

탈원전 정책 정량평가

정용훈

카이스트 원자력 및 양자공학과

재생에너지 보급 목표 과연 적절한가?

제3차 에너지기본계획 재생에너지 목표

재생에너지

2040년 발전 비중 목표

워킹그룹

25~40%

☑ **40%↓**

- '40년 전세계
재생에너지발전비중
40%

☑ **25%↑**

- 계통 수용을 위한 별도
조치 필요(IEA)



전문가TF

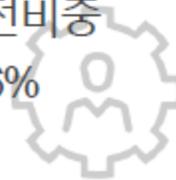
30%이상 설정 필요
35% 최대 한계치

☑ **35%↓**

- 계통 대응 부담

☑ **30%↑**

- '40년 OECD 평균
재생에너지 발전비중
(수력제외시) 28.6%



목표설정

30~35%

기술발전 수준, 주민수용성
등 미래 환경변화 가능성



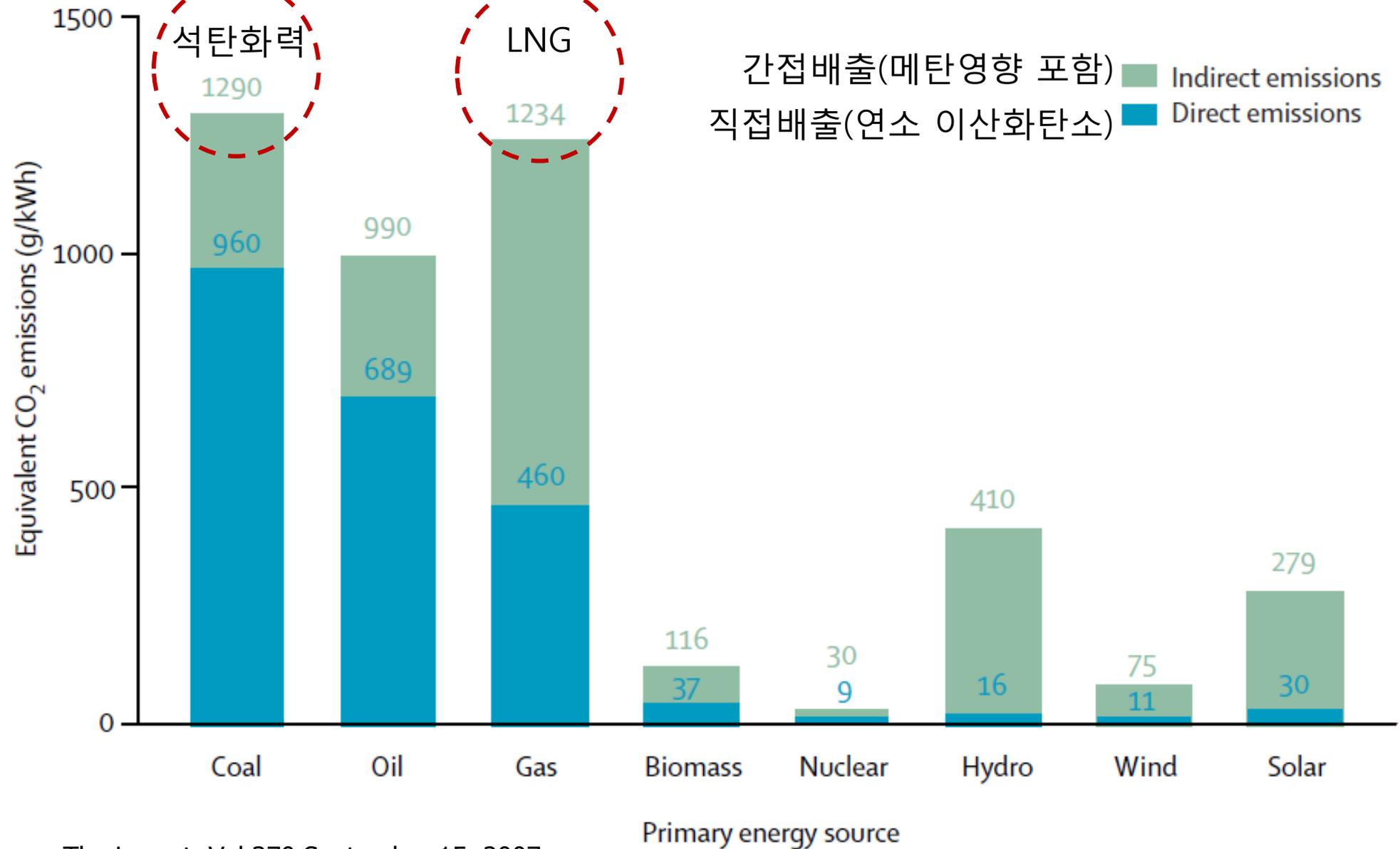
특정 목표치가 아닌
목표 범위(Range) 제시



제3차 에너지기본계획 재생에너지 목표

- ❖ 정부는 2040년에 재생에너지 발전비중 30~35%
- ❖ 2040년 OECD 발전비중에서 수력 제외 재생에너지 28.6%를 근거로 하한 30%를, 계통 대응 한계를 근거로 상한 35%를 제시
- ❖ 수력이 태양광 풍력 변동성을 보완하는 보조발전원임을 고려하면 수력이 거의 없는 우리의 경우 태양광 풍력 목표는 더 낮아 져야함. OECD국가들이 수력으로 하는 것을 우리는 LNG로 해야함.
- ❖ 바이오(5%)와 지열(1%)도 추가로 제외할 경우 태양광(7%)과 풍력(15%)은 22%에 불과
- ❖ 우리 목표는 20% 이하가 적절하며 그것도 아주 도전적
- ❖ 지역별 재생에너지 확충량도 모르는 상황에서 전체만 계획하여 송전망과 저장장치 확충은 고려도 안된 상황.

**보조(?) 발전으로 사용될
LNG는 정말 청정인가?**



The Lancet, Vol 370 September 15, 2007

- 재생간헐성 보안을 위해 가스복합을 가스터빈 단독 변환: **57%** -> **39%**
- 태양광 풍력 간헐성 보조를 위해 출력을 변동할 경우: **39%** -> **27%**
- 60% 가깝던 효율이 30%도 안되게 급락함 (효율 반토막)

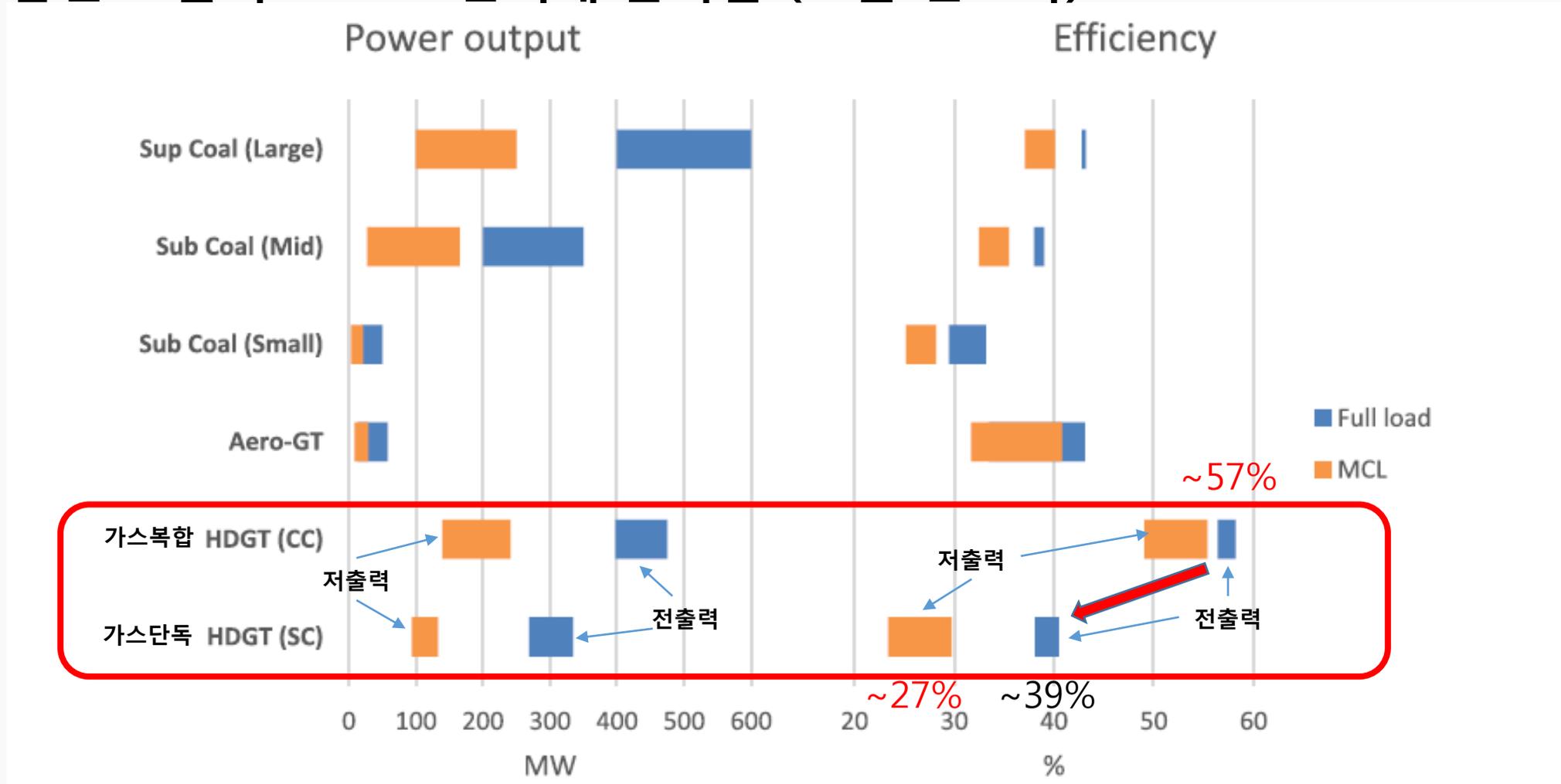


Fig. 8. Comparison of the power output and efficiency at full load and minimum complaint load (MCL) for the different technologies.

- 가스복합을 가스터빈 단독으로 바꾸면 배출은 50% 증가
- 가스터빈의 출력을 낮춰도 배출이 50% 증가 (고속도로 vs. 시내도로)

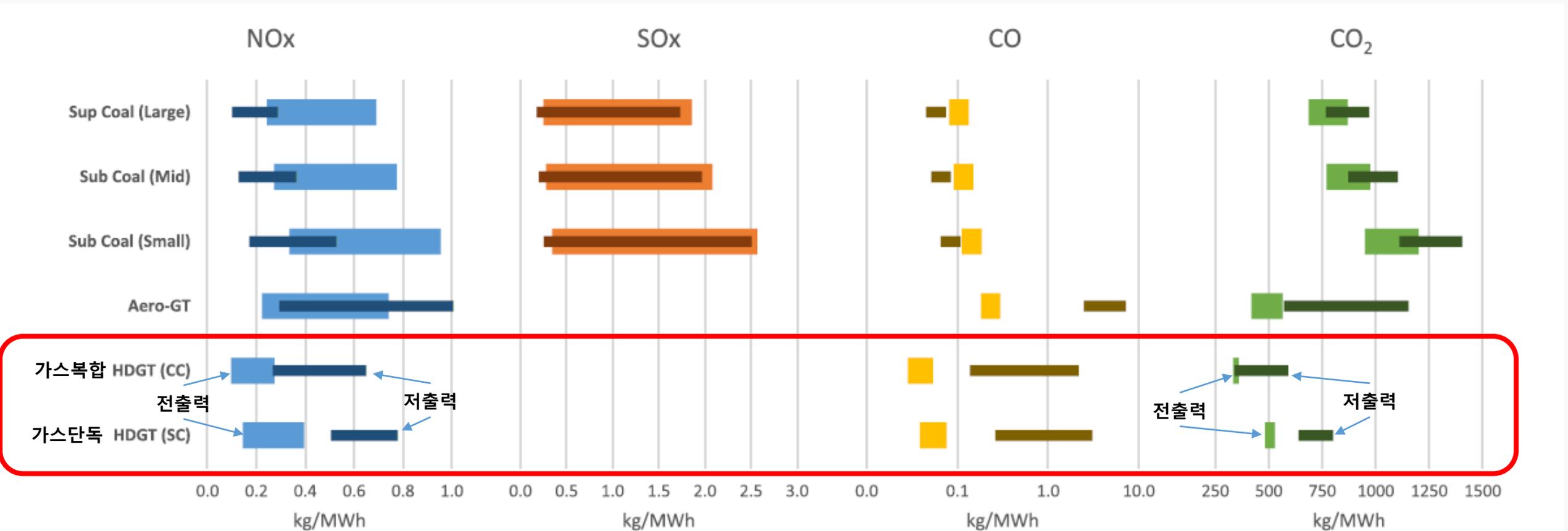


Fig. 12. Comparison of specific emission factors for the different technologies at full load and MCL. Light thicker bars represent emission factors at full load, dark narrower bars represent emission factors at MCL. (For interpretation of the references to color in this figure, the reader is referred to the web version of this article).

보도해명자료 (19. 3. 5)

수신 : 산업통상자원부 등록기자

제목 : LNG 발전의 대기오염물질 배출은 석탄발전의 1/3 수준

2. 동 보도에 대한 산업부의 입장

□ LNG 발전은 황산화물 및 먼지를 거의 배출하지 않아, 석탄발전에 비해 초미세먼지(PM 2.5) 및 대기오염물질 배출이 적음

* 발전소 배출 대기오염물질 : 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 총먼지(TSP)

○ LNG 발전의 초미세먼지(PM 2.5) 배출은 석탄발전의 1/8배, 직접 배출되는 대기오염물질(황산화물, 질소산화물, 먼지)은 석탄발전의 1/3 이하 수준

<발전원별 대기오염물질 비교('17년, kg/MWh)>

	SOx	NOx	총먼지	총계	초미세먼지
석탄 발전	0.258	0.291	0.013	0.561	0.120
LNG 발전	-	0.171	-	0.171	0.015

0.29

0.12

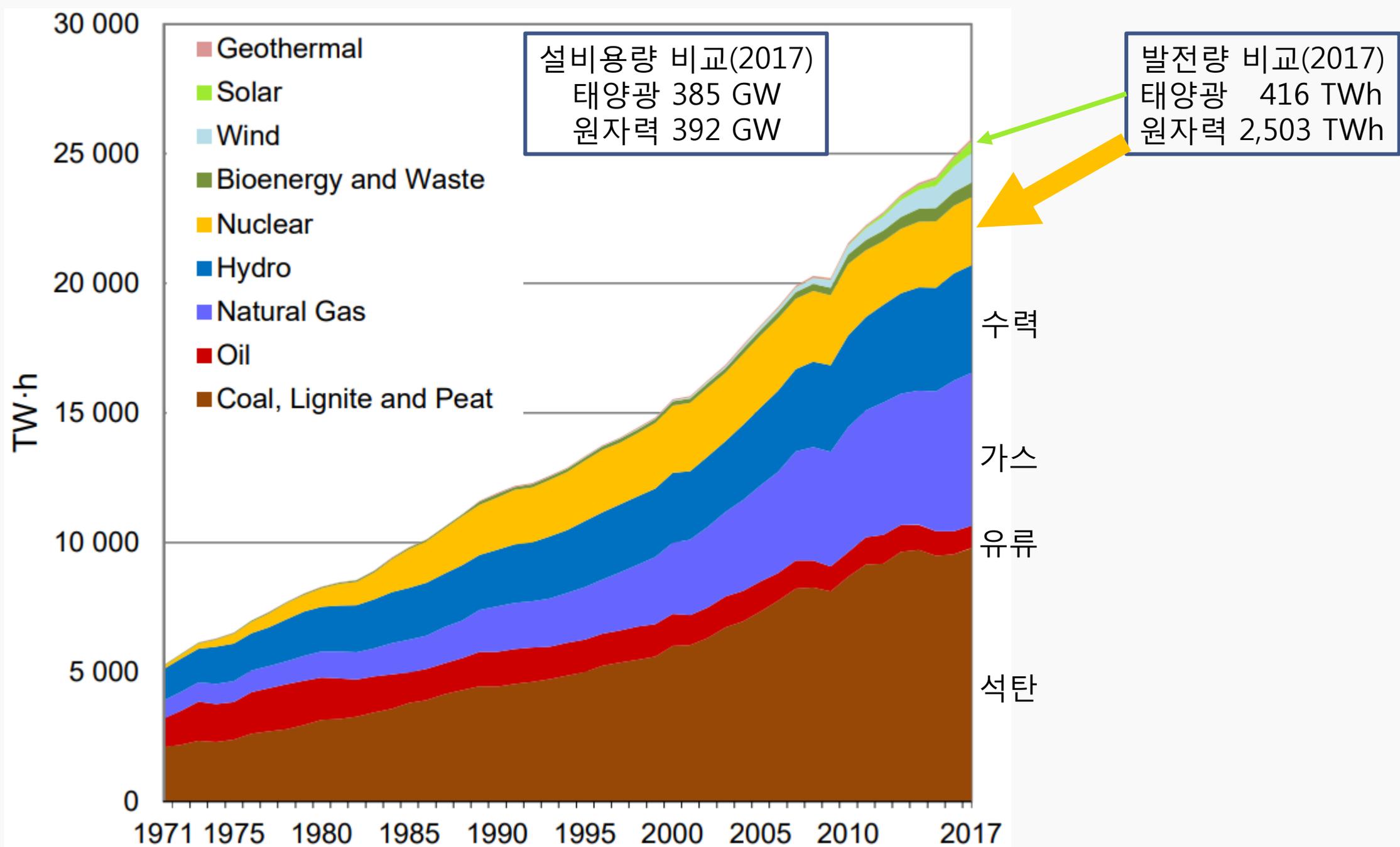
* 초미세먼지는 직접배출 대기오염물질에 환경부 전환계수 적용

한국의 경우 질소산화물 전환계수가 0.079인데 유럽연합(EU)은 0.68
LNG에 유럽연합 전환계수 적용 시 LNG는 초미세먼지 0.12 kg/MWh
석탄에도 동일 계수 적용 시 석탄은 0.29 kg/MWh

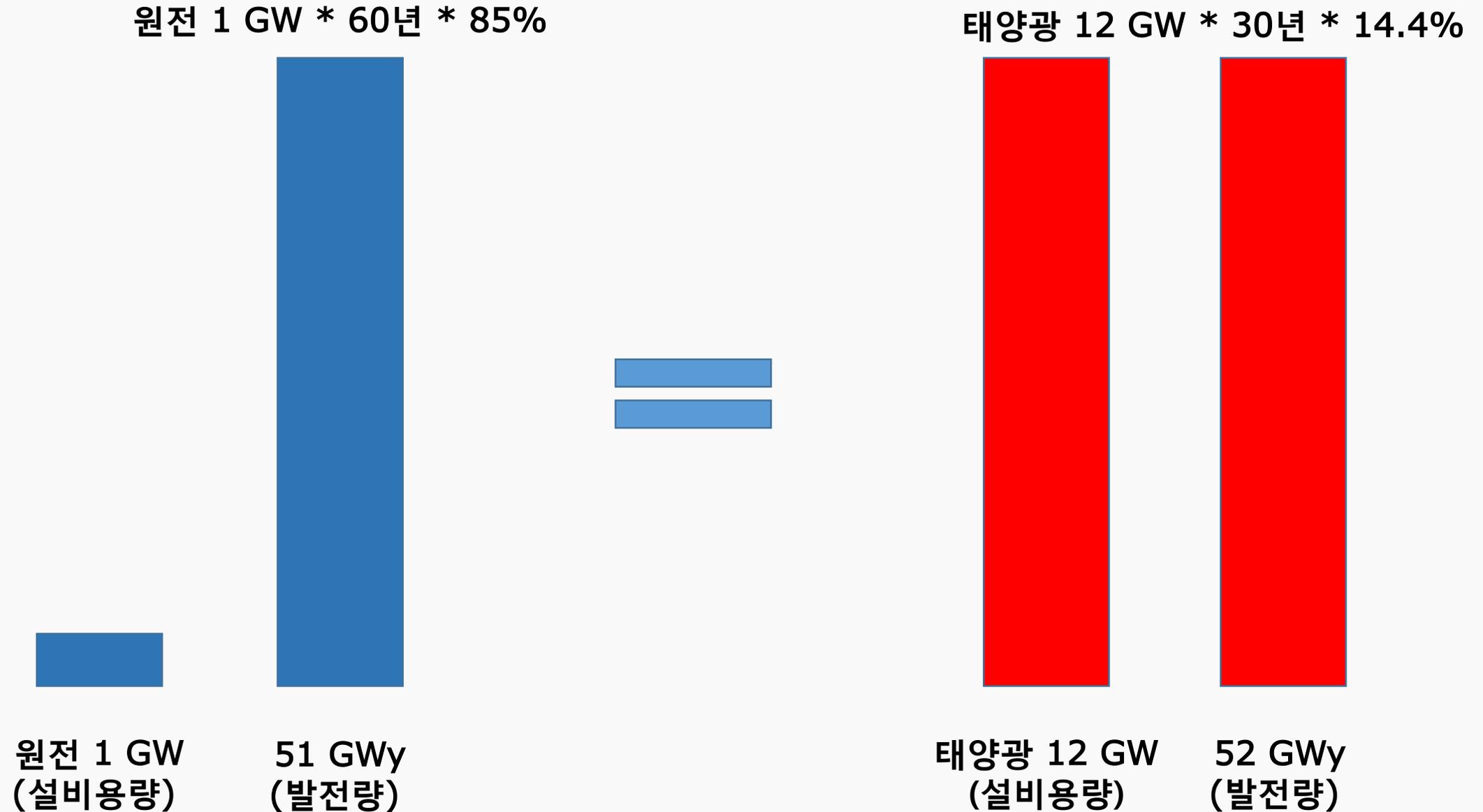


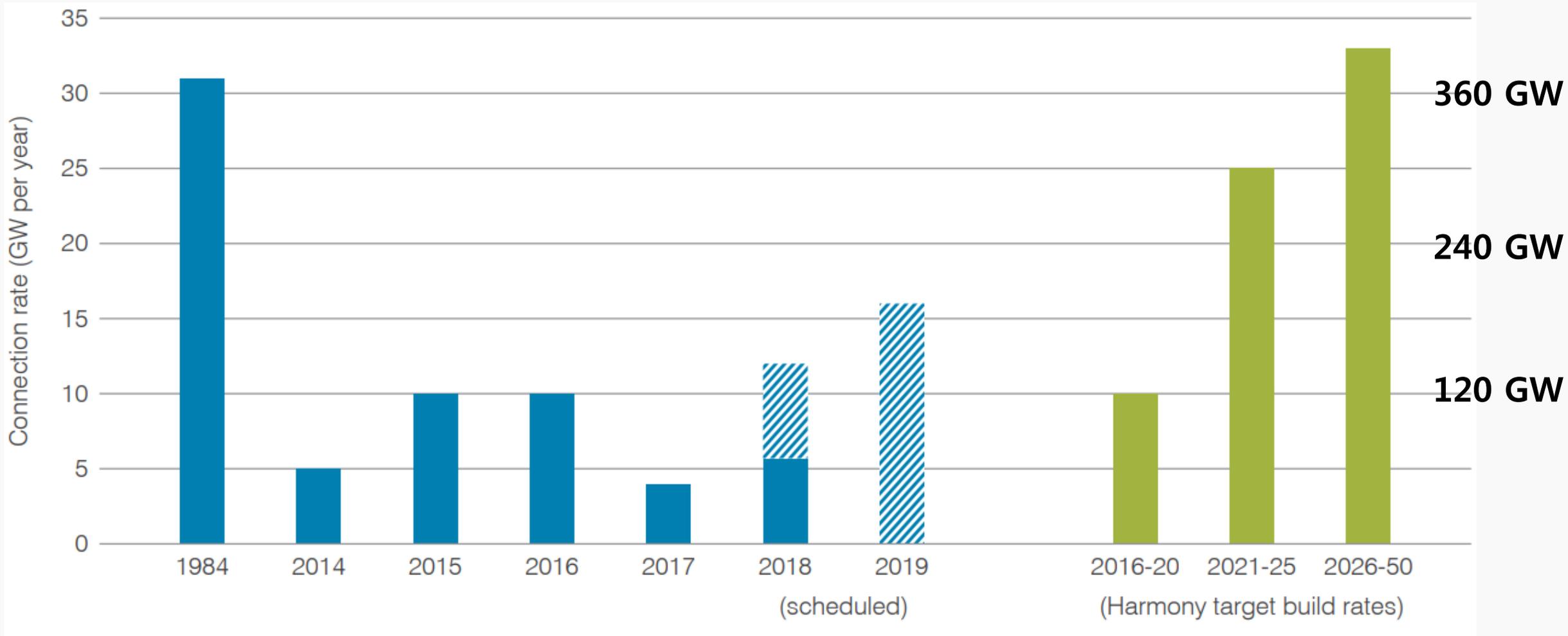
석탄발전의 배출은 현재의 2배,
LNG 발전의 배출은 현재의 8배 높아질 수도 있음

원자력, 과연 사양산업인가?



원자력과 태양광의 정량적 비교(동일 발전량 기준)





[연간 신규 원자력설비 용량 추가 추이 및 전망]
 World Nuclear Performance Report, World Nuclear Association, 2018

PV Industry Production by Region

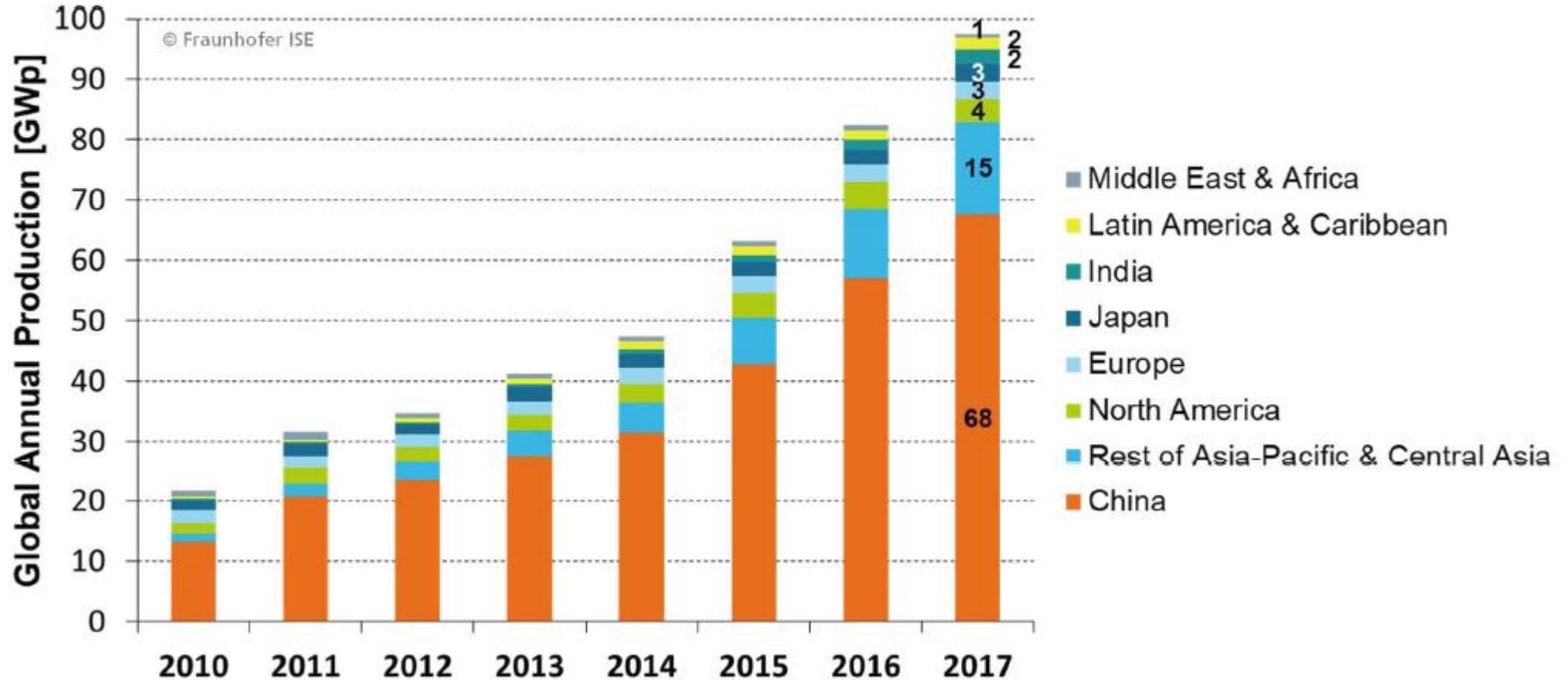
Global Annual Production

동등 원전 용량

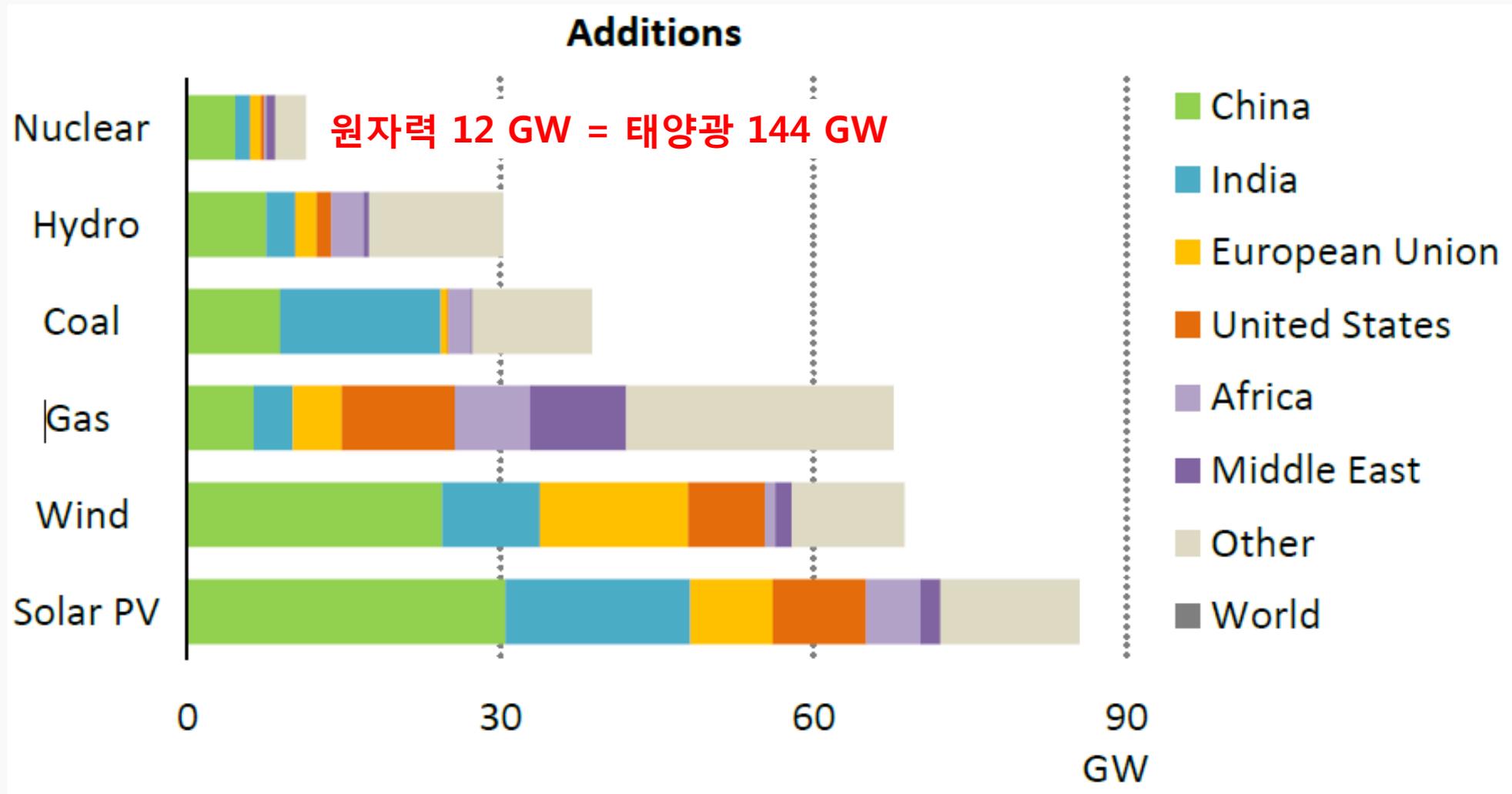
8 GW

5 GW

1GW



2040년까지의 신규 원자력발전에서 생산되는 생애 생산 전력은 신규 태양광에서 생산되는 생애 생산 전력의 1.5배 내외



이용률 가정: 원자력(0.85) 태양광(0.15) 풍력(0.25) 수력(0.45)
 운영기간: 원자력(60년) 태양광(30년)
 생애 생산 전력 = 용량(GW) * 이용률 * 운영 총기간

원자력 산업 전성기에서 버려야하는가?

**이탈리아, 오스트리아, 스위스, 독일,
스웨덴(번복), 벨기에, 필리핀, 대만**

탈원전 (계속운전 전면 불허 + 신한울3&4 백지화 + 월성1 조기 폐쇄)

과연 얼마짜리 결정인가?

합리적 활용방안은 어떤 것인가?

원자력 활용 방안에 따른 비교

(안전성, 경제성, 환경성, 에너지안보에 더 나은 길은?)

원자력 활용방안	발전량 [조 kWh]	한전 매출 [조 원]	한수원 매출 [조 원]
현재까지	3.5	385	210
탈원전(건설X & 계속X)	10.0	1,100	600
신한울3·4 & 계속20년	15.7	1,700	940

※ 현재 요금 및 단가 기준

기후위기 대응에 필수적인 원자력

대한민국의
아름다운 영토

독도



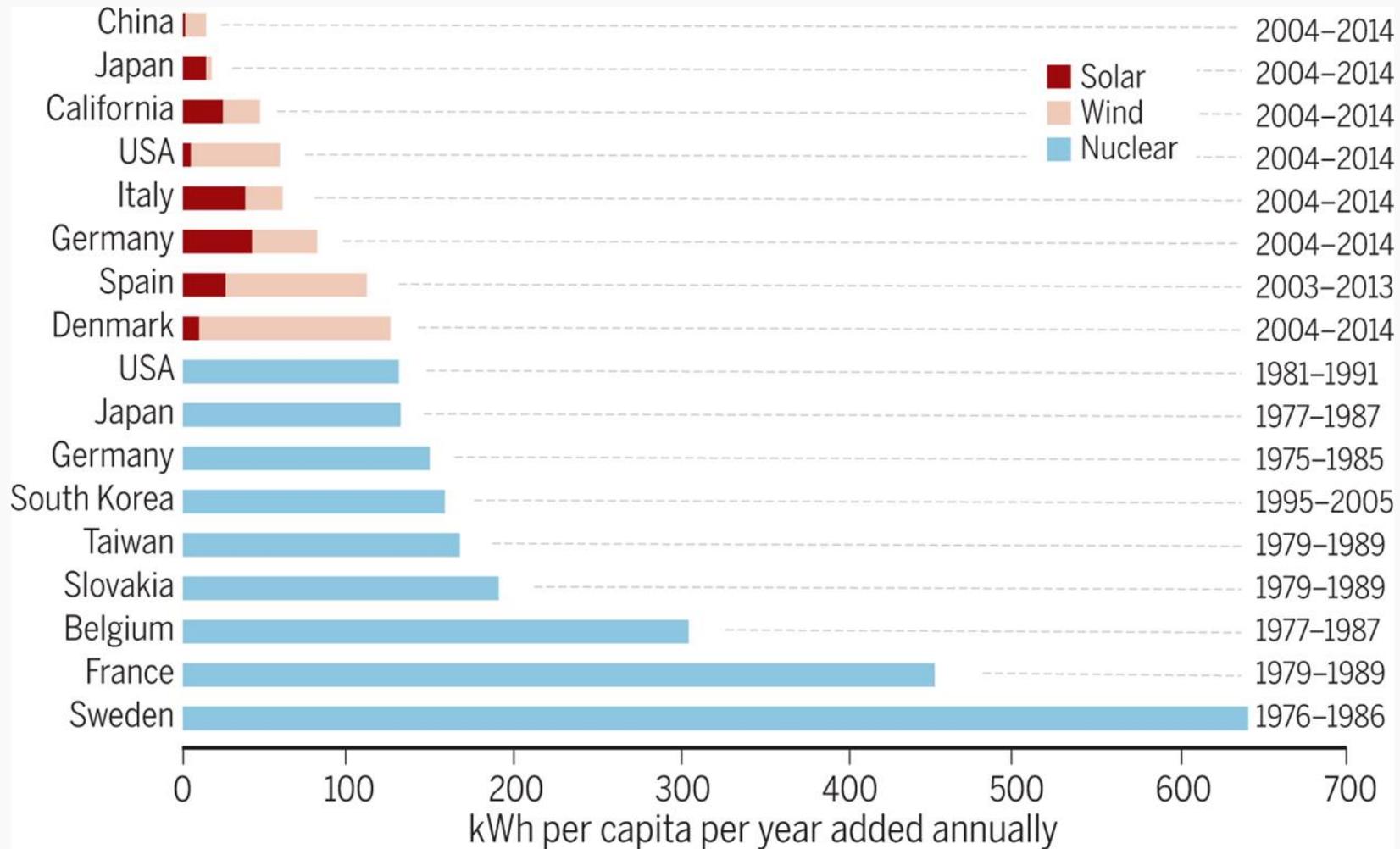
12 → 13
1300 → 1800

The IPCC Special Report on [1.5 °C]: The context for the invitation by COP 21

<i>from nuclear in 2030 (% rel to 2010)</i>	59	83	98	106
<i>↳ in 2050 (% rel to 2010)</i>	150	98	501	468

2030년까지 원자력 59~106% 증가 (~2배)
2050년까지 원자력 98~501% 증가 (~5배)

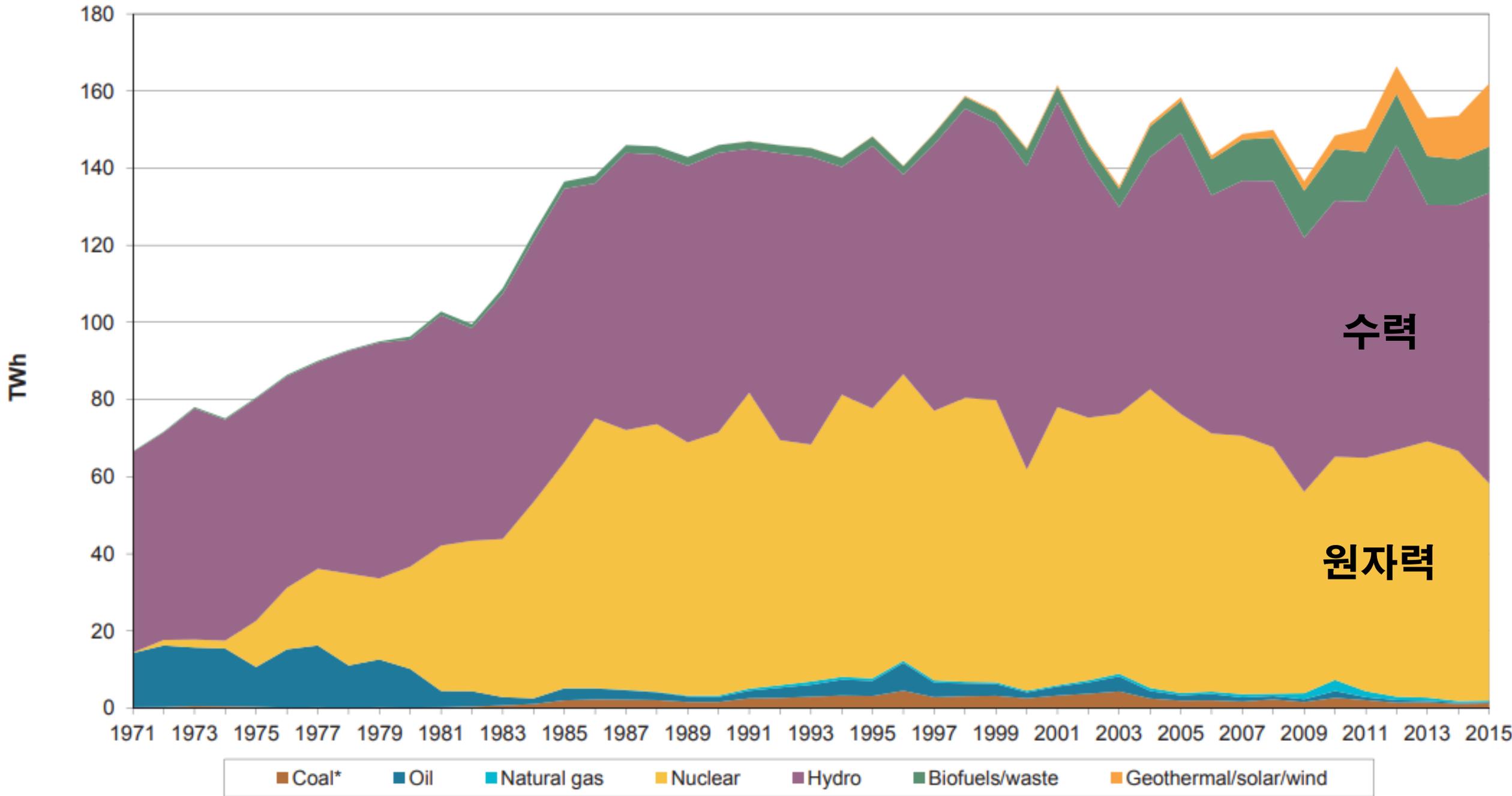
Average annual increase of carbon-free electricity per capita during decade of peak scale-up.



Junji Cao et al. *Science* 2016;353:547-548

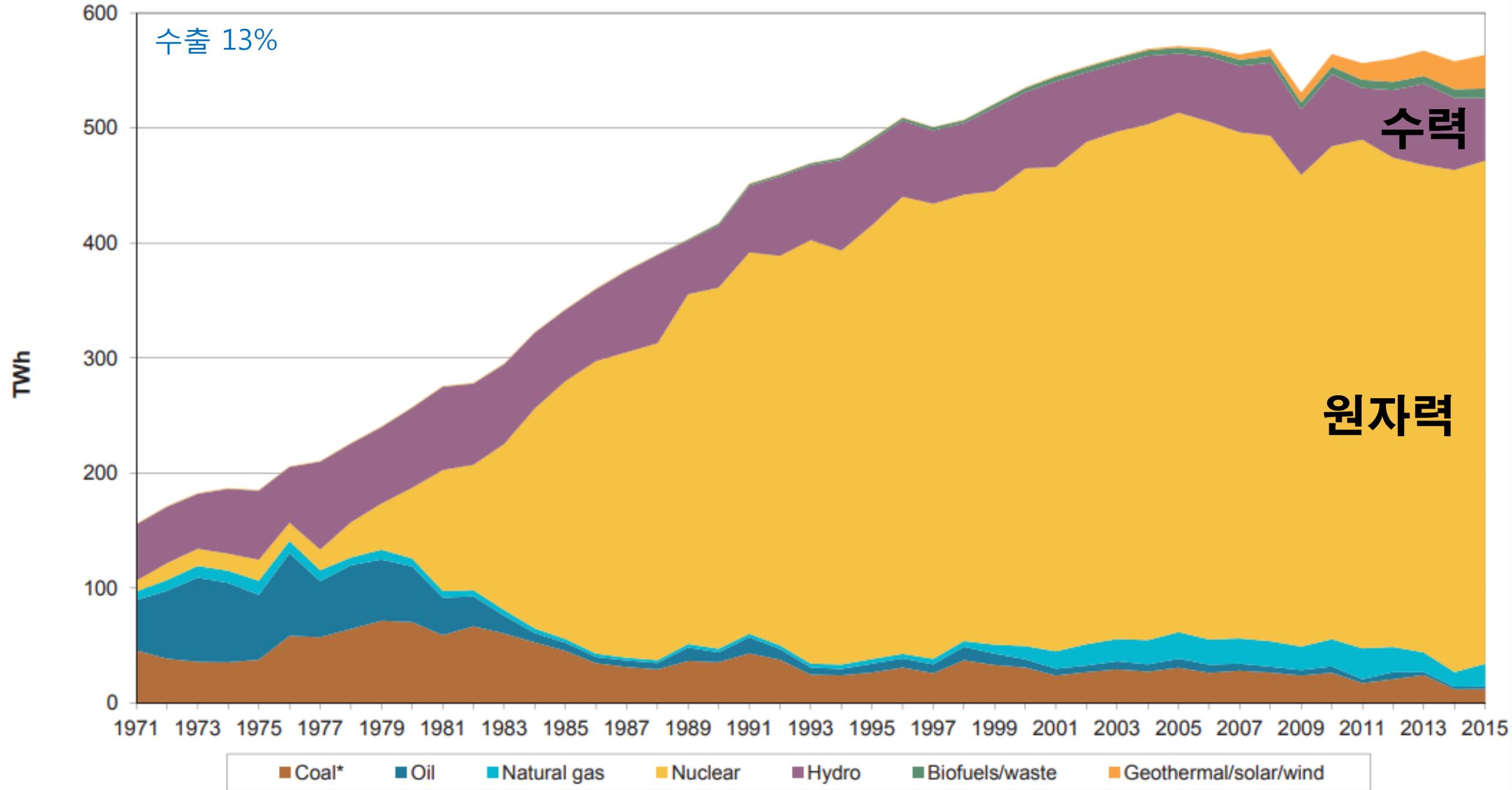
Sweden

Secure Sustainable Together

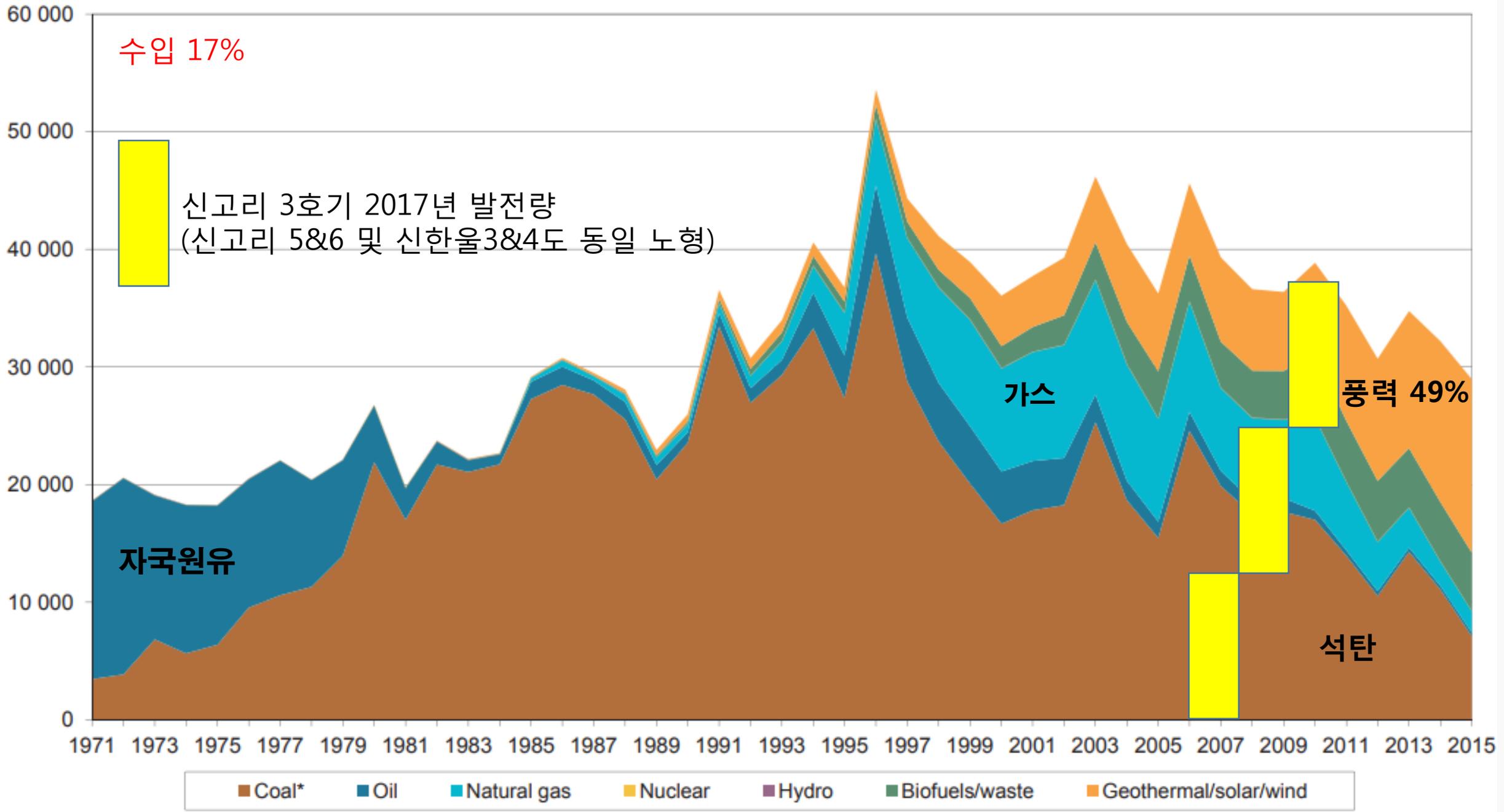


France

Secure • Sustainable • Together



Denmark



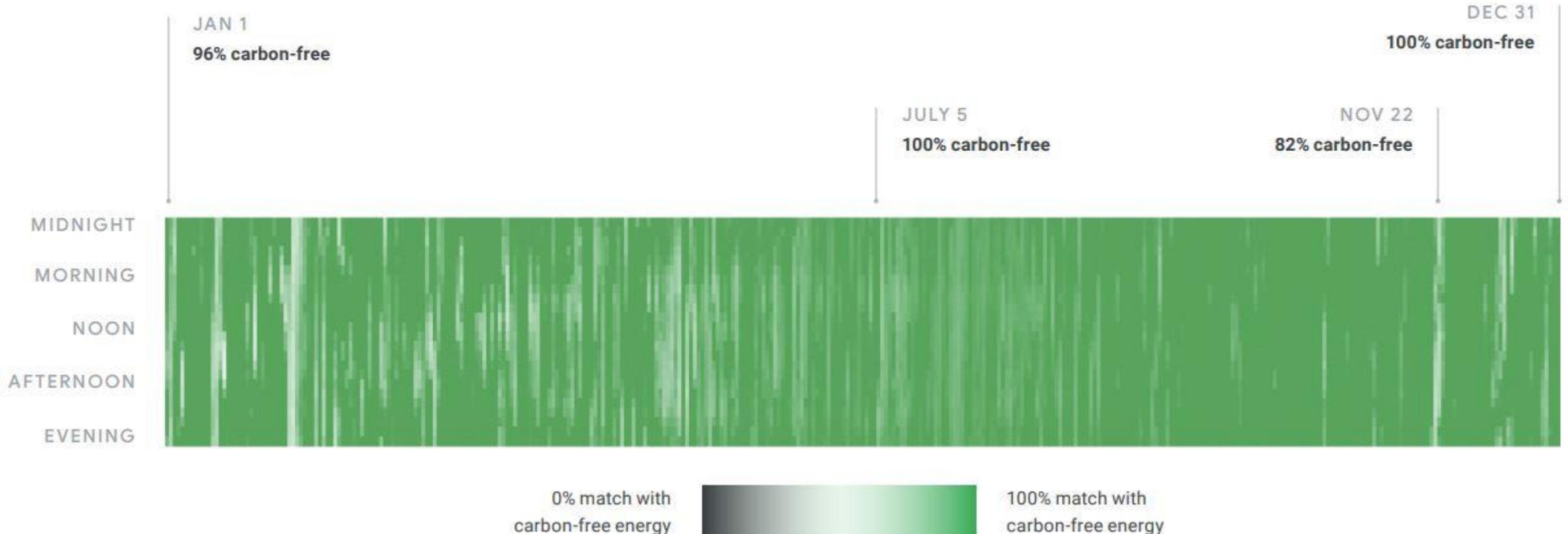
에너지 전환은 탄소에서 무탄소로의 전환

Google: 24시간 데이터센터에 청정 전력을 공급하자.

Every hour of electricity use at Finland data center

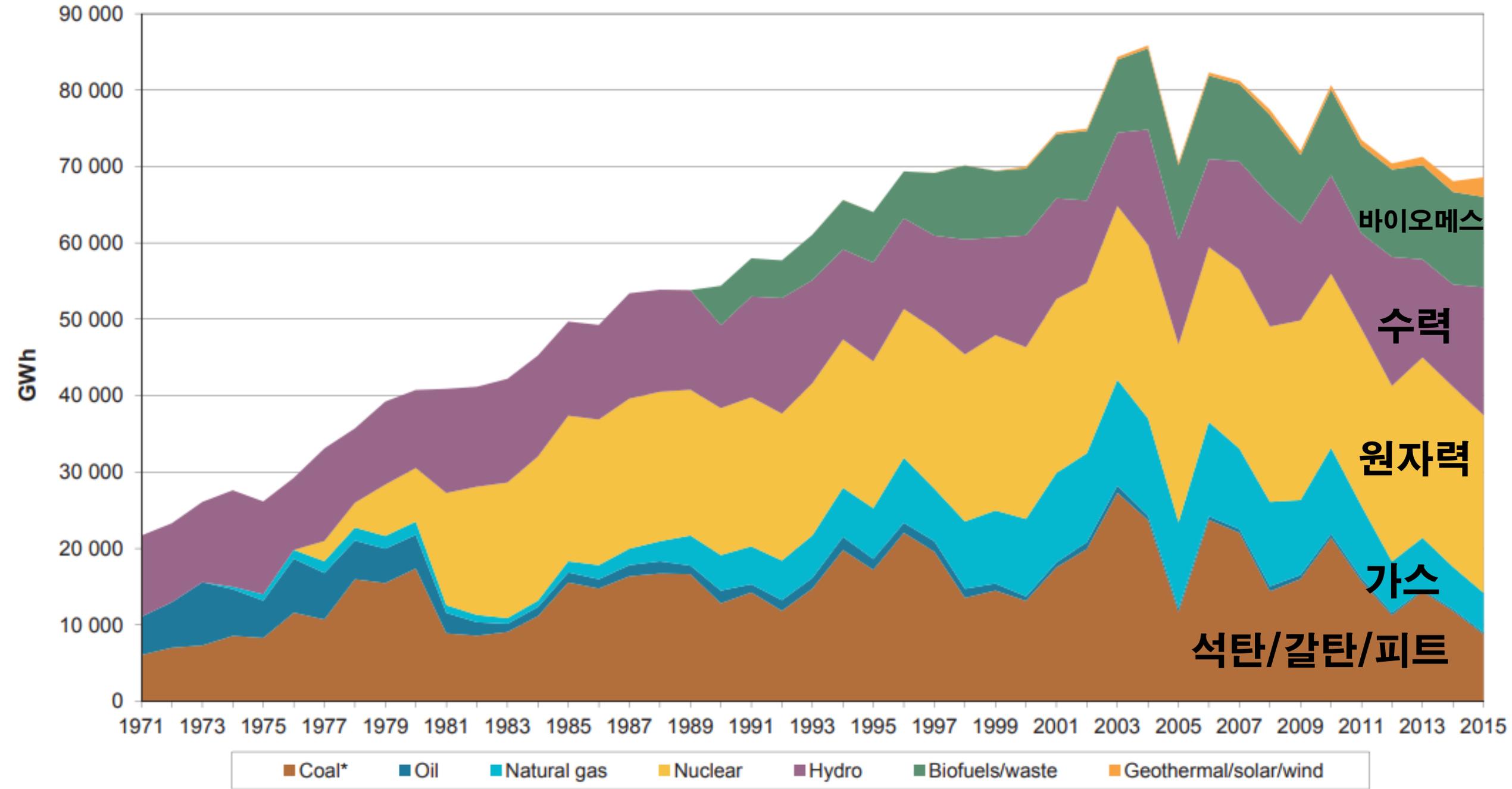
Google's purchases of wind power in the Nordic region, combined with significant nuclear and hydropower on the grid, mean that in most hours this data center is 100% matched with carbon-free energy

Overall in 2017, 97% of this data center's electricity use was matched on an hourly basis with carbon-free sources.



Finland

Secure • Sustainable • Together

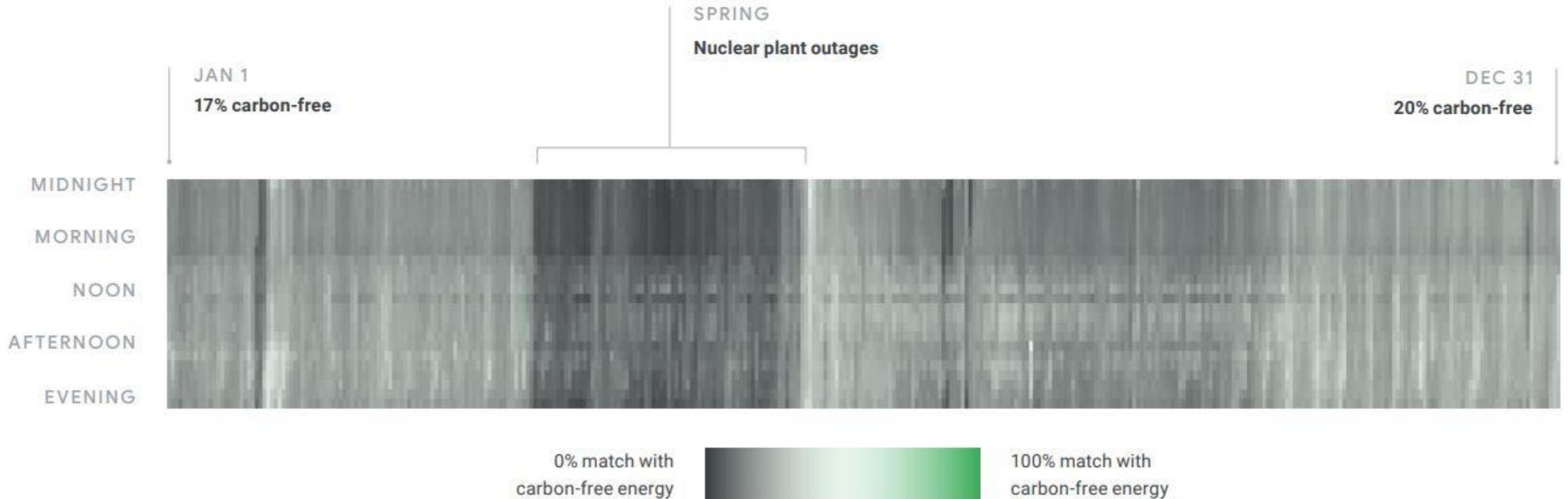


Google: 24시간 데이터센터에 청정 전력을 공급하자.

Every hour of electricity use at Taiwan data center

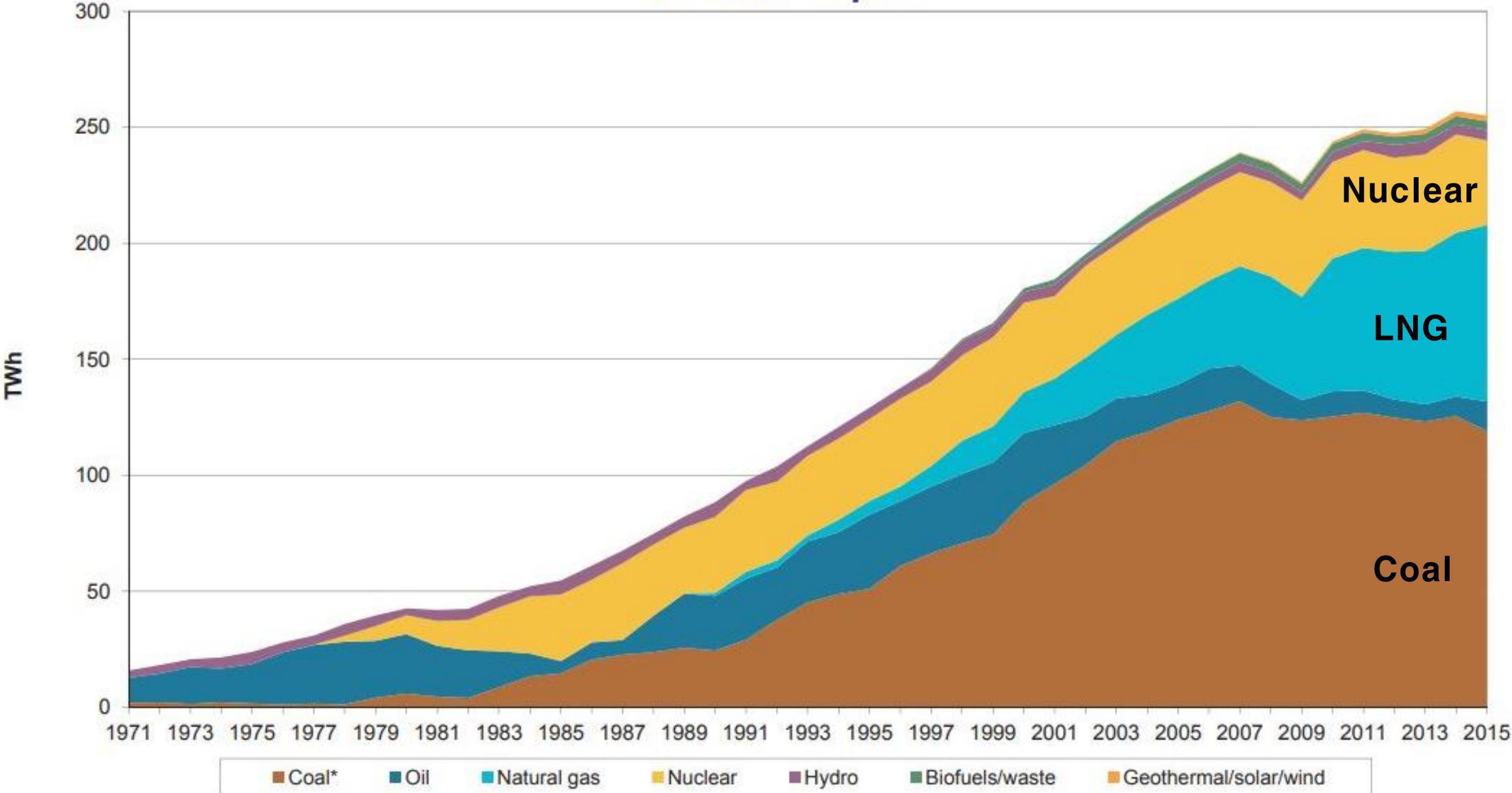
Hourly carbon-free matching fell to as low as 8% in spring, due to outages at nuclear power plants

Overall in 2017, 16% of this data center's electricity use was matched on an hourly basis with carbon-free sources.



Chinese Taipei

Secure • Sustainable • Together



'2030 온실가스 감축 수정 로드맵'에서 제시한 전환 부문 추가 감축 잠재량 3,410만톤에 대해서는 감축 목표 및 수단 미 확정

- ❖ 영국은 오는 2050년까지 이산화탄소와 온실가스 총배출량을 '제로'로. 2035년까지 온실가스를 배출하지 않는 13기의 원전 건설을 추진
- ❖ 프랑스는 당초 2025년까지 원전 용량을 유지하면서 발전 비율을 75%에서 50%로 줄이기로 했지만, 원전 비율 축소 시점을 온실가스 감축 등 목표 달성을 위해 2035년으로 10년 연기
- ❖ 일본은 2050년까지 온실가스를 80% 감축하며, 원전 비중은 20% 이상 유지하기로 함.

건설 중단되어 있는 신한울 3,4호기를 건설할 경우 석탄발전 대비 연간 이산화탄소 2,000만톤 감축 가능

방사선 피폭에 의한 위험

나는 누구인가?

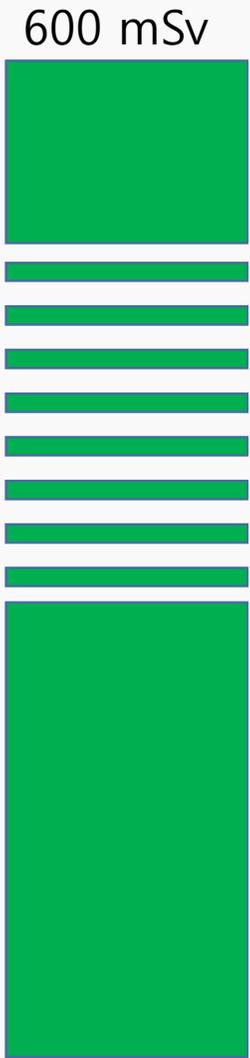


제품명: 호모사피엔스 사피엔스
모델명: 정용훈/한국인
모델번호: 7*****-1*****

총 방사능: 7,000 Bq (100 Bq/kg)

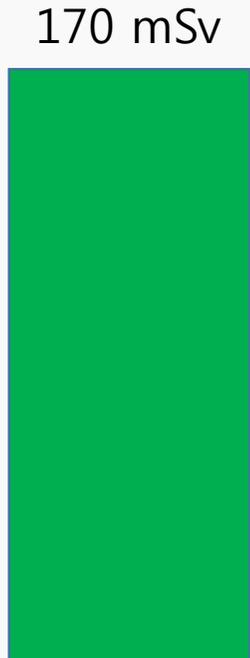
칼륨 4,000 + 탄소 2,500
+ 루비듐 500 + 납/폴로늄 20
+ 우라늄 1

Po-210 1 베크렐
= Cs-137 92 베크렐
= K-40 194 베크렐
= H-3 67,000 베크렐



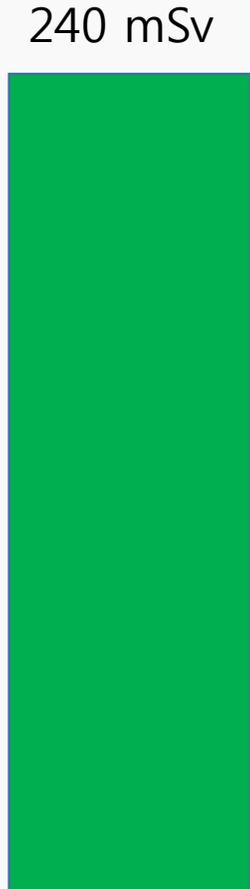
핀란드 지역 평생 자연방사선 피폭

출처: Ojovan & Lee 2019



일본인 평생 자연방사선 피폭

출처: UNSCEAR 2013



한국인 평생 자연방사선 피폭

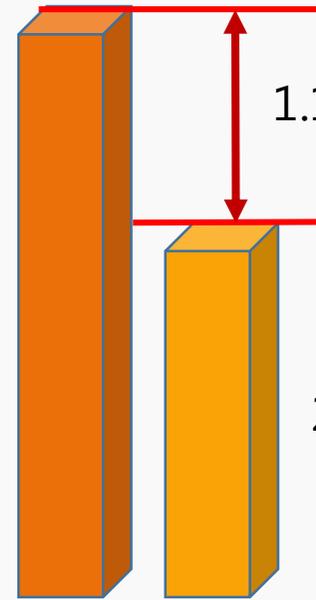
출처: KINS/GR-256



강원도-부산 평생피폭 차이

출처: KINS/GR-256

강원
3.53mSv/년



출처: KINS/GR-256

부산
2.41mSv/년

10~20 mSv

후쿠시마 일반인 평생피폭

출처: UNSCEAR 2013

12 mSv

후쿠시마 작업자 초기 19개월 피폭

출처: UNSCEAR 2013

탈원전 정책을 수정한다면?

신한울 3,4호기 건설 재개 + 계속운전

- ❖ 원전의 효율적 운영을 통한 안전성, 경제성, 환경성, 에너지안보 증진
 - 효율적 운영으로 안전관리, 사후처리 등에 더 많은 투자를 할 수 있음
- ❖ 신한울 3,4호기의 가치
 - 대규모 청정에너지원: 덴마크 전체 풍력보다 큰 발전량
 - 2030년 우리나라 총 태양광설비의 30년간(수명) 생산 전력량과 동등한 발전량
 - 연간 가스발전대비 1조3천억원 절감
 - 연간 이산화탄소 감축량은 2,000만 톤에 이룸 (추가감축필요의 절반 이상)
- ❖ 안전성이 확인된 원전의 지속 활용과 최신 안전성을 구비한 원전의 건설 재개는 원전도입국에 긍정적 시그널이 될 수 있음.
- ❖ 탄소전원에서 무탄소 전원으로의 에너지전환은 탈원전정책 수정부터 시작해야