



White Paper

Data Center Energy Efficiency 개선

Part 3. Power System

개요

본 문서는 Part 1. IT 장비에서의 에너지 효율 개선 Part 2. Cooling에서의 에너지 효율 개선 다음 문서로 데이터 센터의 전력 설비에서의 효율 개선 부분을 다룬다.

Part 3. Power system

데이터 센터 PUE를 해석할 때의 흔한 오류 중 하나가 전력설비에서의 손실을 가볍게 여긴다는 점이다. 목표 PUE를 1.3이하로 설정하거나, 어떤 데이터 센터의 PUE가 1.25 미만이라고 얘기를 하는 경우 한국 내에 위치하고 ASHRAE A1 Class 기준으로 운영되는 데이터 센터라면 의심을 해 봐야 한다. 왜냐하면 국내 기후 조건에서 달성할 수 있는 최고 수준의 Cooling 효율은 IT 전력 대비 연 평균 13% 수준이고, UPS에서 발생하는 손실만으로도 IT 전력의 10%가 넘기 때문에 이 둘만 합산해도 연 PUE는 1.23을 초과하게 된다. 이 값이 사실상 한국에서의 PUE 한계로 생각할 수 있다.




데이터 센터의 전력설비는 수전에서부터 변압, 발전기, UPS 등의 설비와 ALTS, VCB, ATS, ACB, MCCB와 같은 Switch gear 및 Bus-duct, Cable, 분전판넬, PDU 등의 전력 전달 매체들로 이루어 진다. 이들 구성 요소 중 전력 전달 매체와 Switch gear는 규격에 맞는 용량 이상으로 구성되어 있다면 이들 요소에서 발생하는 손실은 미미하여 특별히 효율을 개선시킬 수 있는 요인이 없다.

전력 설비에서의 손실은 대부분 UPS와 변압설비에서 발생되는데, 그 중 80% 이상이 UPS에서 발생된다. 따라서 전력 설비에서의 효율 개선은 변압설비와 UPS에 초점이 맞추어질 수밖에 없다.

1. 변압기

데이터 센터의 수전용량은 대부분 3,000kW 이상이므로 22.9kV의 고압으로 수전된다. 따라서 수전전압을 데이터 센터에서 사용하는 저압으로 변압을 위해 변압기가 구성된다.

변압기의 효율은 법률로 규정되어 있는데. 변압기는 건식변압기(몰드변압기), 유입식 변압기, 아몰포스 변압기의 종류가 사용될 수 있지만, 안전성과 편의성의 이유로 몰드 변압기가 대부분이다.

		
<p>건식변압기 (Source : KOC 전기)</p>	<p>몰드 변압기 (Source : 한국전기기술회)</p>	<p>유입식 변압기 (Source : 엠에이치전기)</p>

최저소비효율 이하의 효율을 가진 변압기는 판매가 사실상 불가능하므로 모든 시판 변압기는 최저소비효율(MEPS, Minimum Energy Performance Standard)이상의 효율을 가진다고 가정할 수 있다. 산업통상부 고지 행정규칙 "효율관리기자재 운용규정"에서 정의하고 있는 변압기 타입과 용량별 최저/표준 소비효율은 아래 표와 같다. 그리고 판매되는 변압기에는 에너지 효율을 표시하는 마크가 부착되어 있으므로 이를 참조할 수 있으며, 최저소비효율 이상 표준소비효율 미만의 효율을 가지는 변압기는 일반변압기, 표준 소비효율 이상의 효율을 가지는 변압기는 고효율변압기로 구분된다.



용량	1차전압	2차전압	Phase	건식변압기		유입식변압기	
				최저 소비효율	표준 소비효율	최저 소비효율	표준 소비효율
100 kVA	22.9kV	380V	3상	97.8%	98.8%	89.0%	99.0%
150 kVA				98.2%	98.9%	98.1%	99.0%
200 kVA				98.2%	99.0%	98.2%	99.0%
300 kVA				98.4%	99.1%	98.4%	99.1%
400 kVA				98.5%	99.2%	98.4%	99.1%
500 kVA				98.7%	99.2%	98.5%	99.1%
600 kVA				98.7%	99.3%	98.5%	99.2%
750 kVA				98.8%	99.3%	98.6%	99.2%
1,000 kVA				98.9%	99.4%	98.7%	99.3%
1,250 kVA				99.0%	99.4%	98.8%	99.3%
1,500 kVA				99.0%	99.5%	98.8%	99.3%
2,000 kVA				99.1%	99.5%	98.9%	99.3%
2,500 kVA				99.2%	99.5%	99.0%	99.4%
3,000 kVA				99.2%	99.5%	99.0%	99.4%

변압기의 효율은 50% 부하율 상태에서 출력전력을 입력전력으로 나눈 백분율로 표시된다.

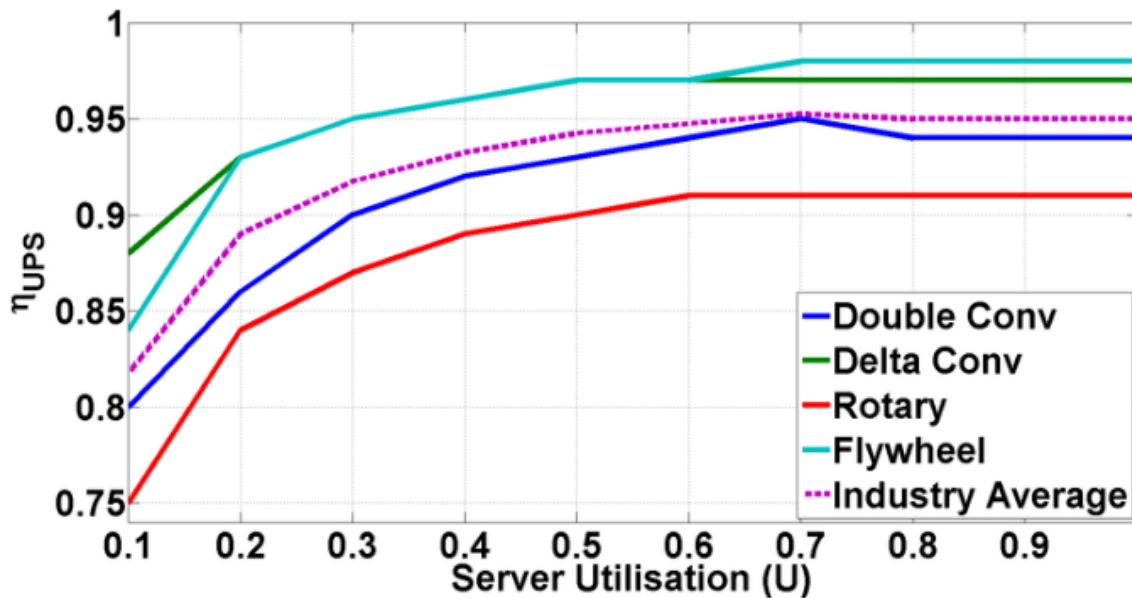
변압기의 효율은 최소 98% 이상이므로 미미한 손실일 듯하지만, 데이터 센터에 인입되는 전체 전력에 대한 효율이므로 무시하기 어려운 손실이다. 위 표에서 볼 수 있듯이 데이터 센터에 적용되는 변압기는 표준 소비효율 이상의 효율을 가지는 고효율변압기로 구성되어야 함을 알 수 있다.

또한 용량에 따라 건식 변압기와 유입식 변압기 간의 효율이 다르기 때문에 가장 높은 효율을 가지는 변압기를 선택해야 한다. 변압기의 부하율 별 효율 특성 그래프는 각 변압기 제조사를 통해 받아 볼 수 있다.

2. UPS

데이터 센터 전력설비 중 가장 큰 손실이 발생하는 설비이며, 가장 많은 비용이 요구되는 설비이다. 불행하게도 UPS의 에너지 손실을 최소화할 수 있는 UPS일수록 도입비용이 높다. 따라서 아래에 설명하는 다양한 손실 최소화를 위한 방안과 해당 방안의 수용을 위해 요구되는 투자비를 고려하여 적용여부를 선택해야 한다.

UPS의 효율은 제조사에서 제시되고 있으며 상용 UPS의 대부분은 94%이상의 높은 효율을 내세우고 있다. 그러나 Name Plate 상의 효율은 해당 UPS 1대만을 대상으로 가장 높은 효율이 나타나는 부하율 상태에서의 효율을 의미하기 때문에 실제 사용 상의 효율과는 상당한 차이가 있음을 이해해야 한다.



Source : ResearchGate

위 그래프에서 볼 수 있듯이 UPS의 효율은 부하율이 높을수록 높은 특성을 보인다.

데이터 센터의 평균적인 부하율은 60% 선이고 UPS가 Redundant를 위해 요구 용량 보다 더 큰 용량으로 구성되어 있음을 고려하면 실제 현장에서의 UPS 부하율은 30~50% 선에서 가장 많이 사용된다. 특히 가용

도 레벨이 올라갈수록 Redundant 용량이 커지므로 부하율은 더욱 내려간다.

이 문서에서는 현장에서 가장 보편적으로 사용되는 Double Conversion type UPS를 가정하여 설명한다.

UPS type의 진화에 대해서도 많은 참고 사항들이 있지만, 그 내용은 별도의 문서에서 다루기로 하고 이 문서에서는 생략한다.

예를 들어 설계상의 Full 부하율 용량이 2,000kW이고 실 부하율이 60%인, 부하가 1,200kW인 경우를 고려해 보면,

첫번째 경우는 500kW용량의 UPS로 N+1 Parallel Redundant Topology를 적용하여 총 5대의 UPS로 구성되어 있는 경우이다. 이때 총 구성용량은 2,500kW이고 부하가 1,200kW이므로 UPS 부하율은 48%가 되며, 이때의 효율은 약 93% 수준이 된다.

두번째 경우는 500kW용량의 UPS로 2N Redundant Topology를 적용하여 총 4대의 UPS set를 2개 set 구성하는 경우이다. 이때 총 구성용량은 4,000kW이고 부하가 1,200kW이므로 UPS 부하율은 30%가 되며, 이때의 효율은 약 92% 수준이다.

또한 추가로 고려해야 하는 손실에는 UPS cooling을 위해 사용되는 Cooling전력이 있다. 이는 Rotary UPS처럼 Cooling이 필요 없는 UPS 유형도 있기 때문에 동일한 조건의 비교를 위해서는 UPS 공간을 위해 사용되는 Cooling 에너지도 UPS 손실에 포함시켜서 계산되어야 한다.

데이터 센터의 실부하율과 UPS의 Redundant 및 Cooling에너지까지 고려된 UPS에서의 최종 효율은 90% 넘기가 어렵다는 점을 필히 고려해야 한다. 흔히들 간과하여 목표 PUE를 산정했다가 실제 UPS에서 발생하는 손실로 인해 달성 불가능한 목표임을 인지하는 경우가 많기 때문이다.

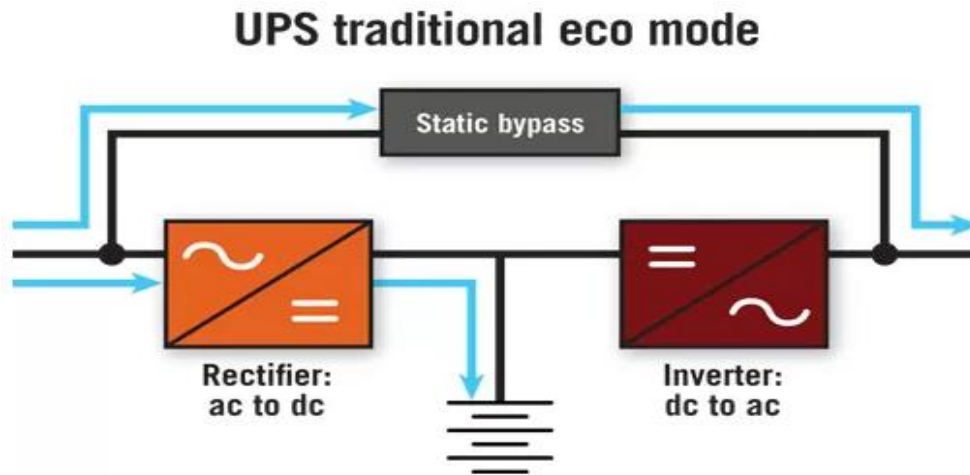
Double Conversion UPS 환경에서의 전력 손실 최소화를 위해 다양한 방법들이 시도될 수 있지만, 각각의 방식은 사용하는 UPS에서 해당 기능의 지원 여부에 많이 의존된다.

UPS 효율 향상을 위한 시도는 두가지의 방향으로 나뉘어 진다. 그중 한 가지는 UPS의 에너지 효율을 저하시키는 Converting을 회피하는 방법과 다른 한 가지는 UPS의 부하율을 최적의 효율에 해당되는 부하율로 유지토록 제어하는 방법이다.

① Echo mode

데이터 센터에서 사용되는 대부분의 UPS는 Double Conversion UPS다. 이 UPS는 Normal 시(주 전원이 정상적인 상태)에도 1차로 AC를 DC로 변환하고, 변환된 DC를 다시 Inverter를 통해 AC로 변환하여 부하로 전달한다.

즉 Normal 시 2번의 변환이 이루어 지게 되며, 변환 과정에서 발생하는 손실로 인해 에너지 효율이 높지 못한 유형의 UPS이다.



Source : ProStar Oct. 6, 2022

Eco mode는 Standby 또는 Interactive 라고 불리는 Offline UPS의 기본 운영 모드와 유사하다. Offline UPS는 주로 소형 단상 UPS에서 사용되는데 Rectifier와 Inverter는 Offline 대기 상태로 유지되다가 전원이 꺼지거나 문제가 감지되면 동작하도록 준비되어 있다. 이와 마찬가지로 Double Conversion UPS의 Echo mode는 Normal 시 Bypass 경로로 전원을 공급하도록 하고 주 전원에 장애가 발생한 경우에만 인버터를 작동시킨다. 따라서 Echo mode에서는 Normal 시 입력 전원에 부하가 직접 연결된다.

이로서 두번의 변환을 회피하기 때문에 Eco mode에서의 효율은 98~99%에 이르게 된다.(주전원의 일부는 Battery 충전을 위해 사용됨) 즉 Echo mode 사용을 통해 Double Conversion mode에서 보다 2~6% 정도의 절감효과를 달성할 수 있다.

Eco mode는 에너지 절감 효과가 분명한 만큼 단점도 분명하다. UPS의 기능은 주 전원의 중단, 즉 정전에 대한 보상 기능 외에도 품질의 안정화 기능도 포함되는데, Eco mode에서는 주 전원이 부하로 직접 연결되기 때문에 전원 품질의 안정화 기능이 없어진다고 봐야 한다.

Echo mode 사용 시 주 전원에 이상이 발생하면 즉시 Inverter로 전환되어야 하는데, 주 전원의 상태를 예측할 수가 없는 일이므로 전원의 전환이 1/60초 미만의 시간에 이루어 질 수 있어야만 한다는 리스크가 있다. 주 전원의 이상 시 Inverter 전원으로의 전환 단계는 먼저 전원 이상 감지 → UPS Inverter의 활성화 → UPS Inverter로의 회로 전환으로 이루어진다. 이런 전환 단계는 1~16 밀리세컨드(60Hz 주파수에서의 한 Cycle) 이내에서 이루어져야 하는데, 이를 확실하게 보장하기가 쉽지 않다. 또한 UPS의 출력회로에 Static Switch가 포함되는 경우 UPS의 회로 전환 완료 전에 Static switch가 먼저 반응해 버리는 위험이 존재한다.

이런 회로 전환의 위험을 최소화하기 위해 일부 UPS는 Active Eco mode 또는 Advanced Eco mode라고 하는 동작 모드를 제공한다. 일반 Eco mode와 같이 바이패스 라인을 통해 부하에 전원을 공급하지만, Active Eco mode에서는 Inverter가 항상 active 상태를 유지하고 있으며, Inverter를 통해 전원이 공급되고 있지만 바이패스 회로와 병렬로 작동하고 있게 된다. 이런 방식은 주 전원 장애 시 Inverter회로로의 전환이 훨씬 빠른 시간에 이루어 질 수 있고, Inverter의 이상에 대한 사전 대응이 가능할 뿐 아니라 Inverter가 고조파 전류를 흡수하여 전력 필터링 기능을 제공할 수 있다. Active Eco mode는 Inverter에 전원을 공급해야 하므로 표준 Eco mode보다 0.5~1% 정도 효율이 떨어지지만, Double conversion mode보다는 훨씬 높은 효율을 얻을 수 있다.

UPS를 항상 Eco mode 또는 Active Eco mode로 운영하는 것이 운영자 관점에서는 불필요한 부담을 안아야 하는 일이 될 수 있기에, Parallel UPS 시스템을 통해 이러한 운영자의 부담을 덜어줄 수 있다. Parallel UPS 시스템은 병렬로 구성된 복수 대의 UPS들 중 마스터만 Double Conversion mode로 운영하고 나머지 UPS들은 Eco mode로 운영하는 것이다. 이러한 운영 방식은 Double Conversion mode에서 가장 신속하게 주 전원 장애 상태를 파악할 수 있으므로 이를 감지한 master UPS가 나머지 UPS가 즉시 Inverter mode로 회로를 전환할 것을 강제할 수 있다.

② Dynamic Capacity control

UPS 용량 제어는 UPS의 부하율 별 효율 특성에서 가장 높은 효율의 부하율 상태를 유지할 수 있도록 UPS의 용량을 제어하는 방법이다. 이를 통해 낮은 부하율에서의 낮은 효율을 극복하여 해당 UPS가 가장 높은 효율로 운영될 수 있도록 한다.

이 방법은 사용하는 UPS가 구성된 총 용량 범위 내에서 Active된 UPS 용량을 변경할 수 있는 기능이 지원될 수 있어야 가능하며, 이런 기능은 Horizontal Scalability 및 Vertical Scalability를 지원하는 Modular UPS에 해당된다.






Source : Power Sonic

위의 그림에서 Horizontal scalability 및 Vertical Scalability를 설명하고 있다.

한 개의 Unit은 최대 520kW까지 구성 가능하며, 40kW Power Module 13개까지 장착할 수 있는 규모이다. 즉, Unit당 520kW까지 40kW 단위로의 증설이 가능한 구조이며, 이를 Vertical scalability라고 한다.

최대 520kW까지 가능한 Unit은 병렬로 최대 4Units까지 확장이 가능하며, 이를 Horizontal Scalability라고 한다.

		
<p>Vertical Scalability 지원 Modular UPS (Source : Legrand)</p>	<p>Vertical Scalability 지원 Modular UPS (Source : Cyber Power)</p>	<p>Horizontal Scalable UPS (Source : Cyber Power)</p>

이러한 무정지 수직/수평 확장성을 지원하는 UPS는 구성된 최대 용량 범위 내에서 현재의 부하율 상태에 따라 Active 되는 용량을 조정할 수 있는 기능이 지원될 수 있으며, 이 기능을 통해 UPS의 효율이 가장 높은 부하율 상태로 운전될 수 있도록 제어될 수 있다.

예를 들어 25kW 용량의 Power Module로 구성되며 Unit 당 12개의 Power Module 구성이 가능하고, 병렬로 최대 6 Units까지 연결 가능한 제품이라고 가정한다.

이 구성에서 Unit 단위 Redundant는 N+1 Unit의 Power Module 단위 Redundant는 N+1을 적용하고, 이 UPS는 부하율이 70% 이상에서 가장 효율이 좋다고 가정한다.

이 경우 총 구성용량은 Unit당 300kW x 6 = 1,800kW이고 유효용량은 Unit당 275kW x 5 = 1,375kW가 된다.

만일 현재의 부하가 640kW 수준이면 구성 UPS에는 36%의 부하율이 되어 효율이 매우 낮은 상태로 운영된다고 할 수 있다.

이 때 총 6개의 Units중 3개의 Units만 Active 상태로 운영하고 나머지 3대를 Suspend mode로 전환하면 실제 Active 용량이 1,200kW이고 유효 Active 용량이 825kW가 되어 UPS는 53% 부하율로 운영될 수 있다.

다를 방법은 6개의 UPS unit들의 Power module 12개 중 7개만 Active mode로 운영하고 5개 module은 Suspend mode로 운영하는 경우이다. 이 경우 각 Unit의 Active 용량은 $25kW \times 7 = 175KW$ 이고 총 Active 용량은 1,050kW이며 유효용량은 Unit당 150kW, 전체 750kW가 되어, 640kW부하에서 61%의 부하율로 운영되기 때문에 보다 더 높은 효율을 기대할 수 있다.

UPS가 현재의 부하율에 맞추어 Active 용량을 조절하는 기능이 지원되는 UPS 제품에서는 보다 더 높은 효율의 운영을 기대할 수 있지만, 그 만큼 도입비용은 높은 편이다.

③ Redundant Topology

UPS의 Redundant Topology의 선정은 기본적으로 가용성 목표에 연관된 영역이지만, 부하의 특성에 따라 동일한 가용도 수준에서도 효율에 많은 영향을 미치는 요소이기도 하다.

가용도 레벨이 다른 2N이나 2(N+1)은 제외하고 Tier III에서 요구하는 N+1 Redundant 레벨에 국한하며 부하에는 Dual Path로 전원이 공급되는 환경을 가정하여 설명한다.

N+1 Parallel Redundant는 1대의 UPS Unit 용량이 추가되어 요구용량 대비 구성용량의 비가 (N+1)/N으로 이루어진다.

Distributed Redundant의 경우 Rack으로 공급되는 Dual Power가 각기 서로 다른 UPS에서 공급된다는 장점이 있는 반면, N이 동일하더라도, 부하 group들 간의 편차로 인한 여유용량을 더 가지고 있어야 할 필요가 있어 같은 수량의 N+1으로 구성되더라도 구성하는 UPS Unit의 용량이 약 20% 더 커져야 하는 비효율성이 발생된다.

어떤 Topology를 선택하든 N의 크기에 따라 유효용량 대비 구성용량비가 결정되기에 N이 클수록 효율측면에서는 유리하지만, N이 클수록 안정성 수준은 내려가기 때문에 조심스럽게 선정해야 한다. 일반적으로 N은 4~5를 사용하는데, 더 작으면 효율성이 떨어지고, 더 크면 안정성 수준이 떨어지기 때문이다.

UPS의 Redundant Topology에 대한 비교 및 상세 설명은 또 다른 White Paper "UPS Redundant Topology"를 참조 바란다.

이 문서에서의 Topology는 효율 측면에서의 관점만을 설명했다.

Contact



Tel. 032.684.8084

Web. Datacentersolution.co.kr

Mail. ccc@defog.co.kr