



OS SSD 온도를 33°C
더 낮게 유지*
(25°C 주변 환경에서)



35°C 환경에서
장애 없이 계속
작동

Supermicro SYS-621C-
TN12R 서버에서는
장애 발생



OS SSD 온도를
34°C 더 낮게
유지*

(HVAC 오작동
시나리오 동안)

*Supermicro SYS-621C-TN12R
서버와 비교한 2시간 워크로드
동안의 평균 온도

데이터 센터의 에너지 효율성 향상: Dell PowerEdge HS5620 서버로 더 높은 온도에서도 안심

고온 테스트 시나리오에서 Dell PowerEdge HS5620 서버는 구성 요소 경고나 장애 없이 집중 워크로드를 계속 실행하는 반면, Supermicro SYS-621C-TN12R 서버에서는 장애 발생

더 높은 온도로 데이터 센터를 실행할 수 있다면 조직이 냉각 비용과 에너지 소비를 절감하는 데 도움이 될 수 있다. ENERGY STAR®는 이러한 조치가 재정적으로 유익할 수 있다며 "온도가 1°F 상승할 때마다 에너지 비용을 4%~5% 절감할 수 있다"고 설명한다.¹ 그러나 데이터 센터는 하드웨어가 허용하는 한도 내에서만 온도를 유지할 수 있다. 더 높은 온도를 매일 견딜 수 있는 서버가 있다면 조직이 지속 가능성 목표를 달성하는 데 도움이 될 수 있다. 적절한 열 설계가 적용된 서버는 내부 팬 장애나 외부 환경 오작동과 같은 예기치 않은 상황이 발생할 경우 더 높은 온도에서도 계속 작동할 수 있다.

PT에서는 2U 클라우드 최적화 서버 2대, 즉 Dell™ PowerEdge™ HS5620 및 Supermicro® SYS-621C-TN12R을 테스트했다. 온도를 완벽하게 제어하고 측정할 수 있는 환경을 조성하기 위해 가득 채운 서버 랙 주위에 인클로저를 구축했다. 랙에 있는 모든 서버는 머신 러닝 추론 워크로드와 유사한 집중 합성 부동 소수점 워크로드를 실행했고, 이는 시스템 프로세서에 부하를 가하고 환경에 열을 발생시켰다.

25°C의 주변 온도, 팬 장애, 데이터 센터 HVAC 오작동 등 세 가지 시나리오를 기반으로 하는 테스트를 실시하면서 Dell 서버와 Supermicro 서버의 내부 온도를 모니터링했다. Dell 시스템은 이러한 테스트에서 구성 요소 열 경고 또는 장애 없이 실행되었다. 반면 Supermicro 시스템은 모든 시나리오에서 경고가 발생했고 두 번째와 세 번째 시나리오에서 구성 요소가 장애를 일으키면서 시스템 다운타임이 발생해 직접적인 개입이 필요했다. 뛰어난 냉각 설계라는 이점을 갖춘 Dell PowerEdge HS5620은 장애 없이 각 과제를 처리했다.

테스트 방법

표 1에는 테스트한 클라우드 최적화 서버 2개의 주요 구성 정보가 나와 있다. 자세한 내용은 [보고서에 숨겨진 과학](#)에서 확인할 수 있다.

표 1: 테스트한 서버의 주요 구성 세부 정보

	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12R
프로세서	인텔® 제온® Gold 6444Y 프로세서 2개	인텔 제온 Gold 6444Y 프로세서 2개
메모리	1,024GB DDR5 RAM	1,024GB DDR5 RAM
NIC(Network Interface Card)	25GbE 포트가 2개 있는 인텔 E810-XXV	25GbE 포트가 2개 있는 인텔 E810-XXVAM2(AOC-S25GC-i2S)
스토리지	M.2 NVMe® SSD 2개	M.2 NVMe SSD 2개
스토리지 컨트롤러	Dell BOSS N1	직접 연결식 PCIe® 스토리지
PSU(Power Supply Unit)	1,800W Dell 05222NA00 2개	1,200W Supermicro HMC94MEBRA123N 2개
팬	Dell HPR Silver 5개 Dell HPR Gold 1개	Supermicro 중간 팬 FAN-0206L4 3개
OS	Ubuntu 22.04.3	Ubuntu 22.04.3

Dell 서버는 Supermicro 서버의 스토리지 구성과 일치하도록 스토리지 컨트롤러 1개와 M.2 NVMe 드라이브 2개로 구성했다. Dell 서버 구성에는 Dell HPR Silver 팬 5개와 Dell HPR Gold 팬 1개가 포함되었다. Supermicro 서버는 8cm 팬 3개를 지원했는데, 이는 테스트 당시 수용할 수 있는 최대 개수였다. 성능 모니터링을 위해 Dell 서버의 BIOS 시스템 프로파일 설정을 "와트당 성능(OS)"으로 조정했다. Supermicro 서버의 기본 BIOS 구성인 "OS Controls EPB"를 유지했으며, 이 설정을 통해 테스트에서 필요한 데이터를 모니터링할 수 있었다.

온도를 제어하고 측정할 수 있는 환경을 조성하기 위해 완전히 적재된 42U 서버 랙 주위에 맞춤형 인클로저를 구축했다. Dell PowerEdge HS5620과 Supermicro SYS-621C-TN12R을 테스트할 때 랙 중앙의 같은 위치에 배치했다. 나머지 42U 랙은 랙 상단 스위치와 다양한 2U 및 1U 서버, 블레이드 서버 및 새시로 구성하였으며, 이로 인해 워크로드를 실행하는 동안 열이 발생했다. 제3의 툴인 Telegraf™ 및 Prometheus를 사용하여 구성 요소 모니터링을 위한 베이스밴드 관리 및 OS 수준 텔레메트리를 파악하였다.

25°C 주변 환경에서 일반적인 작동, 내부 팬 장애(2회, 매번 서로 다른 팬을 비활성화), 주변 온도가 35°C로 상승하는 HVAC 오작동 등 세 가지 유형의 시나리오에서 서버를 테스트했다. 각 시나리오에서 stress-ng 툴을 사용하여 프로세서의 부동 소수점 기능에 부하를 가했다. 이러한 유형의 워크로드는 AI 학습과 HPC(High Performance Computing)를 비롯한 활용 사례에 중요하다. 자세한 내용은 3페이지에서 확인할 수 있다. 서버 캐비닛은 4단계로 워크로드를 실행했으며, Dell 및 Supermicro 시스템은 첫 번째 서버가 시작되고 3분 30초 후에 4단계의 워크로드를 실행해 테스트했다. 워크로드가 시작되기 전 15분 동안, 2시간 워크로드 내내, 그리고 워크로드가 완료된 후 15분 동안 온도와 하드웨어 통계를 모니터링했다.

테스트, 결과 및 구성에 대한 자세한 내용은 [보고서에 숨겨진 과학](#)에 나와 있다.

연구 결과 개요

표 2와 3에서는 각 테스트 중에 서버의 다양한 구성 요소가 어떻게 작동했는지를 개괄적으로 제시한다. 나열된 구성 요소 유형 중 하나 이상에서 경고 또는 장애가 나타난 경우 아래에 해당 내용을 기록한다. 표 2에 나와 있듯 Dell PowerEdge HS5620의 구성 요소는 각 시나리오 유형에서 경고 없이 계속 작동했다. 반면, Supermicro SYS-621C-TN12R은 각 시나리오 유형에서(25°C 주변 온도 포함) 하나 이상의 경고, HVAC 오작동 시나리오와 2개 팬의 장애 시나리오에서 구성 요소 장애가 발생했다(표 3). 테스트에서 관찰된 OS SSD 장애로 인해 시스템 장애가 발생하여 Supermicro 시스템을 사용할 수 없게 되고 직접적인 개입이 필요했다. 서버의 열 설계를 분석하고 이후 페이지에서 해당 결과를 보다 면밀히 검토할 것이다.

표 2: 테스트 시나리오에서 Dell PowerEdge HS5620 서버의 주요 구성 요소가 작동한 방식에 대한 개요

Dell PowerEdge HS5620				
구성 요소 범주	25°C 주변 온도	팬 2 장애	팬 3 장애	HVAC 오작동
CPU	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음
RAM	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음
NIC	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음
M.2 SSD	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음
PSU	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음

표 3: 테스트 시나리오에서 Supermicro SYS-621C-TN12R 서버의 주요 구성 요소가 작동한 방식에 대한 개요

Supermicro SYS-621C-TN12R				
구성 요소 범주	25°C 주변 온도	팬 1 장애	팬 3 장애	HVAC 오작동
CPU	✓ 경고 또는 장애 없음	▲ 경고	▲ 경고	▲ 경고
RAM	✓ 경고 또는 장애 없음	▲ 경고	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음
NIC	✓ 경고 또는 장애 없음	▲ 경고	✓ 경고 또는 장애 없음	▲ 경고
M.2 SSD	▲ 경고	✗ 장애	▲ 경고	✗ 장애
PSU	✓ 경고 또는 장애 없음	✓ 경고 또는 장애 없음	✗ 장애	✓ 경고 또는 장애 없음

테스트에 사용한 워크로드 정보

테스트를 진행한 시스템에서 부동 소수점 워크로드를 실행하기 위해 stress-ng 툴을 사용했다. 부동 소수점 계산은 분수 부분이 있는 숫자와 관련된 수학 계산을 관리하는 데 중요한 역할을 한다. 특히 AI 학습, 머신러닝 알고리즘, 과학적 시뮬레이션, 재무 모델링, CAD(Computer-Aided Design) 애플리케이션과 같은 고정밀 수치 계산이 필요한 과학 및 엔지니어링 워크로드에 매우 중요하다.

시스템 냉각 설계 분석: Dell PowerEdge HS5620의 이점 자세히 살펴보기

시스템의 열 설계 분석은 각 테스트 시나리오에서 시스템의 성능을 이해하는데 중요하다. 서버는 마더보드 설계 등 여러 가지 설계 요소를 활용하여 시스템의 온도를 낮춘다. 민감한 구성 요소를 마더보드에 배치하면 이러한 구성 요소가 다른 구성 요소를 과열시키는 것을 방지하는 데 도움이 될 수 있다. 또한 팬은 공기 흐름을 유지하며 새시 설계는 뜨거운 공기로부터 구성 요소를 보호하는 데 도움이 된다. 아래에서 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12R 서버의 이러한 설계 요소를 살펴볼 것이다.

마더보드 설계

Supermicro 시스템의 마더보드 레이아웃은 M.2 NVMe 모듈 배치 시 특히 문제가 되었다. 예를 들어, 두 번째와 세 번째 테스트 시나리오에서는 부하가 걸린 프로세서에서 바로 다운스트림되기 때문에 유해 SSD의 온도도 높아졌다. 또한 새시의 오른쪽에는 트윈 PSU를 시스템의 나머지 부분과 연결하는 PDU(Power Distribution Module)에 공기를 공급하는 전용 팬이 없었다. 대신, Supermicro 시스템은 새시 후면의 PSU에 내장된 팬의 공기 흐름에 의존했다. 이 PDU의 장애가 관찰되지는 않았지만 BMC는 두 번째 팬 장애 시나리오 중에 PSU 장애를 보고하여 이 설계의 단점을 확인할 수 있다(이 테스트에 대한 자세한 내용은 [보고서에 숨겨진 과학](#) 참조). 그림 1 참조.

반면, Dell PowerEdge HS5620의 마더보드는 설계가 더 복잡했다. 프로세서 냉각 모듈은 방열판에 히트 파이프를 사용하여 냉각 효율성을 높일 수 있었다. PDU가 마더보드에 통합되어 있어 구성 요소 위에서 공기 흐름이 더 원활해졌다. 테스트한 구성에서 PDU는 Dell HPR Gold 및 Dell HPR Silver 팬을 모두 사용하여 구성 요소를 냉각했다. 그림 2에 나와 있는 것처럼, Dell 시스템 공기 슈라우드의 개구부를 통해 차가운 공기가 구성 요소 위로 지나가면서 한 구성 요소에서 다른 구성 요소로 열이 전달되는 흐름을 완화할 수 있었다.

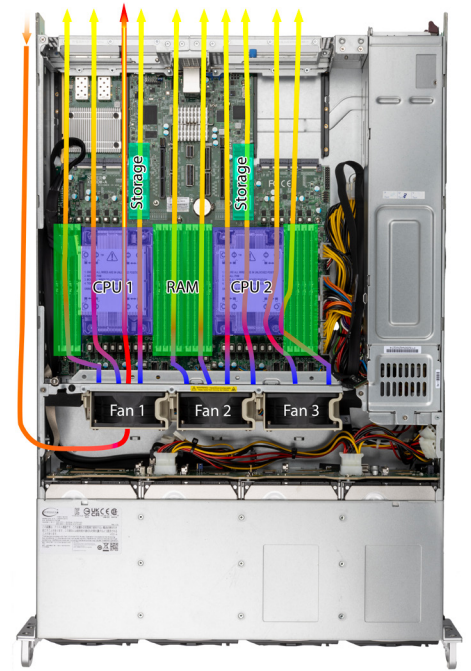


그림 1: 테스트한 Supermicro SYS-621C-TN12R의 마더보드 레이아웃. 팬에서 나오는 공기 흐름 방향을 표시하는 구성 요소 레이블과 화살표를 추가했다. 차가운 공기는 파란색과 보라색으로, 뜨거운 공기는 빨간색, 주황색, 노란색으로 표시했다. 출처: Principled Technologies.



그림 2: 테스트한 Dell PowerEdge HS5620의 마더보드 레이아웃은 슈라우드가 분할하는 하단 열 계층(왼쪽)과 상단 열 계층(오른쪽)을 보여준다. 팬에서 나오는 공기 흐름 방향을 표시하는 구성 요소 레이블과 화살표를 추가했다. 차가운 공기는 파란색과 보라색으로, 뜨거운 공기는 빨간색, 주황색, 노란색으로 표시했다. 출처: Principled Technologies.

팬

시스템의 팬은 냉각 설계에서 중요한 부분이다. 테스트한 Dell PowerEdge HS5620 구성에는 60mm Dell HPR Silver 팬 5개와 60mm Dell HPR Gold 팬 1개가 포함되었다. 테스트한 Supermicro SYS-621C-TN12R은 냉각을 위해 기본 80mm 팬 3개를 사용했다. 두 서버 모두 전원 공급 장치마다 전용 팬이 추가로 내장되어 있다.

CFM(Cubic Feet per Minute)은 팬이 이동시킬 수 있는 공기의 양을 나타내는 등급이다. 레이블에 따르면 Dell 시스템의 팬 6개는 각각 57.26CFM(총 343.56CFM)이었고, Supermicro 시스템의 팬 3개는 각각 104.7CFM(총 314.10CFM)이었다. 총합은 비슷했지만, CFM은 서버에서 일부 요소에 불과하다. 이번 테스트에서 Supermicro SYS-621C-TN12R 서버의 팬은 최대 부하에서 약 13,500RPM으로 작동한다는 사실도 확인했다. Dell PowerEdge HS5620 서버의 듀얼 로터 팬은 테스트에서 약 20,000RPM으로 회전했다. Dell 시스템의 팬은 속도와 설계의 이러한 차이로 인해 더 높은 정압을 생성할 수 있다. 즉, 더 큰 힘으로 공기를 시스템에 밀어 넣을 수 있는 것이다. 이는 또한 효율적인 냉각³에 중요한 열기 통로의 배압에 대응한다는 것을 의미한다. 강력한 팬이 장착된 데이터 센터의 장비가 동력이 부족한 팬이 장착된 장비를 압도하여 냉각이 부족해질 수 있기 때문이다.

새시 디자인

Supermicro SYS-621C-TN12R 새시에는 양쪽의 팬과 스토리지 백플레인 사이에 통풍구가 포함되어 있는데, Dell 서버에는 이러한 통풍구가 없었다. 이론적으로, 이러한 통풍구는 캐비닛이나 열기 통로 격리가 없는 개방형 공기 서버 환경에서 새시에 추가적인 공기 흐름을 허용하도록 작동할 수 있다. 그러나 현실에서 데이터 센터 캐비닛의 설계는 서버 새시의 측면이 열기 통로와 동일한 열 구역 내에 있음을 의미한다. 서버 랙과 캐비닛은 공기가 서버 측면을 따라 자유롭게 흐르도록 만들기 때문에 이러한 통풍구는 격리되지 않는다. 따라서 뜨거운 공기를 배출하거나 차가운 공기를 끌어들이는 대신, 통풍구를 통해 서버 스택 뒤에서 예열된 공기가 새시 안으로 들어와 구성 요소 사이를 순환하면서 가열의 순환고리가 형성될 수 있다. 그림 3 참조.

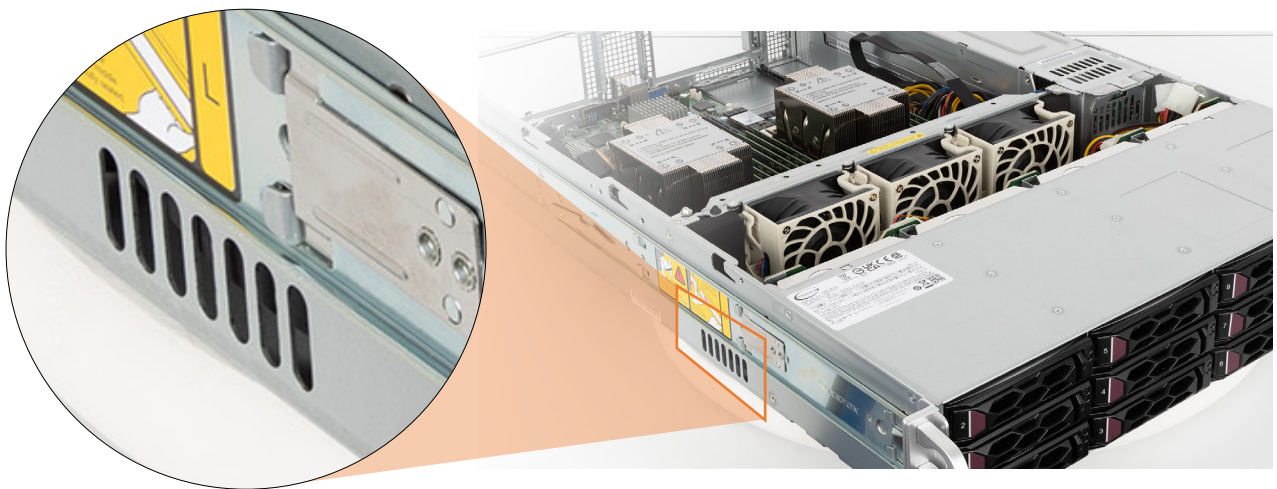


그림 3: 테스트한 Supermicro SYS-621C-TN12의 새시에 있는 통풍구 - 열기 통로에서 예열된 공기가 이 통풍구를 통해 서버의 구성 요소 사이를 순환할 수 있다. 출처: Principled Technologies.

주요 열 설계 결과

Dell PowerEdge HS5620 서버의 마더보드 레이아웃은 구성 요소 간의 열 전달을 완화하는 데 도움이 되었다. 이 시스템에는 각각 20,000RPM으로 회전하는 팬이 총 6개 있었다. Supermicro SYS-621C-TN12R 서버의 마더보드 레이아웃에는 민감한 구성 요소가 서로 가까이 배치되었다. 이 시스템에는 각각 13,500RPM으로 회전하는 팬이 총 3개 있었다. 또한 새시 측면에 있는 통풍구를 통해 열기 통로의 가열된 공기가 시스템 사이를 순환할 수 있었다.

Dell PowerEdge HS5620은 구성 요소 경고 없이 계속 작동한 반면, Supermicro SYS-621C-TN12R은 두 시나리오에서 장애 발생

시나리오 1: 25°C 주변 온도

일반적인 데이터 센터 온도에서 서버가 어떻게 작동하는지 확인하기 위해 첫 번째 시나리오를 실행했다. ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)는 특정 등급의 장비에 대해 최대 45°C의 온도를 허용하지만, 일반적으로 데이터 센터 온도를 18°C~27°C로 유지할 것을 권장한다.⁴ 이 시나리오에서는 서버에서 워크로드를 실행할 때 테스트 환경에서 주변 온도를 25°C로 설정했다.

이 시나리오에서 Dell PowerEdge HS5620에는 구성 요소 경고 또는 장애가 표시되지 않았다. Dell PowerEdge HS5620의 공기 흐름 설계는 열 구역을 격리하여 모든 구성 요소에 대해 안전한 작동 온도를 유지했다. 반면, Supermicro 시스템의 BMC(Baseboard Management Controller)는 테스트를 시작하고 22분 후 OS SSD가 임계 온도에 도달했다고 경고했다. 이 시나리오에서 SSD에 장애가 발생하지는 않았지만, 10분이 지나자 드라이브가 복구 불가능한 상태에 도달했다. 이 BMC 알람이 구성 요소의 장애를 폴링하지 않고, 드라이브가 장애가 임박할 수 있는 임계값을 넘었다는 것을 나타내기만 했기 때문이다.

2시간 워크로드 동안 Dell 서버의 OS SSD는 평균 43.9°C의 온도였고 유틸리티 SSD의 온도는 평균 45.5°C였다. 테스트 중에 Supermicro 시스템의 OS SSD는 평균 77.5°C이고 유틸리티 SSD는 평균 61.7°C였다(Dell 시스템에 비해 최대 33.6°C 더 높음). Dell 서버의 프로세서는 워크로드 중에 평균 73.7°C 및 70.7°C였지만, Supermicro 서버의 프로세서는 평균 77.9°C 및 71.1°C였다.

그림 4와 5는 2시간 테스트가 진행되는 동안 두 시스템의 SSD 및 프로세서 온도를 보여 준다. 그림 6은 서버의 소비 전력을 보여 준다. 여기서 전력 증가는 서버 냉각을 위해 작동하는 팬을 비롯하여 시스템에 대한 워크로드의 영향에 상응한다.

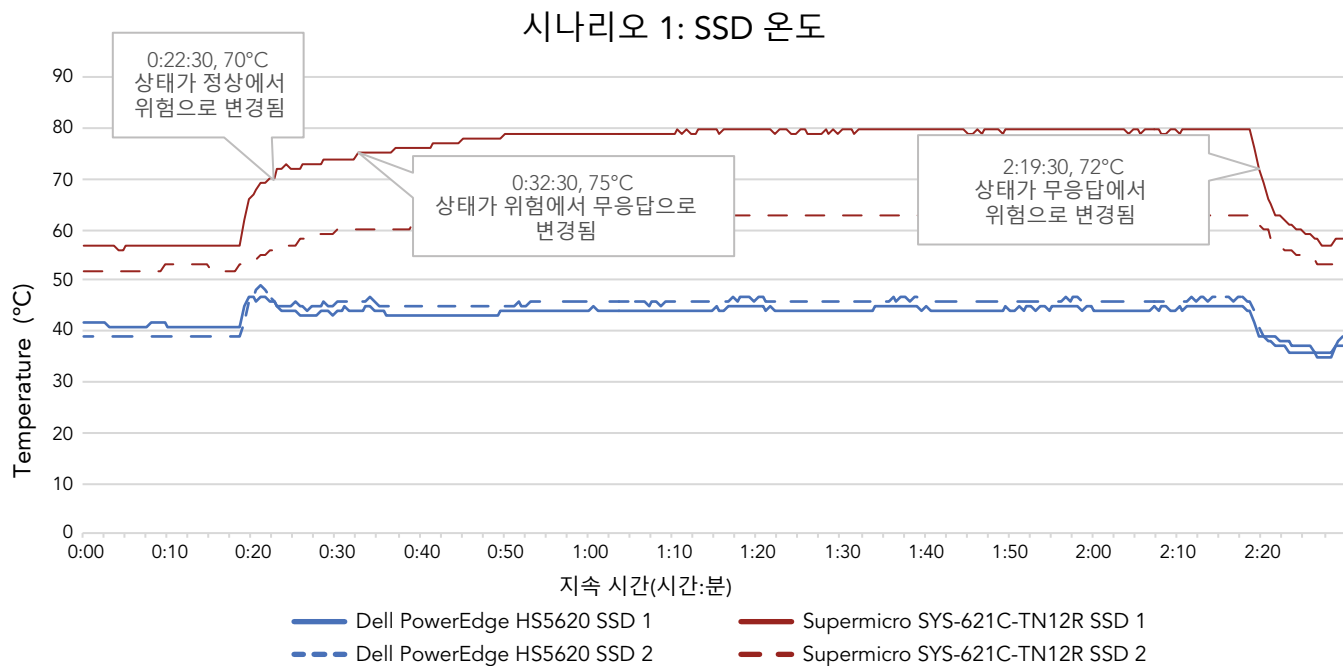


그림 4: 서버가 25°C 주변 온도에서 부동 소수점 워크로드를 실행한 첫 번째 시나리오 중 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 SSD 온도다. 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. SSD 1은 OS를 실행했고, SSD 2는 유틸리티 상태였다. 온도가 낮을수록 더 우수한 결과다. 출처: Principled Technologies.

시나리오 1: 프로세서 온도

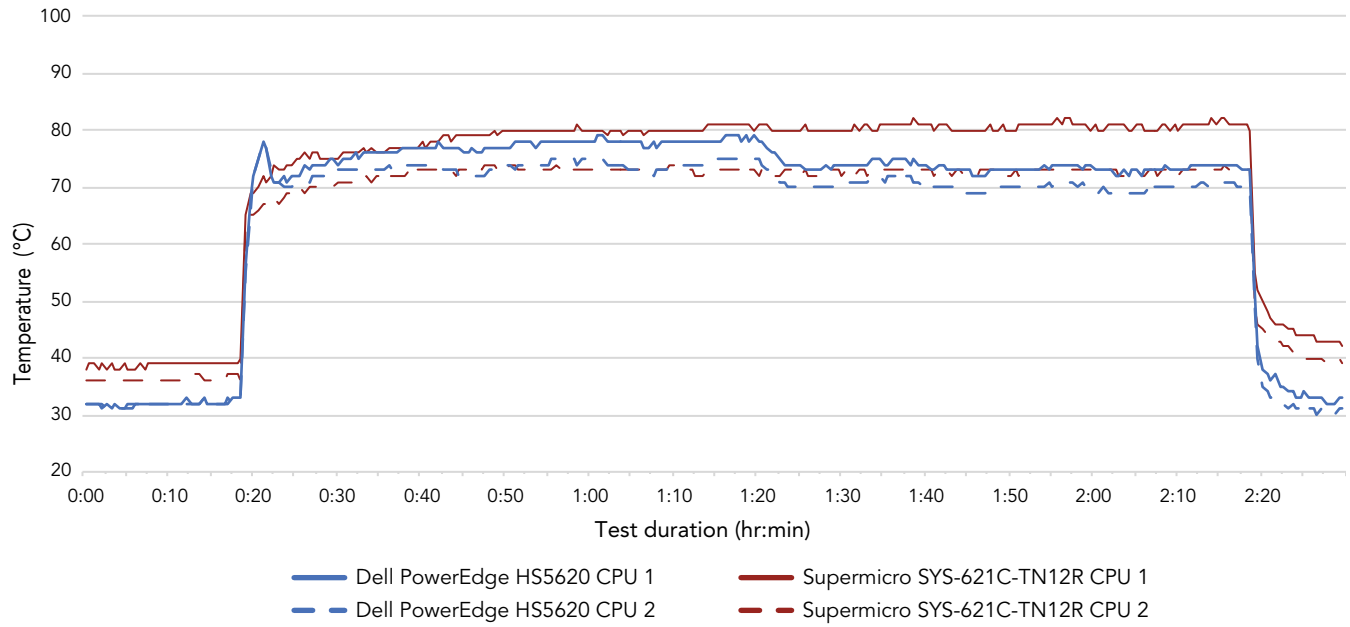


그림 5: 서버가 25°C 주변 온도에서 부동 소수점 워크로드를 실행한 첫 번째 시나리오 중 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 프로세서 온도다. 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. 온도가 낮을수록 더 우수한 결과다. 출처: Principled Technologies.

시나리오 1: 소비 전력

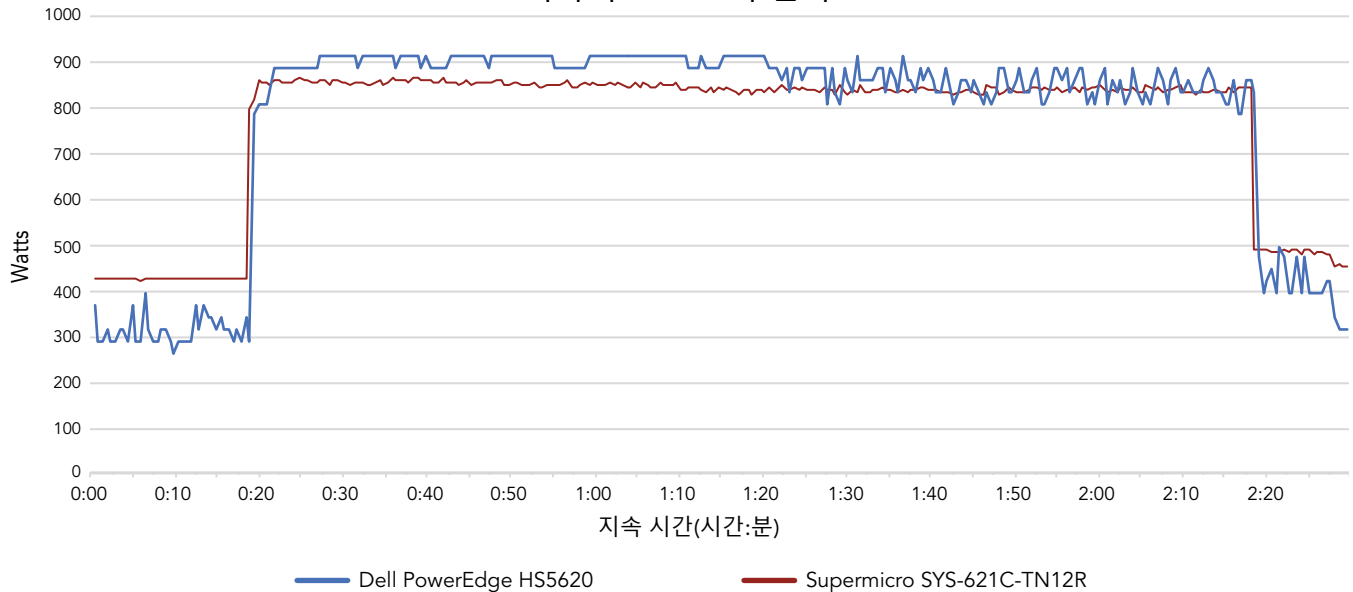


그림 6: 서버가 25°C 주변 온도에서 부동 소수점 워크로드를 실행한 첫 번째 시나리오 중 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 소비 전력(와트)이다. 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. 출처: Principled Technologies.

25°C 데이터 센터의 일상적인 작업을 반영하는 이 시나리오에서 Dell PowerEdge HS5620은 문제 없이 실행된 반면, Supermicro SYS-621C-TN12R에서는 OS 드라이브에 대한 중요 경고가 발생했다. 표 4에는 이 테스트 시나리오의 결과가 요약되어 있다.

표 4: 25°C 주변 온도에서 서버가 부동 소수점 워크로드를 실행한 첫 번째 2시간 테스트에서 얻은 결과를 요약한 내용이다.

시나리오 1: 25°C 주변 온도		
	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12
성과	✓ 시스템 장애 없음	✓ 시스템 장애 없음
구성 요소 장애	없음	없음
구성 요소 경고	없음	OS SSD
OS SSD 평균 온도	43.9°C	77.5°C
유틸리티 SSD 평균 온도	45.5°C	61.7°C
프로세서 평균 온도	73.7°C 70.7°C	77.9°C 71.1°C

시나리오 2: 팬 장애

면밀한 모니터링과 정기적인 서비스를 통해 서버의 수명을 연장할 수 있지만, 내부 구성 요소는 예기치 않게 고장 날 수 있다. 두 번째 테스트 시나리오에서는 팬 장애 발생 시 각 서버가 어떻게 작동하는지 알아보려고 했다.

구성 요소의 동등한 공기 흐름 범위 측면에서, Supermicro 서버의 팬 1이 Dell 시스템의 팬 2에 가장 부합하는 것을 확인했다. 테스트를 위해 해당 팬을 수작업으로 비활성화했다. 다시 25°C의 주변 온도에서 테스트를 시작하여 15 분 동안 서버를 유틸리티 상태로 실행한 후 워크로드를 시작했다. 2시간 테스트를 진행하는 동안, 그리고 테스트 후 15 분 동안 경고와 장애가 있는지 시스템을 모니터링했다.

Dell PowerEdge HS5620은 구성 요소 장애나 구성 요소 경고가 발생하지 않았지만, 정상 팬이 단 2개인 Supermicro SYS-621C-TN12R은 프로세서, RAM 및 2개의 NIC에서 고온이 발생했음을 알렸다. **Supermicro 시스템의 OS 드라이브에서는 테스트를 시작한 지 1시간 49분 만에 장애가 발생하여 시스템 장애로 이어졌다. SSD가 냉각되고 OS가 다시 작동할 수 있게 되자 BMC를 통해 서버를 다시 시작해야 했다.** 시스템의 공기 채널과 팬은 프로세서와 메모리에서 뜨거운 공기를 SSD로 보내는 공기 흐름 패턴과 같은 냉각 설계의 단점을 보완할 수 없었다. 이와 대조적으로, Dell 시스템은 Supermicro 시스템보다 더 높은 RPM(Rotations Per Minute)으로 회전하는 개별 팬이 더 많고 공기 흐름 설계가 시스템 구성 요소 온도를 낮추면서 구성요소를 작동시키는 데 도움이 되었다.

Dell 시스템은 2시간 워크로드 동안 평균적으로 더 낮은 온도를 유지한다는 것을 다시 확인했다. OS SSD는 평균 54.2°C로, Supermicro 서버의 OS SSD 평균 온도 82.2°C보다 28.0°C 더 낮았다. Dell 시스템 유틸리티 SSD의 평균 온도는 Supermicro 서버 유틸리티 SSD의 평균 온도 68.5°C보다 21.5°C 더 낮은 47.0°C였다. 평균 프로세서 온도에 관해서는, Dell 서버의 온도는 56.9°C 및 44.3°C였고, Supermicro 서버의 온도는 98.6°C 및 72.8°C로 훨씬 더 뜨거웠으며, 최대 온도 차이는 54.3°C였다. Dell 서버의 관리 시스템은 온도가 안전 임계값을 넘는 경우 시스템이 냉각 하드웨어 장애 또는 비정상적인 환경 조건을 탐지했는지에 따라 성능을 조정하는 것을 확인했다.

그림 7과 8에서는 수집한 SSD와 프로세서의 온도 측정값을 보여 준다. 그림 9에서는 시스템이 워크로드를 실행할 때 시스템의 전력 드로우를 비교한다. 부하 시 내부 열을 발생시키고 팬 손실을 보상한다.

시나리오 2: SSD 온도

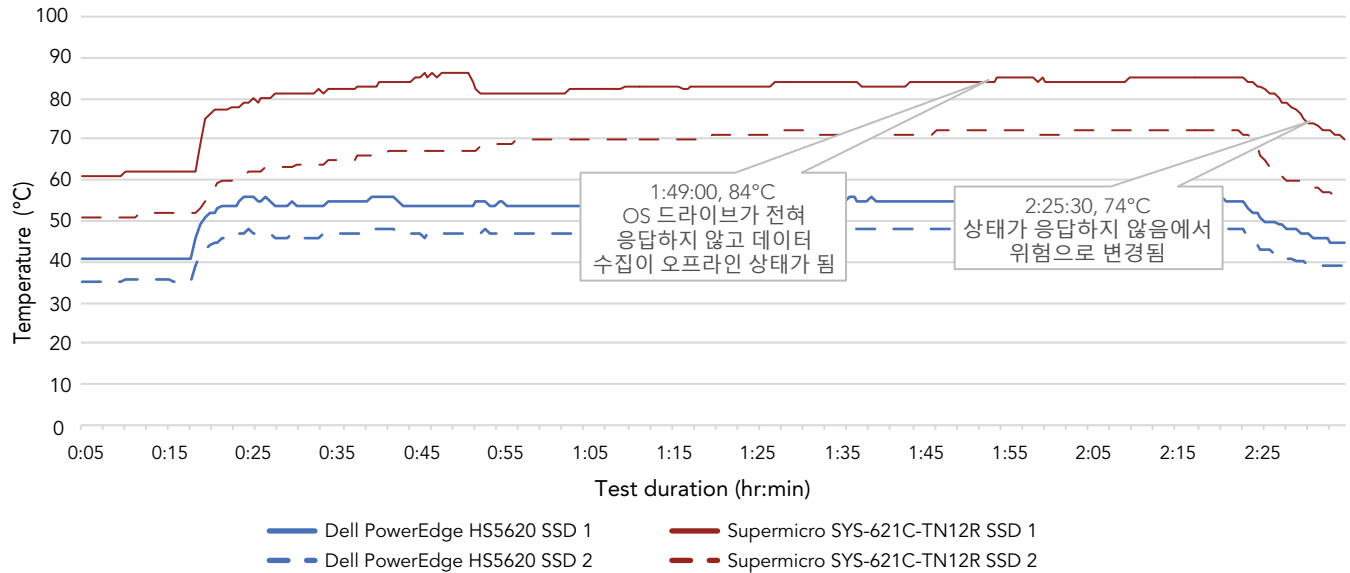


그림 7: 각 서버에서 팬 하나를 비활성화한 상태로 부동 소수점 워크로드를 실행한 두 번째 시나리오 중 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 SSD 온도. 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. SSD 1은 OS를 실행했고, SSD 2는 유휴 상태였다. 온도가 낮을수록 더 우수한 결과다. 출처: Principled Technologies.

시나리오 2: 프로세서 온도

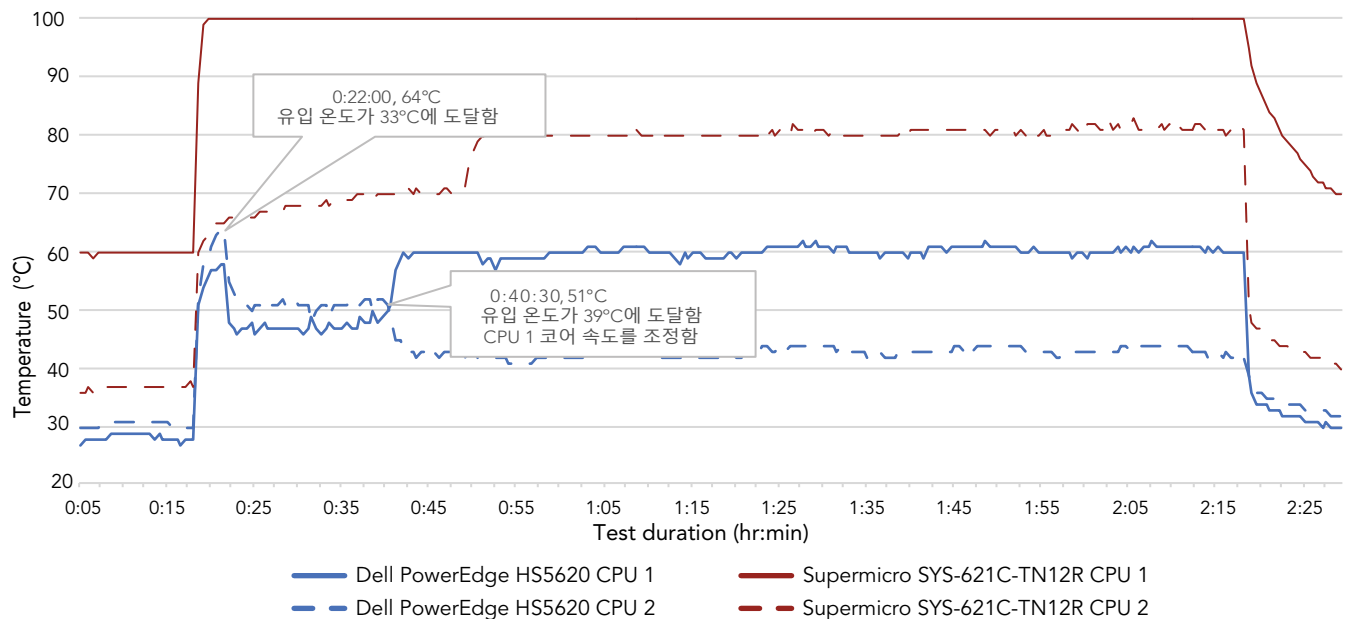


그림 8: 각 서버에서 팬 하나를 비활성화한 상태로 부동 소수점 워크로드를 실행한 두 번째 시나리오 중 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 프로세서 온도다. 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. 온도가 낮을수록 더 우수한 결과다. 출처: Principled Technologies.

시나리오 2: 소비 전력

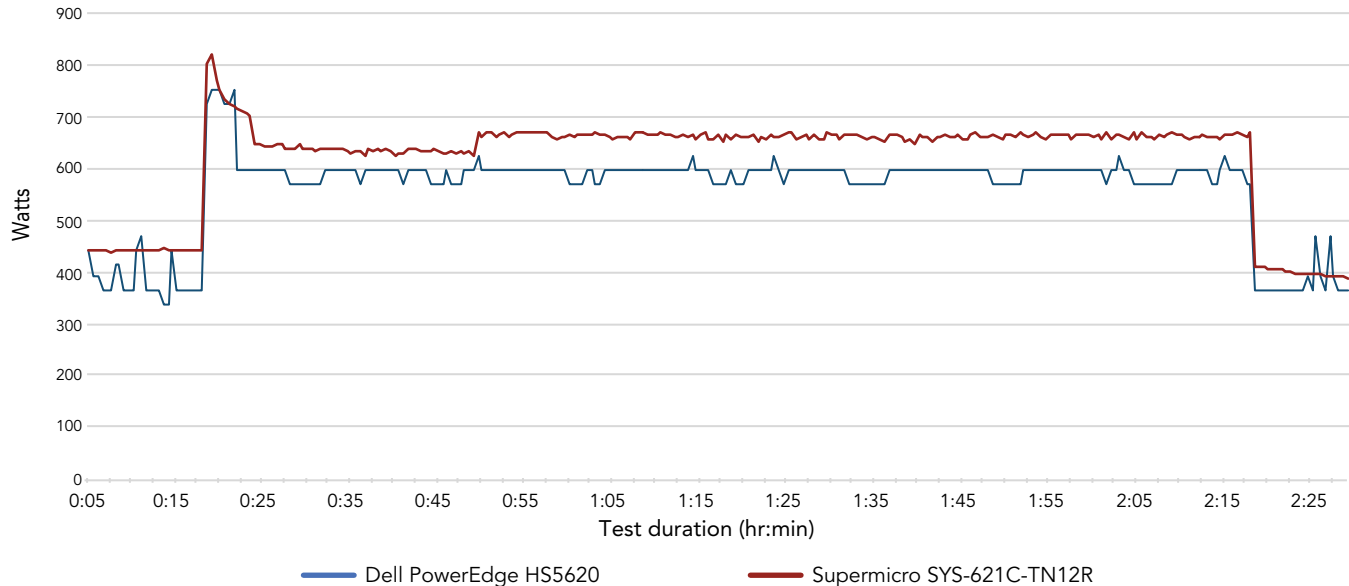


그림 9: 각 서버에서 팬 하나를 비활성화한 상태로 부동 소수점 워크로드를 실행한 두 번째 시나리오 중 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 소비 전력(와트)이다. 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. 출처: Principled Technologies.

팬이 고장 나도 계속 작동할 수 있는 서버가 있으면 IT 관리자가 시스템을 정비하는 동안 조직이 비상 절차를 시행할 수 있는 시간을 확보할 수 있다. 그러나 팬이 고장 난 직후 서버의 OS 드라이브 또는 기타 중요 구성 요소에 장애가 발생할 경우, 중요한 애플리케이션이 예기치 않게 오프라인으로 전환되어 사용자의 업무가 중단될 수 있다. 교체 팬을 기다린다면 서버가 훨씬 더 오랫동안 다운될 수도 있다. 표 5에는 이 테스트 시나리오의 결과가 요약되어 있다.

표 5: 각 서버에서 팬 하나를 비활성화한 상태로 부동 소수점 워크로드를 실행한 두 번째 2시간 테스트에서 얻은 결과를 요약한 내용이다.

시나리오 2: 팬 장애		
	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12
성과	✓ 시스템 장애 없음	✗ 시스템 장애
구성 요소 장애	없음	OS SSD
구성 요소 경고	없음	SSD 1개, CPU 1개, 메모리 모듈 1개, NIC 2개
OS SSD 평균 온도	54.2°C	82.2°C
유틸리티 SSD 평균 온도	47.0°C	68.5°C
프로세서 평균 온도	56.9°C 44.3°C	98.6°C 72.8°C

두 번째 팬 장애 시나리오도 실행했는데, 두 서버에서 비활성화한 팬이 다른 위치에 있었다. 이 시나리오에서는 Supermicro 시스템의 팬 3이 Dell 시스템의 팬 3과 유사한 것으로 확인되었다. Dell PowerEdge HS5620에서는 또 다시 구성 요소 경고 또는 장애가 발생하지 않았지만, Supermicro SYS-621C-TN12R은 프로세서와 SSD에 대한 경고가 발생했고 두 PSU 중 하나에 장애가 발생했다. (이 테스트에 대한 자세한 내용은 [보고서에 숨겨진 과학](#)에 나와 있다.)

시나리오 3: HVAC 오작동

예기치 않은 장애는 내부 서버 구성 요소에만 국한되지 않는다. 과열은 시설에 문제가 있는 경우에도 발생할 수 있다. 세 번째 시나리오에서는 냉각 시스템이 오작동하는 데이터 센터를 보여 준다.

15분 동안 각 서버의 구성 요소가 25°C의 주변 온도에서 온라인 및 정상 상태인지 확인했다. 그런 다음 테스트 환경에서 모든 공기 조절 장치를 끄기 전에 15분 동안 워크로드를 실행했다. 약 1시간 후 환경의 주변 온도가 35°C에 도달했을 때 시설 팀이 HVAC 시스템을 수리하는 상황을 반영하여 공기 조절 장치를 다시 켜다. 주변 온도가 다시 25°C가 될 때까지 서버의 냉각 진행 상황을 추적했다.

설명서에 따르면, Dell PowerEdge HS5620은 테스트한 구성의 30°C 조건에서 실행할 수 있다.⁵ 온도가 35°C까지 올라간 이 시나리오에서는 시스템이 한계를 넘어 작동했으며 구성 요소 수준 경고 또는 장애가 발생하지 않았다. 유입 센서 신호에 대응하여 과열을 방지하기 위해 프로세서 코어 속도와 소비 전력을 조정하는 것을 확인했다(자세한 내용은 [보고서에 숨겨진 과학](#) 참조). Supermicro SYS-621C-TN12R 설명서에는 시스템이 35°C 환경에서 작동할 수 있다고 명시되어 있지만,⁶ 이 시나리오에서는 OS SSD에 장애가 발생하여 시스템 장애로 이어졌다. OS 애플리케이션 텔레메트리는 테스트를 시작한 지 약 1시간 후 중단되었다. 시스템이 SSH 및 KVM 명령에 응답하지 않아 BMC를 사용하여 수동으로 시스템을 종료했다. 특히, 이 다운타임 중에도 시스템은 Dell PowerEdge HS5620보다 더 많은 전력을 계속 소모했다(그림 12). 또한 Supermicro 시스템은 이 시나리오에서 NIC 및 프로세서에 대해 고온 경고가 발생했다.

2시간 워크로드에서 Dell 시스템의 OS SSD는 평균 48.0°C였고 유틸리티 SSD는 평균 49.2°C였다. Supermicro 시스템의 평균 SSD 온도(OS 드라이브는 82.4°C, 유틸리티 드라이브는 66.4°C)와 비교했을 때 Dell 시스템은 SSD를 최대 34.4°C 더 낮게 유지했다.

그림 10과 11은 이 시나리오 중 두 시스템의 SSD 및 프로세서 온도를 보여 준다. 그림 12에서는 워크로드가 실행될 때 시스템의 소비 전력 증가를 비교한다.

시나리오 3: SSD 온도

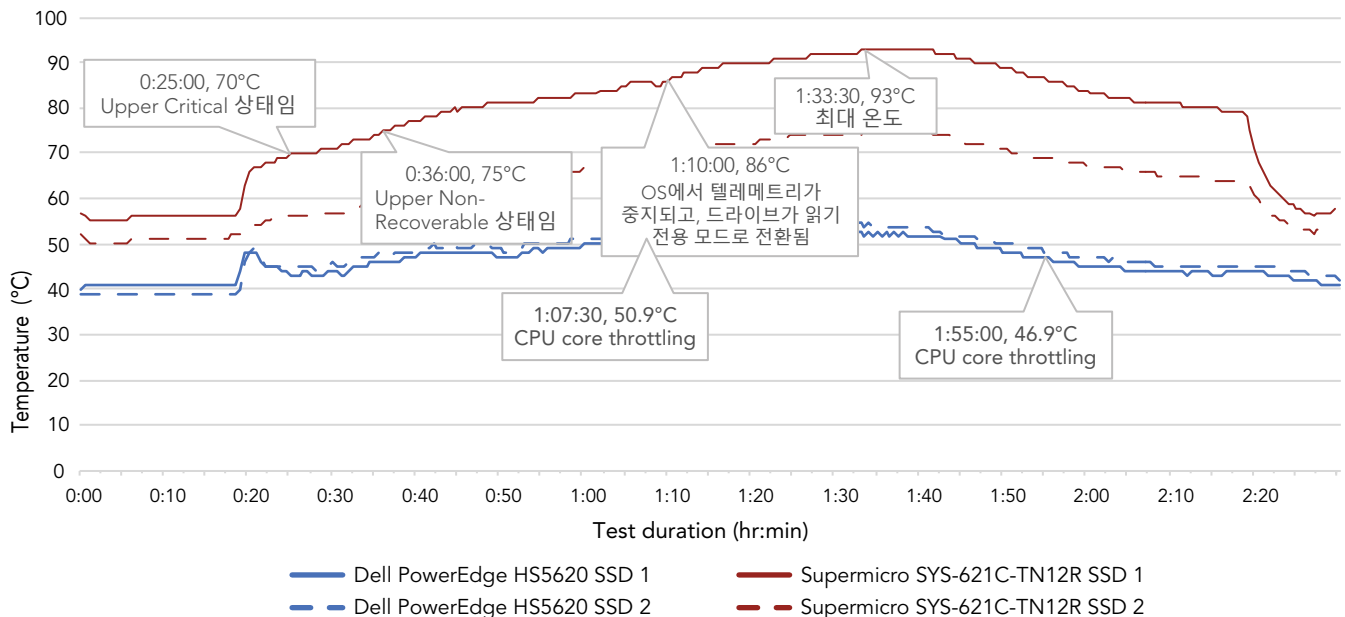


그림 10: HVAC 장애를 시뮬레이션하기 위해 주변 온도가 25°C에서 35°C로 상승하는 동안 서버가 부동 소수점 워크로드를 실행한 세 번째 시나리오 중 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 SSD 온도다. 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. SSD 1은 OS를 실행했고, SSD 2는 유틸리티 상태였다. 온도가 낮을수록 더 우수한 결과다. 출처: Principled Technologies.

시나리오 3: 프로세서 온도

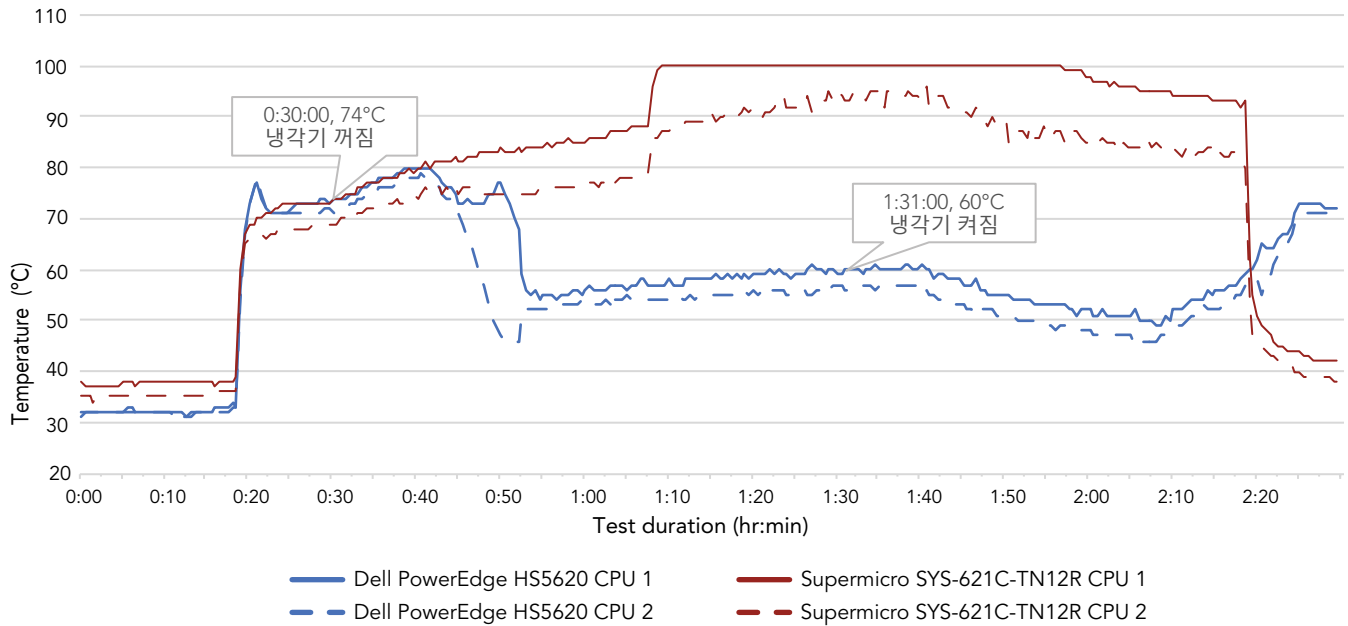


그림 11: HVAC 장애를 시뮬레이션하기 위해 주변 온도가 25°C에서 35°C로 상승하는 동안 서버가 부동 소수점 워크로드를 실행한 세 번째 시나리오 중 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 프로세서 온도다. 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. 온도가 낮을수록 더 우수한 결과다. 출처: Principled Technologies.

시나리오 3: 소비 전력

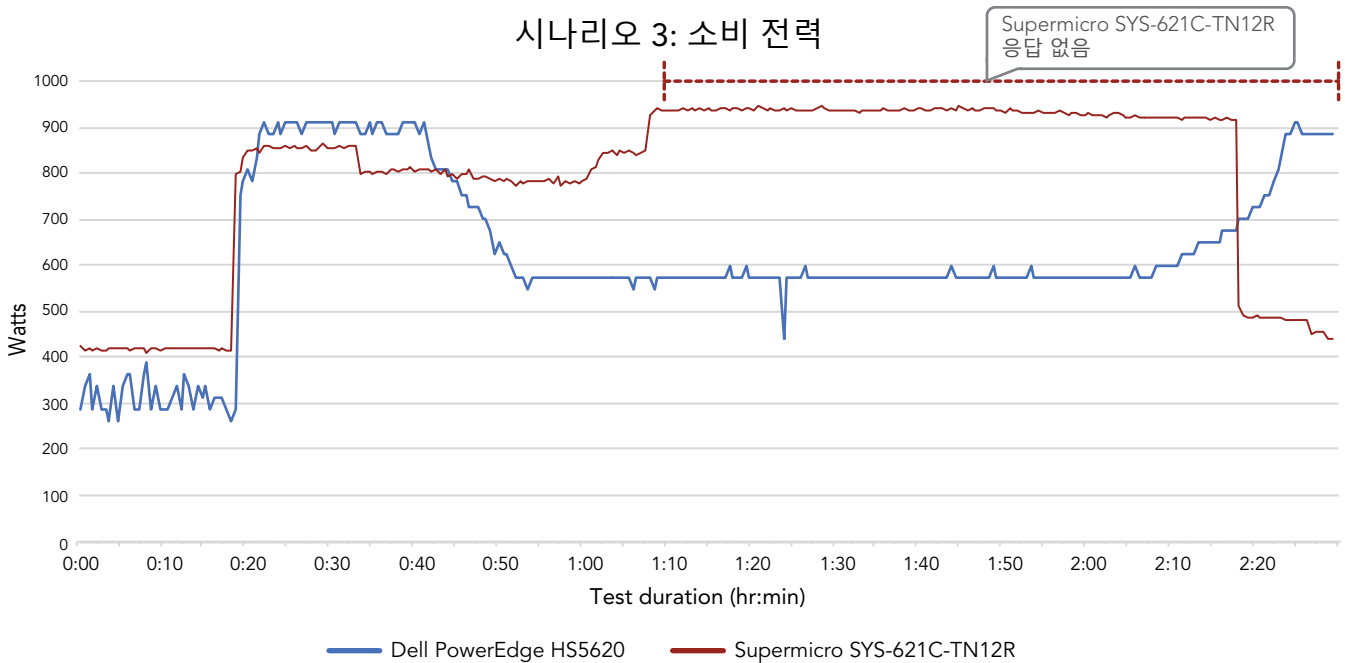


그림 12: HVAC 장애를 시뮬레이션하기 위해 주변 온도가 25°C에서 35°C로 상승하는 동안 서버가 부동 소수점 워크로드를 실행한 세 번째 시나리오 중 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 소비 전력(와트)이다. 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. 출처: Principled Technologies.

데이터 센터의 HVAC 시스템이 성능이 저하되거나 장애가 발생한 상황에서 서버가 계속 작동하면 사용자 및 중요 작업에 대한 중단을 최소화할 수 있다. 또한 이러한 솔루션으로 IT 관리자의 시간과 노력을 절약할 수도 있다. 과열로 인해 서버에 경고나 장애가 발생하는 경우 관리자는 이를 확인하는 데 추가 시간을 할애해야 하며, 심지어 수작업으로 재부팅해야 할 수도 있다. 표 6에서는 이 테스트 시나리오의 결과를 요약한 내용을 보여 준다.

표 6: HVAC 오작동을 시뮬레이션하기 위해 주변 온도가 25°C에서 35°C로 상승하는 동안 서버가 부동 소수점 워크로드를 실행한 세 번째 2시간 테스트에서 얻은 결과를 요약한 내용이다.

시나리오 3: HVAC 오작동		
	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12
성과	✓ 시스템 장애 없음	✗ 시스템 장애
구성 요소 장애	없음	OS SSD
구성 요소 경고	없음	SSD 2개, CPU 1개, NIC 1개
OS SSD 평균 온도	48.0°C	82.4°C
유틸리티 SSD 평균 온도	49.2°C	66.4°C
프로세서 평균 온도	60.5°C 56.6°C	89.0°C 80.8°C

Dell PowerEdge HS5620 소개

Dell Technologies에 따르면, 2U, 2소켓 PowerEdge HS5620은 "클라우드 서비스 공급업체가 가장 많이 사용하는 IT 애플리케이션을 위해 특별히 설계되었다."⁷ 최대 2개의 5세대 인텔® 제온® 스케일러블 프로세서, 최대 5,600MT/초의 DDR5 RDIMM 최대 16개, 공급업체가 검증한 펌웨어 COMM 카드 및 SSD를 갖춘 PowerEdge HS5620은 "맞춤형 성능, I/O 유연성 및 개방형 생태계 관리"를 자랑한다.⁸ 자세한 내용은 <https://www.dell.com/en-us/shop/ipovw/poweredge-hs5620>에서 확인할 수 있다.

결론: Dell PowerEdge HS5620은 고온에서 회복탄력성을 유지하여 효율성 향상

데이터 센터의 온도를 높이면 조직의 에너지 효율성과 냉각 비용 절감에 큰 도움이 될 수 있다. 예상치 못한 상황으로 인한 고온은 물론, 일상의 높은 온도를 견딜 수 있는 서버를 갖추면 기업은 앱과 클라이언트에 필요한 성능을 지속적으로 제공할 수 있다.

25°C에서 일반적인 작업, 팬 장애 및 HVAC 오작동을 시뮬레이션하는 세 가지 시나리오 유형에서, Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12R에서 집중 부동 소수점 워크로드를 실행할 때 Dell 서버는 구성 요소 경고 또는 장애가 발생하지 않았다. 반면, Supermicro 서버는 세 가지 시나리오 유형 모두에서 경고가 발생했고, 이후의 두 테스트에서는 구성 요소 장애가 발생하여 시스템을 사용할 수 없게 되었다. 각 시스템을 검사하고 분석한 결과, Dell PowerEdge HS5620 서버의 마더보드 레이아웃, 팬 및 새시가 냉각 설계 이점을 제공하는 것으로 확인되었다.

서버 냉각 설계에 관심이 있는 기업과 더 높은 온도의 데이터 센터를 운영하여 지속 가능성 목표를 달성하고자 하는 기업 입장에서는 Dell PowerEdge HS5620은 일상적인 운영과 예기치 못한 오작동 중에 발생하는 온도를 더 높은 수준까지 감당할 수 있는 강력한 제품이다.

-
1. ENERGY STAR, "5 Simple Ways to Avoid Energy Waste in Your Data Center"(2024년 4월 8일 액세스), https://www.energystar.gov/products/data_center_equipment/5-simple-ways-avoid-energy-waste-your-data-center.
 2. Supermicro, "Supermicro 80mm Hot-Swappable Middle Fan (FAN-0206L4)"(2024년 4월 9일 액세스), https://store.supermicro.com/us_en/80mm-fan-0206l4.html.
 3. Electronics Cooling, "The Hidden Risk of Invisible Airflow Imbalance in an Efficient Contained Data Center"(2024년 4월 4일 액세스), <https://www.electronics-cooling.com/2016/07/the-hidden-risk-of-invisible-airflow-imbalance-in-an-efficient-contained-data-center/>.
 4. ASHRAE TC9.9, "Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices"(2024년 4월 24일 액세스), https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/bookstore/ashrae_tc0909_power_white_paper_22_june_2016_revised.pdf.
 5. Dell, "Dell PowerEdge HS5620 Technical Guide"(2024년 5월 8일 액세스), <https://www.delltechnologies.com/asset/en-us/products/servers/technical-support/poweredge-hs5620-technical-guide.pdf>.
 6. Supermicro, "CloudDC SuperServer SYS-621C-TN12R"(2024년 4월 26일 액세스), <https://www.supermicro.com/en/products/system/datasheet/sys-621c-tn12r>.
 7. Dell, "PowerEdge HS5620 스펙 시트"(2024년 4월 1일 액세스), <https://www.delltechnologies.com/asset/en-us/products/servers/technical-support/poweredge-hs5620-spec-sheet.pdf>.
 8. Dell, "PowerEdge HS5620 스펙 시트"

보고서에 숨겨진 과학

이 섹션에는 전체 결과가 정리되어 있으며, 테스트한 솔루션과 테스트 방법론에 관한 설명이 나와 있다.

Hands-on testing은 2024년 4월 9일에 종료했다. 테스트하는 동안 적절한 하드웨어 및 소프트웨어 구성을 파악하고 업데이트가 제공될 때 이를 적용했다. 이 보고서의 결과는 2024년 3월 11일 이전에 확정된 구성을 반영하므로 이 같은 구성은 이 보고서가 공개될 당시의 최신 버전과 다를 수 있다.

차트

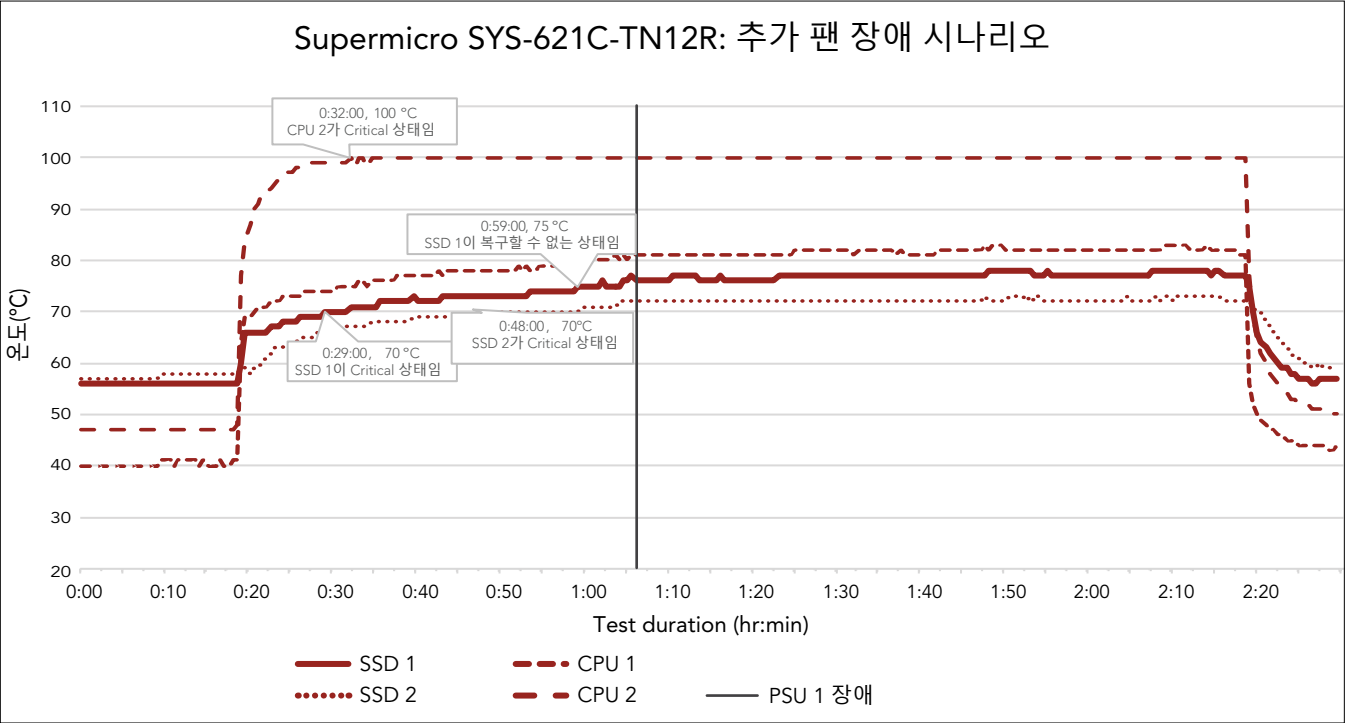


그림 1: 팬 3이 비활성화된 상태로 서버가 부동 소수점 워크로드를 실행한 추가 팬 장애 시나리오 중 Supermicro® SYS-621C-TN12의 SSD 및 프로세서 온도다. 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. SSD 1은 OS를 실행했고, SSD 2는 유휴 상태였다. 출처: Principled Technologies.

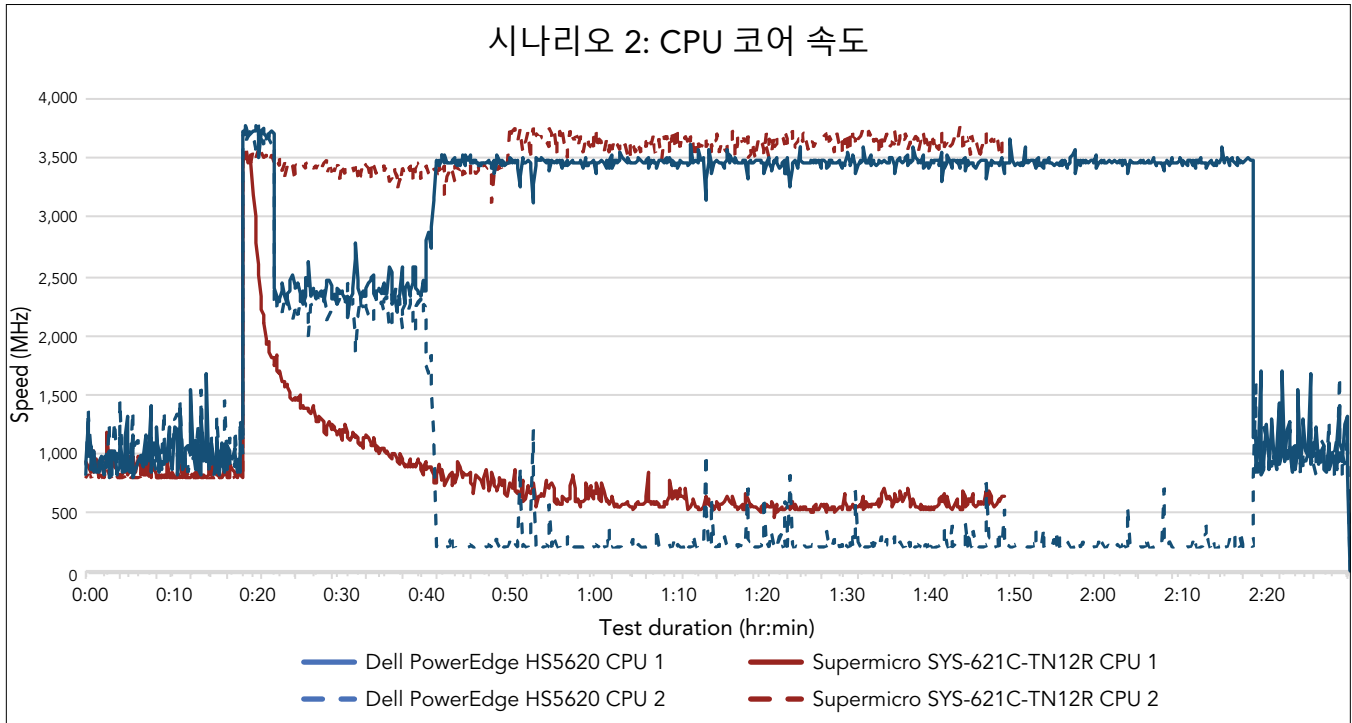


그림 2: 첫 번째 팬 장애 시나리오 중 Dell™ PowerEdge™ HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 프로세서 코어 속도다. 부동 소수점 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. 출처: Principled Technologies.

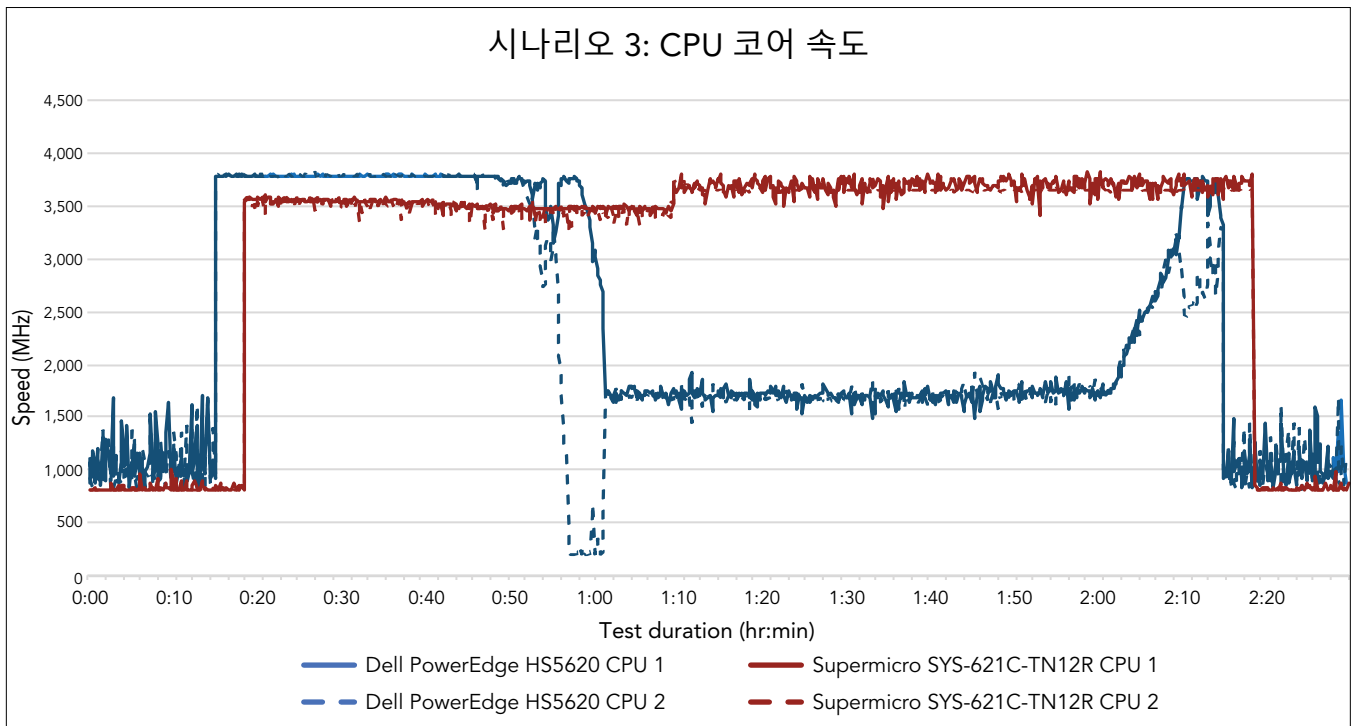


그림 3: 오작동 HVAC 시나리오 중 Dell PowerEdge HS5620 및 Supermicro SYS-621C-TN12의 프로세서 코어 속도다. 부동 소수점 워크로드는 0:15에 시작하여 2:15에 완료되었다. 출처: Principled Technologies.

시스템 구성 정보

표 1: 테스트 대상 시스템에 대한 자세한 정보

시스템 구성 정보	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12R
BIOS 이름 및 버전	Dell 2.1.3	Supermicro 2.1
기본 BIOS 설정 변경	와트당 성능(OS)	해당 없음
운영 체제 이름 및 버전/빌드 번호	Ubuntu 22.04.3	Ubuntu 22.04.3
마지막 OS 업데이트/패치 적용 날짜	2024년 3월 11일	2024년 1월 28일
전원 관리 정책	와트당 성능(OS)	균형 잡힌 성능
프로세서		
프로세서 수	2	2
공급업체 및 모델	인텔® 제온® Gold 6444Y	인텔 제온 Gold 6444Y
프로세서당 코어 수	16	16
코어 주파수(GHz)	3.60(4.0 터보)	3.60(4.0 터보)
스테핑	8	8
메모리 모듈		
시스템의 총 메모리(GB)	1,024	1,024
메모리 모듈 수	16	16
공급업체 및 모델	Hynix® HMC94AEBRA109N	SK Hynix HMC94MEBRA123N
Size (GB)	64	64
유형	DDR5 DIMM	DDR5
속도(MHz)	4,800	4,800
서버에서의 실행 속도(MHz)	4,800	4,800
스토리지 컨트롤러(전면 스토리지)		
공급업체 및 모델	Dell HBA355i Adp	Supermicro MegaRAID AOC-S3916L-H16iR-32DD-P
캐시 크기(GB)	0	8
펌웨어 버전	24.15.14.00	5.240.02-3768
드라이버 버전	해당 없음	52.24.0-4766
스토리지 컨트롤러(NVMe® M.2)		
공급업체 및 모델	Dell BOSS-N1 Monolithic	해당 없음
캐시 크기(GB)	0	해당 없음
펌웨어 버전	2.1.13.2025	해당 없음
로컬 스토리지(OS)		
드라이브 수	2	2
드라이브 공급업체 및 모델	Dell NVMe PE8010 RI M.2 960GB	Micron® 7450 MTFDKBA960TFR

시스템 구성 정보	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12R
드라이브 크기(GB)	960	960
드라이브 정보(속도, 인터페이스, 유형)	8GT/s M.2 SSD	PCIe® M.2 NVMe
로컬 스토리지(데이터)		
드라이브 수	12	12
드라이브 공급업체 및 모델	HGST HUH721212AL5200	WDC WUH721814ALE6L4
드라이브 크기(GB)	120,000	1,400
드라이브 정보(속도, 인터페이스, 유형)	12Gbps SAS 3.5" HDD	6Gb SATA 3.5" HDD
네트워크 어댑터 A		
공급업체 및 모델	인텔 25G 2P E810-XXV 4개	인텔 E810-XXVAM2(AOC-S25GC-i2S) 3개
포트 수/유형	25Gb 2개	25Gb 2개
드라이버 버전	22.5.7	4.20(0x800177B4)
네트워크 어댑터 B		
공급업체 및 모델	Broadcom® NetXtreme 기가비트 이더넷 (BCM5720) 1개	인텔 E810-XXVAM2(AOC-A25G-i2SM) 1개
포트 수/유형	1Gb 2개	25Gb 2개
드라이버 버전	22.71.3	4.30(0x800177B4)
냉각팬		
공급업체, 모델, 수량	Dell HPR Gold 1개 Dell HPR Silver 5개	Supermicro 중간 팬 FAN-0206L4 3개
전원 공급 장치		
공급업체 및 모델	Dell 05222NA00	Supermicro PWS-1K23A-1R
전원 공급 장치 수	2	2
개별 전력량(W)	1,800	1,200

테스트 방법

온도를 제어하고 측정할 수 있는 환경을 조성하기 위해 완전히 적재된 42U 서버 랙 주위에 맞춤형 인클로저를 구축했다. Dell 시스템과 Supermicro 시스템 모두 랙의 동일한 위치에서 테스트했으며, 세 가지 시나리오에서 내부 서버 온도를 수집했다. 랙에 있는 서버에서 stress-ng 벤치마크를 네 단계로 실행했으며, 각 단계는 1분 10초 간격으로 실행했다. 테스트한 Dell 및 Supermicro 시스템은 첫 번째 서버가 워크로드를 시작하고 3분 30초 후에 네 번째 단계에서 워크로드를 실행했다. 아래에서 테스트를 설정하고 실행하기 위해 수행한 단계를 간략히 설명한다.

Ubuntu 22.04.3 설치 및 구성

1. Ubuntu 22.04.3 미디어에서 부팅한다.
2. Try 또는 Install Ubuntu Server를 선택한다.
3. 언어 메뉴에서 기본값을 그대로 두고 Done을 선택한다.
4. Update to the new installer를 선택한다.
5. 키보드 구성에서 기본값을 그대로 두고 Done을 선택한다.
6. 설치 유형에서 기본값을 그대로 두고 Done을 클릭한다.
7. 네트워크 연결 메뉴에서 기본값을 그대로 두고 Done을 선택한다.
8. 프록시 구성 화면에서 기본값을 그대로 두고 Done을 선택한다.
9. Ubuntu 아카이브 미리 구성 화면에서 테스트가 통과될 때까지 기다린 후 Done을 선택한다.
10. 가이드 스토리지 구성 화면에서 기본값을 그대로 두고 Done을 선택한다.
11. 스토리지 구성 요약 화면에서 기본값을 그대로 두고 Done을 선택한다.
12. 데이터 삭제 작업을 확인하려면 Continue를 선택한다.
13. 프로필 설정 화면의 이름 및 사용자 이름 아래에 ptuser를 입력한다. 서버 이름 아래에 이름을 입력하고 비밀번호를 확인한다.
14. Done을 선택한다.
15. Ubuntu Pro로 업그레이드 화면에서 기본값을 그대로 두고 Continue를 선택한다.
16. SSH 설정 화면에서 Install OpenSSH server를 선택하고 Done을 선택한다.
17. 주요 서버 스냅 화면에서 기본값을 그대로 두고 Done을 선택한다.
18. 설치가 완료되면 Reboot now를 선택한다.
19. 위에서 만든 자격 증명을 사용하여 Ubuntu에 로그인한다.
20. 프로세스 업데이트:

```
sudo apt update
sudo apt upgrade
```

21. CIFS 유틸리티 설치 및 PT 공유 매핑:

```
sudo apt install cifs-utils
sudo mkdir /mnt/pt-data01
sudo mount -t cifs //10.41.1.21/pt /mnt/pt-data01/ -o "rw,user=<useraccount>,pass=<password>"
```

22. 네트워킹 구성:

```
sudo cp /etc/netplan/*.yaml /etc/netplan/00-installer-config.yaml.bak
sudo nano /etc/netplan/*.yaml
```

23. 원하는 네트워크 어댑터를 확인하고 다음 조정 수행:

```
addresses:
- <IP_Address>/<CIDR>
routes:
- to: default
  via: <Default_Gateway>
nameservers:
  search: [<NameServer1>, <NameServer2>]
  addresses: [<DNS_IP1>, <DNS_IP2>, <DNS_IP3>]
```

24. 변경된 파일을 테스트하고 적용:

```
sudo netplan try
sudo netplan apply
```

25. 호스트 이름 설정:

```
sudo hostnamectl set-hostname <NewHostname>
```

26. 호스트 다시 시작:

```
sudo shutdown -r now
```

비밀번호 없는 sudo 배포

클라이언트 측에 배포

1. sudoers 파일 편집:

```
sudo visudo /etc/sudoers
```

2. 파일의 맨 끝에 다음 내용 추가:

```
ptuser ALL=(ALL:ALL) NOPASSWD: ALL
```

컨트롤러 측에 배포

1. SSH 키 쌍 생성:

```
ssh-keygen -t rsa -b 4096 -N "" -f "$HOME/.ssh/id_rsa.pub"
```

2. SSH 공개 키를 각 원격 서버에 복사:

```
ssh-copy-id ptuser@<remote_server_IP>
```

데이터 수집을 위해 TIG-P 스택 구현

Docker 구성

- 로그 머신에 ptuser로 로그인한다.
- Docker 설치 준비:

```
sudo apt update
sudo apt install ca-certificates curl
sudo install -m 0755 -d /etc/apt/keyrings
sudo curl -fsSL https://download.docker.com/linux/ubuntu/gpg -o /etc/apt/keyrings/docker.asc
sudo chmod a+r /etc/apt/keyrings/docker.asc
```

3. Apt 소스에 리포지토리 추가 및 설치:

```
echo \
"deb [arch=$(dpkg --print-architecture) signed-by=/etc/apt/keyrings/docker.asc] https://download.
```

```
docker.com/linux/ubuntu \
$(. /etc/os-release && echo "$VERSION_CODENAME") stable" | \
sudo tee /etc/apt/sources.list.d/docker.list > /dev/null
sudo apt update
sudo apt install docker-ce docker-ce-cli containerd.io docker-buildx-plugin docker-compose-plugin
```

Huntabyte TIG 스택 구성

1. 로깅 머신에서 tig-stack 리포지토리 복제:

```
git clone https://github.com/huntabyte/tig-stack.git
```

2. 배포에 맞게 .env 파일 편집:

```
sudo nano tig-stack/.env
```

3. FluxDB의 경우 다음과 같이 사용자 이름, 비밀번호, 조직, 버킷 및 보존 기간 입력:

```
DOCKER_INFLUXDB_INIT_USERNAME: admin
DOCKER_INFLUXDB_INIT_Password: <PasswordHere>
DOCKER_INFLUXDB_INIT_ORG: PT
DOCKER_INFLUXDB_INIT_BUCKET: <BucketName>
DOCKER_INFLUXDB_INIT_RETENTION: 52w
```

4. 다음 명령을 사용하여 임의의 32자 16진수 문자열을 생성하고 .env 파일에 관리자 토큰의 결과 입력:

```
openssl rand -hex 32
```

5. 저장하고 종료한다.

6. telegraf.conf 편집:

```
sudo nano tig-stack/telegraf/telegraf.conf
```

7. 다음 값 설정:

```
services:
  influxdb:
    image: influxdb
  telegraf:
    image: gibletron/telegraf-ipmitool
  grafana:
    image: grafana/grafana-oss
    links:
      - prometheus
```

8. 저장하고 종료한다.

9. Docker compose(headless/detached) 시작:

```
sudo docker-compose up -d
```

10. 모니터링하려는 각 서버에서 다음 명령 실행:

```
sudo apt install telegraf
```

11. InfluxDB 관리 인터페이스를 열려면 포트 8086이 있는 InfluxDB 호스트의 IP 주소로 이동한다.

- 필요에 따라 API 토큰을 생성하고, 창을 닫기 전에 반드시 기록해 둔다.
- Load Data 아래에서 API Tokens를 클릭하고 Generate API Token을 클릭한다.
- 모니터링하려는 각 서버에서 다음을 사용하여 /etc/Telegraf/Telegraf.conf 편집:

```
[[outputs.influxdb_v2]]
  urls = ["<influxDB_IP>:8086"]
  token = "<API_token>"
  organization = "PT"
  bucket = "<bucket_name>"
```

- 테스트 중인 각 시스템에서 다음 추가:

```
[[inputs.intel_powerstat]]
  cpu_metrics = ["cpu_frequency"]
```

- 저장하고 종료한다.
- Telegraf 다시 시작:

```
sudo systemctl restart telegraf
```

Prometheus 구성

- /home/ptuser/tig-stack/docker-compose.yml에 다음 추가:

```
prometheus:
  image: prom/prometheus:latest
  volumes:
    - ${PROM_CFG_PATH}:/etc/prometheus/prometheus.yml
    - prom-storage:/prometheus
  ports:
    - 9090:9090
  volumes:
    prom-storage:
```

- 저장하고 종료한다.
- .env 파일을 편집하고 다음 추가:

```
PROM_CFG_PATH=./prometheus/prometheus.yml
```

- 저장하고 종료한다.
- 모니터링하려는 각 서버에서 다음 명령 실행:

```
sudo apt install dbus prometheus-node-exporter prometheus-node-exporter-collectors -y
```

- 테스트 중인 각 시스템에서 다음 명령 실행:

```
sudo apt install prometheus -y
```

- Prometheus에서 모니터링 작업을 생성하려면 /home/ptuser/tig-stack/prometheus/prometheus.yml에 다음 추가:

```
- job_name: "<custom_name>"
  static_configs:
    - targets: ["<target_IP:9090>"]
```

- 7단계와 유사한 추가 항목을 생성하여 추가 작업 및/또는 타겟을 추가한다. 동일한 작업에 대해 다른 타겟을 또 다른 타겟 줄로 추가할 수 있다.
- 저장하고 종료한다.

stress-ng를 사용하여 테스트

각 테스트 시나리오에서 다음 단계를 따라 stress-ng 부동 소수점 워크로드를 실행했다.

1. 각 서버에서 다음 명령 실행:

```
sudo apt install stress-ng linux-tools-generic -y
```

2. 테스트 중인 각 서버에서 다음 명령 실행:

```
sudo modprobe rapl
sudo modprobe intel_rapl_common
sudo modprobe intel_rapl_msr
sudo modprobe msr
sudo modprobe intel-uncore-frequency
sudo setcap cap_sys_rawio,cap_dac_read_search,cap_sys_admin+ep /usr/bin/telegraf
sudo chmod -R a+rx /sys/devices/virtual/powercap/intel-rapl/
```

3. 테스트 중인 각 서버에서 https://github.com/andikleen/pmu-tools/blob/master/event_download.py로 이동하여 원시 파일을 다운로드한 후 실행:

```
sudo chmod +x event_download.py
./event_download.py
```

4. 컨트롤러에서 PSSH 설치:

```
sudo apt install pssh -y
```

5. 컨트롤러에서 stress-ng 실행 중에 사용할 파일 생성:

```
sudo touch ~/.pssh_hosts_file
sudo touch ~/.pssh_hosts_file_wave1
sudo touch ~/.pssh_hosts_file_wave2
sudo touch ~/.pssh_hosts_file_wave3
sudo touch ~/.pssh_hosts_file_wave4
```

6. ~/.pssh_hosts_file 파일을 편집하고 각 줄에 하나씩 모든 서버 IP 주소를 입력한다.
7. ~/.pssh_hosts_file_wave1 파일부터 ~/.pssh_hosts_file_wave4 파일까지 편집하고 각 파일에 IP 주소의 1/4을 적절히 입력한다.
8. 모든 서버가 온라인 상태이고 원격 명령에 응답하는지 테스트:

```
sudo pssh -i -h ~/.pssh_hosts_file uptime
```

9. 컨트롤러에서 stress-ng 테스트에 대한 로그 폴더 생성:

```
sudo mkdir /var/log/stress-ng
sudo chmod 777 /var/log/stress-ng
```

10. 다음 명령으로 테스트를 실행하며, 적절한 단계 번호를 사용하여 "wave1"을 편집한다.

```
pssh -i -h ~/.pssh_hosts_file_wave1 sudo stress-ng --cpu 4 --matrix 0 --cpu-method matrixprod --mq 4 --hdd 6 --tz --metrics --perf --times --aggressive -t 2h --log-file /var/log/stress-ng/$(date +%Y%m%d_%H%M%S').log
```

▶ 이 보고서의 원본(영문) 보기:
<https://facts.pt/gPS09my>

이 프로젝트는 Dell Technologies의 의뢰로 진행되었습니다.



Facts matter.®

Principled Technologies는 Principled Technologies, Inc.의 등록 상표입니다.
다른 모든 제품 이름은 해당 소유주의 상표입니다.

보증 및 책임의 면책:

Principled Technologies, Inc.는 테스트의 정확성과 유효성을 보장하기 위한 합리적인 노력을 기울였습니다. 하지만 Principled Technologies, Inc.는 특정 목적에의 적합성에 대한 암시적인 보증을 비롯하여 테스트 결과 및 분석, 정확성, 완전성 또는 품질에 대한 어떠한 명시적 또는 암시적 보증도 명확히 거부합니다. 테스트 결과 이용에 따른 모든 위험은 해당 개인 또는 단체가 스스로 감수해야 하며 Principled Technologies, Inc., 그 직원 및 하청업체가 테스트 절차 또는 결과의 오류 또는 결함으로 인해 발생하는 손해 또는 배상 소송에 대해 어떠한 책임도 지지 않는다는 것에 동의합니다.

어떠한 경우에도 Principled Technologies, Inc.는 테스트와 관련하여 발생하는 간접적, 특별적, 우발적 또는 파생적 손해에 대해 책임지지 않습니다. 이는 그러한 손해의 가능성을 사전에 인지한 경우에도 마찬가지입니다. 어떠한 경우에도 직접적 손해를 포함한 Principled Technologies, Inc.의 책임은 Principled Technologies, Inc.에게 지불된 테스트 비용을 초과하지 않습니다. 여기에 명시된 내용이 고객의 유일한 구체책입니다.