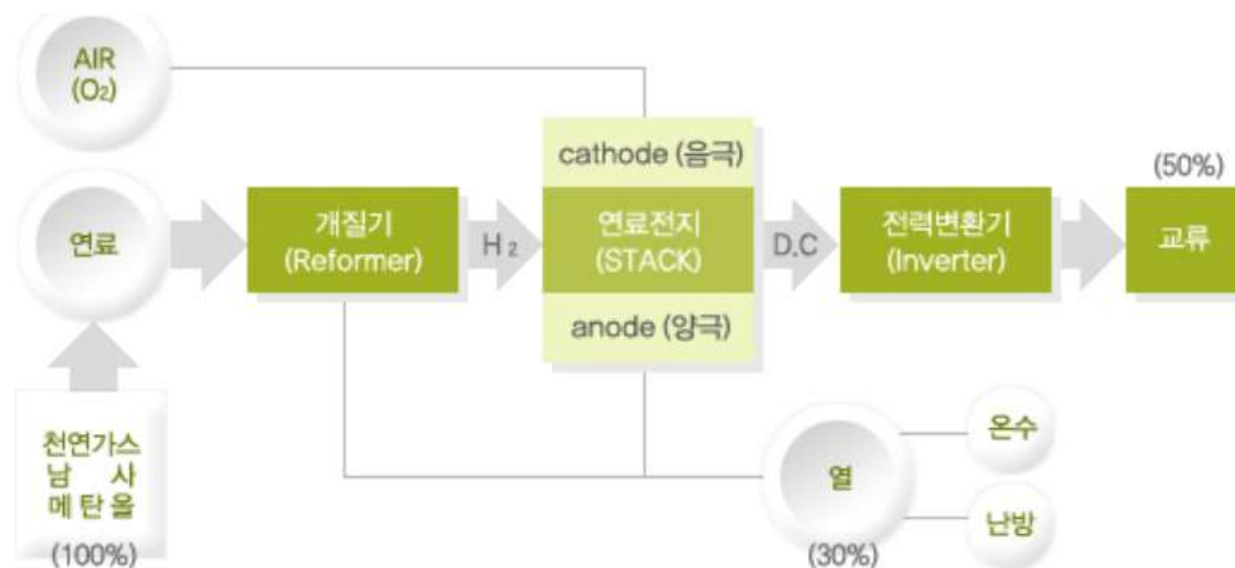
풍력발전은 바람 힘을 이용한 것으로 바람이 풍차의 날개를 돌리면 날개는 발전기라는 전기 발생 장치에 연결되어 전기를 생산하고 생산된 전기는 바로 사용하거나 전기를 보내는 전선망을 이용하여 전기를 필요로 하는사람들에게 보내줍니다.

우리나라는 바람이 많이 부는 산이나 해안선이 길은 바다가 있어 풍력발전 설치 시 많은 전기를 생산할 수 있습니다.

연료전지-수소와 산소 반응



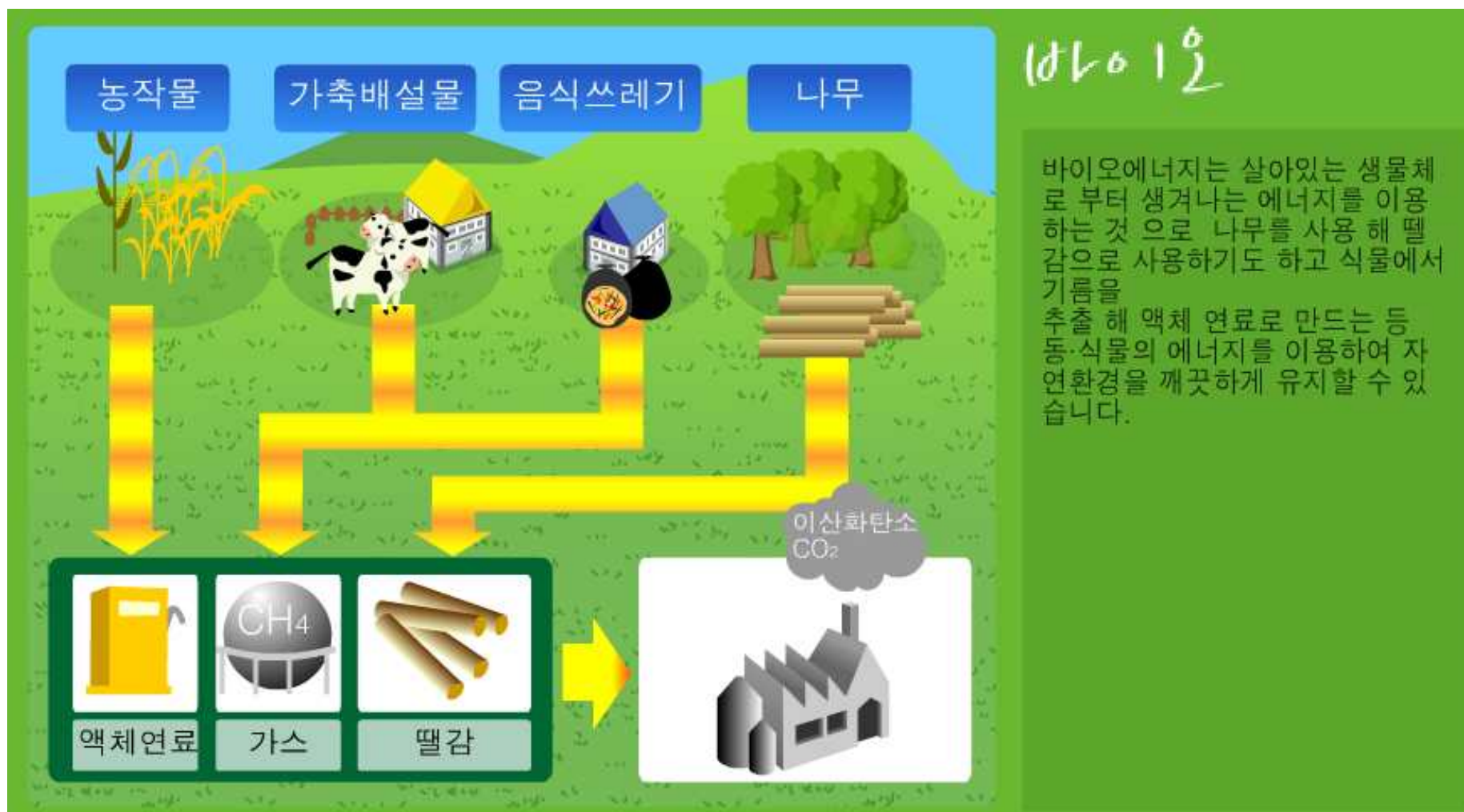
- 연료중 수소와 공기중 산소가 전기 화학 반응에 의해 직접 발전
- 1. 연료극에 공급된 수소는 수소이온과 전자로 분리
- 2. 수소이온은 전해질층을 통해 공기극으로 이동, 전자는 외부회로를 통해 공기극으로 이동
- 3. 공기극 쪽에서 산소이온과 수소이온이 만나 반응생성물(물)을 생성
⇒ 최종적인 반응은 수소와 산소가 결합하여 전기, 물 및 열 생성



수소에너지

- 수소에너지기술은 물, 유기물, 화석연료 등의 화합물 형태로 존재하는 수소를 분리, 생산해서 이용하는 기술
- 수소는 물의 전기분해로 가장 쉽게 제조할 수 있으나 입력에너지(전기에너지)에 비해 수소에너지의 경제성이 너무 낮으므로 대체전원 또는 촉매를 이용한 제조기술 연구
- ※ 에너지보존법칙상 입력에너지(수소생산)가 출력에너지(수소이용)보다 큰 근본적인 문제가 있음

바이오 에너지



바이오 에너지기술

- 바이오에너지 기술이란
바이오매스(**Biomass**, 유기성 생물체를
총칭)를 직접 또는 생·화학적, 물리적
변환과정을 통해
- 액체, 가스, 고체연료나 전기·열에너지
형태로 이용하는 화학, 생물, 연소공학
등의 기술을 일컬음

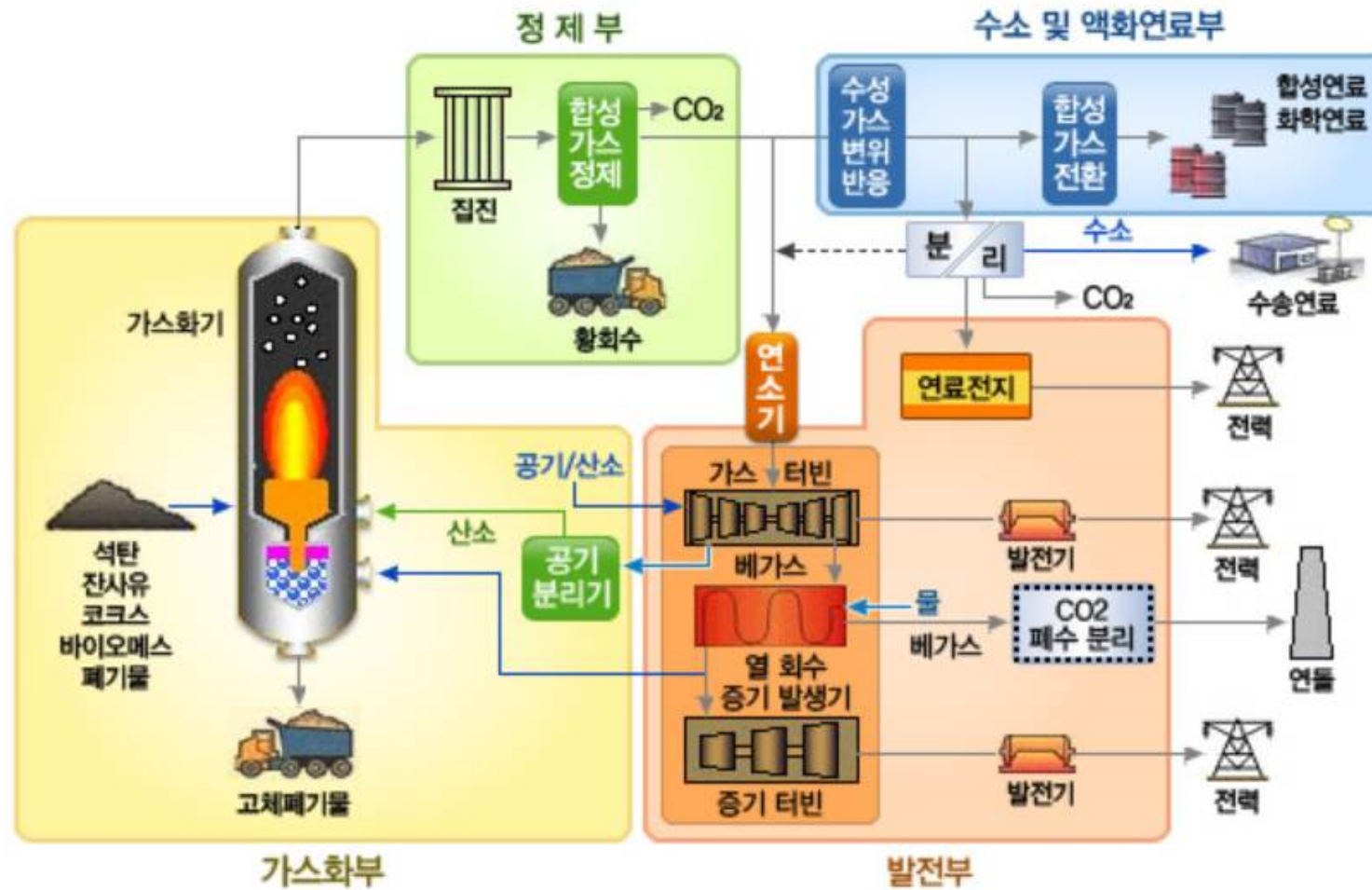
폐기물



폐기물 에너지

- 폐기물에너지는 폐기물을 변환시켜 연료 및 에너지를 생산하는 기술
- 사업장 또는 가정에서 발생하는 가연성 폐기물 중 에너지 함량이 높은 폐기물을 열분해에 의한 오일화, 성형고체 연료
- 가스화에 의한 가연성 가스 제조기술 및 소각에 의한 열회수 기술 등의 가공·처리 방법을 통해 고체 연료, 액체 연료, 가스 연료, 폐열 등을 생산하여 에너지로 이용될 수 있도록 재생에너지임

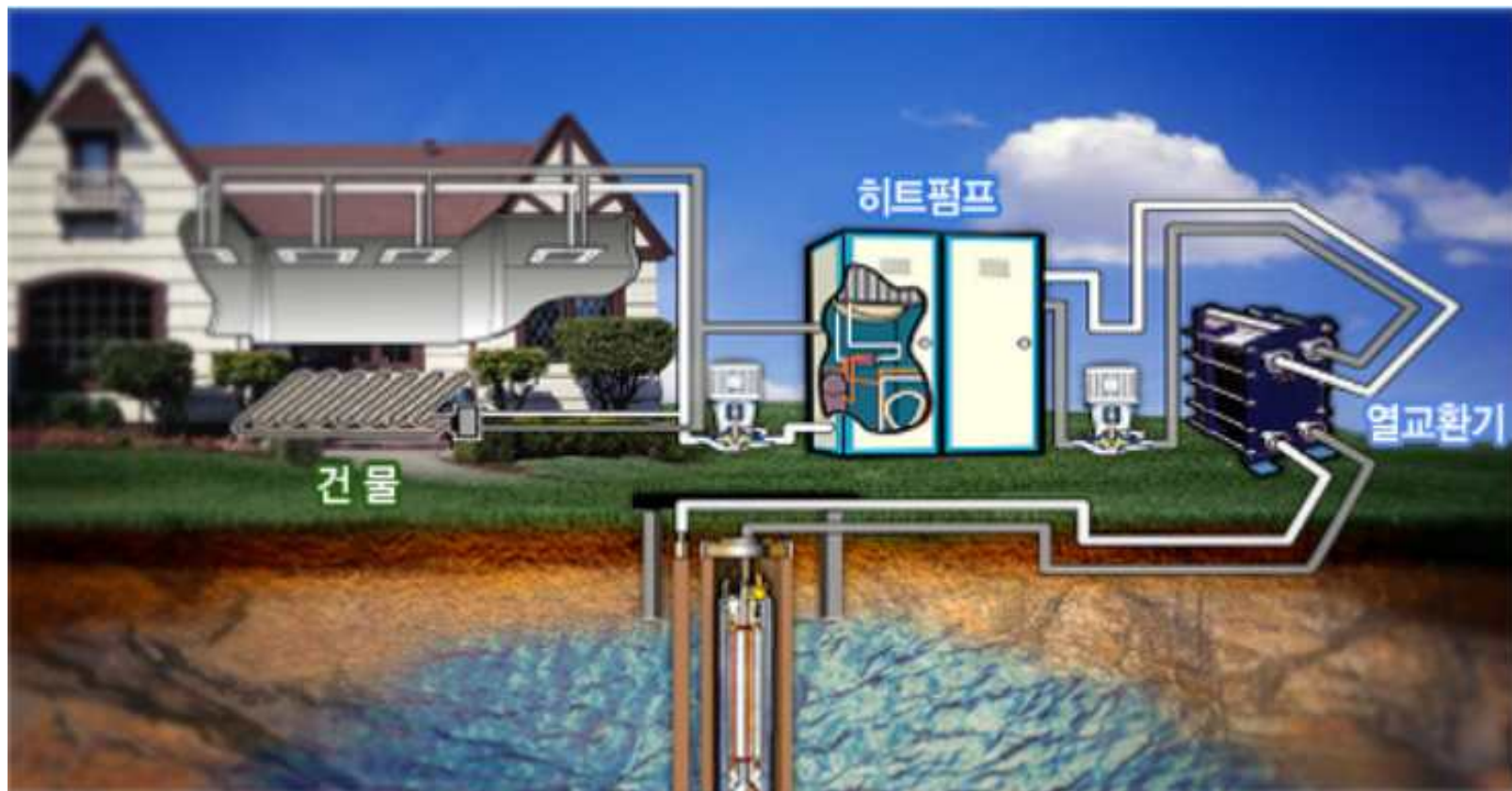
석탄가스화-액화



석탄가스화-액화

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> •고효율 발전 •SOx를 95%이상, NOx를 90% 이상 저감 하는 환경친화기술 •다양한 저급연료를 활용한 전기생산 가능, 화학플랜트 활용, 액화연료 생산 등 다양한 형태의 고부가가치의 에너지화 	<ul style="list-style-type: none"> •소요 면적이 넓은 대형 장치 산업으로 시스템 비용이 고가이므로 초기 투자비용이 높음 •복합설비로 전체 설비의 구성과 제어가 복잡하여 연계 시스템의 최적화, 시스템 고효율화, 운영 안정화 및 저비용화가 요구됨

지열



지열에너지

- 지열에너지는 물, 지하수 및 지하의 열 등의 온도차를 이용하여 냉·난방에 활용하는 기술
- 태양열을 흡수한 땅속의 온도는 지형에 따라 다르지 지표면 가까운 땅속의 온도는 약 $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 정도 유지해 열펌프를 이용하여 냉난방시스템에 이용
- 우리나라 일부지역의 심부(지중 1 ~ 2 km) 지중온도는 80°C 정도로서 직접 냉난방에 이용 가능
- 지열 발전: 심부에 물을 순환시켜 발전에 이용

수력

- 수력발전은 물의 유동 및 위치에너지를 이용하여 발전
- 밤에 남은 전기를 이용하여 양수발전에 활용

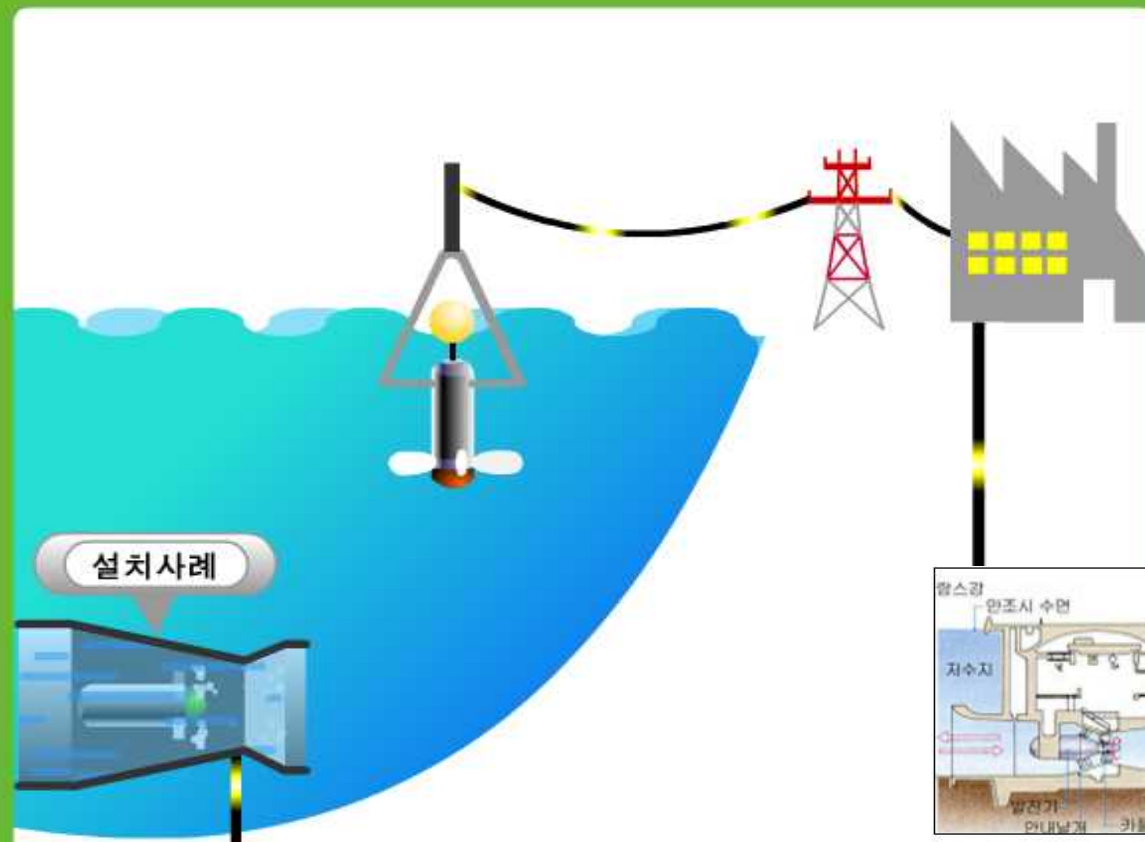


해양에너지 종류

구분	조력발전	파력발전	조류발전	온도차발전
입지조건	<ul style="list-style-type: none"> •평균조차 : 3m이상 •폐쇄된 만의 형태 •해저의 지반이 강고 •에너지 수요처와 근거리 	<ul style="list-style-type: none"> •자원량이 풍부한 연안 •육지에서 거리 30km미만 •수심 300m미만의 해상 •항해, 항만 기능에 방해되지 않을 것 	<ul style="list-style-type: none"> •조류의 흐름이 2m/s 이상인 곳 •조류흐름의 특징이 분명한 곳 	<ul style="list-style-type: none"> •연중 표·심층수와 온도차가 17℃ 이상인 기간이 많을 것 •어업 및 선박 항행에 방해되지 않을 것

해양에너지의 이용



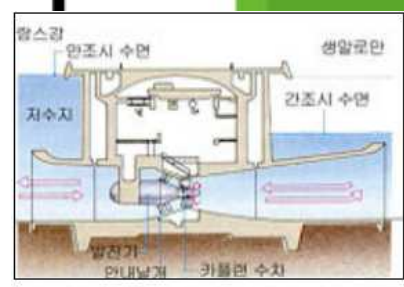



설치사례

해양


해양에너지는 바다에서 발생하는 에너지로서 파도가 칠때 사용 할 수 있는 파력에너지,

바다속과 바다 표면의 온도의 차를 이용해 만드는 온도차 에너지, 밀물과 썰물 때의 물의 깊이가 달라지는 현상인 조력에너지 등이 있으며 이러한 여러 에너지를 이용하여 전기를 생산할 수 있습니다.

신재생에너지의 문제점

- 지속적인 에너지 생산이 어려움
 - 풍력, 태양광
 - 대규모 저장장치 필수
- 사회적 환경적 영향
 - 식량문제
 - 지표 사용 면적
 - 막대한 심리적 동경
- 접근성
- 기술 성숙도
- 비용
- climate change 관련 정부의 정책적 지원
- 에너지저장 기술 없이는 어려움, 중간단계로 원자력, 이산화탄소 지중저장(CCS), 에너지효율 향상 추진
- 새로운 에너지 저장장치 기술 혁신 필요
- 신재생에너지에 대한 경제성 분석 미비

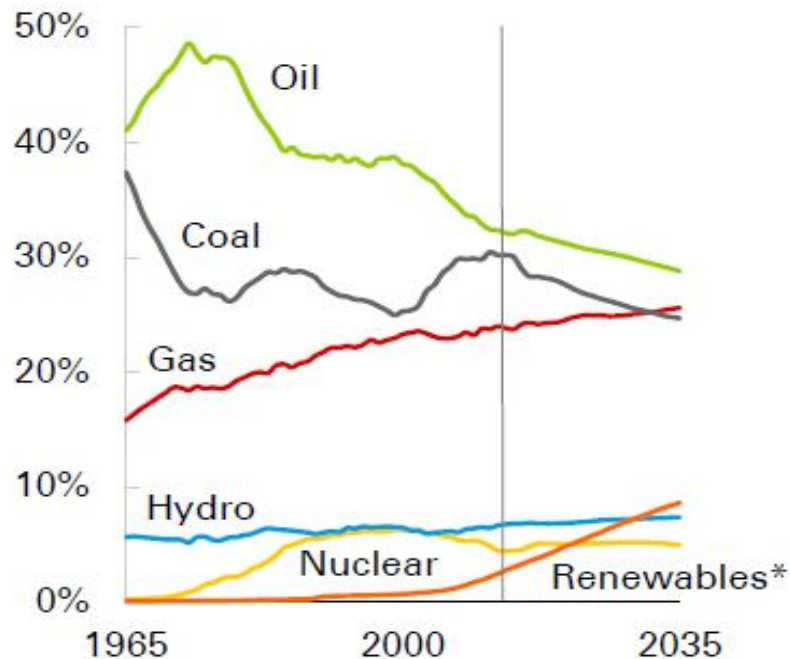


10-3 : 에너지믹스와 신재생에너지의 역할

에너지 유형별 수요 변동 예상

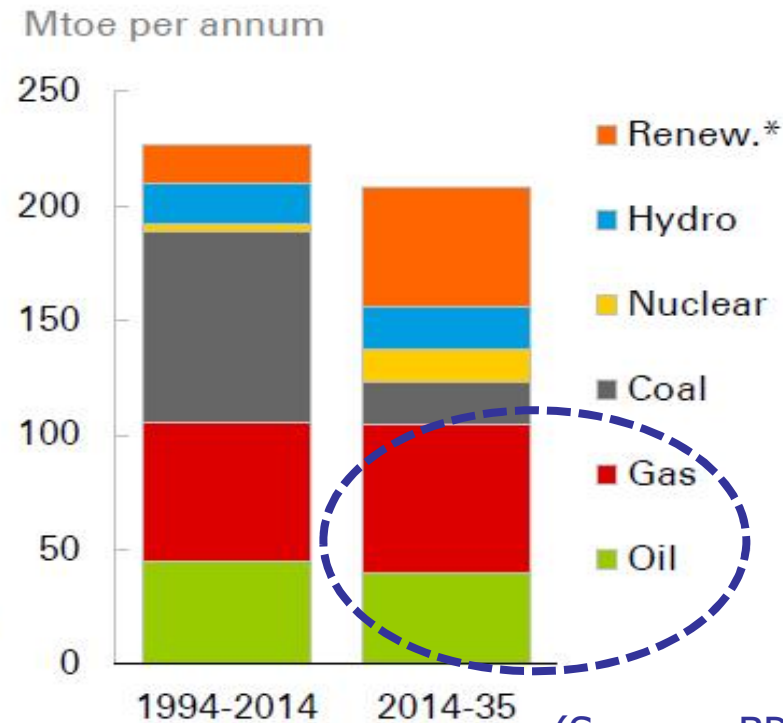
- 석유-석탄-가스 (2015) → 석유-가스-석탄 (2035년)
- 화석연료 비중은 감소하지만 수요량은 지속적으로 증가

Shares of primary energy



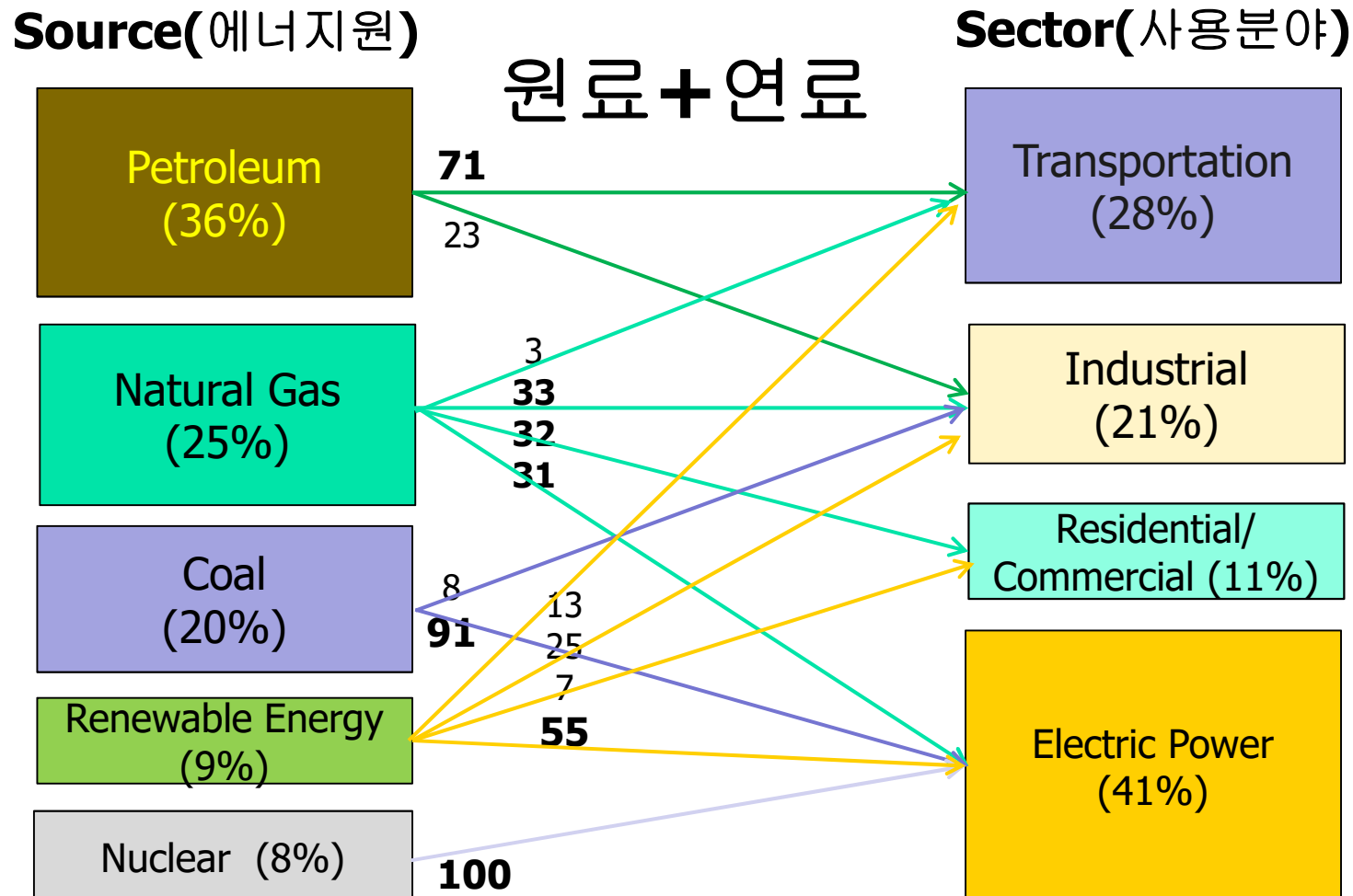
*Includes biofuels

Annual demand growth by fuel



(Source: BP 2016)

에너지원 별 사용처



Data: U.S. Energy Information Administration, 2012

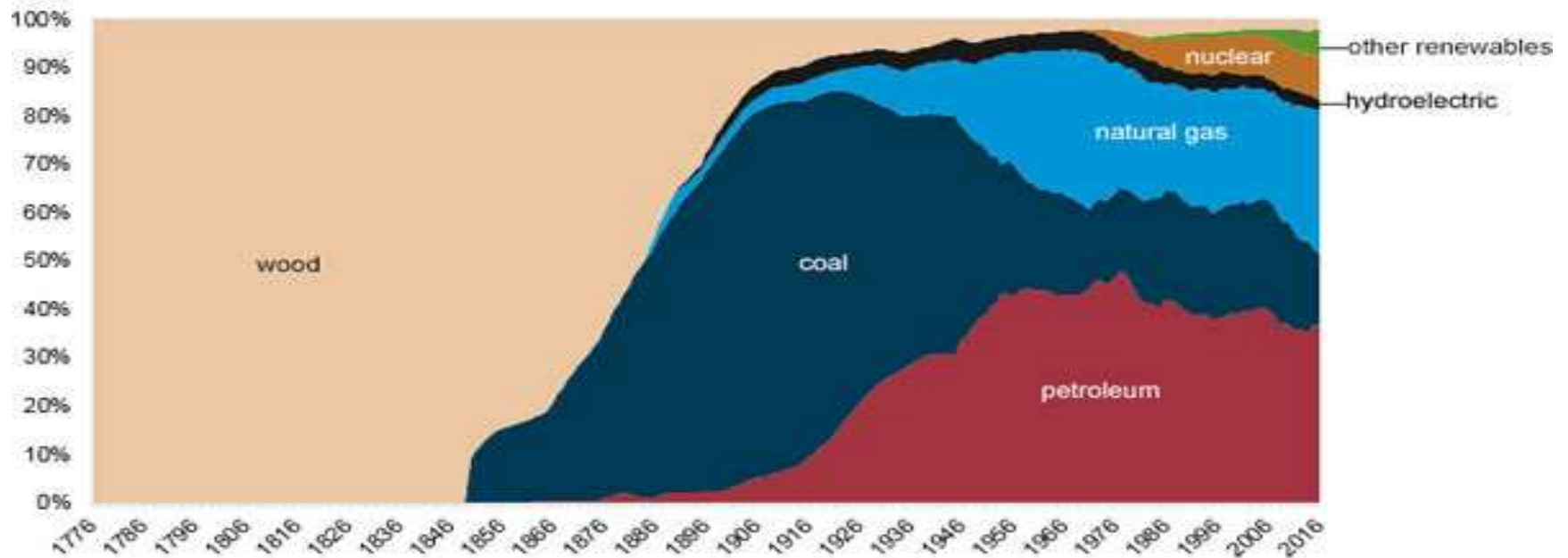
화석연료의 특징

- 석탄: 고체, C/H 높음 -> 생산의 어려움
 - 이산화탄소 방출 높음
- 석유: 액체-> 채굴 및 운반 용이
- 가스: 기체, C/H 낮음 -> 채굴용이, 상대적으로 친환경, 운송 용이 (LNG 비용)

화석연료의 변천

- Wood- coal- petroleum-gas-?
- 인류의 문명과 산업 발전에 따라 변화

Share of U.S. energy consumption by major sources, 1776–2016



Source: U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, April 2017, preliminary data for 2016

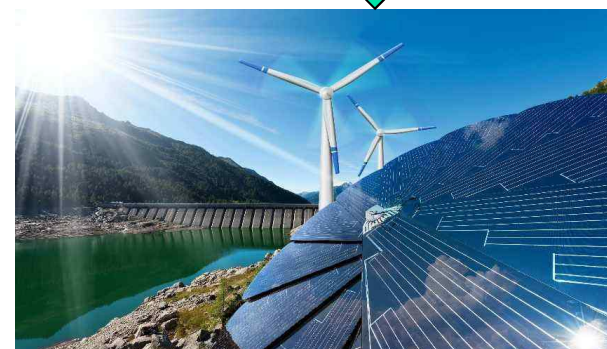
산업에 따른 에너지의 변천

- 산업혁명 이후 석탄으로 시작
- 글로벌 에너지 석유의 등장
- 원자력 에너지
- 가스의 시대
- 재생에너지

환경

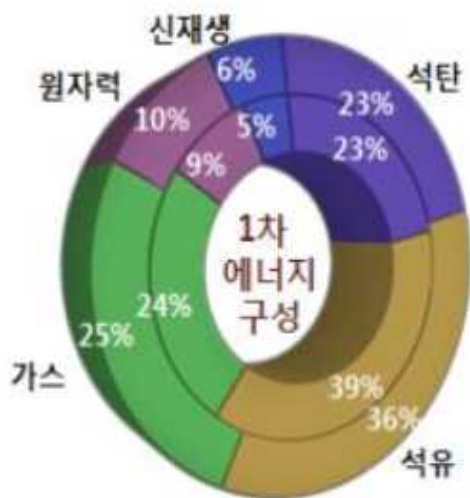
안전

지속
가능



국가별 에너지 믹스

- 에너지의 부존상황, 수입여건, 경제발전 수준, 산업구조에 따라 다름



[미국의 에너지구성]
미국



[중국의 에너지구성]

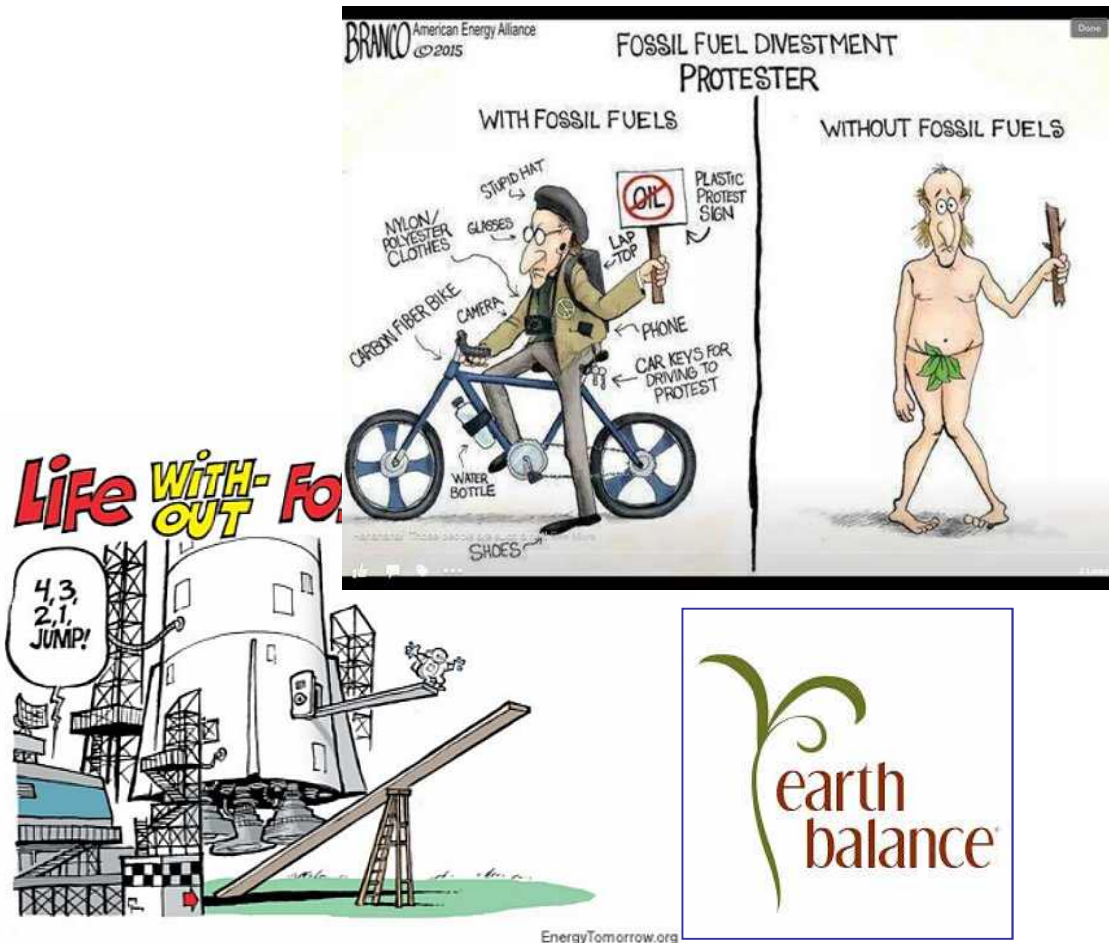


[일본의 에너지구성]



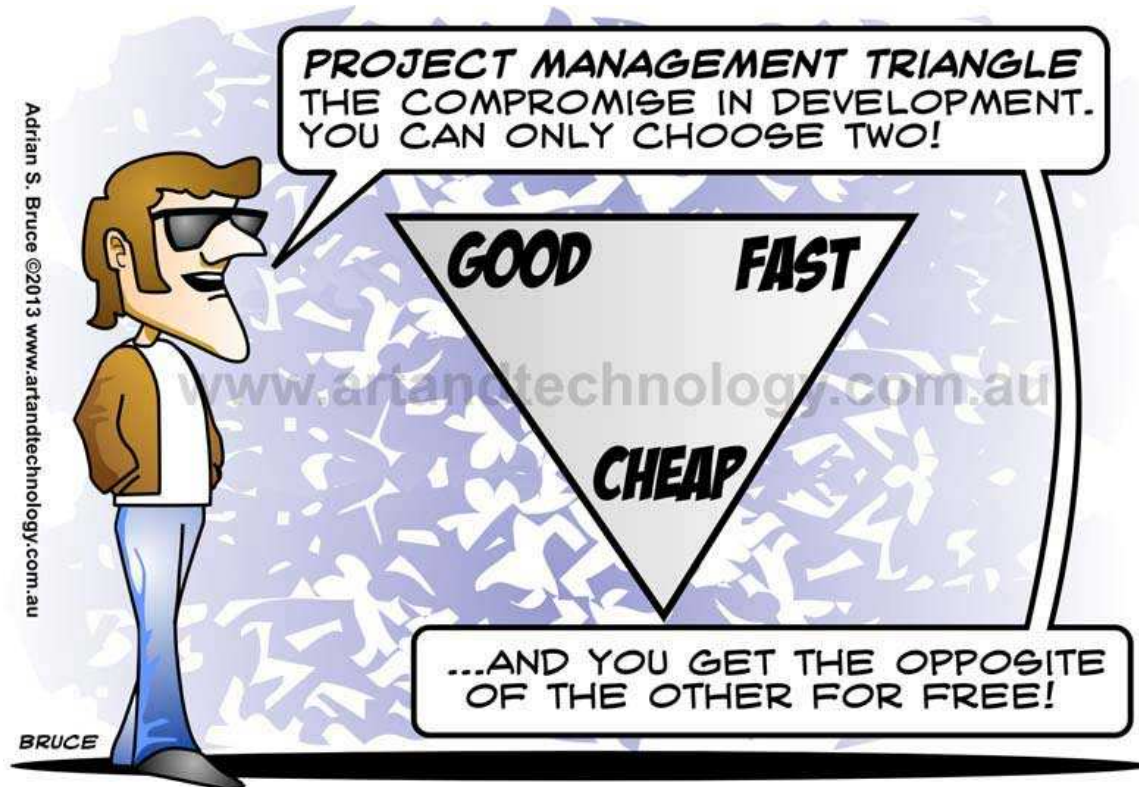
화석연료 없는 삶

- 에너지 중독, 환경 오염 : 불편 감수 필요



우리의 선택은 ?

안전+환경+경제 ??



WE OFFER 3 KINDS OF SERVICES
GOOD - CHEAP - FAST

BUT YOU CAN ONLY PICK TWO

GOOD & CHEAP WON'T BE **FAST**

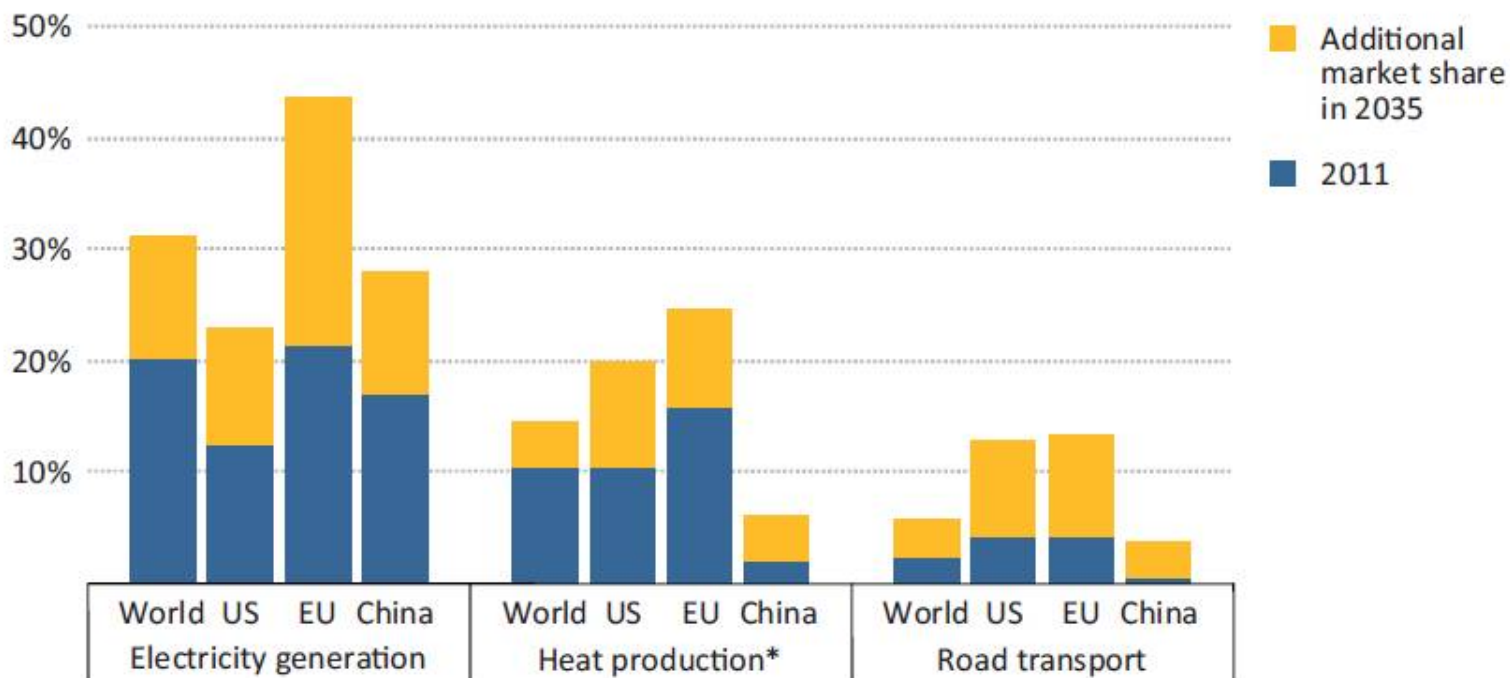
FAST & GOOD WON'T BE **CHEAP**

CHEAP & FAST WON'T BE **GOOD**

Quality – Cost – Time

신재생에너지 비율

Figure 6.1 ▷ Renewable energy share in total primary energy demand by category and region in the New Policies Scenario, 2011 and 2035



* Excludes traditional biomass. Note: US = United States; EU = European Union.

Table 6.1 ▶ World renewable energy use by type and scenario

	2011	New Policies		Current Policies		450 Scenario	
		2020	2035	2020	2035	2020	2035
Primary energy demand (Mtoe)	1 727	2 193	3 059	2 130	2 729	2 265	3 918
United States	140	196	331	191	282	215	508
Europe	183	259	362	250	326	270	452
China	298	392	509	373	445	405	690
Brazil	116	148	207	146	204	150	225
Share of global TPED	13%	15%	18%	14%	15%	16%	26%
Electricity generation (TWh)	4 482	7 196	11 612	6 844	10 022	7 528	15 483
Bioenergy	424	762	1 477	734	1 250	797	2 056
Hydro	3 490	4 555	5 827	4 412	5 478	4 667	6 394
Wind	434	1 326	2 774	1 195	2 251	1 441	4 337
Geothermal	69	128	299	114	217	142	436
Solar PV	61	379	951	352	680	422	1 389
Concentrating solar power	2	43	245	35	122	56	806
Marine	1	3	39	3	24	3	64
Share of total generation	20%	26%	31%	24%	25%	28%	48%
Heat demand* (Mtoe)	343	438	602	432	551	446	704
Industry	209	253	316	255	308	248	328
Buildings* and agriculture	135	184	286	177	243	198	376
Share of total final demand	8%	10%	12%	9%	11%	10%	16%
Biofuels (mboe/d)**	1.3	2.1	4.1	1.9	3.3	2.6	7.7
Road transport	1.3	2.1	4.1	1.9	3.2	2.6	6.8
Aviation***	-	-	0.1	-	0.1	-	0.9
Share of total transport	2%	4%	6%	3%	4%	5%	15%
Traditional biomass (Mtoe)	744	730	680	732	689	718	647
Share of total bioenergy	57%	49%	37%	50%	40%	47%	29%
Share of renewable energy demand	43%	33%	22%	34%	25%	32%	17%

신재생 발전능력

Figure 6.4 ▶ Cumulative global renewables-based capacity additions and retirements by technology in the New Policies Scenario, 2013-2035

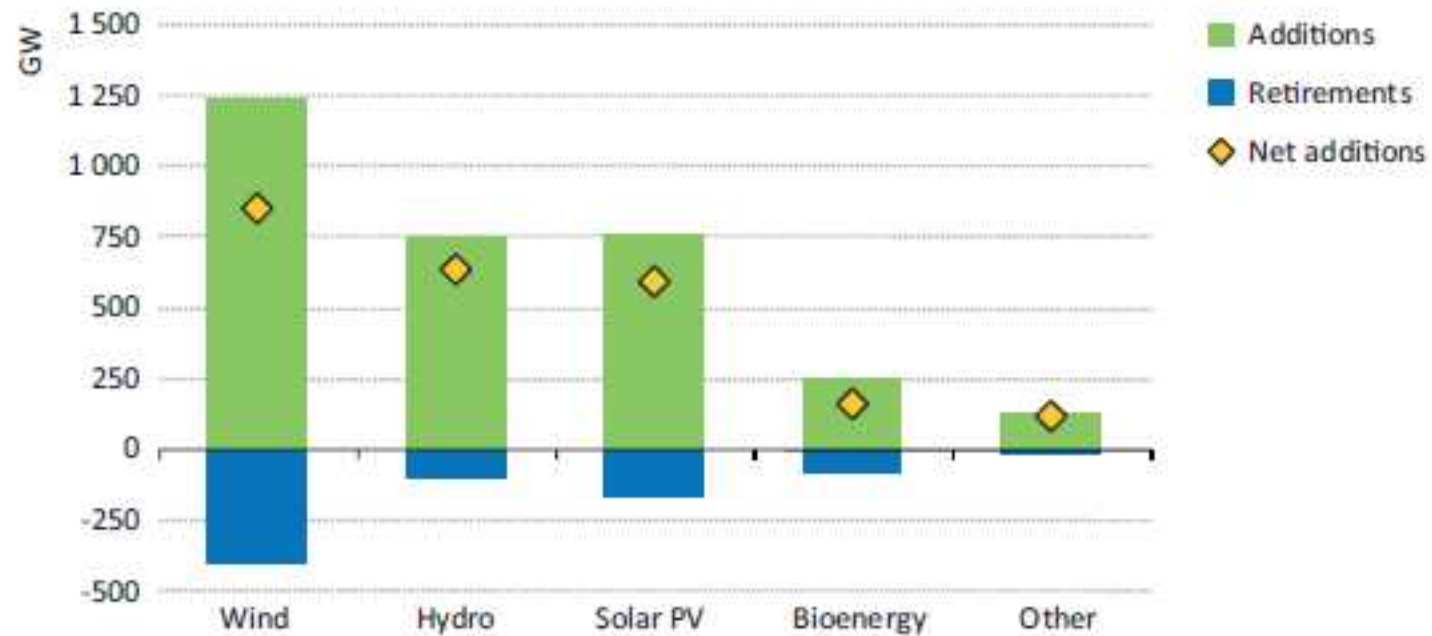
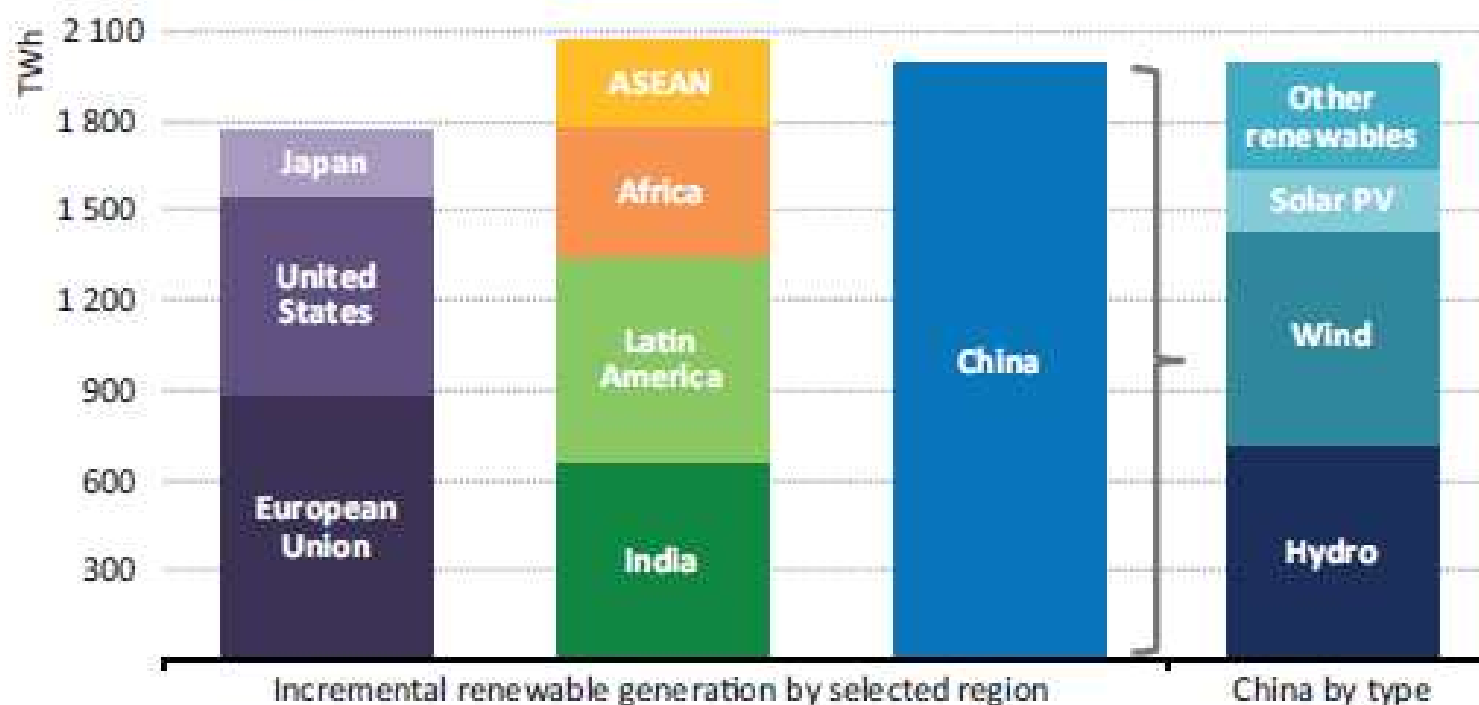


Table 6.2 ▶ Renewables-based electricity generation by region in the New Policies Scenario (TWh)

	Renewables generation				Share of total generation		Share of variable renewables* in total generation	
	2011	2020	2030	2035	2011	2035	2011	2035
OECD	2 116	2 994	3 943	4 434	19.6%	33.8%	3.6%	14.2%
Americas	1 014	1 313	1 733	1 965	19.0%	29.6%	2.6%	11.0%
United States	544	740	1 039	1 211	12.6%	23.0%	2.9%	10.7%
Europe	900	1 353	1 710	1 889	24.9%	45.2%	6.3%	21.0%
Asia Oceania	203	329	500	581	10.9%	25.5%	1.1%	10.9%
Japan	133	213	304	343	12.7%	28.2%	0.9%	11.4%
Non-OECD	2 365	4 202	6 099	7 178	20.9%	29.9%	1.0%	7.8%
E. Europe/Eurasia	290	357	457	528	16.9%	21.8%	0.2%	2.3%
Russia	169	200	265	312	16.1%	20.5%	0.0%	1.1%
Asia	1 173	2 569	3 787	4 423	16.9%	27.2%	1.4%	9.1%
China	814	1 888	2 515	2 804	17.1%	28.0%	1.5%	9.9%
India	183	350	666	850	17.4%	25.2%	2.3%	10.4%
Middle East	21	48	141	226	2.4%	12.9%	0.0%	6.8%
Africa	116	205	403	550	16.8%	36.0%	0.4%	5.6%
Latin America	765	1 023	1 312	1 451	69.0%	71.0%	0.4%	6.2%
Brazil	463	614	782	862	87.1%	79.5%	0.5%	8.9%
World	4 482	7 196	10 042	11 612	20.3%	31.3%	2.2%	10.0%
European Union	696	1 113	1 427	1 580	21.4%	43.8%	6.9%	23.1%

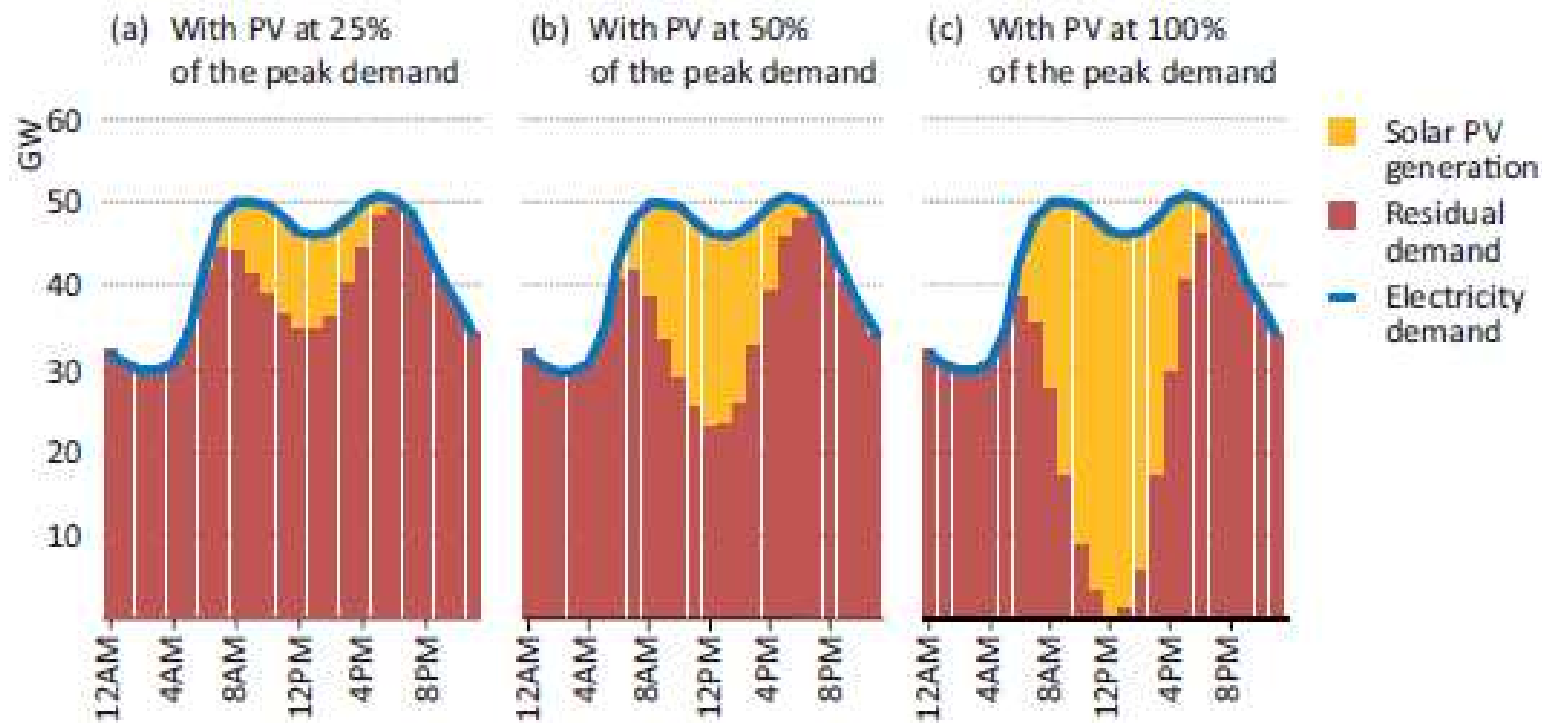
국가별 전력생산 증가분

Figure 6.2 ▶ Incremental electricity generation from renewables in selected regions, 2011-2035



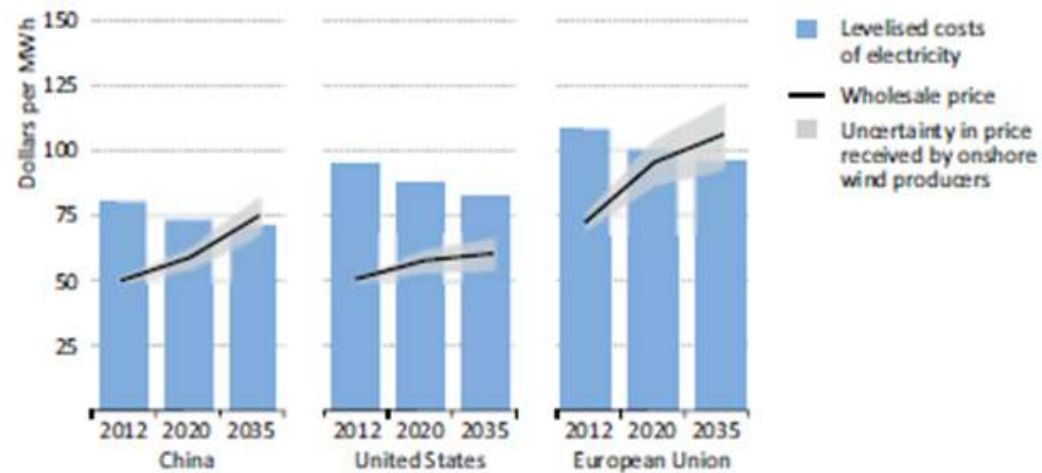
태양광발전에 따른 전력공급

Figure 6.8 ▶ Indicative hourly electricity demand and residual electricity demand with expanding deployment of solar PV

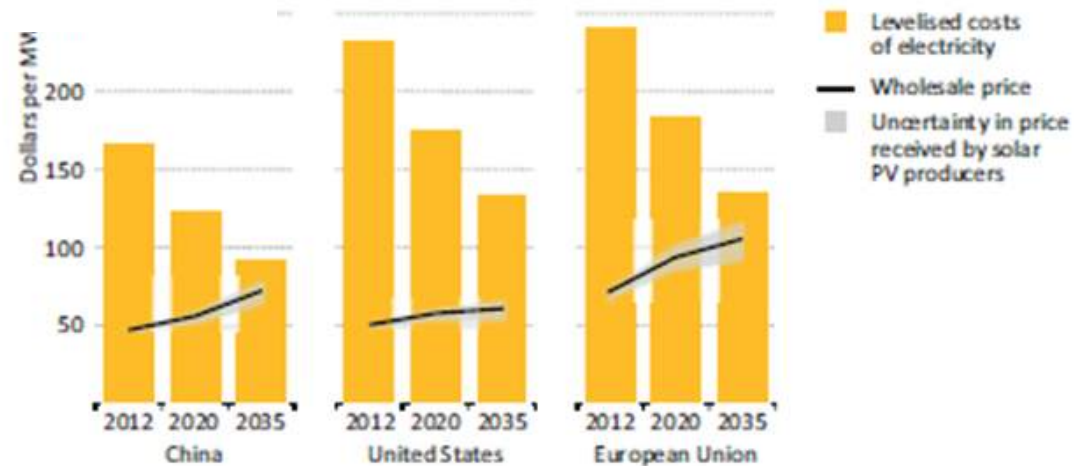


발전비용비교: 풍력 vs. 태양광

(a) Onshore wind

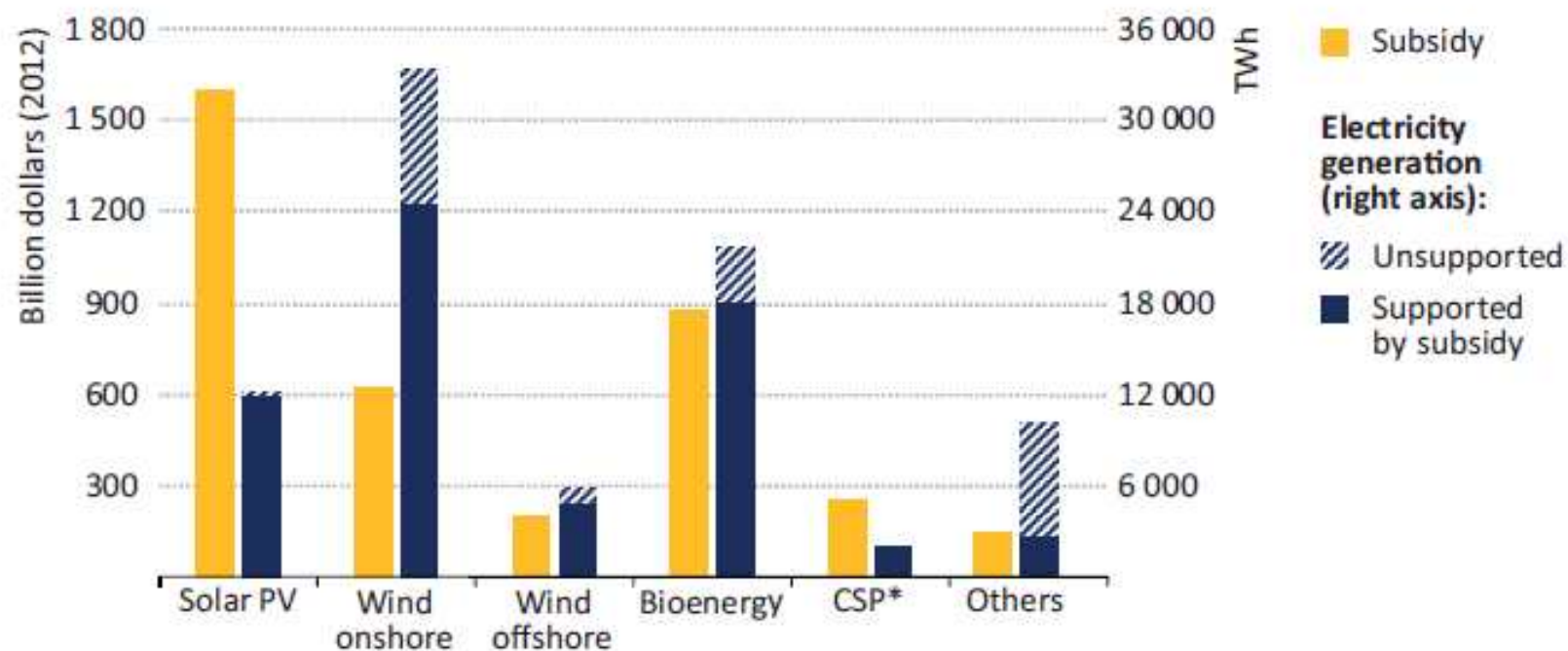


(b) Large-scale solar PV



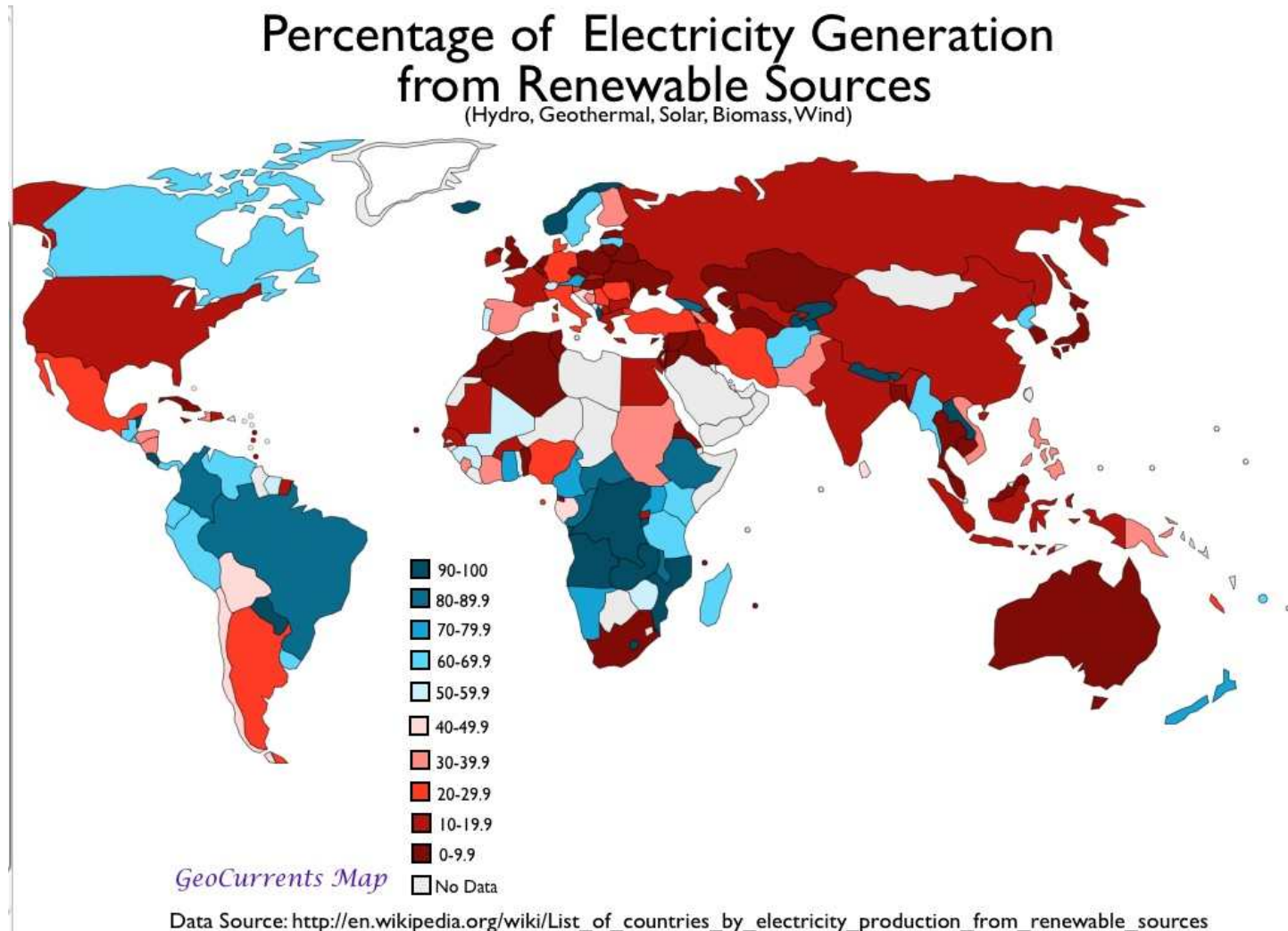
신재생에너지 보조 및 전력생산

Figure 6.16 ▶ Global subsidies for renewable electricity generation and generation by source in the New Policies Scenario, 2013-2035



* Concentrating solar power.

전력생산중 재생에너지 비율





10-4 : 한국의 신재생에너지의 가능성

한국의 에너지 구성과 화석연료

- 화석연료: 1차 에너지원의 82%
- 용도: 전력, 수송, 산업용, 가정용



(2016년도)

신재생에너지의 장점

- 에너지 안보와 에너지원 다양성
- 친환경 에너지: 지구 변화 대응
- 지속 가능 경제성 확보
- 에너지 분권화, 소형화로 많은 사람들에게 에너지 공급 가능

한국의 원별/부문별 에너지 소비

- 화석연료: 85% 이상



[원별 에너지 소비비중, 2012년]



[부문별 에너지소비 비중, 2012년]

한국의 신재생에너지 정의

- 국가별로 상이한 신재생에너지 기준
- 신에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급 촉진법 제 2조에 명시
 - 신에너지(3분야: 연료전지, 석탄액화 가스화 및 중질 잔사유 가스화, 수소에너지)
 - 재생에너지(8분야): 태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열
- 재생에너지 3020: 2030년까지 발전량 비중 20% (49 GW)를 재생에너지로

신재생에너지 보급 현황

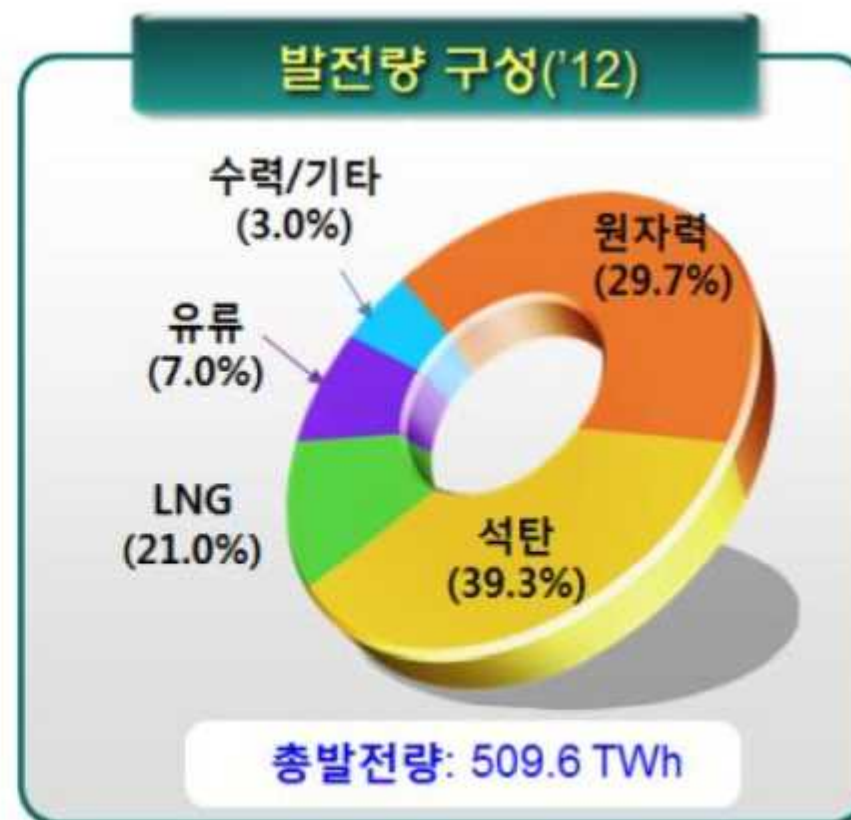
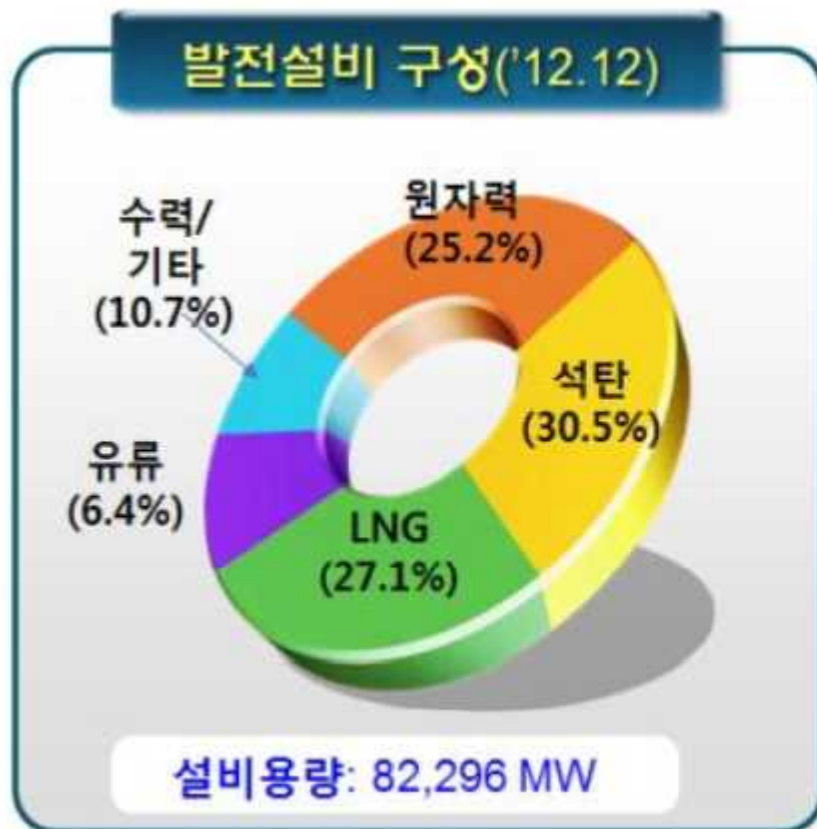
■ 2.4%(2008) → 4.8%(2016)



출처 : 한국에너지공단 신재생에너지센터「신재생에너지보급통계」

한국의 전력수급 동향

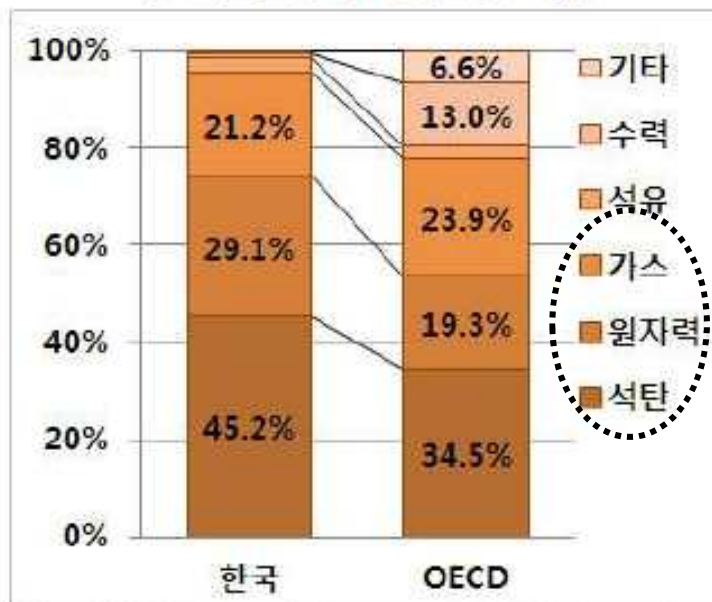
■ 석탄 - 원자력 - LNG



원료 원별 전력 생산량

- 석탄, 원자력, 가스 비중: 95.5% (OECD 평균 77%)

< 연료원별 전력 생산량 비중 >



자료: IEA, Energy Balances of OECD Countries
 주: 2011년 발전량 기준.

< 신재생에너지 발전설비 현황 >

구분	설비용량(MW)	비중
폐기물 등	1,737	51.2%
태양광	973	28.7%
풍력	513	15.1%
소수력	170	5.0%
합계	3,393	100.0%

자료: 전력통계정보시스템

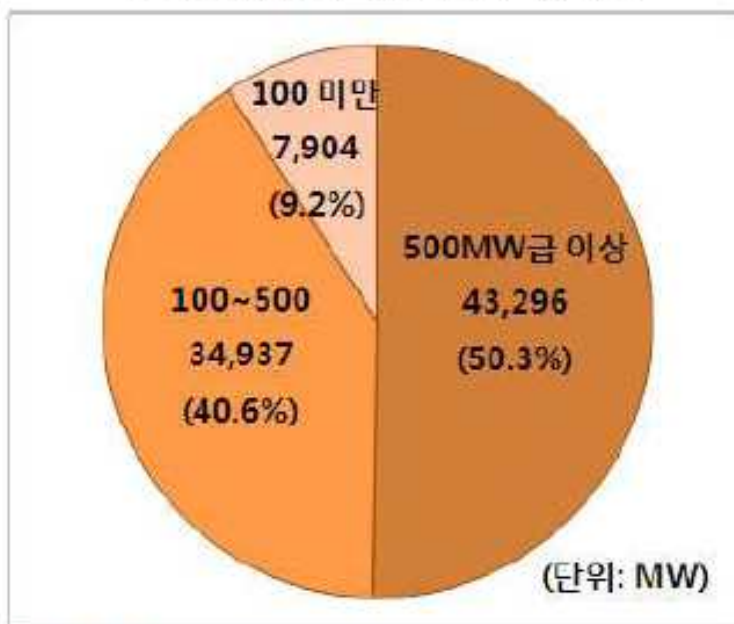
주1) 2013.10.31 기준.

주2) 폐기물 등은 매립가스, 바이오가스,
 바이오매스, 연료전지 등을 포함

국내 발전설비 현황

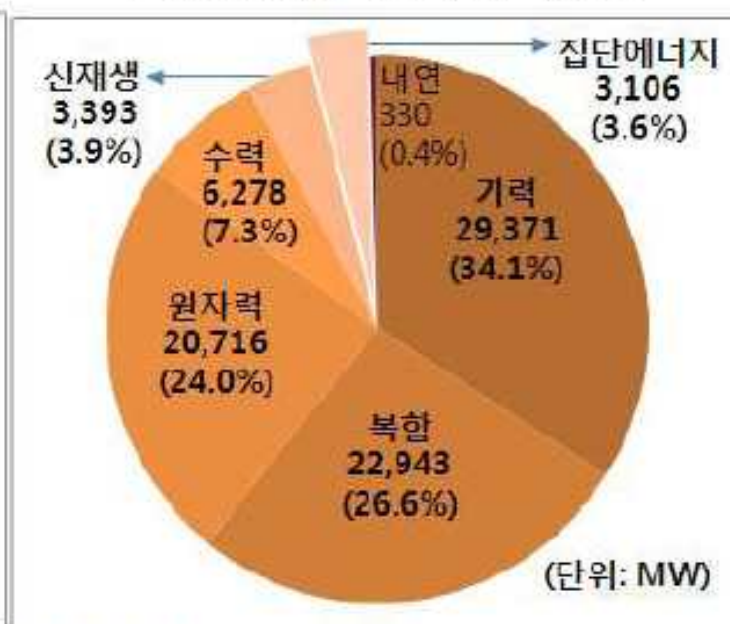
- 500 MW 대용량 설비 비중 : 50%
- 고 에너지 효율의 집단에너지 설비 낮음 : 3.6%

< 설비용량별 발전설비 현황 >



자료: 전력통계정보시스템
 주: 2013.10.31 설비용량 기준.

< 발전형식별 발전설비 현황 >

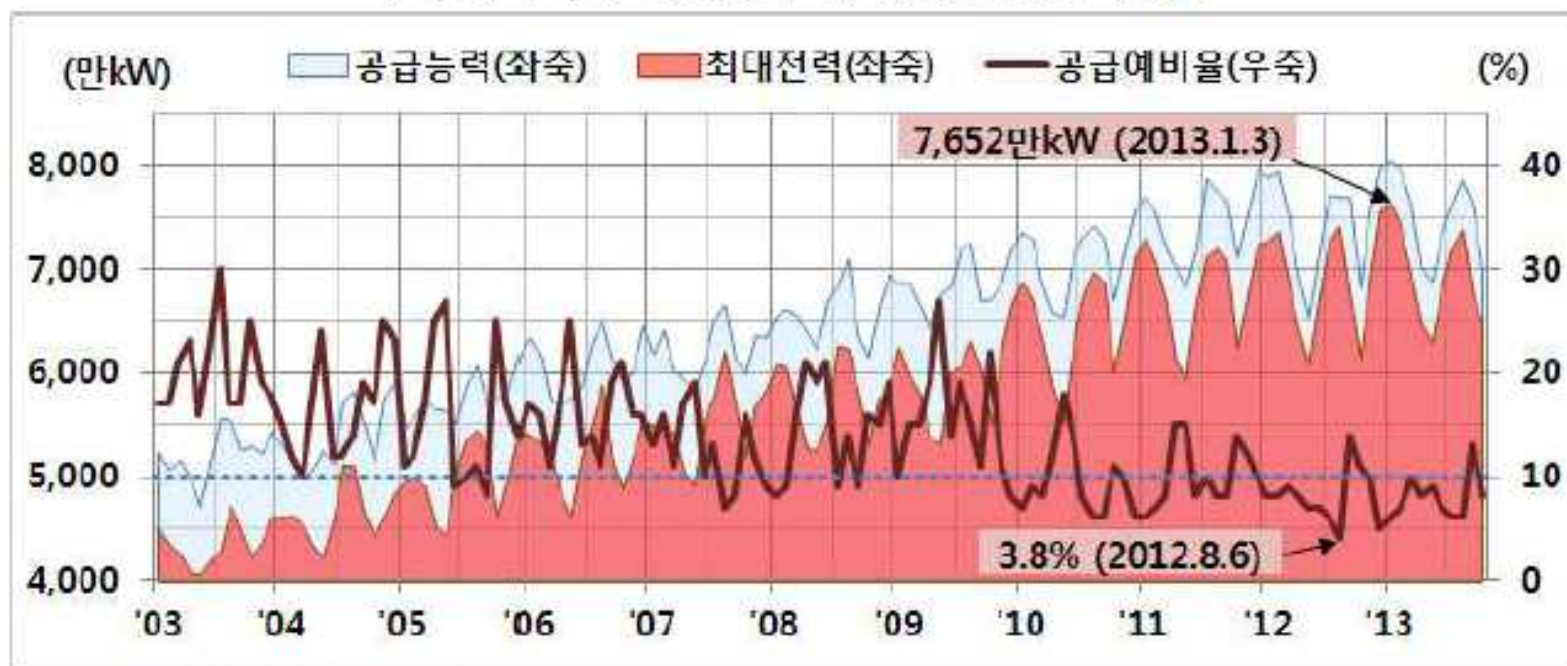


자료: 전력통계정보시스템
 주: 2013.10.31 설비용량 기준.

전력 수요 및 설비용량

- 예비율 감소: 17% (2003년) → 3.8% (2012년)
- 전력 수요증가: 낮은 전기요금

< 우리나라의 최대전력 및 공급예비율 추이 >

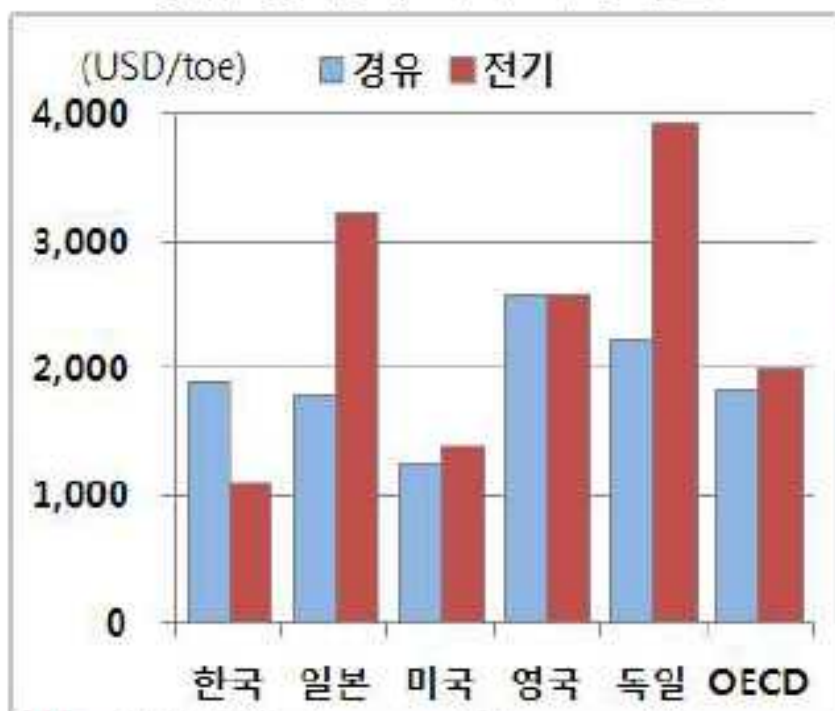


자료: 전력통계정보시스템

주: $\text{공급예비율} = (\text{공급능력} - \text{최대전력}) / \text{최대 전력}$

국가별 전기가격 비교

< 경유 및 전기 가격 국제비교 >

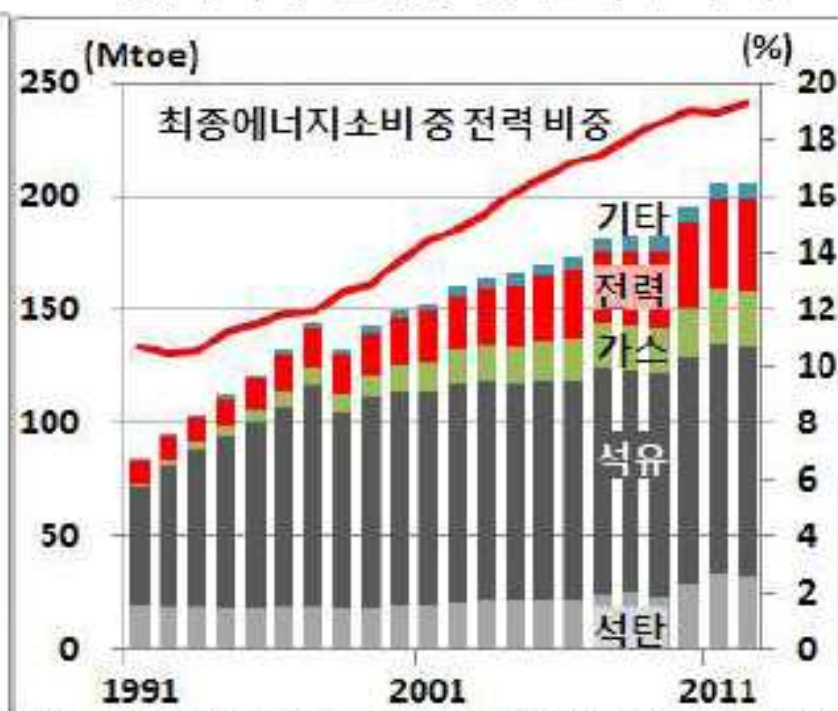


자료: IEA(2013), Energy Prices and Taxes

주1) 2012년 기준

주2) 경유는 비상업 자동차용, 전기는 주택용.

< 최종에너지 소비량 및 전기화 추이 >



자료: 통계청 자료 이용 현대경제연구원 계산.

(자료: 현대경제연구소, 2013)

국가별 전력소비 및 증가율 비교

■ 한국: OECD 국가 평균이상

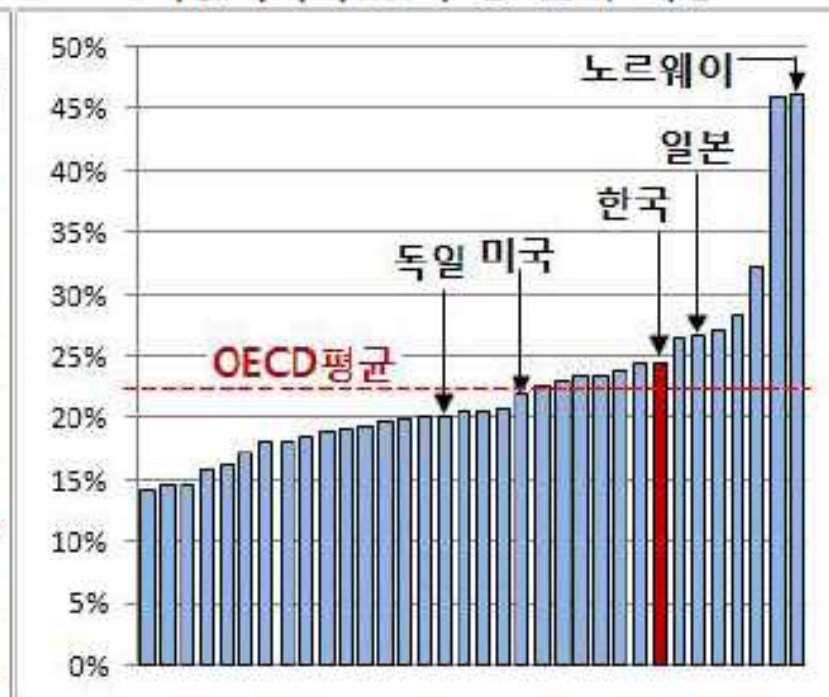
< 전력소비 증가율 국제 비교 >



자료: IEA

주: 2000~2010년 연평균 증가율.

< 최종에너지 소비 중 전력 비중 >



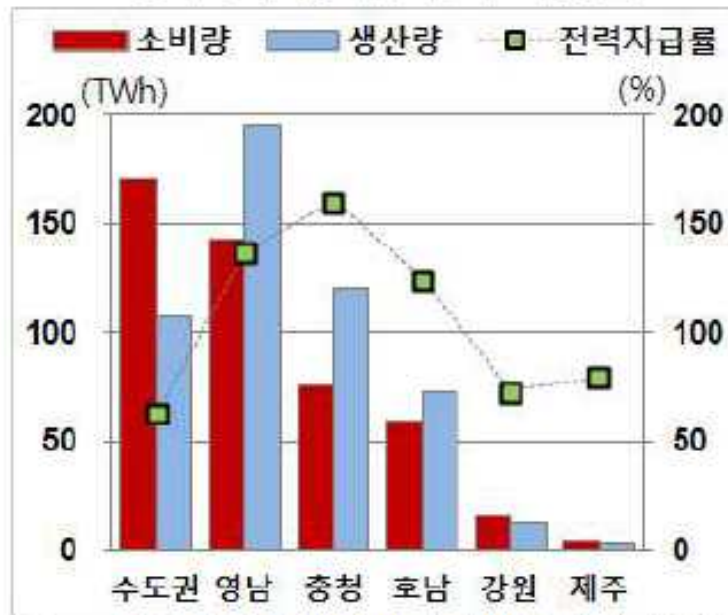
자료: IEA

주: 2010년 기준.

전력 생산-소비의 불균형

■ 수도권 (경기도) 전력 사용량 급증

< 전국 6대 권역별 전력 자급률 >



< 16개 광역시도별 전력 자급률 >

(단위: TWh, %)

구분	소비량	자급률	구분	소비량	자급률
경기	100	28.5	전북	21	36.2
서울시	47	4.2	충북	21	5.9
경북	45	156.7	부산시	21	172.7
충남	44	266.9	강원	16	72.8
경남	33	226.0	대구시	15	1.8
울산시	29	49.8	대전시	9	2.6
전남	28	226.3	광주시	8	1.7
인천시	23	337.2	제주	4	79.7

자료: 한국전력통계 데이터를 이용하여 현대경제연구원 자체 계산

주1) 전력자급률 = 전력생산량 ÷ 전력소비량

주2) 2012년 기준.

적정 전원구성 고려요소

- 안전성, 경제성, 기후변화 대응, 전력부하

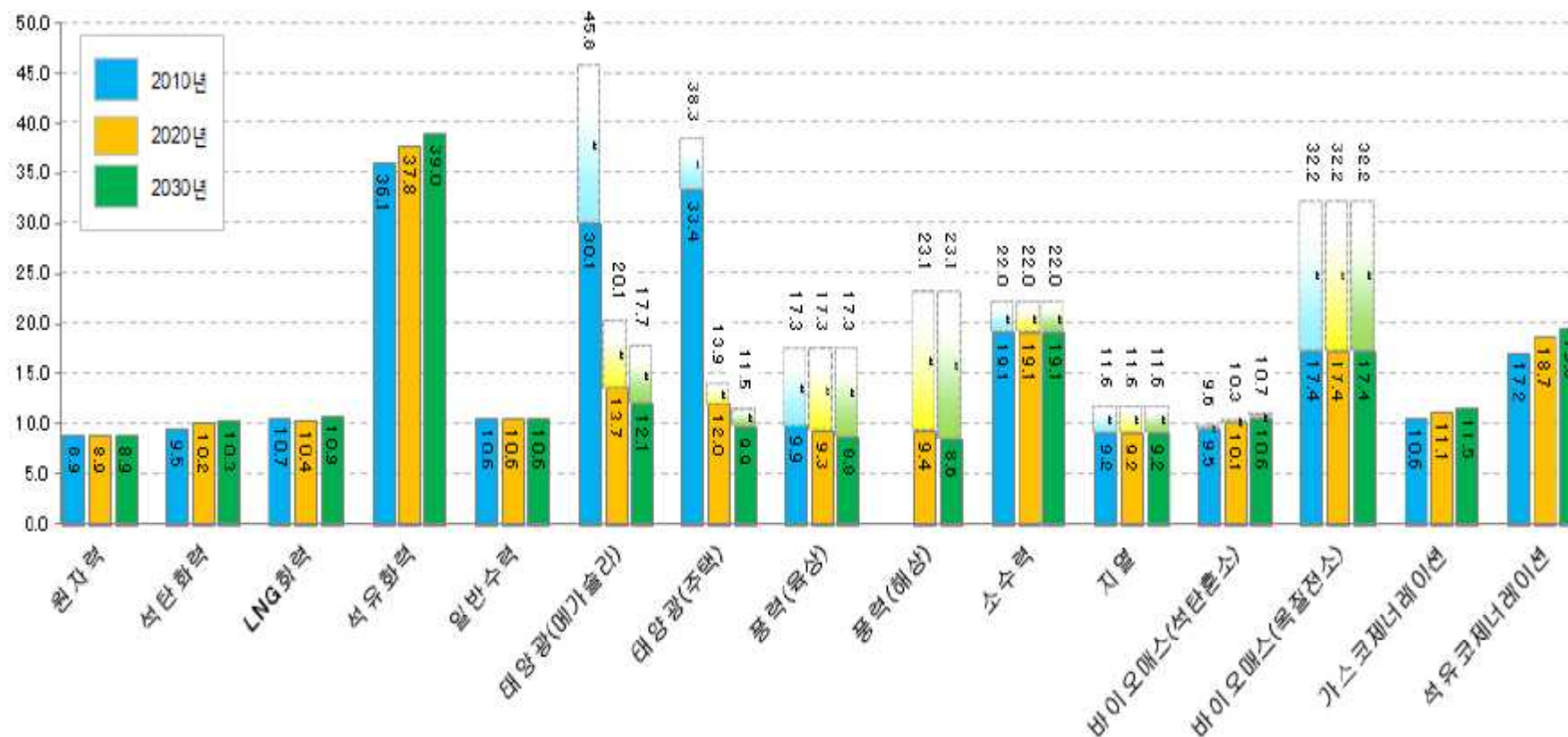
[적정 전원구성의 고려요소]



발전단가 비교- 일본

- 석유화력 > 태양광 > 소수력 > 바이오매스 > LNG :2010
- 석유화력 > 소수력 > 바이오매스 > 태양광 :2030

(단위: 엔)



한국의 에너지 정책 방향

- 에너지 안보의 중요성
- 최적의 에너지 믹스
- 지속가능성 (경제성)