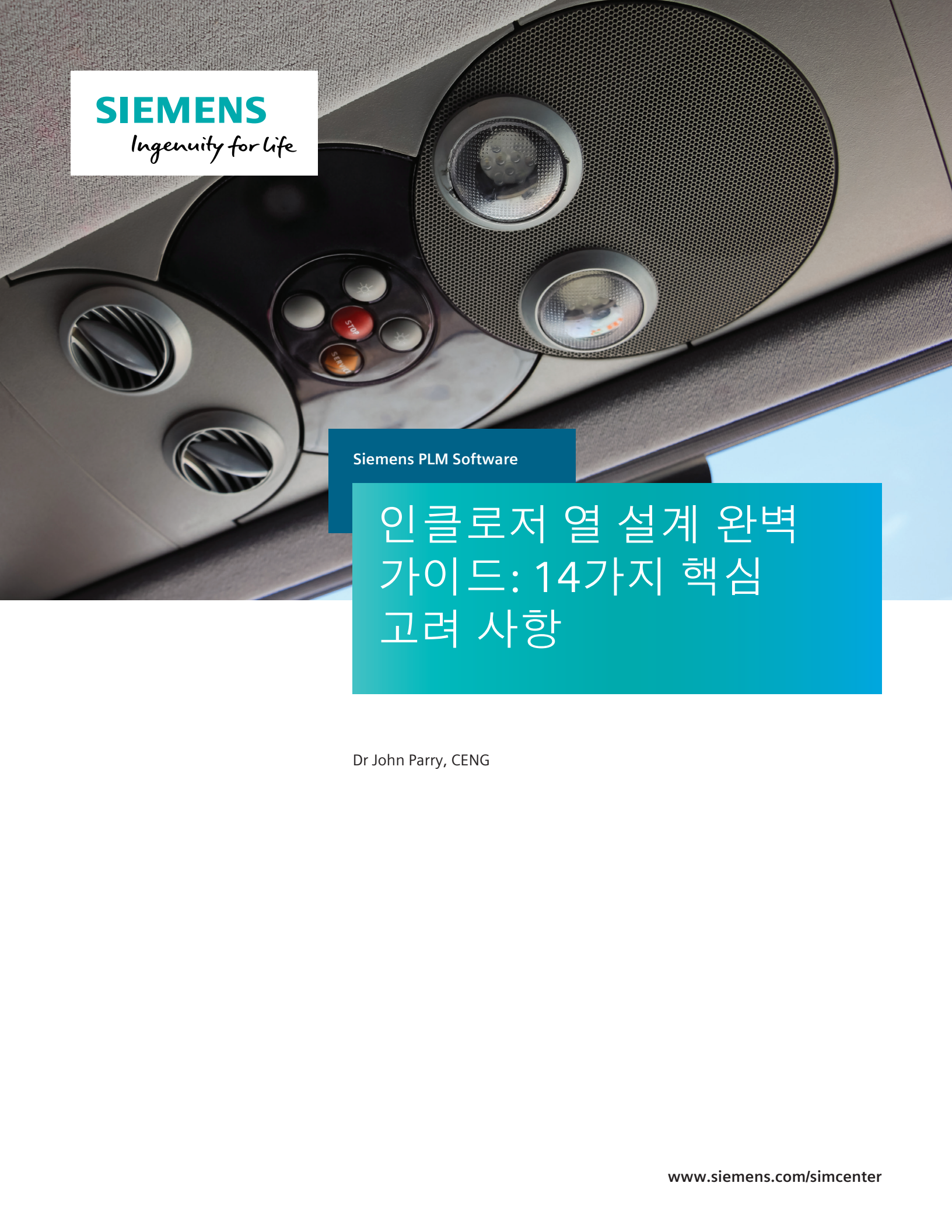




SIEMENS

Ingenuity for life

Siemens PLM Software

인클로저 열 설계 완벽 가이드: 14가지 핵심 고려 사항

Dr John Parry, CENG

인클로저 열 설계가 중요한 이유

인클로저 열 설계 시 고려해야 할 14가지 핵심 사항을 살펴보기에 앞서, 시스템이나 인클로저 수준에서 열 문제를 고려해야 하는 이유부터 살펴볼까요.

전자 제품 설계 시 초점을 두게 되는 부분은 아무래도 전자 부품 쪽입니다. 전자 부품은 일종의 인클로저 내에서 작동해야 합니다. 이 인클로저는 표준화된 랙 시스템¹, 스마트폰이나 태블릿 컴퓨터 하우징과 같은 맞춤형 제작형 인클로저, 차량용 대시보드나 항공기 조종실과 같은 제품 일부일 수도 있습니다.

표준화된 랙 시스템을 비롯해 어떤 경우든 인클로저는 주변으로 열이 분산되는 것을 막는 장애물이 될 수도 있고, 주변으로 열을 빼앗아가는 유도체가 될 수도 있으며 어쩌면 두 가지 역할을 다 할 수도 있습니다. 그러므로 전자 부품 설계 시 반드시 인클로저를 염두에 두어야 합니다. 냉각은 시스템 문제이므로 인클로저 수준에서 시작하는 타당한 접근 방식이 적합합니다 [참조 1].

인클로저 내부 공기 유동은 복잡한 경우가 많아 성공적인 설계를 위해 사용할 수 있는 유일한 방식은 CFD 뿐입니다. 이 유동은 전자 부품과 인클로저 설계의 영향을 받으며, 전자 부품과 인클로저가 상호작용하며 애플리케이션에 열 환경을 제공합니다. 대부분의 경우 주요 냉각 매체는 주변 공기입니다. 공간이 매우 제한적인 노트북 컴퓨터와 같은 작은 기기라도 설계자는 냉각 성능을 향상시키기 위한 공기 순환 방법을 모색합니다. 다만 이 경우 케이싱으로 분산되고 전도되는 열 또한 중요합니다.

지난 30년간 인클로저 수준 공기 유동 예측 시 그림 1에서 볼 수 있듯 Simcenter FlothermTM이 가장 널리 사용돼 왔습니다².

Simcenter Flotherm은 CAD 용어로 "다이렉트 모델링"이라고 불리는 방식을 사용합니다. 여기에서는 치수를 입력해 개체 매개변수를 정의하는 방식보다 (이 방식이 사용 가능하더라도) 개체가 그래픽 방식으로 생성하고 크기와 위치를 조정하는 방식이 선호됩니다. 따라서 설계



그림 1: Simcenter Flotherm에서 모델링한 1U 서버 내 공기 유동 분포도

초반에 사용하기 매우 빠릅니다. 단 몇 분 만에 모델을 만들고 몇 초 내에 해결할 수 있습니다. 또한 Simcenter Flotherm 개체는 대다수의 제품 개발 과정에서 보편적으로 사용되는 계층 구조 순서와 완전히 똑같은 형태로 표현된다는 장점도 있습니다. 메인 어셈블리가 있고 여기에 서브 어셈블리와 각종 부품이 포함되며, 모든 부품 특성은 부품 개체에 직접적으로 연결되어 있고 이들 개체를 통해 특성에 액세스할 수 있습니다. 다양한 계층 구조를 서로 매핑하는 단계가 없어 시간이 절약되고 오류가 줄어듭니다. 기기가 소형화되면서 많은 전자제품에서 메카니컬 CAD의 중요성이 커졌으며, 이에 매개변수 형태로 정의되는 네이티브 CAD 지오메트리를 다루는 과정의 필요성도 커졌습니다.

¹ 타사 회로 카드 조립 부품을 내장하기 위한 새시 설계는 따로 다루어야 하는 특수 주제입니다.

² '뜨거운 공기의 상승과 히트싱크 (Hot Air Rises and Heat Sinks)'의 ThernaNator를 참조하십시오. [참조 2]

공기 유동을 최적화 할 것

인클로저 열 설계는 전자 부품 설치가 완료되면 시스템 공기 유동을 최적화하는 작업을 말합니다. 그렇다고 해서 전자 부품 설계가 다 끝난 후 '이제 해볼까' 하는 생각으로 해야 하는 작업이란 뜻은 아닙니다. 도리어 설계 시간을 최대한 단축하고 설계 비용을 최저 수준으로 절감하며 저비용 고신뢰성 냉각 솔루션을 갖춘 제품을 구현하려면 공동 설계 방식을 취하는 것이 필수적이죠. 관건은 "일찍 시작하는 것, 단순한 것부터 시작하는 것"입니다 [참조 1].

이러한 공동 설계는 개념 설계 단계부터 시작할 수 있습니다. 사실 이는 전자 부품의 구조적 설계를 올바르게 완성하기 위한 전제조건일 수도 있습니다. 인클로저 설계에 융통성이 갖춰지면 Simcenter Flotherm과 Simcenter Flotherm™ XT으로 Enclosure SmartPart라는 기능을 제공해 매개변수에 의해 정의된 표현 형태로 신속하게 인클로저를 제시할 수 있습니다.

인클로저 설계가 대부분 미리 정의된 경우도 있겠지만, 이 경우에도 전자 부품 냉각을 위한 인클로저 최적화는 필요합니다. Simcenter Flotherm에서 Simcenter FLOMCAD Bridge는 네이티브 CAD와 일반 CAD 중립적

파일 형식을 간소화해 가져오는 기능을 제공합니다.

Simcenter Flotherm XT의 경우 네이티브 CAD 지오메트리와 일반 CAD 중립 파일 형식을 모두 가져와 Simcenter Flotherm XT의 내장형 CAD 커널을 사용해 소프트웨어 내에서 바로 가져오기, 조작하기, 수정하기를 할 수 있습니다.

기본 설계 흐름인 MCAD와 EDA (또는 ECAD) 모두 물리적 지오메트리에 중점을 둡니다. 그 과정에서 전자 부품 설계 시 냉각 관점에서 가장 중요한 부분인 공기 간극을 간과하게 됩니다. 바로 여기서 첫 번째 핵심 고려 사항을 도출할 수 있습니다.

“열 설계는 초기에 어떤 아키텍처를 선택하느냐에 따라 성패가 좌우됩니다. 그러므로 선택 사항을 제대로 파악하고 설계 플로우 전반에 걸쳐 이를 지켜나가는 것이 절대적으로 중요합니다.”

*Ir. G. A.(Wendy) Luiten,
Thermal Specialist & DfSS
Master Black Belt*

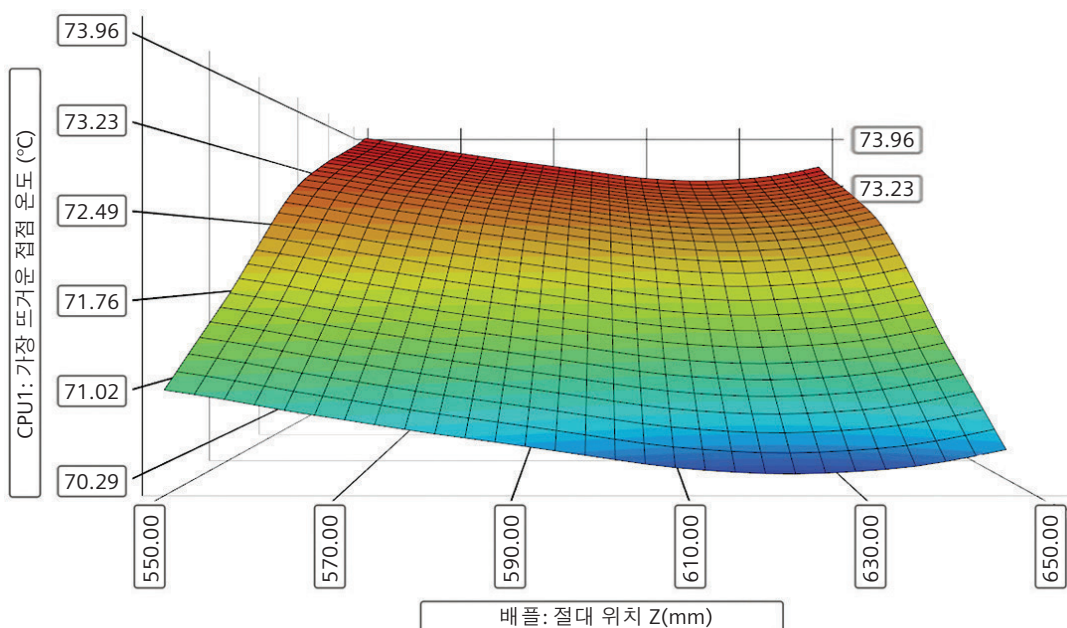


그림 2: 배플 위치에 따른 점점 온도 변화를 표시한 반응 표면

1. 설계의 주요 “공백” 보호

“공백(white space)”은 설계 내 지오메트리 사이의 모든 간극을 일컫는 말입니다. 전자 부품을 생각하는데 중요한 역할을 하지 않는 공백도 있지만, 대부분의 경우 냉각 공기가 통과할 충분한 공간을 제공하는 것은 설계에서 중요한 부분을 차지합니다. 열 설계자가 겪는 한 가지 문제점은 공기는 제품 관련 BOM에 포함되지 않는다는 점입니다. 따라서 간극은 아무런 변경 요청을 제기하지 않고도 조정할 수 있고, 심지어는 막아버릴 수도 있습니다. 꼭 이런 경우가 아니라도 설계 업무에 관여하는 다른 사람들이 얼마든지 이 간극을 채워버릴 수 있습니다. 기판이나 다른 구성 요소를 서로 연결하기 위해 케이블을 넣는 경우를 예로 들 수 있죠. “케이블 담당자를 예의주시 하라!”는 Wendy Luiten의 경고에 귀 기울여 볼 만 합니다.

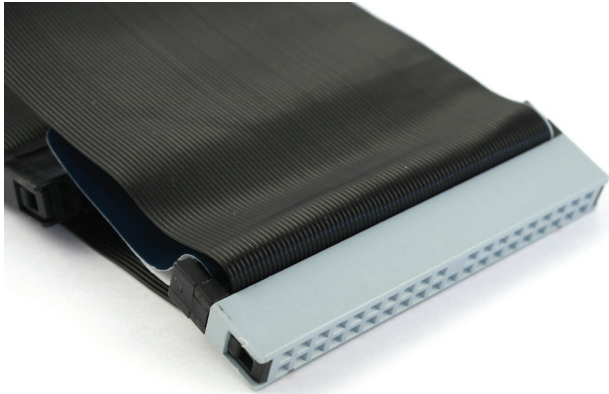


그림 3: 컴퓨터 하드 디스크 드라이브의 스트립 케이블

케이블은 간격을 모두 채우지는 않을지라도 공기가 흐름 가용 공간을 줄이고 표면적을 증가시켜 통로의 유효 유압 직경을 줄입니다. 따라서 이 통로를 통과하는 공기 유동이 줄어든고, 팬이 장착된 시스템의 경우 압력 강하량이 늘어나게 됩니다. 팬리스 시스템의 경우, 공기 덕트 내에 케이블이 있으면 그 덕트 내 흐름이 완전히 차단될 수 있습니다. 특히 스트립 케이블을 공기 유동 경로에 걸쳐 배치하면 시스템 수준 공기 유동을 방해하는 중요한 영향을 미칠 수 있으므로 열 관점에서 기판 설계를 고민할 때에는 전력 분산율이 높은 구성 요소만이 아니라 커넥터에도 주의를 기울여야 합니다.

이런 면을 확실히 통제할 수 있는 한 가지 방안은 MCAD 설계자가 중요한 공기 간극마다 더미 포함시키도록 하는 것입니다. 이렇게 하면 이 부품은 변경 요청을 하지 않고는 변경할 수 없으므로, 해당 부품을 변경하려면 승인 프로세스에 열 설계자가 관여해야 합니다.

개방형 강제 대류 시스템

개방형 시스템이 주를 이루므로 우선 개방형 시스템 설계 시 고려해야 할 주요 사항에 대해 논하고, 그 다음 폐쇄형 또는 밀폐형 시스템에 관해 논해보도록 하겠습니다.

2. 적절한 팬 유형과 크기 선택

시중에는 여러 가지 유형의 팬이 나와 있습니다. 축(axial) 방식, 원심 방식, 방사형은 물론 혼합 유동 방식의 팬도 있습니다. 유량 대비 압력 특성은 저마다 다릅니다.

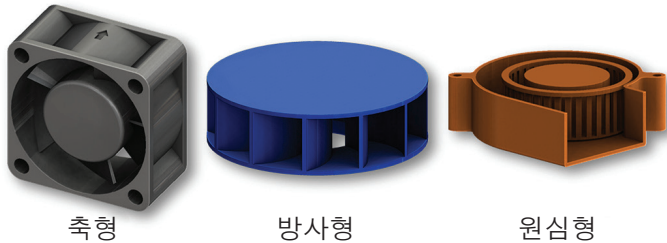


그림 4: 전자 부품 냉각에 쓰이는 보편적인 팬 유형

방사형 팬은 보통 최대 가능 수준으로 압력 상승을 발생시키지만, 그만큼 제공하는 최대 유량은 줄어듭니다.

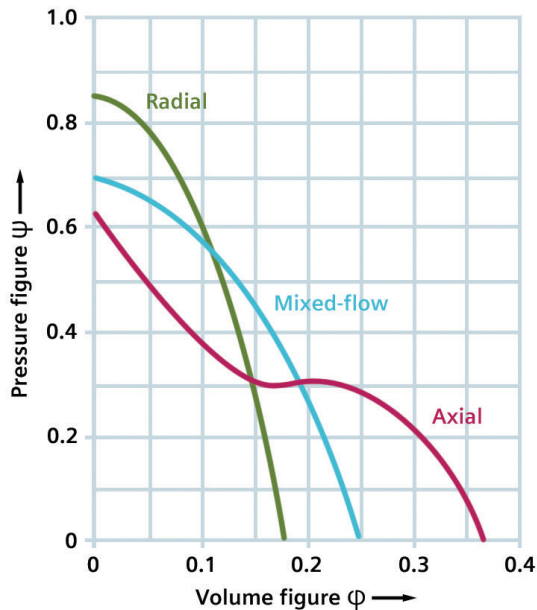


그림 5: 여러 팬 유형에 따른 정규화된 압력과 체적 유량의 차이점 비교 [참조 3]

같은 공기 유동 속도를 달성하기 위해 유량과 압력 상승 특성이 각기 다르고 공간이 허락하는 한 속도가 느리더라도 대형 팬을 사용할 것인지, 아니면 작동 속도가 빠른 소형 팬을 사용할 것인지를 선택하는 것이 문제일 수 있습니다.

작동 속도가 느린 대형 팬을 사용하는 데에도 이점은 있습니다. 유동 소음이 적게 발생하고 현장 사용 수명이 길다는 점입니다. 설계 작업 초반에 대형 팬을 사용하는 것은 보수적 대응입니다. 처음에 추산한 전력량이 알고 보니 낮은 수준이었던 것으로 드러날 위험성이 있기 때문입니다. 그럴 경우 소형 팬을 사용할 수 있는데, 그 반대의 경우는 성립하지 않을 수 있습니다. 대형 팬을 장착할 공간을 찾는 것도 문제지만, 팬 한 대에는 흡기구와 배기구 쪽에 팬 직경에 해당하는 여유 공간이 있어야 하는데 그러한 공간을 확보하기가 좀처럼 어렵다는 문제가 있기 때문입니다. 설계 목표로 삼은 전력이 예상치보다 적은 경우 나중에 팬 크기를 줄이면 되고, 아니면 크기는 같더라도 낮은 원가와 적은 전력 소모량으로 적은 유동량을 제공하는 다른 팬으로 교체하는 방법도 있습니다. 또한 아래에서 논한 것과 같은 이치로 냉각 솔루션 안에 내장 형태로 구축할 수 있는 여지도 있습니다. 물론 대형 팬의 가격이 더 비쌀 수 있으므로 비용 문제가 있고, 장비 차폐 방식에 따라 전자파 방출량(EMC)을 제어하기 어려울 수도 있습니다. 팬에 장착하는 핑거 가드를 케이싱에 접지하면 EMC 문제를 줄이는 데 도움이 됩니다.

3. 최선의 팬 유동 배열 선택

또 하나 시스템 수준 설계 시 보편적으로 고려하는 사항은 '푸시(push)' 또는 '풀(pull)' 중 어느 유형의 배열을 사용할 지 여부입니다. 즉 팬을 사용해 시스템에 공기를 밀어넣을 것인지, 시스템에서 공기를 끌어낼 것인지 중 택하는 것이죠. 일반적으로 풀(pull) 유형 배열이 가장 보편적이며, 대부분의 데스크사이드와 데스크톱, 노트북 컴퓨터에서 이 유형을 찾아볼 수 있습니다. 이 경우 인클로저에서 배기되는 팬에 의해 공기가 환기구를 통해 인클로저에서 배기됩니다.

풀 유형 배열에서는 전자 부품 (예: 보드 랙)이 일종의 유동 저항 역할을 하며 카드 슬롯을 통해 유동을 고르게 유지하는 경향을 보입니다. 맞춤 제작 시스템의 경우, 시스템에 내장되는 PCB 설계는 변하지 않지만, 각 보드에서 최상의 냉각을 달성하기 위해 보드 간격을 최적화할 수 있습니다. 각기 다른 업체가 제작하는 다양한 PCB를 내장하기 위해 제작된 모듈식 시스템이나 시스템

수명 주기 중 업그레이드 가능성이 있는 경우라면 이 방식을 권장하지 않습니다.

시스템 중에는 높은 체적 유량을 위해 푸시 앤 풀(push and pull)로 이중 배열해야 하는 것도 있습니다.

풀 유형 배열을 사용하는 경우, 시스템 내부의 정지 압력이 주변보다 낮아집니다. 따라서 시스템 내 유출이 발생하면 공기가 시스템 내로 블리딩되며 전자 부품을 우회할 수 있어 결과적으로 시스템 냉각에는 별 도움이 되지 않습니다. 이 공기는 분진과 먼지가 시스템 내로 유입되는 것을 예방하기 위해 장착한 각종 흡기구 필터도 우회하게 됩니다. 이와 반대로 푸시 유형 시스템을 사용하는 경우 공기가 밖으로 블리딩되므로, 이 경우도 시스템 냉각에는 도움이 되지 않습니다.

상세 설계 단계에서나 기존 인클로저를 개조하는 경우 그보다 이른 시기에 인클로저의 기계적 설계를 CAD 모델로 이용할 수 있는 경우 이를 활용해, 특히 케이스 접합부에 각별히 주의를 기울여야 합니다.

4. 플레넘 사용

푸시 유형 배열에서는 유입되는 공기가 자연스럽게 제트 기류를 형성하며, 제트 기류 양쪽 측면에 재순환 영역이 형성됩니다. 그러나 바람직한 형태는 유입되는 공기가 다운스트림 전자 부품 위로 균등하게 흐르는 것입니다. 특히 PCB 한 랙에 공기를 강제 주입하여 냉각하는 경우, 여러 카드 사이의 간극을 통해 공기가 균등한 비율로 유동하는 것이 이상적입니다. 유동을 더욱 균일하게 하려면 팬 하부 쪽에 압력판을 장착하는 방안이 있습니다. 단점이라면 이로 인해 전체 시스템 압력이 더 떨어지고 팬이 이를 극복해야 한다는 점입니다. 유동 저항이 심할수록 이를 통한 유량이 한층 더 균일해집니다. 따라서 유동 균일성을 늘어난 압력 강하량에 맞추고, 동시에 이를 달성하기 위해 필요한 비용을 균형 있게 조절해야 합니다. Simcenter Flotherm 및 Simcenter Flotherm XT는 둘 다 일반적인 유동 저항(Flow Resistance)과 Perforated Plate SmartParts 기능을 가지고 있어 이 작업을 지원해 줍니다.

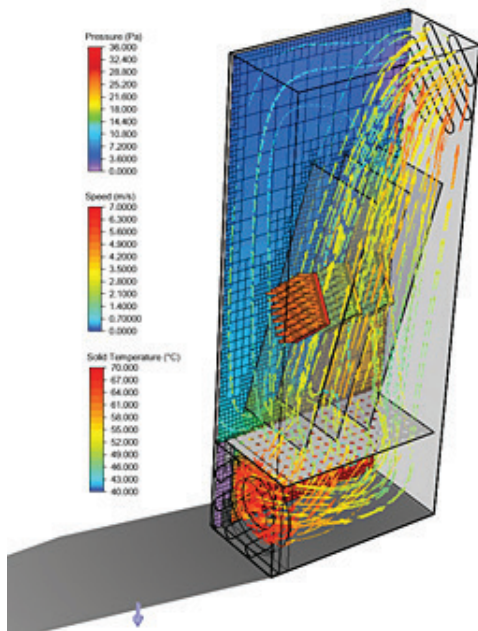


그림 6: 랙 시스템의 Simcenter Flotherm XT 내 Flow Resistance SmartPart

또 한 가지 고려해야 할 요인은 축 방식 팬이라 하더라도 비축(non-axial) 방식 유동을 발생시킨다는 점입니다. 체적 유량이 많고 압력 상승률이 낮은 경우, 축 방식 팬은 주로 공기를 축 방식으로 배출합니다. 유량이 적어지면 팬에서 나가는 방사형 및 접선 공기의 양이 늘어납니다. 플레넘 배열을 사용하지 않는 한, 이로 인해 팬 하부의 근거리장 (near field) 유동 패턴과 나아가서는 국소 냉각이 변경될 수 있습니다.

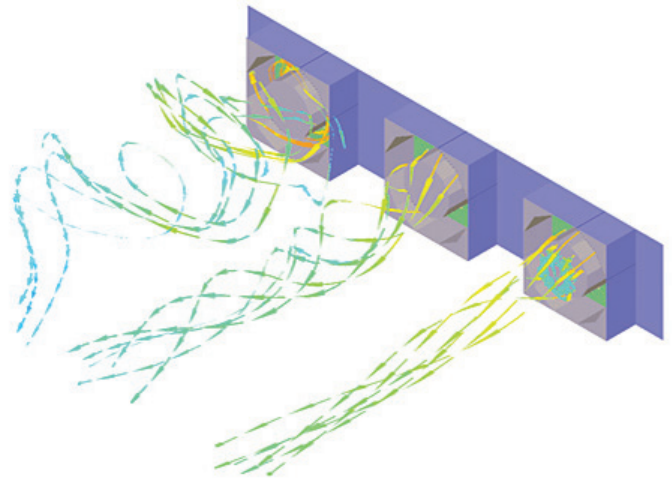


그림 7: 똑같은 팬을 서로 다른 세 가지 작동 지점에서 작동시켜 각기 다른 분산 형태를 보여주는 Simcenter Flotherm 모델

5. 올바른 환기구 크기 결정

푸시 또는 풀 유형 팬 중 무엇을 사용하든 관계없이 시스템 내로 유입되거나 시스템을 빠져나가는 공기에 대한 대응책을 마련해야 합니다. 환기구 크기는 시스템을 통과해 흐르는 공기의 체적에 영향을 미칩니다. 그리 두드러지지 않은 현상이지만 환기구 크기는 시스템 내의 유동 패턴에도 영향을 미칩니다.

환기구 크기를 결정할 때에는 팬 크기를 결정할 때와 비슷한 점을 고려해야 합니다. 환기구가 클수록 전체 시스템 압력 강하량이 줄어 시스템을 통과하는 체적이 늘어나게 됩니다. 그 양은 다른 모든 (관련) 형태의 유동 저항에 의해 좌우됩니다. 이는 또한 환기구를 통해 시스템을 드나드는 공기의 속도에도 영향을 미칩니다. 풀 유형 시스템의 경우 고속으로 유입되는 공기로 인해 발생하는 제트 효과 때문에 시스템 내에 유동 재순환 영역이 형성되어 핫스팟이 생길 가능성이 있습니다.

시스템에 환기구가 있으면 EMC 문제가 생길 수도 있으며, 이렇게 되면 환기구에 사용되는 스크린의 구멍 최대 크기가 제한될 수 있습니다. 이 스크린의 유동 저항을 감안해야 합니다. 허니콤 EMC 스크린은 우수한 차폐 성능을 제공하며, 스크린에 사용한 알루미늄 시트가 매우 얇아 차단 인수가 매우 낮으므로 개방 공간이 95%를 넘습니다. 다만 작은 직경에 이러한 허니콤 셀의 길이가 합쳐지면 기존의 드릴로 천공한 판에 비해 놀랄 만큼 높은 압력 손실이 발생하게 됩니다.

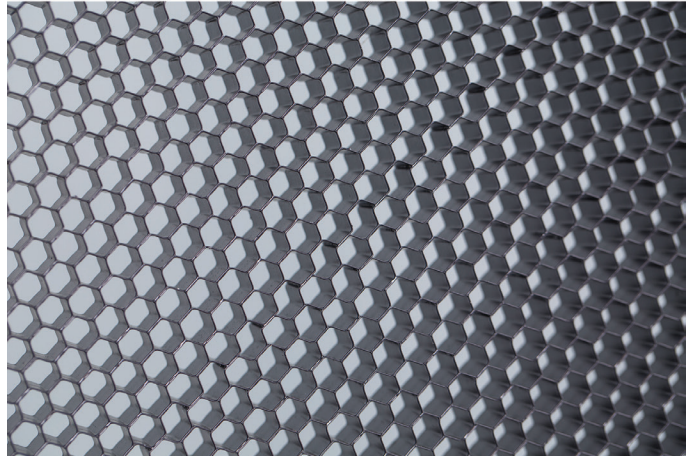
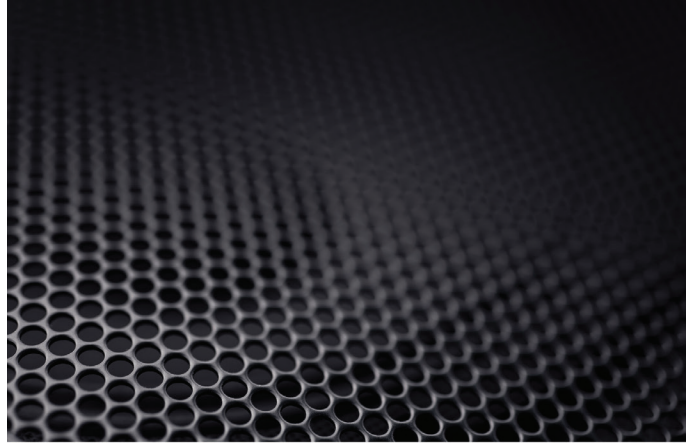


그림 8: EMC 스크린 - 기존의 드릴 천공형 판(왼쪽)과 허니콤(오른쪽)

6. 팬 및 환기구 배치 최적화

팬을 인클로저 한쪽 벽면에 배치하는 경우 (데스크톱 컴퓨터, 랙마운트 서버 등에서 전형적인 배치법), 팬 위치가 시스템 내 유동 패턴에 영향을 미칩니다. 또한 팬에 공기를 공급하는 환기구 위치도 패턴에 영향을 미치는 요인이므로, 팬과 환기구 배치를 함께 최적화하는 것이 좋습니다.

풀 유형 시스템의 경우, 배기 팬을 인클로저 상단 근처에 두면 이 팬이 시스템에서 가장 뜨거운 공기를 배출하도록 하는데 도움이 됩니다. 이는 항상 부력 효과가 있기 때문이며, 그렇지 않으면 인클로저 상단에 다량의 뜨거운 공기가 발생하게 됩니다. 반대로 푸시 유형 시스템이라면 유입 팬을 인클로저 하단 근처에 배치하여 찬 공기가 인클로저 하단에 유입되도록 보장해야 부력 효과의 힘을 빌려 이 공기가 전자 부품 위로 통과해 지나가도록 할 수 있습니다.

Siemens는 모든 시뮬레이션에서 부력을 활성화하는 것이 좋다고 봅니다. 이렇게 하면 Simcenter 소프트웨어를 사용했을 때 소요된 시뮬레이션 시간을 전혀 늘리지

않고도 최종 획득한 결과물에 한층 현실성을 더할 수 있기 때문입니다. 당연한 말이지만 이는 자연 환기식 시스템에 특히 필수적입니다. 그런 배열에서는 공기 유동을 유도하는 것이 부유성뿐이기 때문이기도 하지만, 기구 레이아웃으로는 최적의 팬 배치가 불가능한 경우에도 이것이 꼭 필요합니다. 저속 회전 팬을 엉뚱한 위치에 배치하는 바람에 우발적으로 자연 대류의 균형을 조절하고 대류 현상을 저하시킨 예가 있습니다. 그 결과 정체된 공기로 채워진 에어 포켓이 생겼으며, 이에 상응해 온도가 지나치게 높아졌습니다.

기구 배치에 주의를 기울여야 하는 또 다른 이유는 배기된 뜨거운 공기가 다시 시스템 안으로 끌려들어가지 않도록 방지하기 위한 차원입니다. 확실치 않을 경우 모델이 인근 환경의 공기 유동을 포함하도록 연장할 수 있습니다. 이것은 높이가 높은 수직 구조에도 권장하는 방식입니다. 이렇게 하면 인클로저 벽에 인접한 외부 공기의 수직적 온도 구배를 계산할 수 있기 때문입니다.

7. 보드 배치 최적화

종종 간과되는 사실이지만 인클로저 내 PCB 위치는 조정 가능합니다. 랙 시스템의 경우에는 카드 간격을 변경할 수 있다는 점이 분명하지만, 다른 시스템에서는 다소 불분명할 수 있습니다. PCB 위치를 변경하면 PCB 위아래를 지나 흐르는 공기의 양을 모두 조절할 수 있습니다. 약간의 변경으로 비용 부담 없이 냉각 성능을 개선할 수 있습니다. 보드 뒷면에서 발생하는 냉각을 늘리는 경우를 예로 들 수 있죠. 이것은 PCB의 리딩 에지가 팬이나 환기구 주변 근거리장 유동과 상호작용 하면서 발생하는 것일 수 있습니다.

개방형 자유 대류 시스템

자연 대류 시스템은 디지털 TV 셋톱 박스부터 랙 시스템에 이르는 등 다양하며 기존의 통신 랙도 여기에 속합니다. 자연 환기식 시스템의 경우, 대류 냉각은 시스템 내의

공기가 점점 뜨거워져 주변 공기보다 가벼워지면서 생기는 부력에 의해 발생합니다.

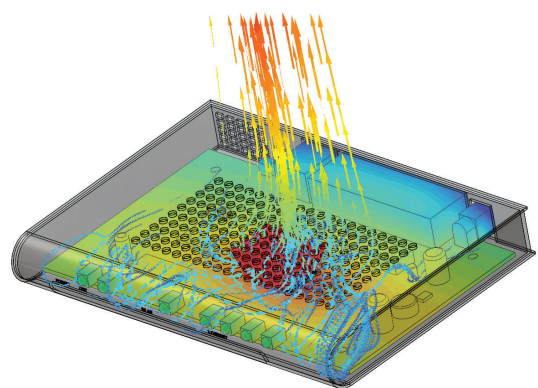


그림 9: Simcenter Flotherm XT 라우터 모델에서 부력으로 유도된 공기 유동

8. 신중한 환기구 설계

원활하고 균일한 공기 유동은 우수한 설계를 완성하는 비결이며, 환기구 그릴의 상세 설계에 특히 주의를 기울여야 전자파 적합성과 내성(EMC/EMI) 수준을 그대로 유지하면서 압력 손실을 최소화할 수 있습니다.

유입구 환기구 그릴을 설계하려면 공기가 환기구에 접근하는 방식을 고려해야 할 때가 많습니다. 즉 솔루션 영역이 인클로저를 넘어 유닛의 장착 표면까지 포함하여 확장되어야 한다는 뜻입니다.

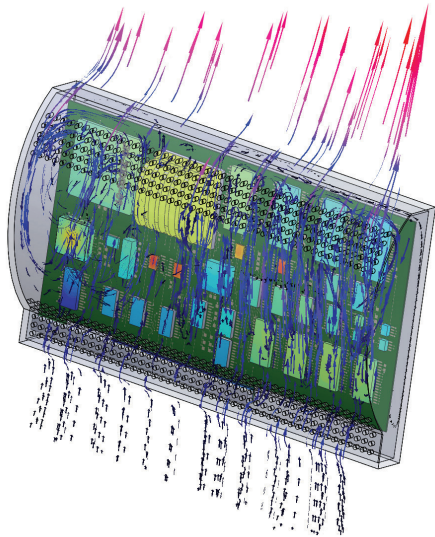


그림 10: 자연 환기가 되는 벽 장착식 전자 시스템에 최적화된 환기구 배열 형태를 보여주는 Simcenter Flotherm XT의 유동 분산도

또한 위치와 개방 공간은 자연 대류식으로 생각되는 시스템에겐 특히 중요한 요소입니다. 공기 유입구를 낮은 곳에, 공기 유출구를 높은 곳에 배치하고 개방 공간은 양쪽 환기구에서 대략 같은 크기로 하며, 시스템 전체를 통과하는 유동 경로를 따라서도 개방 공간이 있어야 합니다.

폐쇄형/밀폐형 시스템

소형 밀폐 시스템에서 인클로저 크기는 냉각 성능에 영향을 주는 중요한 매개변수입니다. 대형 밀폐 시스템에서는 내부 열 교환기를 통해 공기를 재순환시키기 위한 용도와 같이 팬을 사용할 수 있습니다. 밀폐 시스템 내에서 팬 사용을 고려할 때는 팬 자체 및 전원 공급 장치에 대한 추가 전력 소비로 인해 시스템에 열이 추가된다는 것을 고려해야 합니다. 따라서 팬을 추가함으로써 발생하는 냉각 성능의 향상 효과가 추가적인 냉각 요구치보다 커야 합니다.

9. 인클로저 열 전도 효과 유념

인클로저로의 전도 방식은 일부 완전 밀폐 시스템 (예: 항공전자 장비 및 스마트폰 등)의 냉각 방식으로 주로 사용될 수 있습니다.

이 경우 케이싱에서 열을 어떻게 제거할 것인지 고민을 해봐야 합니다. 열이 궁극적으로 시스템을 빠져나가는 유일한 방법은 주변 공기로 자연 대류되거나 사람의 손으로 열이 전도되는 경우에 국한됩니다. 두 경우

모두에서 열을 가급적 널리 분산시켜 케이싱의 표면적을 최대한 활용하는 것이 매우 바람직하다 할 수 있습니다. 따라서 케이싱은 가급적 열 전도성이 높은 것이 좋습니다. 그래야 히트싱크와 같은 방식으로 뜨거운 면적이 확장되기 때문입니다.

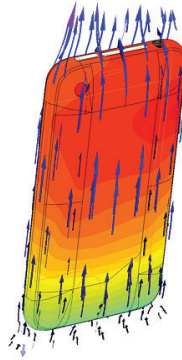


그림 11: Simcenter Flotherm XT로 모델링한 스마트폰 모델의 케이스 온도 및 부력으로 인한 공기 유동

케이싱에서의 열 손실을 줄일 수 없으며 그와 동시에 핫스팟 현상도 발생한다면 접촉 온도의 안전 한도로 인해 문제가 발생할 수 있습니다 [참조 4]. 전도성 케이싱 외에 초소형 히트 파이프와 그래파이트 박편 히트 스프레더도 이 목적으로 사용할 수 있습니다. 그래파이트 박편을 이용하면 EMC 스크리닝을 제공한다는 추가적인 이점도 얻을 수 있습니다.

시스템 수준 냉각 솔루션의 일종으로 PCB를 외부에서 냉각된 저온 벽(cold wall)에 클램프로 고정하는 웨지록으로 열을 보내기 위해 전도 레일을 사용하는 방법도 있다는 점을 언급해야 하겠습니다. 이는 러기다이즈드 (ruggedized) 처리한 인클로저의 일부분으로 탑재할 수 있으며, 이렇게 하면 보드 탑재 시 기계적인 안정성도 제공됩니다. 이 방식은 밀폐형 항공전자 장비와 같은 특정 유형의 시스템에만 적용되지만, 다른 시스템에도 이 방식이 적용 가능한 경우가 있습니다. 예를 들어 케이싱 자체를 냉각 솔루션의 일부분으로 사용할 수 있는 경우죠. 예를 들어 보드에 탑재된 부품 상단과 금속재 인클로저 사이에 갭 패드를 끼워 넣으면 추가로 히트싱크 기능을 제공할 수 있습니다.

10. 내부 히트 스프레더 필수 사용

전도와 관련해 유의해야 할 마지막 포인트는 내부에서 히트 스프레더를 사용하는 것입니다. 시스템 유형에 따라 내부 히트 스프레더로 냉각 성능을 높일 수 있는 경우가 있습니다. 이러한 스프레더는 PCB 구조의 일부분으로 기계적으로 단단하게 통합할 수도 있고 (예: 메탈 코어 PCB(MCPCB) 등), PCB나 메모리 모듈의 상단 또는 뒷면 중 한쪽에서 열을 분산시키는 기계적으로 분리된 시스템 수준 냉각 솔루션으로 적용할 수도 있습니다. 이러한 솔루션은 보통 처음부터 설계에 반영하는 경우가 많습니다.

선택할 수 있는 재료는 다양합니다. 그래파이트 박편, 고지향 열분해 그래파이트(Highly Oriented Pyrolytic

Graphite, HOPG), 각종 세라믹, 실리콘 카바이드(SiC)는 물론 평면 히트 파이프 구조 등도 가능합니다. 재료와 공정 비용은 저마다 크게 다르며, 내부 히트 스프레더를 사용한 효과를 제대로 발휘하려면 열이 히트 스프레더로 효율적으로 전도돼야 하기 때문에 조립 비용이 추가되는 문제가 있습니다. 히트 스프레더를 사용하는 것은 열 성능을 개선하는 단순한 수단이 될 수 있으나, 이 방법이 가진 장점과 다른 옵션의 장점과 비교해 가늠해 볼 필요가 있습니다.

11. PCM (위상 변화 재료_x001F_)_x001E_ 활용도 파악

PCM은 열 설계자의 톨세트에 비교적 새롭게 추가된 방법입니다. 이는 비교적 좁은 온도 범위 내에서 고체에서 액화되면서 열을 흡수하므로, 고체가 모두 액화될 때까지 온도 상승 폭을 제한하는 효과가 있습니다. PCM은 최초의 Intel Pentium 프로세서에 사용됐을 정도로 오래 전부터 히트싱크 부착을 위한 열전달물질(TIM)로 사용되어 왔습니다. 하지만 최근에는 휴대전화로 영상 보기와 같이 순간 전력 소모가 많은 용도를 감안해 설계해야 하는 분야에서 주로 애용됩니다. PCM을 사용하면 열 분산을 관리하기 위해 성능을 저하해야 하는 시점을 늦출 수 있습니다. 전력량이 줄어들면 온도가 떨어지고, 위상 전환 범위에 도달하면 PCM이 다시 고체화되기 시작하며 저장된 열을 방출합니다. PCM은 일반적으로 백 (bag) 안에 들어 있어 백에 담긴 그대로 캐비티에 넣으면 캐비티 모양대로 바뀌기 때문에, 전자부품과 접촉 수준이 높고 경우에 따라서는 인클로저와도 잘 접촉되어 열 방출 현상에 도움을 줍니다. 참조 5는 노트북 컴퓨터의 기존 설계에 PCM을 넣으면 어떤 결과를 얻을 수 있는지 알아본 연구 자료입니다.

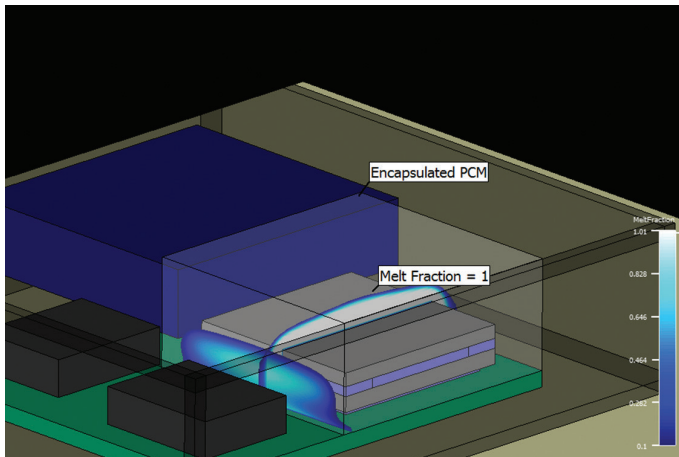


그림 12: 패키지로 가열한 캡슐형 위상 변화 재료에서 나타난 용해 부분

전자부품 냉각 CFD를 이용해 트랜지언트 시뮬레이션에서 PCM을 모델링하기는 비교적 쉽습니다. 이는 열 설계자들 구조 설계 단계를 진행하면서 이 부분을 냉각 솔루션 일부로 포함시킨 후 나중에 설계를 최적화하는 것이 좋을지 여부를 결정하는 데 도움이 됩니다. PCM은 재료 자체의 열 전도성이 비교적 낮은 편이기 때문에 이를 이용하려면 히트 스프레더가 필요합니다. 위상 변화를 도입하면 인클로저 내에 온도 상승에 한계가 생기며, 열 흐름 경로도 바뀔 수 있습니다. 따라서 PCM을 투입한 후의 온도 상승 정도는 PCM을 포함하기 전과 다를 수 있습니다.

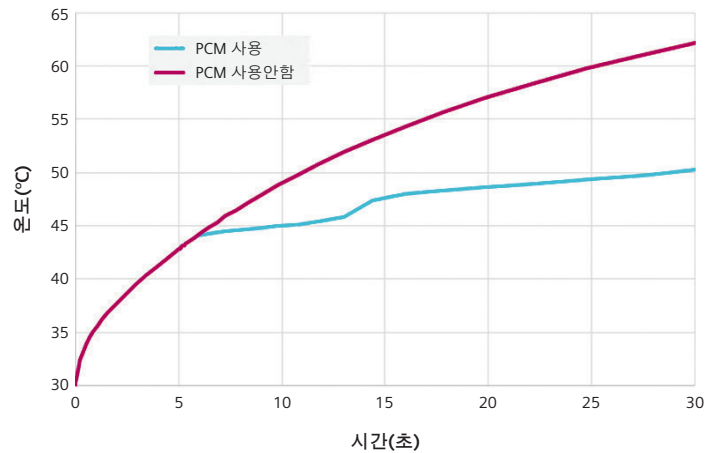


그림 13: PCM 사용 여부에 따라 달라지는 시스템 구성요소 온도 상승폭

12. 열 복사 효과 포함

설계 초반부에는 열 복사 효과를 간과하기 쉽습니다. 이는 보수적인 가정인데다 모델 성능 면에서 부가적 연산 제조간접비를 보장할 만큼 충분히 정확한 표면 온도가 제공되지 않는 일이 빈번하기 때문입니다. 복사열 손실이 중요하다고 여겨지는 경우, 그 효과를 대류열 전이 계수의 증강 형태로 나타낼 수 있습니다. 즉, 방사율이 높은 (예: 0.8 이상) 재료의 경우 계수가 약 $5\text{W/m}^2\text{K}$ 가량 늘어나게 됩니다. 이는 자연 대류의 열 전달 계수와 정도(자릿수)가 같으므로, 자연 대류식 냉각 제품의 경우 설계 초기 단계에 열 복사를 포함하는 것이 좋습니다.

상세 설계 단계에서는 복사 효과를 감안해야 전반적인 설계 과도 현상과 문제 발생을 방지할 수 있습니다. 예를 들어 한 가지 보드에서 온도에 민감한 부품이 인접한 PCB의 부품 중 전력 분산율이 높은 품목에서 복사되는 열로 인해 가열될 수 있습니다. 복사는 자연 대류가 냉각에 중요한 기여를 하는 경우 특히 중요합니다. 예를 들어 자연 대류 방식으로 냉각되는 랙 시스템의 경우, 보드-보드 복사와 서브랙 사이드 패널로 전달되는 복사열은 랙 전체를 가로질러 온도 변화를 대폭 줄여 중앙에 위치한 보드의 냉각 시스템이 과설계되지 않도록 방지해 줍니다.

표면 방사율이 열 손실에 영향을 미치며, 금속재 인클로저의 경우 시뮬레이션 결과의 감도를 테스트해 인클로저 내부를 코팅하거나 도장할 가치가 있을지 알아보는 작업도 시도해 볼 만 합니다. 한 가지 예를 들면, 자동차 전자 제어 장치(ECU)의 알루미늄 하우징 내부를 도장 처리하면 구성 요소 온도가 최대 7°C 낮아지므로, 추가적으로 발생하는 비용에 정당성이 생깁니다.

이 시점에서 태양열 복사에 대해서도 언급해야겠습니다. 햇빛에 노출된 옥외용 장비의 경우 태양열에 의한 시스템 가열은 큰 난제입니다. 전자 제품을 햇빛의 가열 효과로부터 보호하려면 외부 보호를 이중적으로 설계해 관리 가능한 환기 기능에 가열 기능까지 더해 결빙 방지 예방 기능까지 겸비해야 합니다. 이런 목적으로 특수 제작한 캐비닛이 출시되어 있습니다. 이 경우 인클로저의 색상도 중요하다는 점을 알아두어야 합니다. 색상이 태양열 흡수율에 영향을 미치기 때문입니다.

13. 인클로저와 전자 부품 공동 설계

본 백서에서는 인클로저 설계와 관련된 설계 작업에 대해 논해보았습니다. 아직 전체적인 제품 설계 과정의 맥락에서 작업을 실시하는 것에 대해서는 다루지는 않았습니니다.

개념 설계에서는 인클로저를 매우 단순한 형태로 나타내는 것이 다지만, 반대로 그 외 설계 측면에서는 제약이 거의 없으니 설계, 제조 및 운영 비용이 적고 열 효율성이 대단히 우수한 인클로저를 설계할 수 있는 가능성의 폭이 매우 넓습니다.

Simcenter Flotherm의 Command Center를 사용하면 설계 초기 단계부터 간편하게 설계 공간 탐색을 실시할 수 있습니다. 열 엔지니어는 설계 공간을 완벽하게 이해해 정보에 입각한 설계 관련 결정을 내릴 수 있습니다. Command Center에 자동 설계 자동화 툴을 구현해 제품의 여러 측면을 체계적으로 개선할 수 있습니다.

인클로저 설계는 설계 세부 사항이 CAD 시스템에 입력됨과 동시에 열 모델에서도 업데이트가 이뤄져야 하며, 이후에도 CAD 지오메트리 데이터가 업데이트되는 속도에 맞춰 업데이트 되어야 합니다. 그래야 전체적인 열 설계에 부정적인 영향을 미치는 것을 미연에 방지할 수 있습니다. 시스템 수준 모델은 PCB 레이아웃이 변경되거나 각종 부품의 히트싱크 배열이 달라지거나, 부품 전력에 대한 정보가 바뀌면 언제든지 다시 실행해야 합니다. 이때 목표는 시스템의 열 모델을 주 MCAD 및 EDA 설계 흐름이 보유한 설계 정보와 동일하게 유지하는 데 있습니다.

“Command Center는 제 설계가 그저 괜찮은 수준이 아닌, 현 상황에서 할 수 있는 최선의 설계라는 점을 확인하기 위해 수많은 가상 시나리오를 실행하는 과정에서 없어서는 안 될 중요한 툴의 역할을 합니다.”

*Ir. G. A. (Wendy) Luiten,
Thermal Specialist & DfSS
Master Black Belt*

14. 냉각 정보 데이터를 이용한 설계

시스템에 사용할 냉각 솔루션 설계 시, 최대 열 부하에 기반하는 방식은 실효성도 없고 비용적으로 효율적이지도 않은 경우가 점차 늘어나고 있습니다. 예를 들어 멀티코어 컴퓨터와 서버의 경우 작업 부하가 비교적 낮은 작동 상태일 때 전력을 거의 쓰지 않도록 설계되어 있어 이 시간 중에는 냉각 기능을 낮춰놓아도 됩니다. 이는 열 설계 측면에서 기회인 반면 난제이기도 합니다. 냉각 성능이 시스템 성능과 직결되기 때문입니다.

냉각 정보를 통합하면 우수한 전자 부품 냉각 솔루션의 중요성의 비중을 한층 높일 수 있습니다. 부적절한 냉각 솔루션은 초반부터 스로틀링을 유발하므로 기능적 성능에 직접적인 타격을 줍니다. 이와 같은 성능 저하는 일부 제품 사용자에게 부정적인 경험을 가져다 줍니다. 작동 지점과 사용 사례의 연관성을 파악해 이 현상의 발생 빈도와 실제 발생 시 제품 사용성에 미치는 영향을 파악하기란 어렵습니다.

설계 초기에는 대표적으로 Thermal Design Power를 사용할 수 있습니다. 이를 활용해 앞서 언급한 대로 냉각 솔루션의 여러 측면을 알아보기 위해 정상 상태 계산을 사용할 수 있습니다. 그러나 상세 설계 단계에서는 여러 다른 사용 사례를 고려해야 할 수도 있습니다. 저마다 중요 부품에 대한 전력 수준도 다르고, 경우에 따라서는 패키지 처리된 다이 표면에서도 서로 다른 전력 분포도를 나타내기도 합니다 (예: 전력 밀도가 높은 모바일 애플리케이션).

할 일은 냉각 솔루션을 다양한 사용 사례에 맞춰 최적화하고, 냉각이 필요한 여러 전력 수준에 맞춰 변용할 수 있도록 냉각 솔루션을 설계해 냉각 솔루션이 필요로 하는 전력을 최소화하는 작업입니다. 아주 단순한 사례로는 팬을 저속으로 정상 작동시키면서 부품 온도가 미리 정의한 값을 웃돌면 팬 속도를 높이는 경우를 예로 들 수 있습니다.

Simcenter Flotherm에는 설계 변형을 실행하는 기능이 있으며, 온도가 제어되는 가변 속도 팬과 같은 동적인 냉각 솔루션으로 시스템을 시뮬레이션하는 기능도 있습니다. Command Center는 온도 및 냉각 정보, 시스템 성능 간 전달 함수를 결정하는데 필요한 다양한 가상 시나리오를 실행할 수 있는 유용한 툴입니다. 이를 활용해 최종 고객의 기대에 부합하는 작동 지점에 맞게 설계할 수 있습니다.

결론

본 백서는 인클로저 열 설계 시 고려해야 하는 핵심 사항을 자세히 소개하는 완벽 가이드를 제공합니다. 인클로저 수준 열 설계 담당 설계자를 위해 Simcenter는 다양한 열 설계 소프트웨어를 제공하며, 자체 열 설계 워크플로우와 공급망 수요에 가장 적합한 제품을 선택할 수 있습니다.

감사의 말

Dr Ian Clark, Simcenter Flotherm Product Line Director
John Wilson, Simcenter Flotherm Product Specialist
Ir. Wendy Luiten, Principal at Wendy Luiten Consultancy
Byron Blackmore, Simcenter Flotherm Product Manager

참조

1. John Parry, Robin Bornoff and Byron Blackmore, "Move your thermal strategy for air-cooled electronics up in the design flow", Engineering Essentials Series, ED Online 21417, 2009.
www.electronicdesign.com.
2. Tony Kordyban, "Hot air rises and heat sinks", ASME Press, 1998.
3. Dr. Ing. Walter Angelis, "General aspects on fan selection and layout", Electronics Cooling Magazine, May 2001.
<http://www.electronics-cooling.com/2001/05/general-aspects-on-fan-selection-and-layout>
4. Divak MP, "Surface temperatures of electronics products: appliances vs. wearables", Electronics Cooling Magazine, September 2016.
<https://www.electronics-cooling.com/2016/09/surface-temperatures-of-electronics-products-appliances-vs-wearables>
5. William Maltz, Darryl Moore and Arun Raghupathy, "Application of phase change materials in handheld computing devices", Electronics Cooling Magazine, 07 July 2016.
<https://www.electronics-cooling.com/2016/07/application-of-phase-change-materials-in-handheld-computing-devices>
6. Thermal design power
https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_design_power

Siemens PLM Software

본사

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 972 987 3000

미주 지역

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 314 264 8499

유럽 지역

Stephenson House
Sir William Siemens Square
Frimley, Camberley
Surrey, GU16 8QD
+44 (0) 1276 413200

아시아 태평양 지역

Suites 4301-4302, 43/F
AIA Kowloon Tower,
Landmark East
100 How Ming Street
Kwun Tong, Kowloon
Hong Kong
+852 2230 3333

Siemens PLM Software 소개

Siemens Digital Factory Division의 사업부인 Siemens PLM Software는 산업 디지털 혁신을 주도하는 선도적 글로벌 소프트웨어 솔루션 제공업체로, 제조사가 혁신을 실현할 수 있는 새로운 기회를 창출합니다. 미국 텍사스주 플라노에 본사를 둔 Siemens PLM Software는 규모를 막론한 기업과 협력해 아이디어 실현 방식, 제품 구현 방식, 제품과 자산을 사용하고 파악하는 방식을 혁신하도록 지원합니다. Siemens PLM Software 제품과 서비스에 대한 자세한 내용은 www.siemens.com/plm에서 확인하시기 바랍니다.

www.siemens.com/plm

© 2018 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Siemens 및 Siemens 로고는 Siemens AG의 등록 상표입니다. Femap, HEEDS, Simcenter 3D 및 Teamcenter는 미국 및 기타 국가 소재 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 또는 그 자회사의 상표 또는 등록 상표입니다. Simcenter, Simcenter Amesim, LMS Samtech Samcef, LMS Samcef Caesam, Simcenter SCADAS, Simcenter Testxpress, Simcenter Soundbrush, Simcenter Sound Camera, Simcenter Testlab, LMS Virtual.Lab, Simcenter FLOEFD, Simcenter Flomaster, Simcenter Flotherm, Simcenter MAGNET 및 Simcenter T3STER은 Siemens Industry Software NV 또는 그 자회사의 상표 또는 등록 상표입니다. Simcenter STAR-CCM+ 및 STAR-CD는 Siemens Industry Software Computational Dynamics Ltd.의 상표 또는 등록 상표입니다. 기타 모든 상표, 등록 상표 또는 서비스 마크는 해당 소유자에 귀속됩니다.

74414-A8 10/18 H