VERTIV WHITE PAPER

Understanding Data Center Liquid Cooling Options and Infrastructure Requirements

(전산센터의 액체냉각 방식들과 설비조건)

Executive Summary

인공지능이나 고 집적회로 서버들의 등장으로 최근 설치되는 IDC 의 랙들은 랙당 20Kw 의 전력을 필요로 하며 일부는 50Kw 를 소모하는 랙도 있습니다.

공기냉각 방식 냉방기들은 점점높은 효율로 고밀도의 서버들을 담당하도록 개발되어 왔지만 아주 높은 열 밀도를 가진 발열체에는 공기 냉각으로는 충분히 해결할 수 없는 물리적 한계점이 있습니다. 이 시점에서는 서버의 수행 능력과 신뢰성이 떨어지게 되며 랙 전원 용량이 증가할수록 점점 에너지 효율도 떨어지게 됩니다. 랙 전원이 증가할수록 공기냉각식 냉방기들의 경제적, 열역학적 효용이 떨어질 수밖에 없습니다.

이에 따라 많은 업체들이 전산센터의 용량과 수행 능력을 향상시키고자 공기대신 액체를 랙안에 도입하는 방안을 탐색하게 되었습니다.
액체 냉각이란 물이나 다른 액체의 높은 열 전달력을 활용 함으로써 고밀도 랙의 냉각을 효율적이고 경제적으로 달성하는 방법을 말합니다.

이런 시도는 메인프레임이나 게임서버등 많은 경우에서 효과가 입증되었지만 랙 기반 서버들에서는 아직 본격화 되지 못했습니다. 그러나 최근 급격히 변화되고 있습니다. 고밀도 랙이 보편화 되기 시작함에 따라 액체 냉각은 그 활용 범위를 넓혀 고 용량 전산 센터 (HPC) 뿐 아니라 일반 전산 센터들에서도 사용되기 시작했습니다. 버티브사는 이런 추세가 수년내에 일반화 되리라 예상합니다.

전산 장비와 인프라 설비 공급업체에서 액체 냉방에 대한 많은 개발을 하였으며 Rear Door, 전도성 냉각판, 침수식등 많은 방법들이 개발되었습니다. 어떤 설비에 대한 최선의 방식은 여러 요건들을 고려하여야 합니다. 하지만 전산 센터의 운용자들은 공통으로 랙으로 액체가 들어가고 나오게 하는 건물의 인프라 설비에 대한 우려를 갖고 있습니다.

본 기고문에서는 전산 센터의 인프라 설비가 액체 냉각을 어떻게 수용할수 있는가에 초점을 맞춰 액체 냉각기술의 개요를 설명하고자 합니다.

액체 냉각의 불가피성

오래전부터 공기 냉각으로는 랙의 발열을 해결하지 못할 시점이 올거라고 예견을 해왔습니다. 그러나 최근까지 이런 우려가 크게 대두되지 않았던 이유는 랙의 열밀도가 생각보다 그리 크게 증가하지 않았었기 때문입니다. 그래도 그동안 이에 대한 많은 연구가 있었고 그 결과 고밀도 랙서버들에 대한 해결책들이 개발되었는데 그중 가장 뛰어난 방식이 냉각판 (cold plate)과 침수 방식(Immersion)입니다.

현재의 추세는 다시 바뀌어 전산 센터 산업의 상당한 영역에서 이전에 예측했던 정도의 고밀도 랙이 등장하게 되었습니다.

이런 고밀도 랙의 근간은 새로은 세대의 CPU(central processing units)와 GPU(Graphic processing units)등으로 이들은 이전 세대의 부품보다 훨씬 높은 발열 밀도를 가지고 있습니다. 수년간 안정된 열밀도 장비를 제공하던 인텔의 Cannon Lake CPU 를 예를 들면 2 년 전 모델보다 2 배의 열밀도를 갖는 CPU 를 최근 출시했습니다.

이와함께 서버의 제조사들은 랙 케비넷 1U 당 점점 더 많은 CPU 와 GPU 를 탑재하기 시작합니다. 이러한 고밀도 서버들이 랙에 장착되면 비록 컨테인먼트 시스템이라도 찬 공기를 랙에 전달하는 방식으로는 적절한 냉각을 달성할 수가 없게 됩니다. 덧붙여서 가상화와 같은 컴퓨터 부하의 분담운용은 고밀도 환경에서는 어려운 것이 서버 안에서 조차 통과 풍량차이로 발생하는 잠열문제가 있기 때문입니다. 요즘은 컴퓨터 부품들을 최대한 집약시켜 초-고밀도의 1U 서버를 생산하기 때문에 랙의 열밀도가 예전에는 생각지 못한 고밀도가 되는 것입니다.

이런 초 고밀도 추세의 기저에는 과거에는 없었던 인공지능과 HPC 의 등장이 있습니다. 이들은 현재 크라우드 기반의 HPC, 게임산업, 의료, 필름편집, 에니메이션과 미디어 업계에서 널리 쓰이고 있습니다. 그 결과로써 고 밀도의 장비들이 점차 대세가 되어가고 있으며 이들은 기존의 공기 냉각식 냉방방식의 변혁을 요구하고 있습니다.

이런 요소들이 전산 센터 설계의 새로운 변수들입니다. 첫째는 순전히 액체 냉각으로만 냉방을 하는 센터로써 대용량의 전산 부하를 처리할 수 있는 작지만 더 효과적인 새로운 센터입니다. 둘째는 과도기적인 센터로써 기존의 공기 냉각식과 액체 냉각식을 병행하도록 인프라 설비를 갖춘 센터입니다. 세번째는 현재까지는 가장 보편적인 방법으로 액체 냉각 방식을 일부 도입하여 기존의 공기 냉각식을 대체하는 것입니다. 결국 액체 냉각이 고밀도 서버들 냉각의 현실적 대안으로 등장하게 되었습니다.

위의 시나리오들이 모두 비슷한 방식이지만 각각 그 도입과 운용상의 차이가 있으므로 데이터 센터 열관리를 잘 아는 인프라 설비의 전문 파트너와 협업하여 공기냉각과 액체냉각의 최적의 포트폴리오를 짜는 것이 좋습니다.

Legacy of Innovation

열관리의 세계적 리더로써 버티브는 당 분야 최고의 기술력으로 다양한 솔류션을 제공함으로써 액체냉각으로의 변신을 쉽고 빨리 달성하게 전반적인 컨설팅을 제공합니다. 버티브의 기술력은 수년간의 R&D 와 산학협동, 산업적 실험, 전문 기술 업체와의 협업의 결과입니다.

- Center for Energy-Smart ElectronicSystems (ES2) 파트너 대학들과 액체 냉각을 통한 전산 센터의 효율 증대 공동 연구. 이 결과로 경쟁력있는 소재의 개발과 위생필터, 액체의 용기 및 액체 냉각 제어기술들을 향상시켰습니다.
- The Green Grid and Open ComputeProject 에 적극 동참하여 시스템 디자인과 액체 냉각 시스템 부품들의 호환성 개발
- Green Revolution Cooling 과의 협업으로 침수 탱크 개발.

이런 노력들을 통해 버티브는 공기 와 액체 냉각의 하이브리드 시스템, 또는 전면적인 액체 냉각 방식의 도입을 고객의 변하는 요구조건에 맞춰 공급할 수있게 되었습니다. 개발된 장비들로는;

- 액체 냉각을 위해 액체의 분배를 담당할 Coolant distribution units (CDUs) 와 액체를 식힐 실내형 칠러
- 능동형과 수동형의 rear-door heat exchangers
- 혁신적이며 효율적인 침수 냉각 시스템
- 액체 냉각 CDU 와 칠러용 실외기
- 기존의 공기 냉각 장비들을 액체 냉각 기능이 가능하게 개선 시켜주는 장착 키트
- 액체 냉각 장비의 설치, 시운전, 서비스등 용역 제공

액체 냉각의 시장이 확대 되면서 버티브는 그동안의 열관리 기술력과 회사 규모를 바탕으로 계속 새로운 솔류션과 서비스를 개발해 나갈 것 입니다.

How Thermal Management Systems Are Evolving

전산센터의 냉각 기술은 IT 시스템의 변화하는 니드에 맞춰 항상 진화해 왔습니다. 예전에는 공기 냉각 시스템을 사용하여 냉풍을 발열체 인근으로 보내주거나 콘테인먼트 설비를 이용하여 고밀도의 열을 처리하는데 개발을 주력하였습니다. 그러나 이런 방식은 랙 열밀도가 20 kW (Figure 1)를 넘어가면서 한계가 왔습니다. 이에 따라 고밀도 장비의 열을 처리키위한 다양한 액체 냉각 기술이 발현하게 됐습니다..

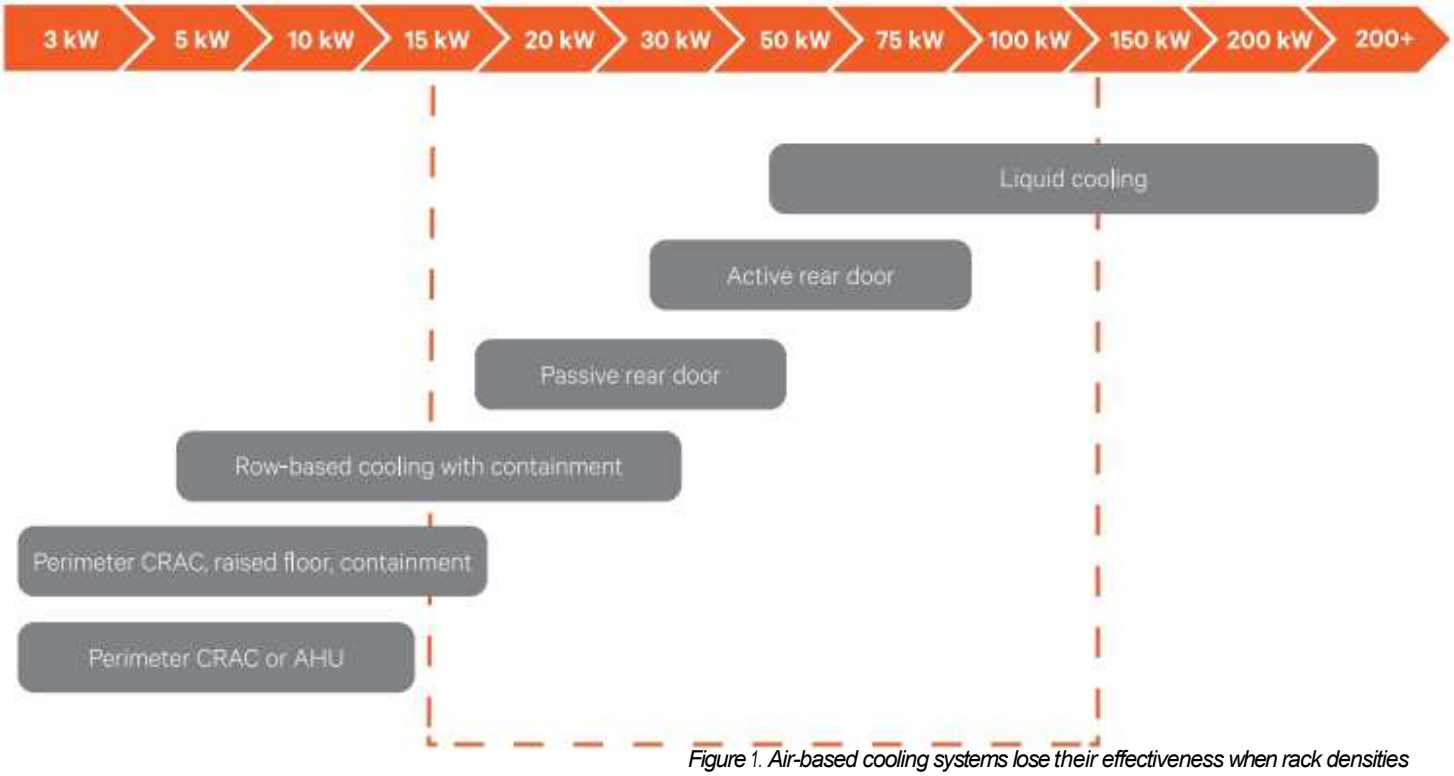

Figure 1. Air-based cooling systems lose their effectiveness when rack densities exceed 20 kW, at which point liquid cooling becomes the viable approach

Rear-door Heat Exchangers

Rear-door heat exchangers 는 20Kw 가 넘는 열밀도를 처리하는데 탁월한 솔류션입니다. 이 기술은 액체를 서버에 직접 도입하지는 않지만 액체의 높은 열 전달력을 그대로 활용하며 직접적인 액체 냉각 인프라 설비와 비슷한 설비를 요구로 합니다.

수동형이나 능동형 (Passive or active) 열교환기는 (Figure 2) 랙 케비넷의 뒷문짝 대신 장착되어 액체로 서버의 열과 열교환을 합니다. 수동형은 서버의 팬이 케비넷 내부의 열을 뒷문짝에 있는 열교환기의 코일로 방출합니다. 코일은 그 열이 케비넷을 빠져나가 실내로 방출되기 전에 열을 흡수하여 액체로 전달 시킵니다. 능동형은 열교환기에 흡입 팬이 장착되어 열을 빨아드림으로써 좀더 높은 발열을 처리할 수 있습니다.

이 시스템은 열밀도가 다른 랙들이 섞여있는 환경에서 공기 냉각식과 함께 사용될수 있어 하이브리드 냉각 방식의 기초가 됩니다.

이 방식의 다음 단계는 직접적인 액체 냉각방식 입니다. 액체 냉각 방식의 두가지 보편적인 시도는 칩에 직접 냉각판을 접촉 시키는 것 (direct-to-chip cold plates)과 침수식 냉각 (and immersion cooling)입니다.

Direct-to-Chip Liquid Cooling

Direct-to-chip cold plates (냉각판)을 보드의 발열 부품 (CPUs, GPUs, memory modules) 위에 얹어서 단상 냉각판이나 2 상 증발기를 통해 열을 뽑아내는 방식 입니다.

Figure 2. Active and passive rear-door heat exchangers

Single-phase cold plates (단상 냉각판)은 CDU(분배기)로 냉각판에 차가운 액체를 순환시켜 서버의 부품들로부터 열을 흡수하는 방식입니다. 열교환된 액체는 랙 외부에서 열 방출이 되는데 통상 CDU가 이 기능을 담당합니다.

사용되는 액체는 열전달율과 점성간의 균형을 맞춰 선정됩니다. 물은 최상의 열 전달율을 갖고 있지만 가끔 부동액과 섞여 사용되고 이때는 열 전달율이 떨어지게 되며 반면 점성이 높아져서 펌프의 효율은 올라갑니다. 액체 냉방에는 또한 비전도성의 액체를 써서 누수시의 사고를 방지합니다. 하지만 비전도성 액체는 물이나 글리콜 용액에 비해 열 전달율이 떨어집니다.

Figure 3은 여러 매체들간의 열 포집율을 비교 한 표입니다.

2상 냉각판에서는 저압의 비 전도성 액체가 증발기로 들어가면 서버 부품의 열이 이 액체를 증발시킵니다. 열은 기체의 상태로 증발기에서 빠져 나와 랙의 외부에서 방출 됩니다.

Medium Type	Specific Heat (J/kgK)	Volume/kg	Joules/litre
Water (reference only)	4182	1L	4182
Hydrocarbon	2300	1.24L	1854.8
Fluorocarbon	1300	0.71L	1831.0
Air	1000	773.46L	1.3

Figure 3. Relative heat capture capacities by medium

Source: OCP's Design Guidelines for Immersion-Cooled IT Equipment

Direct-to-chip cooling 방식은 Rear Door 방식보다 열 회수율이 높아 많은 업체들이 이 방식을 기존과 새 서버의 냉각용으로 추천합니다.

그러나 이 방식은 랙 부품에서 나오는 열의 100%를 제거하지 못합니다. 통상 이 방식은 랙 장비 방출 열의 70-75% 정도를 제거하며 공기 냉각등의 방식과 하이브리드로 사용되게 됩니다.

이 냉각판 방식은 CPUs,GPUs 나 메모리 모듈들같이 편평한 표면에서만 적용가능하며 파워 서플라이나 IC 카페시터등의 부품에는 적용 될 수 없습니다.

이 방식을 사용코자 하는 유저는 다른 공기 냉각 방식을 개조하여 냉각판 방식을 보조 할 수 있는지 설비 파트너와 상의하여야 합니다.

Immersion Cooling (침수식)

침수식은 서버나 다른 부품들을 열 전달율은 높지만 전도성이 없는 액체에 담그는 방식입니다. 이 방식에는 서버에 내장된 팬을 포함한 어떤 형태의 공기 냉각도 필요치 않습니다. 이 방식은 액체의 열 전달 능력을 극대화 한 방식으로 액체 냉각 중에서도 가장 에너지 효율적인 방식입니다.

Direct-to-chip cooling 과 같이 단상과 2상의 침수식 시스템이 있으며 단상 시스템은(Figure 4) 서버들이 냉각 액체에 수직으로 침수하여 설치 됩니다. 서버의 열은 액체와 직접 접촉하여 액체로 열교환되어 CDU로 흘러가 CDU의 열교환기에서 제거됩니다. 통상 CDU는 침수탱크 인근이나 전산센터의 주변에 위치합니다. 또한 'Micro' 침수 탱크도 있는데 이는 CDU와 탱크가 일체형으로 고밀도 중소형 전산 시스템을 위한 일체 내장형 구성 입니다.

2상 침수식의 경우 서버들은 비전도성의 액체에 담기는데 이 액체는 IT 장비의 발열로 기화될 수 있는 충분히 낮은 기화점을 갖고있고 증기의 형태로 열을 전달하여 외부로 방출할 때 에너지의 소모가 최저가 되도록 높은 기화점을 갖는 액체입니다. 서버로부터의 열은 주위의 냉각 액체를 기화시켜 기체로 상이 바뀝니다. 이 기체는 상승하여 탱크의 상부에 있는 코일에서 식혀져 다시 액화되어 중력에 의해 아래의 탱크로 떨어집니다.

이런 시스템에 쓰이는 냉각 액체는 매우 비싸고 환경적, 건강상, 안전상 문제가 있기 때문에 2상 침수식 시스템의 구상시엔 증기의 유실이 최소화되도록 하는 것이 중요합니다.

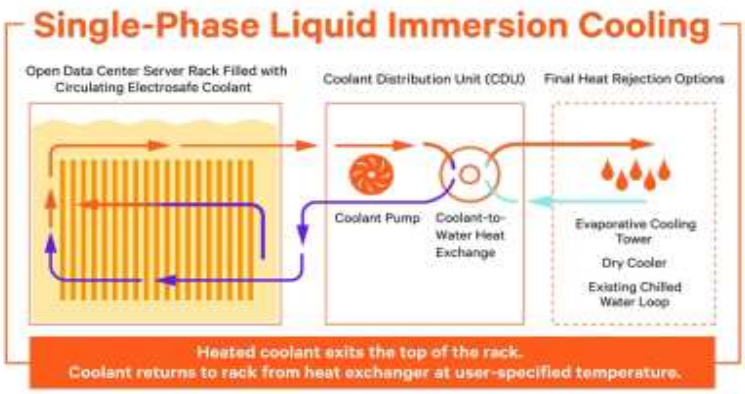

Figure 4. Coolant circulation and heat removal in a single-phase immersion cooling system

이 방식은 효과적으로 증기의 유실을 최소화 시킵니다. 그러나 이 밀폐 용기를 다룰때는 Federal Clean Air Act, Section 608 에 규정된 액체 취급 요령에 따라 다루어야 하며 이로써 서버의 유지보수가 까다롭습니다.

또 다른 방식은 IT 부하의 증감에 따른 증기 발생량의 차이에 대응하는 호흡방식을 활용한 대기압의 콘트롤입니다.
증기를 액화시키는데 저온의 콘덴서와 함께 풍무(호흡기)가 사용되며 호흡 방식으로 발생하는 잉여 증기의 흡수와 배출에 활성 탄소가 사용됩니다. 이 방식으로는 냉수조안에 있는 서버에 쉽게 접근이 가능하지만 복잡한 구성이 되며 증기의 유실을 최소로만 방지해 줍니다.

.

Liquid Cooling Infrastructure

Rear door 열교환기로 간접 냉각을 하던 냉각판이나 침수식으로 직접 냉각을 하던 냉각수를 만들고 순환시킬 수 있는 전용의 설비가 필요하게 됩니다.
적절한 냉방 인프라 설비의 구성은 차후 액체 냉방으로의 전환에 매우 중요합니다.
전용의 액체 냉방 순환 회로를 구상할 때는 정밀한 냉각 액체의 온도제어와 갑작스런 HPC 장비의 부하 급증에 충분히 대처할 수 있는 설비 능력을 갖추도록 하여야 합니다.

전용의 액체 냉방 설비를 설계할 때는 누수의 피해를 줄일 수 있는 최소 용량의 냉각수 액체 사용과 설비 압력의 위험을 피할 수 있는 방법을 생각하여야 합니다.
다음은 액체 냉각 시스템의 구성 요소들 입니다.

Coolant Distribution Unit (CDU)

CDU 는 차거운 냉각 액체를 Rear door 나 냉각판이나 침수식 설비로 분배해 주는 역할을 합니다. CDU 에는 1 차측의 냉수 순환 설비외 2 차측에 액체 냉각용 냉각수의 순환 루프를 갖고 있으며 엄격한 누수 방지와 공급 수량 제어 시스템을 갖추고 잇습니다. 정상 운전시 이 장비는 냉각 액체의 온도를 노점 이상으로 유지하여 응축수 생성을 방지하며 현열 제거를 극대화 시킵니다.
랙으로부터 전달된 열은 CDU 내부 liquid-to-air 또는 liquid-to-liquid 열교환기에서 제거 됩니다. CDU 는 랙 캐비넷같이 열반하거나 아니면 상면 주위에 배치할 수 있습니다. 다양한 용량의 CDU 모델들이 있으며 1 MW 이상의 대형 CDU 도 있어 대형 센터에서도 최소의 댓수로 운전이 가능합니다.

공기 냉각식과 함께하는 하이브리드 환경에서 CDU 는 간접 액체 냉각방식이던 직접 액체 냉각 방식이던간에 냉각수의 전달과 회수된 열의 제거에 완벽한 기능을 수행합니다. 전면적인 직접 액체 냉각 방식에서는 CDU 는 Heat Rejection System (열 방출 장비)과 같이 사용됩니다. Rear door 냉각에서는 저온의 냉각수를 리어 도어에 보내기 위해 칠러가 필요합니다.

Indoor Chiller

냉수 공급이 안되는 전산 센터나 기존의 냉수 라인을끌어오지 않을 사이트에서는 액체 냉방을 위해 모듈러 방식의 실내형 칠러를 설치할 수 있습니다. 가변 속도의 펌프가 내장되어 있어 속도를 제어 함으로 냉매의 유량이 제어 되고 이로써 변화하는 부하에 대응하는 토출 온도가 유지됩니다. 액체 냉방용 실내 칠러는 주변의 항온 항습기들과 사이즈가 같아 차후 같은 위치에 대체 될 수 있습니다.

Immersion Tank

침수 탱크는 비전도성 액체 수조에 서버를 담그는 역할과 함께 CDU 로 액체를 순환시켜 열 방출이 되도록 합니다.

Heat Rejection

liquid-to-liquid 열교환기가 장착된 CDU 는 건물의 냉수 라인과 연결 됩니다. 건물 냉수가 없을 경우 상기한 실내 칠러가 연결되어도 됩니다. 기존의 드라이 클러나 냉각탑을 사용해도 되지만 대부분 액체 냉각을 위해서는 수정이 필요합니다. 예를들어, 현장에 따라 드라이 클러가 연중 낮은 외기 온도를 받기위해 살수 장치를 할 수도 있습니다. 공조 인프라 전문 업체와 상의하여 기존의 드라이 클러 시스템을 이같이 수정할 필요가 있는지 확인 하십시요.

Benefits of Liquid Cooling

극단적인 고밀도 랙(>30 kW)을 수용코자 하는 센터에서는 액체 냉각 방식외 다른 선택의 여지는 없습니다. 공기 냉각식은 아무리 극대화 시켜도 이런 IT 장비들의 발열을 제거할 수 있는 열전달과 방출이 불가능 합니다. 이는 엣지 (중소형)나 대형 센터 모두 같은 조건입니다.

랙의 열밀도가 점차 높아져 액체 냉방이 필수적인 상황까지 올라갈 때 사용자들은 공기 냉각식을 보강하고 개선하면서 들어갈 비용과 또 리스크 대비 액체 냉각을 도입하는 비용을 따져봐야 합니다.

어떤 사용자들은 액체의 누수를 걱정합니다. 요즈음 액체 냉방 시스템들은 전산 센터에서의 액체 누수 가능성과 설령 발생 하였어도 그 데미지를 최소화 시키는 기술이 확립 되어 있습니다. 액체 냉방의 전문 가에게서 누수 예방에 특화된 기술에 대한 설명을 들으십시요.

액체 냉방이 모든 센터에 다 적용될 수는 없지만 다음의 혜택을 보장합니다.

Improved IT Reliability and Performance

액체 냉강은 기대하는 신뢰성을 제공할 뿐 아니라 IT 능력의 증강도 제공합니다. CPU 의 케이스가 가끔 공기 냉각식에서 발생 하듯이 안전 운전 온도의 한계치에 오르게 되면 CPU 는 그 수행 능력을 떨어뜨려 과열로 인한 다운을 예방합니다. 반면 액체 냉각은 과열없이 고 직접도의 회로들이 최대 전압과 클러크 주파수로 연속적인 운전을 할수 있게 보장합니다.

.

Improved Energy Efficiency

공기에 비교하여 훨씬 높은 액체의 열 전달 능력은 풍속을 발생 시키고 이동 시키는 팬의 절감 뿐 아니라 열 전달과 제거에서 공기와는 확연히 차별화된 에너지 효율을 보장합니다. 액체의 순환에 필요한 펌프의 소요 전력은 동일한 능력을 위한 팬의 소요 전력보다 훨씬 적습니다.

.

Sustainability

액체 냉각은 전산 센터의 에너지 소모를 PUE 가 거의 1.0 (완전수)가 되게 할 수 있을뿐 아니라 서버에서 제거된 열을 건물내 다른 구역의 난방 용도로 쓸수도 있습니다.

순환수의 RWT(return wate Temp)는 거의 60 도이며 이를 열교환하여 사용할 때 60 도의 공기를 열교환 하는 것보다 훨씬 높은 효율의 열교환이 됩니다.

Maximize Space Utilization

액체 냉방의 고 집적성은 전산 센터의 공간을 더 유용하게 쓸수 있게 해주며 센터의 중설이나 확장, 신축등의 비용을 절감해 줍니다. 이는 중소형 전산실에서도 공간이 부족할 때 고밀도 장비를 도입할 수 있게 해 줍니다.

Lower Cost of Ownership

ASHRAE 는 공기 냉각식 센터와 공기-액체 겸용 하이브리드 모델의 센터에 대한 운영 유지비 (TCO)를 정밀 비교 한 바 있는데 그 결과 물론 다른 변수들이 영향을 미치는 것도 있지만 액체 냉각이 고 밀도로 갈수록 TCO 가 향상 되고 free cooling 의 효과가 높으며 IT 능력과 1 watt 당 IT 수행 능력이 높아진다는 것을 발표했습니다.

Conclusion

현재 점점 더 많은 기업들이 고 발열 밀도의 전산 환경에서 공기 냉각식의 물리적 한계를 뛰어 넘는 저 전력, 고 능력의 IT 환경을 구축코자 액체 냉각을 선택하고 있습니다.

액체 냉각은 공기 냉각보다 수십배나 열 전달 능력이 높으며 이로써 대형 센터이건 중소형 전산실 이건 고 발열 밀도의 장비들이 수용되어 있는 장소에 최적의 선택입니다. 현재의 기술로도 안전하고 효과적인 액체 냉각 기술이 가능하며 신규로 액체 냉각 전용의 센터를 구축 하던지 기존의 공기 냉각식 전산 센터에 액체 냉각식 시스템을 도입하는 것도 가능합니다.

Contact your local Vertiv representative for more information on liquid cooling solutions for your data center.

Vertiv.com | Vertiv Headquarters, 1050 Dearborn Drive, Columbus, OH, 43085, USA

© 2021 Vertiv Group Corp. All rights reserved. Vertiv™ and the Vertiv logo are trademarks or registered trademarks of Vertiv Group Corp. All other names and logos referred to are trade names, trademarks or registered trademarks of their respective owners. While every precaution has been taken to ensure accuracy and completeness here, Vertiv Group Corp. assumes no responsibility, and disclaims all liability, for damages resulting from use of this information or for any errors or omissions. Specifications, rebates and other promotional offers are subject to change at Vertiv's sole discretion upon notice.

SL-70807 (R06/21)