

컴퓨터와 냉각 기술

서민환·잠만테크(주) 기술연구소, 소장

e-mail : mwseo@zalman.co.kr

이 글에서는 컴퓨터의 발전과 더불어 대두되고 있는 냉각 문제에 대하여 제시하고 그에 따른 수냉 등의 각종 냉각 기법의 응용을 제시하고자 한다.

현대 컴퓨터의 기원은 1946년에 완성된 최초의 대형 전자식 디지털 컴퓨터인 에니악(ENIAC)에서 비롯되었다. 초기 에니악은 1만 8,000여 개의 진공관을 사용하여 제작되었고, 80톤이나 되는 고가의 거대한 계산기에 불과하였다. 그 후 진공관 대신 트랜지스터를 사용하여 규모의 축소와 소모 전력의 감소로 처리 속도나 신뢰성을 확보하였으나 이용 기술 측면에서의 개발 및 대량 생산화는 1960년도 중반 이후 제3세대에서 이루어졌다. 집적회로와 반도체 등을 이용한 소형화, 고속화, 대량 생산화는 물론 소프트웨어의 중

요성도 대두되면서 운영 체제의 기능이 충실해지고, 응용 소프트웨어의 패키지가 급속도로 증가하면서 컴퓨터의 이용률이 증가하였다. 1970년대 중반 이후 집적회로의 집적도가 더욱 고도화되고 논리 회로의 소자로서 고밀도 집적회로가 사용되었고 주기억장치로 반도체 기억 소자가 널리 사용됨으로써 기억용량 역시 확대되었다. 그에 따라 입출력 장치의 다양화와 각종 이용 기술 측면에서의 데이터베이스 관리 시스템, 워드 프로세싱 시스템 등의 빠른 발전에 힘입어 이용 분야가 광범위해지면서 이용 인구 역시 급격한 증가를 이루었다.

현재 컴퓨터는 “현대 과학 문명이 컴퓨터와 함께 진화했다”라는 말이 과언이 아닐 정도로 컴퓨터는 인간이 살아가는 데 밀접한 관련을 맺고 있으며 동시에 하나의 패러다임을 형성할 만큼 크나큰 독자적인 영역을 구축하고 있다. 이렇게 현 인류의 생활과 발전에 없어서는 안 될 필수품으로 떠오른 컴퓨터는 1990년대 중반 286과 386, 486칩에 이어 후속으로 인텔사에서 개발된 32비트급 CPU가 컴퓨터 시장에 본격적으로 적용된 이후 쿨링에 대한 문제가 등장하기 시작하였다. 즉 40W급의 CPU가 적용되면서 CPU 냉각용 히트싱크

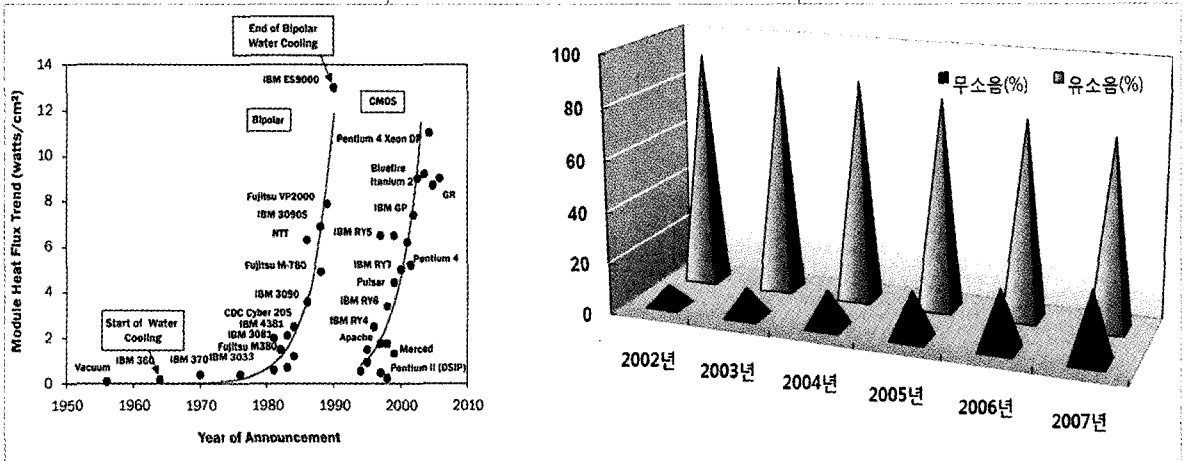


그림 1 열밀도 상승 경향과 유·무소음 시장 점유 현황 변화

가 적용되었고 이를 시작으로 급속한 CPU의 고집적, 고밀도화가 이루어짐에 따라 그에 따른 냉각 문제는 급격히 심화되었으며 동시에 최근에는 이러한 쿨링 문제 해결에 따른 쿨러의 구동 소음 문제가 동시에 인식되기에 이르렀다. 그에 따라 일부 매니아 층에서만 문제시 되었던 컴퓨터 발열문제는 소음문제와 함께 이를 이용한 컴퓨터 비즈니스 영역으로까지 확대되었으며 그에 따른 새로운 소비 시장을 창출하고 저가형이라는 일반 시장과 차별화된 프리미엄 시장이라는 독자적인 시장을 갖추어 가기 시작했다.

CPU 발열 문제와 소음 문제의 대두

인텔의 창립자의 한 사람인 고든 무어는 1965년 “매 2년마다 CPU(Central Processing Unit)의 성능과 발열은 2배씩 증

가한다”고 주장했다. '90년대 이전만 해도 그의 발언은 그리 신뢰성이 없었으나 현재는 그의 발언이 절대적으로 인정받아 ‘무어의 법칙’으로 통용되고 있다. 현재 반도체 시장에서는 이러한 법칙의 한계는 새로운 반도체 집적 기술이나 소재의 개발로 인하여 더욱 가속화될 것으로 전망하고 있다. 인텔사는 향후 10년간은 혁신적인 기술 도입으로 지속적인 반도체의 고집적화가 이루어질 것이고 그 이후 새로운 반도체 소재의 개발이 이루어질 것으로 예측되고 있다. 한편 CPU의 급격한 성능 향상과 함께 발열량의 증가와 전력 소모량 증가라는 부작용을 함께 해결하기 위한 대안으로 인텔과 AMD 사는 멀티코어 방식을 채택하여 적용하고 있으며 지속적인 저발열 CPU 개발에 총력을 다하고 있다. 그러나 이미 64비트급 컴퓨터 제작 시에 냉각장치의 적용은 당연한 작업

으로 여겨지게 되었고 현재는 또 다른 컴퓨터 하드웨어인 그래픽 카드의 GPU와 메인 보드의 칩셋에서의 발열량 역시 시스템 작동에 심각한 위협을 주는 수준에 도달하여 이제 컴퓨터의 냉각 문제는 한 요소 부품의 문제가 아닌 전체 시스템의 문제로 확대되어 있는 실정이다.

이러한 CPU의 발열 문제는 1990년에 386SX칩의 작업 중 발열량이 1W로 미미했으나 1992년 486SX는 5W, 1994년 486DX는 8W 등으로 점차적으로 증가하였다. 그러나 1996년 32비트급, 펜티엄칩의 출현으로 15W로 증가한 뒤 1998년 펜티엄 II는 40W를 돌파하였고, 2000년에 출시된 펜티엄 IV 1.5기가 칩은 50W를 웃돌았으며 2004년에 출시된 인텔 프레스캣 CPU는 100W, 스미스필드의 경우 120W가 넘는 엄청난 발열을 보인다. 컴퓨터에서 발열 문제가

이슈화되는 이유는 CPU 즉 반도체가 저온이나 상온에서는 전류를 차단하거나 정류작용을 원활하게 하지만, 온도가 증가할수록 자유전자의 이동이 활발한 도체 성질을 지니게 되기 때문이다. 이렇게 온도 증가로 인해 도체 성질을 지니게 된 반도체는 과도한 전류가 발생하게 되고, 그에 따라 동작이나 연산 속도를 저하시키거나, CPU 및 메인보드 수명단축 및 다운현상을 유발하게 된다. 따라서 이러한 시스템 장애의 문제를 극복하기 위해 필수 불가결한 문제가 콜러나 쿨링 시스템 구축과 같은 쿨링 솔루션의 개발로 이어졌다.

초기의 펜티엄 II에서 일반 히트싱크 부착형에서 시작하여 히트싱크에 팬을 부착하여 어느 정도 적용되다가 최근에 이르러서는 일반적인 히트싱크와 팬의 조합으로는 고성능 CPU의 발열을 해결할 수 없다는 결론에 도달하였고, 이에 대한 대안으로서 히트파이프, 수랭, 펠티어 소자, 상변화 방식 등 다양한 신개념의 쿨링 솔루션이 등장하고 있으며, 이러한 방식들은 현 컴퓨터 시장에서뿐만 아니라 총체적인 반도체 냉각 시장에서 하나의 비즈니스로서의 영역을 확고히 구축한 상태이다. 이외에도 차세대 콜러를 자처하는 새로운 방식의 쿨링 개념이 도입이 되고 있으나 아직 완전한 검증을 받지 못하고 있으며 열역학적인 측면에서도 현재

개발된 쿨링방식 이외의 대체 솔루션을 기대하기에는 아직 많은 난관이 기다리고 있다.

컴퓨터 발열량 증가라는 문제는 또 다른 소음이라는 문제를 야기하였다. 100W급 이상의 CPU 쿨링을 위해서는 신개념의 열전달기기의 도입은 물론 기존 히트싱크의 방열 면적 최적화와 열전달 매체(물, 공기) 유동량 증가라는 두 가지 기본적인 해법은 당연하게 요구된다. 따라서 열전달 매체의 유동 증가를 위한 팬의 부착 및 회전속도 증가나 펌프의 부착 등의 결과로 인한 구동기기의 소음이 발생하게 된다. 초기 저발열에서의 유량 증대 기기의 필요성이 없거나 혹은 유동량의 극대화 등의 방편은 필요 없었기 때문에 기기 구동에 따른 소음이나 시스템 내의 발열에 따른 팬 부착 등에 의한 소음은 찾아보기 힘들었으나 최근 CPU의 발전과 더불어 내부 하드웨어의 추가적인 발전에 따라 팬 등의 크기나 수량, 유동량 등의 냉각 성능에 비례되는 부분의 증가가 급속도로 이루어짐에 따라 그로 인해 야기되는 소음의 크기도 같이 증가하였다. 그로 인해 무소음이라고 하는 컴퓨터 쿨링 솔루션에서의 새로운 패러다임을 형성하며, 그에 따른 시장의 규모는 점차적으로 증가하고 있는 추세를 보이고 있으며 특히 최근의 경우와 같이 컴퓨터의 업무용이나 개인용이라는 국한적인 개념

을 벗어나 멀티미디어 기능이나 홈 PC, 더 나아가 유비쿼터스라는 개념으로의 영역 확대에 힘입어 기존의 저가의 컴퓨터 시장에서 저소음, 고효율, 초슬림 등의 프리미엄급 컴퓨터 시장의 새로운 형성과 더불어 영역을 확고히 다져 나갈과 동시에 시장의 이동이 저,무소음 시장으로의 점차적인 증가가 뚜렷하며 향후 10년 이내에 유소음 쿨링 시스템 시장을 앞지를 것으로 예상됨에 따라 새로운 쿨링 솔루션의 요구가 더욱 증가되고 있다.

냉각 기법의 발전

1) 공기 냉각 기법

가장 많이 사용하고 있는 쿨링 방식으로 히트싱크와 냉각팬이 합쳐진 강제 대류 공기 유동 냉각 방식이다. 컴퓨터나 CPU 구입 시에 제공되는 기본적인 콜러로서 이는 적은 제작비로 큰 효과를 낼 수 있다는 장점 때문에 대부분의 OEM 업체에서 취급되는 쿨링 방식이며, 공랭식에 사용되는 팬은 크게 슬리브베어링 방식과 저소음의 유체베어링 방식으로 나뉜다. 무엇보다도 공랭 기법의 핵심은 히트싱크의 방열 능력에 있다. 그 성능을 극대화함에 있어서 크기도 중요하지만 재질과 방열 면적 그리고 팬과의 조합이 복합적으로 고려되며 방열판의 재질로는 알루미늄과 구리 등이 주로 사용된다. 이론상 구리

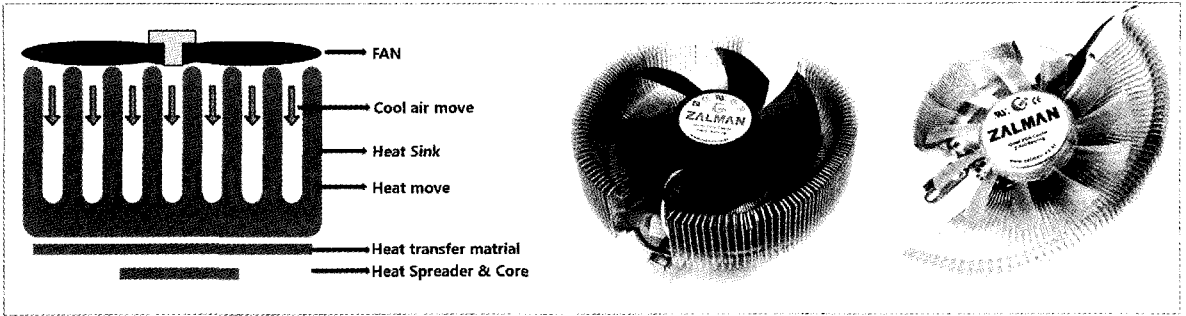


그림 2 공랭기법의 원리(CPU(VGA 공랭 냉각기))

재질이 알루미늄에 비해 뛰어난 열전도 능력에 의한 방열이 가능한 것으로 알려져 있으나 히트싱크의 성능은 각 제조사의 설계 방식과 재질 혼합방식 그리고 팬 장착 유무 등에 따라 얼마든지 달라질 수 있다. 오히려 은과 구리는 경제성과 부식성, 낮은 기계적 강도 등의 이유로 전신성이 우수한 알루미늄만큼 많이 사용되고 있지는 않다. 이러한 히트싱크의 가장 큰 역할은 발열 표면적이 작은 발열체로부터 발생하는 열을 전달받아 골고루 방열판 전체로 분산시켜 공기 중으로의 방열이 가능하도록 하는 것이다. 이러한 효과를 향상시키기 위해 표면적은 넓어야 하며, 공기 유동 통로가 확보되는 구조여야 한다. 즉 넓은 방열 면적과 적절한 유동 통로의 구조를 가지는 것이 공랭식 설계의 중요한 인자로 작용하게 된다.

일반적인 공랭 냉각기의 기본 구조는 CPU의 히트 스프레더(heat spread, CPU 코어를 보호하고 열을 고루 분산하기 위한

금속판)와 방열판은 모두 금속으로 이루어져 서로 접촉면을 공유하게 된다. 이들 금속면의 연마 정도에 따라 접촉 저항의 크기가 큰 폭으로 변화하게 되고 냉각 능력에 큰 영향을 미치게 된다. 이를 개선하기 위해서는 두 금속 접촉면을 밀착시켜 접촉면의 접촉 압력을 높여주거나 두 금속의 표면 평탄도를 높여 접촉면의 간격을 없애는 방법 등이 있다. 첫 번째 방법이 쿨러 고정장치의 장력을 높여주는 방법이며, 그 다음이 히트 스프레더와 방열판의 금속면을 평평하게 만드는 것이다. 여기에 열전도 물질로 두 접촉면의 간극을 제거하는 방법으로 방열 능력을 높인다.

2) 히트파이프 냉각 기법

기존의 편리한 공랭방식을 고수하면서 더 효율적인 냉각방식을 강구하여 그 결과 히트파이프를 채용한 쿨링방식이 선보이게 되었다. 사실 히트파이프는 다른 산업의 재료로 선보이지는 꽤 오래전 일이다. 요즘의 신제품 쿨러

들은 히트파이프 채용이 늘고 있으며, 최근 출시된 고성능 CPU에 기본적으로 포함되는 쿨러에도 히트파이프가 장착되고 있는 추세이다. 히트파이프는 밀폐된 용기 내의 작동유체의 상변화 에너지를 이용하는 열전달 기기로서 일반 공랭 쿨러와 비슷한 외형에 단순한 원리와 구조로 현 쿨링 시장을 주도하는 위치로까지 성장하였다. 히트파이프 방식의 쿨러는 CPU의 히트 스프레더에서 전달된 열이 히트파이프 증발부의 작동유체를 기체로 상변화 시키면 기화된 작동유체가 온도차 혹은 압력차로 인해 응축부로 이동하여 응축부와 맞닿은 히트싱크 혹은 방열 스프레더로 전달되어 자연냉각 혹은 팬에 의한 강제 냉각으로 열을 소산시키는 방식이다. 히트파이프 방식의 냉각은 작동하는 데 별도의 동력을 필요로 하지 않으며 무게가 가벼우며, 반영구적이어서 유지, 보수 등의 추가 비용이 적게 드는 장점이 있다. 이러한 장점으로 인해 현재 메인보드, 그래픽카드, 하드

디스크, 케이스 쿨링 등 컴퓨터 시스템 전반에서 사용되고 있다. 그러나 이러한 히트파이프는 엄밀한 설계와 제조 공정의 난점으로 인하여 단가가 상당하다. 따라서 국내 업체의 가격 경쟁력이 대만 등에 밀려 현재 전세계 CPU 쿨러 시장의 70%를 잠식당하고 있는 실정이다.

3) 냉동 사이클 냉각 기법

가스 압축방식의 냉동사이클의 원리를 적용한 냉각방식으로서 액상 냉매가 열원에 설치한 기화기에서 열을 획득하여 증기가 된다. 이 증기는 팽창밸브와 응축기를 통해 외부공기로 열을 방출한다. 상온에서만 냉각이 이루어지는 공랭식이나 수랭식과 달리, 주변 공기온도 이하에서도 구동이 가능하기 때문에 일반 사용자보다는 시스템을 규정 이상의 클럭으로 올려 사용하는 오버 클럭 매니아들에게 인기가 높다. 그러나 냉각장치만 거의 100만원에 육박하는 고가이며, 상온 이하의 냉각에 의해 이슬맺힘현상이 발생하고 이것이 부품손상을 유발하는 문제가 있어 크게 사용되지 못하고 있다.

4) 펠티어 소자(Peltier element ; 열전소자) 냉각 기법

1834년에 발견된 냉각 방식으로서 최근에 여러 냉각 분야에서 이용되고 있다. 펠티어 효과는 서로 다른 금속의 접점의 양단에

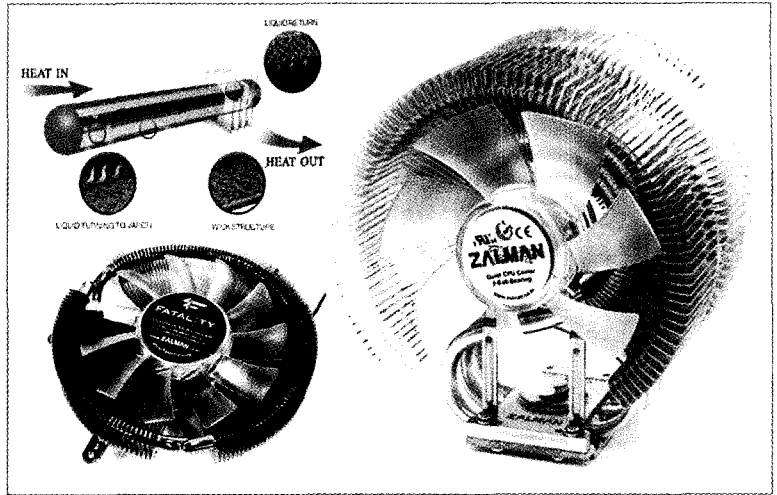


그림 3 히트파이프 원리와 CPU 및 VGA 응용 냉각기

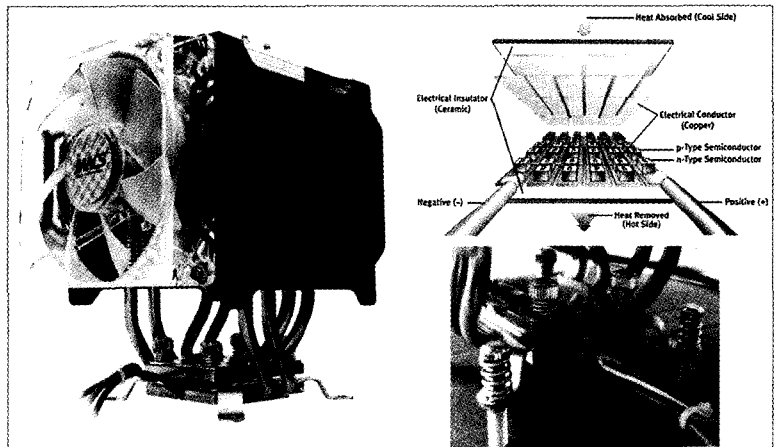


그림 4 펠티어 소자 원리와 응용 CPU 냉각기

일정한 전류를 흘리면 열이 이동하는 현상을 이용하는 것으로 이러한 소자 혹은 모듈을 이용한 냉각을 구현하기 위해서는 두 개의 서로 다른 금속이 두 개의 접점을 가지고 있어야 한다는 전제 조건이 필요하다. 그래서 펠티어 소자를 사용한 TEM(Thermo Electric Module)은 여러 개의 소자를 직렬로 이어붙인 형태를

하고 있다.

펠티어 소자는 탁월한 냉각 성능과 함께 과열 문제와 열역전현상 등의 문제점이 있다. 열전소자의 양단에 전압을 걸어주었을 경우 한 면에서는 냉각이 이루어지지만 그와 반대면에서는 발열이 이루어진다. CPU의 경우 발생하는 열과 합쳐져 엄청난 열을 소산해야 함과 동시에 그에 상응하

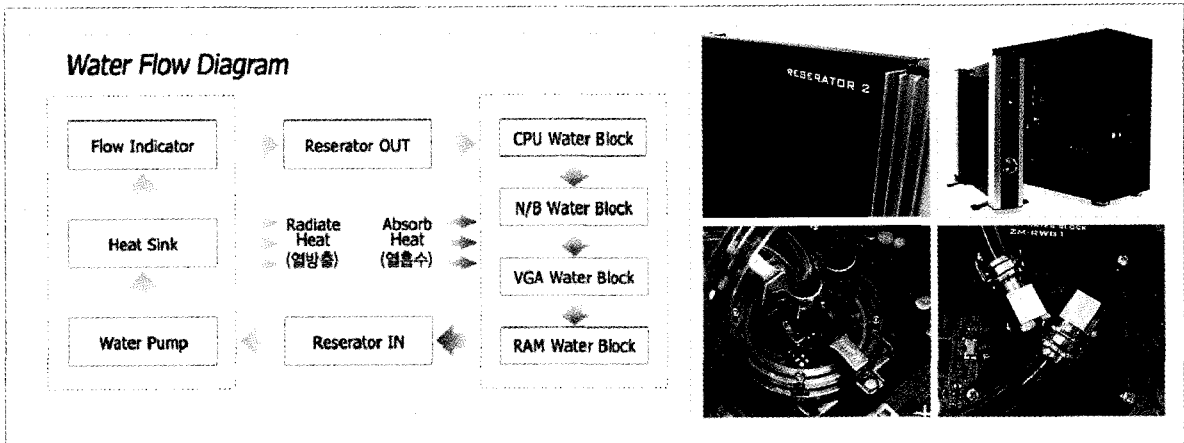


그림 5 수냉 토털 쿨링 시스템의 원리와 예

는 전력까지 요구하게 되는데 이 때 발생하는 열의 해결을 위해 냉각수를 이용한 방열판을 사용하기도 하며, 온도가 이슬점 이하로 떨어졌을 경우 CPU에 수분이 응결되어 CPU와 기타 시스템에 가져오는 위험도의 증가 때문에 온도 컨트롤이 요구되므로 그에 따른 제어가 따로 제공되도록 상용화가 이루어져 있다.

5) 열 사이폰 냉각 기법

응축기와 증발기를 사용한다는 점에서 수랭 혹은 냉동사이클 방식의 냉각장치와 유사하지만, 냉매의 압력과 수두차에 의한 유체의 위치 에너지를 순환동력으로 이용하기 때문에 발열부의 상부에 응축기가 위치해야 한다. 그러나 따라서 동력공급이 필요 없고, 팬을 사용하지 않으므로 소음이 없으며, 기계적인 고장이 발생하지 않는다는 히트파이프의 장점도 포함하고 있다. 시동 시 작동

불능에 따른 시스템의 위험성이 높아 이 부분에 대한 개선의 여지가 남아 있고, 방열판 또는 응축기에서 자연대류에 의한 냉각만으로는 고발열체의 냉각에 어려움이 있어 부가적으로 팬을 부착하여 상용화가 일부 이루어졌다.

6) 수냉각 기법

현존하는 열전달 매체로 사용되는 유체 가운데 물은 가장 경제적이고, 효율성이 높아 이전부터 지속적인 연구를 통하여 다양한 분야에서 사용되어 왔다. 물은 비열이 높아 잠열과 현열 이동에 있어 타 유체에 비해 뛰어난 열 함유 능력을 가지는 등 전기, 전자 장비에 치명적임에도 상용화가 이루어질 정도로 상당한 이점을 가지고 있다. 수랭식은 공랭식에 비해 성능과 소음에 있어 유리한 것은 사실이지만 완전히 자유로울 수는 없다. 물을 강제로 순환시키는 펌프와 라디에이터

팬 등으로 인해 완전한 무소음은 기대하기는 어렵지만 만족할 만한 소음과 소음 대비 냉각 성능을 지닐 수 있다. 수냉각의 구성은 워터 블록과 저수조, 펌프, 라디에이터, 연락관 등으로 이루어진다. 현재 지속적인 연구를 통하여 최적화된 다양한 워터 블록과 펌프, 고효율의 라디에이터 등이 시판되고 있으며 또한 연락관 연결을 위해 피팅(fiting) 역시 광범위하게 상용화되어 있다.

냉각 기법의 해법

지속적인 산업과 실생활의 수준 상승과 더불어 다목적 컴퓨터, 즉 멀티미디어, 홈스테이션 PC 등과 더 나아가 유비쿼터스 환경의 도입이 목전에 다다라 있는 현실과 전자 부품의 집적 기술의 지속적인 성장을 감안한다면 신쿨링 기술이 도입될 필요성이 절실함은 주지의 사실이다. 동시에

최근 컴퓨터에서의 고발열은 CPU뿐만 아니라 그래픽 프로세서나 메인보드 칩셋의 고집적화에 따른 발열량 증대도 일익을 담당하고 있으므로 기존의 공랭식으로는 그 한계가 명확하며 그에 따라 더 조용하면서도 냉각 성능이 좋은 쿨링 솔루션을 요구하고 있다. 이로 인해 냉각에 대한 지속적인 연구가 이루어지고 있으며 여러 해법 등이 적용 혹은 상용화가 이루어지고 있다. 상 변화와 열전소자 등을 이용함을 물론이고, 특히 수랭의 경우 이러한 가능성을 더욱 높이고 있다. 도시바는 부식방지 냉각파이프, 무소음 펌프 등의 핵심 기술을

자체 개발해 인텔에서 출시 예정이었던 테라스 코어 프로세서 출시에 맞춰 수랭식 냉각시스템이 적용된 노트북을 양산할 목표를 수립하였으나 인텔의 멀티 코어 전략으로의 전환으로 인해 무산된 바 있다. 이 밖에 LG전자 및 삼성전자도 국내 쿨러 업체와 잇따라 접촉하며 수랭식 냉각기를 탑재하는 방안에 대해 협의를 진행하고 있어 조속한 시일 내에 수랭식 냉각기가 탑재된 컴퓨터가 잇따라 등장할 전망이다. 또한 기존의 단일 발열체 냉각 시스템과는 달리 '04년 CPU와 그래픽 칩셋 등의 시스템 토털 쿨링을 위한 수냉 시스템이 등장함과 동

시에 독자적인 시장을 형성하여 현재 점차적으로 그 시장이 확장됨으로써 이제 소비자들의 관심이 단순히 CPU라는 단일 발열 문제에만 국한되지 않고 시스템 전체의 다중 발열 문제로의 변화로 전환되었음을 알 수 있다. 또한 이제는 기존 공랭식 및 히트파이프식 쿨러의 단점을 보완한 수랭식 냉각기가 이미 양산·제공된바 있으며 이 밖에도 T 사에서는 초박판형 수랭식 냉각기 등을 개발하여 VGA에까지 수랭식 기법을 적용하는 등 다양한 냉각 기법 가운데도 수냉각 기법은 더욱 그 영역을 넓혀가고 있다.

기계용어해설

방출구(Discharge Port)

급격한 폭발압력의 상승으로 인한 용기 등의 파열을 방지하기 위하여 일정한 형태의 개구부를 뜻한다.

자기조립(Self-assembly)

나노입자가 서로간 인력과 표면장력에 의해서 스스로 규칙적으로 조립되는 현상을 의미함.

실험계획법(Design of Experiment)

제품의 특성에 영향을 미치는 여러가지 인자를 선정하고 이들의 관계를 알아보기 위한 실험을 실시하여 제품의 최적 조건을 경제적으로 찾아내는 기법

왕관 롤(Crown Roll)

원통형 롤러의 표면이 가운데가 파여서 포물선 형태에 가까워서 마치 왕관과 같은 형을 갖는 롤러.

햅틱 렌더링(Haptic Rendering)

사용자와 가상으로 구현된 물체 사이의 상호작용이 야기하는 힘을 구현하는 과정

차륜담면(Wheel Tread)

철도차량 차륜 담면은 레일표면과 접촉하는 차륜 표면이며 차륜담면은 rim부와 flange부로 구분된다.