



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년05월02일
(11) 등록번호 10-1391235
(24) 등록일자 2014년04월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01B 3/46 (2006.01) H01B 3/12 (2006.01)
H01B 3/30 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0086828(분할)
(22) 출원일자 2012년08월08일
심사청구일자 2013년01월04일
(65) 공개번호 10-2013-0071338
(43) 공개일자 2013년06월28일
(62) 원출원 특허 10-2012-0066551
원출원일자 2012년06월21일
심사청구일자 2012년06월21일
(30) 우선권주장
1020110138552 2011년12월20일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020110043330 A
논문1
KR1020100016518 A
전체 청구항 수 : 총 15 항

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
서영수
서울 노원구 노원로 214, 3동 104호 (하계동, 삼익선경아파트)
김용범
경기 고양시 덕양구 행신로303번길 3, 201호 (행신동, 신평빌라)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

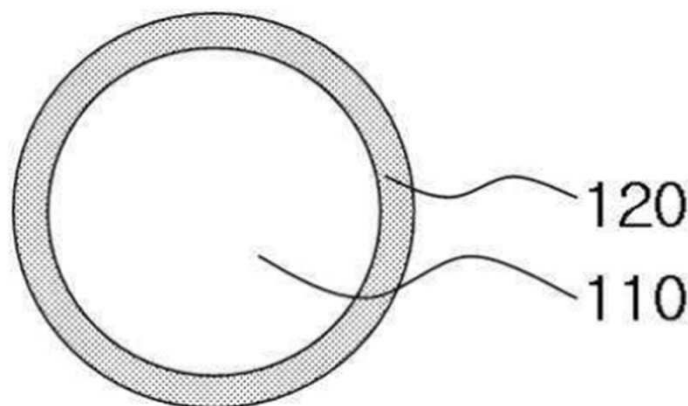
심사관 : 윤여민

(54) 발명의 명칭 무기 나노필러, 이를 포함하는 에나멜 와이어, 및 상기 에나멜 와이어의 제조방법

(57) 요약

무기 나노필러; 상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 방향족 고리기를 함유하는 제 1 실란; 및 상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 아민기를 함유하는 제 2 실란을 포함하는 실란-함유 무기 나노필러, 상기 실란-함유 무기 나노필러를 포함하는 바니시, 상기 실란-함유 무기 나노필러를 포함하는 에나멜 와이어, 및 상기 에나멜 와이어의 제조방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

무기 나노필러(nanofiller);

상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 방향족 고리기를 함유하는 제 1 실란; 및

상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 아민기를 함유하는 제 2 실란

을 포함하는,

실란-함유 무기 나노필러.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 무기 나노필러는, 실리카, 티타니아, 알루미늄, 지르코니아, 이트리아, 산화 크롬, 산화 아연, 산화철, 클레이, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 실란-함유 무기 나노필러.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 실란은, 트리메톡시페닐실란 (trimethoxyphenylsilane), N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]아닐린 (N-[3-(trimethoxysilyl)propyl]aniline), N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]-n'-(4-비닐벤질)에틸렌디아민 (N-[3-(trimethoxysilyl)propyl]-n'-(4-vinylbenzyl)ethylenediamine), 알릴페닐디클로로실란 (allylphenyldichlorosilane), 아미노페닐트리메톡시실란 (aminophenyltrimethoxysilane), t-부틸페닐디클로로실란 (t-butylphenyldichlorosilane), p-(t-부틸)페네틸트리클로로실란 (p-(t-butyl)phenethyltrichlorosilane), 3,5-디메톡시페닐트리메톡시실란 (3,5-dimethoxyphenyltriethoxysilane), 디페닐디에톡시실란 (diphenyldiethoxysilane), 디페닐디메톡시실란 (diphenyldimethoxysilane), 디페닐메틸에톡시실란 (diphenylmethylethoxysilane), 3-(p-메톡시페닐)프로필트리클로로실란 (3-(p-methoxyphenyl)propyltrichlorosilane), p-메톡시페닐트리메톡시실란 (p-methoxyphenyltrimethoxysilane), 페네틸메틸디클로로실란 (phenethylmethyldichlorosilane), 페네틸트리메톡시실란 (phenethyltrimethoxysilane), 3-페녹시프로필디메틸클로로실란 (3-phenoxypropyldimethylchlorosilane), 3-페녹시프로필메틸디클로로실란 (3-phenoxypropylmethyldichlorosilane), 3-페녹시프로필트리클로로실란 (3-phenoxypropyltrichlorosilane), 페닐디메틸클로로실란 (phenyldimethylchlorosilane), 페닐디메틸에톡시실란 (phenyldimethylethoxysilane), 페닐에틸디클로로실란 (phenylethyldichlorosilane), 페닐메틸디클로로실란 (phenylmethyldichlorosilane), 1-페닐-1-(메틸디클로로실릴)부탄 (1-phenyl-1-(methyldichlorosilyl)butane), 페닐메틸디메톡시실란 (phenylmethyldimethoxysilane), 페닐메틸디에톡시실란 (phenylmethyldiethoxysilane), (3-페닐프로필)트리클로로실란 ((3-phenylpropyl)trichlorosilane), 페닐트리클로로실란 (phenyltrichlorosilane), 페닐트리메톡시실란 (phenyltriethoxysilane), 페닐트리메톡시실란 (phenyltrimethoxysilane), 트리페닐클로로실란 (triphenylchlorosilane), 트리페닐에톡시실란 (triphenylethoxysilane), (트리페닐메틸)메틸디클로로실란 ((triphenylmethyl)methyldichlorosilane), 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 실란-함유 무기 나노필러.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 실란은, 3-[2-(2-아미노에틸아미노)에틸아미노]프로필트리메톡시실란 (3-[2-(2-

aminoethylamino)ethylamino]propyltrimethoxysilane), N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]에틸렌디아민 (N-[3-(trimethoxysilyl)propyl]ethylenediamine), (3-아미노프로필)트리메톡시실란((3-aminopropyl)trimethoxysilane), 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 실란-함유 무기 나노필러.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 따른 상기 실란-함유 무기 나노필러가 분산된, 바니시.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 바니시는, 폴리에스테르 바니시, 폴리에스테르이미드 바니시, 폴리에스테르아미드 바니시, 폴리에스테르아미드이미드 바니시, (트리(2-하이드록시 에틸)이소시아누에이트 트리악릴레이트)-폴리에스테르이미드 바니시, 폴리에테르이미드 바니시, 폴리아미드 바니시, 폴리아미드이미드 바니시, 폴리아미드 바니시, 폴리우레탄 바니시, 폴리비닐포르말 바니시, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 바니시.

청구항 7

제 1 용매에 무기 나노필러를 첨가하고, 상기 제 1 용매에 방향족 고리기를 함유하는 제 1 실란 및 아민기를 함유하는 제 2 실란을 첨가하고 초음파를 조사함으로써 실란-함유 무기 나노필러를 수득하는 것;

상기 실란-함유 무기 나노필러를 제 2 용매에 분산하여 콜로이드 용액 (colloidal solution)을 수득하는 것;

상기 콜로이드 용액을 에나멜 와이어용 바니시에 분산하여 상기 실란-함유 무기 나노필러를 함유하는 바니시를 수득하는 것; 및

상기 실란-함유 무기 나노필러를 함유하는 바니시를 전도성 와이어 상에 코팅하고 건조 및 열경화 함으로써 상기 실란-함유 무기 나노필러를 함유하는 피막을 형성하여 에나멜 와이어를 수득하는 것

을 포함하는,

에나멜 와이어의 제조방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 무기 나노필러는, 실리카, 티타니아, 알루미늄, 지르코니아, 이트리아, 산화 크롬, 산화 아연, 산화철, 클레이, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 에나멜 와이어의 제조방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 실란은, 트리메톡시페닐실란, N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]아닐린, N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]-n'-(4-비닐벤질)에틸렌디아민, 알릴페닐디클로로실란, 아미노페닐트리메톡시실란, t-부틸페닐디클로로실란, p-(t-부틸)페닐트리클로로실란, 3,5-디메톡시페닐트리메톡시실란, 디페닐디메톡시실란, 디페닐디메톡시실란, 디페닐메틸에톡시실란, 3-(p-메톡시페닐)프로필트리클로로실란, p-메톡시페닐트리메톡시실란, 페닐메틸디클로로실란, 페닐트리메톡시실란, 3-페녹시프로필디메틸클로로실란, 3-페녹시프로필메틸디클로로실란, 3-페녹시프로필트리클로로실란, 페닐디메틸클로로실란, 페닐디메틸에톡시실란, 페닐에틸디클로로실란, 페닐메틸디클로로실란, 1-페닐-1-(메틸디클로로실릴)부탄, 페닐메틸디메톡시실란, 페닐메틸디에톡시실란, (3-페

닐프로필)트리클로로실란, 페닐트리클로로실란, 페닐트리에톡시실란, 페닐트리메톡시실란, 트리페닐클로로실란, 트리페닐에톡시실란, (트리페닐메틸)메틸디클로로실란, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 에나멜 와이어의 제조방법.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 제 2 실란은, 3-[2-(2-아미노에틸아미노)에틸아미노]프로필트리메톡시실란, N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]에틸렌디아민, (3-아미노프로필)트리메톡시실란, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 에나멜 와이어의 제조방법.

청구항 11

제 7 항에 있어서,

상기 에나멜 와이어용 바니시는, 폴리에스테르 바니시, 폴리에스테르이미드 바니시, 폴리에스테르아미드 바니시, 폴리에스테르아미드이미드 바니시, (트리(2-하이드록시 에틸)이소시아누에이트 트리아크릴레이트)-폴리에스테르이미드 바니시, 폴리에테르이미드 바니시, 폴리아미드 바니시, 폴리아미드이미드 바니시, 폴리아미드 바니시, 폴리우레탄 바니시, 폴리비닐포르말 바니시, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 에나멜 와이어의 제조방법.

청구항 12

제 7 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 따른 방법에 따라 제조되는, 에나멜 와이어.

청구항 13

전도성 와이어; 및,

상기 전도성 와이어 상에 형성되며, 유기 절연 고분자 매트릭스(matrix) 및 상기 유기 절연 고분자 매트릭스 내에 나노미터 단위로 분산되어 있는 제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 따른 실란-함유 무기 나노필러를 함유하는 피막

을 포함하는,

에나멜 와이어.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 유기 절연 고분자 매트릭스는, 폴리에스테르, 폴리에스테르이미드, 폴리에스테르아미드, 폴리에스테르아미드이미드, (트리(2-하이드록시 에틸)이소시아누에이트 트리악릴레이트)-폴리에스테르이미드, 폴리에테르이미드, 폴리아미드, 폴리아미드이미드, 폴리이미드, 폴리우레탄, 폴리비닐포르말, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것인, 예나멜 와이어.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 피막에서 상기 실란-함유 무기 나노필러의 함량이 0.1 중량% 내지 30 중량%인, 에나멜 와이어.

명세서

기술분야

[0001] 본원은, 실란-함유 무기 나노필러, 상기 실란-함유 무기 나노필러를 포함하는 바니시, 상기 실란-함유 무기 나노필러를 포함하는 에나멜 와이어, 및 상기 에나멜 와이어의 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 부분방전(partial discharge)이란 전극과 전극 사이에서 일어나지 않는 방전을 총칭하는 것으로서, 절연물이 전기적으로 부식(corrosion)되는 원인이 된다. 예를 들어, 상기 부분방전에는, 기체 중에서 뿜출한 전극의 첨단 부근에 생기는 코로나 방전(corona discharge), 고체절연물의 표면을 따라서 생기는 연면 방전(creeping discharge), 및 고체 절연물 내부 또는 표면의 공극(void)에서 생기는 보이드 방전(void discharge) 등이 포함된다.

[0003] 에나멜 와이어의 절연물 외부 표면을 따라 상기 부분방전이 생길 수 있으며, 상기 에나멜 와이어의 절연물의 국소적인 형상에 따라 상기 코로나 방전, 연면 방전, 및 보이드 방전이 모두 발생할 수 있으나, 당업계에서는 통상적으로 이들을 총칭하여 부분방전 혹은 코로나 방전으로 지칭한다. 상기 부분방전은, PWM(Pulse Width Modulation) 방식을 포함하는 고속 인버터로 제어되는 모터에 가해진 인버터 서지(inverter surge)에 의해 그의 인입부 코일 또는 입력 단자에서 주로 발생한다. 상기 부분방전은, 코일의 부품인 에나멜 와이어의 고분자 절연층을 파괴하여 인접한 전선 간에 쇼트를 일으킴으로써 모터를 작동불능에 이르게 한다.

[0004] 상기 부분방전에 대한 높은 내성을 가짐과 동시에, 종래의 유기 고분자 절연 피막만을 가지는 에나멜 와이어 정도의 전기절연성 등의 기계적·전기적인 특성을 유지하기 위하도록 하는 한가지 방법은, 상기 에나멜 와이어가 고분자 나노복합체 피막을 가지도록 하는 것이다. 상기 고분자 나노복합체를 제조하기 위해서는, 무기 나노필러를 고분자 매트릭스 내에 높은 정도로 분산시키는 것이 필수적이다. 상기 부분방전은 상기 무기 나노필러의 표면에서 흡수되거나 반사될 수 있기 때문에, 상기 무기 나노필러의 전체 표면적이 넓을수록 부분방전에 대한 저항성을 높일 수 있기 때문이다. 만약, 상기 무기 나노필러들이 응집하여 상기 에나멜 와이어의 피막에서 클러스터를 형성하게 된다면, 상기 무기 나노필러들이 분포하지 않은 부분 또는 공극으로 전계가 집중되면서 상기 부분 방전을 막을 수 없게 되기 때문에, 상기 무기 나노필러의 높은 분산성은, 상기 에나멜 와이어의 제조 공정의 전 단계에 걸쳐서 유지되어야만 한다.

[0005] 에나멜 와이어를 코팅하는 용도로 사용하기 위한, 상기 무기 나노필러가 분산된 바니시를 제조하는 방법으로서, 종래에는 크게 3가지 방법이 이용되어 왔다.

[0006] 첫 번째 방법은 기계적으로 분산하는 방법으로서, 이는 상기 무기 나노필러를 고분자 용액에 넣고 강력한 전단력을 가해 상기 무기 나노필러의 응집을 기계적으로 깨뜨려(homogenization) 직접 분산시키는 방법이며, 화학적 처리를 거치지 않기 때문에 공정이 단순하고 저렴하다는 이점이 있다. 그러나 이 방법으로 분산시킬 경우, 상기 무기 나노필러 간의 재응집이 발생할 가능성이 높아서 분산 안정성이 낮은 것으로 보고되어 있다. 이와 유사한 방법으로서, 표면 처리하지 않은 무기 나노필러를 특정 유기용매에 미리 단분산시켜 콜로이드(colloid) 용액을 제조하고, 상기 콜로이드 용액을 바니시와 혼합하는 방법이 있다. 예를 들어, 대한민국등록특허 제10-0756903호(발명의 명칭 = "내부분 방전성 와이어 에나멜합성물 및 내부분 방전성 마그넷 와이어", 공개일 = 2001.08.30., 공고일 = 2007.09.07.), 및 대한민국등록특허 제10-0656867호(발명의 명칭 = "부분-방전-저항성 절연 니스, 절연된 와이어 및 그의 제조방법", 공개일 = 2006.11.01., 공고일 = 2006.12.14.)에서 상기 방법이 개시되었다. 그러나 상기 방법은 고분자 성분 대비 상기 무기 나노필러의 함량을 증가시키는 데 한계가 있으며, 이에 따라 상기 방법으로 상기 무기 나노필러가 분산된 바니시를 제조하여 에나멜 와이어를 코팅하는데 이용하는 경우, 상기 에나멜 와이어에 만족할만한 내부분방전성을 부여할 수 없다는 문제점이 있다.

[0007] 두 번째 방법은 졸-겔 방법으로서, 이는 테트라에톡시실리케이트 등의 금속 알콕시화물을 바니시와 섞은 후 저온에서 상기 무기 나노필러를 성장시키는 방법, 또는 고온의 코팅 및 열처리 공정 중에 상기 무기 나노필러를 성장시키는 in-situ 고분자화(in-situ polymerization) 방법이다. 상기 방법은 비교적 균일한 크기의 무기 나노필러를 분산시키는 데 유리하다는 이점이 있다. 그러나, 반응 후에 잔류하는 미반응 금속 알콕시화물에 의해

코팅 후 에나멜 와이어의 전기적 특성이 저하될 수 있으며, 반응 시간이 길기 때문에 제조 공정의 속도가 저하되어 생산 단가가 높아진다는 문제점이 있다.

- [0008] 세 번째 방법은 실란 커플링제 등으로 상기 무기 나노필러를 표면 처리하여, 상기 무기 나노필러에 고분자 용액에 대한 친화성을 부여하여 분산시키는 방법이다. 그러나, 상기 방법을 이용할 경우, 상기 무기 나노필러 표면 전체에 대해 만족스러운 정도의 실란 커플링제의 표면점유율(surface coverage)을 얻기는 어려우며, 현재까지 알려진 표면 처리 방법으로는 바니시의 제조 및 코팅과 같은 복잡한 공정이 수행되는 경우에는 상기 무기 나노필러의 분산성이 유지될 수 없다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 이에, 본원은, 무기 나노필러; 상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 방향족 고리기를 함유하는 제 1 실란; 및 상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 아민기를 함유하는 제 2 실란을 포함하는 실란-함유 무기 나노필러(이하, 경우에 따라 상기 본원의 제 1 측면에 따른 실란-함유 무기 나노필러를 "복합 표면 기능화된 무기 나노필러"로써 표시하기도 하였으나 동일한 물질을 지칭하는 것임), 상기 실란-함유 무기 나노필러를 포함하는 바니시, 상기 실란-함유 무기 나노필러가 유기 절연 고분자 매트릭스에 균일하게 분산된 피막을 가지으로써 보다 향상된 내부분방전성을 가지는 에나멜 와이어, 및 이의 제조방법을 제공하고자 한다.
- [0010] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 기술한 과제로 제한되지 않으며, 기술되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본원의 제 1 측면은, 무기 나노필러(nanofiller); 상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 방향족 고리기를 함유하는 제 1 실란; 및 상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 아민기를 함유하는 제 2 실란을 포함하는, 실란-함유 무기 나노필러를 제공한다.
- [0012] 본원의 제 2 측면은, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 실란-함유 무기 나노필러가 분산된, 바니시를 제공한다.
- [0013] 본원의 제 3 측면은, 전도성 와이어; 및, 상기 전도성 와이어 상에 형성되며, 유기 절연 고분자 매트릭스(matrix) 및 상기 유기 절연 고분자 매트릭스 내에 나노미터 단위로 분산되어 있는 상기 본원의 제 1 측면에 따른 실란-함유 무기 나노필러를 함유하는 피막을 포함하는, 에나멜 와이어를 제공한다.
- [0014] 본원의 제 4 측면은, 제 1 용매에 무기 나노필러를 첨가하고, 상기 제 1 용매에 방향족 고리기를 함유하는 제 1 실란 및 아민기를 함유하는 제 2 실란을 첨가하고 초음파를 조사함으로써 실란-함유 무기 나노필러를 수득하는 것; 상기 실란-함유 무기 나노필러를 제 2 용매에 분산하여 콜로이드 용액(colloidal solution)을 수득하는 것; 상기 콜로이드 용액을 에나멜 와이어용 바니시에 분산하여 상기 실란-함유 무기 나노필러를 함유하는 바니시를 수득하는 것; 및 상기 바니시를 전도성 와이어 상에 코팅하고 건조 및 열경화 함으로써 상기 실란-함유 무기 나노필러를 함유하는 피막을 형성하여 에나멜 와이어를 수득하는 것을 포함하는, 본원의 제 3 측면에 따른 에나멜 와이어의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0015] 본원에 따라 분산성이 높은 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 포함하는 바니시를 제조하고, 상기 바니시를 에나멜 와이어를 코팅하는 용도로 사용할 경우, 부분방전 현상을 효과적으로 방지할 수 있는 내부분방전성 에나멜 와이어를 용이하고 경제적으로 제조할 수 있다.
- [0016] 상기 에나멜 와이어를 코팅하여 내부분방전성 에나멜 와이어를 제조하기 위한 목적으로 제조되는 바니시에는 무기 나노필러가 균일하고 안정적으로 분산되어 있어야 할 필요가 있는데, 상기 무기 나노필러의 분산을 위하여 종래에 이용되었던 방법들은 각각 문제점을 보유하는 것으로서 개선이 필요하였다. 구체적으로, 기계적으로 분산하는 방법의 경우에는 분산 안정성이 낮고 상기 무기 나노필러 간의 재응집이 발생할 가능성이 높다는 문제점

이 있었고, 졸-겔 방법을 이용하는 경우에는 긴 반응 시간과 이에 따른 높은 단가의 문제점이 있었으며, 종래의 방법에 따라 상기 무기 나노필러를 표면 처리한 경우에는 상기 무기 나노필러의 분산성이 유지되지 못한다는 문제점이 있었다.

[0017] 반면, 본원에 따라 제조된 복합 표면 기능화된 무기 나노필러는 종래의 무기 나노필러들에 비해 월등한 분산성 및 분산 안정성을 보유하는 것으로서, 이를 포함하는 바니시 용액을 제조하여 이를 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조를 위하여 이용할 경우, 상기 에나멜 와이어의 표면에 가해지는 부분방전을 흡수하거나 반사함으로써 상기 부분방전을 방지하는 효과를 극대화시킬 수 있다는 이점이 있다.

[0018] 따라서, 본원에 따라 제조된 내부분방전성 에나멜 와이어를 모터, 인버터, 트랜스포머 등을 포함하는 전기 기기의 부품으로서 사용할 경우, 상기 전기 기기에 가해지는 인버터 서지에 의한 열화로 발생하는 수명 저하를 예방함으로써, 상기 전기 기기의 수명을 연장시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본원의 일 구현예에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 단면도이다.

도 2a는 발연 실리카를 주사전자현미경으로 관찰한 이미지이고, 도 2b는 본원의 실시예 1에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 주사전자현미경으로 관찰한 이미지이다.

도 3은, 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 바니시, 및 본원의 실시예 1에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 고휘분 대비 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 폴리에스테르이미드 나노복합체 바니시의 사진이다.

도 4는, 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 바니시, 및 본원의 실시예 1에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 고휘분 대비 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 폴리에스테르이미드 나노복합체 바니시의 점도 그래프이다.

도 5는, 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 바니시, 및 본원의 실시예 1에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 고휘분 대비 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 폴리에스테르이미드 나노복합체 바니시를 열경화한 후, 시차주사열량계를 사용하여 측정한 온도-열 유속(heat flow) 그래프이다.

도 6은, 상기 본원의 도 5의 온도-열 유속 그래프를 통해 얻은 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량-유리전이온도 그래프이다.

도 7a는 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 바니시를 열경화한 경우의 주사전자현미경 이미지이고, 도 7b는 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 바니시를 열경화하고 불산으로 표면 처리한 경우의 주사전자현미경 이미지이며, 도 7c는 본원의 실시예 1에 따른 5 중량%의 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 함유하는 폴리에스테르이미드 나노복합체 바니시를 열경화한 경우의 주사전자현미경 이미지이고, 도 7d는 본원의 실시예 1에 따른 5 중량%의 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 함유하는 폴리에스테르이미드 나노복합체 바니시를 열경화하고 불산으로 표면 처리한 경우의 주사전자현미경 이미지이다.

도 8은 본원의 실시예 1에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조과정 중 일부로서, 나노복합체 바니시를 전도성 와이어 상에 코팅하고 건조 및 열처리함에 의하여 피막을 형성하여 내부분방전성 에나멜 와이어를 제조하는 과정의 사진이다.

도 9a는 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 에나멜 와이어의 표면의 주사전자현미경 이미지이고, 도 9b는 본원의 실시예 1에 따른 폴리에스테르이미드 내부분방전성 에나멜 와이어의 표면의 주사전자현미경 이미지이다.

도 10은 본원의 실시예 1에 따른 폴리에스테르이미드 내부분방전성 에나멜 와이어의 표면에 발생한 부분방전 사진이다.

도 11은 본원의 비교예 1에 따른 에나멜 와이어, 및 본원의 실시예 1에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어에 부분방전을 가했을 때 파괴되기까지 걸리는 시간-전압 그래프이다.

도 12는, 본원의 비교예 2에 따른 폴리에스테르 바니시, 및 본원의 실시예 2에 따른 복합 표면 기능화된 무기

나노필러의 함량이 고휘분 대비 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 폴리에스테르 나노복합체 바니시의 사진이다.

도 13은, 본원의 비교예 2에 따른 폴리에스테르 바니시, 및 본원의 실시예 2에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 고휘분 대비 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 폴리에스테르 나노복합체 바니시의 점도 그래프이다.

도 14a는 본원의 비교예 2에 따른 폴리에스테르 바니시를 열경화한 경우의 주사전자현미경 이미지이고, 도 14b는 본원의 비교예 2에 따른 폴리에스테르 바니시를 열경화하고 불산으로 표면 처리한 경우의 주사전자현미경 이미지이며, 도 14c는 본원의 실시예 2에 따른 5 중량%의 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 함유하는 폴리에스테르 나노복합체 바니시를 열경화한 경우의 주사전자현미경 이미지이고, 도 14d는 본원의 실시예 2에 따른 5 중량%의 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 함유하는 폴리에스테르 나노복합체 바니시를 열경화하고 불산으로 표면 처리한 경우의 주사전자현미경 이미지이다.

도 15는 본원의 실시예 2에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조과정 중 일부로서, 나노복합체 바니시를 전도성 와이어 상에 코팅하고 건조 및 열처리함에 의하여 피막을 형성하여 내부분방전성 에나멜 와이어를 제조하는 과정의 사진이다.

도 16은, 본원의 비교예 2에 따른 에나멜 와이어, 및 본원의 실시예 2에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어에 부분방전을 가했을 때 파괴되기까지 걸리는 시간 그래프이다.

도 17은 본원의 비교예 3에 따른 1 종의 실란만을 사용하여 표면 개질된 무기 나노필러를 포함하는 나노복합체 바니시의 사진이다.

도 18은 본원의 비교예 4에 따른 무기 나노필러를 포함하는 나노복합체 바니시의 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본원이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본원을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0021] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.
- [0022] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0023] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0024] 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용 오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다. 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 "~(하는) 단계" 또는 "~의 단계"는 "~를 위한 단계"를 의미하지 않는다.
- [0025] 본원 명세서 전체에서, 마쿠시 형식의 표현에 포함된 "이들의 조합"의 용어는 마쿠시 형식의 표현에 기재된 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 혼합 또는 조합을 의미하는 것으로서, 상기 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다.
- [0026] 본원 명세서 전체에서, 단독으로 또는 또 다른 기의 일부분으로서 용어 "방향족 고리기"는, 각각, 치환기를 가질 수 있는 페닐기, 치환기를 가질 수 있는 벤질기, 치환기를 가질 수 있는 톨루일기, 치환기를 가질 수 있는 스타이레닐기, 또는 치환기를 가질 수 있는 나프탈렌기일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0027] 본원 명세서 전체에서, 단독으로 또는 또 다른 기의 일부분으로서 용어 "아민" 또는 "아민기"는 -N, -NH, 또는 -NH₂를 의미하며, 상기 "아민" 또는 "아민기"는 동일하거나 상이할 수 있는 1 개 또는 2개의 치환기, 예를 들어, 알킬기, 아릴기, 아릴알킬기, 알케닐기, 알키닐기, 헤테로아릴기, 헤테로아릴알킬기, 사이클로헤테로알킬기, 사이클로헤테로알킬알킬기, 사이클로알킬기, 사이클로알킬알킬기, 할로알킬기, 히드록시알킬기, 알콕시알킬

기, 티오알킬기, 카르보닐기, 또는 카르복실기로 임의로 치환될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [0028] 본원 명세서 전체에서, "알킬" 또는 "알킬기"는, 각각, 선형 또는 분지형의, 포화 또는 불포화의, 탄소수 1 내지 10의 알킬기, 예를 들어 탄소수 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 또는 10의 알킬기일 수 있으며, 예를 들어, 메틸, 에틸, 프로필, 부틸, 펜틸, 헥실, 헵실, 옥틸, 노닐, 데실, 또는 이들의 이성질체를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0029] 본원 명세서 전체에서, "실란"은 화학식 $\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$ 로써 표시될 수 있는 수소화 규소를 의미하며, 상기 화학식에 포함되는 수소원자가 탄화수소기 등의 치환기로 치환된 유기화합물도 상기 "실란"의 정의에 포함되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0030] 본원 명세서 전체에서, "바니시"는 광택이 있는 투명한 피막을 형성하는 도료로서, 주성분으로 천연수지나 합성수지 등의 고분자 성분 및 용매를 포함하는 물질을 의미하며, 유성 바니시, 스피릿 바니시 등이 이에 포함될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0031] 본원 명세서 전체에서, "복합 표면 기능화된 무기 나노필러"의 용어는, 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 2 종류 이상의 실란을 포함함으로써 표면이 기능화된 무기 나노필러를 의미하는 것으로서, 상기 실란에는 방향족 고리기를 함유하는 실란, 아민기를 함유하는 실란, 또는 탄화수소기를 함유하는 실란이 포함되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 본원의 제 1 측면에 따른 실란-함유 무기 나노필러는 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러에 해당하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니며, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러는 제 1 실란, 제 2 실란, 이외에도 제 3 실란 등 추가적인 실란을 포함하도록 표면이 기능화된 것일 수 있다.
- [0032] 본원의 제 1 측면은, 무기 나노필러(nanofiller); 상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 방향족 고리기를 함유하는 제 1 실란; 및 상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 아민기를 함유하는 제 2 실란을 포함하는, 실란-함유 무기 나노필러를 제공한다.
- [0033] 예를 들어, 상기 제 1 실란은 방향족 고리기를 적어도 하나 함유하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 2 실란은 아민기를 적어도 하나 함유하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0034] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 실란-함유 무기 나노필러는 상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 탄소수 약 1 개 내지 약 3 개의 탄화수소기를 함유하는 제 3 실란을 추가 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0035] 예를 들어, 상기 제 3 실란은 탄소수 약 1 개 내지 약 3 개의 탄화수소기를 적어도 하나 함유하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 3 실란은 탄소수 약 1 개, 약 2 개, 또는 약 3 개의 탄화수소기를 적어도 하나 함유하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0036] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 무기 나노필러는, 실리카, 티타니아, 알루미늄, 지르코니아, 이트리아, 산화크롬, 산화아연, 산화철, 클레이, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 실리카는 발연 실리카일 수 있으며, 용융 실리카, 침강 실리카, 솔-젤 법에 의해 제조된 실리카, 또는 콜로이드알 실리카일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 티타니아는 발연 티타니아일 수 있으며, 용융 티타니아, 침강 티타니아, 솔-젤 법에 의해 제조된 티타니아, 또는 콜로이드알 티타니아일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 알루미늄은 발연 알루미늄일 수 있으며, 용융 알루미늄, 침강 알루미늄, 솔-젤 법에 의해 제조된 알루미늄, 또는 콜로이드알 알루미늄일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0037] 예를 들어, 상기 무기 나노필러가 실리카 또는 판상, 침상의 실리케이트 등 SiO_2 계열의 무기 나노필러인 경우, 표면의 하이드록실기로부터 발생하는 수소결합 때문에 상기 무기 나노필러들끼리 강하게 상호작용하는 경향이 있으며, 이로 인해 코팅제 및 페인트 등의 도료에 첨가하여 점도를 증가시키는 용도로서 유용하게 사용될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 SiO_2 계열의 무기 나노필러를 용액에 분산시킨 후 도료에 섞거나, 상기 무기 나노필러 자체를 도료에 섞어 점도를 높이는데 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 SiO_2 계열의 무기 나노필러는, 본원의 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 제조하기 위해서도 유용하

게 사용할 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0038] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 제 1 실란은, 트리메톡시페닐실란 (trimethoxyphenylsilane), N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]아닐린 (N-[3-(trimethoxysilyl)propyl]aniline), N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]-n'-(4-비닐벤질)에틸렌디아민 (N-[3-(trimethoxysilyl)propyl]-n'-(4-vinylbenzyl)ethylenediamine), 알릴페닐디클로로실란 (allylphenyldichlorosilane), 아미노페닐트리메톡시실란 (aminophenyltrimethoxysilane), t-부틸페닐디클로로실란 (t-butylphenyldichlorosilane), p-(t-부틸)페네틸트리클로로실란 (p-(t-butyl)phenethyltrichlorosilane), 3,5-디메톡시페닐트리메톡시실란 (3,5-dimethoxyphenyltriethoxysilane), 디페닐디에톡시실란 (diphenyldiethoxysilane), 디페닐디메톡시실란 (diphenyldimethoxysilane), 디페닐메틸에톡시실란 (diphenylmethylethoxysilane), 3-(p-메톡시페닐)프로필트리클로로실란 (3-(p-methoxyphenyl)propyltrichlorosilane), p-메톡시페닐트리메톡시실란 (p-methoxyphenyltrimethoxysilane), 페네틸메틸디클로로실란 (phenethylmethyldichlorosilane), 페네틸트리메톡시실란 (phenethyltrimethoxysilane), 3-페녹시프로필디메틸클로로실란 (3-phenoxypropyldimethylchlorosilane), 3-페녹시프로필메틸디클로로실란 (3-phenoxypropylmethyldichlorosilane), 3-페녹시프로필트리클로로실란 (3-phenoxypropyltrichlorosilane), 페닐디메틸클로로실란 (phenyldimethylchlorosilane), 페닐디메틸에톡시실란 (phenyldimethylethoxysilane), 페닐에틸디클로로실란 (phenylethyldichlorosilane), 페닐메틸디클로로실란 (phenylmethyldichlorosilane), 1-페닐-1-(메틸디클로로실릴)부탄 (1-phenyl-1-(methyldichlorosilyl)butane), 페닐메틸디메톡시실란 (phenylmethyldimethoxysilane), 페닐메틸디에톡시실란 (phenylmethyldiethoxysilane), (3-페닐프로필)트리클로로실란 ((3-phenylpropyl)trichlorosilane), 페닐트리클로로실란 (phenyltrichlorosilane), 페닐트리메톡시실란 (phenyltriethoxysilane), 페닐트리메톡시실란 (phenyltrimethoxysilane), 트리페닐클로로실란 (triphenylchlorosilane), 트리페닐에톡시실란 (triphenylethoxysilane), (트리페닐메틸)메틸디클로로실란 ((triphenylmethyl)methyldichlorosilane), 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 1 실란은 방향족 고리기를 함유하는 실란의 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0039] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 제 2 실란은, 3-[2-(2-아미노에틸아미노)에틸아미노]프로필트리메톡시실란 (3-[2-(2-aminoethylamino)ethylamino]propyltrimethoxysilane), N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]에틸렌디아민 (N-[3-(trimethoxysilyl)propyl]ethylenediamine), (3-아미노프로필)트리메톡시실란 ((3-aminopropyl)trimethoxysilane), 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 2 실란은 아민기를 함유하는 실란의 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0040] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 제 3 실란은, 에틸트리메톡시실란 (ethyltrimethoxysilane), 메톡시트리메틸실란 (methoxytrimethylsilane), 에톡시트리메틸실란 (ethoxytrimethylsilane), 트리에틸클로로실란 (triethylchlorosilane), 트리메틸클로로실란 (trimethylchlorosilane), 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 3 실란은 탄소수 약 1 개 내지 약 3 개의 탄화수소기를 함유하는 실란의 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0041] 예를 들어, 상기 실란-함유 무기 나노필러는 나노입자 형태를 가질 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 또한, 예를 들어, 상기 무기 나노필러는 약 1 nm 내지 약 100 nm, 약 1 nm 내지 약 90 nm, 약 1 nm 내지 약 80 nm, 약 1 nm 내지 약 70 nm, 약 1 nm 내지 약 60 nm, 약 1 nm 내지 약 50 nm, 약 1 nm 내지 약 40 nm, 약 1 nm 내지 약 30 nm, 약 5 nm 내지 약 100 nm, 약 5 nm 내지 약 90 nm, 약 5 nm 내지 80 nm, 약 5 nm 내지 약 70 nm, 약 5 nm 내지 약 60 nm, 약 5 nm 내지 약 50 nm, 약 5 nm 내지 약 40 nm, 또는 약 5 nm 내지 약 30 nm일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0042] 예를 들어, 상기 실란-함유 무기 나노필러는 제 1 실란, 제 2 실란, 및 제 3 실란 이외의 추가적인 실란들이 상기 무기 나노필러의 표면에 화학적으로 결합된 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0043] 예를 들어, 상기 실란-함유 무기 나노필러는 분말상, 젤상, 또는 액상일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0044] 본원의 제 2 측면은, 상기 본원의 제 1 측면에 따른 실란-함유 무기 나노필러가 분산된, 바니시를 제공한다.

- [0045] 본원의 제 2 측면의 바니시에 포함되는 상기 실란-함유 무기 나노필러는 본원의 제 1 측면에 따른 것이며, 이에 따라 본원의 제 1 측면에서 기재한 본원의 모든 구현예들 및 예시들이 본원의 제 2 측면에도 그대로 적용되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0046] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 바니시는, 폴리에스테르 바니시, 폴리에스테르이미드 바니시, 폴리에스테르아미드 바니시, 폴리에스테르아미드이미드 바니시, (트리(2-하이드록시 에틸)이소시아누에이트 트리아크릴레이트)-폴리에스테르이미드 바니시, 폴리에테르이미드 바니시, 폴리아미드 바니시, 폴리아미드이미드 바니시, 폴리아미드 바니시, 폴리우레탄 바니시, 폴리비닐포르말 바니시, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0047] 본원의 제 3 측면은, 전도성 와이어; 및, 상기 전도성 와이어 상에 형성되며, 유기 절연 고분자 매트릭스(matrix) 및 상기 유기 절연 고분자 매트릭스 내에 나노미터 단위로 분산되어 있는 상기 본원의 제 1 측면에 따른 실란-함유 무기 나노필러를 함유하는 피막을 포함하는, 에나멜 와이어를 제공한다.

[0048] 예를 들어, 본원의 제 3 측면의 에나멜 와이어는 내부분방전성 에나멜 와이어일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0049] 본원의 제 3 측면의 에나멜 와이어에 포함되는 상기 실란-함유 무기 나노필러는 본원의 제 1 측면에 따른 것이며, 이에 따라 본원의 제 1 측면에서 기재한 본원의 모든 구현예들 및 예시들이 본원의 제 3 측면에도 그대로 적용되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0050] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 유기 절연 고분자 매트릭스는, 폴리에스테르, 폴리에스테르이미드, 폴리에스테르아미드, 폴리에스테르아미드이미드, (트리(2-하이드록시 에틸)이소시아누에이트 트리아크릴레이트)-폴리에스테르이미드, 폴리에테르이미드, 폴리아미드, 폴리아미드이미드, 폴리아미드, 폴리우레탄, 폴리비닐포르말, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0051] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 피막에서 상기 실란-함유 무기 나노필러의 함량이 약 0.1 중량% 내지 약 30 중량%일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 피막에서 상기 무기 나노필러의 함량이 약 0.1 중량% 내지 약 5 중량%, 약 0.1 중량% 내지 약 10 중량%, 약 0.1 중량% 내지 약 20 중량%, 약 0.1 중량% 내지 약 30 중량%, 약 5 중량% 내지 약 10 중량%, 약 5 중량% 내지 약 20 중량%, 약 5 중량% 내지 약 30 중량%, 약 10 중량% 내지 약 20 중량%, 약 10 중량% 내지 약 30 중량%, 또는 약 20 중량% 내지 약 30 중량%일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0052] 본원의 제 3 측면과 관련하여, 본원의 도 1은 본원의 일 구현예에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 단면도로써, 단일 코팅 타입(Single-coated type)의 에나멜 와이어의 단면도이며, 상기 내부분방전성 에나멜 와이어는 전도성 와이어(110), 상기 전도성 와이어 상에 형성된 복합 표면 기능화된 무기 나노필러, 및 유기 절연 고분자를 함유하는 피막(120)을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0053] 예를 들어, 본원의 제 3 측면에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어는 상기 도 1의 단일 코팅 타입 외에도, 이중 코팅 타입, 또는 다중 코팅 타입일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0054] 또한, 예를 들어, 본원의 제 3 측면에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어는, 상기 도 1의 원형 에나멜 와이어 외에도, 각형(rectangular type), 및 플랫폼형(flat type)의 에나멜 와이어일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0055] 예를 들어, 본원의 제 3 측면에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어에 포함되는 상기 피막의 두께는 당업계에서 통상적으로 적용되는 두께를 모두 적용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0056] 예를 들어, 본원의 제 3 측면에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어에 포함되는 상기 전도성 와이어는, 예를 들어, 구리, 알루미늄, 니켈, 금, 은, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0057] 본원의 제 4 측면은, 제 1 용매에 무기 나노필러를 첨가하고, 상기 제 1 용매에 방향족 고리기를 함유하는 제 1 실란 및 아민기를 함유하는 제 2 실란을 첨가하고 초음파를 조사함으로써 실란-함유 무기 나노필러를 수득하는 것; 상기 실란-함유 무기 나노필러를 제 2 용매에 분산하여 콜로이드 용액(colloidal solution)을 수득하는 것;

상기 콜로이드 용액을 에나멜 와이어용 바니시에 분산하여 상기 실란-함유 무기 나노필러를 함유하는 바니시를 수득하는 것; 및 상기 바니시를 전도성 와이어 상에 코팅하고 건조 및 열경화 함으로써 상기 실란-함유 무기 나노필러를 함유하는 피막을 형성하여 에나멜 와이어를 수득하는 것을 포함하는, 본원의 제 3 측면에 따른 에나멜 와이어의 제조방법을 제공한다.

- [0058] 본원의 제 4 측면은 본원의 제 3 측면에 따른 에나멜 와이어의 제조방법에 관한 것으로서, 본원의 제 4 측면에 따른 제조방법에 포함되는 상기 실란-함유 무기 나노필러는 본원의 제 1 측면에 따른 것이며, 상기 바니시는 본원의 제 2 측면에 따른 것이므로, 이에 따라 본원의 제 1 측면 내지 제 3 측면 각각에서 기재한 본원의 모든 구현예들 및 예시들이 본원의 제 4 측면에도 그대로 적용되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0059] 예를 들어, 본원의 제 4 측면에 따른 제조방법에 포함되는 상기 실란-함유 무기 나노필러는, 본원의 제 4 측면에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조방법의 전체 과정에 걸쳐서 높은 분산성을 가질 수 있도록 특별히 고안하여 제조된 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0060] 예를 들어, 상기 제 1 용매는, 톨루엔, 자일렌, 에탄올, 메탄올, 크레졸, 물, 아세톤, 사이클로헥산, 페놀, N-메틸피롤리돈 (N-methylpyrrolidone = NMP), 글리콜에테르, N,N-디메틸포름아마이드 (N,N-Dimethylformamide = DMF), 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 1 용매는 상기 에나멜 와이어용 바니시를 희석하기 위해 사용되는 희석제를 추가 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0061] 예를 들어, 상기 제 2 용매는, 톨루엔, 자일렌, 에탄올, 메탄올, 크레졸, 물, 아세톤, 사이클로헥산, 페놀, N-메틸피롤리돈, 글리콜에테르, N,N-디메틸포름아마이드, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 2 용매는 상기 에나멜 와이어용 바니시를 희석하기 위해 사용되는 희석제를 추가 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0062] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 실란-함유 무기 나노필러를 수득하는 것은, 탄소수 약 1 개 내지 약 3 개의 탄화수소기를 함유하는 제 3 실란을 추가적으로 첨가하고 초음파를 조사하는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0063] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 무기 나노필러는, 실리카, 티타니아, 알루미늄, 지르코니아, 이트리아, 산화 크롬, 산화 아연, 산화철, 클레이, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0064] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 제 1 실란은, 트리메톡시페닐실란, N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]아닐린, N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]-n'-(4-비닐벤질)에틸렌디아민, 알릴페닐디클로로실란, 아미노페닐트리메톡시실란, t-부틸페닐디클로로실란, p-(t-부틸)페닐트리클로로실란, 3,5-디메톡시페닐트리메톡시실란, 디페닐디메톡시실란, 디페닐메틸에톡시실란, 3-(p-메톡시페닐)프로필트리클로로실란, p-메톡시페닐트리메톡시실란, 페네틸메틸디클로로실란, 페네틸트리메톡시실란, 3-페녹시프로필디메틸클로로실란, 3-페녹시프로필메틸디클로로실란, 3-페녹시프로필트리클로로실란, 페닐디메틸클로로실란, 페닐디메틸에톡시실란, 페닐에틸디클로로실란, 페닐메틸디클로로실란, 1-페닐-1-(메틸디클로로실릴)부탄, 페닐메틸디메톡시실란, 페닐메틸디에톡시실란, (3-페닐프로필)트리클로로실란, 페닐트리클로로실란, 페닐트리메톡시실란, 페닐트리메톡시실란, 트리페닐클로로실란, 트리페닐에톡시실란, (트리페닐메틸)메틸디클로로실란, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 1 실란은 방향족 고리기를 함유하는 실란의 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0065] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 제 2 실란은, 3-[2-(2-아미노에틸아미노)에틸아미노]프로필트리메톡시실란, N-[3-(트리메톡시실릴)프로필]에틸렌디아민, (3-아미노프로필)트리메톡시실란, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 2 실란은 아민기를 함유하는 실란의 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0066] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 제 3 실란은, 에틸트리메톡시실란, 메톡시트리메틸실란, 에톡시트리메틸실란, 트리메틸클로로실란, 트리메틸클로로실란, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 제 3 실란은 탄소수 약 1 개 내지 약 3 개의 탄화수소기를 함유하는 실란의 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0067] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 에나멜 와이어용 바니시는, 폴리에스테르 바니시, 폴리에스테르이미드 바니시, 폴리에스테르아미드 바니시, 폴리에스테르아미드이미드 바니시, (트리(2-하이드록시 에틸)이소시아누에

이트 트리악릴레이트)-폴리에스테르이미드 바니시, 폴리에테르이미드 바니시, 폴리아미드 바니시, 폴리아미드 이미드 바니시, 폴리이미드 바니시, 폴리우레탄 바니시, 폴리비닐포르말 바니시, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0068] 예를 들어, 본원의 제 4 측면의 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조방법에 포함되는 상기 초음파를 조사하는 과정, 즉, 초음파 처리는, 종래 기술의 열과 용매만을 사용하여 수행되었던 표면 처리 과정에 비해 소요 시간 단축의 이점을 보유하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 에나멜 와이어용 바니시에 대한 만족할만한 분산성을 나타내는 표면점유율(surface coverage)을 확보하기 위하여 소요되는 표면 처리 시간이 상기 초음파 처리를 통해 단축될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 종래 기술의 열과 용매만을 사용하여 수행되었던 표면 처리 과정을 이용할 경우, 상기 에나멜 와이어용 바니시에 대한 만족할만한 분산성을 나타내는 표면점유율을 확보하기 위해 표면 처리에 소요되는 시간은 약 9 일 정도 일 수 있는 반면, 본원의 제 4 측면에서와 같이 초음파 처리를 이용할 경우, 배스(bath) 초음파의 경우 상기 표면 처리에 소요되는 시간이 약 3 일 정도, 혼(horn) 초음파의 경우 상기 표면 처리에 소요되는 시간이 약 3.5 시간 정도로 획기적으로 단축될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0069] 본원의 제 4 측면에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조방법은 상기 무기 나노필러를 적절한 용매에 분산 시킴으로써 콜로이드 용액을 수득하는 것으로 시작되는 것일 수 있으며, 이는 구체적으로, 제 1 용매에 무기 나노필러를 첨가하고 상기 제 1 용매에 제 1 실란과 제 2 실란을 첨가한 후 초음파를 조사함으로써 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 수득하는 것, 및 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 제 2 용매에 분산하여 콜로이드 용액을 수득하는 것의 순으로 수행되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 여기에서, 상기 콜로이드 용액은 이후 수행되는 공정에서 상기 에나멜 와이어용 바니시와 용이하게 혼합될 수 있는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 또한, 상기 콜로이드 용액을 수득하기 위해 사용되는 상기 제 1 용매 및 제 2 용매 각각은 상기 무기 나노필러를 균일하게 분산시키는 것인 동시에, 이후 수행되는 나노복합체 바니시의 열경화 공정을 해치지 않는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0070] 본원의 제 4 측면에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조방법은, 상기 콜로이드 용액을 수득하는 공정을 수행한 뒤, 이어 상기 콜로이드 용액을 에나멜 와이어용 바니시에 분산하여 상기 무기 나노필러를 함유하는 나노복합체 바니시를 수득하는 공정을 수행하는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 에나멜 와이어용 바니시로서, 당업계에서 활용성이 높은 폴리에스테르 바니시, 또는 폴리에스테르이미드 바니시를 이용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 바니시는, 수 내지 수십 개의 단량체가 결합된 올리고머(oligomer)의 일종인 프레폴리머(prepolymer) 등의 고분자 성분, 및 크레졸이나 자일렌 등의 용매가 주 성분이다. 일반적으로 상기 프레폴리머는 방향족 고리기를 포함하는 선형의 화학 구조를 가지나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 폴리에스테르 바니시에 함유된 에스테르 프레폴리머는 비극성에 가깝지만 하이드록실기를 일부 포함하고 있어 강한 비극성을 띄는 것은 아니다. 한편, 예를 들어, 상기 폴리에스테르이미드 바니시에 함유된 에스테르이미드 프레폴리머는 아민기도 함유하고 있어 보다 강한 극성을 띤다. 또한, 상기 바니시에 포함되는 용매로서 사용될 수 있는 크레졸은 강한 극성을 띄는 물질인 반면, 자일렌은 비극성을 띄는 물질이다. 이처럼 극성과 비극성을 띄는 다양한 화학 물질들을 함유하는 상기 바니시 내에서 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러가 높은 분산성을 가지도록 하기 위해서는, 상기 다양한 화학 물질들에 일 대 일로 대응하여 강한 상호작용(interaction)을 할 수 있어야 한다. 따라서, 상기 다양한 화학 물질 중 상기 프레폴리머 및 상기 자일렌과 강한 상호작용을 할 수 있는 방향족 고리기를 함유하는 제 1 실란, 및 상기 크레졸과 강한 상호작용을 할 수 있는 아민기를 함유하는 제 2 실란을 포함하는 유기 물질들이 표면에 화학적으로 결합됨으로써 복합 표면 기능화된 본원의 제 1 측면에 따른 무기 나노필러를 이용함으로써, 상기 바니시 내에서 상기 무기 나노필러가 높은 분산성을 가지도록 할 수 있다. 즉, 본원의 제 1 측면에 따른 무기 나노필러는 상기 바니시 내에서 높은 분산성을 가지는 것으로서, 이를 본원의 제 4 측면에 따른 제조방법 중 "상기 콜로이드 용액을 에나멜 와이어용 바니시에 분산하여 상기 무기 나노필러를 함유하는 나노복합체 바니시를 수득하는 공정"에서 유용하게 이용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0071] 본원의 제 4 측면에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조방법은, 상기 나노복합체 바니시를 수득하는 공정을 수행한 뒤, 이어 상기 나노복합체 바니시를 전도성 와이어 상에 코팅하고 건조 및 열경화함으로써 상기 무기 나노필러를 함유하는 피막을 형성하는 공정을 수행하여 최종적으로 본원의 제 3 측면에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어를 수득하는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 나노복합체 바니시의 건조 및 열경화는, 약 350℃ 내지 약 550℃의 강한 열을 가함으로써 용매의 급속한 건조와 상기 나노복합체 바니시의 열경화가 동시에 수행되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 건조 공

정에서 낮은 기화점을 가지는 자일렌이 먼저 휘발됨으로써 상기 무기 나노필러의 주변 환경이 급속히 극성화되는 동시에, 열에 의해 발생한 주변의 급격한 열운동에 의해 상기 무기 나노필러의 분산성이 저하될 수 있으나, 복합 표면 기능화된 본원의 제 1 측면에 따른 무기 나노필러는 그 표면에 화학적으로 결합된 극성 아민기를 보유하기 때문에 이와 같은 극심한 주변 환경의 변화가 가해지는 경우에도 높은 분산성을 유지할 수 있다. 상기 자일렌이 먼저 휘발된 뒤, 이어 상기 자일렌보다 높은 기화점을 가지는 크레졸이 휘발되면서 상기 무기 나노필러의 주변 환경이 급속히 비극성화될 수 있는데, 복합 표면 기능화된 본원의 제 1 측면에 따른 무기 나노필러는 그 표면에 화학적으로 결합된 방향족 고리기를 보유하며 상기 방향족 고리기와 프레폴리머의 방향족 고리기가 $\pi-\pi$ 상호작용에 의해 강하게 상호작용할 수 있기 때문에, 이 경우에도 높은 분산성을 유지할 수 있다. 이 때, 상기 바니시가 폴리에스테르 바니시이고, 복합 표면 기능화된 본원의 제 1 측면에 따른 무기 나노필러의 표면에 제 3 실란이 추가적으로 결합되어 있는 경우, 상기 제 3 실란의 소수성의 짧은 탄화수소기가 상기 무기 나노필러의 표면에 존재하는 하이드록실기에 의해 발생하는 상기 무기 나노필러 간의 인력을 억제하는 동시에, 소수성 상호작용을 한층 더 강화함으로써 상기 무기 나노필러의 분산성을 더욱 향상시킬 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 본원의 제 4 측면에 따른 제조방법 중 열경화 공정의 진행 시에는 용매가 거의 휘발되어 상기 무기 나노필러 주변에는 거의 프레폴리머만 남아 있게 되고, 온도가 본격적으로 상승하기 시작하면서 상기 프레폴리머가 크로스-링크되기 시작하며, 상기 프레폴리머와 상기 무기 나노필러의 상호작용이 앞서 수행되었던 공정들에 비해 강하게 작용하게 된다. 또한, 이 때에는 상기 무기 나노필러의 주변환경이 이전 공정들에 비해 소수성이 되며, 점도가 강해지고, 열에 의한 열운동이 집중적으로 상기 무기 나노필러에 가해질 수 있다. 이와 같은 열경화 공정이 완료되면, 보다 높은 분자량의 고분자 형태로 성장하는 고분자 사슬 사이사이에 표면에 방향족 고리기가 화학적으로 결합된 상기 무기 나노필러가 위치하게 되며, 상기 무기 나노필러의 방향족 고리기는 상기 고분자 사슬의 방향족 고리기와 강하게 상호작용하게 됨으로써 상기 무기 나노필러의 위치가 최종적으로 고정된다. 이에 따라, 상기 무기 나노필러는 최종적으로 형성되는 매트릭스에서 높은 분산성을 유지할 수 있게 된다.

[0072] 정리하면, 복합 표면 기능화된 본원의 제 1 측면에 따른 무기 나노필러는, 본원의 제 4 측면에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조방법에 포함되는 모든 공정에 있어서 높은 분산성을 유지할 수 있다.

[0073] 이하에서는, 본원에 대하여 실시예 및 도면을 이용하여 보다 더 구체적으로 설명하지만, 본원이 이에 제한되는 것은 아니다.

[0074] [실시예]

[0075] <실시예 1> 폴리에스테르이미드 에나멜 와이어의 제조

[0076] 무기 나노필러인 시그마-알드리치사의 평균 크기 약 11 nm의 발연 실리카 약 12 g과, 용매인 톨루엔 약 600 ml를 약 1 리터 용량의 유리병에 넣었다. 상기 유리병을 약 85℃의 물로 채워진 약 100 W 및 약 40 kHz 규격의 배스(bath) 초음파기 내에 위치시키고 초음파를 약 30 분 동안 가했다. 이어서, 제 1 실란으로서, (3-아닐로프로필)트리메톡시실란 약 8 ml를 상기 유리병에 투입하고, 약 85℃의 열과 초음파를 약 10 분 동안 가했다. 이어서, 제 2 실란으로서, N-(2-아미노에틸)-3-(트리메톡시실릴)프로필아민 약 2 ml를 상기 유리병에 투입하고, 약 85℃의 열과 초음파를 약 3 일 동안 가하여 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 용액에 포함된 형태로서 수득하였다.

[0077] 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러는 용액 중에 있으므로, 미반응된 실란을 제거하기 위하여, 에탄올 약 200 ml를 상기 유리병에 넣고 혼합한 다음, 상기 유리병의 내용물을 유리 필터 깔대기에 붓고 세척하였다. 이 때, 물, 에탄올, 메탄올, 아세톤 등을 상기 내용물이 걸러진 상기 필터 상의 고형물에 분사하는 것을 3회 이상 실시함으로써 상기 세척을 수행하였다. 상기 세척된 고형물을 열풍 오븐에 넣고 약 110℃에서 약 12 시간 동안 건조하여 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 분말을 수득하였다.

[0078] 상기 무기 나노필러 분말을 약 20 중량%의 농도가 되도록 폴리에스테르이미드 바니시용 희석제를 넣고 약 85℃의 열과 초음파를 약 8 시간 동안 가하여 분산시킴으로써, 고농도의 실리카 콜로이드 용액을 수득하였다. 상기 실리카 콜로이드 용액을 코-맥사의 KEI 200-39KM 모델의 고형분 함량이 약 39 중량%인 폴리에스테르이미드 바니시와 혼합하여, 나노복합체 바니시를 수득하였다. 이때, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러가 상기 나노복합체 바니시의 전체 고형분 대비 각각 약 1 중량%, 약 3 중량%, 약 5 중량%, 약 10 중량%, 약 15 중량%, 및

약 20 중량%가 되도록 조절하였으며, 여기에서 상기 나노복합체 바니시의 고형분 함량은 약 35 중량%였다.

[0079] 이어서, 상기 나노복합체 바니시 중 약 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 약 5 중량%인 나노복합체 바니시 및 약 10 중량%인 나노복합체 바니시 각각을 이용하여 에나멜 와이어 전용로에서 약 0.500 mm 직경의 구리 와이어 상에 8 회 코팅하고 건조 및 열경화시켜 피막을 형성함으로써, 실시예 1의 폴리에스테르이미드 내부분방전성 에나멜 와이어를 완성하였다.

[0080] <비교예 1> 폴리에스테르이미드 에나멜 와이어의 제조

[0081] 코-맥사의 KEI 200-39KM 모델의 고형분이 약 39 중량%인 폴리에스테르이미드 바니시를 준비하였으며, 폴리에스테르이미드 바니시용 희석제를 상기 바니시와 혼합하여 고형분 함량이 약 35 중량%가 되도록 약간 희석하였다. 이어서, 상기 희석된 바니시를 에나멜 와이어 전용로에서 약 0.500 mm의 구리 에나멜 와이어 상에 8 회 코팅하고 건조 및 열경화시켜, 비교예 1의 폴리에스테르이미드 에나멜 와이어를 완성하였다.

[0082] <실시예 2> 폴리에스테르 에나멜 와이어의 제조

[0083] 무기 나노필러인 시그마-알드리치사의 평균 크기 약 11 nm의 발연 실리카 약 12 g과, 용매인 톨루엔 약 600 ml를 약 1 리터 용량의 유리병에 넣었다. 상기 유리병을 약 85℃의 물로 채워진 약 100 W 및 약 40 kHz 규격의 배스 초음파기 내에 위치시키고 초음파를 약 30 분 동안 가했다. 이어서, 제 1 실란으로서, (3-아닐로프로필)트리메톡시실란 약 8 ml를 상기 유리병에 투입하고, 약 85℃의 열과 초음파를 약 10 분 동안 가했다. 이어서, 제 2 실란으로서, N-(2-아미노에틸)-3-(트리메톡시실릴)프로필아민 약 2 ml를 상기 유리병에 투입하고, 약 85℃의 열과 초음파를 약 3 시간 동안 가하였다. 이어서, 제 3 실란으로서, 메톡시트리메틸실란 약 6 ml를 상기 유리병에 추가로 투입하고, 약 85℃의 열과 초음파를 약 3 일 동안 가하여 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 용액에 포함된 형태로서 수득하였다.

[0084] 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러는 용액 중에 있으므로, 미반응된 실란을 제거하기 위하여, 에탄올 약 200 ml를 상기 유리병에 넣고 혼합한 다음, 상기 유리병의 내용물을 유리 필터 깔대기에 붓고 세척하였다. 이때, 물, 에탄올, 메탄올, 아세톤 등을 상기 내용물이 걸러진 상기 필터 상의 고형물에 분사하는 것을 3회 이상 실시함으로써 상기 세척을 수행하였다. 상기 세척된 고형물을 열풍 오븐에 넣고 약 110℃에서 약 12 시간 동안 건조하여 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 분말을 수득하였다.

[0085] 상기 무기 나노필러 분말을 약 20 중량%의 농도가 되도록 폴리에스테르 바니시용 희석제에 약 85℃의 열과 초음파를 약 8 시간 동안 가하여 분산시킴으로써, 고농도의 실리카 콜로이드 용액을 수득하였다. 상기 실리카 콜로이드 용액을 신한케미칼시스템사의 HISTER HE320 모델의 고형분 함량이 약 40 중량%인 폴리에스테르 바니시와 혼합하여, 나노복합체 바니시를 수득하였다. 이때, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러가 상기 나노복합체 바니시의 전체 고형분 대비 약 1 중량%, 3 중량%, 약 5 중량%, 약 10 중량%, 약 15 중량%, 및 약 20 중량%가 되도록 조절하였다.

[0086] 이어서, 상기 나노복합체 바니시 중 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 약 1 중량%의 나노복합체 바니시를 이용하여 에나멜 와이어 전용로에서 약 1.00 mm 직경의 구리 와이어 상에 9 회 코팅하고 건조 및 열경화시켜 피막을 형성함으로써, 실시예 2의 폴리에스테르 내부분방전성 에나멜 와이어를 완성하였다.

[0087] <비교예 2> 폴리에스테르 에나멜 와이어의 제조

[0088] 신한케미칼시스템사의 HISTER HE320 모델의 고형분 함량이 약 40 중량%인 폴리에스테르 바니시를 준비하였다. 이어서, 상기 바니시를 에나멜 와이어 전용로에서 약 1.00 mm의 구리 에나멜 와이어 상에 9 회 코팅하고 건조 및 열경화시켜, 비교예 2의 폴리에스테르 에나멜 와이어를 제조하였다.

[0089] <실시예 3> 혼 초음파기를 사용한 복합 표면 기능화된 무기 나노필러 제조

[0090] 실시예 3의 혼 초음파기를 사용한 복합 표면 기능화된 무기 나노필러는 상기 실시예 1의 복합 표면 기능화된 무기 나노필러와 유사한 것이나, 표면 개질 과정에서 혼 초음파기를 사용하였다는 점에 차이가 있다.

- [0091] 먼저, 무기 나노필러인 시그마-알드리치사의 평균 크기 약 11 nm의 발연 실리카 약 12 g과, 용매인 톨루엔 약 600 ml를 약 1 리터 용량의 유리병에 넣었다. 상기 유리병을 85℃의 물로 채워진 배스 내에 위치시키고 약 400 W 및 약 20 kHz 규격의 자노소닉사의 혼 초음파기를 사용하여 최대 출력의 절반에 해당하는 초음파를 약 30 분 동안 가했다. 상기 온도와 초음파 조건은 하기의 반응 동안 계속 유지되었다. 이어서, 제 1 실란으로서, (3-아닐로프로필)트리메톡시실란 약 8 ml를 상기 유리병에 투입하였다. 이어서, 약 10 분 후에, 제 2 실란으로서, N-(2-아미노에틸)-3-(트리메톡시실릴)프로필아민 약 2 ml를 상기 유리병에 투입하였고, 약 3.5 시간 후에 반응을 종료하여, 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 용액에 포함된 형태로서 수득하였다.
- [0092] 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러는 용액 중에 있으므로, 미반응된 실란을 제거하기 위하여, 에탄올 약 200 ml를 상기 유리병에 넣고 혼합한 다음, 상기 유리병의 내용물을 유리 필터 깔대기에 붓고 세척하였다. 이때, 물, 에탄올, 메탄올, 아세톤 등을 상기 내용물이 걸러진 상기 필터 상의 고형물에 분사하는 것을 3회 이상 실시함으로써 상기 세척을 수행하였다. 상기 세척된 고형물을 열풍 오븐에 넣고 약 110℃에서 약 12 시간 동안 건조하여 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 분말을 수득하였다.
- [0093] <비교예 3> 1 종의 실란만을 사용하여 표면 개질된 무기 나노필러, 및 이를 포함하는 바니시의 제조
- [0094] 무기 나노필러인 시그마-알드리치사의 평균 크기 약 11 nm의 발연 실리카 약 12 g과, 용매인 톨루엔 약 600 ml를 약 1 리터 용량의 유리병에 넣었다. 상기 유리병을 85℃의 물로 채워진 약 100 W 및 약 40 kHz 규격의 배스 초음파기 내에 위치시키고 초음파를 약 30 분 동안 가했다. 이어서, (3-아닐로프로필)트리메톡시실란 약 8 ml를 상기 유리병에 투입하고, 약 85℃의 열과 초음파를 약 3 일 동안 가하여 1 종의 실란만을 사용하여 표면 개질된 무기 나노필러를 용액에 포함된 형태로서 수득하였다.
- [0095] 상기 1 종의 실란만을 사용하여 표면 개질된 무기 나노필러는 용액 중에 있으므로, 미반응된 실란을 제거하기 위하여, 에탄올 약 200 ml를 상기 유리병에 넣고 혼합한 다음, 상기 유리병의 내용물을 유리 필터 깔대기에 붓고 세척하였다. 이때, 물, 에탄올, 메탄올, 아세톤 등을 상기 내용물이 걸러진 상기 필터 상의 고형물에 분사하는 것을 3회 이상 실시함으로써 상기 세척을 수행하였다. 상기 세척된 고형물을 열풍 오븐에 넣고 약 110℃에서 약 12 시간 동안 건조하여 상기 1 종의 실란만을 사용하여 표면 개질된 무기 나노필러의 분말을 수득하였다.
- [0096] 상기 분말을 약 20 중량%의 농도가 되도록 폴리에스테르 바니시용 희석제를 넣고 약 85℃의 열과 초음파를 약 8 시간 동안 가하여 분산시킴으로써, 고농도의 실리카 콜로이드 용액을 수득하였다. 상기 실리카 콜로이드 용액을 신한케미칼시스템사의 HISTER HE320 모델의 고형분 함량이 약 40 중량%인 폴리에스테르 바니시와 혼합하고 약 85℃의 열과 초음파를 약 24 시간 동안 추가로 가하여, 나노복합체 바니시를 수득하였다. 이때, 상기 1 종의 실란만을 사용하여 표면 개질된 무기 나노필러가 상기 나노복합체 바니시의 전체 고형분 대비 약 1.0 중량%가 되도록 하였다.
- [0097] <비교예 4> 무기 나노필러를 포함하는 바니시의 제조
- [0098] 무기 나노필러인 시그마-알드리치사의 평균 크기 약 11 nm의 발연 실리카를 약 5 중량%의 농도가 되도록 폴리에스테르 바니시용 희석제에 약 85℃의 열과 초음파를 약 48 시간 동안 가하여 분산시켜 실리카 콜로이드 용액을 수득하였다. 상기 실리카 콜로이드 용액을 신한케미칼시스템사의 HISTER HE320 모델의 고형분 함량이 약 40 중량%인 폴리에스테르 바니시와 혼합하고 약 85℃의 열과 초음파를 약 24 시간 동안 추가로 가하여 나노복합체 바니시를 수득하였다. 이때, 상기 무기 나노필러가 상기 나노복합체 바니시의 전체 고형분 대비 약 1.0 중량%가 되도록 조절하였다.
- [0099] <분석>
- [0100] 이하, 실시예 1 내지 3, 및 비교예 1 내지 4에서 제조한 무기 나노필러, 상기 무기 나노필러를 포함하는 나노복합체 바니시, 및 상기 무기 나노필러를 포함하는 에나멜 와이어에 대하여, 본원의 도면을 참조하여 분석하였다.
- [0101] 먼저, 도 2a는 발연 실리카를 주사전자현미경으로 관찰한 이미지이고, 도 2b는 본원의 실시예 1에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 주사전자현미경으로 관찰한 이미지이다. 상기 주사전자현미경으로서는 히타치

(Hitachi)사의 S-4700모델의 FE-SEM을 사용하였다. 도 2a 및 도 2b에서, 상기 발연 실리카는 평균 직경이 약 11 nm였고, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러는 상기 발연 실리카에 비해 평균 직경이 약 2 nm 내지 약 5 nm 정도 커진 것으로 관찰되었다.

[0102] 한편, 도 3은, 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 바니시, 및 본원의 실시예 1에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 고형분 대비 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 폴리에스테르이미드 나노복합체 바니시의 사진이다. 도 3의 사진을 통하여, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러가 폴리에스테르이미드 바니시에 잘 분산되어 투명성이 높음을 확인할 수 있었다. 다만, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 양이 증가할수록 투명성이 약간 감소하였다.

[0103] 한편, 도 4는, 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 바니시, 및 본원의 실시예 1에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 고형분 대비 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 폴리에스테르이미드 나노복합체 바니시의 점도 그래프이다. 상기 점도의 측정을 위하여, 브룩필드사의 LV DV-E 모델의 점도계를 이용하였다. 도 4에 나타난 바와 같이, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 0 중량%인 비교예 1, 및 함량이 각각 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 실시예 1 각각에서, 25℃에서의 점도는 각각 213, 213, 218, 227, 233, 278, 및 344 cP(centipoise)였고, 50℃에서의 점도는 각각 15, 17, 21, 21, 30, 40, 및 47 cP였다. 이 중 25℃에서, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 10 중량%인 경우까지는 점도 상승이 미미하였으며, 함량이 15 중량% 이상인 경우부터 다소 점도가 상승하였다. 도 4의 결과로부터, 무기 나노필러와 무기 나노필러 사이의 상호작용에 비해 무기 나노필러와 주변환경 사이의 상호작용이 강하여, 무기 나노필러의 응집이 효과적으로 방해되었음을 확인할 수 있었다. 다만, 상기 무기 나노필러의 함량이 높아지면서 상기 무기 나노필러의 수가 증가됨에 따라 상기 무기 나노필러가 전체 부피에서 차지하는 비율 또한 높아졌고, 이에 따라 상기 무기 나노필러와 무기 나노필러 사이의 상호작용도 상대적으로 강해졌다. 결국, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러는 폴리에스테르이미드 바니시 내에서 효과적으로 분산되었다는 것을 도 4를 통해 확인할 수 있었다.

[0104] 한편, 도 5는, 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 바니시, 및 본원의 실시예 1에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 고형분 대비 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 폴리에스테르이미드 나노복합체 바니시를 열경화한 후, 시차주사열량계를 사용하여 측정한 온도-열 유속(heat flow) 그래프이다. 이때, 상기 시차주사열량계는 메틀러-토레도사의 DSC1 모델을 사용하였다.

[0105] 한편, 도 6은, 상기 본원의 도 5의 온도-열 유속 그래프를 통해 얻은 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량-유리전이온도 그래프이다. 이와 관련하여, 하기 표 1은 상기 도 5 및 도 6의 그래프에서 나타난 유리전이 시작점(onset point), 유리전이 종료점(termination point), 및 상기 시작점과 상기 종료점의 평균값인 유리전이온도(glass transition temperature, T_g)를 나타낸 것이다:

표 1

[0106]

	유리전이 시작점 (℃)	유리전이 종료점 (℃)	유리전이온도 (℃)
비교예 1 (0 중량%)	79.2	99.5	89.4
실시예 1 (1 중량%)	78.6	112.4	95.5
실시예 1 (3 중량%)	83.3	124.3	103.8
실시예 1 (5 중량%)	85.6	123.3	104.5
실시예 1 (10 중량%)	88.2	131.6	109.9
실시예 1 (15 중량%)	92.6	131.6	112.1
실시예 1 (20 중량%)	100.8	131.3	116.1

[0107] 상기 도 5 및 6, 및 상기 표 1에서 확인되는 바와 같이, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러가 많이 첨가될수록 상기 폴리에스테르이미드 나노복합체의 유리전이온도가 비례하여 상승하였으며, 열 유속 그래프의 기울기가 변하기 시작하는 유리전이의 시작점의 온도 또한 점차 상승하였다. 특히, 상기 표 1의 실시예 1(3 중량%)까지의 유리전이온도의 증가가 급격하게 나타났다. 즉, 상기 나노복합체에 열을 가했을 때, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 높을수록 고분자의 움직임이 제한되어 유리전이온도가 상승하는 효과가 나타났고, 그 효과가 상기 무기 나노필러의 함량이 3 중량%인 경우까지 매우 강하게 부여되는 것으로 보여지며, 상기 무기 나노필러의 함량이 5 중량% 이상인 경우에서도 상기 효과가 선형적으로 나타났다. 상기 효과는, 상기 폴리에스테르이미드 절연 고분자 매트릭스 내에서 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 분산성이 매우 우수함을 나

타내었다.

[0108] 한편, 도 7a는 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 바니시를 열경화한 경우의 주사전자현미경 이미지이고, 도 7b는 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 바니시를 열경화하고 불산으로 표면 처리한 경우의 주사전자현미경 이미지이며, 도 7c는 본원의 실시예 1에 따른 5 중량%의 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 함유하는 폴리에스테르이미드 나노복합체 바니시를 열경화한 경우의 주사전자현미경 이미지이고, 도 7d는 본원의 실시예 1에 따른 5 중량%의 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 함유하는 폴리에스테르이미드 나노복합체 바니시를 열경화하고 불산으로 표면 처리한 경우의 주사전자현미경 이미지이다. 상기 도 7b 및 도 7d에서의 불산 처리는, 바니시를 약 47 내지 51 %의 불산 용액에 침지함으로써 수행되었다. 상기 바니시 표면에 대한 불산 처리에 의해, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러가 상기 나노복합체 바니시의 표면에서 제거되면서 그 구멍이 까맣게 나타났다. 상기 구멍의 분포를 통해, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러가 상기 바니시의 표면에서 나노 미터 단위로 개별적으로 잘 분산되어 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 무기 나노필러들의 응집이 적절한 표면처리에 의하여 최소화되었음을 확인하였다.

[0109] 한편, 도 8은 본원의 실시예 1에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조과정 중 일부로서, 나노복합체 바니시를 전도성 와이어 상에 코팅하고 건조 및 열처리함에 의하여 피막을 형성하여 내부분방전성 에나멜 와이어를 제조하는 과정의 사진이다. 상기 도 8의 사진과 같이, 상기 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조 과정에는 코팅, 열경화, 및 와인딩(winding) 공정이 포함된다. 이때, 에나멜 와이어를 코팅하기 전에 미리 열처리함으로써 표면의 기름을 태우고 유연하게 하였다. 이어서, 바니시를 와이어 표면에 묻히고, 상기 와이어보다 조금 더 넓은 내경을 가지는, 속이 빈 원통형의 금속물체인 바이스(vice)에 통과시키어 상기 와이어 표면에 도포된 바니시 양을 일정하게 한 뒤 고온에서 열처리를 하였다. 이와 같이 8 회 코팅한 에나멜 와이어는 전용 보빈(bobbin)에 감았다. 하기 표 2는 상기 비교예 1과 실시예 1의 에나멜 와이어의 외경 및 피복 두께이다:

표 2

에나멜 와이어	비교예 1	실시예 1(5 중량%)	실시예 1(10 중량%)
외경(mm) (최대/최소)	0.556/0.562	0.558/0.562	0.561/0.562
피복 두께 (μm)	29.5	30	30.75

[0111] 상기 표 2에서 확인되는 바와 같이, 상기 실시예의 내부분방전성 에나멜 와이어는 상기 비교예의 에나멜 와이어와 비교할 때 외경 및 피복두께에서 큰 차이가 없었다.

[0112] 한편, 도 9a는 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 에나멜 와이어의 표면의 주사전자현미경 이미지이고, 도 9b는 본원의 실시예 1에 따른 폴리에스테르이미드 내부분방전성 에나멜 와이어의 표면의 주사전자현미경 이미지이다. 도 9a를 통하여, 종래 기술에 따라 제조된 본원의 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 에나멜 와이어는 열경화 과정 중 표면에서 마이크로미터 크기의 홀 생성 (hole generation)이 일어났음을 확인할 수 있었으며, 상기 홀은 노란색 원으로써 표시하였다. 반면, 도 9b를 통하여, 상기 본원의 실시예 1에 따른 폴리에스테르이미드 내부분방전성 에나멜 와이어의 표면은 상기 홀 생성이 방지되어 매끄러운 상태인 것을 확인할 수 있었다. 부분방전 중 보이드 방전은 상기 홀에서 집중적으로 발생하기 때문에, 상기 홀이 없다는 것은 부분방전에 의한 열화에 보다 내성을 가질 수 있음을 시사하는 것이다.

[0113] 한편, 도 10은 본원의 실시예 1에 따른 폴리에스테르이미드 내부분방전성 에나멜 와이어의 표면에 발생한 부분방전 사진이다. 상기 사진은, KS C 3006 에나멜 동선 및 에나멜 알루미늄선 시험 방법에 기재된 두줄 꼬임법을 이용하여 상기 폴리에스테르이미드 내부분방전성 에나멜 와이어를 두줄로 꼬고, KS C IEC 60885-2에 기재된 부분방전 시험에 따라 약 4 kV 및 약 10 kHz의 사인파(sine wave) 교류 전원을 상기 두줄로 꼬인 와이어에 인가한 뒤, 디지털 카메라로 촬영한 것이었다. 상기 도 10 및 하기 도 11에서 사용된 부분방전 측정기기는 성민 기기의 SM-2HF10K 모델이었다.

[0114] 한편, 도 11은 본원의 비교예 1에 따른 에나멜 와이어, 및 본원의 실시예 1에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어에 부분방전을 가했을 때 파괴되기까지 걸리는 시간-전압 그래프이다. 상기 도 11을 통하여, 상기 비교예 1에 따른 폴리에스테르이미드 에나멜 와이어는 약 5kV 전압을 인가하는 즉시 파괴되었으나, 상기 실시예 1에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 5 중량% 함유하는 상기 내부분방전성 에나멜 와이어는 약 11초를 견디었고, 상기 무기 나노필러를 10 중량% 함유하는 상기 내부분방전성 에나멜 와이어는 약 24 초를 견디었음을 확인할 수 있었다. 한편, 약 4.5 kV의 전압을 인가한 경우에도 파괴에 견디는 순서는 위와 같았으며, 상기 파

피에까지 걸리는 시간은 각각 약 4 분, 약 8분, 및 약 28분이었다. 또한, 약 4.0 kV의 전압을 인가한 경우에도 파괴에 견디는 순서는 위와 같았으며, 상기 파괴에까지 걸리는 시간은 각각 약 7 분, 약 32 분, 약 54 분이었다. 또한, 약 3.5 kV의 전압을 인가한 경우에는, 상기 비교예 1에 따른 에나멜 와이어가 약 31 분을 견디었으며, 상기 실시예 1에 따르며 상기 무기 나노필러를 10 중량% 함유하는 상기 내부분방전성 에나멜 와이어는 약 250 분 이상 견디었고, 실험의 시간적 제약으로 측정을 멈추었으나 더 견딜 수 있을 것으로 예측되어 상기 도 11에서 화살표를 이용하여 나타냈다.

[0115] 한편, 도 12는, 본원의 비교예 2에 따른 폴리에스테르 바니시, 및 본원의 실시예 2에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 고휘분 대비 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 폴리에스테르 나노복합체 바니시의 사진이다. 도 12를 통해, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러가 폴리에스테르 바니시에 잘 분산되어 투명성이 높음을 확인할 수 있었다. 다만, 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 양이 증가할수록 투명성이 미미하게 감소하였다.

[0116] 한편, 도 13은, 본원의 비교예 2에 따른 폴리에스테르 바니시, 및 본원의 실시예 2에 따른 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 고휘분 대비 1, 3, 5, 10, 15, 및 20 중량%인 폴리에스테르 나노복합체 바니시의 점도 그래프이다. 상기 도 13에 나타난 바와 같이, 25℃에서 상기 무기 나노필러의 함량이 0 중량%인 상기 비교예 2에 따른 폴리에스테르 바니시의 점도는 178 cP였고, 상기 무기 나노필러의 함량이 5 중량%인 상기 실시예 2에 따른 상기 폴리에스테르 나노복합체 바니시의 점도는 201 cP였으며, 상기 무기 나노필러의 함량이 20 중량%인 경우의 점도는 303 cP였다. 한편, 50℃는 에나멜 와이어를 코팅하기 전에 바니시가 데워지는 온도와 비슷한 온도인데, 50℃에서의 점도는 상기 비교예 2에 따른 폴리에스테르 바니시가 41 cP를, 상기 무기 나노필러의 함량이 5 중량%인 상기 실시예 2에 따른 폴리에스테르 나노복합체 바니시가 48 cP를, 상기 무기 나노필러의 함량이 20 중량%인 상기 실시예 2에 따른 폴리에스테르 나노복합체 바니시가 85 cP를 나타내었다. 한편, 75℃에서는 50℃에 비해 낮은 정도의 점도를 나타내었으며, 모든 경우에서 9 cP 내지 25 cP의 매우 낮은 점도를 나타내었다. 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 10 중량% 이하인 경우에는 완만한 점도 변화만 나타났으나, 그 이상의 함량에서는 점도 증가 폭이 상대적으로 커진 것으로 나타났다.

[0117] 한편, 도 14a는 본원의 비교예 2에 따른 폴리에스테르 바니시를 열경화한 경우의 주사전자현미경 이미지이고, 도 14b는 본원의 비교예 2에 따른 폴리에스테르 바니시를 열경화하고 불산으로 표면 처리한 경우의 주사전자현미경 이미지이며, 도 14c는 본원의 실시예 2에 따른 5 중량%의 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 함유하는 폴리에스테르 나노복합체 바니시를 열경화한 경우의 주사전자현미경 이미지이고, 도 14d는 본원의 실시예 2에 따른 5 중량%의 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 함유하는 폴리에스테르 나노복합체 바니시를 열경화하고 불산으로 표면 처리한 경우의 주사전자현미경 이미지이다. 상기 도 14는 앞서 분석한 도 7과 같은 경향을 나타내었으며, 이로부터 상기 폴리에스테르 매트릭스에서도 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 분산성이 우수함을 확인할 수 있었다.

[0118] 한편, 도 15는 본원의 실시예 2에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어의 제조과정 중 일부로서, 나노복합체 바니시를 전도성 와이어 상에 코팅하고 건조 및 열처리함에 의하여 피막을 형성하여 내부분방전성 에나멜 와이어를 제조하는 과정의 사진이다. 구체적으로, 상기 도 15의 좌측의 사진은 폴리에스테르 나노복합체 바니시를 와이어 상에 9 회 코팅하는 것을 촬영한 것이며, 상기 도 15의 우측의 사진은 제조된 폴리에스테르 내부분방전성 에나멜 와이어를 전용 보빈에 감는 것을 촬영한 것이다.

[0119] 한편, 도 16은, 본원의 비교예 2에 따른 에나멜 와이어, 및 본원의 실시예 2에 따른 내부분방전성 에나멜 와이어에 부분방전을 가했을 때 파괴되기까지 걸리는 시간 그래프이다. 상기 도 16의 실험 조건 및 과정은 상기 도 11의 실험 조건 및 과정과 대체적으로 동일하게 적용되었으나, 인가 전압을 약 4.5 kV로 고정된 점이 상이하였다. 도 16을 통하여, 상기 비교예 2의 에나멜 와이어가 파괴되기까지 걸리는 시간이 약 7 초였던 반면, 상기 실시예 2의 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러를 약 1 중량% 함유하는 상기 내부분방전성 에나멜 와이어는 약 667 초로서, 부분방전에 대한 내성이 약 95배 향상된 것을 확인할 수 있었다.

[0120] 한편, 도 17은 본원의 비교예 3에 따른 1 종의 실란만을 사용하여 표면 개질된 무기 나노필러를 포함하는 나노복합체 바니시의 사진이다. 구체적으로, 도 17은 1 종의 실란만을 사용하여 표면 개질된 무기 나노필러 1.0 중량%를 포함하는 폴리에스테르 나노복합체 바니시를 촬영한 것으로서, 필러 응집체가 유리 용기 내벽에 달라붙은 것을 관찰할 수 있었다. 상기 무기 나노필러가 일차적으로 희석제에 분산되어 콜로이드 용액을 형성하더라도, 이를 바니시에 재분산시키면 심하게 재응집하며, 초음파를 추가로 가하여 분산하더라도 응집이 풀리지 않았다. 도 17에서와 같이 상기 무기 나노필러가 바니시 내에서 응집하면, 상기 바니시는 에나멜 와이어의 피막을 형성

하는 데 사용할 수 없다.

[0121] 한편, 도 18은 본원의 비교예 4에 따른 무기 나노필러를 포함하는 나노복합체 바니시의 사진이다. 구체적으로, 도 18은 표면 개질되지 않은 무기 나노필러 1.0 중량% 를 포함하는 폴리에스테르 나노복합체 바니시를 촬영한 것으로서, 비록 하부의 바니시는 상당히 투명하게 보이지만, 상기 필러 응집체가 유리 용기 내벽에 심하게 달라 붙은 것을 관찰할 수 있었다. 상기 하부의 바니시가 투명해 보이는 것은 단지 무기 나노필러와 바니시의 굴절 률 차이가 크지 않기 때문인 것으로 추정된다. 이때, 상기 무기 나노필러를 희석제에 넣고 오랜 시간 동안 초 음파를 가하는 기계적 분산을 이용하여 일차적으로 분산시켜 콜로이드 용액을 형성하더라도, 이를 바니시에 재 분산하게 되면 심하게 재응집하였다. 또한, 이후 초음파를 추가로 가하여 분산하더라도 상기 바니시에 형성된 무기 나노필러의 응집체는 풀리지 않았다.

[0122] 요약하면, 상기 본원의 복합 표면 기능화된 무기 나노필러는 상기 바니시에 높은 분산성을 보였다. 구체적으로, 상기 본원의 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 함량이 증가됨에 따라 점도의 증가가 완만해지는 것, 나노복합체 바니시의 투명도가 우수한 것, 나노복합체 바니시 표면에 불산 처리를 수행한 후 표면의 미세구 조를 관찰하였을 때 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러의 개별적 분산이 확인되는 것, 및 본원의 실시예들 에서 나노복합체의 유리전이온도가 증가하는 것을 종합하여 볼 때, 상기 본원의 복합 표면 기능화된 무기 나노 필러의 분산성은 매우 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

[0123] 결과적으로, 상기 본원의 복합 표면 기능화된 무기 나노필러가 분산된 유기 절연 고분자 매트릭스를 포함하는 피막을 가지는 에나멜 와이어를 수득할 수 있으며, 균일하게 분산된 상기 복합 표면 기능화된 무기 나노필러에 의해서 에나멜 와이어에 가해지는 부분방전에 의한 충격을 방지할 수 있다. 따라서, 본원의 내부분방전성 에나 멜 와이어를 부분방전 발생의 가능성이 있는 전기 기기에 사용할 경우, 상기 전기 기기의 수명 연장을 기대할 수 있다.

[0124] 전술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

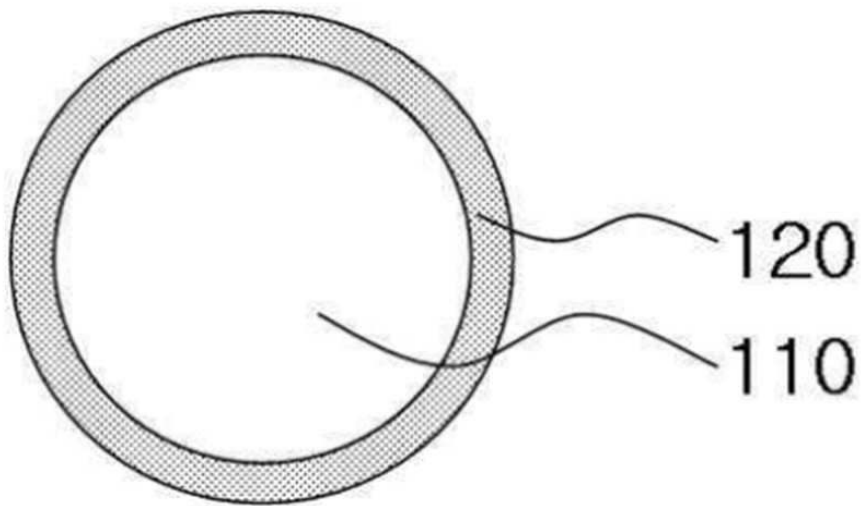
[0125] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해 석되어야 한다.

부호의 설명

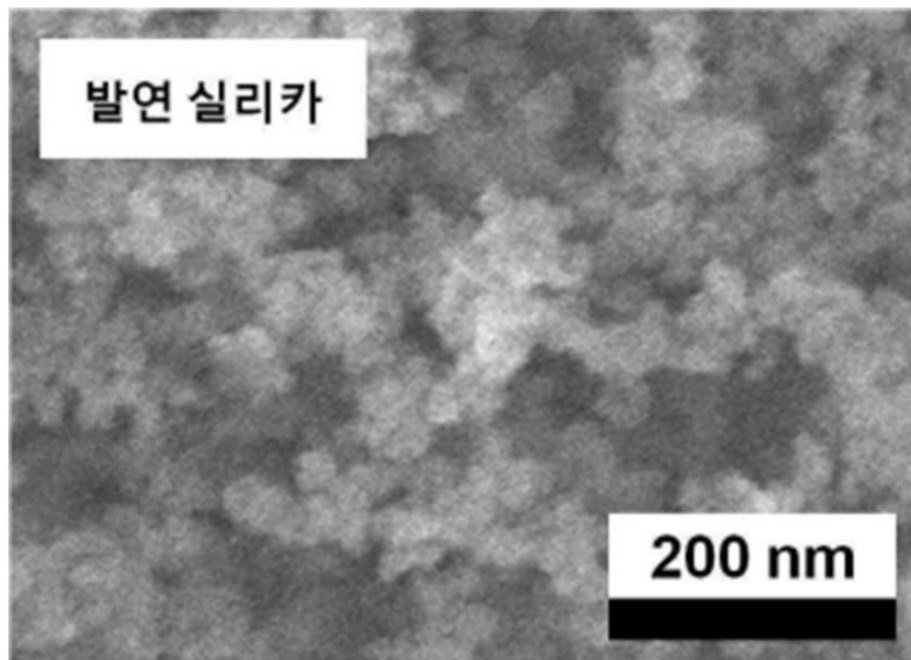
[0126] 110: 전도성 와이어
120: 피막

도면

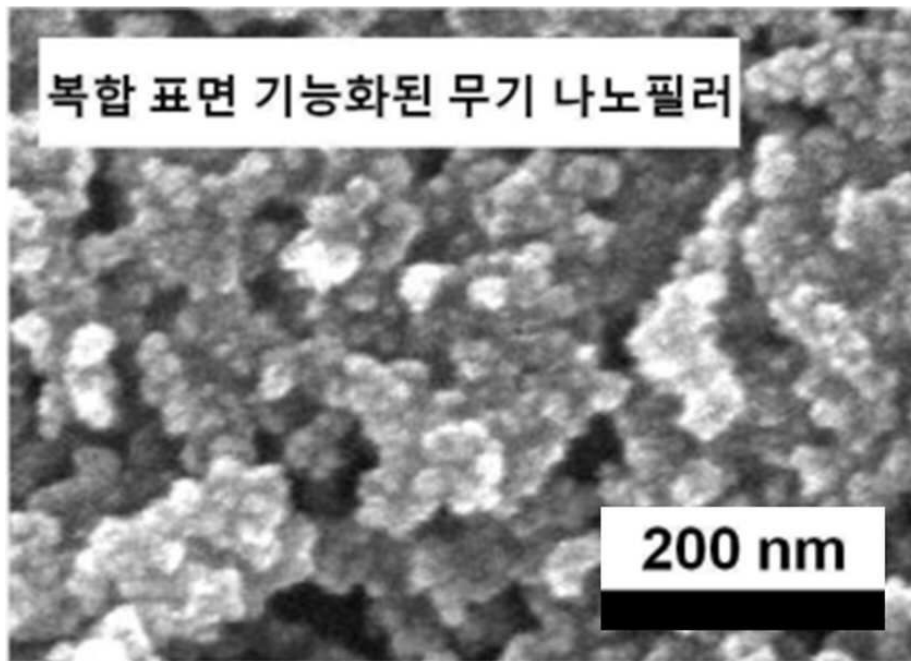
도면1



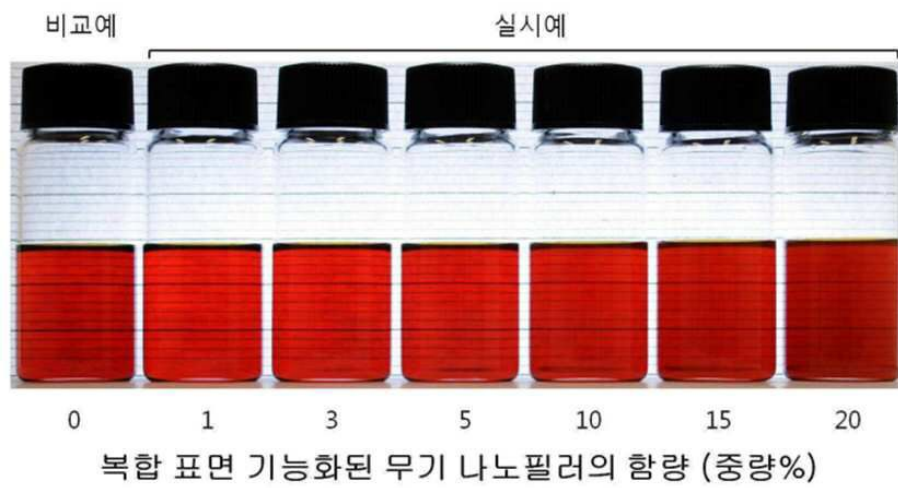
도면2a



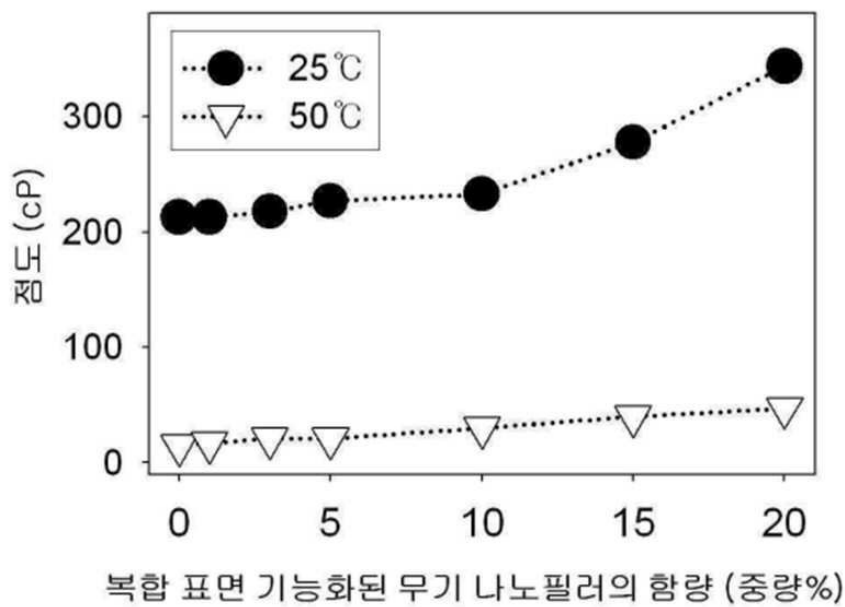
도면2b



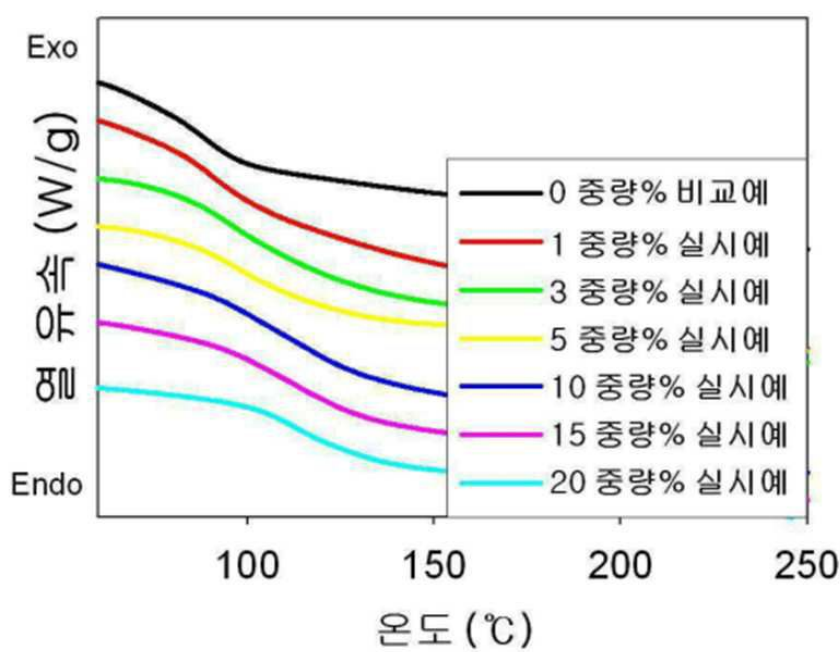
도면3



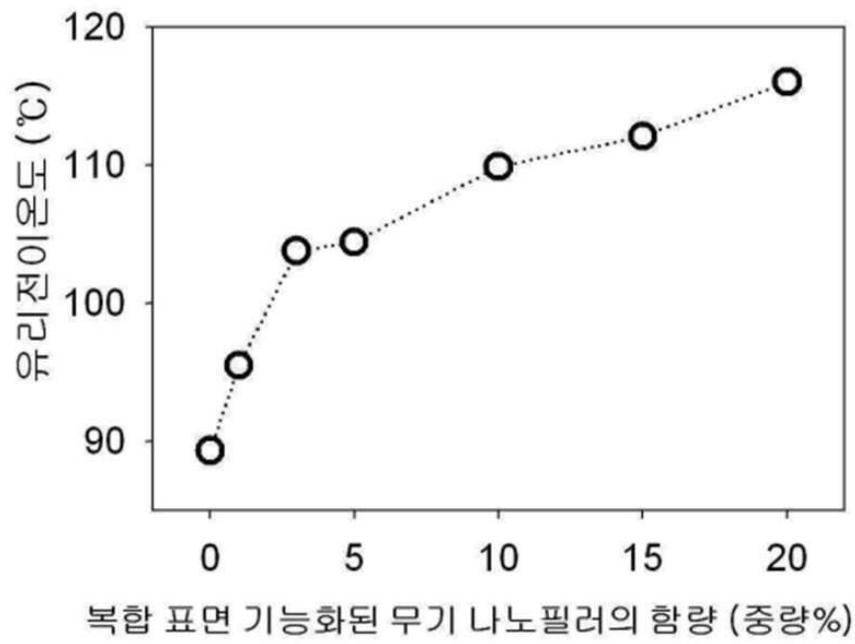
도면4



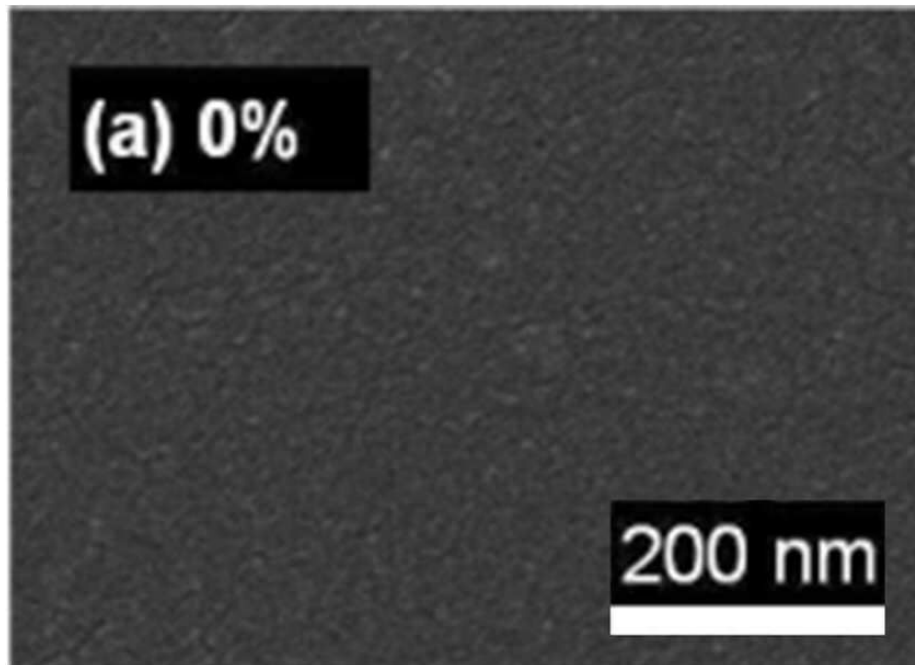
도면5



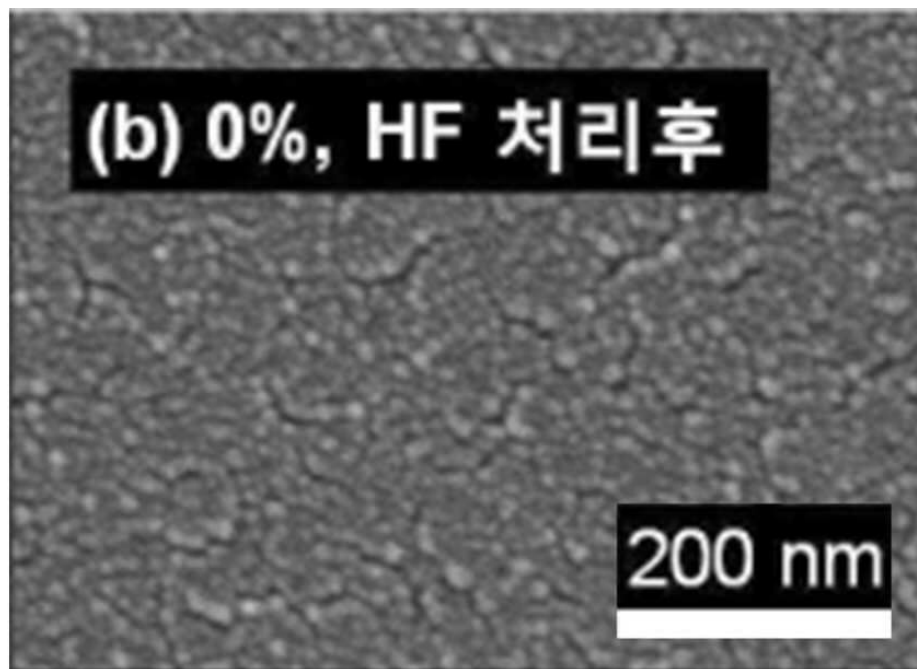
도면6



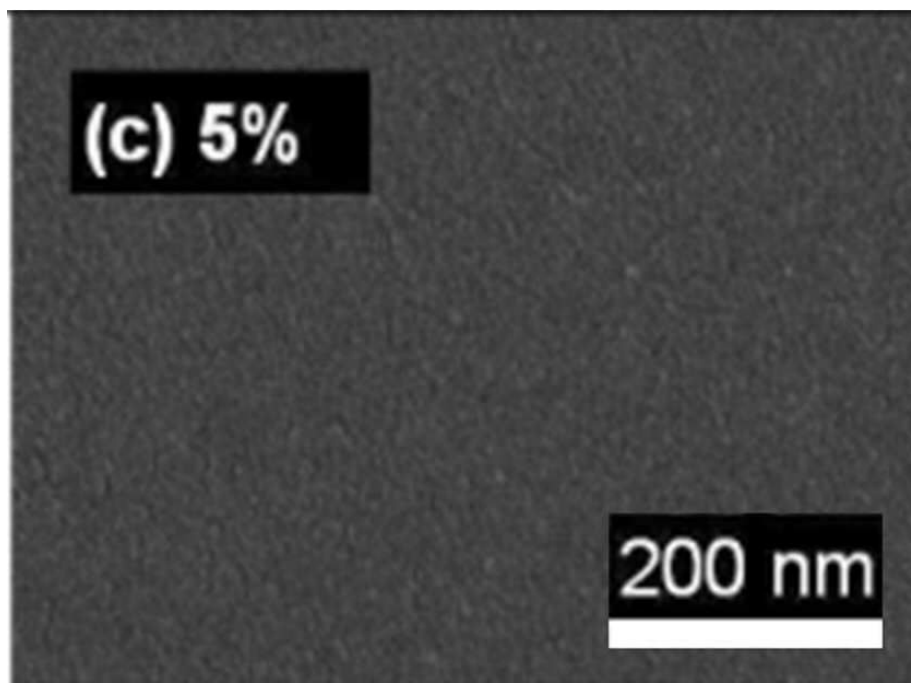
도면7a



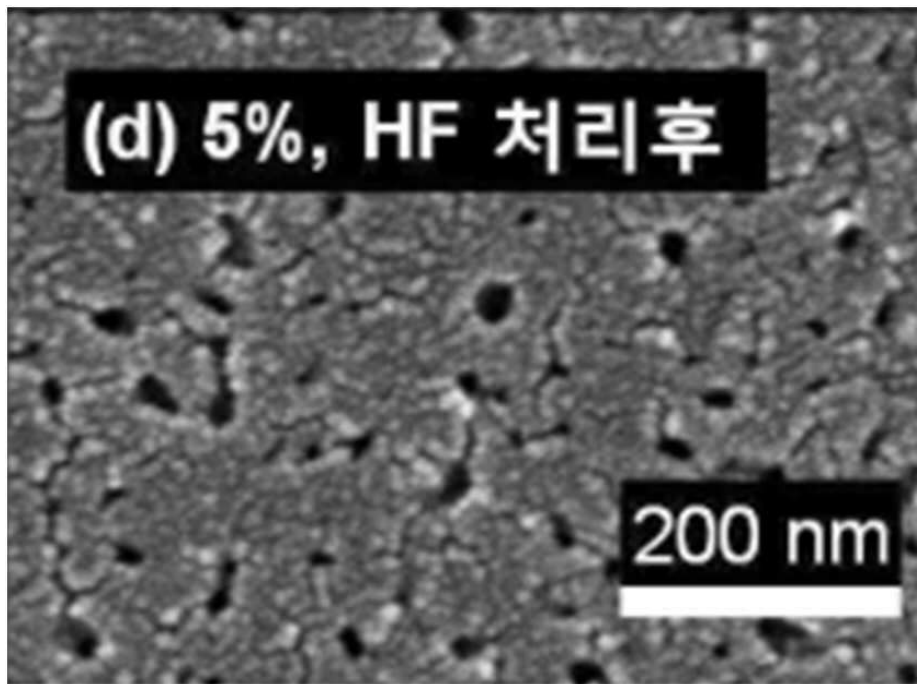
도면7b



도면7c



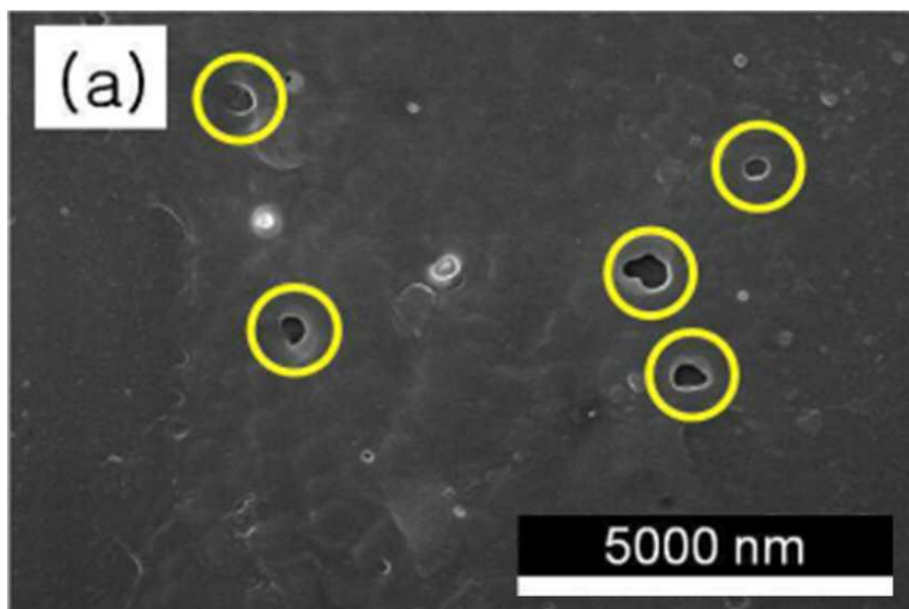
도면7d



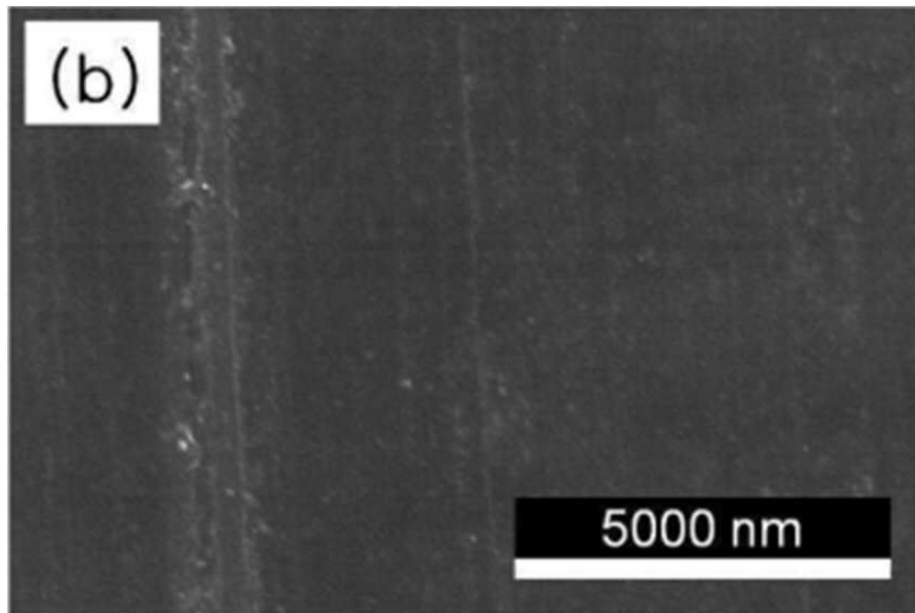
도면8



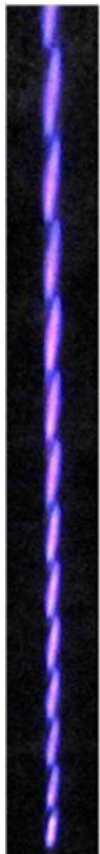
도면9a



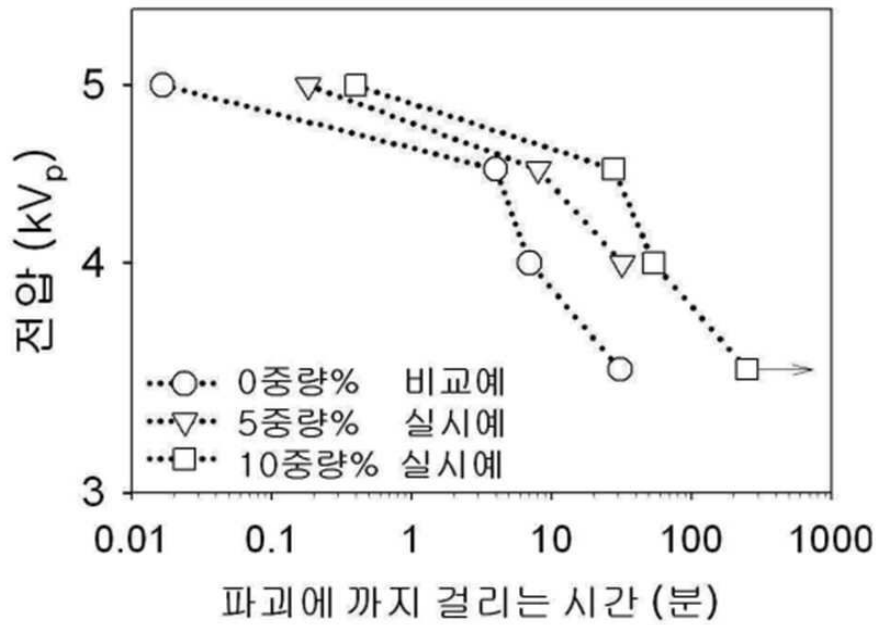
도면9b



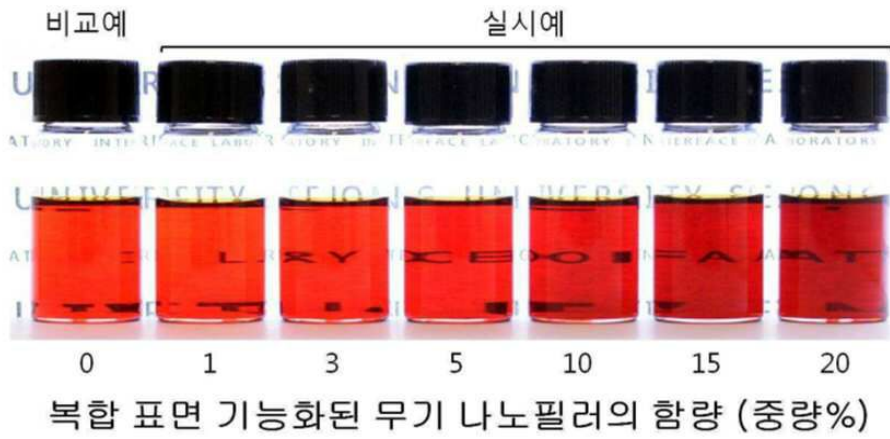
도면10



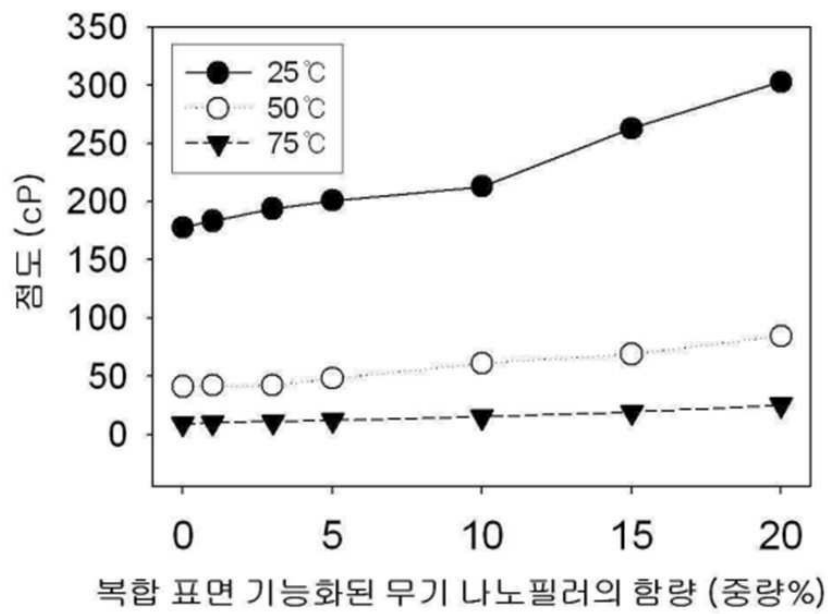
도면11



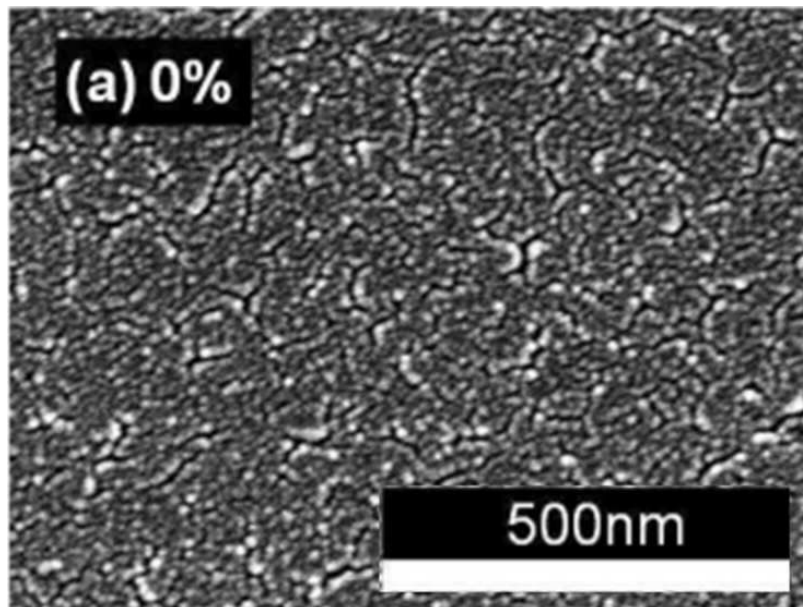
도면12



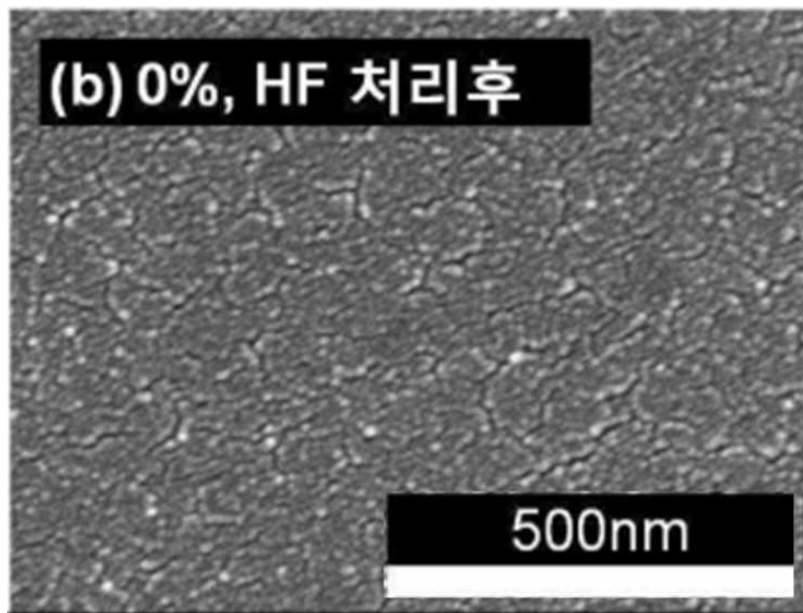
도면13



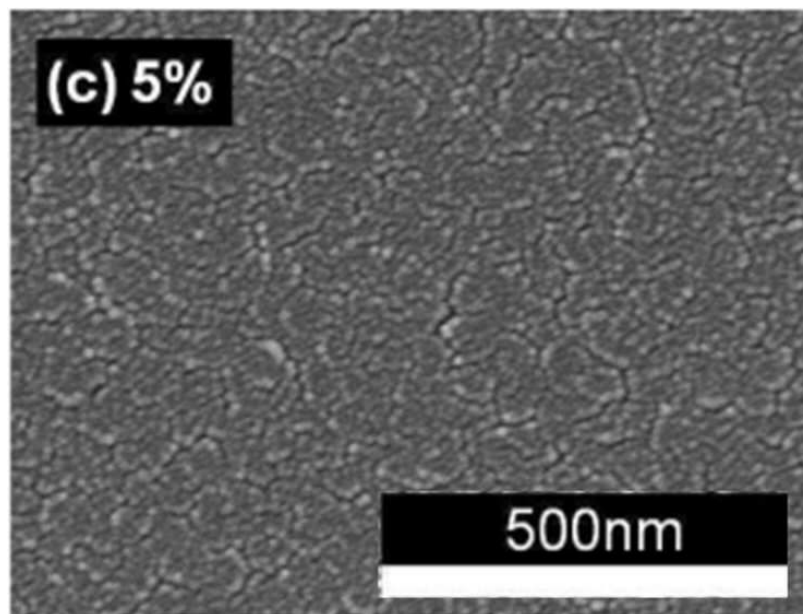
도면14a



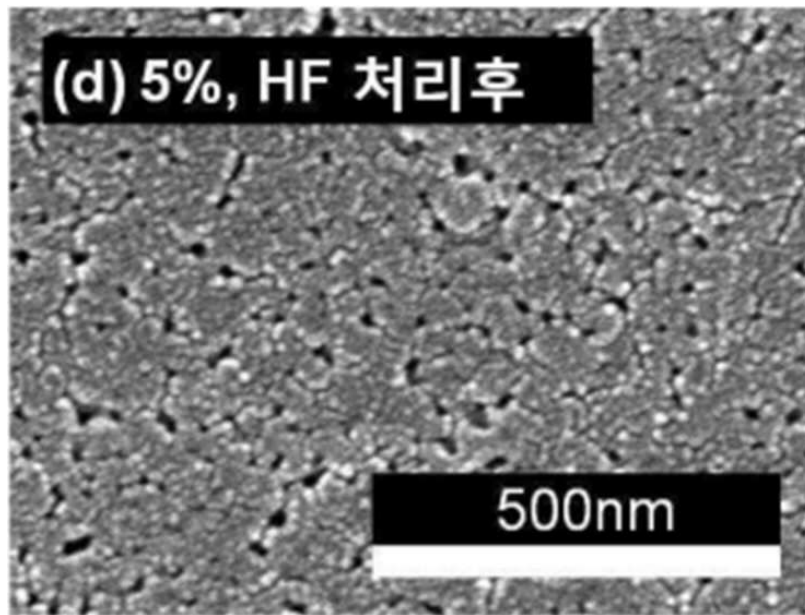
도면14b



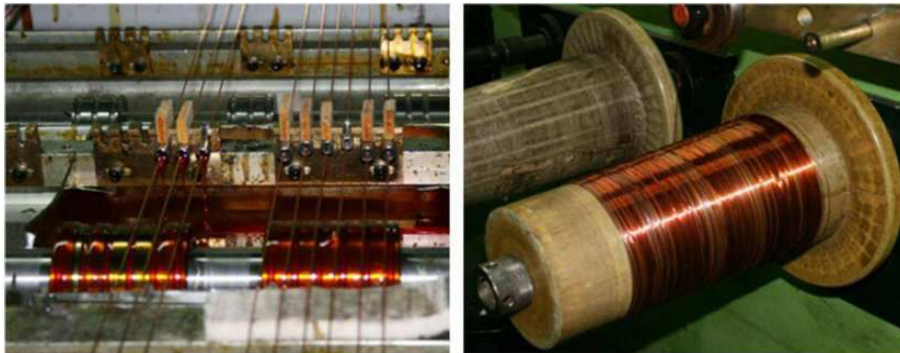
도면14c



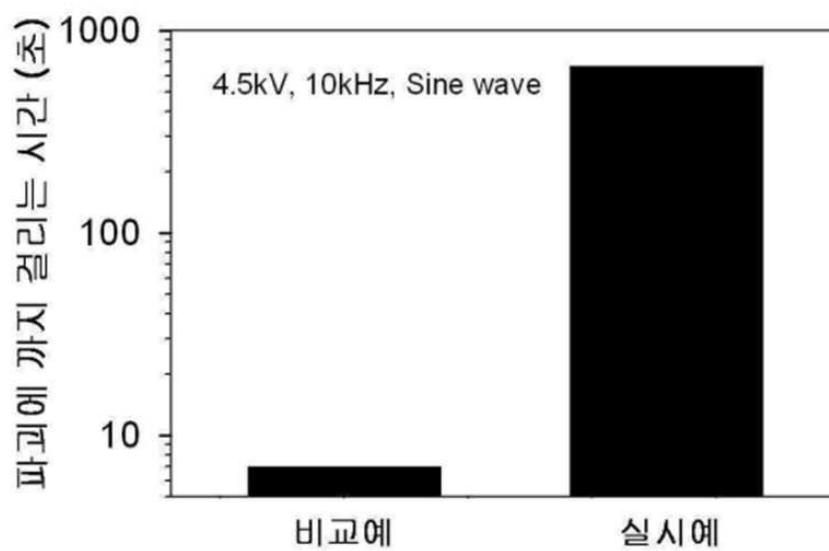
도면14d



도면15



도면16



도면17



도면18

