(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.[6]
B64G 1/22

(11) 공개번호 특2000-0051265
(43) 공개일자 2000년08월16일

(21) 출원번호 10-1999-0001605
(22) 출원일자 1999년01월20일

(71) 출원인 현대전자산업 주식회사 김영환
경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1
(72) 발명자 김택영
경기도성남시분당구서현동323대명연립101-402
(74) 대리인 문승영

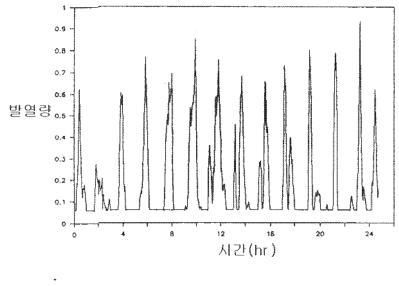
심사청구 : 없음

(54) 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치

요약

본 발명은 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치를 제공하기 위한 것으로, 이러한 본 발명은 방열판 상단의 밑에 열분산을 용이하게 하는 히트파이프를 장착하고, 상기 히트파이프의 밑과 상기 방열판 하단의 위에 탑재체 판 내부로부터 외부로의 열전달을 보조하기 위한 스페이서를 장착하며, 상기 스페이서를 밀봉하고 상기 밀봉된 스페이서의 내부에 고상/액상의 상변화 물질을 충전하여 구성됨으로써, 발열량이 최대일 때 발생한 열을 상변화를 이용하여 저장하고 발열량이 최소일 때 역 상변화로 인한 열 발생을 재사용하여 온도변화를 최소화하며 발열판의 크기와 히터의 사용을 최소화할 수 있게 되는 것이다.

대표도



명세서

도면의 간단한 설명

도1은 일반적인 GMPCS 위성 탑재체의 1일간 발열량 변화량을 보인 그래프이고,

도2는 종래 히트파이프 장치의 단면도이며,

도3은 본 발명에 의한 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치의 사시도이고,

도4는 본 발명이 적용되는 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치를 적용한 벌집 방열판 구조물을 보인 사시도이다.

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 특정 지역을 관측하기 위하여 발사하는 저궤도 관측위성이나 통신 요구량에 따라 운용을 하는 통신용 저궤도 위성의 탑재체에 장착하는 히트파이프(Heatpipe)에 관한 것으로, 특히 위성의 열전달 매체인 히트파이프의 열전달 보조부인 스페이서(Spacer)에 열에너지 저장에 효율적으로 적용될 수 있는 상변화 물질을 주입하여 발열량이 최대일 때 발생한 열을 상변화를 이용하여 저장하고 발열량이 최소일 때 역 상변화로 인한 열 발생을 재사용하여 온도변화를 최소화하며 발열판의 크기와 히터의 사용을 최소화한 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치에 관한 것이다.

일반적으로 저궤도 관측위성이나 통신용 저궤도 위성의 탑재체는 위성의 궤도 주기 상에서 시간에 따라 발열량이 변화한다.

도1은 일반적인 GMPCS(Global Mobile Personal Communication System, 위성 이동 통신) 위성 탑재체의 1일간 발열량 변화량을 보인 그래프이다.

그래서 도1과 같은 발열분포를 갖는 위성 탑재체의 열 설계 시 복사 방열판의 크기는 발생열이 최고가 될 때를 기준으로 설계하여야 최고 온도 허용 한계를 만족시킬 수 있으며, 이러한 크기의 방열판을 사용할 경우 열발생이 최소일 때는 오히려 방열판의 온도가 설계 허용 최저 온도 보다 낮아지므로 히터를 작동하여 이를 보상해야 한다.

이렇게 설계된 방열판은 크기가 평균 열발생에 비하여 과대 설계되어 있으므로 무게가 증가하며, 만약 요구되는 방열판의 크기가 커져서 위성 본체에 필요한 만큼의 방열 면적을 확보할 수 없을 경우 전개형 방열판을 장착하여야 하고, 이 경우 전개 장치의 설계에 따른 난점이 발생할 뿐 아니라 신뢰성도 저하되는 문제점이 있었다. 최저온도 설계를 위하여 히터를 사용하면 전력 낭비가 되고, 이를 보상하려면 추가의 태양전지판과 배터리가 필요하며 이 때문에 위성의 무게가 증가하여 발사비용이 추가 부담되어진다.

종래의 방열판은 위성의 구조물인 벌집(Honeycomb)판을 사용한다. 이 때 벌집판의 두께는 구조적 강성 때문에 1 ~ 1.5inch를 채택하나 히트파이프는 그 효율로 인하여 0.5inch 두께가 사용되고 있으므로 inboard에 부착된 부품의 발생열을 히트파이프를 통하여 우주공간에 노출된 outboard로 전달하려면 통상 스페이서를 사용한다.

도2는 종래 히트파이프 장치의 단면도이다. 그래서 종래의 히트파이프는 중량을 절감하기 위하여 속이 빈 관의 형태로 사용한다.

발명이 이루고자하는 기술적 과제

이에 본 발명은 상기와 같은 종래의 제반 문제점을 해소하기 위해 제안된 것으로, 본 발명의 목적은 위성의 열전달 매체인 히트파이프의 열전달 보조부인 스페이서(Spacer)에 열에너지 저장에 효율적으로 적용될 수 있는 상변화 물질을 주입하여 발열량이 최대일 때 발생한 열을 상변화를 이용하여 저장하고 발열량이 최소일 때 역 상변화로 인한 열 발생을 재사용하여 온도변화를 최소화하며 발열판의 크기와 히터의 사용을 최소화할 수 있는 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치를 제공하는 데 있다.

상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 의한 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치는,

방열판 상단의 밑에 열분산을 용이하게 하는 히트파이프를 장착하고, 상기 히트파이프의 밑과 상기 방열판 하단의 위에 탑재체 판 내부로부터 외부로의 열전달을 보조하기 위한 스페이서를 장착하며, 상기 스페이서를 밀봉하고 상기 밀봉된 스페이서의 내부에 고상/액상의 상변화 물질을 충전하여 구성됨을 그 기술적 구성상의 특징으로 한다.

발명의 구성 및 작용

이하, 상기와 같은 본 발명 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치의 기술적 사상에 따른 일실시예를 첨부한 도면에 의거 상세히 설명하면 다음과 같다.

먼저 특정 지역을 관측하기 위하여 발사하는 저궤도 관측위성이나 통신 요구량에 따라 운용을 하는 통신용 저궤도 위성의 탑재체는 위성의 궤도 주기상에서 시간에 따라 발열량이 변화한다. 이 경우 탑재체가 허용 온도 범위에서 작동하도록 하려면 발생열을 우주공간에 방출하여야 하며, 이러한 과정은 우주 공간이 진공 상태이므로 열복사에 의하여만 이루어진다. 이와 같은 발열량의 변환에 대응하여 탑재체의 온도를 설계 허용 온도 이내로 조절하려면 방열판이 필요하며, 방열판 설계의 가장 중요한 인자는 면적이다. 방열판의 면적은 적을수록 시스템에 미치는 영향이 적으므로 유리하다.

그러므로 이를 최적화하기 위하여 본 발명에서는 상변화 물질을 도입한다. 그래서 방열판 상단(5)의 밑에 열분산을 용이하게 하는 히트파이프(4)를 장착하고, 상기 히트파이프(4)의 밑과 상기 방열판 하단(1)의 위에 탑재체 판 내부로부터 외부로의 열전달을 보조하기 위한 스페이서(2)를 장착하며, 상기 스페이서(2)를 밀봉하고 내부(3)에 고상/액상의 상변화 물질을 충전한다.

그래서 상기한 바와 같이 궤도상의 위성 운용에 따라 탑재체의 열발생이 변화할 경우 통상 위성의

방열판에 사용되는 히트파이프(4)와 일체로 구성된 스페이서(2)에 상변화 물질을 충전하여 발열량이 최고일 때 용해를 통해 상변화 물질에 열에너지를 저장하고, 반별 열발생이 최소일 때 응고를 통하여 열을 발생시켜서 방열판의 온도를 유지시킨다. 이로 인하여 방열판의 크기를 최소화할 수 있고, 히터의 사용을 절제함으로써 최적화된 방열판을 설계할 수 있다.

위성의 열 방출용 방열판은 위성의 본체 구조물인 벌집판을 사용하며, 이 때 벌집판의 두께는 구조적 강성 때문에 1 ~ 1.5inch를 채택하나, 히트파이프는 그 효율로 인하여 0.5inch 두께가 사용되고 있으므로, inboard에 부착된 부품의 발생열을 히트파이프를 통하여 우주 공간에 노출된 outboard로 전달하려면 히트파이프의 외부 한쪽 면에 길이 방향으로 스페이서를 부착하여 사용한다. 본 발명에서 제안하는 열에너지 저장용 히트파이프는 종래의 위성에 사용되는 히트파이프의 형상을 그대로 유지하며, 단지 스페이스(space)에 상변화 물질을 충전하므로 설계의 변경이 거의 없고, 작동에 있어 외부의 동력원이 필요 없으므로 종래의 히트파이프와 같은 신뢰성이 유지된다.

히트파이프는 고온부에서 증발한 내부 작동유체가 압력차로 인해 저온부로 이동하여 응축되고, 응축된 액체는 표면장력에 의하여 다시 증발부로 공급되는 원리로 작동된다.

그러므로 작동 중 히트파이프는 작동유체의 상변화 온도를 유지하며 방열을 달성한다. 이에 따라 스페이서(2)에 충전된 상변화 물질도 전 영역에서 균일한 열을 받기 때문에 상변화 물질의 일부만 용해되어 발생할 수 있는 열점 현상을 방지하여 신뢰도가 높다.

도3은 본 발명에 의한 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치의 사시도이다.

이에 도시된 바와 같이, 방열판 상단(5)의 밑에 열분산을 용이하게 하는 히트파이프(4)를 장착하고, 상기 히트파이프(4)의 밑과 상기 방열판 하단(1)의 위에 탑재체 판 내부로부터 외부로의 열전달을 보조하기 위한 스페이서(2)를 장착하며, 상기 스페이서(2)를 밀봉하고 상기 밀봉된 스페이서(2)의 내부(3)에 고상/액상의 상변화 물질을 충전한 것으로 이루어진다.

이와 같이 구성된 본 발명의 작용을 상세히 설명하면 다음과 같다.

먼저 저궤도에 발사되어 운용하는 통신위성이나 관측위성은 탑재체가 항상 작동하는 경우 보다는 궤도의 1주기 동안 필요한 부분에서만 작동을 하거나 작동이 불규칙적으로 이루어지는 경우가 많다. 관측위성의 경우 관측하고자 하는 특정지역에서 카메라 등의 탑재체가 작동을 하며 이 기간은 1주기 중 매우 일부분에 한정되고, GMPCS 용으로 발사되는 저궤도 통신위성은 지구궤도를 운행 중 도심지역을 통과할 때 탑재체의 운용이 최대가 되나 이를 벗어난 지역에서는 사용량이 감소하며, 해양지역을 커버할 경우 탑재체의 운용의 최소화로 인하여 열 발생량도 최소가 된다. GMPCS 위성의 대표적인 예인 Globalstar 탑재체의 시간에 따른 발열량 변화가 도1에 도시되어 있다.

이렇게 탑재체로부터 발생되는 열을 제어하여 최종적으로 탑재체가 허용온도 범위에서 작동하도록 하려면 발생열을 우주 공간에 방출하여야 하며, 우주공간은 진공 상태이므로 열 방출 과정은 열복사에 의하여만 이루어진다. 이러한 복사열 방출을 위하여 통상 방열판을 사용한다. 일반적으로 부품의 열은 부품이 부착된 방열판에서 국부적으로 발생하며, 효율적인 방열판을 구성하려면 히트파이프를 방열판에 부착하여 국부적으로 발생한 열이 방열판에 균일하게 전달되어 방열판 전체에서 복사방출이 발생되도록 설계한다. 한편, 히트파이프의 작동은 히트파이프 내부의 작동유체가 고온부에서 증발하여 기상으로 저온부에 전달된 후, 응축하며 응축된 액체가 표면장력에 의하여 고온부에 공급되는 사이클을 통하여 이루어진다. 이러한 과정 동안 히트파이프의 온도는 작동 유체의 상변화 온도를 유지하게 된다.

방열판 설계 시 가장 중요한 인자는 면적으로서, 방열판의 온도는 면적의 1/4승에 반비례한다. 방열판의 면적 설계는 방출열이 가장 많은 때를 기준으로 한다. 즉, 방출열이 가장 많을 때 열에너지 균형 식에 의하여 면적을 산출하여야 최고온도 허용한계를 만족시킬 수 있으며, 이러한 크기의 방열판을 사용할 경우 열발생이 최소일 때는 오히려 방열판의 온도가 설계 허용 최저 온도보다 낮아지므로 히터를 작동하여 이를 보상해야 한다. 이와 같이 설계된 방열판은 크기가 평균 열발생에 비하여 과대 설계되어 있으므로 무게가 증가하며, 만약 요구되는 방열판의 크기가 커져서 위성 본체에 필요한 만큼의 방열면적을 확보할 수 없을 경우 전개형 방열판을 장착하여야 하고, 이 경우 전개장치의 설계에 따른 난점이 발생할 뿐 아니라 신뢰성도 저하된다. 최저온도 설계를 위하여 히터를 사용하면 전력 낭비가 되고, 이를 보상하려면 추가의 태양전지판과 배터리가 필요하며 이 때문에 위성의 무게가 증가하여 발사비용이 추가 부담되어야 한다. 즉, 방열판의 크기가 작을수록 시스템에 미치는 영향이 적으므로 유리하게 된다. 그러므로 이를 최적화하기 위하여 본 발명에서는 상변화 물질을 도입한다.

일반적으로 물질이 고체에서 액체로 상변화할 경우 주위로부터 열을 흡수하지만 물질이 완전히 액화될 때까지 온도는 거의 균일하게 상변화 온도로 유지된다. 반면 응고하여 고체로 되는 역상변화 중에는 동일한 상변화 온도에서 외부로 열을 방출한다. 고체/액체의 상변화 온도가 히트파이프의 작동온도와 비슷한 물질을 히트파이프와 근접하게 배치할 경우 발생된 열을 방열판을 통하여 우주 공간에 방출될 뿐만 아니라 액화 과정을 통하여 상변화 물질에 저장된다. 만약 열 유입이 지속적으로 된다면 상변화 매질이 완전히 액화될 때까지 온도가 평형을 유지한 후 다시 증가할 것이다. 그러나 열발생이 지속적이지 않고 일정기간 증가 후 감소한다면 완전한 상변화가 되기 전에 유입 열량이 감소하여 액화가 지연되고, 열 유입이 매우 적어서 외부로 방출되는 열량이 더 커지면 이 물질을 역 상변화 과정을 통하여 히트파이프로 열을 공급하게 되고 이로 인하여 부품의 온도하락

이 저지된다. 이러한 에너지의 입출 상관 관계를 나타낸 것이 다음의 수학식1이다.

$$m_{HP}c_{HP}\frac{\partial T_{HP}}{\partial t}+m_{PCM}c_{PCM}\frac{\partial T_{PCM}}{\partial t}+m_{rad}c_{rad}\frac{\partial T_{rad}}{\partial t}$$
$$=Q_{diss}+A_{rad}q_{ext}-A_{rad}\varepsilon\sigma T_{rad}^{4}-\Delta h_f\left(\frac{\partial m_{PCM}}{\partial t}\right)_{PhaseChange}$$

여기서 m은 질량이고, c는 비열계수이며, T는 온도이고, t는 시간을 의미한다. 또한 Q_{diss}는 부품열 발생량, A_{rad}는 방열판(radiator)의 면적, q_{ext}는 단위 면적당 외부열 입사량, ε은 방열판의 복사방출계수, σ는 스테판-볼츠만 상수를 나타낸다. 그리고 수학식1의 우변 마지막 항의 Δh_f는 PCM(Phase Change Material)의 잠열로서 PCM이 고체에서 액체로 상변화할 때는 양의 값을 갖으며, 반대로 고체로 환원될 때는 열을 발산하여 음의 값을 갖는다. $\left(\frac{\partial m_{PCM}}{\partial t}\right)_{PhaseChange}$는 전체 PCM 중 상변화 되는 양의 시간에 따른 질량 변화를 의미한다.

수학식1에서 방열판 외부면의 두께가 매우 작다고 가정하여 질량을 무시하고 (실제로 약 0.5mm를 사용) 히트파이프, PCM과 방열판의 온도가 거의 같다고 가정하면 다음의 수학식2와 같은 방열판 면적에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$A_{rad}=\frac{Q_{diss}-(m_{HP}c_{HP}+m_{PCM}c_{PCM})\frac{\partial T}{\partial t}-\Delta h_f\left(\frac{\partial m_{PCM}}{\partial t}\right)_{PhaseChange}}{\sigma\varepsilon T^{4}-q_{ext}}$$

만약 상변화 과정 동안 온도 변화가 거의 없다고 가정하면 수학식2는 다시 다음의 수학식3과 같이 간단히 표시할 수 있다.

$$A_{rad}=\frac{Q_{diss}-\Delta h_f\left(\frac{\partial m_{PCM}}{\partial t}\right)_{PhaseChange}}{\sigma\varepsilon T^{4}-q_{ext}}$$

열량의 주입이 최대일 때, 상변화 물질이 없이 온도를 일정하게 유지하려면 우변 분자의 2항이 0인 경우에 해당하는 식으로부터 방열판의 면적을 구할 수 있다. 이 경우 면적은 상변화 물질이 있을 경우에 비하여 넓어져야 한다. 반면 열발생이 최저이고 PCM이 없을 경우 온도를 일정하게 유지하려면 히터를 사용하여 Q_{diss}를 증가시켜야만 한다. PCM이 존재하면 Q_{diss}가 감소할 경우 PCM이 역상변화, 즉 고체로 변한다. 이때 Δh_f는 음이 되어서 Q_{diss}의 감소를 보상하여 히터의 작동 없이 온도를 유지할 수 있게 된다. 즉, 최적화의 요구 조건인 최소 면적과 최소 전력 소모 및 능동소자 사용의 제한을 만족시키게 된다.

언급한 바와 같은 특성을 갖는 열제어 부품을 종래 제품의 설계 변경을 최소화하여 제작할 수 있다면 경비 및 시간 절감의 효과가 매우 크다. 통상 위성 부품은 설계가 변경될 경우, 인증을 위하여 매우 심한 환경에서 오랜 기간 동안 시험을 거쳐야 한다. 심지어는 flight test를 요구하는 경우도 빈번하다. 본 발명에서는 이러한 문제점을 최소화하기 위하여 종래에 사용되고 있는 위성용 히트파이프를 최소한의 설계 변경으로 사용하고자 한다.

도4는 본 발명이 적용되는 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치를 적용한 벌집 방열판 구조물을 보인 사시도이다.

그래서 방열판은 위성의 본체 구조물의 일부인 벌집(honeycomb)판을 사용하고 벌집판 내에 히트파이프를 삽입한다. 본체 구조물의 일부인 벌집판에는 부품이 장착되므로 발사 하중에 견디려면 이에 따른 구조적 강성이 요구되며, 구조 설계에 따라 대부분 약 1 ~ 1.5inch 두께의 벌집판을 사용한다. 반면 히트파이프는 그 효율의 최적화로 인하여 직경이 약 0.35inch, 관 외부 두께가 약 0.5inch인 것이 주로 사용된다. 그러므로 inboard에 부착된 부품의 발생열을 히트파이프를 통하여 우주 공간에 노출된 outboard로 전달하려면 통산 스페이서를 사용한다. 이 스페이서는 도2와 같이 중량을 절감하기 위하여 속이 빈 관의 형태로 사용하는데, 본 발명에서는 이 빈 관에 상변화 물질을 충전하여 통상의 히트파이프를 재 설계하지 않고 그대로 사용함으로써 설계 및 시험과 인증에 따른 추가의 시간과 비용을 절감할 수 있다. 충전되는 PCM은 방열판의 작동온도에 맞는 물질을 사용하고, 충전할 PCM의 양은 수학식3으로부터 최적화할 수 있다.

본 발명에 의한 히트파이프 장치는 PCM과 접촉하고 있는 히트파이프의 벽면 온도가 전체 히트파이프의 길이에 따라 거의 일정하게 유지되므로(히트파이프의 특성에 의하여 온도가 작동온도 범위에서 거의 균일하게 유지됨) PCM의 일부가 국부적으로 액화하여 이 부위의 온도가 급격히 증가하는 열점 현상을 방지할 수 있으므로 신뢰성이 높다.

PCM에 사용되는 물질의 비중은 히트파이프 벽면 및 스페이서의 재질인 알루미늄에 비하여 현저히 작아서 전체 부품의 질량 증가는 크지 않다. 만약 PCM의 열전도 계수가 양호한 물질을 사용한다면, 스페이서만을 사용하는 경우보다 전도열전달 면적이 증가하므로 스페이서의 특성을 더욱 좋게 하는 이중의 효과를 얻을 수 있게 된다.

이상에서 본 발명의 바람직한 실시예를 설명하였으나, 본 발명은 다양한 변화와 변경 및 균등물을 사용할 수 있다. 본 발명은 상기 실시예를 적절히 변형하여 동일하게 응용할 수 있음이 명확하다.

그래서 마이크로칩이 집적된 회로를 사용하는 장치, 즉 슈퍼컴퓨터 등과 같은 장치는 본 발명에서 제안된 기술을 소형화하여 그대로 사용할 수 있는 전형적인 예다. 최근에 집적화된 회로에서 발생되는 열을 제어하기 위하여 마이크로 히트파이프를 사용하는 경우가 많으며, 이때는 본 발명에서 제안한 열에너지 저장이 용이한 상변화 물질을 마이크로 히트파이프의 별도의 관에 주입하여 열에너지의 시간에 따른 댐핑(damping) 효과를 얻을 수 있다.

따라서 상기 기재 내용은 하기 특허청구범위의 한계에 의해 정해지는 본 발명의 범위를 한정하는 것이 아니다.

발명의 효과

이상에서 살펴본 바와 같이, 본 발명에 의한 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치는 GMPCS나 관측/측정을 목적으로 발사하는 저궤도 위성에 사용할 경우 온도제어에 필요한 방열판의 크기를 줄일 수 있으며 발사 비용을 절감할 수 있으며, 요구 면적이 적으므로 설계 허용 자유도가 증가하는 효과가 있게 된다.

또한 본 발명은 최적화된 방열판과 상변화 물질에 저장된 열에너지를 저온에서 역으로 사용하게 됨으로써 별도의 히터가 필요치 않으므로 여분의 전력소모가 없으며, 본 발명의 작동에는 외부의 구동원이 필요하지 않는 수동형 부품이므로 신뢰도가 높은 효과도 있게 된다.

더불어 본 발명은 종래의 히트파이프를 최소한의 설계변경으로 사용하게 됨으로써 별도의 설계나 제작 및 시험에 요구되는 비용과 시간을 절감할 수 있는 효과가 있게 된다.

나아가 본 발명은 적절한 상변화 물질을 이용하면, 즉 물질의 열전도 계수가 큰 매질을 사용할 경우 위성용 히트파이프에 통상 사용되는 스페이서의 효과를 배가하는 부수적인 효과도 얻을 수 있게 된다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

히트파이프에 있어서,

방열판 상단(5)의 밑에 열분산을 용이하게 하는 히트파이프(4)를 장착하고, 상기 히트파이프(4)의 밑과 상기 방열판 하단(1)의 위에 탑재체 판 내부로부터 외부로의 열전달을 보조하기 위한 스페이서(2)를 장착하며, 상기 스페이서(2)를 밀봉하고 상기 밀봉된 스페이서(2)의 내부(3)에 고상/액상의 상변화 물질을 충전하여 구성된 것을 특징으로 하는 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치.

청구항 2

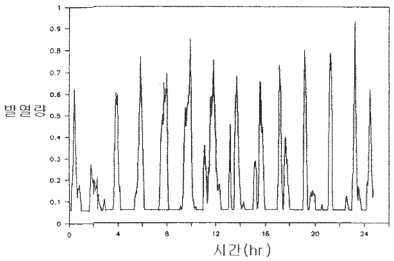
제 1항에 있어서, 상기 방열판의 면적은

$$A_{rad} = \frac{Q_{diss} - \Delta h_f \left(\frac{\partial m_{PCM}}{\partial t} \right)_{PhaseChange}}{\sigma \varepsilon T^4 - q_{ext}}$$

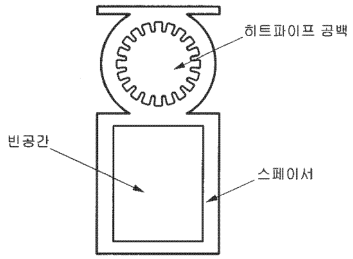
에 따라 최적화하여 결정하고, 여기서 A_{rad}는 방열판의 면적이고, Q_{diss}는 부품열 발생량이며, Δh_f는 PCM(Phase Change Material)의 잠열이고, m은 질량이며, t는 시간이고, σ는 스테판-볼츠만 상수이며, ε은 방열판의 복사방출계수이고, T는 온도이며, q_{ext}는 단위 면적당 외부열 입사량이고, $\left(\frac{\partial m_{PCM}}{\partial t} \right)_{PhaseChange}$는 전체 PCM 중 상변화되는 양의 시간에 따른 질량 변화를 의미하며, 이에 따라 열량의 주입이 최대일 때 상변화 물질이 없이 온도를 일정하게 유지하여 상변화 물질에 비하여 넓어지도록 상기 방열판의 면적을 최적화하여 결정하는 것을 특징으로 하는 상변화 물질을 이용한 히트파이프 장치.

도면

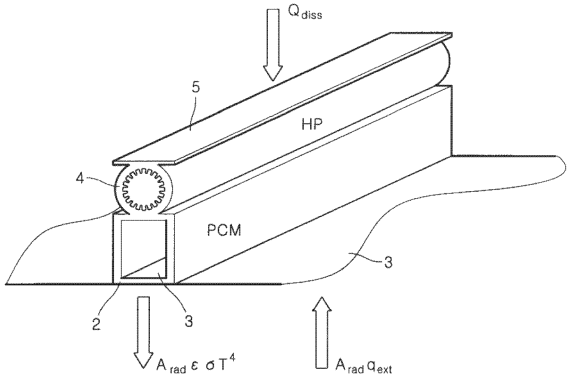
도면1



도면2



도면3



도면4

