

유틸리티/신재생에너지

800VDC: 더 높은 전압, 더 많은 컴퓨팅

유틸/신재생. 나민식 / minsik@sks.co.kr / 3773-9503

Signal: Rubin 아키텍처 이후부터 전력 인프라 변화 예정**Key:** 800VDC 전환은 3 단계에 따라서 이뤄질 것으로 전망**Step:** 반도체 변압기, 커패시터 수혜 전망

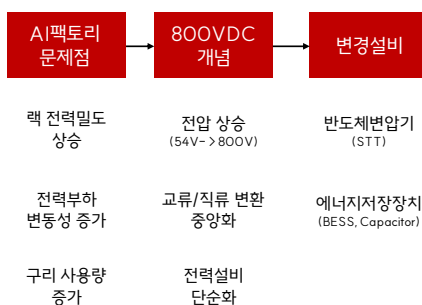
왜 AI 팩토리에서 전력 인프라가 바뀔까?

Nvidia 는 차세대 Rubin 아키텍처 이후부터는 800VDC 방식이 적용될 것이라고 강조하며, 27 년부터는 AI 팩토리의 전력 인프라 구조가 변할 것으로 전망한다. 800VDC 는 데이터센터 안에서 전력을 더 멀리, 많이 보내기 위해 직류 전압을 크게 올린 방식이다. 기존에는 랙 안에서 교류(AC)를 낮은 전압의 직류(54VDC)로 전환해서 GPU 에 전력을 공급하는 구조였다. 그러나 800VDC 는 직류 전압을 800V 로 크게 올려서 배전한다. 핵심은 전압을 올리면 같은 전력을 보낼 때 전류가 줄어들고($P=VI$), 전류가 줄어들면 전력 저항이 줄어들며 케이블이 얇아져서 구리 사용량이 감소한다는 것이다.

800VDC 최종병기, 반도체 변압기(SST)

800VDC 인프라 전환은 단계별로 이뤄질 것이다. Nvidia 는 과도기적인 단계로 서버 랙 옆에 장착하는 800VDC 파워 랙을 시연했다. 이는 전력 인프라를 크게 바꾸지 않고 데이터 홀 내부의 랙을 교체할 수 있다는 장점이 있다. 다만 파워 랙 자체에서 발열과 유지보수 포인트가 늘어나는 한계가 있어서 과도기적인 방식이다. 최종적으로 전력 변압기(Solid State Transformer, SST)가 해법으로 떠오르고 있다. 기존 철심 변압기와는 다르게 반도체 기반으로 작동해서 전압변환, 전류변환이 한번에 가능하다. 이를 통해 데이터센터 내부의 다양한 전력기기를 일체화해서 에너지효율이 증가한다. 대만의 Delta Electronics 가 Nvidia 의 파트너회사로서 SST 를 기술개발하고 있으며, 한국에서는 LS Electric 이 차세대 제품으로 SST 를 선보인 바 있다.

Rubin 이후 전력 인프라 변화



전력부하 변동성을 해결하기 위한 커패시터 수혜 전망

AI 팩토리의 또 다른 문제는 전력부하 변동성이 높아진다는 점이다. NVLink 를 통한 GPU 의 동기식 연산처리 특징으로 초 단위 전력부하 변동성이 생기고 있다. GW 에 달하는 AI 팩토리의 전력부하가 초단위로 요동치면 데이터센터 내부의 전력 품질은 물론, 상위 단위의 전력망의 안정성에도 잠재적인 위협이 된다. 전력부하 변동성 문제를 해결하기 위해서는 다층적인 에너지저장장치 활용이 필수적이다. 초단위에서는 커패시터(capacitor) 활용이 늘어날 것이며, 분 단위에서는 리튬이온 기반의 에너지저장장치가 사용될 것이다. 커패시터 생산기업(LS 머티리얼즈, 비니텍)의 전방시장이 신재생 에너지에서 AI 데이터센터로 확장되며 수혜를 볼 것으로 전망한다.

CONTENT

01	800VDC?	3
02	NVIDIA 800VDC 단계별 전환 로드맵	11
03	데이터센터 전력 흐름	17
04	주요 전력기기	21
05	관련종목	29

COMPLIANCE NOTICE

작성자는 본 조사분석자료에 게재된 내용들이 본인의 의견을 정확하게 반영하고 있으며, 외부의 부당한 압력이나 간섭없이 신의성실하게 작성되었음을 확인합니다.

본 보고서에 언급된 종목의 경우 당사 조사분석담당자는 본인의 담당종목을 보유하고 있지 않습니다.

본 보고서는 기관투자가 또는 제 3자에게 사전 제공된 사실이 없습니다.

당사는 자료공표일 현재 해당기업과 관련하여 특별한 이해 관계가 없습니다.

종목별 투자의견은 다음과 같습니다.

투자판단 3 단계(6개월기준) 15%이상 → 매수 / -15%~15% → 중립 / -15%미만 → 매도

SK 증권 유니버스 투자등급 비율 (2026 년 1 월 5 일 기준)

매수	91.98%	중립	8.02%	매도	0.00%
----	--------	----	-------	----	-------

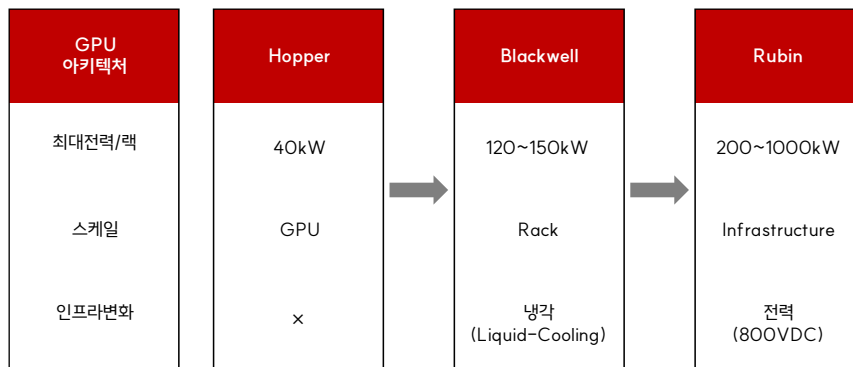
1. 800VDC?

(1) 데이터센터 - > AI 팩토리: 무엇이 변하는가?

전통적인 데이터센터의 랙 전력 규모는 kW 수준이었지만, AI 팩토리로의 전환에 따라 단일 랙 전력 수요가 최대 1MW 까지 급증하고 있다. 기존 54V(rack level) 전압수준의 배전으로는 MW 급 랙을 감당하기 어려워지며 800V 급의 높은 전압의 인프라로 개편이 필요하다.

실제로 NVIDIA 는 2027 년부터 1MW 급 Kyber 랙을 지원하기 위해서 업계 파트너들과 함께 800VDC 데이터센터 전력 인프라로의 전환을 주도하고 있다. 기존 메타 주도로 이루어지는 OCP 에서도 2024 년까지는 400VDC 전력 인프라 표준을 정립하려고 노력했지만, 2025 년부터 NVIDIA 가 800VDC 의 필요성을 주장하며 800VDC 가 전력 표준으로 떠오르고 있다. 현재 블랙웰(Blackwell) 이후의 차세대 GPU 아키텍처인 루빈(Rubin) 세대부터 800VDC 체계가 사실상 필수가 될 것으로 전망한다.

Rubin 세대부터 전력 인프라 변화가 필요



자료: SK 증권

(2) 800VDC 기본개념: 전압은 올리고, 교류/직류 변환 중앙화

800VDC 배전은 기존 54V 대비 전압을 대폭 상승시켜 전류를 줄임으로서 효율성을 높이는 개념이다($P=V \times I$). 전압이 높아지면 전류가 감소하여 도체의 저항손실과 발열이 줄어들어 에너지 효율성이 높아진다. 여기에 물리적으로 버스바, 전력케이블의 두께도 감소할 수 있는 이점도 있다.

800VDC 로 배전하면 동일한 단면적의 도선으로 전달할 수 있는 전력의 약 85% 증가하고 전류 감소로 구리 사용량이 45% 절감된다는 분석이 있다. NVIDIA 분석에 따르면 54V 체계로 1MW 랙을 구성할 경우 랙당 구리 버스바만 200kg 에 달하고, 1GW 규모 AI 팩토리에는 총 50 만 톤 이상의 구리가 필요하다.

두번째 800VDC 아키텍처의 개념은 교류/직류 변환을 랙 단위가 아니라 중앙에서 일괄 수행하는 것이다. 기존에는 랙마다 전원공급장치(Power Supply Units, PSU)가 교류 전력을 인입해서 직류전력으로 변환해서 GPU 에 전원을 공급했다. 그러나 800VDC 체계에서는 이러한 정류단계 처리를 랙 밖으로 이동시켜 랙 내부 공간을 확보할 수 있다.

교류/직류 변환을 중앙화 하면서 얻을 수 있는 장점은 두가지가 있다. (1) 통신거리가 짧은 NVLink 를 극대화하기 위해서 도메인 통신거리에 GPU 를 배치하는 것이 중요해지고 있다. 때문에 랙에서 컴퓨팅 성능에 직접적인 연관이 없는 전력기기, 배선을 제거해서 초고밀도 컴퓨팅 환경 구성을 가능할 수 있다. (2) 데이터센터에는 변압기, 정류기, UPS 등 다양한 전력기기가 사용된다. 이를 반도체 변압기(Solid State Transformer, SST)로 일체화 하여 전력변환단계를 단순화할 수 있다.

800VDC 기본개념

	800VDC 개념	장점
1	전압 상승 (54V - > 800V)	구리 사용량 절감 케이블/버스덕트 소형화
2	교류/직류 변환 중앙화	서버 랙 물리적 공간 확보

자료: SK 증권

(3) More Power, More Computing

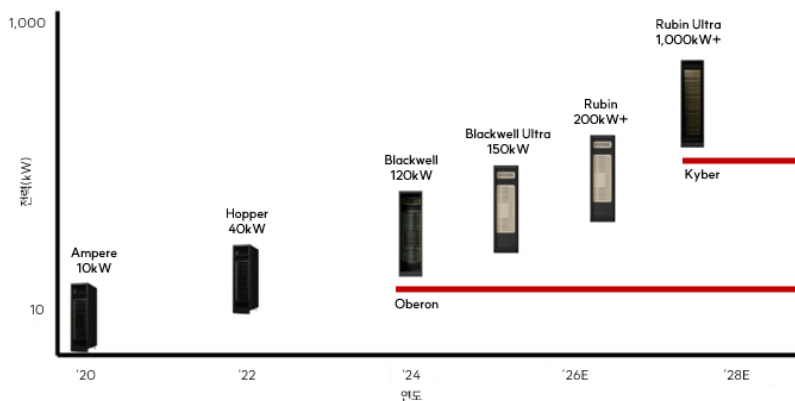
산술적으로는 GPU 의 열설계전력(TDP)에 비례해서 전력밀도가 증가해야 하지만, AI 팩토리에서 운영되는 서버 랙의 전력밀도는 기하급수적으로 상승하고 있다.

예컨대 NVIDIA 의 최신 GB300 NVL72 시스템은 랙당 72 개의 GPU 를 병렬 연결하여 약 142kW 의 전력을 소비하는데, 이전 세대인 GH20 NVL32 의 랙당 전력 밀도는 53.3kW 대비해서 2.7배 늘어난 수치다. 단일 GPU 의 열설계전력(TDP)은 세대교체마다 약 20% 정도의 완만한 증가를 보여왔다. 그러나 NVLink 를 통해서 다수의 GPU 를 한 덩어리로 묶어서 동시연산을 하면서 피크 전력은 산술적인 GPU 수 증가폭을 뛰어넘는 기하급수적인 곡선을 그리고 있다.

NVLink 는 다수의 GPU 를 물리적으로 인접 배치하여 하나의 거대 가속기로 동작 시키는 것이 핵심이다. GPU 가 밀집하면 밀집할수록 컴퓨팅 성능이 좋아지기 때문에 GPU 성능에 기여하지 않는 전력 관련 부품은 최대한 랙 외부로 배치하려는 기술적 방향성이 뚜렷하게 나타나고 있다.

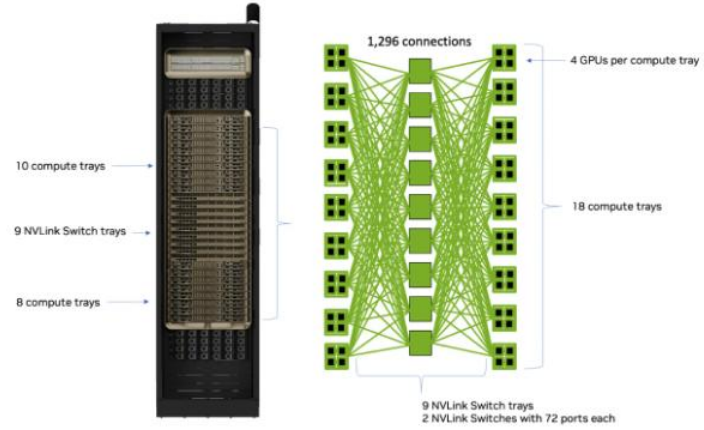
그러나 기존 54V 의 저전압 배전 환경에서는 같은 전력을 보내기 위해 전류를 높여야 하며, 전류가 커지면 케이블과 버스바가 두꺼워지며 저항 손실이 커져서 전력 장치를 멀리 떨어뜨리기 어려워졌다. 그러나 800VDC 고전압으로 전송하면 전류가 크게 줄어 전력손실 없이 먼 거리까지 송전할 수 있으므로, 랙 내부의 전력 기기를 제거하고도 안정적인 전력을 공급할 수 있다.

전력밀도(kw/rack)은 세대가 지날수록 기하급수적인 성장



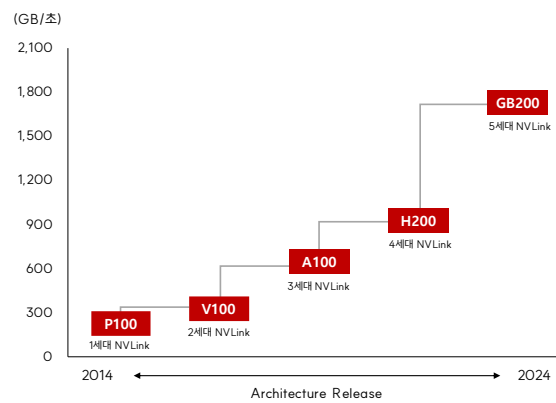
자료: NVIDIA, SK 증권

NVLink



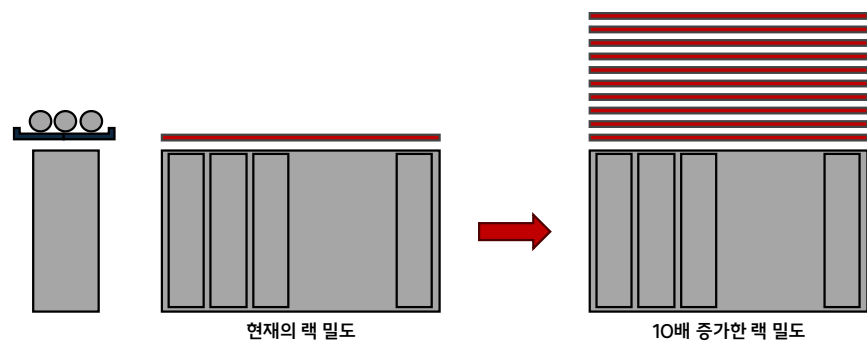
자료: NVIDIA

NVLink At-Scale Performance



자료: SK 증권

기존 54V 전력시스템에서는 케이블/버스덕트의 부피가 비례적으로 증가하는 문제점



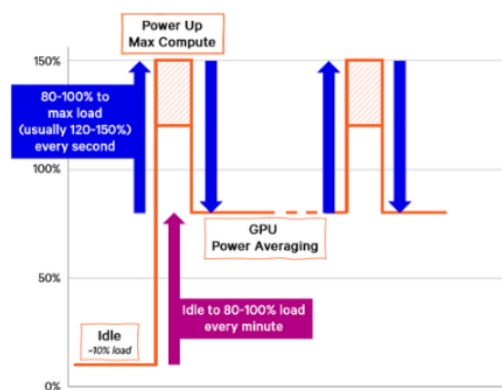
자료: OCP

(4) Power Swing

NVLink로 긴밀히 연결된 수십~수백 개 GPU가 동기식 연산을 수행할 경우 랙 전력 부하의 변동성이 매우 커진다. 실제 AI 랙의 전력부하는 유휴 시 약 최대치의 30% 수준까지 떨어졌다가, 연산 개시와 함께 초단위로 100% 풀로드로 치솟는 급격한 변화를 보인다.

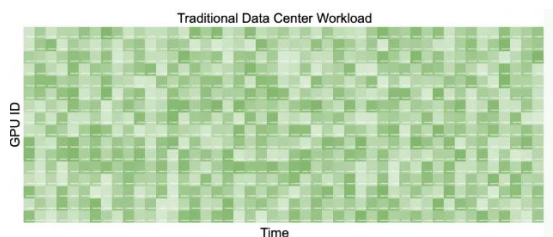
전력망은 수요와 공급이 실시간으로 일치해야 주파수가 안정적으로 유지된다. 대규모 부하가 갑자기 사라지면 공급과잉으로 주파수가 상승하고, 반대로 부하가 급증하면 주파수 하락이 발생한다. 때문에 GW에 달하는 AI 팩토리의 전력부하가 초단위로 요동치면 데이터센터 내부의 전력 품질은 물론, 상위 단위의 전력망의 안정성에도 잠재적인 위협이 된다.

AI 팩토리에서는 전력부하 변동성이 높아짐



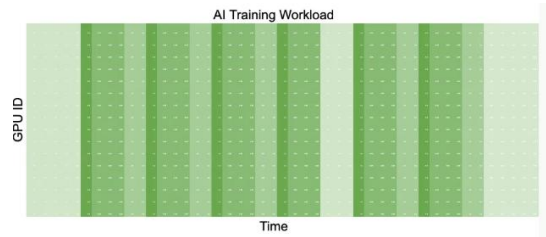
자료: Vertiv Holdings

전통적인 데이터센터 작업량(workload)



자료: NVIDIA

AI 팩토리 작업량(workload) - NVLink 동기화

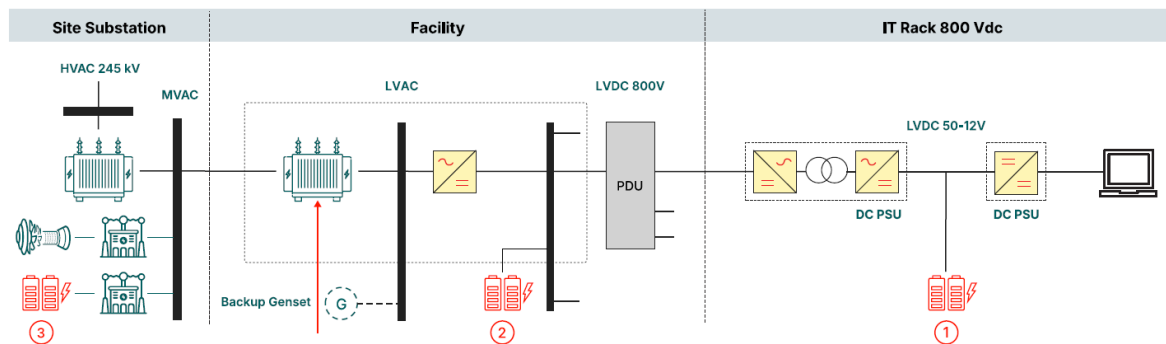


자료: NVIDIA

심한 경우 대정전으로 이어지는데, 2025년 4월 이베리아반도의 대정전이 대표적이다. 약 2.2GW 규모 발전설비가 돌연 탈락하고 재생에너지 위주의 계통이 이를 보완하지 못해, 27 초 만에 스페인·포르투갈 전역 전력망이 붕괴된 것이다. AI 데이터 센터에서도 대규모 GPU 연산 작업이 끝나면서 GW 부하가 한꺼번에 이탈하거나 추가되는 경우 유사한 주파수 급변 사태를 초래할 수 있다.

이 문제를 완화하기 위해 에너지저장장치(ESS)를 활용한 부하 평활화(load leveling)가 중요해지고 있다. 밀리초(ms) 단위의 순간적인 변동은 전해 커패시터, 초단위에서는 슈퍼 커패시터, 그 이후에는 배터리 기반 에너지 저장장치(BESS)가 충방전을 통해서 전력 부하를 평탄하게 한다는 방식이다.

에너지저장장치 설치 위치



자료: GE Vernova

에너지저장장치 설치 위치에 따른 용도 차이

Requirement	time	③ ES AT Substation	② ES AT 800VDC BUS	① ES AT IT Rack
LLMIT Load overshoot	milliseconds			✓
LVRT buffering	seconds	✓	✓	
Back-up power	minutes	✓	✓	
AIIT load fluctuations	second~minutes	✓	✓	
Grid services	peak shaving	✓		

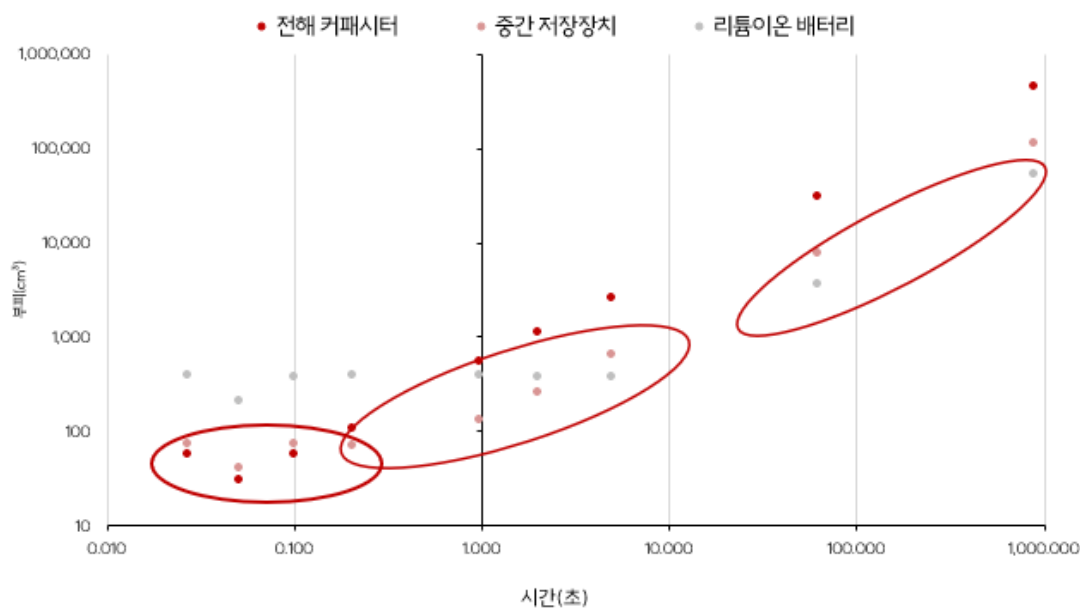
자료: GE Vernova

NVIDIA 의 800VDC 백서에서도 에너지저장장치를 포함시켜 GPU 소비전력 급변에 대응할 것으로 제시했다.

아래의 그림은 다양한 에너지 저장 장치별로 저장 지속시간(time)과 필요한 물리적 부피(volume)을 로그 스케일로 비교한 도표이다. 타원형은 각 기술이 현실적으로 사용될 수 있는 영역을 표시한다.

부피관점에서 전해 커패시터는 100ms(0.1 초) 이하에서 가장 좋은 솔루션이며, 10 초를 넘어가는 순간부터는 리튬이온 배터리가 부피 측면에서 더 우월한 솔루션이 된다. 결론적으로 시간대별로 다양한 에너지 저장장치가 필요하며 이를 다층 에너지 저장구조(hierarchical energy storage)라고 부른다.

에너지 저장장치별 지속시간 및 물리적 부피 차이



자료: NVIDIA, SK 증권

(5) 800VDC 전력 인프라의 장점

전력 효율 향상: 13.8kV AC 를 800V DC 로 직접 변환함으로써 중간 변환 단계를 생략할 수 있어, 전력 효율이 약 5% 개선된다. AC↔DC 단계 축소로 에너지 손실 뿐 아니라 잠재적 고장 포인트도 줄어들어 신뢰성 향상에 기여한다.

서버 공간 확보: 랙 내부의 전원공급장치(PSU)를 제거하고 랙 외부에서 전원을 공급함으로써 서버 공간 활용도가 대폭 높아진다. 그 결과 동일한 랙 크기에 더 많은 GPU 또는 추가 냉각장치를 탑재할 수 있어 컴퓨팅 밀도를 높일 수 있다. NVIDIA 에 따르면 기존 54V 방식으로 1MW 랙을 구성(Kyber 기준)할 경우 전원공급 모듈이 랙 공간 64U 를 차지하지만, 800V DC 채택 시 이 공간을 모두 컴퓨팅에 활용할 수 있게 된다.

구리 사용량 감소: 전압 상승으로 전류가 줄어들어 동일 전력을 더 가는 선으로 보낼 수 있다. 전력 전달에 필요한 버스바, 케이블의 두께가 줄어들고 구리 사용량이 크게 절감된다. 800VDC 로 배전하면 기존 415VAC 대비 동일한 도체로 전송 가능한 전력이 157% 증가하고, 전류 감소로 구리 요구량이 45% 줄어든다는 결과가 보고되었다. 이는 무게와 비용 감소로 이어져 데이터센터 인프라 규모가 커질수록 경제적 이점이 커진다.

확장성: 800V DC 인프라는 랙당 100kW 에서 1MW 를 초과하는 부하까지도 동일한 전력망 구조로 지원할 수 있어 미래 대비에 유리하다. 전력 인프라의 스케일업(scalability)이 용이해 차세대 AI 모델들의 폭발적 연산 수요에도 대규모 증설 없이 대응할 수 있으며, 랙당 1MW 를 넘어서는 향후의 요구에도 확장성 있게 발전할 수 있다.

신뢰성 및 유지보수: 전원 변환 장치 수를 줄여 전체 시스템 복잡도를 낮춤으로써 유지보수 부담을 크게 줄일 수 있다. 랙당 수십 개에 달하는 PSU 모듈을 중앙 전원으로 통합하면 PSU 고장과 교체 빈도가 감소하여 유지보수 비용을 최대 70% 절감할 수 있고, 랙 내 발열원이 줄어 냉각 부하도 감소하므로 결과적으로 총 소유 비용(TCO)을 약 30% 절감할 수 있다.

2. NVIDIA 800VDC 단계별 전환 로드맵

(1) Blackwell - > Rubin 세대 변화와 전력 인프라 변화

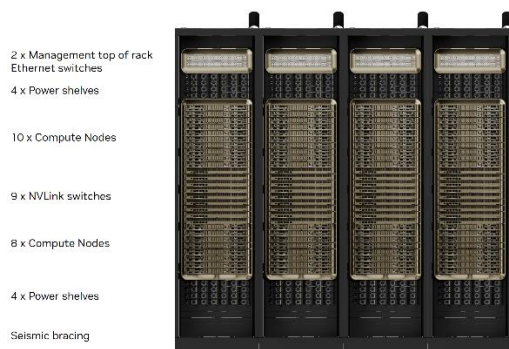
그간 GPU 아키텍처는 세대가 거듭될 때마다 전력 요구가 완만하게 증가해왔지만 (세대당 TDP 약 20% 내외 상승), 근래에는 NVLink 를 통해서 GPU 를 한 랙에 집적하는 규모가 증가하며 랙 당 소비전력 폭증을 주도하고 있다.

새로운 Rubin Ultra GPU 세대가 도래하면 단일 랙에 수백 개의 GPU 가 탑재되어 랙당 1MW 에 가까운 전력이 필요할 것으로 예상되며, NVIDIA 는 이에 맞춰 2027 년부터 800V DC 전력 인프라를 본격 도입할 계획이다.

현재 NVIDIA 의 DGX 시스템 GB200 NVL72 또는 GB300 NVL72 플랫폼은 랙에 장착된 8 개의 전력공급 선반(power shelf)을 통해 수십 kW 급 GPU 모듈들과 스위치를 구동한다. 이러한 54V 전력분배 방식을 향후 1MW 급 Kyber 랙(차세대 AI 랙)에 그대로 적용하면, 전원 공급 장치만으로 최대 64U 의 랙 공간을 차지하게 되어 정작 컴퓨팅 장비를 넣을 공간이 없어지는 문제가 발생한다.

실제로 NVIDIA 는 GTC 2025에서 하나의 Kyber 랙(576개의 Rubin Ultra GPU 탑재)을 구동하기 위해 랙 옆에 장착하는 형태의 800VDC 사이드카(sidecar) 파워 랙을 시연한 바 있다. 이는 전력기기를 파워 랙으로, IT 장비는 서버 랙으로 분리한 개념이다. 기존 인프라를 크게 바꾸지 않으면서도 1MW 랙을 구현하기 위한 과도기적 해법이다. 장기적으로는 데이터센터당 수백 개의 파워 랙을 설치하는 대신, 중앙에서 처리된 고전압 직류를 공급하는 구조로 전환이 예상된다.

DGX GB200 랙 구성



자료: NVIDIA

Kyber Rack + Side Car



자료: NVIDIA

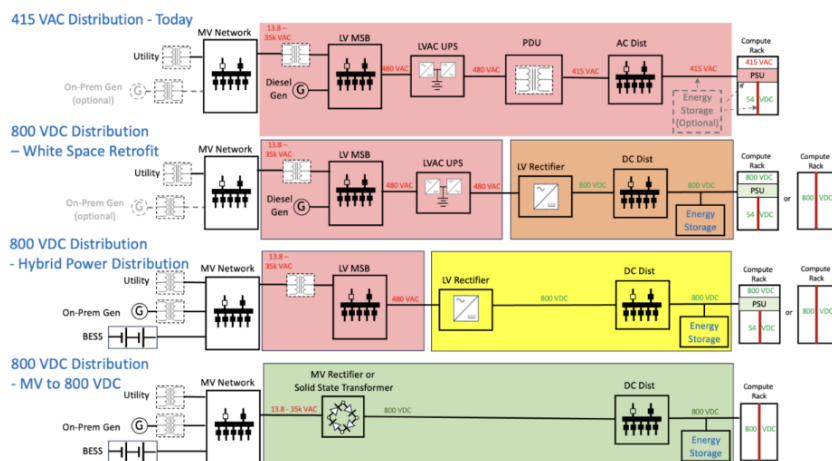
(2) 415VAC -> 800VDC 단계별 전환: 기존 415V AC 방식

NVIDIA 백서에서는 현행 교류 배전 구조에서 800VDC 로 이행하는 4 단계를 제시한다.

먼저 그림 1 은 기존 데이터센터의 표준 전력 아키텍처를 보여준다. 먼저 외부 전력 망으로부터 고압 또는 중압 교류전력을 공급받는다. 그 다음 데이터센터 파워 룸 (Power room)의 변전설비에서 415VAC 저압으로 변환한다. 이 전력은 UPS 를 통해서 전력 품질이 보장된 후에 데이터 홀 내부의 전력분배기(Power Distribution Unit, PDU)를 통해서 랙에 415VAC 를 공급한다. 이후 랙 내부의 전원공급장치 (PSU)가 54VDC 로 정류하여 GPU 에 전력을 공급한다.

415VAC 중심 구조는 변압기·차단기·배전반 등 인프라가 규격화되어 있고 오랜 기간 사용되어 왔기에 설계와 운영이 용이하다는 장점이 있다. 그러나 여러 단계의 교류/직류 변환이 이루어져 시스템이 복잡하고 축적되는 에너지 손실이 크다는 단점이 있다. 순서에 따라서 고압 > 저압 변압, AC > DC(정류기), 다시 DC > AC(인버터) 및 최종 AC > DC(PSU)까지 여러 단계 변환이 이루어지는데, 각 단계마다 2~10%의 손실이 누적되어 전체 효율을 떨어뜨린다. 또한 변환 단계가 많을수록 부품 수도 늘어나 고장 위험 지점이 증가하고 관리가 어려워진다.

800VDC 단계별 전환 과정



자료: Nvidia

(3) 415VAC > 800VDC 단계별 전환: White Space Retrofit

White Space Retrofit은 과도기적 단계. 파워 랙 방식은 상위단계로 옮겨갈 것으로 전망

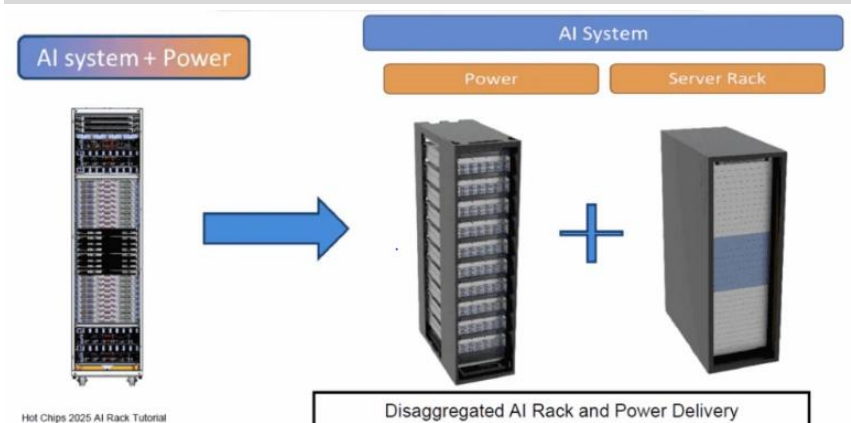
두 번째 단계는 화이트 스페이스 레트로핏(white space retrofit)으로, 기존 교류방식의 전력 인프라를 유지하면서 랙 수준에서 800VDC 공급으로 전환하는 방식이다.

현행 사이드 파워 랙(Power rack) 방식은 800VDC 데이터센터를 구축하기 위한 과도기적인 단계로 NVIDIA 는 판단하고 있다. 이 방안에서는 데이터홀 내 기존 서버 랙과 나란히 별도의 파워 랙(power rack)을 추가 설치하여, 교류를 직류로 변환하는 작업을 컴퓨팅 랙 밖에서 수행한다. 즉 각 컴퓨팅 랙에는 여전히 415VAC 가 공급되지만 랙 내부로 들어가기 전에 인접한 파워 랙에서 800VDC로 정류하여 전달한다. 컴퓨팅 랙 자체에는 PSU 가 없어지고 DC/DC 컨버터만 남아 800V 를 GPU 구동에 필요한 전압으로 낮추게 된다.

이 방식의 장점은 기존 데이터센터의 전력 인프라를 대폭 개조하지 않고, 서버 룸 안에서 랙 단위로만 800VDC 배전을 구현할 수 있다는 점이다. 다만 별도의 파워 랙 하나가 랙 전체 부하(예: 300~400kW)를 처리하므로 정류기·차단기 등 고출력 부품이 밀집되어 발열이 많아지고, 새로운 유지보수 포인트가 추가된다는 점은 여전히 단점으로 지적 받는다.

NVIDIA 는 이러한 파워 랙 방식을 800VDC 생태계 과도기 단계로 제시하면서, 향후 부품 수급이 원활해지고 표준이 갖춰지면 보다 상위 단계로 옮겨갈 것을 전망하고 있다.

파워 랙 개념



자료: OCP

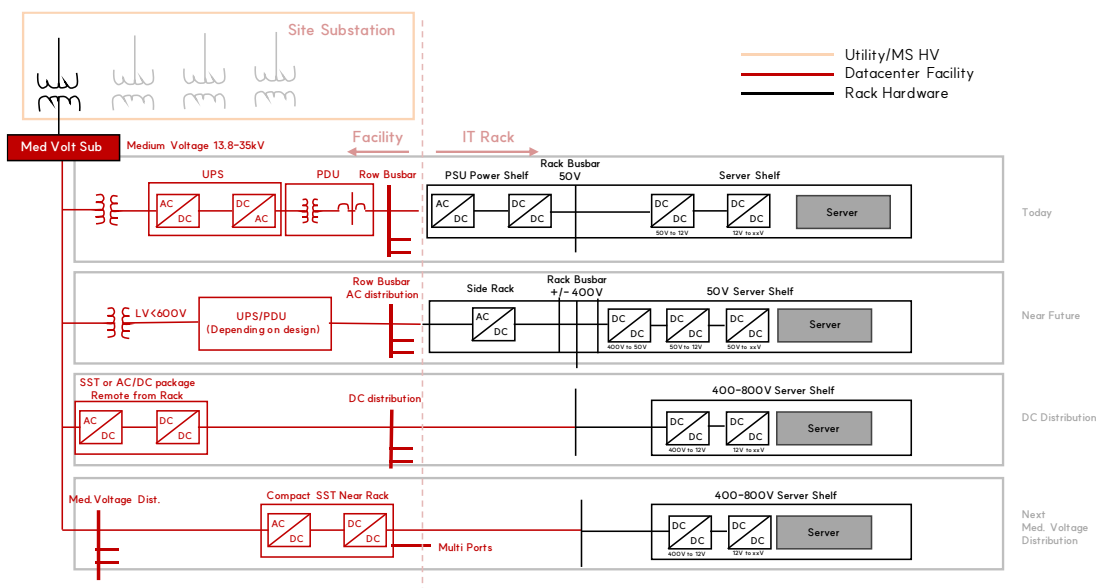
(4) 415VAC > 800VDC 단계별 전환: 800VDC 하이브리드

세 번째 단계는 800VDC 하이브리드 배전 구조로, 교류/직류 변환을 개별 랙이 아닌 중앙 집중식으로 수행하는 방식이다. 데이터센터에 인입된 중앙 교류를 기존처럼 한 차례 저압으로(415~480V)으로 변압하는 것은 동일하지만, 이후 대용량 정류기 시스템에서 교류를 일괄적으로 800VDC 로 변환하여 데이터홀 전체에 직류로 분배하는 구조다. 예컨대 1.5MVA 급 정류기 모듈 여러 대를 병렬 구성해 공용 DC 버스로 묶고, 이를 각 랙에 버스덕트 등으로 연결하는 방식이다.

이때 중앙 UPS 는 기존 형태와 달리 DC 버스에 에너지저장장치(배터리)를 접목하는 방식으로 대체된다. 즉 정류기 출력 800V DC 라인에 배터리나 슈퍼커패시터 기반 ESS 를 연계하여, 상시 부하 변동 평활화와 비상시 백업을 동시에 수행한다. 또한 랙 단위 PDU나 분전반은 DC 배전 패널로 대체되어 고전압 DC 를 각각의 랙으로 분기시킨다. 전력 변환 흐름이 변압기 > 정류기의 2 단계로 단순화되므로 중간 손실이 줄고 효율이 향상된다.

NVIDIA 백서에 따르면 최신 정류기 시스템은 효율 99% 수준까지 달성하고 있어, 전체 전력 흐름상 손실을 크게 줄일 수 있다고 한다. 또한 전체 전력 인프라의 구조가 단순해져 구축 및 운영상의 복잡도가 낮아지는 이점이 있다.

800VDC 단계별 전환 과정



자료: OCP, SK 증권

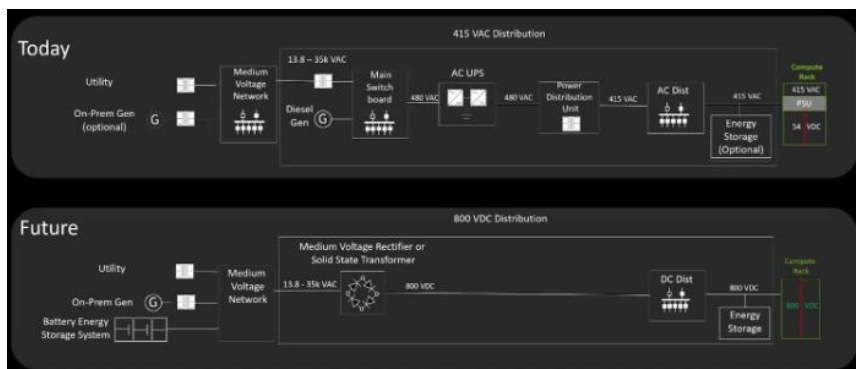
(5) 415VAC > 800VDC 단계별 전환: 풀(Full) 800VDC

네 번째 최종 단계는 교류 단계를 최소화한 순수 800VDC 인프라로, 중압 교류를 바로 800VDC로 변환해 공급하는 방식이다. 예를 들어 22.9kV 또는 35kV 급 중압 전원을 수용하는 장비에서 곧바로 800VDC를 생성하여 별도의 저압 배전 단계 없이 컴퓨팅 랙에 직류를 분배하는 구조다.

이를 구현하려면 고주파 전력변환 기술이 필수적인데, 대표적으로 반도체 변압기(Solid state transformer, SST)가 핵심 전력기기로 거론된다. 반도체 변압기는 변압기 역할과 정류 역할을 한꺼번에 수행하는 장비로, 전력용 반도체(SiC, GaN)를 활용하여 수십 kVAC를 곧바로 수백 VDC로 변환해 낸다.

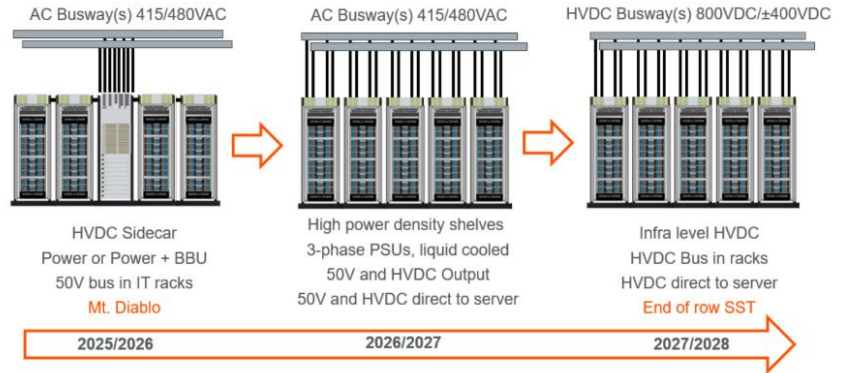
궁극적으로는 데이터센터 내 전력 흐름이 매우 직접적이고 단순한 경로가 된다. 예컨대 이전 구조에서는 22.9kV AC -> 480V AC -> 800V DC 두 단계를 거쳤다면 이제는 22.9kV AC -> 800V DC 한 단계로 끝나게 된다. 변환 단계 감소에 따른 효율 향상(98% 이상)과 장비 감축은 물론이며, 초기 구축 시 고가의 저압 배전 설비(변압기, 대용량 배전반 등)를 생략함으로써 설비 투자와 공간을 절약하는 효과가 있다.

Full 800VDC 개념



자료: NVIDIA

하이퍼스케일 전력 트렌드



자료: OCP

800VDC 단계별 전환 과정

단계	전력 아키텍처(요지)	핵심 설비	운용상 포인트
기존 415VAC	MVAC - > 415VAC - > UPS - > PDU - > PSU	UPS/PDU/PSU	다중 변환으로 단계별 2~10% 손실 누적 다양한 전력기기 사용하며 복잡성 높아짐
White Space Retrofit	MVAC - > 415VAC - > UPS - > PDU - > PSU	파워 랙 DC/DC 컨버터	장점: 인프라 대개조 없이 800VDC 구현 단점: 발열·유지보수 포인트 추가
800VDC 하이브리드	MVAC - > 415VAC - > Rectifier -> PSU	15MVA 급 정류기	중량 정류기를 통해 서버 공간 확보 중량 UPS는 DC 버스 ESS로 대체
Full 800VDC	MVAC - > SST - > PSU	SST(반도체 변압기)	궁극적인 800VDC 실현

자료: SK 중권

3. 데이터센터 전력 흐름

(1) 전력망(Grid)

데이터센터에 전력을 공급할 때 외부 전력망으로부터 중압(MV: 10~35kV 급) 전력을 인입하고 내부에서 저압으로 전압을 강압하는 방식을 사용한다. 전력 유틸리티가 제공하는 전압은 지역에 따라 다르나, 하이퍼스케일 이상 규모의 데이터센터는 주로 22.9kV, 33kV 등의 중압이나 154kV, 345kV 같은 고압 송전망 연계한다.

데이터센터 부지 내에 전용 변전소(substation)가 전력망의 전력을 수용하며 고압을 중압으로 1 차 변환한다. 예를 들어 150MW 급 전력을 필요로 하는 캠퍼스라면 230kV 송전선에서 80MVA 변압기 2 대로 변환하여 공급하거나, 신뢰성 향상을 위해 N+1 구성으로 3대를 두기도 한다. 일반적으로 한 개 변전소/변압기에 너무 큰 부하를 물리지 않도록 50~100MVA 용량급으로 쪼개어 병렬 운용하며, N+1, 2N 등의 이중화 구성을 통해 설비 한두 개 고장 시에도 전원을 유지하도록 설계한다.

100MW 가 넘는 초대형 전력을 안정적으로 공급받으려면 근처에 고압 송전선로가 존재해야 한다. 이에 따라 많은 하이퍼스케일 데이터센터들이 138kV, 230kV 이상 선로 인접 지역에 입지를 선정한다. 만약 기존에 용량 여유가 없는 지역이라면 데이터센터 사업자가 전력회사와 협의하여 신규 변전 용량 증설에 투자한다.

실제로 북미에서는 데이터센터 유치에 위해 전력청이 수백 MW 급 변전소를 신설하는 사례가 늘고 있다. 전력 유틸리티 업체인 American Electric Power 는 초고전압 변압기가 자신들의 경쟁우위 자산으로서 대용량 데이터센터 유치에 도움이 될 것이라고 3Q25 실적발표 당시에 강조했다.

스타게이트 프로젝트



자료: OpenAI

데이터센터 전용 변전소



자료: Google

(2) 파워 룸(Power room, gray space, electric room)

파워 룸의 주요 전력기기 : 변압기, 스위치기어, 무정전전원장치, 비상 발전기 등

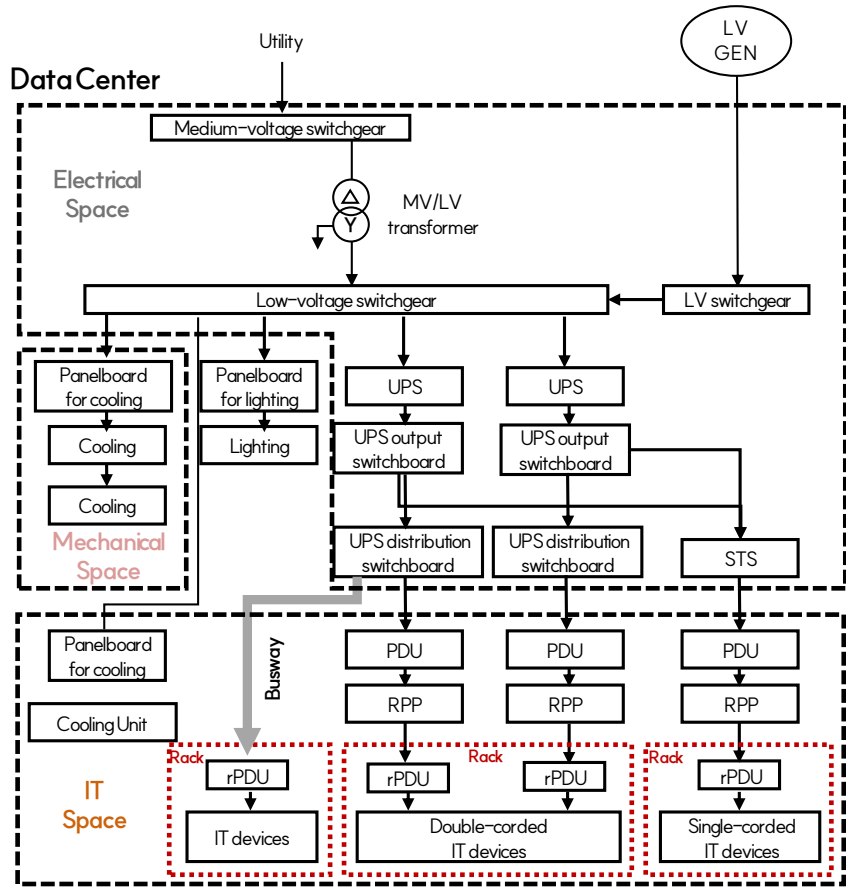
파워 룸은 외부에서 인입된 전력을 IT 장비가 사용하기 적합한 전압으로 변환 및 분배하는 공간이다. 변압기(transformer), 중압 스위치기어(MV Switchgear), 무정전전원장치(UPS), 비상용 디젤 발전기 등이 설치된다.

전력 흐름은 다음과 같다. 우선 변전소를 타고 인입된 전력은 중압 스위치기어를 통해 안전하게 분기된다. 스위치기어는 캐비닛 형태의 전력기기로 그 안에는 스위치(switch), 차단기(circuit breaker), 계측장치로 구성되어 있다. 스위치기어에서 분기된 전력은 저압 변압기를 통해서 415VAC의 저압으로 강압된다. 그 다음으로는 저압 스위치기어를 통과하여 각각 UPS 별로 전력을 분배한다. 이 저압 스위치기어에는 비상용 디젤 발전기가 함께 접속되어 있어서, 평시에 대기하다 정전이 발생할 경우에 수 초 이내에 발전기가 작동하도록 설계되어 있다.

415VAC 저압부터 전력은 크게 두 갈래로 나뉜다. 하나는 서버로 향하는 경로, 또 다른 하나는 냉각 설비로 향하는 경로다. 서버로 향하는 전력은 먼저 무정전전원장치(UPS)를 거치게 된다. UPS에는 5~10분 용량의 배터리가 내재되어 있어서 비상 발전기가 가동되어 출력이 안정화되는 순간을 버틸 수 있도록 한다. 비상전력용 외에도 UPS는 정류기와 인버터를 거치면서 순간적인 전압강하 또는 주파수 변화를 걸러주어 전력품질을 향상시키는 역할을 한다.

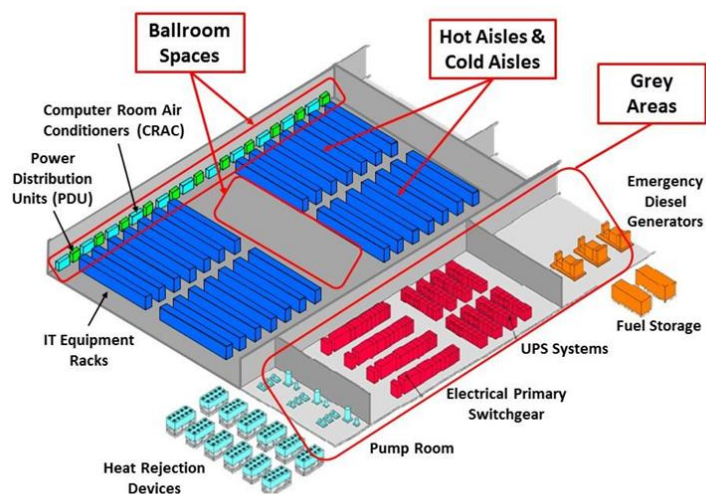
한편 냉각 부하 측 전력은 주로 공조기, 펌프, 냉동기 등에 공급되며, 일부 핵심 냉각 펌프 등을 제외하면 일반적으로 UPS를 거치지 않고 발전기 백업만 구성하는 경우가 많다. 이는 냉각 부하는 용량이 매우 크고 단기간 정전 시에도 즉각적으로 치명적인 영향을 주지 않을 수 있기 때문이다(수 초 정전으로 서버가 바로 과열되지는 않음). 다만 배터리 기반 쿨링 시스템을 두어 중요 펌프에 수십 초간 전원을 공급하는 등 설계에 따라 다양한 구현이 가능하다.

데이터센터 전력 흐름도



자료: ASHRAE, SK 증권

데이터센터 투시도



자료: ASHRAE, SK 증권

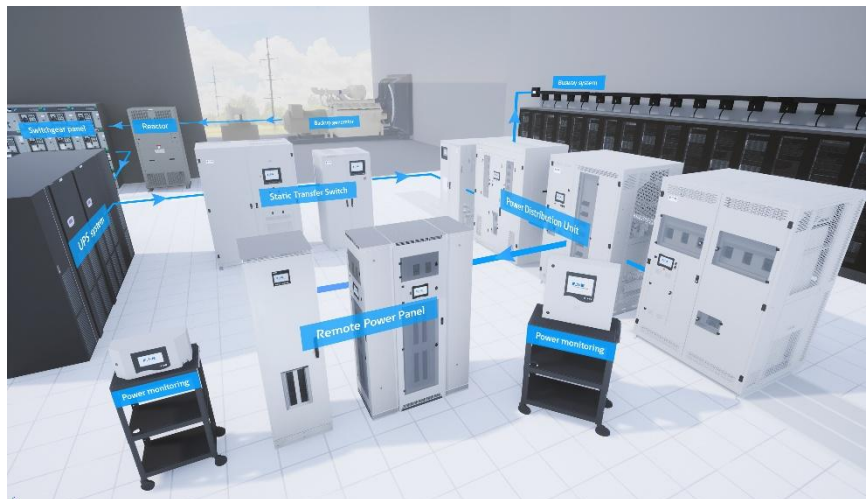
(3) 데이터홀(white space, data hall, server room)

서버가 배열된 데이터 홀(data hall)은 서버 룸, 화이트 스페이스 등 다양한 이름으로 불린다. 하나의 데이터센터 건물 내에는 여러 개의 데이터 홀로 구성되어 있다.

UPS 를 통과한 전력은 캐비닛 형태의 전력분배장치(Power Distribution Units, PDU)까지 이어진다. PDU 내부에는 차단기, 계측기 등의 전력기기가 들어가며 전력보호 및 분배를 위해서 설치된다. 하나의 PDU 가 수십 개의 랙을 커버하는 형태이다.

PDU 를 따라서 들어간 전력은 케이블(또는 고용량인 경우 버스덕트)를 통해서 서버로 향하게 된다. 아직까지는 교류전력이기 때문에 랙에 설치된 전력공급장치(PSU)가 직류전력으로 변환한다. 직류전력이 서버에 설치된 네트워크 장비 또는 컴퓨팅 장비에 전력을 공급되며 AI 컴퓨팅이 시작된다.

UPS → PDU → PSU



자료: Eaton

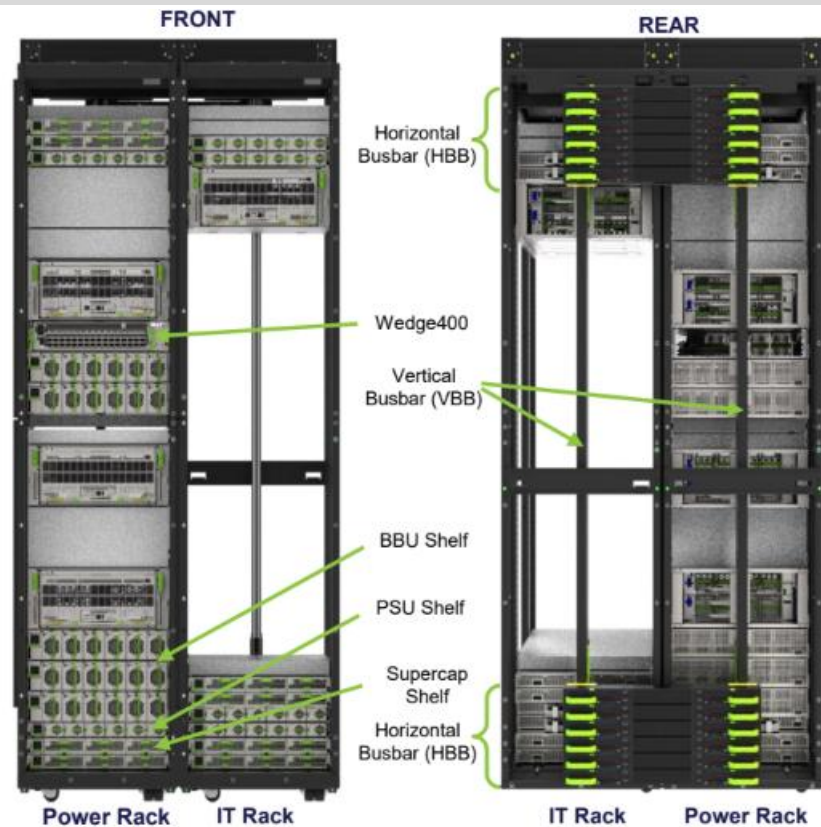
4. Product

(1) 파워 랙(Power rack)

왜 “파워 랙”이 필요한가? 기존의 데이터센터 전력공급 방식으로는 AI 가속기를 감당하기 어렵기 때문이다. MW 단위의 랙을 전통적인 54V 분배로 구현하려면 다수의 전원공급장치(PSU)가 필요하며, 이들이 차지하는 공간으로 랙 전체를 소모하게 되어서 GPU 자원에 쓸 공간이 남지 않는다.

HPRv3 로도 불리는 최신 고출력 랙 아키텍처(Open Compute Project 의 Open Rack V3 표준)는 이러한 과제를 해결하기 위해 등장했다. 기본 아이디어는 파워 랙에 대용량의 전력변환장치, 전력저장장치를 설치하여 서버 랙에 전력을 안정적으로 공급하는 방식이다. 구체적으로 파워 랙에는 다음의 구성요소를 포함한다. PSU(전원공급장치), BBU(배터리 백업 장치), CBU(커패시터 뱅크 장치), 그리고 버스바(busbar)로 구성되어 있다.

HPR v3



자료: OCP, SK 증권

HPR v3



자료: OCP, SK 증권

HPR v3

HPRv3 Power Side Rack			ORW Rack		
44	Supercap Shelf 1	44	Rack Management Controller		44
43	Supercap Shelf 2	43	Rack Management Controller		43
42	Supercap Shelf 3	42	Rack Management Controller		42
41	Supercap Shelf 4	41	Rack Management Controller		41
40	Supercap Shelf 5	40	Rack Management Controller		40
39	PSU 1	39	Rack Management Controller		39
38	PSU 2	38	Rack Management Controller		38
37	PSU 3	37	Rack Management Controller		37
36	Supercap Shelf 6	36	Rack Management Controller		36
35		35	Rack Management Controller		35
34		34	Rack Management Controller		34
33	BBU Shelf 1	33	Rack Management Controller		33
32		32	Rack Management Controller		32
31	BBU Shelf 2	31	Rack Management Controller		31
30		30	Rack Management Controller		30
29	W400 FE RASW	29	Rack Management Controller		29
28		28	Rack Management Controller		28
27		27	Rack Management Controller		27
26		26	Rack Management Controller		26
25		25	Rack Management Controller		25
24		24	Rack Management Controller		24
23		23	Rack Management Controller		23
22		22	Rack Management Controller		22
21		21	Rack Management Controller		21
20		20	Rack Management Controller		20
19		19	Rack Management Controller		19
18		18	Rack Management Controller		18
17		17	Rack Management Controller		17
16		16	Rack Management Controller		16
15		15	Rack Management Controller		15
14		14	Rack Management Controller		14
13		13	Rack Management Controller		13
12	BBU Shelf 3	12	Rack Management Controller		12
11		11	Rack Management Controller		11
10	BBU Shelf 4	10	Rack Management Controller		10
9	Supercap Shelf 7	9	Rack Management Controller		9
8	PSU 4	8	Rack Management Controller		8
7	PSU 5	7	Rack Management Controller		7
6	PSU 6	6	Rack Management Controller		6
5	Supercap Shelf 8	5	Rack Management Controller		5
4	Supercap Shelf 9	4	Rack Management Controller		4
3	Supercap Shelf 10	3	Rack Management Controller		3
2	Supercap Shelf 11	2	Rack Management Controller		2
1	Supercap Shelf 12	1	Rack Management Controller		1

자료: OCP, SK 증권

전원공급장치(PSU): 인입된 교류 전원을 직류로 변환하는 AC/DC 컨버터 역할을 한다. 파워 선반(power shelf)에 여러 개의 PSU 모듈이 장착되어 랙 전체에 필요한 전력을 공급한다.

예를 들어, Vertiv의 Power Direct 랙용 PSU 선반은 3상 교류(400~480VAC)를 받아서 50VDC로 변환, IT 장비 전력을 공급한다. 각 PSU 모듈은 5.5kW 용량으로 6개 모듈을 묶은 1U 하나당 33kW의 출력을 낼 수 있다. 그리고 랙 하나에 PSU 선반을 여러 층 적층하면 현재 기준으로 최대 132kW($33\text{kW} \times 4\text{U}$)까지 전원을 공급할 수 있다. 산업계에서는 33kW급 PSU를 HPR 1세대로 간주하며, 향후 72kW급(단일 PSU 모듈로 기존 대비 두 배 이상 출력) 차세대 PSU도 개발하고 있다.

나아가 NVIDIA와 주요 업체들은 아예 800VDC 배전을 랙에 도입하는 방안을 추진 중인데, 이 경우 PSU가 800V의 고전압 직류를 받아 바로 50V 등의 저전압 DC로 내려줄 수도 있다. 이러한 고전압 직류 인입 방식을 통해 기존 AC 단 변환단계를 줄이고, PSU 모듈 수를 크게 감소시켜 공간 활용도와 효율을 높일 수 있는 것이 장점이다.

PC 용 전원공급장치



자료: Google

서버용 전원공급장치



자료: Delta Electronics

배터리 백업 장치(BBU): 랙 단위에 설치되는 소형 UPS 역할의 배터리 시스템이다. 리튬이온 배터리로 구성된 BBU 는 상시 대기하다가 순간적인 전원 이상이나 정전 시 수 초에서 수 분 동안 랙에 전원을 공급한다. 데이터센터의 중앙 UPS 나 비상 발전기가 가동되기까지의 몇십 초 동안 랙을 지속 구동하여 IT 장비가 중단되지 않도록 하는 완충 역할이다.

커패시터 뱅크 장치(CBU): 슈퍼커패시터(초고용량 축전기) 모듈을 묶은 에너지 저장장치다. CBU 는 배터리보다 훨씬 짧은 시간 단위(밀리초~수 초)의 급격한 전력 스파이크에 대응하도록 설계되었다. 예컨대 AI 가속기(GPU)의 부하 변동으로 순간적으로 전류 소모가 치솟을 때, PSU 만으로 대응하면 과도한 피크 전류로 효율 저하나 과부하 위험이 생길 수 있다. 이 때 CBU 의 커패시터가 순간적으로 에너지를 방출하여 부족한 전력을 보충하거나, 반대로 순간적인 재생전력이 발생하면 이를 흡수해 줌으로써 메인 전원버스의 안정성을 높인다.

BBU - 리튬이온 기반



자료: Eaton

CBU - 커패시터 기반



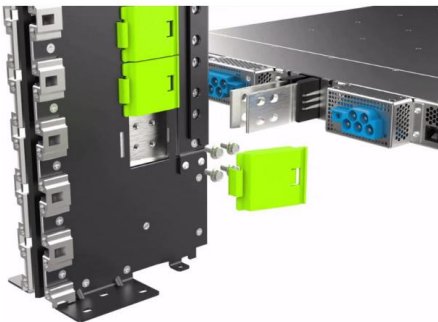
자료: OCP

버스바(Busbar): 랙 내외의 고전류 직류 배전에는 전통적인 케이블 대신 버스바 시스템이 활용된다. 파워 랙에서는 두 종류의 버스바가 언급되는데, 수직버스바(VBB)와 수평(HBB)이다.

수직 버스바는 랙 내부에 세로로 배치된 전원 분배 바이다. PSU 에서 변환된 직류 전력을 랙 내 모든 서버에 전달하는 전력레일 역할을 한다. OCP 표준에서는 후면에 수직버스바를 설치하는 구조를 채택했다.

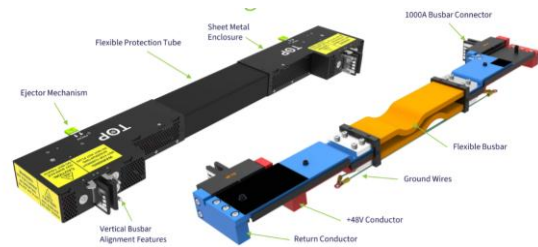
한편 수평버스바는 여러 랙을 가로지르는 형태의 전력 분배 장치로, 데이터홀 상부 혹은 하부에 설치되어 고전력 전원을 공급하는 간선 역할을 한다. 예를 들어, 버스바를 활용하면 케이블 대비해서 동일 단면적의 도체로 송전할 수 있는 전력이 크게 늘어나며, 전류 감소로 인한 전력손실과 구리 사용량 감소 효과가 있다.

수직 버스바



자료: OCP

수평 버스바



자료: OCP

(2) 반도체 변압기(SST: Solid State Transformer)

SST, 게임체인저 역할

800VDC 의 핵심은 반도체 변압기(Solid State Transformer, SST) 기술이다. SST 는 간단히 말해 변압기(transformer)와 정류기(rectifier)를 하나로 통합한 전력변환 장치다. 기존에는 전력망으로부터 들어온 고전압 교류전력을 GPU 가 사용하기 위해 여러 전력기기를 거치며 변환했다. 이 과정에서 데이터센터 복잡성이 높아지며 유지보수가 어려워지는 단점이 생겼다.

SST 의 핵심 장점은 다음과 같다.

① 소형화: 철심기반 변압기는 매우 크고 무겁다. 그러나 SST 는 반도체 기반으로 작동하기 때문에 동일 용량이라도 부피와 무게를 획기적으로 줄일 수 있다. 이는 데이터센터 공간 활용도를 높여서, 고밀도 데이터센터 구현에 도움을 줄 수 있다.

② 전력변환 단계 축소: SST 를 쓰면 고압 AC를 저압 DC로 한 번에 변환할 수 있으므로, 기존에 여러 장치를 직렬로 거치던 것을 단순화할 수 있다. 예컨대, 중압(MV) 교류를 바로 800VDC 로 변환해버리면, 별도의 저압변압기나 거듭되는 AC/DC 변환 단계가 필요 없어진다. NVIDIA 가 제시한 800VDC 아키텍처에서도, 데이터센터 입구에서 13.8kV 상용 전원을 산업용 정류기로 바로 800VDC로 바꾸고 중간 변환 단계를 없애는 방안을 강조하고 있다. 이를 위해 SST 는 핵심 전력기기 주목을 받고 있다.

③ 전력품질 및 유연성: 반도체 기반이기에 능동 제어(active control)가 가능하여 출력 전압을 미세 조정하거나, 재생에너지 연계에도 대응이 가능하다. 또한 50Hz, 60Hz 지역이든 전력주파수와 관계없이 사용이 가능하기 때문에 설치가 용이하다는 강점이 있다. 글로벌 데이터센터 사업자 입장에서 표준화된 전력 모듈 도입이 가능하다는 강점이 있다.

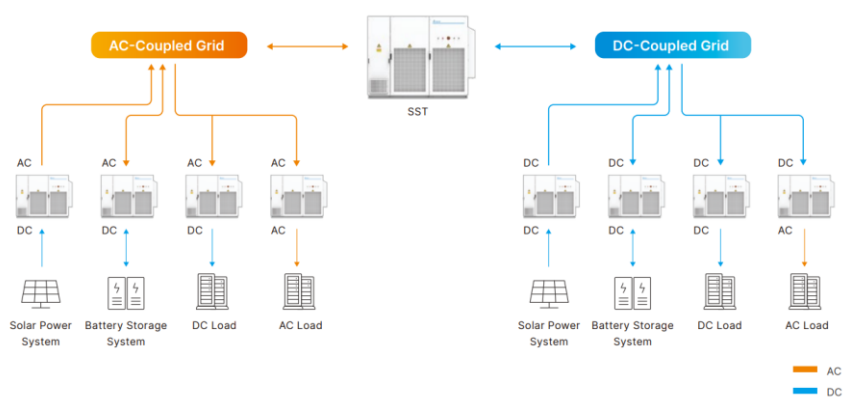
NVIDIA 와 파트너사들은 800VDC 배전을 위한 인프라로서 전통적인 변압기 기반 방식과 SST 기반 방식을 모두 검토하고 있다. Delta electric 은 Nvidia 의 파트너 공급업체로서 데이터센터용 SST 를 개발하고 있다. 기존의 전기차 충전 인프라에서 사용하는 SST 변압기 기술을 기반으로 둔다. GE Vernova 는 그들의 800VDC 백서에서 변압기 + 정류기 구성 또는 SST 방식 두가지 방식을 제시했다. 국내에서는 LSElectric이 전력기기 전시회에서 차세대 제품으로 STT를 선보인 바 있다.

반도체 변압기(Solid State Transformer)



자료: Delta Electronics

AC/DC 자유로운 변환이 가능한 반도체 변압기

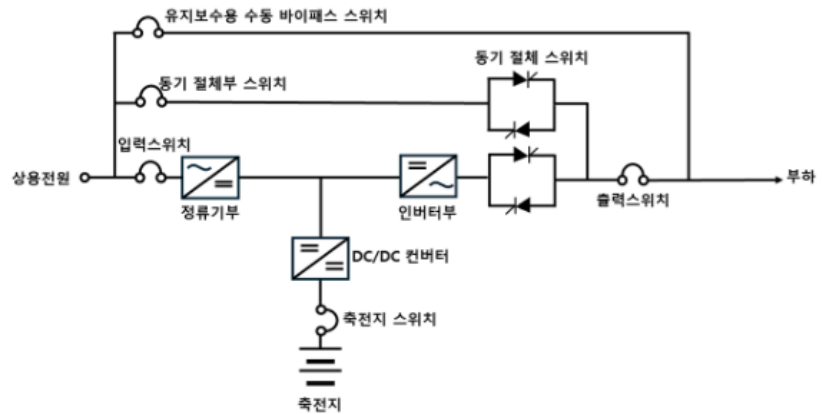


자료: Delta Electronics

(3) 무정전 전원 공급장치(UPS)

UPS 는 배터리 에너지 저장장치를 통해 상용 전원이 중단되거나 규격을 벗어나는 경우에도 부하에 연속적인 전력 공급을 가능하게 한다. UPS 내부에는 정류기(rectifier), 배터리(battery), 인버터(inverter)로 구성되어 있다. UPS 내부의 배터리는 직류로 전력을 저장하기 때문에 교류로 받은 전력은 정류기를 거쳐서 직류로 전환해야 한다. 정전이 발생할 경우에는 배터리에 저장된 직류 전원을 교류로 전환하는 역할은 인버터가 수행한다.

UPS 구성



자료: KT

Vertiv Holdings의 UPS



자료: Vertiv Holdings

5. 관련종목

LS일렉트릭(010120): 종합 전력기기 업체. xAI를 포함한 북미 데이터센터에 배전반 등 부품 공급계약 레퍼런스 보유. 기존 전기차 충전기 인프라 사업을 영위한 기술력을 기반으로 800VDC 변화에 대응이 가능할 것으로 생각함. 반도체변압기(SST), 반도체차단기(SSCB) 등 직류기반 배전 전력기기 제품을 출품한 바 있음.

LS머트리얼즈(417200): 울트라커패시터(UC)를 중심으로 전력 저장, 완충 솔루션을 제공하는 소재 기업. 전력부하 변동성이 증가하는 AI 데이터센터 확산 국면에서 커패시터 수요증가로 수혜 전망함.

비나텍(126340): 슈퍼커패시터(Supercapacitor) 및 하이브리드 커패시터를 주력으로 하는 소재기업. 기존 전방산업인 신재생에너지(연료전지 및 풍력)에서 AI 데이터센터로 시장확장이 기대됨.

Vertiv Holdings(VRT): 데이터센터 전력(power), 열 관리(thermal management) 사업을 영위하고 있음. Nvidia의 파트너 회사로서 액체냉각(liquid cooling) 및 직류 전력기기 생산을 담당하고 있다.

Delta Electronic(2308): PSU, CBU 등 데이터센터 랙에 사용되는 전력부품을 생산하는 대만기업. 마찬가지로 Nvidia의 파트너 업체로서 반도체변압기(SST) 기술개발을 담당하고 있음. 이 외에 800VDC 전력 인프라 확산의 수혜주로서 변화의 중심에 있다.