

Understanding what Δ (Delta)T is,



Overview

Δ (델타 | Delta)는 그리스 알파벳 네 번째 글자의 대문자이며 변경 가능한 양의 "차이"를 정의하는 수학 기호로 자주 사용됩니다.

Δ (델타) T(Temperature)는 측정된 두 지점 사이의 온도 차이를 나타내며 이 차이는 위치나 시간에 따라 달라지게 되는데, 데이터센터 환경 내에서 이러한 Δ (델타)T의 포인트를 이해한다면 여러 상황의 예측과 비효율성의 식별이 가능하며, 이를 활용하여 문제 해결 및 운영 효율성의 향상과 장비의 Mechanical health는 물론 비용 절감에 활용할 수 있습니다.

데이터센터에서의 Δ (델타)T, 그 활용에 대해 알아보겠습니다.

Written by 김 영 모

Data Center에서의 Δ (델타)T란?

Data Center의 Δ (델타)T는, Cooling 프로세스에서 발열체 또는 냉각체의 Intake와 Outtake 간의 온도 차를 의미합니다.

IT 장비에서의 Δ T는 IT 장비의 Intake Air가 장비로 인입되어 내부 발열체로부터의 열을 흡수하여 더 덥혀진 상태로 배출되게 되는데, 이때 인입되는 공기와 배출되는 공기의 온도차이가 IT 장비에서의 Δ T가 됩니다. 또한 IT 장비에 의해 덥혀진 공기는 Cooling Unit으로 인입되어 열교환을 통한 냉기로 변환되는데, 이 때 Cooling Unit으로 인입되는 공기와 토출되는 공기의 온도 차이가 Cooling Unit의 Δ T입니다.

Δ T에 영향을 주는 요인

Δ T는 여러 요인들에 의해 영향을 받게 됩니다. 예를 들어 찬공기가 공급되는 Cold Aisle과 더운 공기가 배출되는 Hot Aisle 사이에 뚫린 영역(Rack 상의 빈 Slot을 막지 않거나, Hot/Cold Aisle 간의 차폐 구조가

구성되어 있지 않은 경우 발생)으로 찬공기가 그대로 Bypass 되거나, 더운 공기가 recirculate 되는 경우에 ΔT 가 변하게 되고, 무엇보다 크게 영향을 미치는 요소는 차폐 구조에서 풍량 제어가 적절하게 이루어지지 않을 때 ΔT 에 영향을 주어 Hot spot 이 발생되게 됩니다.

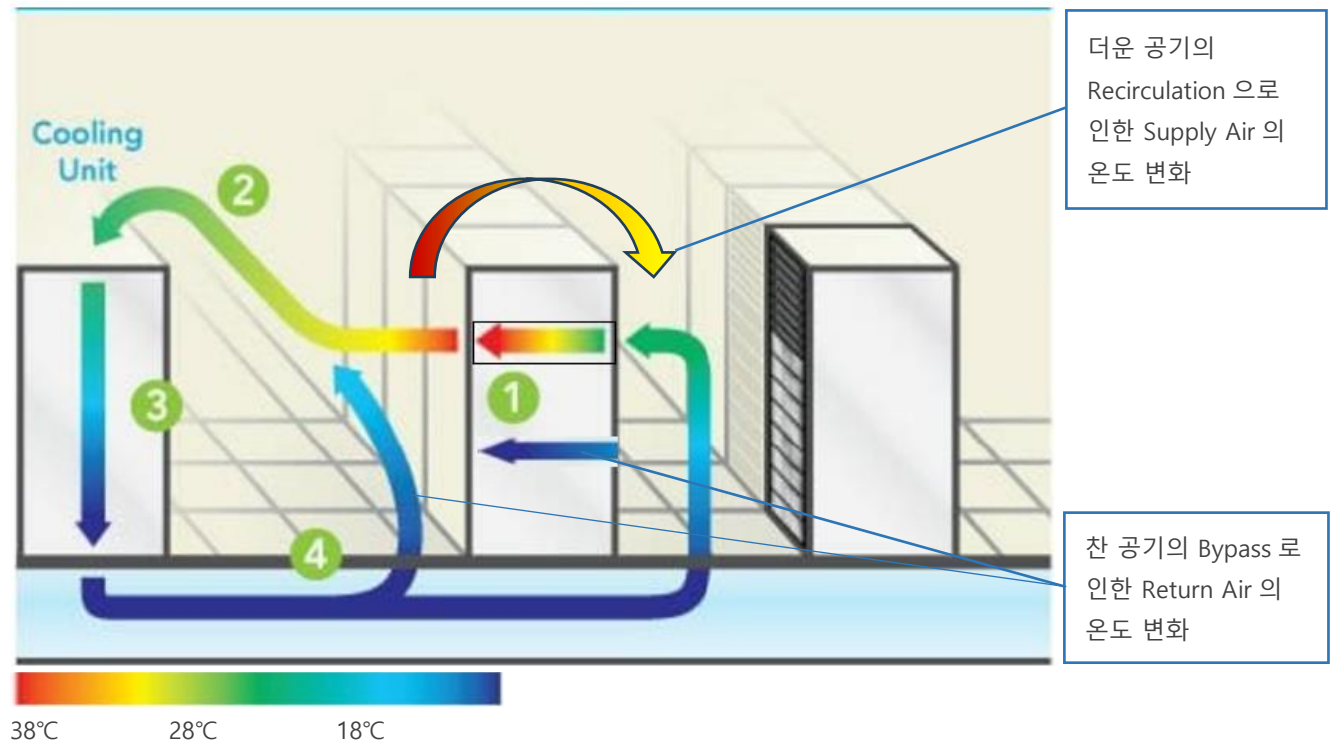


Figure 1. 올바르지 못한 Air flow 관리 (Image Source : Upsite Technologies)

Figure 1.의 사례와 같이 차폐 훼손이나 풍량 관리가 올바르지 못한 경우 Recirculation 현상으로 인해 Cooling Unit 토출구에서 Rack 전면에 이르는 Supply Air Path 상에서 온도 변화가 발생하고(Cooling Unit 토출구 온도보다 Rack 전면의 공기 온도가 더 높아짐), 찬 공기의 Bypass로 인해 IT 장비 후면에서 Cooling Unit의 공기 흡입구까지의 경로 상 온도 변화가 발생되어(Return Air의 온도가 내려감) 결과적으로 Cooling energy 효율이 저하되는 결과를 낳게 됩니다. 38°C

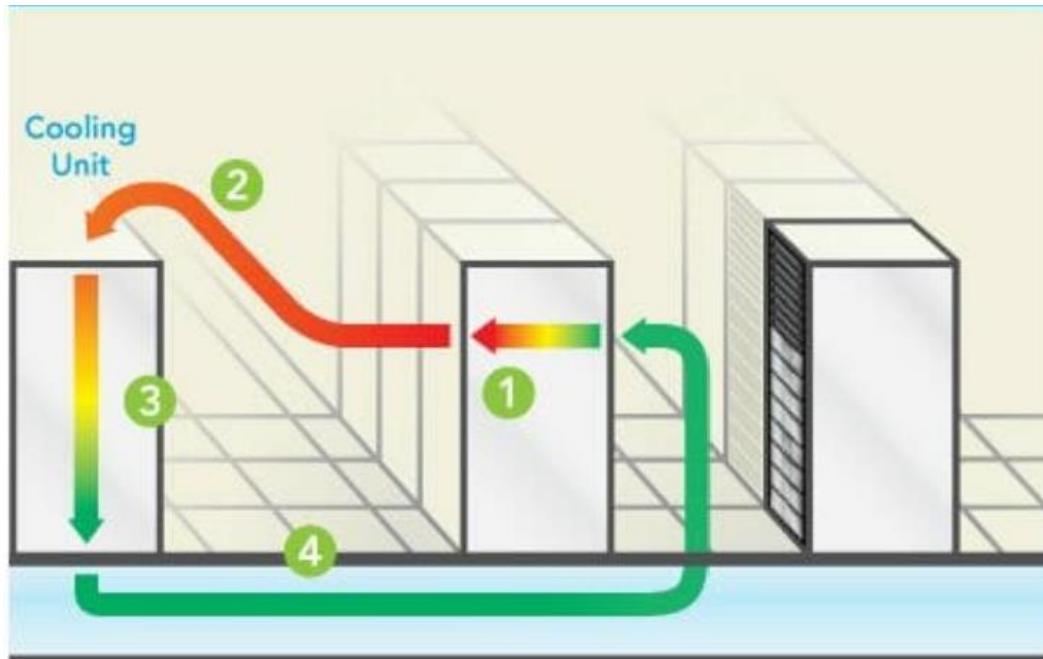


Figure 2. 올바른 Air flow 관리 (Image Source : Upsite Technologies)

Data Center의 4 가지 ΔT

1. IT 장비의 ΔT : IT 장비의 공기 인입구와 배출구 간의 온도 차를 의미하며 장비의 유형에 따라 $8^{\circ}\text{C} \sim 18^{\circ}\text{C}$ 사이의 값을 갖습니다. Blade Server의 경우 높은 ΔT 값을 보이며 Pizza box라고 불리는 Volume Server에 비해 단위 전력당 더 적은 풍량을 사용합니다. 가장 많이 사용되고 있는 X86 Volume Server의 ΔT 는 $10.5^{\circ}\text{C} \sim 11^{\circ}\text{C}$ 정도를 보입니다.
2. Cooling Unit의 ΔT : Cooling Unit으로 인입되는 공기와 냉각되어 토출되는 공기의 온도 차이를 의미합니다. 차폐가 완벽한 경우 Cooling Unit의 ΔT 와 IT 장비의 ΔT 가 동일해야 하지만, 차폐의 훼손으로 공기가 Bypass되거나 Recirculate되어 실제로는 동일하지 않게 됩니다. Cooling Unit의 ΔT 와 IT 장비의 ΔT 간의 차이가 클수록 차폐의 부실함을 의미하고 Cooling Energy가 낭비되고 있음을 나타냅니다.
3. Supply Air의 ΔT : Cooling Unit에서 토출된 공기가 IT Rack 전면에서 이르는 경로에서 발생하는 온도 차이이며, 이론적으로는 0°C 가 가장 이상적이지만 경로 상 존재하는 서버들에 의한 복사열의 영향으로 차폐가 완벽할 경우 6m 거리를 지나는 동안 1°C 정도의 온도 상승이 있습니다. 그러나 그보다 더 큰 영향을 미치는 요소로는 Rack의 빈 Slot 차폐 부실이나 Containment의 차폐 수준이 낮은 경우 Recirculate되는 공기에 의해 Supply Air 온도가 상승하는 현상입니다. 통상 적으로 Supply Air의 ΔT 가 $2.8^{\circ}\text{C}(5^{\circ}\text{F})$ 가 되면 차폐 훼손에 의한 더운 공기의 Recirculation이 있다는 것을 의미합니다.
4. Return Air의 ΔT : IT장비에서 토출된 공기가 Cooling Unit 공기 인입구에 이르는 경로에서 발생하는 온도 차로, 이론적으로는 0°C 가 가장 이상적이지만 Rack내부 빈 slot의 차폐 부실이나 차폐 수준이 낮은 Containment의 경우 Bypass되는 공기로 인해 영향을 받게 됩니다.

즉 IT 장비에서 배출되는 공기 온도보다 더 낮은 공기가 Cooling Unit으로 인입되고 이때에도 $2.8^{\circ}\text{C}(5^{\circ}\text{F})$ 기준이 적용됩니다. 즉 Cooling Unit으로 회수되는 공기의 온도가 IT 장비에서 배출되는

공기의 평균 온도보다 2.8°C(5°F) 이상 낮으면 차폐 훼손에 의한 Bypass 된 찬공기가 Return 되는 공기에 유입되었음을 의미합니다.

International RT	US RT	1Kw
3320 Kcal/h	3024 Kcal/h	860 Kcal/h
International 1RT = 3.86 kW	US 1 RT = 3.52kW	

공기의 특성			
공기 비중	공기 정압 비열		1kW 당 1°C 공기량
1.2 kg/m³	0.24 kcal/(kg°C)	0.288 kcal/(m³°C)	49.8 m³/min.

ΔT 당 공조량				
9°C	10°C	11°C	12°C	13°C
5.53 CMM	4.98 CMM	4.52 CMM	4.15 CMM	3.83 CMM

IT Power 1kW 당 ΔT(°C) = 49.8CMM / (1kW 전력 IT 장비 풍량)

IT 장비의 요구 풍량(CMM) = 49.8 / 해당 장비의 ΔT

ΔT의 관리

효율적인 Data Center 운영을 위해서는 세심한 ΔT 관리가 필요합니다. 그 방법으로는 Raised Floor 환경의 경우 Floor의 누기 방지, Rack의 빈 Slot에 Blank Panel 차폐, Hot Aisle과 Cold Aisle을 분리하기 위한 고밀도 Containment 구성 등 예방적 유지관리 활동이 요구됩니다.

차압 = Δ(Delta)P

Hot Aisle과 Cold Aisle의 공기가 희석되지 않도록 Rack의 전면(Cold Aisle)은 항상 양압이 형성되어야 합니다. 공기는 압력이 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하기에 효율적인 냉각을 위해서는 Rack전면에 더 높은 압력이 유지되는 지 확인하는 것이 필수입니다. 이론적으로는 Hot Aisle과 Cold Aisle간의 공기압 차가 "0"이 되도록 유지하는 것이 이상적이지만, IT장비에 따라 Fan의 성능이나 ΔT가 상이하기 때문에 평균 차압이 "0"이 될 때 Fan이 상대적으로 약한 장비의 경우 음압에 걸릴 수 있습니다. 이러한 이유로 Cold Aisle이 Hot Aisle 대비 약 3~5Pa 정도 높은 양압이 형성되도록 제어해야 합니다.

Cooling Unit의 ΔT와 IT 장비의 ΔT 그리고 풍량의 상관관계

IT 제조사에서 IT 장비를 설계할 때 가정하는 운영 환경 조건은 상온을 기준으로 하며, X86 Volume Server의 경우 10~11°C 수준의 ΔT가 되도록 설계됩니다.

상온(Room Temperature)은 다양한 사전적 정의가 존재하지만, IT 장비 설계에서 언급되는 상온의 의미는 사람에게 가장 쾌적한 온도 수준을 의미하고 이는 IT 장비의 개발을 선도한 미국과 유럽 지역의 연 평균 기온과도 동일합니다.

즉, IT 장비는 22~24°C에서 운영된다는 가정 하에 Fan 용량과 Heat Sink 크기 설계가 맞추어집니다.

이때 또 한 가지 고려해야 할 점은 IT 장비의 풍량 설계는 공기의 인입구와 배출구 사이에 차압이 없다는 전제로 가지고 있다는 점입니다. 이는 차폐구조에서의 Cooling Unit 풍량 제어에 필수적으로 반영되어야 합니다.

Cooling Unit의 풍량이 IT 장비들의 풍량 총합과 동일하게 제어된다면, IT 장비의 ΔT와 Cooling Unit의 ΔT는 동일하게 됩니다.

통상 Cooling Unit 제조사들이 IT 장비의 ΔT 보다 더 큰 ΔT 가 되도록(IT 장비의 총 풍량보다 Cooling Unit 의 풍량이 더 적음) Cooling Unit 을 제작하는 경향이 있는데, 이럴 경우 차폐 구조에서 IT 장비들이 필요로 하는 요구 풍량보다 부족한 풍량이 공급되게 되므로 Cold Aisle 이 Hot Aisle 에 비해 더 낮은 공기압(음압)이 형성되게 되고, 이는 상대적으로 Fan 이 약한 IT 장비에서는 제대로 된 Cooling 이 이루어지지 못하는 현상이 발생할 수 있습니다.

차압(Delta P) 단락에서 설명한 바와 같이 Cold Aisle 이 Hot Aisle 대비 양압이 유지되게 하기 위해서는 Cooling Unit 의 풍량이 IT 장비의 총 풍량보다 더 커야만 합니다. 다만, 여기서 오해하지 말아야 할 점은 Cooling Unit 의 풍량이 IT 장비 풍량보다 더 크다는 표현이 실제 차폐 구조에서 더 많은 풍량이라는 의미는 아니라는 것입니다. Cooling Unit 의 fan 풍량과 IT 장비의 총 풍량은 항상 동일할 수밖에 없기 때문이며, 더 크다는 의미는 Name Table 상 정압 조건에서의 풍량 보다 더 큰 규격이어야 한다는 의미입니다.

상용 Cooling Unit 의 경우 대부분이 Cooling Capacity 에 비해 IT 장비의 ΔT 조건에서 요구하는 풍량에 미달하는 Fan 을 적용하고 있습니다. 이 경우 Cooling Unit 의 Cooling Capacity 가 아니라 Fan 용량에 의해 사용 가능한 최대 Cooling 용량이 결정되게 되는 결과를 낳게 됩니다.

대부분의 Data Center 가 부하율 70% 이하로 운영되고 있고, 이는 Cooling Capacity 대비 70% 수준에 머무르는 최대 Fan 용량 보다 낮기 때문에 아직 문제가 발생하지 않고 있어 인지하지 못하는 경우가 대부분입니다.

이해를 돕기 위해 예를 들어 보면,

■ 조건

- Data Center의 최대 용량은 100kW
- Data Center의 부하율이 60%
- IT 장비의 ΔT 가 10.5°C
- Cooling Unit의 총 Cooling Capacity는 100kW, Cooling Unit의 ΔT 는 15°C

이 조건에서의 IT 장비 총 요구 풍량은 285CMM 이고, Cooling Unit 의 최대 풍량은 332CMM 이므로 Cooling Unit 의 공급 풍량 부족 현상이 나타나지 않습니다.

그러나 부하율이 71%가 넘어가게 되면 IT 장비의 총 요구 풍량이 Cooling Unit 의 최대 공급 풍량을 초과하게 되므로 풍량 부족현상이 나타나게 되어 위에서 설명한 바와 같은 Hot Spot 이슈가 발생하게 됩니다.

결과적으로 Cooling Unit 의 Cooling Capacity 의 30%는 Fan 풍량 부족으로 사용할 수 없는 Capacity 가 되며 투자비의 낭비 요인으로 남게 됩니다.

Cooling Unit에서의 풍량 제어

차폐 구조에서는 Cold Aisle 과 Hot Aisle 사이의 공기 유통 경로가 IT 장비의 system fan 을 통한 경로로만 존재합니다. 따라서 IT 장비의 System Fan 에 역압이 걸리지 않게 하기 위해서는 Cold Aisle 로 공급되는 냉기는 해당 Cold Aisle 을 공유하는 Rack 들에 설치된 IT 장비들의 System Fan 에 의한 풍량의 총합 이상이 공급되어야 합니다.

Cooling Unit 에서 공급되는 공기가 IT System Fan 풍량 총합보다 클 경우 IT 장비에는 문제가 발생하지 않지만 Cooling unit 의 fan 이 불필요한 전력을 낭비하는 결과를 낳게 되고, 부족할 경우 cold aisle 이 Hot aisle 보다 더 낮은 공기압으로 형성되어 IT 장비들이 필요한 공기량을 충분히 가져 갈 수 없어 상대적으로 Fan 이 약한 장비의 경우 필요로 하는 공기 양을 인입하지 못하여 과열에 노출되는 결과를 낳을 수 있습니다.

따라서 에너지 효율적인 풍량 제어는 Cold Aisle 과 Hot Aisle 간의 차압이나 기류를 센싱하여 이에 맞추어 Cooling Unit 의 Fan Speed 를 제어하는 것이 필요합니다.

하지만 아쉽게도 많은 상용 Cooling Unit 은 이러한 제어가 불가능한 것이 사실로 그 이유로, 첫번째로는 풍량 제어 기능이 없는 정속 Fan 을 적용한 경우이고, 두번째로는 가변팬을 적용하더라도, Fan 의 속도 제어가 Cooling Unit 의 내부 온도에 맞추어 제어되는 방식이기 때문입니다.

IT 장비의 부하 상태는 실시간 변화하기 때문에 Cold Aisle 과 Hot Aisle 간의 공기압이나 기류를 실시간으로 감지하여 이를 반영한 Dynamic Fan Speed 제어를 위해서는 별도의 제어시스템 구성이 필요한 것이 현재의 상황입니다.

Cooling Unit 의 Fan 제어 시 주의해야 할 사항은,

차압이나 기류 센싱 데이터가 매우 민감하게 변화되므로 이러한 특성을 반영한 제어 알고리즘을 적용해야 하며, IT 장비로의 원활한 공기 공급을 위해 Cold aisle 이 Hot aisle 에 비해 약한 양압이 유지되도록 제어하고, 작업 등의 이유로 Rack 의 차폐가 훼손되어 Bypass 경로가 만들어 지는 경우 등 Fan Speed 가 계속 높아지는 결과를 낳을 우려가 있음을 항상 주의하고 고려하여야 합니다.

전산실의 습도 제어

Cooling Unit 을 통한 Cold aisle 의 공급공기 온도 제어는 냉수식인 경우 유량 제어를 통하고, 공냉식(DX) 또는 수냉식인 경우 Inverter 제어나 On/Off 제어를 통해 이루어 지고 있으며, Cooling Unit 에 부착되어 제공되는 controller 를 신뢰하고 사용할 수 있습니다.

그러나 전산실의 습도 제어는 고려해야 할 여러가지 사항들이 존재합니다.

습도 제어는 제습과 가습으로 나뉘어 지는데, 가습은 단순히 처리 가능하지만 제습은 그렇지 못합니다. 특히 한국의 기후조건에서 전산실의 습도 조건을 ASHRAE recommended A1 class 에서 지정하는 상대습도 60%이하와 이슬점 온도 15°C이하 조건을 맞추기 위해서는 6 월 초부터 10 월 중순까지 제습이 필요한 환경이 만들어 져야 합니다.

제습은 제습제 순환 방식이나 응결을 이용한 방식으로 구분되는데, 경제적 이유로 응결현상을 이용한 제습이 일반적입니다. 응결현상을 이용한 제습으로 이슬점 온도 15°C이하의 공기 상태를 유지하기 위해서는 코일의 표면 온도가 최대 12°C이하가 만들어져야 하므로, 냉수식의 경우 공급되는 냉수의 온도가 12°C이하여야 가능합니다.

레거시 데이터센터에서 사용되어 온 패키지형 항온항습기의 경우 공급되는 냉수의 온도가 6~7°C 수준이므로 별도의 제습을 위한 coil 구성이 불필요하지만, 최근에는 Chiller 의 에너지 효율을 높이기 위해 사용되는 냉수의 온도를 20°C까지도 올려서 적용하는 추세에 있어 이 경우, 필요한 제습이 이루어 지지 못하므로 별도의 제습 설비 구성이 필요합니다.

13°C 이상의 Chilled Water 사용 환경에서의 제습 설비 구성

사용되는 냉수 공급 온도가 13°C 이상이 되면 전산실의 습도를 Cooling Unit 만으로는 15°C이하로 유지할 수가 없기 때문에 별도의 제습용 설비 구성이 필요합니다. 전산실 내부 공기의 이슬점 온도는 별도의 제습이 없는 한 외기의 이슬점 온도에 수렴되기에 외기의 이슬점 온도가 15°C가 넘는 동안에는 제습이 필요하며 앞에서 말한 바와 같이 국내 기후에서는 6 월부터 10 월까지로 짧지 않습니다.

응결현상을 통한 제습을 위해서는 냉동기 또는 제습용 에어컨을 가동해야 하기에 많은 전기 에너지 소비를 야기시킬 수 있으므로 효율적인 설비 구성을 고민해야 합니다.

제습 설비 구성은 누기 등의 이유로 상승되는 절대습도(이슬점 온도) 양만큼 제습을 하는 방식과, 외부의 공기를 강제로 전산실로 인입시켜 전산실 내부를 외부에 비해 양압이 형성되도록 하여 누기로 인한 습도 변화를 방지하는 방식이 있습니다.

양압 형성을 위한 외기 강제 도입 방식의 경우 도입되는 외기의 습도 조건을 이슬점 온도 15°C이하가 되도록 만들어서 공급해야 하며, 양압 형성을 위해 인입해야 하는 공기의 양을 고려할 때 하절기 장마철의 경우 매우 많은 제습 용량 구성이 요구됩니다.

강제 급기를 통한 양압 형성 방식의 경우 전산실에 신선한 공기를 공급할 수 있다는 장점이 있지만, 필요한 제습 용량은 누기에 의해 상승되는 절대습도량에 비해 월등히 크게 됩니다

제습을 위한 제습기를 구성하는 경우는 제습의 조건을 잘 이해하고 설계하고 배치하여야 효율적 구성이 가능해집니다. 제습은 공기의 상대습도가 100%가 되는 온도까지 온도를 낮추어 임계값을 초과하는 절대습도량이 응결현상을 통해 물로 변환되는 과정을 거치게 되므로, 제습 장치의 구성 위치는 상대습도가 가장 높은 위치, 즉 전산실 내부에서 온도가 가장 낮은 위치에 배치되어야 합니다.(Cooling Unit의 냉기 토출구 부근) 또한 제습용 Coil을 통과하는 공기는 가능한 Coil에 닿아 있는 시간이 길어질수록 같은 냉각 용량을 가지고 현열 온도 냉각에 사용되는 에너지 대비 응결에 사용되는 에너지 비율이 높아지므로, 제습 설비의 Fan의 매우 느린 면풍속을 가지도록 설계되어야 합니다.

전산실의 가습 설비 구성

가습설비의 구성은 매우 용이합니다.

위에서 설명한 습도 제어를 위해 사용되는 2 가지 방식, 즉 누기에 의한 습도 변화에 대응하는 방식과 외기 강제 인입으로 양압을 형성하는 방식의 적용 방법은 조금 다릅니다.

첫번째 방식인 누기에 의해 발생하는 습도 변화량만큼 가습을 하는 방식의 경우, Legacy 향온향습기는 향온향습기 내부에 가습장치가 구성되어 있어 이 역할을 담당했지만, 상대적으로 구축 비용과 유지보수 비용이 비싸고, 가습을 위한 급수 배관을 구성해야 하는 번거로움이 존재합니다. 대신 저렴한 산업용 가습기를 Hot Aisle 영역 어느 곳이든 적절한 곳에 놓아 두는 것만으로도 쉽게 가습설비 구성이 가능합니다.

산업용 가습기의 경우, 시간당 가습 용량 5L의 장치 비용이 몇 십만원에 불과하고, Rack 200개 규모의 전산실에 1대만 설치되어도 필요한 가습량을 감당할 수 있습니다. 더구나 가습기 자체에 제어 기능이 포함되어 있어 별도의 자동제어 구성 필요 없이 적정 습도값을 설정해 두는 것만으로도 운영됩니다. 통상 2~3년 마다 초음파 장치의 청소가 필요한데, 청소 대신 가습기를 새로 교체하는 것도 운영 편의성이나 경제성 측면에서 고려할 만한 방식입니다.

가습기는 상대습도가 가장 낮은 위치(절대 습도가 동일한 공간 내에서 온도가 높을수록 상대습도가 낮아짐), 즉 Hot Aisle 구간에 설치하게 되면 전산실 운영 조건 22°C 45%의 공기는 Hot Aisle에서는 상대습도가 23%로 낮아지므로 가습기에서 공급되는 미스트가 쉽게 증발될 수 있습니다.

두번째 방식인 외기 강제 공급에서는 가습기의 가습효율이 떨어지게 됩니다. 왜냐하면 외기 공급장치에서 공급되는 공기의 온도는 Cold Aisle의 온도에 맞추어져 공급되는데 이 온도에서는 공기의 상대습도가 상대적으로 높으므로 기화효과가 떨어질 수 있기 때문입니다. 또한 외기 강제 공급 장치(AHU) 내부에 가습장치가 구성되기 때문에 상대적으로 가습장치의 비용이 비싸고 유지보수 비용도 더 올라가게 됩니다.