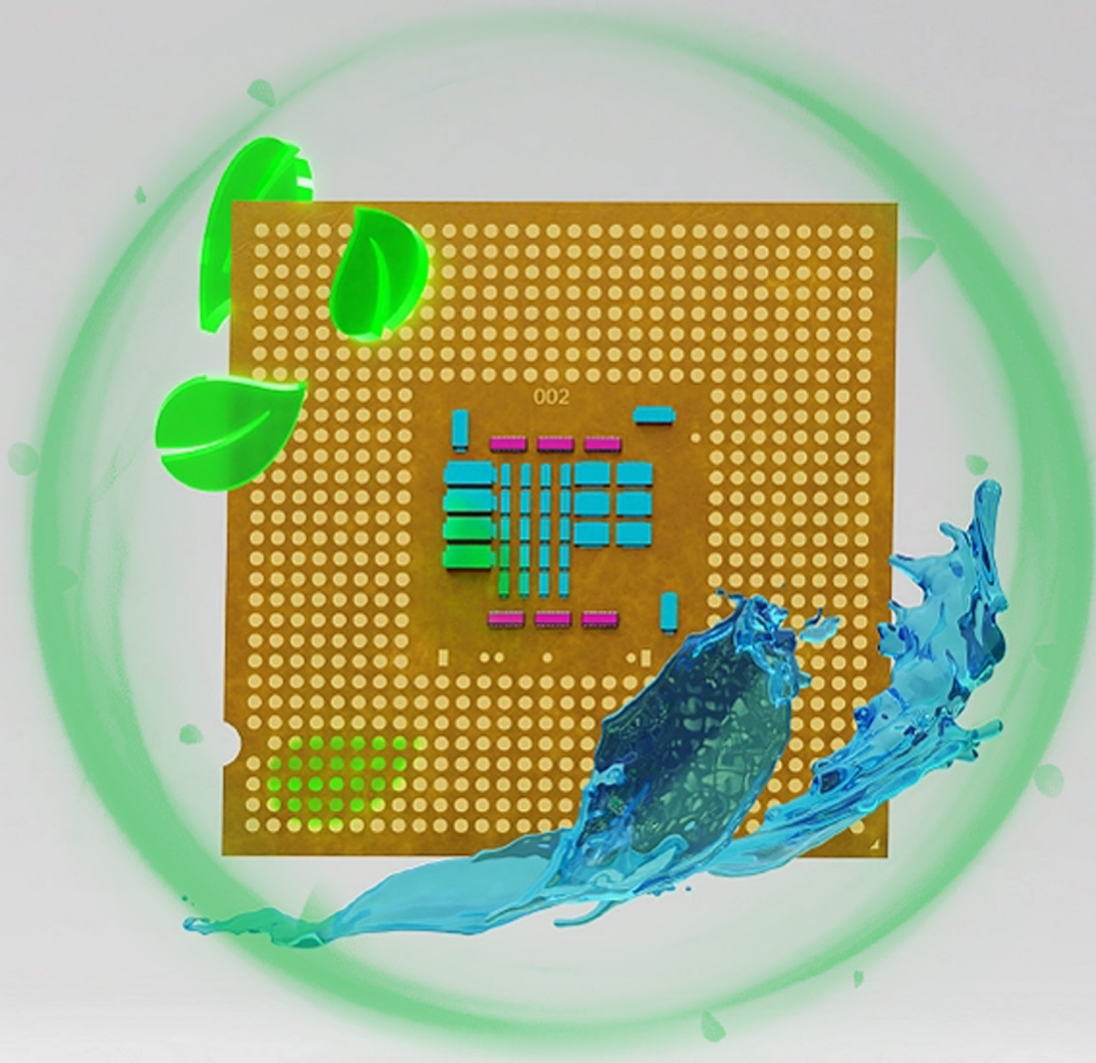


Deloitte.



반도체 산업의 지속가능성, 생존과 공급망 회복력 위한 필수 요인으로 부상

Duncan Stewart 딜로이트 캐나다 TMT Research Director 외 3인

Download on the
App Store

GET IT ON
Google Play



'딜로이트 인사이트' 앱에서
경영·산업 트렌드를 만나보세요!

2024년 3월
Deloitte Insights

“

현대식 그린필드(greenfield) 공장이 늘어나면서 반도체 산업 전반의 지속가능성이 개선될 것으로 기대된다. 하지만 생산방식 전환 노력을 강화하면 그린필드 공장뿐 아니라 기존 브라운필드(brownfield) 공장의 에너지, 물, 공정가스 소비량도 절감할 수 있다.

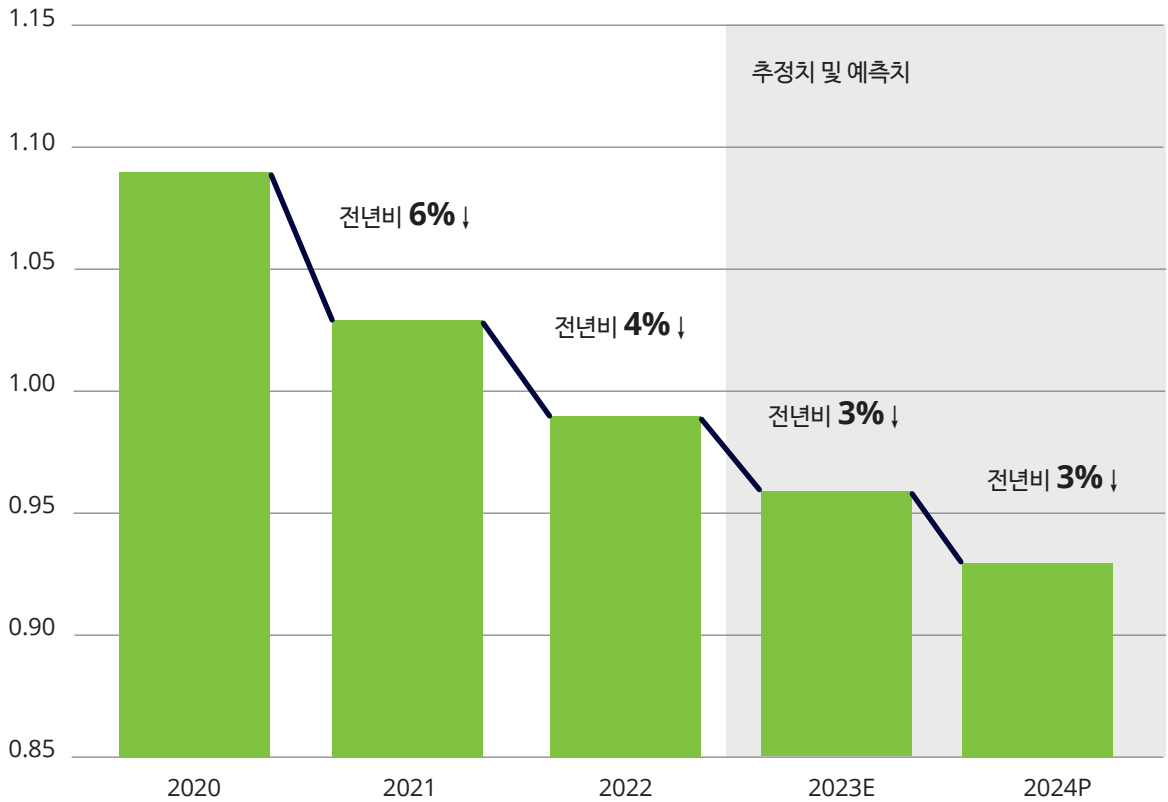
반도체 제조 산업은 변동성이 난폭하기로 악명이 높다. 2023년 가을에는 반도체 산업이 1990년 이후 7번째 경기하강을 겪었다.¹ 이에 따라 반도체 산업 매출은 미화 기준 2023년 전년비 10% 감소했다가, 2024년에 12% 반등할 것으로 예상된다.² 그리고 반도체 산업이 하강 국면을 보이면 에너지, 물, 공정가스 소비량이 줄어 지구온난화지수(global warming potential, GWP)가 하락하고, 활기를 되찾으면 GWP도 상승한다. 지속가능성을 절대적 수치로 계산하면 실상을 제대로 파악하기 힘들다. 특히 등락을 보이면서도 성장 속도가 매우 가파른 반도체 산업의 경우 절대적 수치로는 지속가능성 실상을 파악할 수 없다. 하지만 반도체 산업 매출이 2023년 5,150억 달러에서 2030년까지 두 배 가량 증가해 1조 달러를 넘을 것으로 예상되는 만큼, 지속가능성 노력에 박차를 가하지 않으면 GWP가 큰 폭 상승하는 것을 막기 힘들 수 있다.³

반도체 산업의 지속가능성을 측정할 수 있는 더욱 정확한 지표는 단위당 생산하는 데 소비되는 자원의 양을 측정하는 원단위(intensity)다. 매출 1달러를 창출하는 데 필요한 에너지, 물, 공정가스 소비량을 측정하는 것이다. 딜로이트는 2024년 반도체 산업의 용수(그림 1)와 에너지 원단위가 감소할 것으로 예상한다. 또한 주요 반도체 제조사들이 소비하는 전체 에너지 중에서 재생에너지의 비중이 늘어남과 동시에 재생에너지의 원단위가 줄어들 것으로 전망된다.



그림 1. 반도체 산업의 용수 원단위 2년 이동평균치(2020~2024년)

단위: 매출 1달러당 소비되는 물의 양을 킬로그램(kg) 단위로 측정한 원단위



참조: E는 추정치(estimated value), P는 예측치(predicted value)를 나타낸다. 용수 원단위 2년 이동평균치는 반도체 산업의 총매출 대비 용수 총소비량(백만 톤 단위)의 비율을 집계한 것이다. 반도체 제조사들이 물 소비량을 줄이려는 노력을 지속함에 따라, 2021년과 2022년 용수 원단위는 전년비 각각 6% 및 4% 감소했고, 2023년에는 3% 감소했을 것으로 추정되며, 2024년에도 3% 감소할 것으로 예상된다.

출처: 용수 소비량 데이터는 메모리, 로직, 아날로그 반도체를 생산하는 종합반도체업체(IDM)와 파운드리 등 북미·아시아·유럽의 11개 주요 반도체 상장사들이 발표한 기업의 사회책임(CSR) 보고서를 바탕으로 취합한 것이다. 매출 데이터는 2020~2022년 데이터의 경우 비영리 단체인 세계반도체무역통계기구(WSTS)의 연간 보고서(2020~2022년)에 기반했고, 2023~2024년 수치는 추정치(E)와 예측치(P)를 제시한 것이다.

지난 10년간 반도체 산업 전반에서 반도체 지속가능성 개선 노력이 이뤄지면서 물과 에너지 원단위가 지속적으로 줄고 있다. 특히 첨단시설을 갖춘 그린필드 공장이 급증하면서 반도체 산업의 지속가능성도 개선되고 있다. 그린필드 공장은 다른 조건이 같다는 전제 하에 5~20년된 브라운필드 공장에 비해 설비, 톨, 제조공정 등의 지속가능성이 훨씬 뛰어나기 때문이다. 그렇긴 해도 첨단 노드 기술을 도입한 그린필드 공장은 또다른 지속가능성 문제를 안고 있다. 예를 들어 28나노미터(nm)에서 2nm로 기술이 성숙하면 에너지 소비량은 3.5배, 물 소비량은 2.3배, 온실가스 배출량은 2.5배 늘어난다. 그리고 반도체 기술의 첨단화가 지속되면서 이러한 추세는 지속될 것으로 전망된다.⁴ 하지만 정작 반도체 산업의 지속가능성을 더욱 크게 개선시키는 것은 브라운필드 공장의 제조방식 전환이다. 딜로이트는 브라운필드 공장들이 제조방식 전환 프로젝트를 완수하면 향후 수년간 에너지, 물, 공정가스 원단위가 크게 줄어들 것으로 예상한다.

반도체 산업 지속가능성 노력 여전히 부족하다

반도체 전주기에 걸친 에너지 및 자원 소비량을 살펴보면, 생산 과정에서 소비되는 규모는 미미한 수준이다. 생산 이후 소비되는 에너지(예: 대규모 전력을 소비하는 생성형AI 데이터센터)야말로 본 게임이라 할 수 있다. 자원 채취, 테스트 및 패키징, 유통, 전 주기, 폐기 등의 과정에서도 만만치 않은 규모의 에너지와 자원이 소비된다.

일부 반도체 회사들은 2030년 넷제로 및 여타 지속가능성 목표를 달성한다는 과감한 목표를 설정했지만, 국가와 지역별로 반도체 산업의 지속가능성 진전 속도는 상이하다. 유럽연합(EU) 소재 기업들이 대체로 위와 같은 가장 과감한 목표를 세운 편이고, 나머지는 2040년이나 그 이후를 목표로 삼고 있다.⁵ 싱가포르를 제외하면 대부분 아시아 반도체 회사들은 2050년이나 그 이후를 목표로 하고 있으며, 또는 아예 목표를 설정하지 않은 기업도 다수다.⁶ 지속가능성 관련 가장 선도적인 아시아 반도체 회사는 대만 TSMC(Taiwan Semiconductor Manufacturing Company)로, TSMC는 2023년 9월 재생에너지 100% 전환 목표 시기를 10년 앞당긴 2040년으로 제시했다.⁷ 2021년 기준 반도체 산업은 글로벌 이산화탄소 환산량(CO2e) 배출 규모 중 약 0.2%를 차지했다.⁸ CO2e 배출량이 반도체 산업 규모와 비례해 증가한다면 2030년까지 0.4%로 두 배 증가하게 된다. 이를 막으려면 그린필드 공장의 지속가능성을 개선함과 동시에 브라운필드 공장의 생산방식도 전환해야 한다.

1. 에너지 효율성 개선 및 재생에너지 사용 확대

반도체 생산은 에너지 집약적이다. 실리콘 용해, 고출력 레이저 노광, 진공 형성 및 유지, 세정 등 생산공정 전반에 걸쳐 막대한 전력이 소요된다. 반도체 공장에서 메인 설비들이 위치한 팹(fab)은 시간당 최대 100메가와트시(MWh)의 전력을 소비하는데,⁹ 평균치로 봤을 때 북미 8만여 가구의 전력 소비량에 맞먹는 수준이다. 하지만 현재 전 세계에서 가동 중인 팹은 약 500개뿐이며,¹⁰ 2025년까지 착공 예정인 공장도 전 세계 41개뿐이다.¹¹ 게다가 반도체 회사들은 저누출 트랜지스터와 저전력 시스템을 활용하거나 시스템 전력 모드(해당 모듈이나 IP가 작동 중이지 않을 경우 끄(off)/비가동(idle)/절전(drowsy) 등 모드를 사용)을 조정하는 등 새로운 설계 테크닉과 첨단 프로세스 기술을 사용해 에너지를 절약하고 있다. 이러한 방식으로 범산업적으로 최종사용자 기기와 시스템 전체적으로 에너지 수요를 줄일 수 있지만, 제조업 탄소발자국이 늘어나는 만큼, 자원 활용을 최적화하고 탄소 배출을 절감할 다른 방안을 모색할 필요가 있다.

반도체 산업은 크게 두 가지 방향으로 에너지 사용과 탄소발자국을 줄일 수 있다. 첫째는 제조공정의 에너지 효율성을 개선하는 것이다. 하지만 제조의 한계를 깨뜨리는 첨단 기술을 누가 먼저 개발하느냐의 경쟁이 가혹할 만큼 치열한 반도체 산업 특성 상 에너지 효율성에 집중하기가 쉽지는 않다.¹²

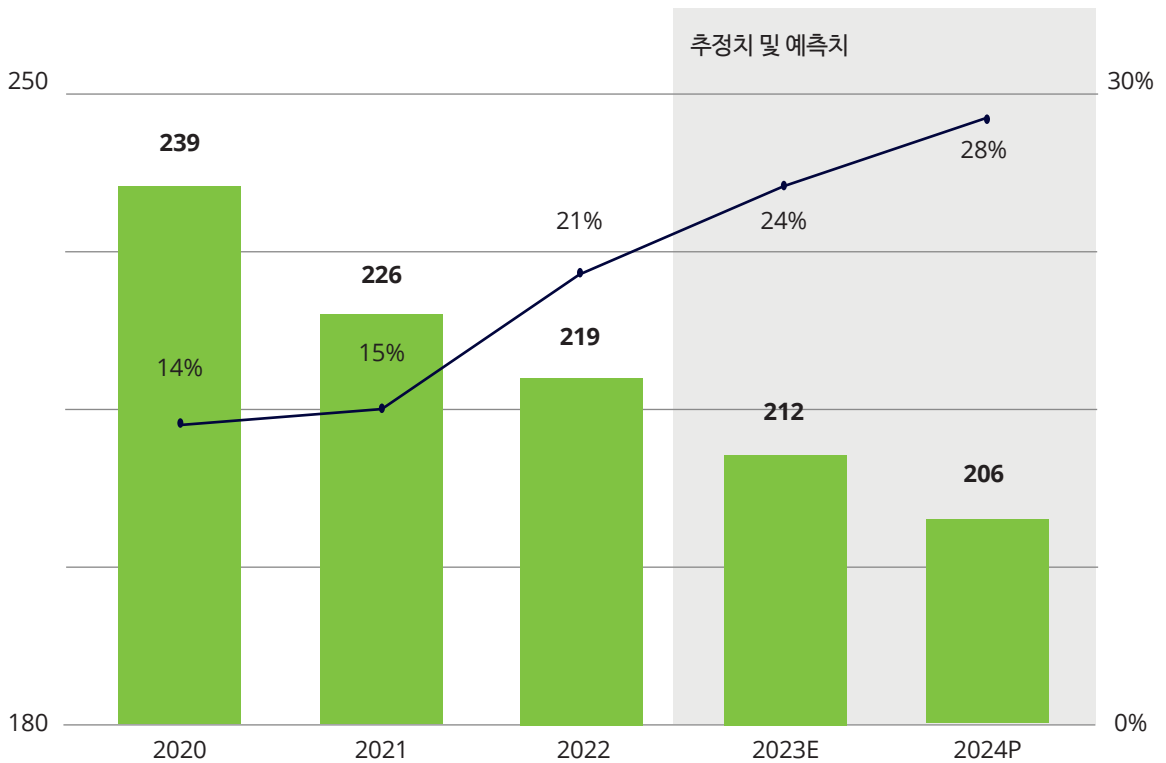
둘째 설비의 에너지 효율성을 더욱 빠르게 개선하는 것이다. 실제로 미국 그린빌딩위원회(US Green Building Council)의 글로벌 친환경 건물 인증 제도인 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design) 인증을 받은 건축물은 지난 10년간 반도체 산업의 지속가능성을 개선한 일등 공신 역할을 했다.¹³ 재생에너지 사용을 늘리는 것도 도움이 된다. 미국 소재 한 대형 반도체 회사는 2022/23 회계연도(FY) 에너지 수요 중 93%를 재생에너지로 충당했다.¹⁴ 하지만 2022년 3대 반도체 회사의 에너지 믹스 중 재생에너지가 차지하는 비중은 28%로, 전년비 5%포인트 증가하는 데 그쳤다.¹⁵

반도체 산업이 두 가지 방향을 함께 추진한 결과, 와트-시/달러*로 집계한 반도체 산업의 에너지 집약도가 2020년 240에서 2022년 219로 줄었고, 2024년에는 206으로 한층 떨어질 것으로 전망된다(그림 2).¹⁶ 또한 재생에너지가 전체 에너지 믹스에서 차지하는 비중이 에너지 집약도가 하락하는 속도보다 가파르게 증가할 것으로 예상된다. 반도체 산업의 에너지 믹스에서 재생에너지가 차지하는 비중은 2024년 28%로 2020년에 비해 두 배 늘어날 것으로 예상된다.

* 와트-시/달러(watt-hours/dollar)는 생산 또는 소비된 에너지량을 와트시(watt-hours)로 측정해 들어간 비용(dollar)으로 나눈 값이다. 예를 들어, 100와트시의 전력을 소비하는데 10달러의 비용이 든다면, 와트-시/달러 수치는 10이 된다. 이는 상이한 시스템간 에너지 집약도 및 비용 효율성을 비교하는 지표로 사용된다.

그림 2. 반도체 산업의 에너지 집약도와 재생에너지 사용 추이(2020~2024년)

■ 에너지 집약도: 와트-시/달러 2년 이동평균(왼축) — 에너지 믹스에서 재생에너지가 차지하는 비중(% , 오른축)



참조: E는 추정치(estimated value), P는 예측치(predicted value)를 나타낸다. 에너지 집약도(2년 이동평균)는 반도체산업 전체 매출 대비 총 에너지 소비량(기가와트시) 비율을 연산한 것이다. 재생에너지 비중은 모든 에너지원에 기인한 총 에너지 소비량에서 재생에너지 소비량을 백분율로 집계한 것이다. 에너지 집약도는 2021년 전년비 5%, 2022년 3% 하락한 후, 2023년 3% 하락했을 것으로 추정되며, 2024년 역시 3% 하락할 것으로 예측된다. 재생에너지 비율은 2020~2022년 연 평균 3%포인트씩 상승했으며, 재생에너지 사용을 증대하려는 반도체 산업의 노력을 감안하면 2023년과 2024년에도 재생에너지 비율이 각각 3%포인트 및 4%포인트 늘어날 것으로 예상된다.

출처: 에너지 집약도와 에너지 소비량 데이터는 메모리, 로직, 아날로그 반도체를 생산하는 종합반도체업체(IDM)와 파운드리 등 생산 과정에서 많은 탄소 발자국을 남기는 북미-아시아-유럽의 11개 주요 반도체 상장사들이 발표한 기업의 사회적책임(CSR) 보고서를 바탕으로 취합한 것이다. 매출 데이터는 2020~2022년 데이터의 경우 비영리 단체인 세계반도체무역통계기구(WSTS)의 연간 보고서(2020~2022년)에 기반했고, 2023~2024년 수치는 추정치(E)와 예측치(P)를 제시한 것이다. 재생에너지 추세선은 메모리, 로직, 아날로그 반도체를 생산하는 종합반도체업체(IDM)와 파운드리 등 북미-아시아-유럽의 주요 반도체 상장사들 중 연간 재생에너지 소비 데이터를 보고하고 전 세계적으로 많은 탄소 발자국을 남기는 8개사의 데이터를 종합한 것이다.

2. 용수 사용량 절감

글로벌 반도체 산업이 2019년 소비한 용수량은 2,640억 갤런(약 1조 리터)에 달한다.¹⁷ 다만 일부는 증발 등으로 인해 손실되지만, 지역과 제조사에 따라 용수 소비량을 모두 사용하지 않는 경우도 있다. 미국 소재 한 대형 반도체회사는 2021년 160억 갤런의 물을 소비했으나, 그 중 80%가 넘는 130억 갤런의 물을 재활용했다.¹⁸ 대만 반도체회사들은 2016~2020년 용수의 85%를 재활용했다.¹⁹ 반도체산업의 용수는 대부분 제조공정(76%)에서 쓰이지만, 냉각타워(9%)와 스크러버*(11%)에도 쓰인다.²⁰ 스크러버의 가장 중요한 임무는 다음에서 설명할 공정가스를 정화하는 것인데, 정화 시스템을 활발히 작동할 필요가 없을 때는 비가동(idle) 모드로 전환해 용수 사용량을 98% 줄일 수 있다.²¹ 이러한 식으로 공정 용수와 냉각수 사용량도 줄일 수 있다.

* 스크러버(scrubber)는 반도체 공정에서 사용되는 유해가스를 정화하는 장비를 뜻한다.

3. 공정가스의 환경 유해 영향 감축

반도체 산업에서 사용되는 공정가스는 대체로 GWP가 매우 높다. 식각과 세정 공정에 쓰이는 과불화탄소(PFC), 수소불화탄소(HFC), 삼플루오르화질소(NF3), 과불화화합물(PFAS) 등 불소화 가스²² 및 증착과 퍼징(purging) 공정에서 사용되는 산화질소 가스²³가 대표적이다. 특히 SF6는 GWP가 23으로 이산화탄소(CO2)보다 무려 500배 높다.²⁴ 미국 환경보호청(EPA)에 따르면, “반도체 산업에서 정화되지 않고 공기 중으로 배출되는 불소화 온실가스가 10~80% 수준”으로 정확한 측정이 어렵다.²⁵

공정가스의 온실가스 효과를 줄이는 방법은 크게 △공정 개선 및 자원 사용 최소화 △대체재 사용 △정화 기술 등 세 가지가 있다.²⁶ 이 중 제일 이행하기 쉬운 첫 번째 방법이 가장 일반적이지만, 소소한 개선도 지속되고 있으며 이러한 미세한 변화로 인한 제조업 전환이야말로 강력한 영향력을 발휘할 수 있다. 두 번째 방법인 대체 공정가스 탐색 노력도 일련의 성공을 거둬, 몇 종류의 PFC가 NF3로 교체됐다. NF3도 문제가 없다고는 할 수 없지만, PFC보다는 환경 유해 영향이 적다.²⁷ 하지만 대체재를 파악 및 검증하는 것은 시간이 오래 걸리고, 지금까지 돌파구라 할 만한 것은 옥타플루오로사이클로부탄(C4F8)을 대체할 수 있는 삼성전자의 G1 정도다.²⁸ 따라서 세 번째 방법인 정화 기술이 반도체 산업의 온실가스를 줄이는 역용마로 작용한다. GWP가 높은 공정가스를 최대한 많이 포집 및 파괴(대체로 소각 또는 전환 방식을 활용)하는 것이 핵심이다. 예를 들어, NF3 정화율을 95%에서 99%로 끌어올리는 것이 자원 사용을 최소화하거나 대체재를 사용하는 방식보다 실현 가능성이 크고 효과가 뛰어나다.²⁹ 한편 공정가스는 순도와 비용, 또 서브팹(sub-fab, 메인팹의 하부공간)의 물리적 발자국*에 통합되는 문제 때문에 재사용 및 재활용이 어렵다.³⁰

* 물리적 발자국(physical footprint)은 하나의 물리적 사물 및 개체가 차지하는 공간을 뜻한다. 이를 통해 환경 지속가능성에 미치는 영향과 사람의 활동이 환경에 미치는 영향을 측정할 수 있다.

4. PFAS 사용 중단 추세

본고에서 다루는 중심 내용은 아니지만, 반도체 산업에서는 많은 종류의 PFAS도 사용 및 생산되는데, 이에 대한 규제가 강화되는 추세다. 2023년에는 유럽연합(EU) 5개국의 화학물 규제 당국이 PFAS의 사용 제한을 권고하며, 궁극적으로는 사용 중단을 촉구했다. 관련 규제는 2026~2026년부터 시행될 예정이다.³¹ 국제반도체장비재료협회(SEMI)는 EU와 미국의 관련 규제에 대응해, PFAS의 사용을 줄이고 대체재를 찾기 위한 노력을 기울이고 있다.³²

제조업 전환, 지구 살리고 수익도 개선한다

현대 반도체 공장은 거대한 동치와 뿌리, 여기저기 뻗은 나뭇가지와 풍성한 잎사귀를 가진 거목들로 가득한 우림과도 같다. 각종 장비와 클린룸이 동치를 이루며 즐비한 메인랩에서 고개를 들면 각종 파이프와 도관이 어지럽게 지붕으로 얽혀 있고, 바닥 아래 서버팬에는 펌프와 정화 시스템, 스크러버, 전환 장치 등이 복잡한 뿌리를 형성하고 있다. 반도체 공장이라는 거대한 우림의 생태계는 이처럼 실시간으로 접근하거나 모니터링하기 힘든 수많은 조각으로 이뤄져 있다. 따라서 모델링을 수행하고 커넥티드 센서를 탑재해 자원의 사용을 지속적으로 모니터링하면, 용수와 공정가스를 더욱 효율적으로 활용할 수 있다. 이 때 디지털트윈(digital twin), 생성형AI, 자체 5세대(5G) 네트워크 등 실현 기술을 활용하면, 용수와 에너지의 유실을 포착하고, 시스템을 사용하지 않을 때 비가동 모드로 전환하거나 전원을 차단할 수 있다. 10년도 넘는 낡은 공장의 공정 시스템을 전환하려면 수억 달러의 비용이 들겠지만, 제조업 전환에 따른 지속가능성 효과와 비용 절감 및 효율성 개선 효과는 지구와 회사 수익에 값진 선물이 될 것이다.

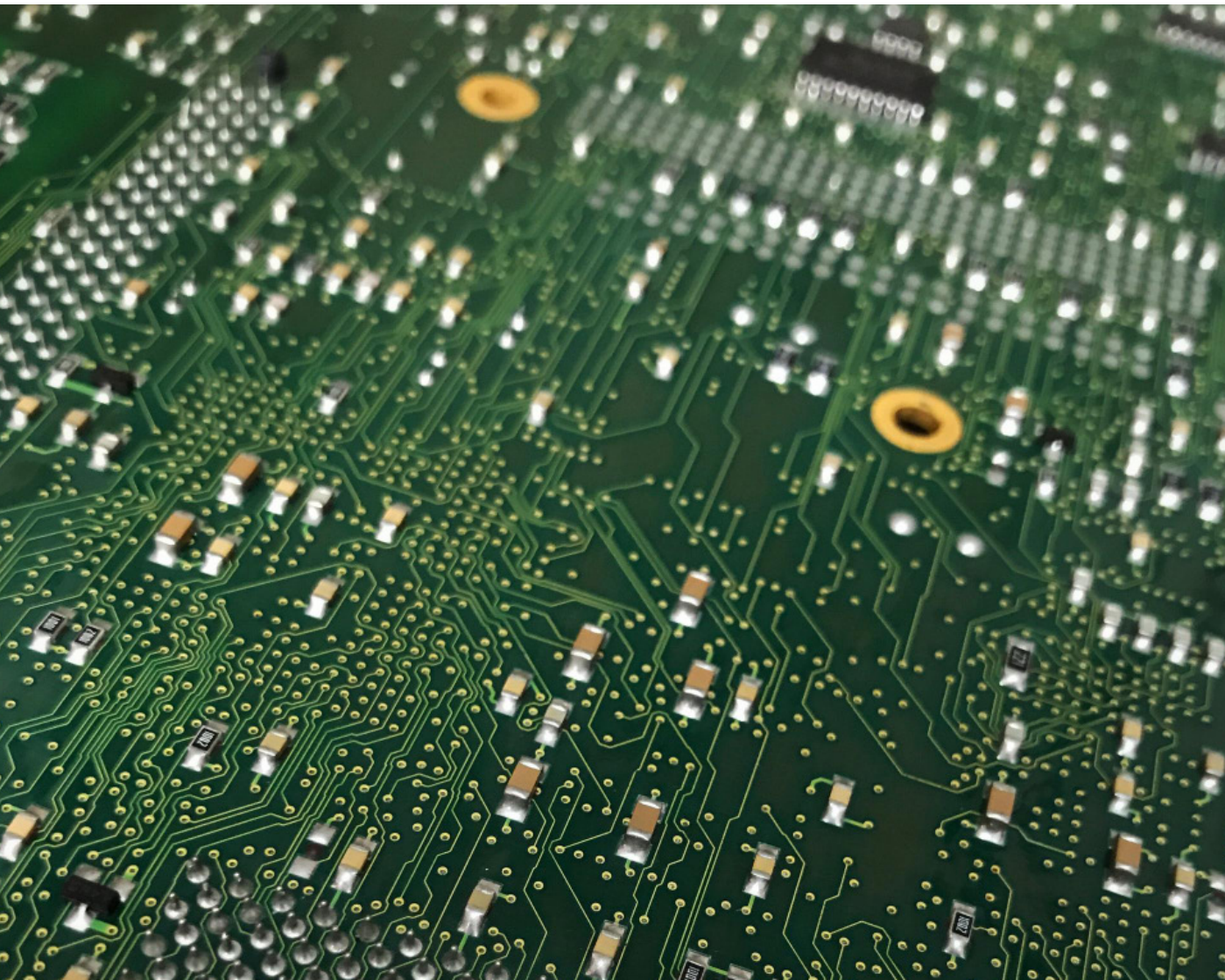
제조업 전환은 6D 건축정보모델링(building information modeling, BIM)이라는 스마트 건설 개념에 필수 요인이다. 6D BIM은 건물의 기능과 지속가능성에 초점을 맞춘 6차원 건축 시스템이다. 건설 단계에서 정보를 창출 및 관리하고 이러한 정보에 기반한 6차원 모델링으로 수립한 가상 모델을 통해 건물의 물리적, 일시적, 비용 관련 요인뿐 아니라 환경 및 사회적 영향까지 미리 파악할 수 있다. 이에 따라 해당 건물이 주변 환경과 지역사회에 미치는 영향을 파악하고 긍정적 영향을 증대하는 방식도 모색할 수 있다.³³



반도체 산업 지속가능성의 양면성

반도체 산업은 2030년까지 수조 달러 규모로 성장하겠지만, 그 과정에서 수많은 에너지와 물이 소비되고 온실가스가 발생해 막대한 환경 영향을 초래할 수 있다. 하지만 반도체 자체가 지속가능성 개선 효과를 가져오기도 한다. 반도체 발전으로 화상회의가 가능해져 비즈니스맨들의 출장이 줄었고, 반도체로 작동하는 고성능 컴퓨터 덕분에 신약 연구와 개발이 더욱 첨단화됐고,³⁴ 첨단기술을 활용하면 식량도 더욱 지속가능한 방식으로 생산할 수 있다. 뿐만 아니라 하이퍼스케일러(hyperscaler)들이 데이터센터용 반도체칩의 전력원으로 재생에너지 사용을 늘리는 등³⁵ 환경 영향을 최소화하기 위한 노력이 지속되고 있다. 이에 따라 일각에서는 반도체가 미치는 환경 유해 영향보다 지속가능성 이점이 더 크다는 주장이 나오기도 한다.

하지만 이를 반박하는 주장도 있다. 첫째, 반도체 제조공정 자체는 지속가능성 개선이 이뤄지고 있을 수 있지만, 자원 추출, 테스트와 패키징, 유통, 반도체 전주기와 폐기까지 고려하면 반도체에 따른 환경 영향이 더 클 수 있다.³⁶ 둘째, 제본스의 역설(Jevon's paradox)이 반도체 산업에도 적용될 수 있다. 제본스의 역설은 석탄을 활용한 산업혁명으로 효율성이 향상돼 석탄 사용이 줄어들 것이라는 기대와 달리, 효율성 향상으로 석탄 단위 사용당 비용이 하락해 수요가 오히려 촉발됐다는 논리다. 반도체도 생산공정의 효율성이 강화되면 생산량과 사용량이 증가함으로써 자원 소비량과 함께 환경 발자국이 늘어날 수 있다.³⁷



결론: 반도체 산업의 지속가능성, 수익 개선과 공급망 회복력에 핵심 요인으로 부상

반도체 회사들이 지속가능성을 개선하는 것은 단순히 공익을 위함이 아니라 수익과 성장에도 도움이 된다. 투자자(capital), 규제당국 (compliance), 구성원(constituent), 지역사회(community), 혁신(creativity) 등 이른바 '5C'의 프레임워크에서 기업을 평가할 때 지속가능성이 갈수록 핵심 요인으로 자리잡고 있기 때문이다. 또한 지속가능성을 개선하면 비용 절감뿐 아니라 고급 인력 쟁탈전에서도 우위를 점할 수 있고, 공급망 취약성도 줄일 수 있다.

현재 환경·사회·지배구조(ESG) 전용펀드 규모가 8조 달러에 달하며, 2030년에 이르면 최대 30조 달러까지 확대될 것으로 전망된다.³⁸ 전용펀드가 아니더라도 포트폴리오를 수립할 때 ESG 평가 기준을 적용하는 자산운용사들이 늘고 있으며, 반도체회사들도 이러한 평가에서 벗어날 수 없다. 규제도 강화되는 추세다. 현재 상장기업은 자체 시설의 직접배출(Scope 1)과 사용하는 유틸리티의 간접배출(Scope 2) 공시만이 의무인 경우가 대부분이다. 하지만 미국과 유럽 규제당국들이 업스트림 공급망 및 다운스트림 가치사슬을 포함하는 기타 간접 가치사슬 배출(Scope 3)의 공시까지 의무화하는 방향으로 움직이고 있다. 팬데믹 기간 발생한 반도체 부족난으로 전 세계 거의 모든 물자의 공급망이 붕괴됐던 당시 절실히 체감했듯이, 반도체는 현대 사회에서 사용되는 거의 모든 물건의 공급망에 포함돼 있다. 따라서 반도체 산업에 대한 규제가 특별히 강화되지 않더라도, 규제 강화에 직면한 고객사들이 반도체회사들에 높은 수준의 지속가능성 기준을 요구할 가능성이 크다.

게다가 에너지와 가스, 물은 비싼 자원이며, 앞으로 관련 비용은 더욱 늘어날 것이다. 이러한 자원에 대한 투입 비용을 줄이면 회사 수익이 개선되는 것은 말할 것도 없다. 반도체 회사들은 반도체 거점인 아시아뿐 아니라 미국과 유럽에서도 그린필드 공장을 늘려가며 이러한 자원 투입 비용을 줄이기 위한 노력을 펼치고 있다.³⁹ 전 세계적으로 치열해지는 인력 쟁탈전에서도 지속가능성이 중요한 요인으로 작용한다. 첨단 기술 인력 쟁탈전은 반도체 산업 내에서뿐만 아니라 범산업적으로 갈수록 치열해지고 있기 때문에, 기업의 환경 영향 이력이 갈수록 중요해지고 있다.⁴⁰ 이들 인력은, 특히 젊은층일수록 지속가능성 노력을 기울이는 기업에서 일하기를 원하기 때문이다. '딜로이트 2023 밀레니얼 및 Z 세대(MZ 세대) 서베이'에 따르면, MZ 세대 6명 중 한 명이 기후 우려 때문에 이직을 하거나 아예 직종을 바꾼 적이 있으며, 응답자의 25%는 향후 그럴 생각이 있다고 답했다.⁴¹

마지막으로, 에너지와 용수 사용량을 줄이면 공장 위치의 선택지가 대폭 늘어난다. 실제로 '물이 없는 곳에는 반도체칩도 없다'는 말도 있듯이 최근 대만에서는 가뭄으로 반도체 생산이 중단된 사태가 발생했다.⁴² 아시아와 미국에서는 기후변화에 따른 정전으로 반도체 생산에 차질이 빚어지는 경우도 종종 발생했다.⁴³ 하지만 자원 의존도를 줄이고 지속가능성 개선에 투자하면 위치와 상관없이 공급망 회복력도 그만큼 강화된다.



주석

1. Chris Richard, Dan Hamling, Duncan Stewart, and Karthik Ramachadran, [Five fixes for the semiconductor chip shortage](#), Deloitte Insights, December 6, 2021.
2. World Semiconductor Trade Statistics (WSTS), [“WSTS semiconductor market forecast spring 2023,”](#) news release, accessed November 2, 2023.
3. Vyra Wu, [“Global semiconductor market to exceed US\\$1 trillion in 2030, at CAGR of 7%, says DIGITIMES Research,”](#) DIGITIMES Asia, January 10, 2023.
4. Marie Garcia Bardon and Bertrand Parvais, [“The environmental footprint of logic CMOS technologies,”](#) EE Times, December 14, 2020.
5. Sarah Barry James, Stefan Modrich, and Sydney Price, [“Path to net-zero: US chipmakers balance growth vs. going green,”](#) S&P Global Market Intelligence, June 13, 2022.
6. Ibid.
7. Cheng Ting-Fang and Katherine Creel, [“Taiwan Semiconductor Manufacturing Company moves up 100% green energy goal by 10 years,”](#) Nikkei Asia, September 15, 2023.
8. 2021년 반도체 산업의 Scope 1 및 Scope 2 배출량은 이산화탄소 환산량(CO₂e) 기준 76.5 메가톤을 기록했다. 이는 같은 해 글로벌 배출량인 37.9기 가톤의 0.2%에 해당하는 수준이다. See: Maxime Pelcat, [Green house gas emissions of semiconductor manufacturing in 2021](#), University of Rennes, June 1, 2023.
9. Christel Galbrun-Noel, [“How to improve power reliability for semiconductor fabs,”](#) Schneider Electric blog, November 15, 2021.
10. 492 plants based on [Wikipedia’s consolidated list of semiconductor fabrication plants](#), accessed September 14, 2023.
11. SemiMedia, [“41 new fabs to be added globally from 2022 to 2025,”](#) November 4, 2022.
12. Bardon and Parvais, [“The environmental footprint.”](#)
13. Deloitte analysis of sustainability reports from multiple semi companies.
14. Intel, [2022–23 corporate responsibility report](#), accessed September 14, 2023.
15. Analysis based on data reported in publicly available corporate sustainability reports of select semiconductor companies.
16. See source and methodology notes for figure 2.
17. Shannon Davis, [“Water supply challenges for the semiconductor industry,”](#) Semiconductor Digest, October 24, 2022.
18. Editorial, [“Intel achieves net positive water in three countries,”](#) Intel, July 13, 2022.
19. Davis, [“Water supply challenges.”](#)
20. Ibid.
21. Ibid.
22. US Environmental Protection Agency (EPA), [“Semiconductor industry,”](#) accessed September 14, 2023.
23. Generon, [“Using nitrogen gas in the semiconductor manufacturing process,”](#) accessed September 14, 2023.
24. Mike Czerniak, [“The time is now: Sustainable semiconductor manufacturing,”](#) Semiconductor Digest, November 2021, pp: 16–19.
25. US EPA, [“Semiconductor industry.”](#)
26. Ibid.
27. Mike Czerniak, [“The time is now: Sustainable semiconductor manufacturing,”](#) Semiconductor Digest, November 2021.
28. 삼성전자는 일부 제품에서 옥타플루오로사이클로부탄(C4F8)을 대체해 GWP를 낮출 수 있는 대체재 중 하나인 G1을 개발 중이다. See: Samsung, [A journey towards a sustainable future: Samsung Electronics sustainability report 2023](#), accessed September 14, 2023.
29. Marie Garcia Bardon and Bertrand Parvais, [“The environmental footprint of logic CMOS technologies,”](#) EE Times, November, 2020.

30. Chris Bailey, "[Recovery and recycling of process gases: What are the options?](#)," Semiconductor Digest, accessed November 2, 2023.
31. Eurofins Scientific, "[Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances \(PFAS\) restriction proposal: The largest substances ban project ever in Europe](#)," accessed September 16, 2023.
32. SEMI, "[PFAS Explainer: The semiconductor industry responds](#)," accessed September 16, 2023.
33. The BIM Engineers, "[From 3D BIM to 7D BIM](#)," June 8, 2023.
34. Wikipedia, "[Drug design](#)," accessed October 25, 2023.
35. Rick Johnston, "[How data centers can use renewable energy to increase sustainability and reduce costs](#)," Device 42, Inc., April 5, 2023.
36. Interview with Deloitte semiconductor sustainability practitioners, July and August, 2023.
37. Jaume Freire González, "[The Jevons paradox and rebound effect: Are we implementing the right energy and climate change policies?](#)," The OECD Forum Network, September 22, 2022.
38. Jag Alexeyev, "[ESG and sustainable investment outlook: US\\$30 trillion by 2030 on the way to net-zero](#)," Broadridge Financial Solutions, Inc., 2021.
39. Deloitte, "[2023 semiconductor industry outlook](#)," accessed November 2, 2023.
40. Karen Weisz, Christie Simons, Brandon Kulik, Duncan Stewart, and Teresa Lewis, "[The global semiconductor talent shortage](#)," Deloitte, accessed November 2, 2023, p. 7.
41. Deloitte, "[2023 Gen Z and Millennial survey](#)," accessed November 2, 2023.
42. Emanuela Barbiroglio, "[No water no microchips: What is happening in Taiwan?](#)," Forbes, May 31, 2021.
43. Analysis based on publicly available information sourced from [EDN](#) (2001), [Silicon Expert](#) (2021), and [CNBC](#) (2022) showed how power outages and disruptions affected fab operations and chip production at different points in time in the United States and Asia.



딜로이트 첨단기술, 미디어 및 통신 산업 전문 리더

딜로이트 첨단기술, 미디어 및 통신 산업 전문팀은 빠르게 발전하는 산업 환경 속에서 고객들의 전략적 과제들을 해결할 수 있는 최상의 서비스 경험을 제공합니다. 딜로이트 첨단기술, 미디어 및 통신 산업 전문팀은 국내외 기업의 전략수립, 회계감사, 재무자문, IT 시스템 구축 등 다양한 서비스 경험을 보유한 우수 전문인력으로 구성되어 있습니다.

Contact



김우성 파트너

Technology Strategy & Transformation 리더 | 딜로이트 컨설팅

Tel: 02 6099 4670

Email: wooskim@deloitte.com



안상혁 파트너

디지털부문 리더/금융산업 총괄리더 | 딜로이트 컨설팅

Tel: 02 6676 3625

Email: sanghyan@deloitte.com



박지숙 파트너

금융 IT, 오피레이션 리더 | 딜로이트 컨설팅

Tel: 02 6676 3722

Email: jisukpark@deloitte.com



장지영 파트너

Tech Strategy 부문 파트너 | 딜로이트 컨설팅

Tel: 02 6676 3956

Email: jiyoung@deloitte.com



강기식 파트너

Lead Architect | 딜로이트 컨설팅

Tel: 02 6676 2039

Email: gikang@deloitte.com



주형열 파트너

반도체 CoE 리더 | 딜로이트 컨설팅

Tel: 02 6676 3750

Email: hjoo@deloitte.com



최호계 파트너

Technology Sector 리더 | 감사본부

Tel: 02 6676 3227

Email: hogchoi@deloitte.com



박형곤 파트너

TME Sector 리더 | 딜로이트 컨설팅

Tel: 02 6676 3684

Email: hypark@deloitte.com



조명수 파트너

Digital Finance & Operation 리더

Tel: 02 6676 2954

Email: mjo@deloitte.com



박권덕 파트너

TME Sector 리더 | 딜로이트 컨설팅

Tel: 02 6676 3567

Email: gwapark@deloitte.com



앱스토어, 구글플레이/카카오톡에서 '딜로이트 인사이트'를 검색해보세요.
더욱 다양한 소식을 만나보실 수 있습니다.

Deloitte.

Insights

성장전략본부 리더

손재호 Partner

jaehoson@deloitte.com

딜로이트 인사이트 리더

정동섭 Partner

dongjeong@deloitte.com

연구원

김선미 Manager

seonmikim@deloitte.com

디자이너

박주리 Consultant

jooripark@deloitte.com

Contact us

krinsightsend@deloitte.com

Deloitte refers to one or more of Deloitte Touche Tohmatsu Limited (“DTTL”), its global network of member firms, and their related entities (collectively, the “Deloitte organization”). DTTL (also referred to as “Deloitte Global”) and each of its member firms and related entities are legally separate and independent entities, which cannot obligate or bind each other in respect of third parties. DTTL and each DTTL member firm and related entity is liable only for its own acts and omissions, and not those of each other. DTTL does not provide services to clients. Please see www.deloitte.com/about to learn more.

Deloitte Asia Pacific Limited is a company limited by guarantee and a member firm of DTTL. Members of Deloitte Asia Pacific Limited and their related entities, each of which are separate and independent legal entities, provide services from more than 100 cities across the region, including Auckland, Bangkok, Beijing, Hanoi, Hong Kong, Jakarta, Kuala Lumpur, Manila, Melbourne, Osaka, Seoul, Shanghai, Singapore, Sydney, Taipei and Tokyo.

This communication contains general information only, and none of Deloitte Touche Tohmatsu Limited (“DTTL”), its global network of member firms or their related entities (collectively, the “Deloitte organization”) is, by means of this communication, rendering professional advice or services. Before making any decision or taking any action that may affect your finances or your business, you should consult a qualified professional adviser.

No representations, warranties or undertakings (express or implied) are given as to the accuracy or completeness of the information in this communication, and none of DTTL, its member firms, related entities, employees or agents shall be liable or responsible for any loss or damage whatsoever arising directly or indirectly in connection with any person relying on this communication. DTTL and each of its member firms, and their related entities, are legally separate and independent entities.

본 보고서는 저작권법에 따라 보호받는 저작물로서 저작권은 딜로이트 안진회계법인(“저작권자”)에 있습니다. 본 보고서의 내용은 비영리 목적으로만 이용이 가능하고, 내용의 전부 또는 일부에 대한 상업적 활용 기타 영리목적 이용시 저작권자의 사전 허락이 필요합니다. 또한 본 보고서의 이용시, 출처를 저작권자로 명시해야 하고 저작권자의 사전 허락없이 그 내용을 변경할 수 없습니다.