

에너지 전환의 시대, 우라늄의 역할

Part I 에너지 전환과 전력화

Part II 원자력 발전 증가의 시대적 요구

Part III 우라늄 시장 분석

기후전력 우라늄



원자재

Analyst 홍성기

sungki.hong@ls-sec.co.kr



LS증권 원자재 담당 홍성기입니다.

2024년 하반기 전망에서는 [기승전락 원자재]라는 제목으로 전력화 시대의 원자재에 대해 다루었습니다. 에너지 섹터에서는 최대 에너지원으로서 석유의 시대는 점차 저물고, 천연가스는 여전히 전력원으로서의 역할을 담당할 것으로 보았고, 비철금속 섹터에서는 에너지 전환의 필수 원자재 원자재인 구리, 알루미늄, 리튬을 집중적으로 다루었습니다. 다만 **전력화(electrification)에서 중요한 역할을 담당하게 될 원자력과 우라늄**에 대해 깊이 있게 다루지 못했던 아쉬움이 남아 이번 자료를 계획하게 되었습니다.

Part I에서는 **전체 에너지원의 전력화를 다루었습니다.** 특히 기후 변화 목표 하에서의 전력화와 전력 발전 믹스의 변화에 대해 짚어 보았습니다. 장기적으로 화석 에너지의 직접 사용이 감소하고 전력 에너지의 사용이 증가할 것으로 전망됩니다. 또한 전력 내에서도 석탄 발전 비중의 감소와 신재생 에너지 비중의 증가가 현실화되고 있습니다. 한편 EV, 히트 펌프, 데이터 센터, 냉방, 수소 전기 분해와 같은 기술들은 전력화를 더욱 촉진할 것으로 전망됩니다.

Part II에서는 **우라늄의 수요를 다루기에 앞서 전력화에 따른 원자력 발전의 증가에 대해 다루었습니다.** 실제로 지난 20년간 원자력 발전은 정체되어 있었으나, 2021년을 기점으로 원자력 발전 증가가 요구되고 있습니다. 주요 기관 별 시나리오에 따른 원전의 증가 추이에 대해 전망하였습니다.

Part III에서는 **원자재 측면에서 우라늄 시장에 대해 분석하였습니다.** 우선 시장에서 주로 언급하는 우라늄 시장의 공급 부족에 대해 살펴 보았습니다. 현재 우라늄 시장은 구조적인 광산 공급 부족이 지속되고 있으나, 2차 공급으로 충당되고 있는 상황입니다. 광산 공급의 증가와 2차 공급의 감소와 같은 변화 요인에 대해 분석하였습니다. 한편 원전에서 보다 중요한 농축 우라늄 시장에 대해 짚어 보았습니다. SMR에서 주로 사용될 저순도농축 우라늄 시장은 향후 주요국들의 공급망 전쟁이 벌어질 것으로 전망됩니다.

감사합니다.

Contents



기승전력 우라늄 | 에너지 전환의 시대, 우라늄의 역할

Part I 04 에너지 전환과 전력화
Electrification

Part II 15 원전 증가의 시대적 요구
원전 : 에너지 전환의 가교

Part III 26 우라늄 시장 분석
과연 공급 부족이 맞나?

Part I

에너지 전환과 전력화

Electrification

- 기후 목표 달성을 위한 에너지원의 전력화
- 전력 발전 믹스의 변화와 목표
- 전력 수요를 견인하는 기술

에너지 전환의 시대

● 여전히 높은 화석 에너지 소비

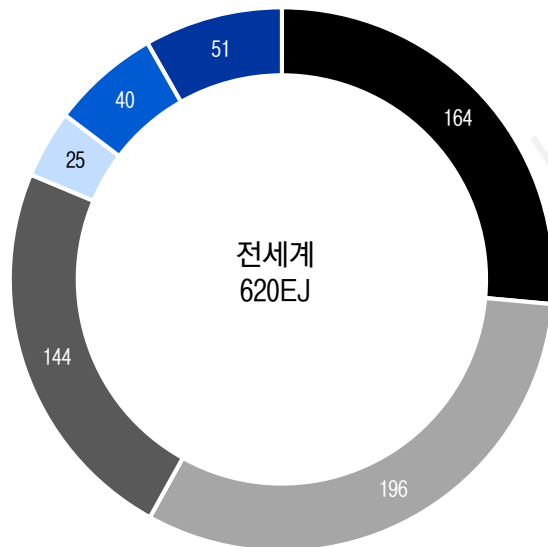
- 2023년 기준 전세계 에너지 소비는 640EJ(10^{18} Joule)
- 이 중 석탄 26%, 석유 32%, 천연가스 23%로 화석에너지는 81%를 차지. 원전은 4%, 수력은 6%, 기타 신재생은 8% 비중

● 최종 에너지 소비에서 차지하는 전기의 비중은 1980년 이후 두배(20%)로 증가

- 화석 연료 비중은 1980년 약 75%에서 2023년 약 65%로, 총 점유율이 점진적으로 하락
- 2023년 석탄 비중은 1980년보다 5%p 감소. 1980년부터 2000년까지 약간 감소한 후 2000년부터 2010년까지 증가. 2010년 이후에는 감소세
- 천연가스는 약 15%의 점유율을 꾸준히 유지. 석유 점유율은 1980년 이후 약간 감소하여 2010년 이후 약 40%에서 안정화

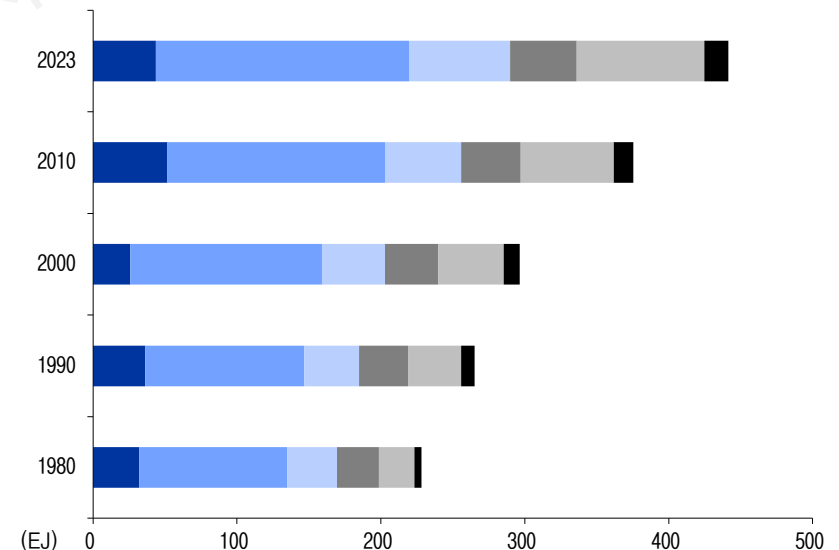
세계 에너지원 소비 (2023년)

(EJ) ■ 석탄 ■ 석유 ■ 천연가스 ■ 원전 ■ 수력 ■ 기타 신재생



에너지 별 최종 소비 추이

■ 석탄 ■ 석유 ■ 천연가스 ■ 바이오에너지 ■ 전기 ■ 열 에너지



에너지원의 전력화(Electrification)

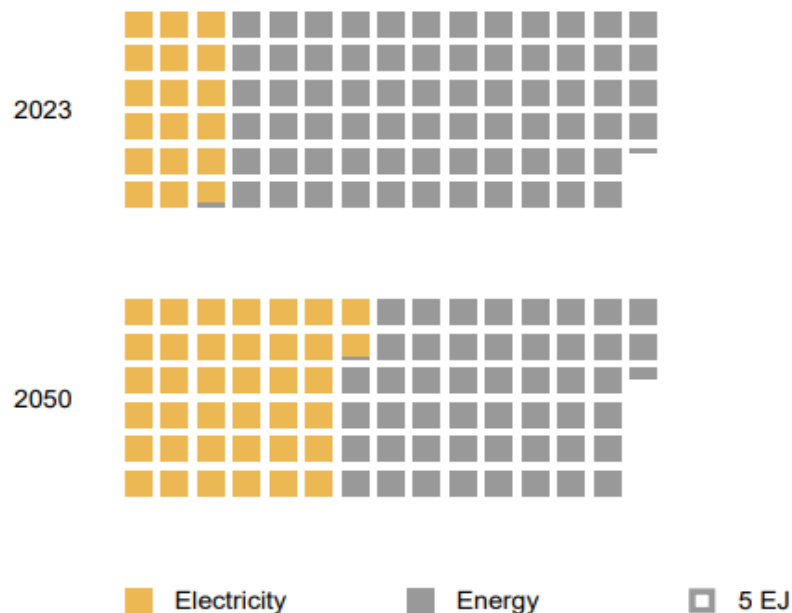
- 최종 에너지 소비는 2050년까지 전력화 및 에너지 효율 향상으로 2% 감소 전망

- 전력 소비는 2023년부터 2050년까지 연평균 2.8%씩 증가하여 2050년까지 두 배 이상 증가할 것으로 예상됨

- 최종 에너지 소비 중 전력 소비 비중 확대

- 2050년까지 최종 에너지 소비에서 전기가 차지하는 비중은 2023년 대비 20%p 이상 증가하여 44%에 이를 것으로 전망됨

2050년 에너지 소비 및 전력 소비 전망



에너지 중 전력 소비 비중 확대

최종소비 (EJ)	2023	2030	2040	2050
에너지	440.9	439.4	432.2	432.3
전력	89.0	103.0	136.2	189.4
전체 에너지 중 전력 비중	20.2%	23.4%	31.5%	43.8%

전력 발전 믹스 현황

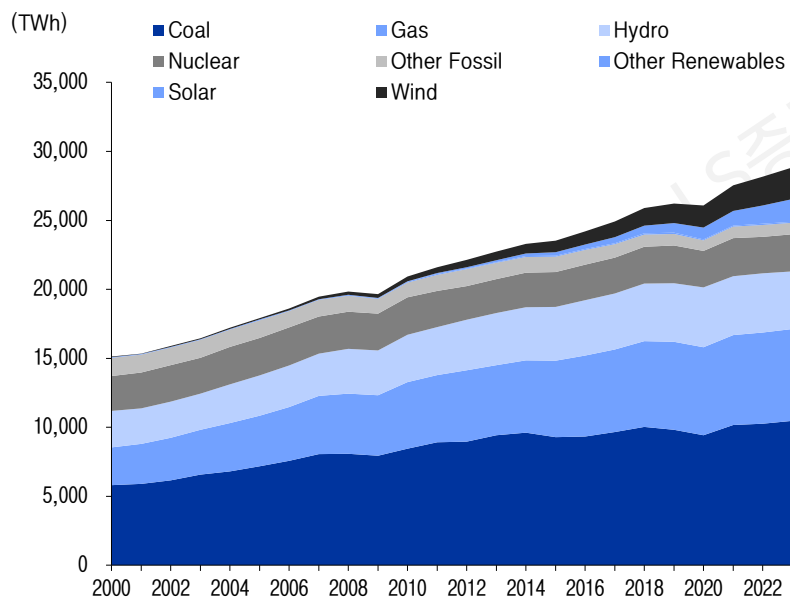
● 서서히 감소하는 화석 에너지 비중

- 화석 에너지 발전 비중은 2007년 68%로 정점을 찍은 후 화석 연료가 전 세계 전력 수요보다 느린 속도로 증가함에 따라 61%로 감소
- 전 세계 전력 믹스에서 화석 에너지원의 점유율은 감소하고 있지만, 화석 발전은 여전히 증가하고 있으며, 2023년에는 석탄과 가스 모두 기록적인 수준에 도달
- 석탄 발전량은 2000년 5,809TWh에서 2023년 10,434TWh로 거의 두 배로 증가. 가스 발전량은 2000년 2,745TWh에서 2023년 6,634TWh로 두 배 이상 증가

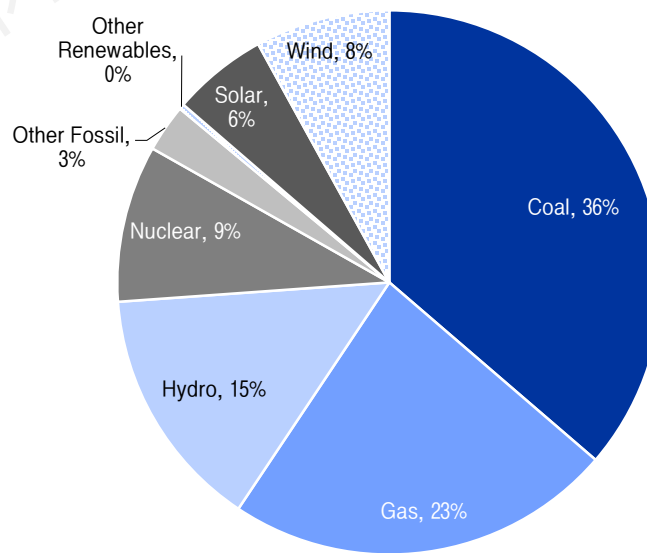
● 급증하는 신재생 에너지 비중

- 재생에너지 비중은 2000년 19%에서 2023년 30%로 증가. 풍력과 태양광은 2000년 0.2%에서 2023년 전 세계 발전량의 13%를 차지
- 원전은 유럽과 일본의 감소가 중국의 성장으로 상쇄되며 안정적으로 유지. 지난 20년간 전력 수요가 두 배로 증가하면서 원자력 발전 비중은 17%에서 9.1%로 하락

에너지원 별 전력 발전 추이



에너지 원 별 전력 발전 비중



전력 발전 믹스 전망

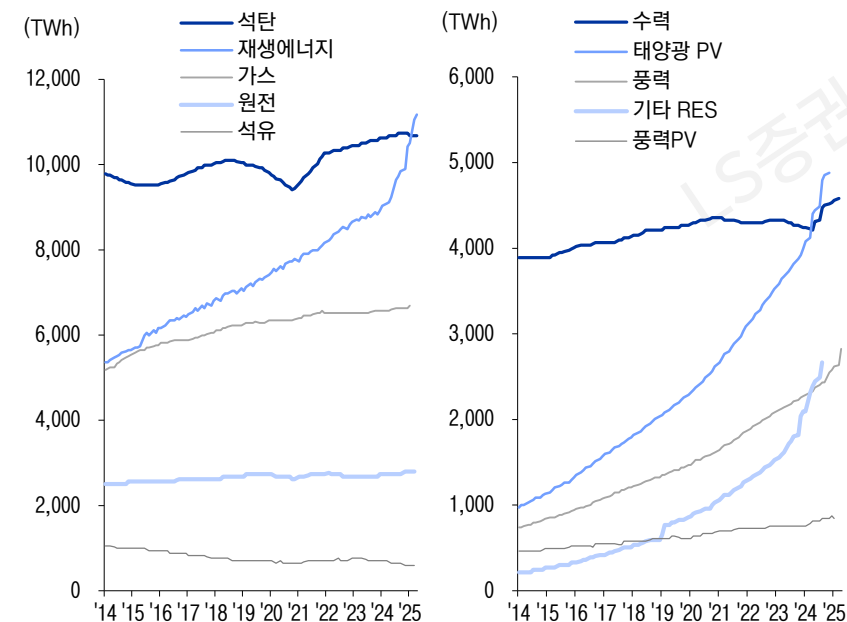
● 석탄의 Peak Out과 신재생 에너지

- 석탄 발전량은 2023년 1.9% 증가, 2024년 1% 미만 증가하고, 2025년 Peak Out 전망. 급속히 증가하는 태양광, 풍력 발전이 석탄 발전을 대체 중
- 재생에너지 비중은 2023년 30%에서 2025년까지 35%에 이를 것. 동시에 석탄에 대한 의존도는 줄어들어 석탄 비중은 36%에서 33%로 감소할 것으로 예상

● 천연가스와 원전의 건조한 흐름

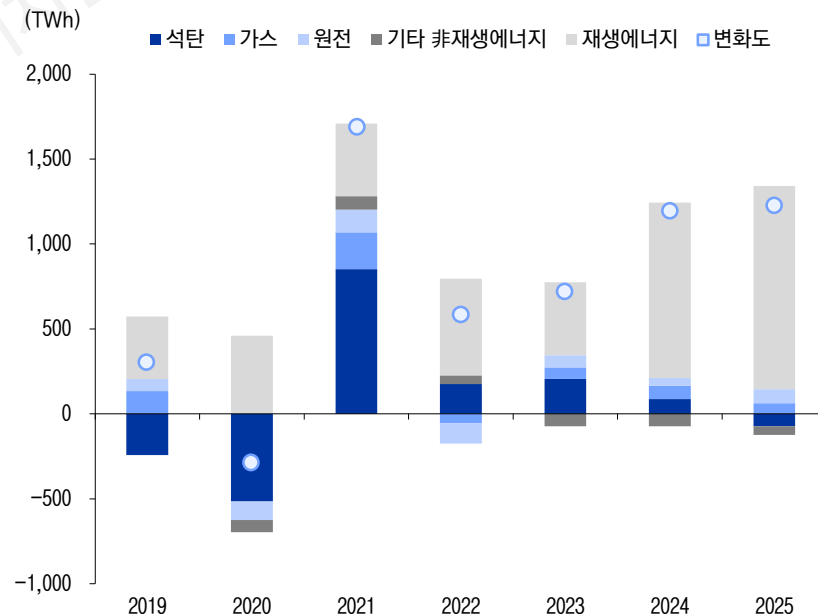
- 천연가스 발전은 2024년과 2025년 평균 1% 증가로 예상됨. 유럽의 감소세가 중동의 석유에서 가스로의 전환으로 상쇄되고 아시아의 LNG 수입 증가
- 원자력 발전은 중국, 한국, 유럽의 신규 원자로와 일본의 재가동 원자로가 가동됨에 따라 2024년 1.6%, 2025년 3.5% 성장이 지속될 것으로 예상. 전 세계 원자력 발전량은 2025년 사상 최고치를 경신할 것으로 예상됨

에너지원 별 전력 발전 전망



자료: IEA, LS증권 리서치센터

에너지 원 별 전력 발전 전망

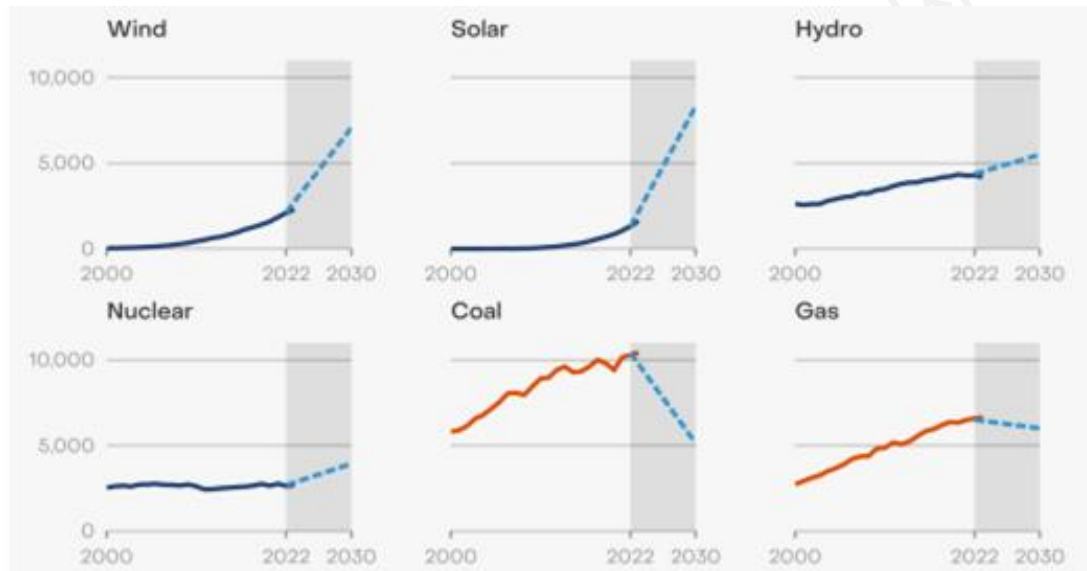


IEA의 2050년 Net Zero 목표에 따른 전력 발전 믹스

● IEA는 2050년 탄소 배출 제로를 목표로 전력 발전 믹스 변화 경로를 제시

- COP28에서 전 세계는 2030년까지 재생 가능한 전기 용량을 3배로 늘려 전력 부문 배출량을 거의 절반으로 줄인다는 글로벌 목표에 동의
- IEA의 Net Zero 시나리오에 부합하려면 2022년에서 2030년 사이에 풍력 발전이 3배 증가(연간 +16%), 태양광은 현재 발전량의 5배(연간 +26%) 이상 성장 필요. 2023년 태양광은 23%, 풍력은 10% 성장
- 수력 발전의 성장은 지난 20년 동안 보인 성장세를 추월해야 하나, 최근 몇 년 간 수력 발전소의 생산량은 정체. 원자력 발전은 지난 20년 동안 전 세계적으로 변하지 않았지만 2023년 대비 47%의 상당한 증가를 보여야 할 것. 2023년 원자력 발전은 1.8% 증가에 그쳤고 수력 발전은 2% 감소
- 석탄 발전과 가스 발전은 모두 감소해야 하며, 석탄 발전은 필요한 배출량 감소의 대부분을 차지. 석탄 발전은 2023년부터 2030년까지 절반으로 줄어들고 풍력, 태양열 및 수력 발전에 추월될 것. 가스 발전은 2023년 6,634TWh에서 2030년 6,007TWh로 보다 완만한 감소. 2023년에는 석탄과 가스 발전량이 모두 증가

IEA의 Net Zero 하에서의 전력 발전 믹스 경로



자료: IEA, LS증권 리서치센터

국가 별 전력 수요 현황

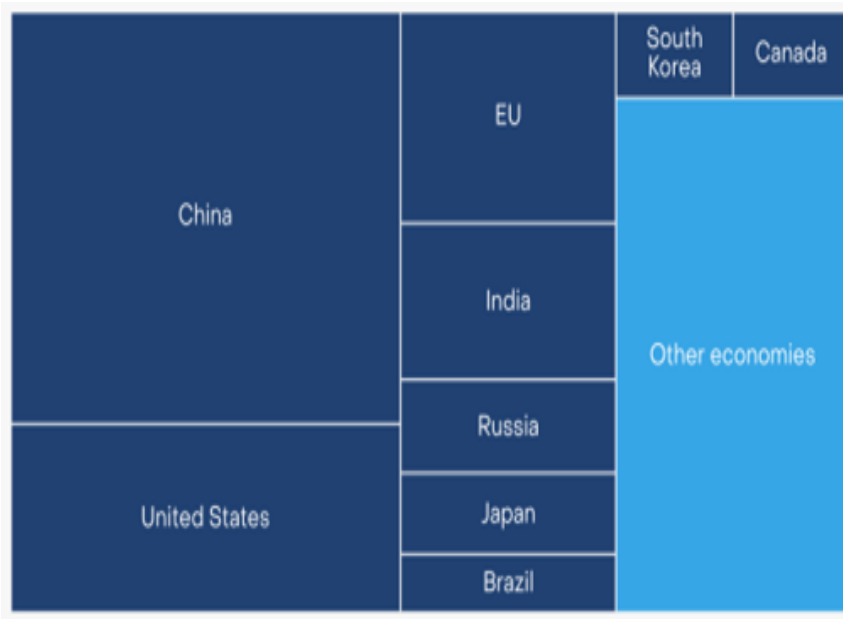
● G2 전력 수요가 전체의 47%

- 2023년 기준 중국의 전력 수요는 9,441TWh로 아시아의 62%, 전 세계 전력 수요의 32%를 차지
- 미국은 전 세계 전력 수요의 14.5%(4,270TWh)로 두 번째로 높은 전력 수요를 기록

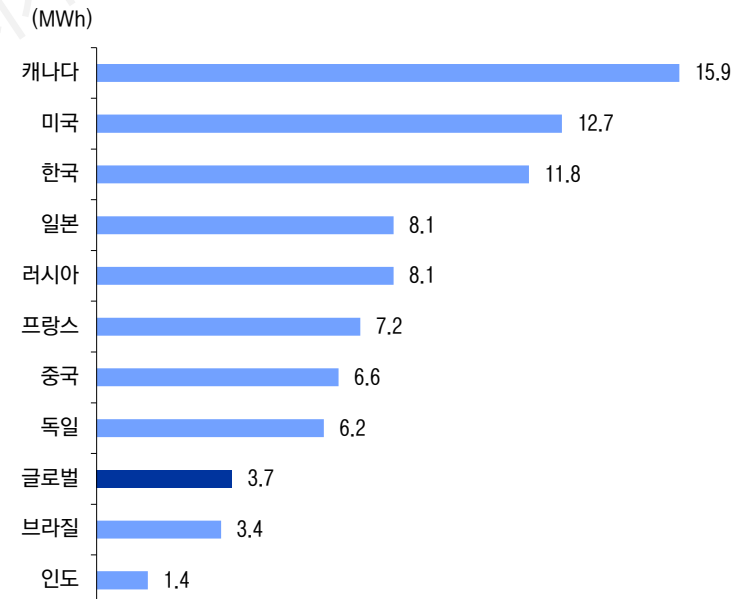
● 1인당 전력 수요는 여전히 큰 격차

- 캐나다와 미국은 1인당 전력 수요가 가장 높은 국가. 2023년 캐나다의 1인당 수요는 15.9MWh로 세계 평균의 4배 이상. 미국의 1인당 수요는 독일의 2배
- 상대적으로 1인당 전력 소비가 낮은 인도, 브라질 등 신흥국들의 높은 성장세 예상됨

국가 별 전력 수요 (2023년)



국가 별 1인당 전력 소비 (2023년)



전력 수요 추이 및 전망

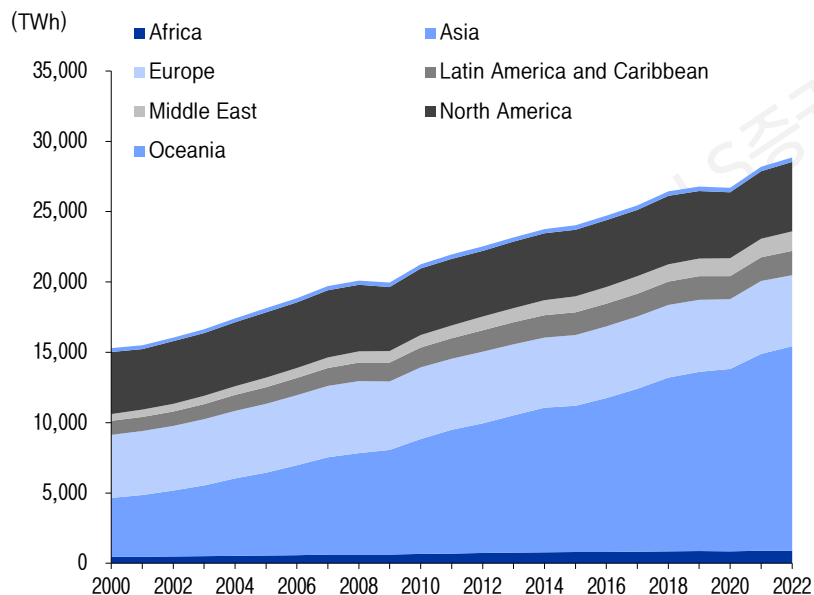
● 서서히 감소하는 화석 에너지 비중

- 세계 전력 수요는 2000년 15,277TWh에서 2023년 29,471TWh로 지난 20년 동안 두 배로 증가. 전력 수요 증가는 주로 아시아의 경제 성장에 의해 주도됨. 아시아의 수요는 2000년 4,199TWh에서 2023년 15,228TWh로 3배 이상 증가. 2023년 아시아의 전력 수요는 2000년 전 세계 총 전력 수요와 유사한 수치

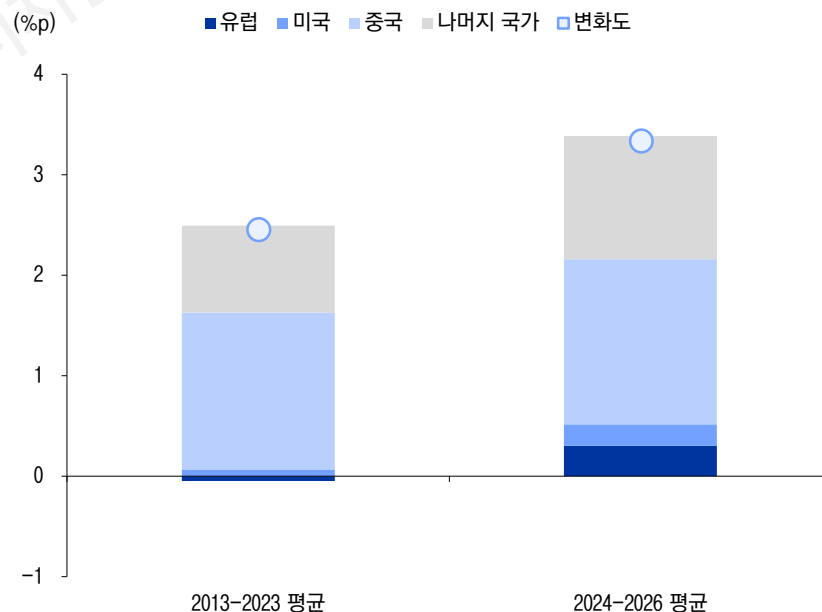
● 급증하는 신재생 에너지 비중

- 전력화가 계속 가속화됨에 따라 2024-2026년 동안 연간 성장률은 3.4%로 글로벌 GDP 성장률(+3.1%)을 초과할 전망
- 2024년 수요 증가율은 6.5%, 2025년에는 6.2%로 완화될 것으로 예상. 중국 경제의 둔화가 예상되고 중공업에 대한 의존도가 낮아지는 방향으로 구조적 전환이 지속되고 있음에도 불구하고 태양광 발전 모듈, 전기 자동차, 배터리 및 관련 재료 가공의 급속한 생산 확대는 모두 전력 수요 증가를 뒷받침

지역 별 전력 수요 추이



전력 수요 전망 (~2026)

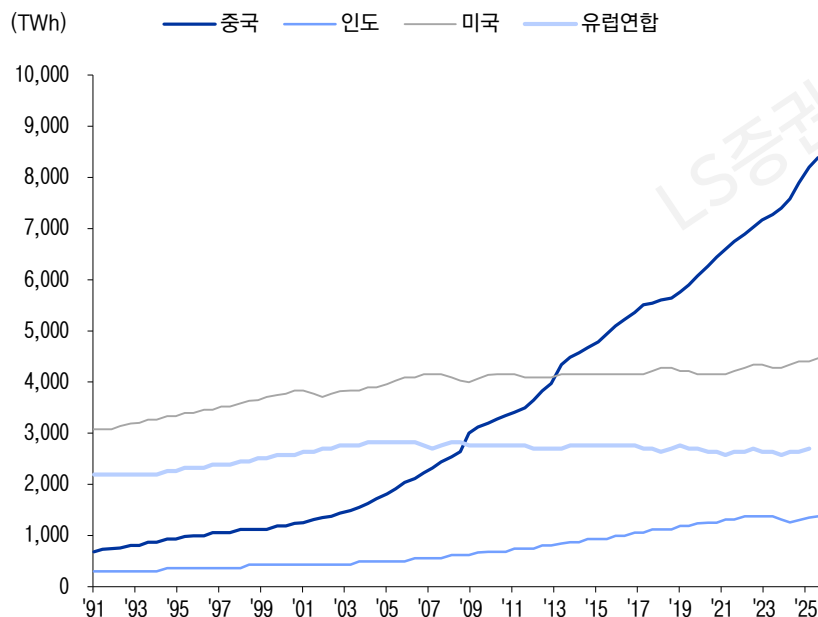


국가 별 전력 수요 전망

● 중국, 인도의 가파른 성장세와 미국, EU의 Level-up

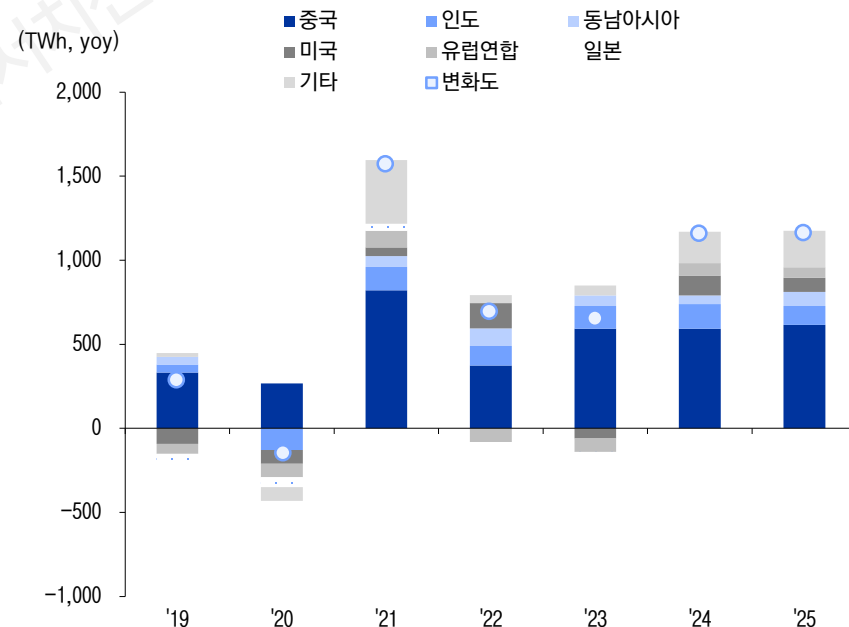
- 중국의 전력 수요는 EV 및 태양광 발전의 급속한 증가가 견인. 2023년 전년 대비 7% 증가한 데 이어 2024년 1분기에도 약 6.5%의 성장률을 유지할 것으로 예상
- 2024년 수요 증가율은 6.5%, 2025년에는 6.2%로 완화될 것으로 예상. 중국 경제의 둔화가 예상되고 중공업에 대한 의존도가 낮아지는 방향으로 구조적 전환이 지속되고 있음에도 불구하고 태양광 발전 모듈, 전기 자동차, 배터리 및 관련 재료 가공의 급속한 생산 확대는 모두 전력 수요 증가를 뒷받침
- 인도는 2023년 8% 이상의 견실한 성장에 이어 2024년 연평균 8.2%의 성장률, 2025년에는 6.8%로 완만하게 완화될 것으로 예상됨. 현재 인도의 1인당 전력 소비량은 유럽연합(EU)의 20%에 불과. 강력한 경제 활동과 함께 새로운 가전 제품 및 에어컨 장치의 구매는 계속해서 전력 수요를 지원
- 미국의 전력 수요는 온화한 날씨로 인해 2023년에 1.6% 감소한 후 2024년 상반기에 3.8% 증가. 이러한 건조한 성장 추세는 올해에도 지속될 것으로 예상되며, 2024년에는 연평균 3%, 2025년에는 1.9%의 연간 성장률을 기록할 것

국가 별 전력 수요 전망



자료: IEA, LS증권 리서치센터

세계 전력 수요 증감 전망 (2019~2025년)

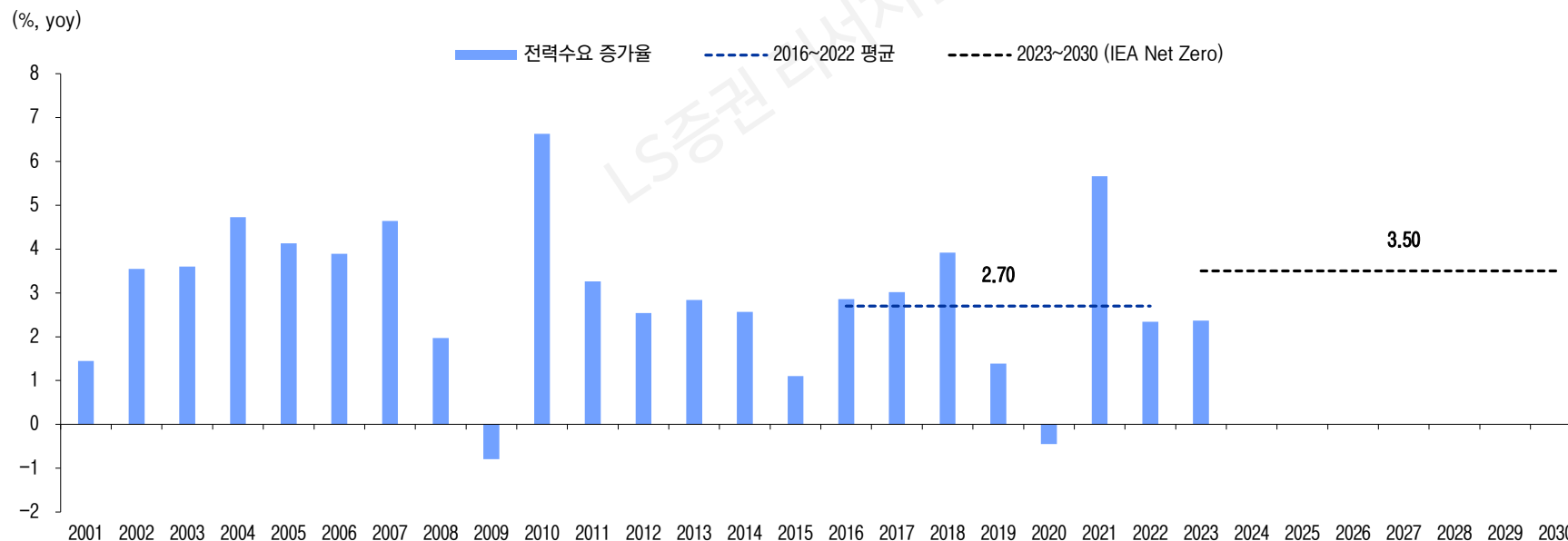


IEA의 Net Zero 목표에 따른 전력 수요 예상

● Net Zero 목표 하에서 보다 가속화될 전력 수요

- IEA의 Net Zero 시나리오에서 전력 수요는 2023년~2030년 연평균 3.5%씩 증가하며, 이는 2016년~2022년 연평균 2.7% 증가를 크게 상회
- 전력화는 이미 수요를 증가시키고 있으며, 데이터 센터, 에어컨 및 산업의 수요가 증가함에 따라 기후 목표를 달성하기 위해 효율성에 중점을 두는 것이 중요. 전기화는 전기 수요를 증가시키는 반면 에너지 효율성은 전력 수요를 억제하는 데 도움
- NZE 시나리오에 따르면 최종 에너지 소비에서 전기가 차지하는 비중은 현재 21%에서 2030년까지 27%로 증가하여 운송 및 산업의 전기화를 가능하게 할 것

IEA의 Net Zero 목표에 따른 전력 수요 증가율 예상



전력 수요 증가를 견인하는 기술

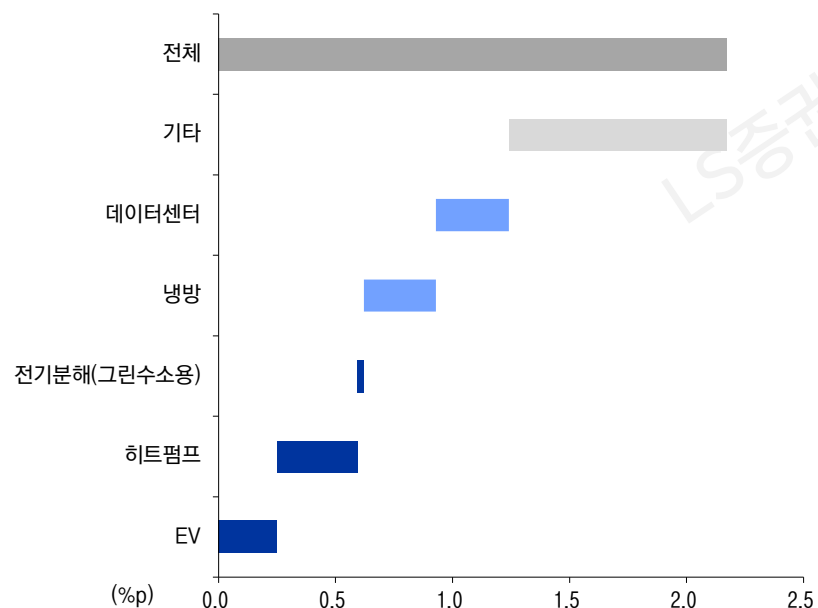
● 전력 수요를 이끄는 5가지 부문과 기존 화석연료 대체 효과

- EV와 히트 펌프는 2023년 세계 전력 수요에 약 0.6%를 추가했으며, 이는 전체 성장의 27%에 해당. 냉방과 데이터 센터는 전력 수요 증가의 28%를 차지
- 2023년 전기차의 추가 수요 72TWh는 ICE 차량의 26만bpd 이상의 석유를 대체. 히트 펌프 판매로 인한 100TWh의 추가 수요는 기존 보일러에서 연소하여 동일한 양의 열을 생산할 경우 약 300TWh의 천연가스를 대체

● 데이터 센터 전력 소비

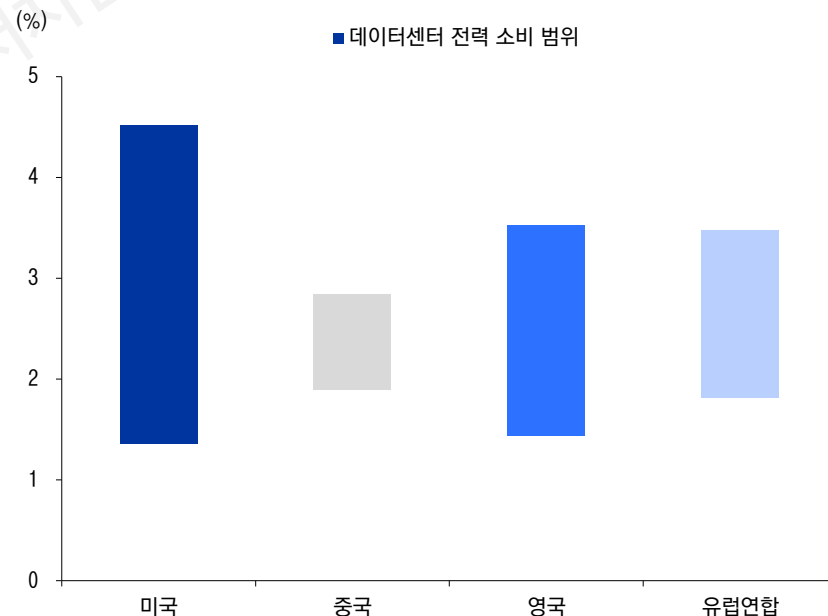
- 2022년 총 전력 수요에서 데이터 센터의 비중은 EU의 경우 1.8%에서 3.5%로 추정. 미국에서는 2022년 1.3%~4.5%로, 중국에서는 1.9%~ 2.9%로 추정됨
- 미국의 경우, 데이터 센터가 2030년에 국가 전기 사용량의 4%에서 10% 사이를 차지할 것으로 예측 (컨설팅사, 투자은행, 산업분석 조직 등)

5가지 부문의 전력 수요 증가 기여 (2023년)



자료: IEA, Ember, LS증권 리서치센터

전체 전력 수요에서 데이터 센터가 차지하는 비중 (2022년)



Part II

원전 증가의 시대적 요구

원전 : 에너지 전환의 가교

- 세계 원전의 현황과 추이
- 주요 시나리오 별 원전 증가 전망
- 원전의 경제성 조건

국가 별 원자력 발전 현황

● 원전은 2023년 전체 전력 믹스의 9.1%(2,686TWh) 점유

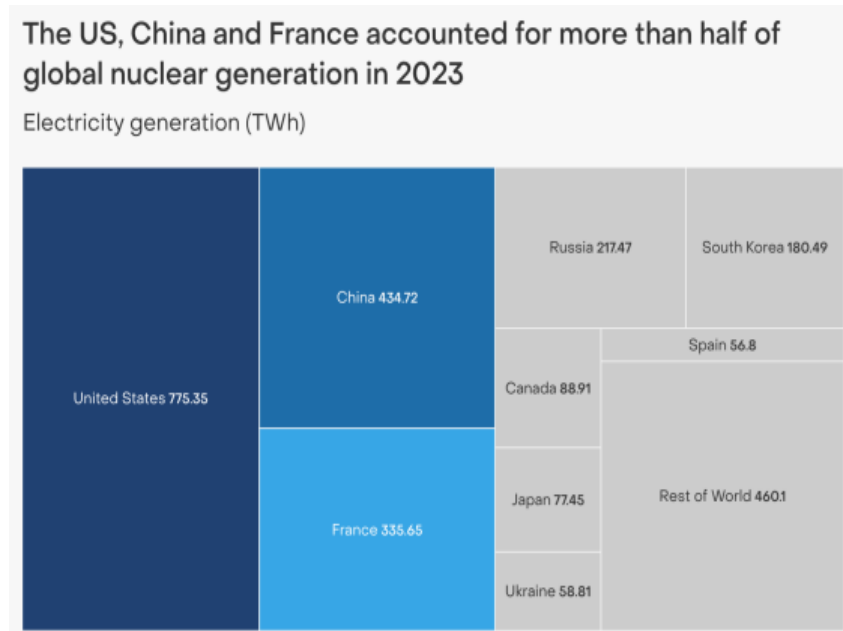
- 2023년 원자력 발전량은 미국(775TWh), 중국(435TWh), 프랑스(336TWh) 순. 3국 합산 전체 원자력 발전량의 절반 이상(58%)을 차지

● 국가 별 원전 비중과 1인당 원전 발전량은 프랑스와 동유럽 국가들이 강세

- 국가 별 원전 비중은 프랑스, 슬로바키아, 우크라이나(추정)가 60%를 상회. 구소련의 영향을 받은 동유럽 국가들의 원전 비중이 높은 것이 특징적

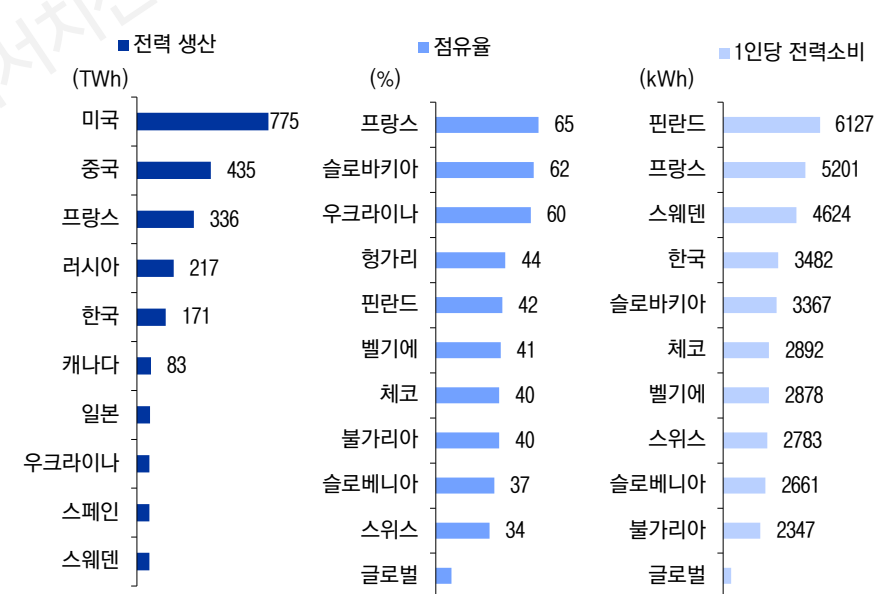
- 1인당 원전 발전량은 핀란드, 프랑스, 스웨덴, 대한민국 순

국가 별 원전 발전량 (2023년)



자료: IAEA, LS증권 리서치센터

국가 별 원전 전력 생산 (2023년)



국가 별 원자력 발전 추이

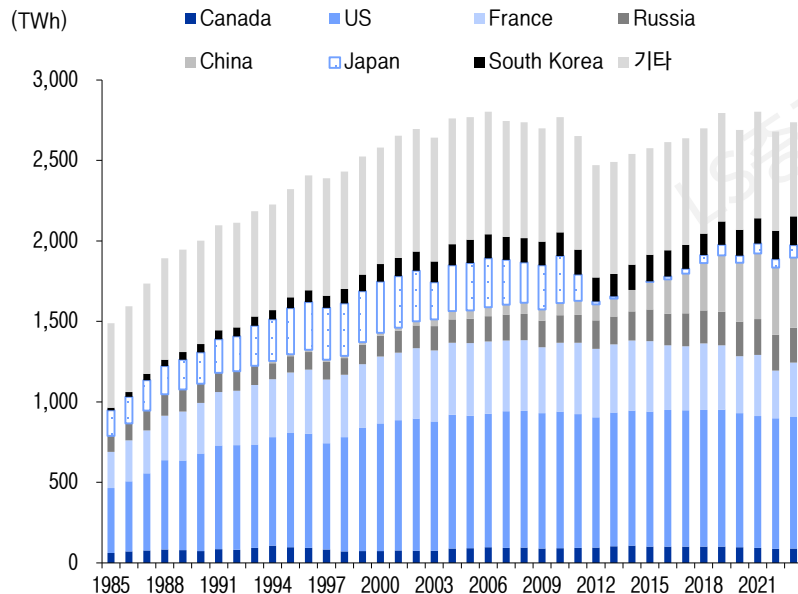
● 2000년대 중반 이후 2012년까지 원전 발전 쇠퇴

- 2023년 원자력 발전량은 2,686TWh로 2000년 대비 145TWh(+6%) 증가. 이는 2011년 후쿠시마 사고 이후 원전 감소와 회복의 결과
- 2000년부터 2023년까지 세계 전력 수요가 두 배로 증가함에 따라 전력 믹스에서 원자력이 차지하는 비중은 2000년 17%에서 2023년 9.1%로 하락
- 2013년부터 꾸준한 성장세를 보인 후, 지난 5년 동안 전 세계 원자력 발전량은 크게 변동. 독일의 감축, 프랑스와 일본의 유지 보수, 중국의 성장으로 인해 변동성 확대

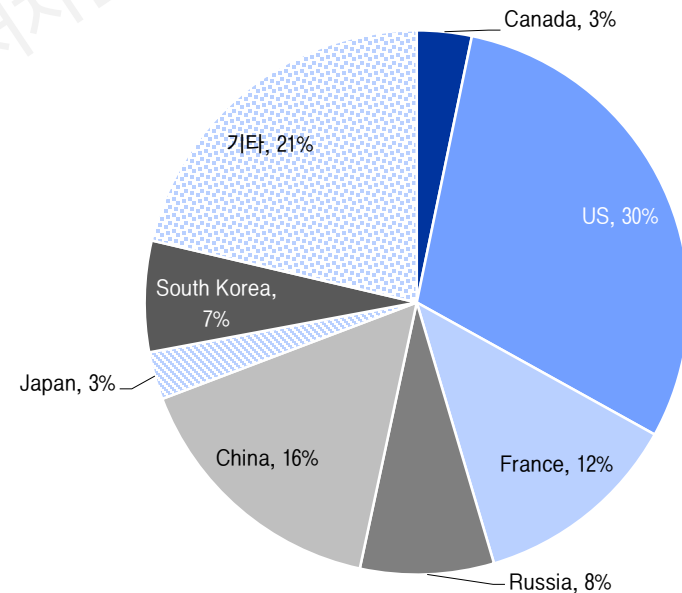
● 2010년대 중국이 견인한 원전 발전 증가

- 발전량은 아시아에서 계속 강하게 증가했으며, 2023년 초부터 중국, UAE, 한국, 파키스탄에서 전력망에 연결된 새로운 원자로가 이러한 증가에 기여
- 특히 중국은 2010년대부터 세계 원전 발전 증가의 대부분을 차지

국가 별 원전 발전 추이



국가 별 원전 발전 비중 (2023년)



IEA Net Zero 목표에 따른 원전 전망

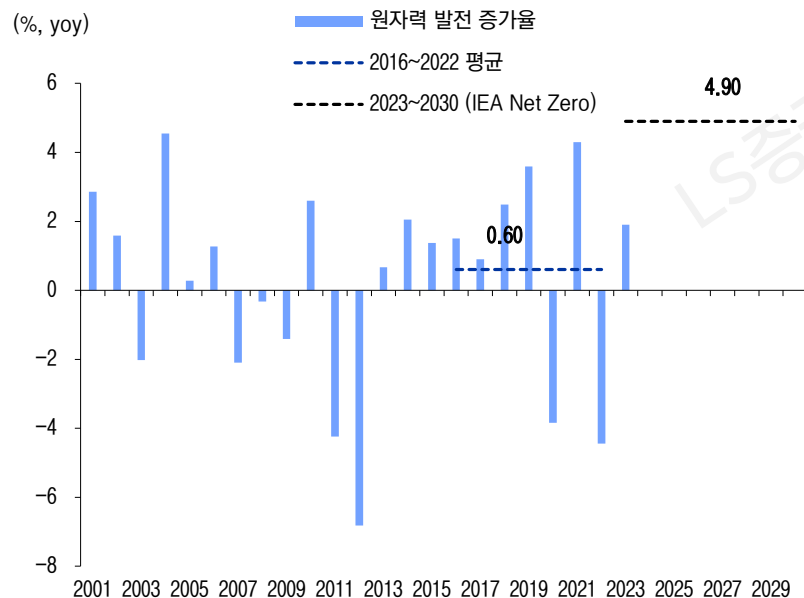
● 2030년까지 연평균 4.9%의 증가 필요

- IEA의 Net Zero 시나리오에 따르면 원자력 발전량은 2030년까지 연평균 4.9% 증가 필요
- 2016년부터 2022년까지 연평균 성장률은 0.6%로 이보다 크게 낮았고, 2023년 성장률인 1.8%도 시나리오에서 요구한 것보다 3배 이상 느린 수준

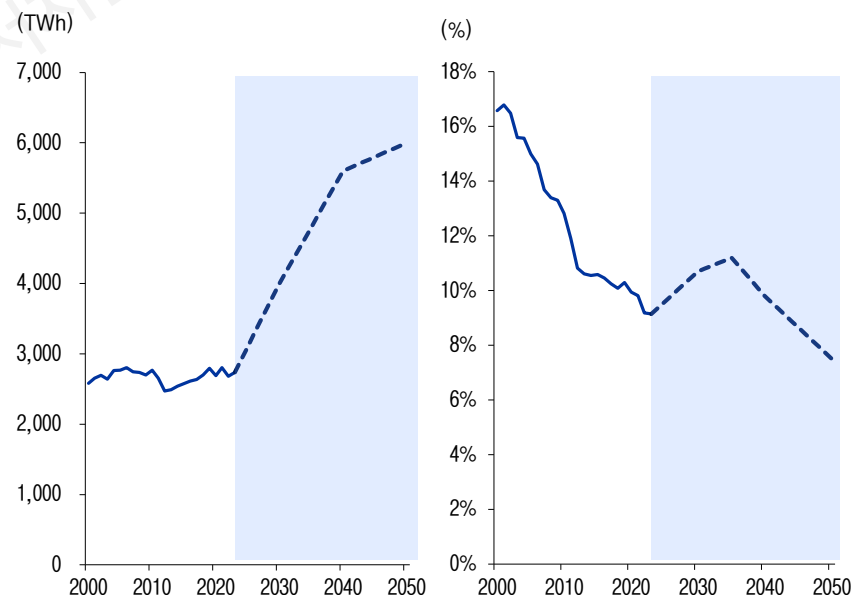
● 2050년까지 2배 이상 증가 필요

- IEA의 Net Zero 시나리오에 따르면 원자력 발전량은 2023년 2,686TWh에서 2030년 3,936TWh, 2050년 6,015TWh로 급증 필요
- 전력 수요도 증가함에 따라 원자력 발전의 점유율은 향후 30년 동안 거의 안정적으로 유지될 것. 2030년에는 2023년 9.1%에서 소폭 증가한 10.3%에 도달하고 2050년에는 7.8%로 하락 전망

원자력 발전 증가율 추이와 Net Zero 목표



Net Zero 목표에 따른 원자력 발전과 전력 내 비중 추이



세계 원전 현황

● 현재 총 413기 가동 중, 25기 가동 중지, 59기 건설 중

- 2023년 말 기준 413기의 원자로가 가동 중이며, 전 세계 원자력 운영 용량은 371.5GW(e). 가동 가능 원자로에는 총 용량 21.3GW(e) 원자로 25기 포함
- 총 용량 61.1GW(e) 원자로 59기가 건설 중 (건설 중단 포함 64기)
- 5GW(e)의 신규 원자로 5기가 전력망에 연결되었고, 총 용량 6GW(e)의 원자로 5기가 퇴역. 총 6.9GW(e)의 용량을 추가할 것으로 예상되는 6개의 새로운 원자로 건설이 시작됨
- 가동 가능 원자로로 산출된 필요 우라늄은 약 6만7천톤. 원자로 1기 당 연간 약 154톤의 우라늄 필요
- 한편 미국은 Palisade, Three Mile Island1, Indian Port2,3 등 원전의 재가동 추진 중. 초기 가동 시 3배의 연료 투입 필요

세계 원전 현황

국가	원전 발전		가동 가능 원자로		건설 중 원자로		계획 중 원자로		제안 중 원자로		필요 우라늄 (2024)
	TWh	%e	대수	Mwe	대수	Mwe	대수	MWe	대수	MWe 총	톤 U
미국	779.2	18.6	94	96,952	0	-	0	-	13	10,500	18,137
중국	406.5	4.9	56	54,362	30	34,661	37	39,860	158	186,450	13,132
프랑스	323.8	64.8	56	61,370	1	1,650	0	-	6	9,900	8,232
러시아	204	18.4	36	26,802	4	3,988	14	8,930	36	37,716	5,436
대한민국	171.6	31.5	26	25,825	2	2,680	2	2,800	0	-	4,309
캐나다	83.5	13.7	19	13,699	0	-	2	400	9	5,700	1,455
일본	77.5	5.6	33	31,679	2	2,756	1	1,385	8	11,562	2,180
스페인	54.4	20.3	7	7,123	0	-	0	-	0	-	1,218
우크라이나	49.6	50.7	15	13,107	2	1,900	2	2,500	7	8,750	1,673
스웨덴	46.6	28.6	6	6,944	0	-	2	2,500	0	-	932
인도	44.6	3.1	23	7,425	7	5,900	12	8,400	28	32,000	1,725
기타	360.7		68	- 89,944	16	17862	16	18167	79	62472	9088
세계	2602	9.0	439	395,388	64	71,397	88	84,942	344	365,050	67,517

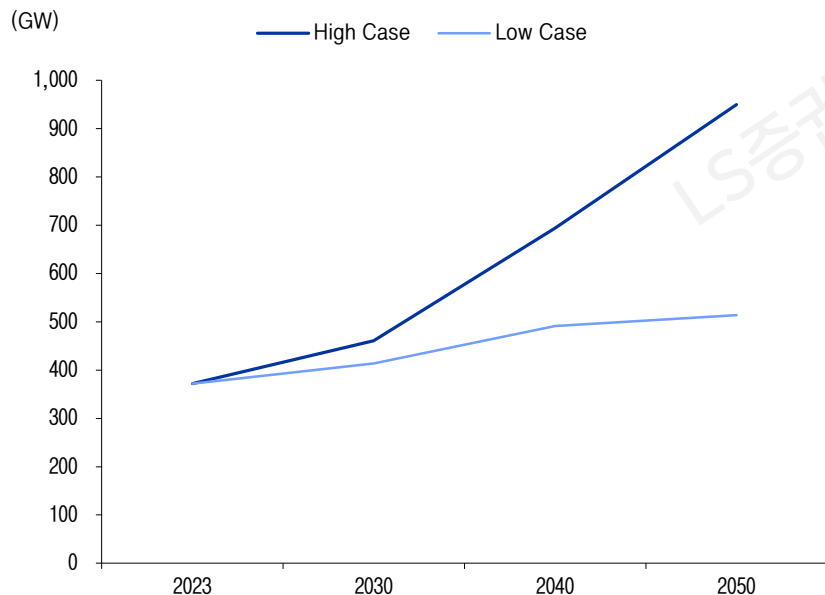
자료: WNA, LS증권 리서치센터

원자력 발전 용량 전망

● IAEA의 시나리오 별 원자력 발전 용량 전망

- 전체 발전 용량은 2030년까지 약 12% 증가하고 2050년까지 두 배 이상 증가할 것으로 예상
- High Case의 경우, 원자력 발전 용량은 2050년까지 2023년 용량의 2.5배로 증가할 것으로 예상
- Low Case의 경우, 원자력 발전 용량은 2030년까지 약 11% 증가한 후 2050년까지 약 24% 증가할 것으로 예상
- High Case의 경우 전체 발전 용량에서 원자력이 차지하는 비중은 2050년까지 0.6%p 증가할 것으로 예상되며, Low Case의 경우 총 발전 용량에서 원자력이 차지하는 비중은 2050년까지 1.6%p 감소할 것으로 예상됨
- IEA의 Net Zero 목표에 따르면 2050년 원전 용량은 916GWe로 예상됨. 이는 High Case에 근접하는 결과

세계 원자력 발전 용량 전망



세계 원자력 발전 용량 전망

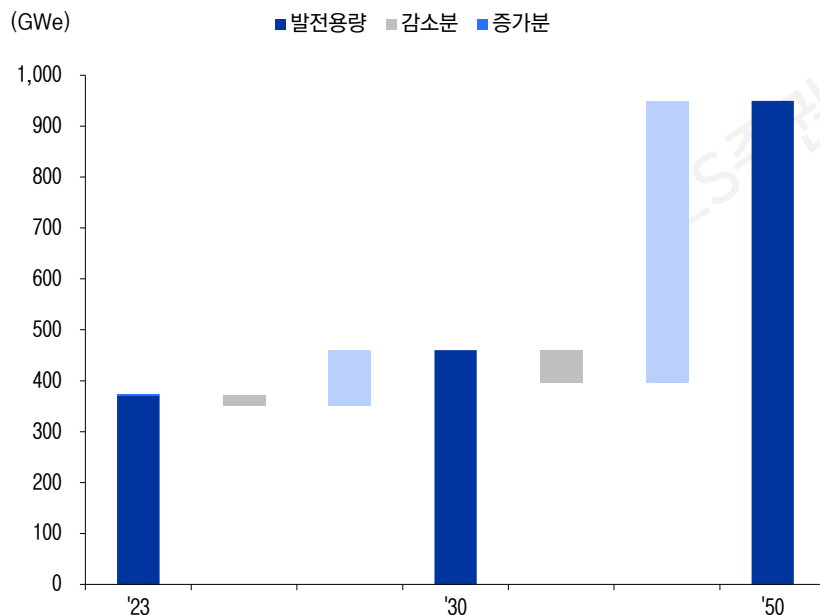
전력 발전 용량 (GW(e))	2023	2030		2040		2050	
		Low	High	Low	High	Low	High
전체 전력	8 992	10 042	10 042	13 747	13 747	20 329	20 329
원전	372	414	461	491	694	514	950
전력 발전 중 원전 비중(%)	4.1%	4.1%	4.6%	3.6%	5.0%	2.5%	4.7%

원자력 발전 용량 전망

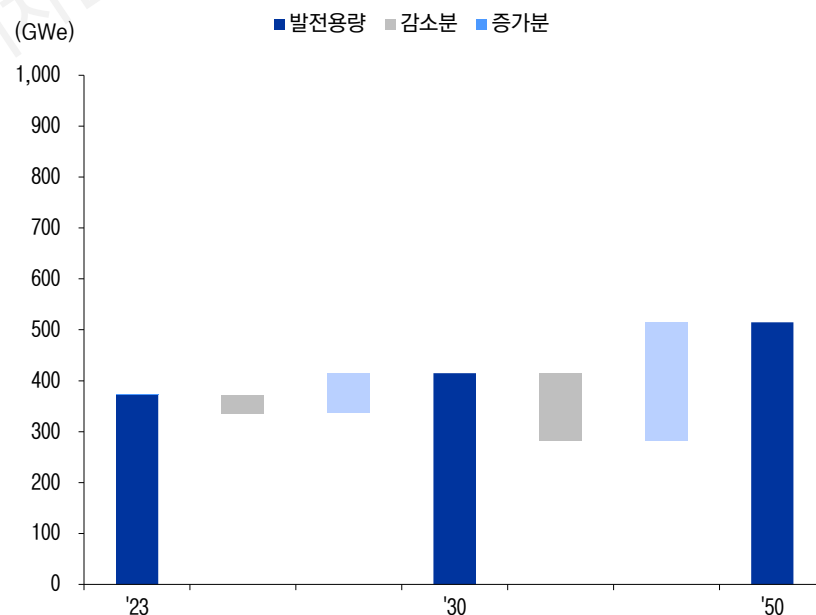
● IAEA의 시나리오 별 원자력 발전 용량 상세 전망

- 원자력 발전소 중 2/3는 30년 이상 가동되고 있으며, 30%는 40년 이상 가동 중
- High Case의 경우, 퇴역 예정인 대부분의 원자력 발전소의 가동 수명이 연장되어 2023년 원자력 발전 용량 중 약 84GW(e)만 2050년까지 퇴역하는 것으로 가정. 이로 인해 2050년까지 557GW(e)의 순 용량 추가가 발생할 것으로 예상
- Low Case의 경우, 2023년 원자력 발전 용량 중 166GW(e)가 2050년까지 퇴역하는 것으로 가정. 이로 인해 2050년까지 122GW(e)의 순 용량 추가가 발생할 것으로 예상

원자력 발전 용량 전망 - High Case



원자력 발전 용량 전망 - Low Case



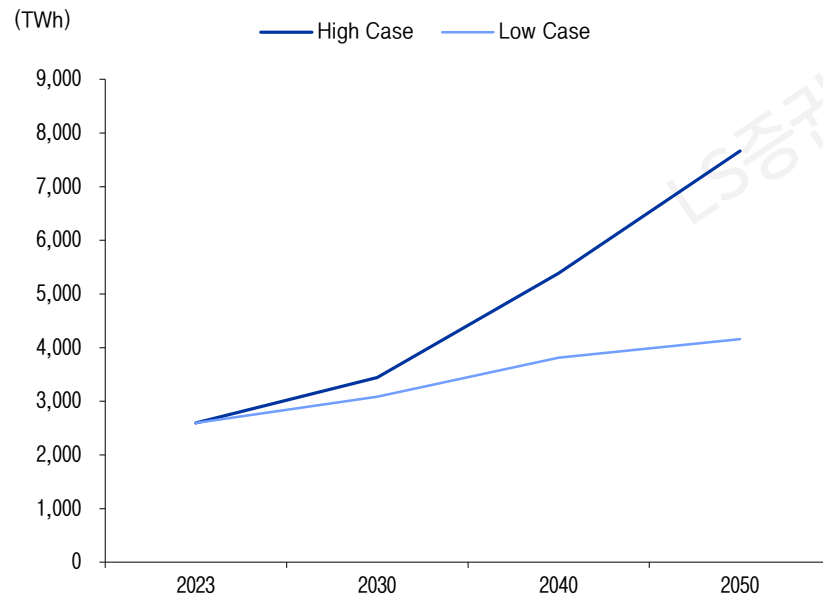
자료: IAEA, LS증권 리서치센터

원자력 전력 생산 전망

● IAEA의 시나리오 별 원자력 전력 생산 전망

- 총 전기 생산량은 2023년 대비 2030년까지 16%, 2050년까지 두 배 이상 증가할 것으로 예상
- High Case의 경우, 2050년까지 원자력 발전량은 2023년 대비 3배 가량 증가할 것으로 예상. 전체 전력 생산에서 원자력이 차지하는 비중은 3.6%p 증가할 것으로 예상
- Low Case의 경우, 2050년까지 원자력 발전량은 2023년 대비 60% 증가할 것으로 예상. 전체 전력 생산에서 원자력이 차지하는 비중은 2.3%p 감소할 것으로 예상

세계 원전 전력 생산 전망



세계 원전 전력 생산 전망

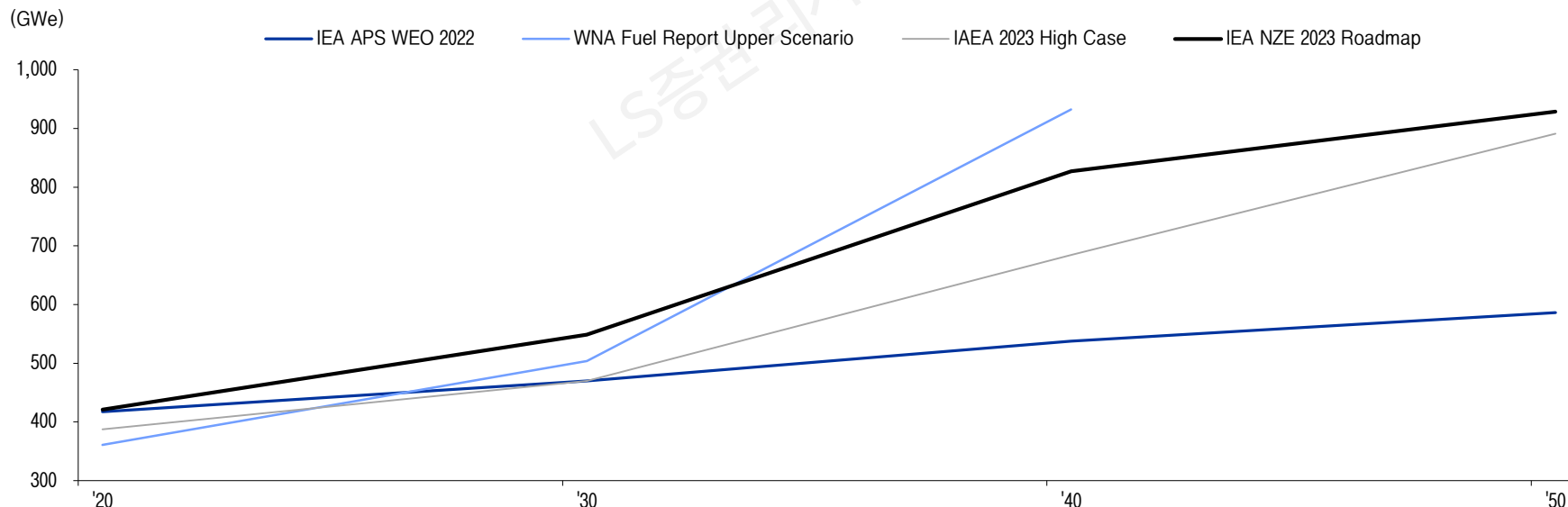
전력 생산 (TWh)	2023	2030		2040		2050	
		Low	High	Low	High	Low	High
전체 전력	28 379	32 932	32 932	43 215	43 215	59 929	59 929
원전	2 598	3 084	3 443	3 812	5 390	4 157	7 666
전력 생산 중 원전 비중(%)	9.2%	9.4%	10.5%	8.8%	12.5%	6.9%	12.8%

원자력 발전 용량 전망 비교

● 기관 별 원자력 발전 용량 전망

- WNA, 2023년 Nuclear Fuel Report에서 원전 용량이 2022년 366GWe에서 2040년 686GWe로 증가하는 것을 기본 시나리오로 전망. High 시나리오에서는 원자력 용량이 2040년에 931GWe에 도달하는 반면, Low 시나리오에서는 486GWe에 불과할 것으로 예상
- IAEA, 2023년 장기 전망에서 2040년 원전 용량에 대한 예측은 Low Case 경우 434GWe, High Case 경우 681GWe로 전망. 2024년 전망에서는 각각 491GWe, 694GWe로 상향 조정
- IEA, Net Zero 하에서 원전 용량이 2040년에 813GWe, 2050년에 916GWe에 이를 것으로 전망. 이는 WNA의 High 시나리오 대비 낮은 수준. IEA는 2050년까지 800GWe 용량에 도달하기 현실적으로 어려울 것으로 보고 있음. 기존 발전소의 폐기를 고려하면 2022-2050년 동안 약 750GWe의 신규 용량 가동 필요. 약 30년간 연평균 27GWe 이상의 용량이 시작되어야 하는 셈. 이는 1984년의 기록인 34GWe보다는 낮지만 10년 동안의 이전 평균을 훨씬 상회

기관 별 세계 원자력 발전 용량 전망



자료: IAEA, LS증권 리서치센터

원전의 경제성

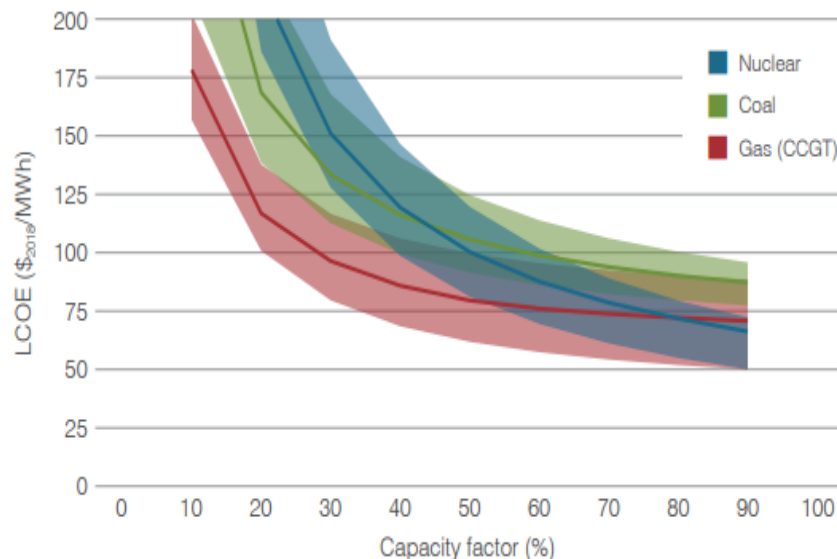
● 주요 전력원 중 원전의 LCOE(Levelized Cost of Energy, 균등화발전비용)가 가동률에 가장 민감

- 건설 비용과 자본 비용을 합한 높은 고정 비용과 낮은 운영 비용으로 인해 원자력 발전소의 평균 비용은 생산량 증가에 따라 크게 하락
- 원자력 사업자는 일반적으로 가장 낮은 한계 및 평균 비용을 달성하기 위해 발전소를 지속적으로 운영하는 것을 목표로 함

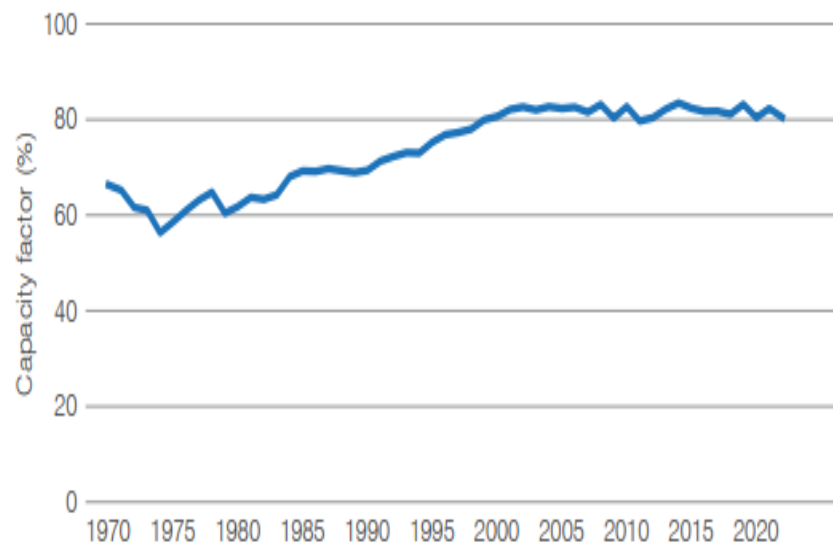
● 상향 안정화된 원전의 가동률

- 세계적으로 원자력 운영에 대한 전문성이 높아짐에 따라 1990년 이후 전 세계 원전의 가동률 70%에서 80%로 증가
- 미국에서는 66%에서 90%로 상승. 유럽과 아시아에서도 수년 간 90% 이상 수준 유지. 단 프랑스에서는 신재생 에너지 비중이 증가하고, 원전이 가변적 수요를 충족하기 위해 기저전력으로 사용되기 때문에 가동률이 낮으며 이는 전체 평균을 낮춤

주요 전력원 별 가동률과 LCOE



원전의 가동률 추이



원전의 경제성

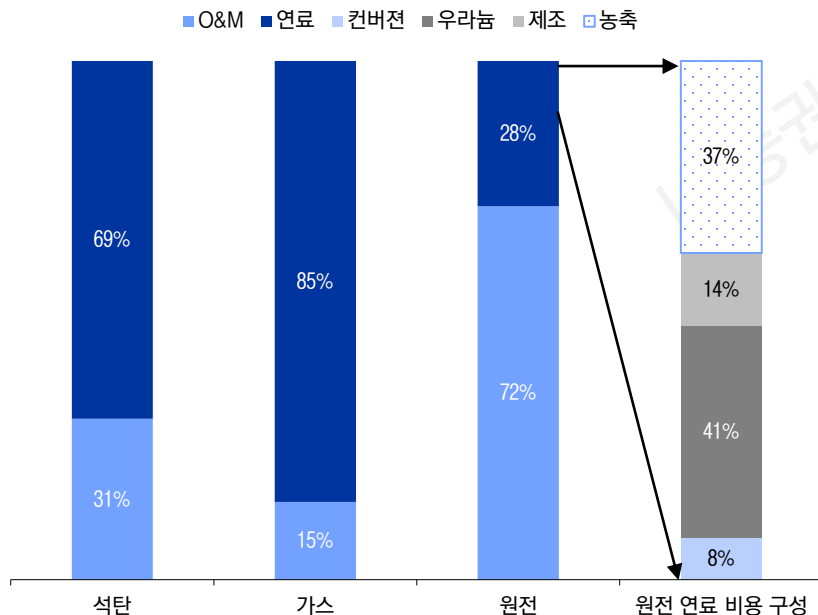
● 주요 전력원 중 원전은 운영비용에서 연료비의 비중이 낮음

- 핵연료 비용은 석탄과 천연가스에 비해 상대적으로 낮은 반면, O&M(운영 및 유지관리) 비용은 다른 전력원보다 다소 높은 경향
- 프랑스 송전 시스템 운영사인 RTE의 보고서에 따르면 자본 비용을 포함한 원자력 발전소의 LCOE는 약 €40/MWh이며, 이 중 약 €10/MWh는 연료비에 해당
- 한편 연료비 내에서도 직접적인 우라늄 비용은 40% 내외로, 농축, 연료화, 전환 과정이 60%의 비용을 차지

● 문제는 자본 비용에 따라 급격히 증가하는 원전의 LCOE

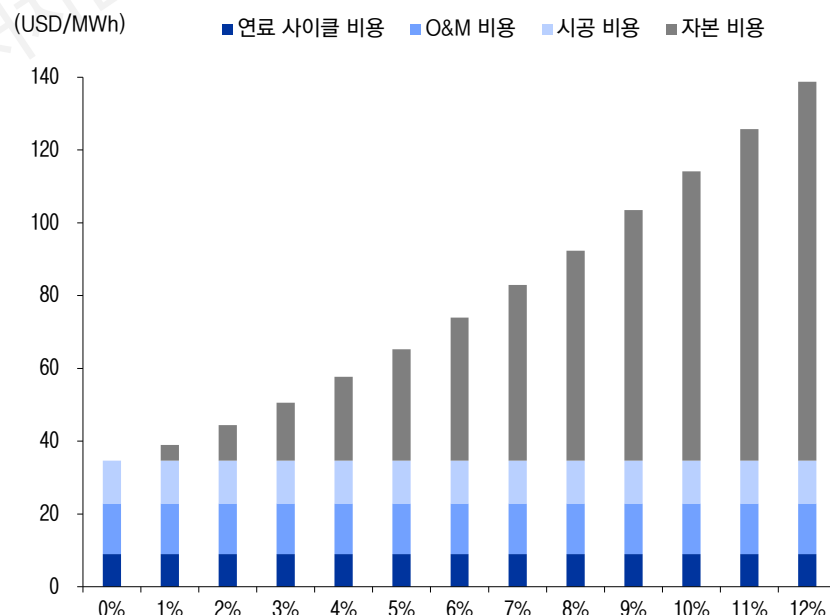
- 연구에 자본 비용이 신규 원전 LCOE의 약 65-85%를 차지. 복합 화력 가스(CCGT) 발전소의 경우 일반적으로 LCOE의 20%가 자본 비용
- 원전은 초기 자본 비용이 높아 고금리 상황에서 재무 평가 비교에서 불리

주요 전력원 운영비용의 구성



자료: IAEA, LS증권 리서치센터

자본 비용에 따른 원전의 LCOE 변화



Part III

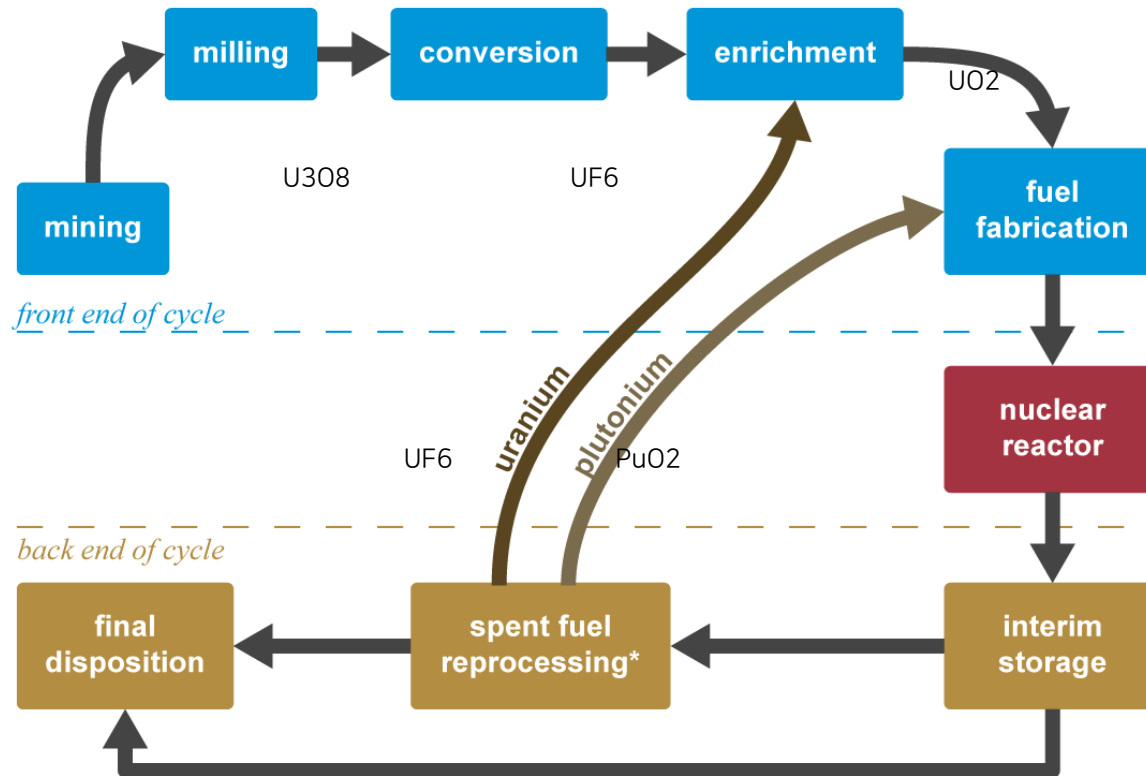
우라늄 시장 분석

과연 공급 부족이 맞나?

- 우라늄 시장 개괄
- 구조적인 광산 공급 부족과 2차 공급
- 농축 우라늄과 HALUE

핵원료 사이클

Nuclear fuel cycle



*Spent fuel reprocessing is omitted from the cycle in most countries, including the United States.

과정	결과물
Mining	천연우라늄 원광
Milling	Yellowcake (U3O8)
Refining	UO3
Conversion	UF6
Enrichment	농축UF6, 열화UF6
Deconversion	UO2
Fuel Fabrication	UO2 pellet
Reactor	사용 후 연료

핵원료 사이클 – Front End

● 우라늄에서 핵분열에 이르기 까지 과정

1. 광산에서 **우라늄 원광**을 캐낸다. (Mining)
2. 우라늄 원광을 잘게 부순다.
3. 화학처리를 해서 우라늄만 남긴다.(Milling)
4. 천연우라늄(**산화우라늄=옐로케이크=U3O8**)을 만든다. 천연우라늄 속에는 U238이 99.29%, U235가 0.71% 포함돼 있다.
5. 우라늄정광에 불소(F)를 첨가해 화학결합을 유도하면, 산화우라늄의 산소가 불소로 바뀌어서, 우라늄 농축에 적합한 **육불화우라늄(UF6)**이 만들어진다.
6. 육불화우라늄을 섭씨 80-90도로 가열하면 기체가 된다.
7. 육불화우라늄 가스를 가스 원심분리기에 주입해서 돌리면, 초음속으로 돌면서, 가벼운 우라늄-235 가스가 위로 몰린다. 이런 방식으로 U235을 농축한다.
8. U235 농축도 3-5%가 되면 **저농축 우라늄(LEU)**라고 하며, 액체로 된 육불화우라늄을 수출한다. 한국은 테넥스, 유렌코 등의 우라늄 농축회사에서 이렇게 액체 육불화우라늄인 LEU를 수입한다.
9. 액체 육불화우라늄인 LEU를 분말 형태의 **이산화우라늄(UO2)**으로 재변환한다. 이를 건식재변환이라 한다. 농축우라늄을 기화기에 넣고 100~105도로 가열, 겔을 기화시킨 뒤 변환로로 옮겨 고온의 수증기 및 수소가스와 반응시키면 분말 UO2가 생성된다.
10. UO2 분말을 담배필터 크기의 원통 모양으로 압축성형하고 1,750도의 고온에서 열처리한 다음 표면을 연삭해 반들반들하게 마무리하면 완성된다. 열처리와 연삭 과정을 거치기 때문에 외관상 세라믹과 유사하다. 완성된 **소결체(펠릿)**는 하나의 중량이 5.2g이며 직경은 8mm, 높이는 10mm다. 새끼손톱 크기의 도자기 같다.
11. 지르코늄으로 된 금속 **핵연료봉** 안에, 펠릿을 가득 담는다. 완성된 핵연료봉을 출하한다.
12. 핵연료봉을 원자로에 넣어 **핵분열**을 시켜 발전한다.

세계 우라늄 매장 지역



국가 별 우라늄 매장량과 생산량

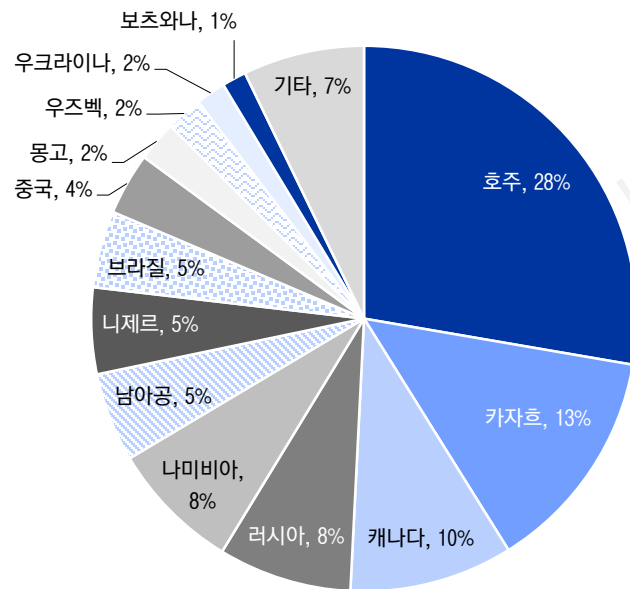
● 우라늄 매장량은 호주, 카자흐스탄, 캐나다가 50% 이상 차지

- 전세계 우라늄 매장량은 \$130/kg U 기준으로 약 608만 톤. 단 \$260/kg U 기준으로는 792만 톤으로 상향 가능
- 매장량 중 호주, 캐나다가 약 40%를 차지하나, 그 외 카자흐스탄, 러시아, 나미비아(중국 투자) 등 비서방 국가들의 비중도 커서 지정학적 리스크에 노출

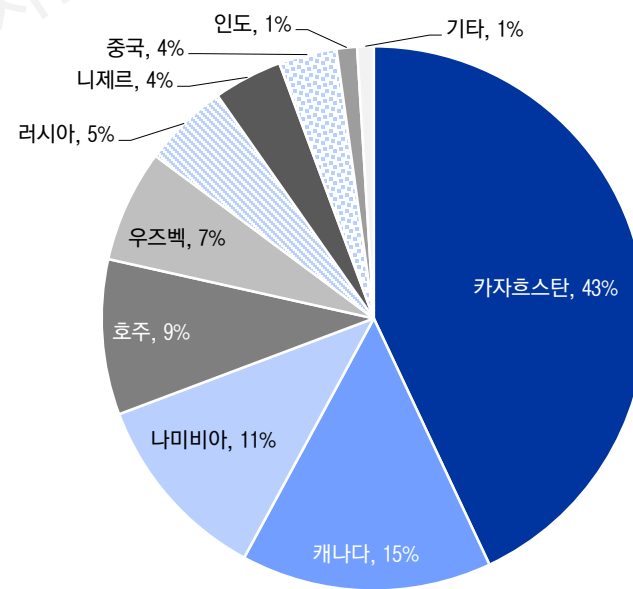
● 우라늄 생산량은 카자흐스탄이 압도적

- 2022년 기준 생산량은 5만 톤 가량으로, 카자흐스탄, 캐나다, 나미비아, 호주 순
- 카자흐스탄은 2000년대부터 본격적으로 생산이 증가하여 2000년대 후반 캐나다를 앞섬
- 향후 매장량 대비 생산 비중이 낮은 호주의 증산 여력에 주목할 필요

국가 별 우라늄 매장량 (2021년)



국가 별 우라늄 생산 비중 (2022년)



주요 우라늄 광산과 생산 기업

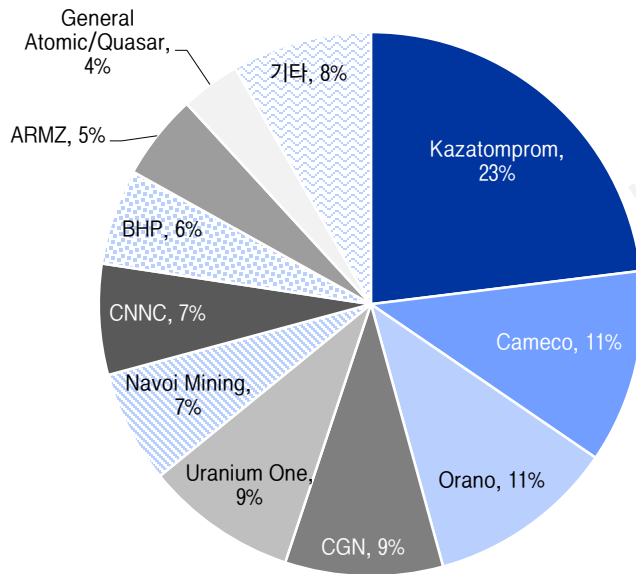
● 우라늄 공급망에 있어서 힘을 발휘하는 러시아, 중국

- 국가 별 생산량과 유사하게 Kazatomprom(카자흐스탄), Cameco(캐나다)가 최대 생산 기업
- 다만 CGN, CNNC(중국, 16%), Uranium One, ARMZ(러시아, 14%) 등 중국과 러시아의 비중도 30%에 달함

● 카자흐스탄, 나미비아, 니제르 광산의 공급 리스크

- 연구에 자본 비용이 신규 원전 LCOE의 약 65-85%를 차지. 복합 화력 가스(CCGT) 발전소의 경우 일반적으로 LOCE의 20%가 자본 비용
- 원전은 초기 자본 비용이 높아 고금리 상황에서 재무 평가 비교에서 불리

기업 별 우라늄 생산 (2022년)



우라늄 광산 생산 현황 (2022년)

광산	국가	소유 회사	유형	생산(t U)	비중
Cigar Lake	캐나다	Cameco / Orano	지하	6928	14%
Husab	나미비아	CGN	노천	3358	7%
Inkai, sites 1-3	카자흐	Kazatomprom / Cameco	ISL	3201	7%
Olympic Dam	호주	BHP	부산물 / 지하	2813	6%
Karatau (Budenovskoye2)	카자흐	Uranium One / Kazatomprom	ISL	2560	5%
Rossing	나미비아	CNNC	노천	2255	5%
SOMAIR	니제르	Orano	노천	2020	4%
Four Mile	호주	Quasar	ISL	1740	3%
Central Mynkuduk	카자흐	Ortalyk	ISL	1650	3%
South Inkai 4	카자흐	Uranium One / Kazatomprom	ISL	1600	3%
Top 10 Total				28,125	57%

우라늄 광산 생산 방법과 전망

● 카자흐스탄 대형 광산 대부분이 침출법(In Situ Leaching) 방식

- 전통적인 노천, 지하 광산에서의 생산 외에 지난 20년간 산성 또는 알칼리성 용액을 사용하여 광산에서 직접 우라늄을 추출하는 ISL 채굴이 지배적인 방식으로 자리잡음
- 카자흐스탄 대형 광산 대부분이 ISL 채굴 방식을 사용하여, 최근 황산 부족에 따른 생산 차질도 발생

● 2040년까지 생산 가능 광산 용량은 시나리오 별로 최대 2배, 최저 현 수준 예상

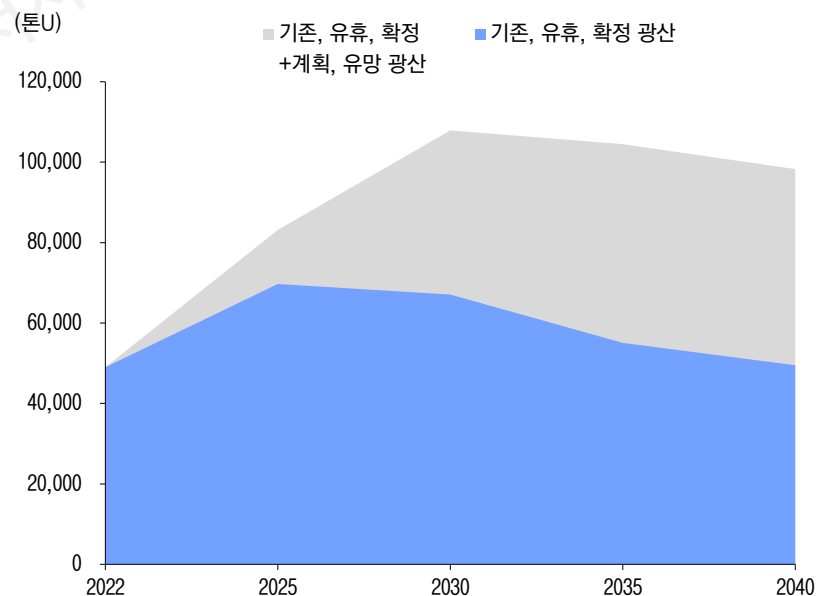
- 기존, 유휴 및 생산이 확정된 광산을 Low Case로 볼 때, 생산 용량은 현재 5만 톤에서 2025~2030년 7만 톤으로 증가 후 2040년 다시 5만 톤으로 감소
- 계획(Planned), 유망(Prospective) 광산의 생산 용량 확장을 High Case로 고려하면 2030년 10.7만 톤의 정점을 기록하고 2040년 9.8만 톤으로 예상
- 다만 실제 생산은 전체 용량 대비 최대 85% 수준

우라늄 생산 방식 (2022년)

(톤 U)	생산량	생산비중
노천 광산	9,229	19%
지하 광산	9,526	19%
ISL	27,773	56%
부산물	3,013	6%
합계	49,355	100%

자료: WNA, IAEA, LS증권 리서치센터

2040년까지 우라늄 광산 생산 용량 전망



우라늄 수요 전망

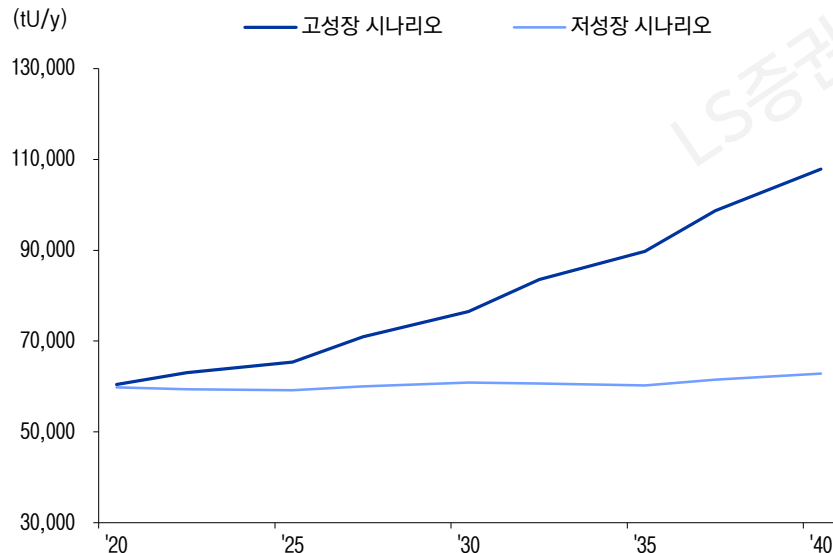
● 우라늄 수요 전망은 IAEA의 시나리오 별 전망(동 자료 17p 참고)에 기초

- 2040년까지 전 세계 원자로 우라늄 수요는 Low Case의 경우 연간 63,040 tU, High Case의 경우 108,272 tU로 증가할 것으로 예상됨
- 이는 IAEA의 시나리오 별 전망에서 보듯, High Case는 높은 전력 수요 증가율과 기후 변화에 대비한 정책 변화를 가정
- 지역 별로는 동아시아의 수요 증가가 두드러지며 2040년까지 Low Case에서 40%, High Case에서 2배로 증가할 전망

● 원전 용량과 별개로 우라늄 수요는 가동률, 농축도, 연소 효율, 연료 사이클 기간에 따라 달라짐

- IAEA의 시나리오 별 원전 용량과 별개로 우라늄 수요는 가동률이 높을수록, 농축도가 높아질수록, 연소 효율이 낮을수록, 연료 사이클이 길수록 증가
- 원전의 가동률 지속적으로 상승하고 있으며, 농축도는 SMR의 HALEU(고순도저농축우라늄) 수요 증가로 상승할 것으로 전망됨에 따라 우라늄 수요 상방 압력 작용

시나리오 별 우라늄 수요 전망



자료: IAEA, LS증권 리서치센터

우라늄 수요에 영향을 미치는 내재 변수들

요인	기준값	변동폭	우라늄 수요 영향
가동률	80%	+5% -5%	+6% -6%
농축도	0.25%	+0.03% -0.03%	+6% -6%
연소 효율	40GWd/tU	+5GWd/tU +10GWd/tU	-3% -4~-5%
연료 사이클	12개월	+6개월 +12개월	+7% +18%

우라늄 수급의 역사

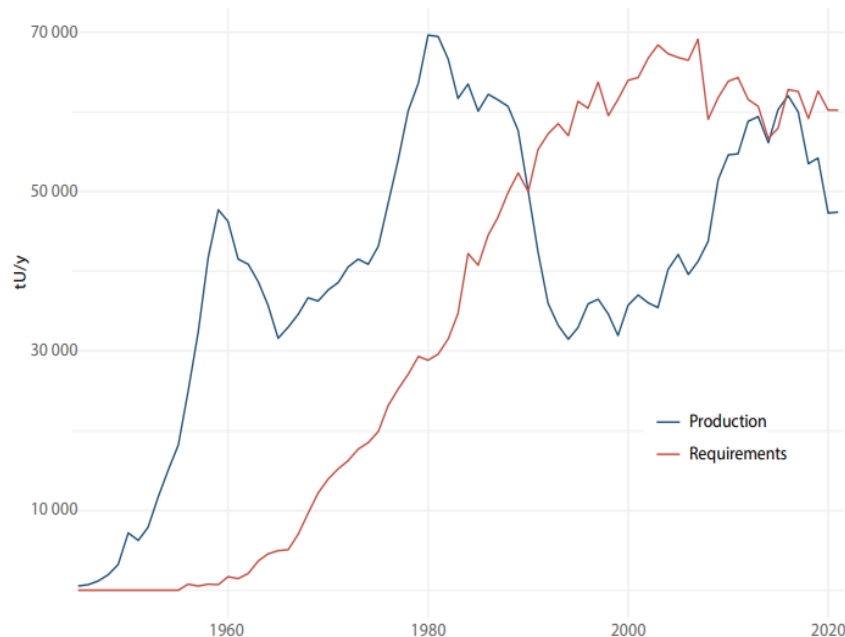
● 우라늄 수급은 1990년대 이후 만성적인 1차 공급(광산) 부족

- 1950년대 후반 원자력의 상업적 개발이 시작된 이래 1990년까지 우라늄 생산량은 지속적으로 상업적 필요량을 초과. 과잉 생산 기간에는 상업용 발전소에서 사용할 수 있는 우라늄 비축되었으나, 1990년 이후에는 생산량이 수요에 크게 못 미쳤고 2차 공급이 부족분을 커버

● 광산 공급의 집중으로 국가 별 수요와 생산 격차 큼

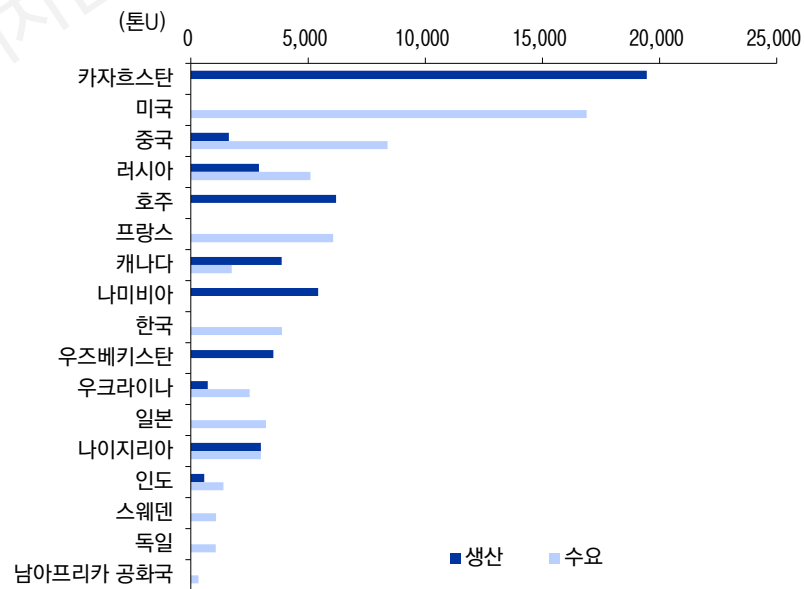
- 원자력 발전 설비를 갖춘 국가 중 캐나다만이 국내 수요를 충족하기에 충분한 우라늄을 생산. 다른 국가들은 수입 우라늄 또는 2차 자원을 활용해야 하는 상황
- 특히 OECD 국가로 한정할 경우, 필요량 대비 생산량은 25~30%에 불과

장기 우라늄 수요와 공급(광산 1차 공급)



자료: IAEA, LS증권 리서치센터

국가 별 우라늄 수요와 생산 격차 (2021년 기준)



2차 공급의 중요성

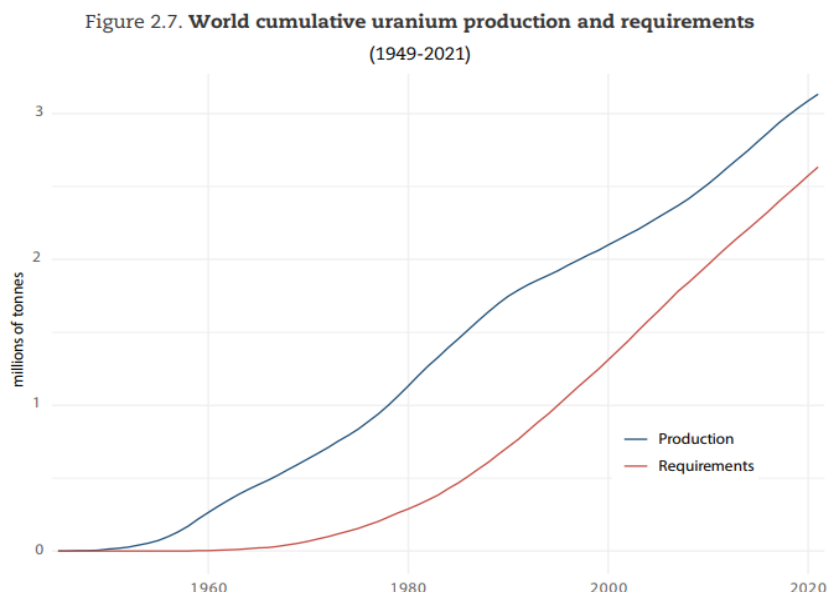
● 과거의 우라늄 공급 과잉이 현재 2차 공급의 원천

- 2차 공급은 과거 우라늄 공급 과잉 시기에 누적된 재고로 볼 수 있음. 2차 공급의 최대 수준은 과거 수급 누적치의 격차인 52만tU로 추정할 수 있음
- 2차 공급은 1) 유틸리티 등의 민간 비축, 2) 군사용 고농축 우라늄(HEU), 3) 사용 후 연료에서 추출한 우라늄과 플루토늄, 4) 열화(depleted) 우라늄 재농축 등으로 구성
- 특히 1987년 미국과 구소련 간 핵무기 감축 조약에 따라 90% 이상의 고농축 우라늄을 활용하여 2013년까지 전체 원자로 수요의 15%를 충당

● 2차 공급 여력의 축소 위험

- 전 세계 유틸리티 보유 재고는 2020년말 기준 약 28만tU로 추정. 이 중 중국 12.9만tU, 미국 4.1만tU, EU 4.2만tU로 추정됨
- 군사용 고농축 우라늄(HEU)의 잔여 재고량은 상당한 수준으로 알려져 있으나, 공식 수치 파악 불가. 신냉전 시대에 접어들며 과거와 같은 군축에 의한 공급 여력은 축소

우라늄 수요와 공급(광산 1차 공급)의 누적치 비교



자료: IAEA, LS증권 리서치센터

미국과 EU 유틸리티 보유 우라늄 재고

연도	유럽 유틸리티 보유 재고	미국 원전 보유 재고
2015	51,892	46,589
2016	51,514	49,217
2017	49,004	47,635
2018	45,342	42,759
2019	42,912	43,385
2020	42,396	41,024
2021	36,810*	41,732

최근 광산 재가동 현황

● 2023년 우라늄 가격 급등에 따른 광산 재가동

- 2020년대 전력화 및 기후 변화 목표 달성을 위한 원전의 중요성 부각, 우라늄(U3O8) 직접 투자 상품 출시 등에 따른 투자 수요로 우라늄 가격 급등
- 가격 급등에 따라 미국, 캐나다 등 과거 폐쇄된 광산을 중심으로 재가동 활발. 현재까지 발표된 재가동 용량은 연간 9000tU 가량이며 이중 연간 2650tU이 생산 재개

● 광산 재가동 및 2차 공급 반영 시 수급 격차는 완화

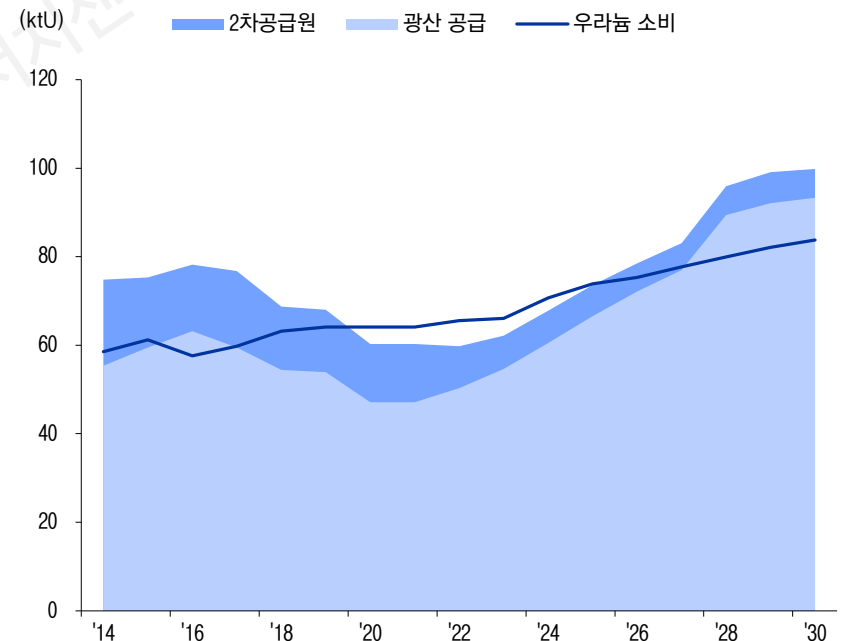
- 최대 1만tU 가량의 광산 재가동 및 2~5만tU의 2차 공급, 우라늄 가격 상승에 따른 High Case 광산 공급을 고려할 때, 우라늄 수급은 균형 회귀 예상
- 다만 2차 공급원에 대한 의존도가 여전히 높은 것은 향후 공급 리스크 요인

우라늄 광산 재가동 현황

광산	기업	국가	유형	개시	'24년 생산량(tU)	캐파(tU)
Pinyon Plan, La Sal & Pandora	Energy Fuels	미국	재가동	2023	150	500
Rosita	enCore Energy	미국	재가동	2023	150	250
Alta Mesa	enCore Energy	미국	재가동	2024	230	1,673
Azelk	SinoU	나제르	재가동	2024	0	225
Nichols Ranch & Whiriwind	Energy Fuels	미국	재가동	2025	0	270
Roca Honda, Sheep Mountain & Bullfrog	Energy Fuels	미국	그린필드	2027	0	1,000
Christensen Ranch	Uranium Energy Corp	미국	재가동	2024	300	750
Tony M	Iso Energy	미국	재가동	2025	0	78
McClean Lake		캐나다	재가동	2025	0	1,154
Kayelekera	Lotus Resources	말라위	재가동	2025	0	769
Shootanang Canyon Mill	Anfiled Energy	미국	재가동	2026	0	1,154
Shirley Basdin	Ur-Energy	미국	그린필드	2026	0	385
Lance	Peninsular Energy	미국	재가동	2024	100	700

자료: 보도자료, WNA, LS증권 리서치센터

광산 재가동, 2차 공급 반영한 우라늄 수급 추이



시나리오 별 우라늄 수급 전망

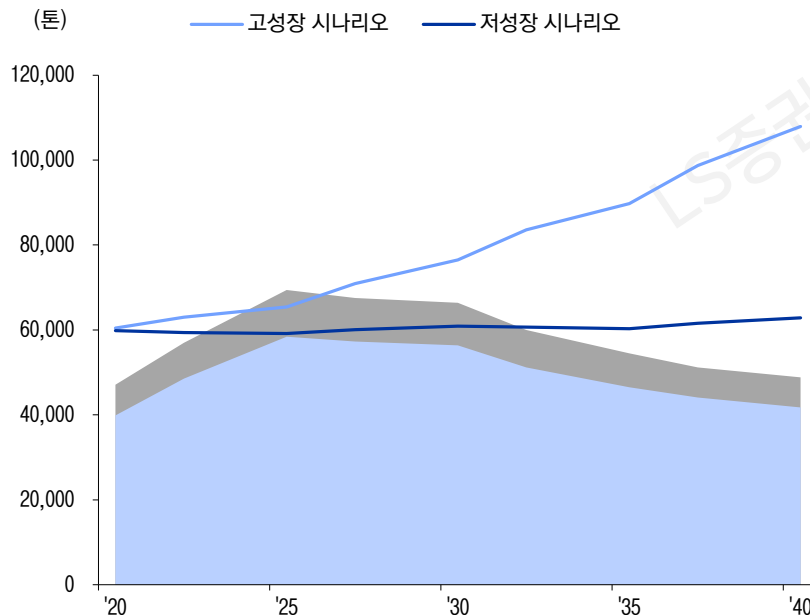
● 낮은 광산 공급 시나리오 하에서도 2025년까지는 수요 충족 가능

- 다만 2030년대 저성장 수요 시나리오 하에서도 공급 부족 발생하며 2040년 수요의 78% 충족 가능
- 고성장 수요 시나리오 하에서는 2025년 이후 본격적으로 공급 부족 발생하며 2040년 수요의 46%만이 충족 가능

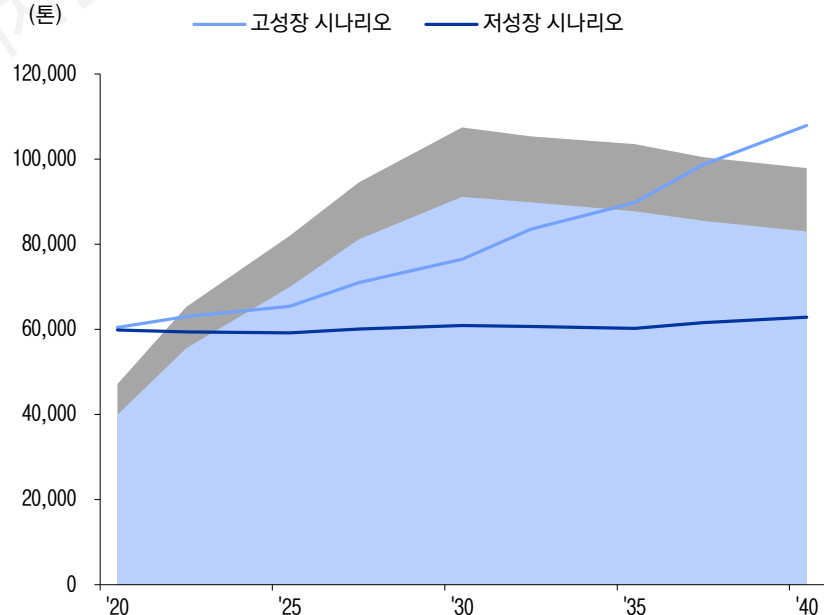
● 높은 광산 공급 시나리오 하에서는 2025~2035년 공급 과잉

- 저성장 수요 시나리오에서는 물론, 고성장 수요 시나리오 하에서도 가까운 미래에 공급 과잉 전환 예상됨
- 다만 실제 광산 생산이 광산 생산 능력의 85%를 넘는 경우는 거의 없으며, 실제 수급 경로는 우라늄 가격과 상호 영향을 주고 받을 것으로 전망됨

낮은 광산 공급 시나리오 하 수급 전망



높은 광산 공급 시나리오 하 수급 전망



우라늄 가격 추이

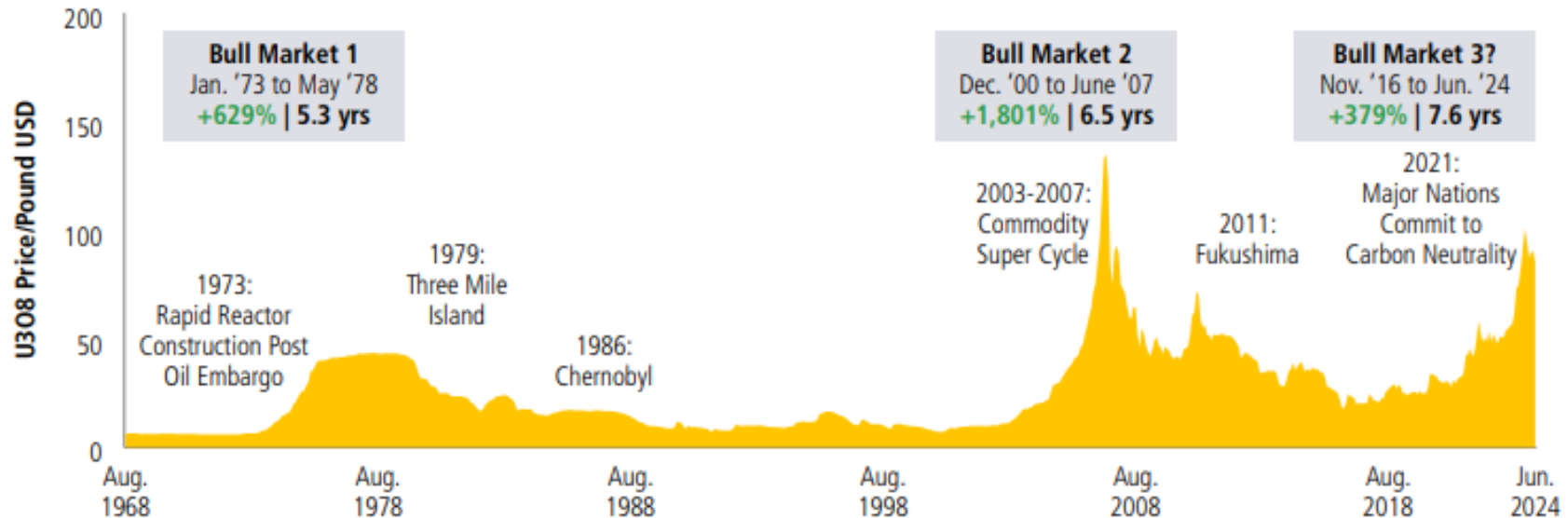
● 유가 상승과 함께 했던 과거의 Bull Market

- 과거 우라늄 가격의 대세 상승기는 유가의 급등과 동행. 1970년대 석유파동은 급격한 원전 건설의 증가로 이어졌고, 2000년대 후반 원자재 수퍼사이클에서 전반적인 에너지 가격 상승과 함께 우라늄 가격도 급등

● 낮은 우라늄 가격 하에서의 공급 감소와 장기 수요 전망이 이끈 가격 상승

- 최근의 우라늄 가격은 2016년을 저점으로 상승세를 재개했으나 본격적인 급등은 대부분 2023년에 나타남. 이는 과거 유가 급등 시기와는 다른 상황으로 2021년부터 탄소중립 목표의 주요 정책으로 원전 확대가 합의된데 따른 것
- 2021년부터 우라늄 투자 수요의 증가도 우라늄 가격 급등에 일조한 것으로 판단

세 차례의 우라늄 가격 대세 상승기



문제는 농축 우라늄

● 2차 공급원 중 농축, 연료 단계의 재고는 낮은 수준

- 우라늄(U308)의 재고는 61개월의 수요를 충당하는 수준이나, 농축 우라늄(EU)의 경우 18개월, 연료 우라늄은 11개월에 불과
- 원전 공급망에서 가장 큰 리스크로 농축 우라늄의 공급이 부각되고 있는 상황. 미국의 러시아산 우라늄 수입 금지(2024. 5)는 농축 우라늄 공급 위험 확대 요인

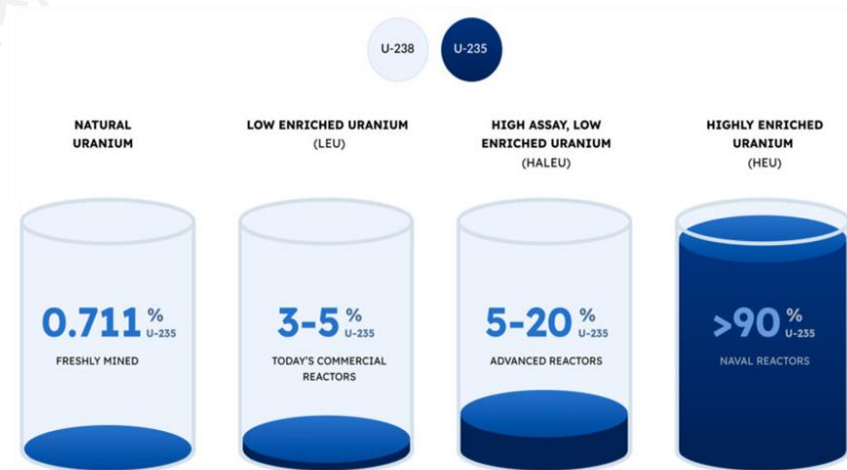
● 우라늄 농축 수준에 따른 용도

- U235의 농축 수준에 따라 용도가 다름. 천연우라늄은 0.7% 함유하고 있고, 3~5% 함유율의 저농축우라늄(LEU)이 전통적인 원전의 원료로 사용되며, 90% 이상 함유율의 고농축우라늄(HEU)은 군사용으로 사용
- SMR(소형모듈원자로) 포함 4세대 원전의 주요 원료인 HALEU(고순도저농축우라늄)의 공급도 중요 이슈로 부각

우라늄 핵연료 단계 별 추정 재고 수준 (2021년말)

	추정 가치 (100만 달러)	단계 별 우라늄량(tU)		
		천연	농축	제조
재고	72,451	324,315	11,055	9,513
'21년도 수요	36,249	64,076	7,472	10,281
재고 소진 기간 (월)	-	61	18	11
재고 소진 기간 (년)	-	5.1	1.5	0.9

고농축과 저농축 우라늄 사이의 HALEU



문제는 농축 우라늄

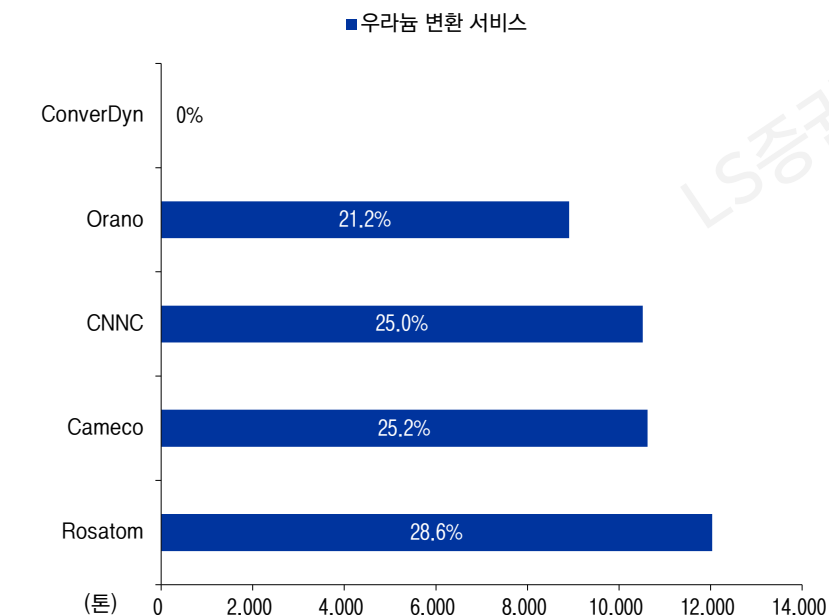
● 우라늄 변환 시장의 서방 vs 비서방 점유율 46 : 54

- 우라늄 변환 시장 점유율은 Rosatom(러시아), Cameco(캐나다), CNNC(중국), Orano(프랑스) 순. 미국 내 ConverDyn 시설의 재개장은 공급 다각화를 강화하여 연간 7,000톤의 허가 용량을 추가하여 세계 5번째 규모로 자리매김 할 것

● 우라늄 농축 시장의 서방 vs 비서방 점유율 41 : 59

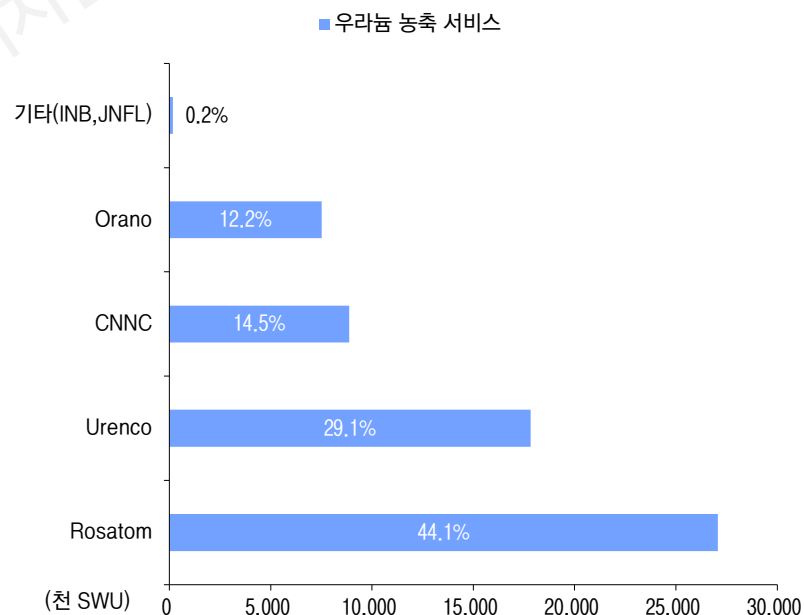
- 우라늄 농축 시장 점유율은 Rosatom/Tenex(러시아), Urenco(영국-독일-네덜란드), CNNC, Orano 순
- Tenex는 현재 HALEU를 생산할 수 있는 라이선스를 보유 중이며 2022년에는 Rosatom은 자회사 Tenex를 통해 유럽 유틸리티 30%, 미국 유틸리티 24% 공급

우라늄 변환(UF6 생산) 시장 점유율 (2023년)



자료: IAEA, LS증권 리서치센터

우라늄 농축 시장 점유율 (2023년)



SMR 상용화와 우라늄 수요

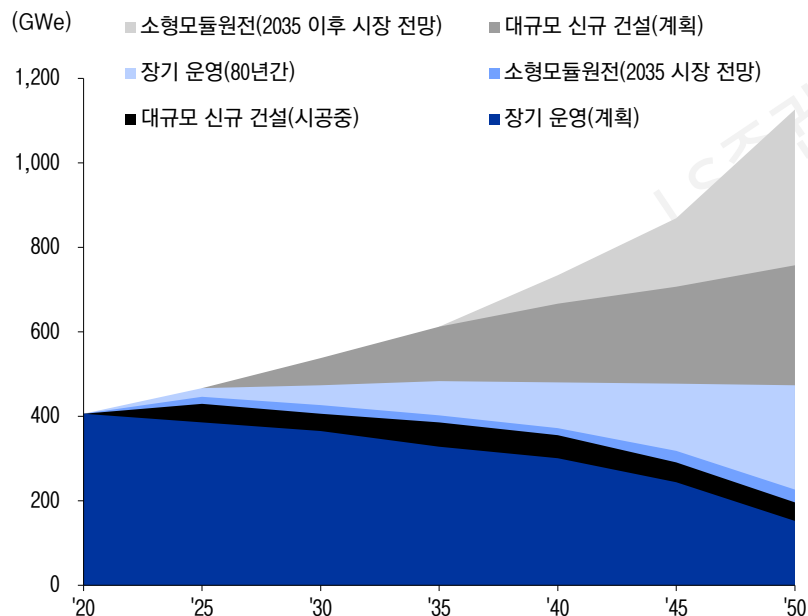
● COP28의 2050년 원전 용량 3배 달성에는 SMR의 보급이 필수적

- COP28의 2050년 원전 용량 3배 목표 달성을 위한 원전 용량 시나리오는 현재 예상되는 기존 원전 용량 경로에 1) 대규모 신규 원전 추가, 2) 원전 운영기간 연장, 3) SMR 상용화가 추가됨. 이 중 SMR 상용화는 전체 추가분의 1/3을 담당할 것으로 전망됨

● 60여개 SMR 방식 중 40%는 HALUE를 원료로 채용

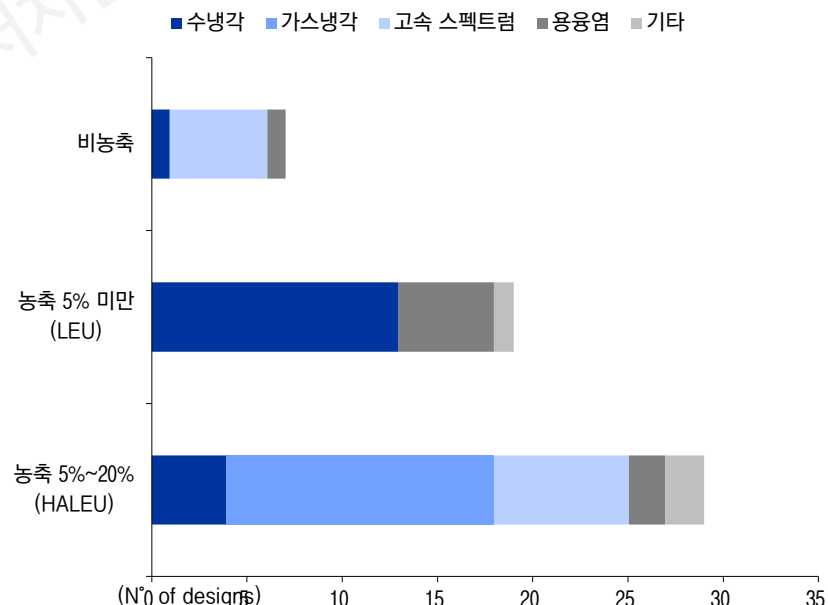
- 현재 계획, 검토 단계 중에 있는 60여개 SMR 방식 중 약 40%는 HALUE를 원료로 채용
- 현재 러시아 TENEX가 유일한 상업 생산자인 HALUE 시장에서 미국의 공급망 구축 노력이 빠른 속도로 진행되고 있음
- 미국은 Energy Act(2020), IRA(2022) 법안을 통해 2026년까지 HALUE 생산, 운반, 상용화 연구에 \$7억 예산 투자

IEA Net Zero 시나리오와 SMR



자료: IAEA, LS증권 리서치센터

SMR 방식 별 우라늄 농축 요구 수준

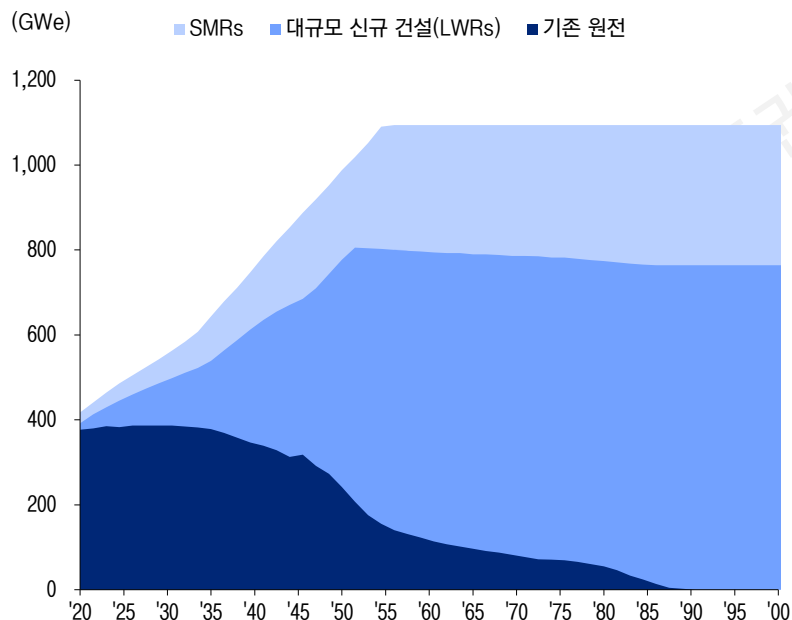


SMR 상용화와 우라늄 수요

● COP28의 2050년 원전 용량 목표 달성 이후 2100년까지의 가정 시 장기 우라늄 수요와 부존량

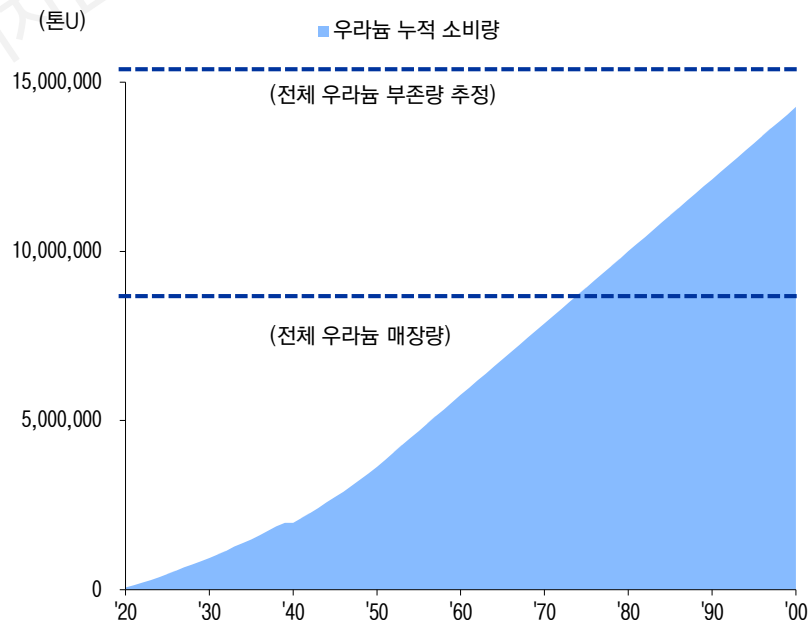
- 2050년 1,100GWe의 원전 용량 달성 후, 약 50년간 정체되는 시나리오 가정
- SMR은 2050년대 이후 꾸준히 전체 원전 용량의 20% 내외 수준으로 가정
- 우라늄 수요는 약 30년간의 급격한 증가 이후, 50년간 선형으로 증가할 것으로 가정. 연간 약 20만tU
- 현재 평가된 전체 우라늄 매장량(800만tU)까지는 2070년경 도달, 매장량에 약 730만tU의 미발견 원시부존량을 합산할 경우 전체 부존량은 1500만tU로 추정
- 이는 연간 약 20만tU 내외의 수요로 2100년까지 충분히 사용 가능할 것으로 추정됨

2050년 이후 원전 용량 정체 가정



자료: IAEA, LS증권 리서치센터

2100년까지 누적 우라늄 수요와 부존량



Centrus Energy (미국 내 HALUE 라이선스 보유)

● Centrus Energy사의 Fact Sheet

국가안보 상 미국 농축 능력의 중요성

2013년 경제적 이유로 파두카 가스 확산 공장이 폐쇄됨에 따라 미국은 맨해튼 프로젝트 이후 처음으로 산업 규모의 국내 우라늄 농축 능력을 상실하게 되었다. 농축능력 회복은 미국의 국가 및 에너지 안보에 중요한 네 가지 이유에서 중요하다.

1. **핵 억지력 유지**: 핵무기의 핵심 성분인 삼중수소를 생산하기 위해서는 국내 농축 능력이 필요하며, 삼중수소는 12년 이내에 붕괴되며 미국의 핵 억지력의 지속적인 효과를 보장하기 위해 보충되어야 한다. 미국의 원심분리기 기술은 농축 우라늄에 대한 미국의 국가 안보 요구를 충족시킬 수 있는 유일한 실행 가능한 기술이다. 미국의 정책과 국제 조약은 국가 안보 목적으로 외국 기술을 사용하는 것을 금지하고 있다. 설령 현재의 삼중수소 공급을 연장할 수 있다 하더라도, 인력과 시설을 잃고 몇 년 후에 두 가지를 모두 처음부터 재건하려고 시도하는 것보다는 국가 안보 역량을 유지하는 것이 장기적으로 더 비용 효율적이다.
2. **미 해군의 장기적인 연료 요구 사항 충족**: 미국의 군사 억지력의 초석인 항공모함과 잠수함 함대는 1992년에 폐쇄된 미국 농축 공장에서 생산된 고 농축 우라늄으로 구동된다. 냉전 시대 미국이 비축한 고농축 우라늄은 수십 년 동안 미 해군이 예상하는 수요를 충족시키기에 충분하지만, 궁극적으로는 항공모함과 잠수함에 전력을 공급하기 위해 더 많은 양이 필요하게 될 것이다. 추가적인 해군 원자로 연료는 현재 예상보다 더 일찍 필요할 수도 있다.(미래 미 해군의 규모와 고에너지 레이저 및 기타 첨단 무기 시스템을 갖춘 차세대 선박의 최종 전력 요구 사항에 따라 달라질 수 있음)
3. **핵 확산 위험 감소**: 수십 년 동안 우라늄 농축에 대한 미국의 리더십은 미국 정부에 전 세계 국가의 원자로 연료의 주요 공급처로서 세계적인 영향력을 부여. 이를 통해 미국은 장기적이고 평화적인 핵 협력의 조건으로 가장 강력한 핵 비확산 안전조치를 요구할 수 있었다. 불행히도 1970년대 후반 이후 미국의 시장 지배력은 약화되고 있다. 다른 국가들이 원심분리기 기술을 개발하고 배치하는 동안 미국은 1980년대에 새로운 원심분리기 농축 공장에 대한 계획을 포기했으며, 노후화되고 점점 더 비경제적인 냉전 시대의 농축 공장(마지막 농축 공장은 2013년에 폐쇄됨)을 교체하지 않았다. 오늘날 외국 농축 공급업체는 전 세계 농축 시장을 지배하고 있다. 미국의 농축 능력을 복원하는 것은 핵 비확산을 관장하는 국제 규범에서 미국의 강력한 목소리를 유지하고 향후 수십 년 동안 강력한 핵 비확산 기준을 지지하는 데 도움이 될 것이다.
4. **미국의 에너지 안보 강화**: 미국 전력의 거의 20%는 원자력 발전에서 비롯된다. 미국의 농축 능력을 복원하는 것은 미국 유틸리티가 필요로 하는 안보, 다양성 및 가격 경쟁력 있는 연료 공급을 지원할 것이다.

Compliance Notice

본 자료에 기재된 내용들은 작성자 본인의 의견을 정확하게 반영하고 있으며 외부의 부당한 압력이나 간섭 없이 작성되었음을 확인합니다(작성자: 홍성기).

본 자료는 고객의 증권투자를 돕기 위한 정보제공을 목적으로 제작되었습니다. 본 자료에 수록된 내용은 당사 리서치본부가 신뢰할 만한 자료 및 정보를 바탕으로 작성한 것이나, 당사가 그 정확성이나 완전성을 보장할 수 없으므로 참고자료로만 활용하시기 바라며 유가증권 투자 시 투자자 자신의 판단과 책임하에 최종결정을 하시기 바랍니다. 따라서 본 자료는 어떠한 경우에도 고객의 증권투자 결과에 대한 법적 책임소재의 증빙자료로 사용될 수 없습니다. 본 자료는 당사의 저작물로서 모든 저작권은 당사에게 있으며 어떠한 경우에도 당사의 동의 없이 복제, 배포, 전송, 변형될 수 없습니다.

- _ 동 자료는 제공시점 현재 기관투자가 또는 제3자에게 사전 제공한 사실이 없습니다.
- _ 동 자료의 추천종목은 전일 기준 현재당사에서 1% 이상 보유하고 있지 않습니다.
- _ 동 자료의 추천종목은 전일 기준 현재 당사의 조사분석 담당자 및 그 배우자 등 관련자가 보유하고 있지 않습니다.
- _ 동 자료의 추천종목에 해당하는 회사는 당사와 계열회사 관계에 있지 않습니다.