

폴리이미드 기반 기능성 절연코팅 소재

절연재료연구센터 | 이대호, 한세원

○ 본 연구팀은 폴리이미드(PI)를 기반으로 한 기능성 절연코팅소재로서 고절연성 유무기 나노하이브리드형 코팅소재, 미세각선에 균일박막코팅이 가능한 전착코팅성 소재 및 저유전성 다공성/에어로젤 소재를 개발하고 있다. PI기반 고절연성 소재 및 코팅기술은 전동기, 변압기, 인덕터 등의 전력기 기용 도체 절연용으로 활용가능하며, 저유전성 소재는 고주파/고속신호의 손실을 최소화할 수 있는 저유전 기판재료로의 응용을 목표로 하고 있음

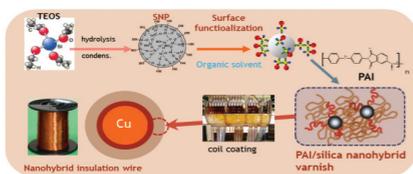
기술개념 및 구성

기술개념

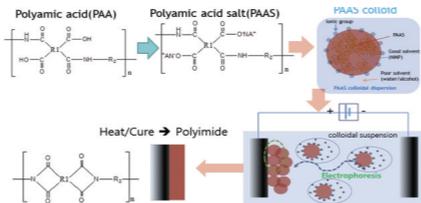
- ▶ 본 기술은 PI 소재를 기반으로 하여 기능성 절연코팅소재를 개발하는 것임.
- ▶ 고절연성 PI기반 나노하이브리드 코팅소재 / 복잡구조표면에 균일코팅성을 지니는 전착코팅성 PI 소재 / 저유전성 다공성 PI 에어로젤 소재

기술의 구성도

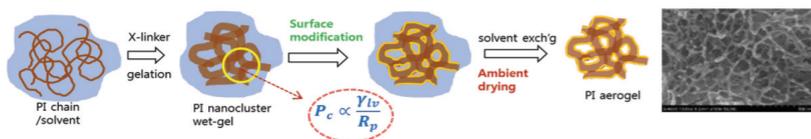
▶ 고절연성 PI기반 나노하이브리드



▶ 전착코팅성 PI 소재



▶ 저유전성 다공성 PI 에어로젤 소재



1. 기술 개요

기술개발의 필요성

- ▶ 모터의 경량화/소량화/고효율화에 따라 모터코일의 절연코팅에 대한 고성능화 필요성이 증가하고 있음. 서지전압 내구성, 고내열성의 요구에 따라 PI기반 유무기 나노복합방식의 절연코팅소재에 대한 필요성이 증가함.
- ▶ 전동기, 변압기, 인덕터 등 전력기기의 스마트화를 위해 Flat wire를 비롯한 미세복합 구조표면에 대한 균일 보호코팅막 형성기술에 대한 필요성이 증가하고 있는데 PI전착코팅소재 개발을 통하여 구현될 수 있음.
- ▶ 최근 5G 기술흐름에 따른 저유전/저손실 기판절연소재의 필요성이 부각되고 있는데, PI기반 저유전성 다공성/에어로젤 소재 개발을 통하여 이에 대응하고자 함.

2. 기술 내용

기술의 특징

- ▶ 기술의 특징점
 - Sol-gel 기술이 적용된 PI기반 나노하이브리드 소재는 절연내구성이 크게 향상되는 장점이 있어 고효율 소형화 모터코일의 절연코팅용으로의 적용이 용이함.
 - 전착코팅용 PI 소재는 미세한 복합구조 표면으로의 균일코팅이 가능할 뿐만 아니라, 용매 대부분이 수계로 되어있어 친환경적 측면의 장점이 있고, 이미드화 반응이 빨라 건조에너지 절감에도 효과가 있어, 향후 기술적 응용이 확대될 가능성이 있음.
 - 다공성/에어로젤 소재는 고내열성과 절연성능을 동시에 갖춘 저유전 소재이며, 초임계 방식이 아닌 일반진공건조 방식이 적용되어 향후 공정성/시장성 측면에서 장점이 있을 것으로 예상됨.

기술의 상세 규격

- ▶ 고절연성 PI기반 나노하이브리드 소재
 - 습식코팅공정 적용이 가능한 PAI/silica 나노하이브리드 바니쉬 소재 제조기술
 - 서지내구성 수심~수백배 이상 향상
- ▶ 전착코팅용 PI 소재
 - 일반 전착코팅공정 적용이 가능한 PI기반 나노하이브리드형 전착코팅액 소재 제조기술
 - 콜로이드 수심~수백 nm, 내열성 400도 이상, 내전압 2.0kV/10m 이상
- ▶ 저유전성 다공성 PI 에어로젤
 - 고내열성 PI 수지제조기술, 다공성/에어로젤 제조 공정기술
 - 유전율 2이하 (유전손실 10⁻³급), 내전압 5kV/mm 이상, 내열성 530도 이상

경쟁기술과 차별성

- ▶ 국내외 유사·경쟁 기술 현황
- PI기반 기능성 절연코팅 소재

| 구분 | 기술명 | 기술내용 |
|----|------|--|
| 국내 | 기술명 | PAI(polyamideimide) 융복합 절연 바니쉬 제조기술 |
| | 기술내용 | • PAI 기반 나노복합 수지 제조기술 • 환형코일 바니쉬 절연코팅 기술 |
| 국외 | 기술명 | 전착코팅용 PI 수지제조 기술 |
| | 기술내용 | • 일본 Mitsubishi사 PI 전착코팅기술 도입(2004) • 고충형비 초박막 균일박막 코팅기술 |
| | 기술명 | 저유전성 다공성/에어로젤 PI 소재 제조기술 |
| | 기술내용 | • NASA 주도로 고다공성 PI 에어로젤 제조기술 개발 • Toray-dupont에서 FPC용 저유전/저손실 필름 개발 |

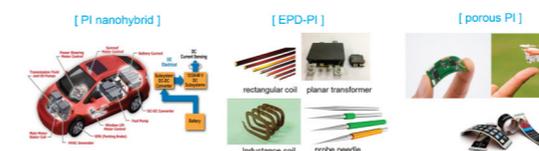
▶ 경쟁 기술 대비 우수성

| 경쟁기술 | 본 기술의 우수성 |
|-----------------|---|
| PI 전착 코팅소재 | • 기존 PI계 수지 → PI기반 유무기 나노하이브리드형 수지 • 내열성, 절연성 우수 |
| 다공성 / 에어로젤 PI소재 | • 기존 PI계 수지 → PI기반 유무기 나노복합형 에어로젤 • 일반진공방식 기반 공정 간소화 • 저유전성/강도/절연성능 조절을 통한 응용성 확대 |

3. 기술의 시장성

기술 응용분야 및 제품

- 고절연성 PI기반 나노하이브리드 : 고효율/소형 모터, 전기자동차용 모터
- 전착코팅용 PI : 평면변압기, 인덕턴스 코일, 반도체 프로브
- 다공성/에어로젤 PI : FPCB, 안테나등의 저유전/경량 절연기판소재



시장이슈

- Polyimide 나노코팅소재는 표면의 강도와 경도를 증가시키고, 공구·기계류·구조물 등에 내식성·내마모성·내열성·단열성능 등을 부여할 수 있는 장점을 기반으로 시장 적용 사례가 확대되고 있음
- 5G 기술적 흐름에 따라 고주파/고속신호 전기전자제품의 신호손실 최소화를 위한 저유전/저손실 절연기판 소재의 중요성 부각되고 있으며, 로트, 드론 등 마이크로 머신용 고집적 planar형 코일 수요 증가함
- 전기자동차, 전기 전자기기 등에서 고효율·소형화·경량화의 전력 시스템 수요가 꾸준히 증가 하고 있음

Supply chain

- 본 기술은 PI기반 기능성 절연코팅을 위한 원천소재기술로서 수지생산업체 및 코팅 관련 기업에 공급되어 최종적으로 각종 전력기기 및 전기전자제품 생산에 있어서 고성능 부품 제조에 적용됨.



수요전망

- Polyimide 세계시장은 2018년 14억 달러에서 2023년까지 연평균 12.5% 성장한 26억 달러에 이를 것으로 예상됨
- FPCB 세계시장은 2017년 133.5억 달러에서2026년 383.7억 달러에 이를 것으로 전망됨



자료: MarketsandMarkets, Polyimide Films Market, 2018 자료: TMR, Flexible Printed Circuit Board Market, 2018

4. 주요 연구성과

특허 출원 및 등록 현황

| 구분 | 특허명 | 국가 | 번호 | 년도 |
|----|--|-----|-------------------|------|
| 등록 | 올리고머로 표면결정된 실리카 나노 입자를 포함하는 유무기 나노하이브리드 코팅제, 수지 및 그 제조방법 | 한국 | 10-1604444 | 2016 |
| 출원 | 전착코팅용 이미드계 고분자 콜로이드 분산액 및 그 제조방법 | PCT | PCT/KR2017/009937 | 2017 |
| 출원 | 마이크로/나노입자 형태의 폴리이미드를 이용한 폴리이미드 에어로젤 및 이의 제조방법 | 한국 | 10-2018-0128614 | 2018 |

기술의 완성도

- ▶ 기술완성도 단계
 - 고절연성 PI기반 나노하이브리드 소재 : TRL 6
 - 전착코팅용 PI 소재 : TRL 4
 - 저유전성 다공성 PI 에어로젤 소재 : TRL 3~4 (진행중)
- ▶ 개발 기술 범위
 - PI 기반 나노하이브리드 소재
 - Sol-gel nanosilica기반 PAI 나노하이브리드 절연바니쉬 개발
 - 전착코팅용 PI 소재
 - PI/silica 나노하이브리드형 전착성 콜로이드 코팅액 개발
 - 저유전성 다공성 PI 에어로젤 소재
 - PI기반 고내열성/고절연성 저유전 수지 합성 및 에어로젤 제조공정기술 개발
- ▶ 기술개발 완료 시기
 - 고절연성 PI 나노하이브리드 소재 (2016) / 전착코팅용 PI 소재 (2017) / 저유전성 다공성 PI 에어로젤 (2018~진행중)

5. 기대 효과

기술 도입 효과

- ▶ 경제적인 효과
 - 향후 전기자동차 보급 증대와 함께 고효율/소형화 모터 수요가 늘어날 것으로 예상되며, 이에 따라 고내열성/고절연성 PI 나노하이브리드 절연코팅 분야 시장도 확대될 것으로 예상됨.
 - 현재 PI기반 전착코팅소재 해외제품은 고가시장을 형성하고 있으므로 새로운 고부가가치 시장이 형성될 것으로 예상되며, 친환경성/에너지 절감 측면에서 향후 일반 코팅시장으로도 확대될 것으로 기대됨.
 - 최근 5G 기술의 발전에 따라 고주파/고속신호용 전기전자기기 개발이 가속화되고 있는데, 이에 따라 저유전/저손실 절연기판재료의 시장도 증대될 것으로 예상됨.

기술·산업적 파급 효과

- ▶ 기술적 파급 효과
 - PI기반 나노하이브리드 소재 기술을 적용한 고성능 절연코팅을 통하여 모터 등의 전력기기용 부품의 고성능화가 기대됨.
 - PI 전착코팅기술을 적용한 고충형비 각선형 코일의 소형화를 통하여 모터, 평면변압기 등 전력기기 부품의 소형화/고성능화가 기대되며, 환경친화성 증대 및 에너지 절감의 장점으로 장기적인 기술적 파급효과가 있을 것으로 기대됨.
 - PI 기반 다공성/에어로젤 구조의 고내열성/고절연성 저유전 소재 개발을 통하여 각종 전기전자기기의 고속신호화 대처 및 경량화에 기여할 것으로 기대됨.