

IFS 국가 정책 제언 AI 확산과 전력수요의 미래: 수급 안정화를 위한 전략적 재설계

서울대 국가미래전략원 김경아 선임연구원

1 AI가 불러온 전력 위기

전기 먹는 하마, AI

- 인공지능(AI)의 확산에 따른 데이터센터 확대와 반도체 클러스터 조성 등으로 전력수요가 갈수록 증가할 것으로 전망됨

* 실제로, 생성형 AI 서비스(챗GPT, 2.9Wh)는 기존 인터넷 서비스(구글 검색, 0.3Wh)보다 약 10배의 전력을 소모하는 것으로 알려져 있음

- 이를 처리하기 위한 데이터센터와 반도체는 계속 증가하여, 2026년 전 세계 데이터센터의 사용전력은 일본 전체 전력사용량과 맞먹을 것으로 전망됨

- 한국도 이러한 추세의 예외가 아님. 우리나라에서 지난 10년간 데이터센터가 사용한 전력량은 연평균 7%씩 증가하였고, 지난 15년간 반도체 산업의 전력수요는 연평균 약 9%씩 증가함

- 2029년까지 약 700개의 데이터센터가 신규 건설될 예정이며, 이를 위해 1GW급 원전 53기에 이르는 추가 전력 생산이 필요할 것으로 전망됨. 더불어, 세계 최대 규모의 용인 반도체 클러스터가 완공되는 2050년에는 1GW급 원전 10기에 이르는 추가 전력수요가 필요할 것으로 예상됨

AI 반도체 수요를 반영한 제11차 전기본 실무안

- AI 혁명으로 인한 변화된 현실에 맞춰, 정부는 제11차 전력수급기본계획(이하 전기본)에서 처음으로 AI 반도체 수요를 반영함

- 2038년 기준 첨단산업(1.4GW), 데이터센터(4.4GW), 전기화(11.0GW) 등으로 인한 추가수요는 약 17GW에 달하며([그림 1] 참고), AI의 영향으로 반도체 및 데이터센터의 전력수요가 2030년에는 2023년 수요의 2배 이상으로 증가할 것으로 전망됨

- AI 혁명으로 인한 변화된 현실에 맞춰 수요 전망을 상향한 것은 바람직하다고 판단되나, AI 데이터센터와 고대역폭메모리(HBM) 등 지금까지 경험하지 못한 전기집약적 산업의 성장 영향을 반영하기 위해서는 다양한 정보 수집과 분석 모형의 고도화가 필요한 상황임

[그림 1] 제11차 전기본 내 2038년 전력수요 전망



자료: 산업통상자원부, (2024), 제11차 전력수급기본계획 실무안 공개



2 미래 AI 확산 경로에 따른 전력수요 예측

AI 확산 경로 예측

- 본 연구는 다양한 확산모형을 활용하여 제조업에서의 미래 AI 도입률을 예측하고, 이를 기반으로 전력수요를 추산하고자 함

- 국내총생산(GDP)의 30%를 차지하는 제조업은 에너지 집약적 구조를 가지며, 생산 공정의 자동화·로봇 활용·스마트 팩토리 구축 등 산업 내 AI 기술 도입의 중요성이 지속적으로 높아지고 있음

* 한국전력공사 「용도별 판매전력량」에 따르면, 2023년 기준 전체 판매전력량 중 제조업이 차지하는 비중이 절반(47.8%)에 달하며, 서비스업 및 기타(28.9%), 가정용(14.6%)이 그 뒤를 이음

- 본 연구는 통계청 「기업활동조사」 내 제조업의 AI 도입률 데이터를 활용하여 세 가지 확산모형(Bass, Gompertz, Logistic)으로 비교 분석하였으며, 그 결과는 [그림 2]와 같음

* 연도별 제조업 내 전체 기업 수 대비 AI를 도입한 기업 수의 비율: 0.8% (2017), 1.7% (2018), 1.8% (2019), 2.2% (2020), 2.6% (2021), 2.7% (2022)

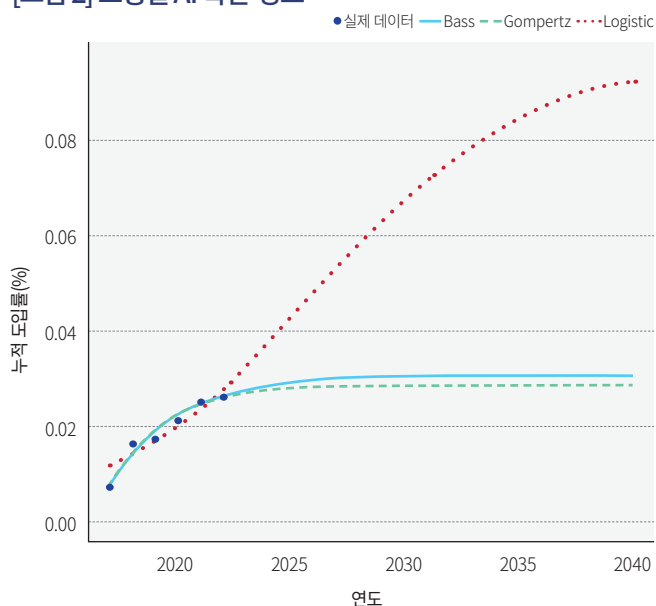
- 세 가지 모형 중 Bass 모형이 적합도(RSS, AIC) 측면에서 가장 우수했으나, Logistic 모형이 도입 가속화 시점(모형 내 변곡점) 설정에 대한 유연성과 현실성(실제 AI 확산은 초기 성장기 이후 급속히 가속화될 가능성이 높음) 측면에서 상대적 이점을 지님

- 따라서 본 연구는 Logistic 모형을 기반으로 확산 정도(변곡점)에 따라 3개의 시나리오(Conservative, Baseline, Accelerated)를 구성하고, [그림 3]과 같이 2040년까지의 AI 도입률을 예측함

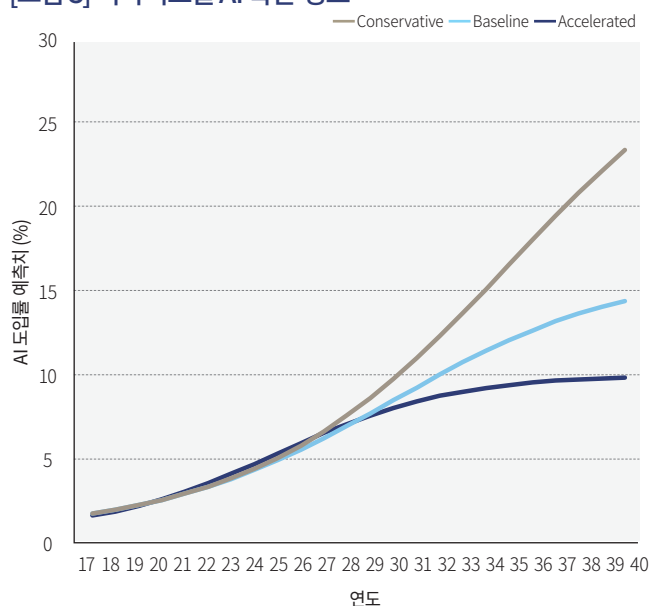
* 변곡점 시기에 따른 시나리오: 2025년(Conservative), 2030년(Baseline), 2035년(Accelerated)

* 2040년 기준 AI 도입률 예측치: 10%(Conservative), 15%(Baseline), 25%(Accelerated)

[그림 2] 모형별 AI 확산 경로



[그림 3] 시나리오별 AI 확산 경로



AI 확산에 따른 전력수요 예측

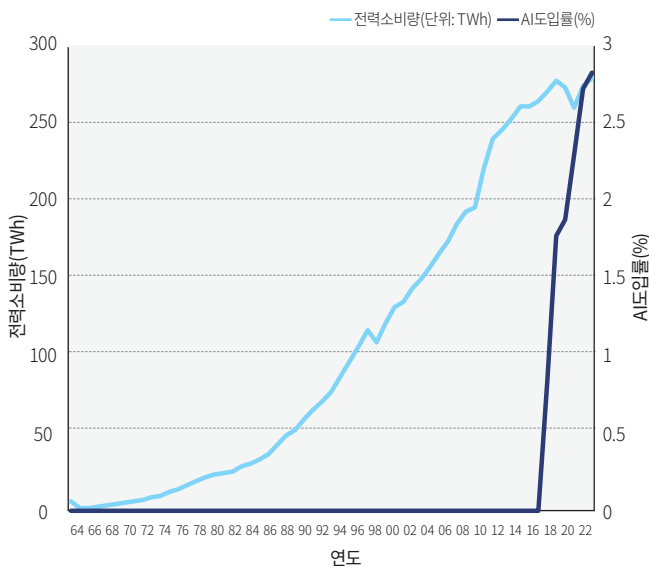
-다음으로, 본 연구는 제조업 내 연도별 판매전력량과 AI 도입률 간의 관계([그림 4]참고)를 규명하기 위해 회귀분석을 진행함

* 분석기간: 1964년 - 2022년

종속변수: 연도별 판매전력량(TWh)

독립변수: 로그변환된 연도별 AI 도입률(%), 연도(시간 경과에 따른 일반적 증가 트렌드 반영)

[그림 4] 연도별 전력소비량(TWh) 및 AI 도입률(%)

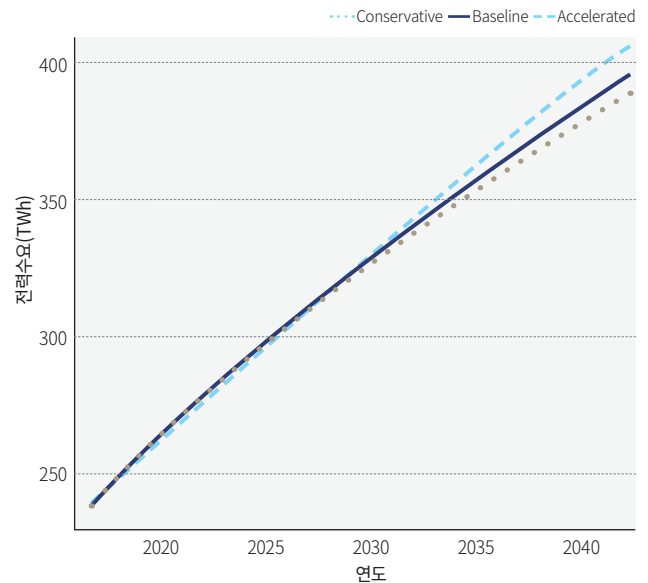


[표1] AI 도입률이 전력수요에 미치는 영향

변수	계수	표준오차
연도	5.084***	0.215
ln (AI 도입률 + 1)	20.198*	11.098
상수항	-10029.980***	427.560

참고: ***와 *는 각각 유의수준 1%, 10%에서 유의미함을 의미

[그림 5] 시나리오별 전력수요



* 1,133TWh = 129.3GW x 8,760시간

146.3TWh = 16.7GW x 8,760시간

- 분석 결과, 시간의 경과에 따른 일반적 증가 트렌드와 AI 도입에 따른 전력수요 증가 트렌드가 모두 유의미하게 확인됨([표 1] 참고)

- 최종적으로 Logistic 모형 기반의 AI 도입률 예측치와 회귀분석결과를 기반으로 미래 제조업 내 전력수요를 산정하였으며, 그 결과는 [그림 5]와 같음

- 분석 결과, 2038년 기준 AI 도입에 따른 미래 제조업 전력수요는 최소 378TWh에서 최대 393TWh 수준에 달할 것으로 전망됨

- 이는 제11차 전기본 목표수요(1,133TWh)의 33~35%에 해당하며, 추가수요(146.3TWh)의 2.6배 수준임

3 전력수급 안정화를 위한 전략적 재설계

산업 특성을 고려한 맞춤형 전력수급 계획 수립

- 본 연구의 분석 결과에 따르면, 국내 전력수요는 AI의 확산으로 인해 제11차 전기기본에서 예측한 수요를 상회할 것으로 전망됨. 특히 제조업 부문에서 AI를 적극 도입함에 따라 2038년 전력수요가 최대 393TWh까지 급증할 것으로 예상됨
- 따라서 AI 도입률 증가 및 신규 데이터센터 구축 속도 등을 고려하여 기존 수요 예측치를 재검토할 것을 제안함. 이때 AI 확산으로 인한 전력수요 증가는 산업별 특성에 따라 상이하게 나타날 수 있으므로, 전력수급 계획 또한 산업별로 세분화된 맞춤형 접근이 필요함

* (예시) 제조업 부문에서는 AI 도입 속도에 따라 전력망 설비 확충 시기를 조정하고, 데이터센터 밀집 지역에서는 전력 사용 패턴을 고려하여 간헐적 재생에너지 대신 소형모듈원자로(SMR) 등을 활용한 공급 시스템 구축

국가첨단전략산업 특화단지를 활용한 분산형 전력체계 선도 모델 구축

- 기존 산업 시설에서의 AI 기술 도입은 전력수요의 추가 상승을 야기하여 국내 전력수급 불균형 문제가 더욱 심화될 것으로 판단됨. 이러한 문제를 완화하기 위해서는 전력을 소비지 인근에서 생산하여 사용하는 분산형 전력체계로의 전환이 필수적임
- * 2023년 기준 서울과 경기지역의 전력자급률은 각각 10% 및 62%에 불과하며, 데이터센터 및 반도체 클러스터와 같은 전력다소비시설의 수도권 집중화 지속(현재 데이터센터의 경우 입지의 60%, 전력수요의 70%가 수도권에 위치)
- 현재 정부는 수도권 등 전력 계통 밀집 지역에서의 공급 능력 부족과 계통 혼잡 문제를 해결하기 위해 「분산에너지 활성화 특별법」에 따라 전력계통영향평가를 도입하여 전력 수요의 지역 분산을 유도하고 있음

-하지만 현행 제도에서 국가첨단전략기술로 지정된 반도체·디스플레이·이차전지 등을 활용하는 기업은 평가 대상에서 제외되는데, 해당 기술들이 주로 제조업 기반의 전력다소비 시설로 운영되고 있어 영향평가를 통한 계통 안정화 효과가 제한적일 가능성이 높음

* 한편, 미국의 전력다소비기업들은 SMR과 같은 대안적 전력원에 적극 투자 중. 국내에서는 SMR이 기피시설로 인식되고 있어, 이를 실질적으로 도입하기 위해서는 국민 수용성 확보 필요

-따라서 정부는 국가첨단전략산업 특화단지 조성 과정에서 단순히 기업 유치에 그치지 않고 전력다소비시설의 안정적인 전력공급 방안을 보다 구체화할 필요가 있음

-특히, SMR과 같은 분산형 전원을 특화단지 내에 도입하여 실증과 테스트베드를 수행할 경우, 기술적 안정성 검증, 지역 내 전력망 부담 완화 및 수용성 증대 측면에서 이점이 있을 것임

-이러한 접근은 단순히 계통 안정화를 넘어, 특화단지가 국가 전력 수급 체계 전환의 선도적 모델이 되도록 만들고, 지역 경제 발전과 지속 가능한 에너지 정책을 실현하는 데 중요한 사례가 될 것임

