

산학연 연구실 소개

경기대학교 화학공학과 고분자화학 연구실

(Polymer Chemistry Lab, Kyonggi University)

주소: 경기도 수원시 영통구 광고산로 154-42 경기대학교 화학공학과 리서치센터 R203B & C호 (우: 16227)

전화: 031-249-9783 E-mail: sanghocha@kgu.ac.kr



연구책임자 | 차상호 교수
경기대학교

1. 연구실 소개

고분자는 우리의 생활과 매우 밀접한 관계를 가지고 있는 재료로, 다양한 종류의 고분자 물질들은 포장재, 섬유, 전자재료 등의 매우 넓은 분야에서 사용되고 있다. 더 나아가 많은 연구진들은 현재의 고분자 역할 범위에 한정되지 않고, 활발하고 지속적인 연구활동을 통해 다양한 특징과 장점을 나타내는 새로운 고분자들을 제시함으로써 산업에서의 needs를 충족하고자 한다. 이러한 연구동향에 맞추어 본 연구실(경기대학교 화학공학과 고분자화학 연구실)에서는 고분자 재료 연구의 첫 걸음이 될 수 있는 각종 합성 실험을 통해 다양한 구조의 고분자를 새롭게 중합하고, 이들의 분석과 실제 적용, 평가 그리고 보완 과정을 진행하여 지속적으로 새로운 고분자를 제시하는 방식으로 최신 연구 흐름에 발 빠르게 대처하고 있다. 고분자 합성은 산업이 원하는 기능을 발휘할 수 있도록 분자 구조를 디자인하고, 해당 구조의 고분자를 생산할 수 있는 최적의 합성 조건을 탐구하며 이 과정에서 평가와 보완을 통해 최종 목표를 향해 나아간다는 점이 가장 큰 특징이며, 이러한 특징들이 매력으로 작용하는 연구분야라고 할 수 있다.

2. 주요 연구 분야 소개

현재 본 연구실에서는 다양한 유기 합성법을 이용하여 얻은 고분자의 다양한 특성 분석 결과를 바탕으로, 기존 고분자의 단점을 보완할 수 있는 새로운 고분자 물질들을 설계하고 합성하며 이들을

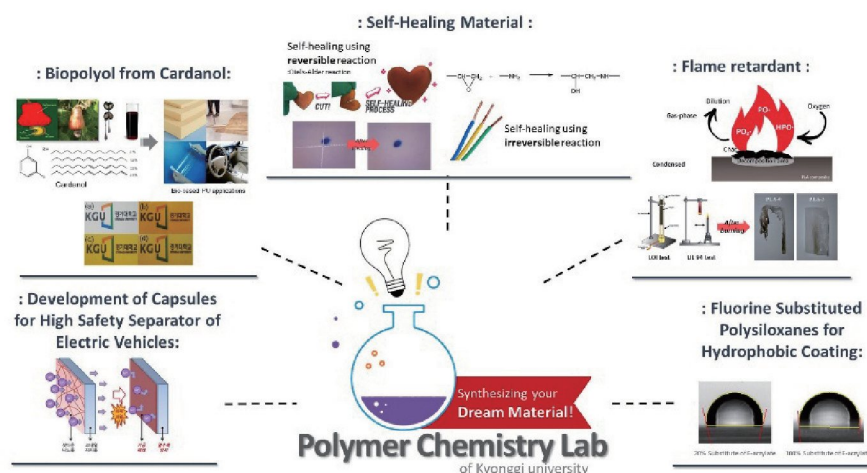


그림 1. 본 연구실(고분자 화학 연구실)의 연구 분야 개요.

실제 응용에 적용하고자 노력하고 있다. 그림 1은 현재 고분자화학 연구실에서 진행되고 있는 다양한 연구내용을 개략적으로 나타내고 있으며, 현재 본 연구실은 1. 폴리우레탄용 비식용 바이오 물질 유래 폴리올 합성, 2. 친환경 난연제 합성 그리고 3. 자가치유(self-healing) 고분자에 관련한 연구를 주로 진행하고 있다.

2.1 폴리우레탄용 비식용 바이오 물질 유래 폴리올 합성

일반적으로 폴리우레탄용 폴리올은 석유를 기반으로 제조되는 물질들이 주를 이루기 때문에 석유에 대한 의존도가 높다. 따라서 바이오 매스를 기반으로 하는 친환경 소재 물질의 개발의 필요성이 증가하였다. 이러한 연구 동향에 따라 본 연구실에서는 전형적인 식물성 유지와는 다르게 식용으로 쓰이지 않는 캐슈넛 껍질 액으로부터 얻을 수 있는 카다놀(cardanol)이라는 바이오 물질을 선정하고, 해당 물질의 두 단계 개질을 통한 다양한 구조의 폴리올을 합성하였다. 개발된 폴리올들을 통해 폴리우레탄 필름을 제작하였으며, 기계적, 열적 분석을 진행하여 각 폴리올의 특징들을 파악하고 발표한 바 있다(그림 2, S. -H. Kim, S. W. Kim, S. -H.

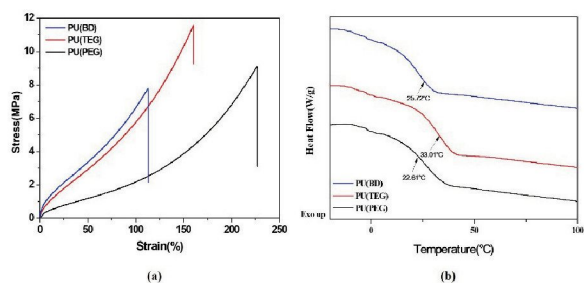


그림 2. 바이오 유래 폴리올을 통해 제조한 폴리우레탄 필름의 (a) UTM (b) DSC 분석.

Cha, *Polymer(Korea)*, **40**, 1005 (2016)).

추가적으로 카다놀은 항균성을 가지는 것으로 알려져 있다. 따라서 개발된 카다놀 유래 폴리올을 폴리우레탄 필름으로의 적용 외에도 하이드로 콜로이드 필름에 적용하여 항균성을 보유한 하이드로 콜로이드 밴드 개발이 성공적으로 이루어진 바 있으며(그림 3), 이외에도 개발된 폴리올의 적용점을 찾기 위한 연구가 현재에도 활발하게 이루어지고 있다.

2.2 친환경 난연제

화재에 취약하다는 점은 유기물인 고분자의 약점으로 언급되는 특징이다. 따라서 이를 보완하기 위해 고분자에 첨가될 난연제에 대한 연구가 활발하게 시행 중이다. 난연제는 난연 적용 방식에 따라 크게 무기계 난연제, 할로겐계 난연제 그리고 유기인계 난연제로 분류되며, 현재에는 할로겐계 난연제와 무기계 난연제의 단점들(유독가스 발생, 상대적으로 낮은 난연효과 등)로 인해 유기 인계 난연제에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 이와 같은 동향에 따라 본 연구실에서도 다양한 종류의 난연제 중 인 및 질소를 포함하는 구조의 난연제를 설계하고 합성하였다.

이렇게 개발된 난연제는 PLA(poly lactic acid)에 적용되어 성능을 평가하였다. 그 결과 난연제가 적용된 경우 적용되지 않은 PLA와 비교하였을 때 연성이 증가하고 LOI (limiting oxygen index) 수치 또한 증가하는 것을 확인할 수 있었다(그림 4, 5). 이는 생분해성 고분자로서 석유계 고분자를 대체할 수 있을 것으로 기대되지만 가공의 어려움과 높은 가연성이라는 한계를 가지는 PLA에 본 연구실에서 개발된 난연제가 적용될 경우, 우수한 난연 효과를 보일 뿐만 아니라 가소제 역할을 할 수 있다고 결론지을 수 있었다. 이외에도 다양한 구조의 난연제가 합성된 바 있으며, 엔지니어

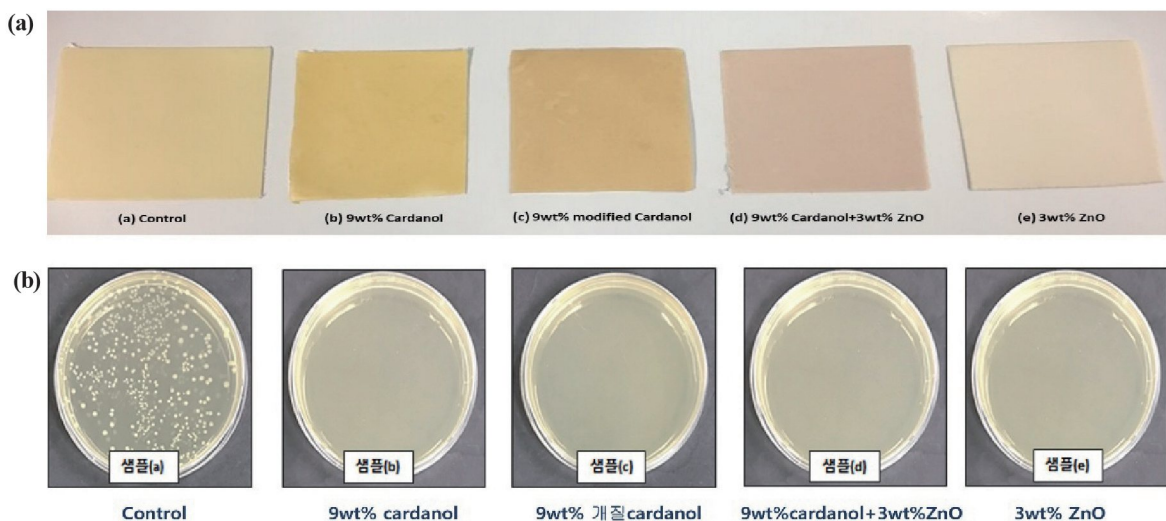


그림 3. (a) 개질된 폴리올을 이용한 하이드로 콜로이드 필름 제조 예시, (b) 제조한 하이드로 콜로이드 필름의 항균성 테스트.

링 플라스틱의 가공성과 난연성 향상을 위한 난연제, 그리고 앞서 언급한 바이오 물질 유래 폴리올의 합성 기술을 바탕으로 또 다른 바이오 물질인 우루시올(urushiol) 기반의 친환경 난연제를 개발하고 있다.

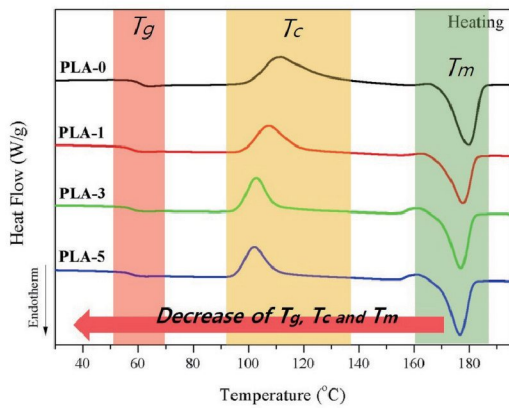
2.3 자가치유 고분자

자가치유 고분자(self-healing polymer)는 외부 충격에 의해 발생한 물리적 손상을 고분자 재료가 스스로 감지하고, 이 손상을 치유하는 능력을 가지는 고분자를 지칭한다. 현재 사용되고 있는 많은 고분자 재료들은 손상이 발생될 경우, 별도의 부품교체나 수리과정으로 인해 시간과 비용적인 손실이 불가피하다. 하지만 자가치유 고분자가 적용되어 기존 고분자 재료를 대체하게 될 경우, 이와 같은 불편함을 해소

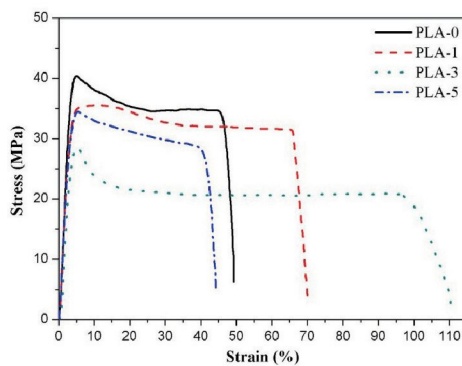
할 수 있을 것으로 기대되기 때문에 많은 연구진들의 흥미를 끌고 있다. 본 연구실에서는 가역적 자가치유 시스템에서 많이 적용되고 있는 Diels-Alder 반응을 치유 반응으로 선정하여 자가치유 시스템을 구축하는 연구가 수행되었다.

또한, 새로운 자가치유물질을 개발하는데 있어 산업에서 실제 적용되었을 때 제품의 성능 평가에서 중요하게 작용할 수 있는 요인인 치유 효율이 어떠한 분자 구조에서 높게 나타날 수 있는지에 대해 주목하였다. 그리고 이에 대해 두 가지 측면에서(1.가역 반응기의 전자밀도, 2.치유 물질의 이동성) 차이를 가지도록 분자 구조를 설계하고 이들의 치유 효율을 평가하였다.

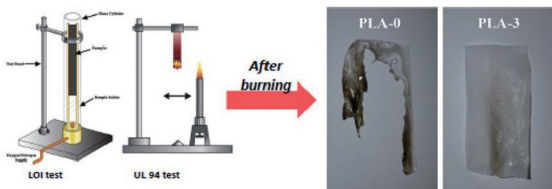
먼저 자가치유 시스템에서 사용되는 고분자의 가역반응기인 푸란(furan)기를 도입하는 과정에서 전자밀도가 각각



(a)



(b)



(c)

그림 4. 합성한 난연제를 적용한 PLA 필름들의 (a) DSC (b) UTM 분석 및 (c) 난연 평가.

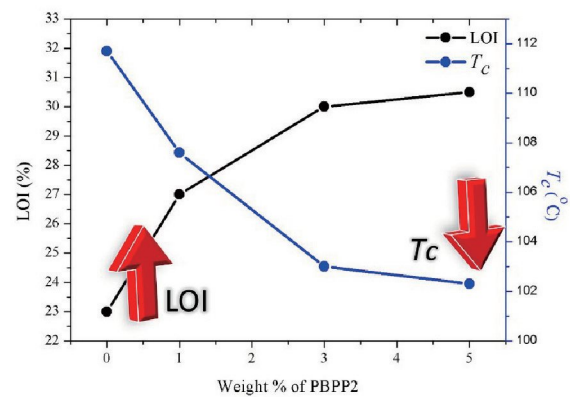
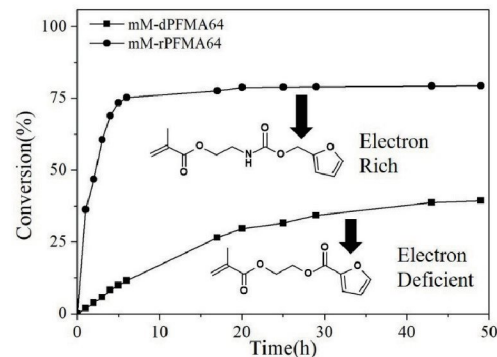


그림 5. 난연제가 첨가된 PLA 필름의 비율 별 LOI(%), 결정화 온도 비교.



(a)



(b)

그림 6. (a) 가역반응기의 전자밀도에 따른 반응속도 비교 (b) 이동성이 가장 높은 자가치유 고분자의 치유 테스트.

다른 두 가지 단량체를 설계하고 중합하였다. 그 후, 동일한 가교제를 통해 제조한 고분자 필름의 치유 효율을 계산하였으며, 그 결과 푸란기의 전자 밀도가 높은 고분자에서 다른 고분자에 비해 치유 효율이 월등히 높은 것을 확인 할 수 있었다. 이어서 이동성의 차이가 치유 효율에 미치는 영향을 탐구하기 위한 연구가 수행되었으며, 그 결과 이동성이 높을 수록 낮은 유리전이 온도로 인해 치유가 더 원활히 일어난다는 것을 확인하였다(그림 6, H. -Y. Lee, S. -H. Cha, *Macromolecular Research*, **25**, 640 (2017)).

하지만 이동성이 자가치유 고분자의 경우 유연한 구조로

인해 낮은 기계적 강도가 약점으로 작용할 수 있음을 발견하였다. 따라서 산화그래핀(graphene oxide, GO)에 말레이미드 작용기를 도입하고 나노물질로 적용하여 해당 고분자의 기계적 강도를 향상시키면서도 치유 효율은 유지하는 자가치유 고분자나노복합재에 대한 개발이 이루어졌다(그림 7, 8).

이외에도 두 가지 가역반응을 이용하는 dual-healing system 등, 좀 더 진보한 형태의 실제 제품 적용을 위한 가역적 자가치유 고분자의 개발에 관한 연구도 활발히 수행되고 있으며, 이외에도 비가역적 반응을 이용한 자가치유 물질에 대한 연구 또한 병행하며, 자가치유 물질의 영역을 확대하고 국내 자가치유 물질 분야의 선두로 나아가는 것을 목표로 하고 있다.

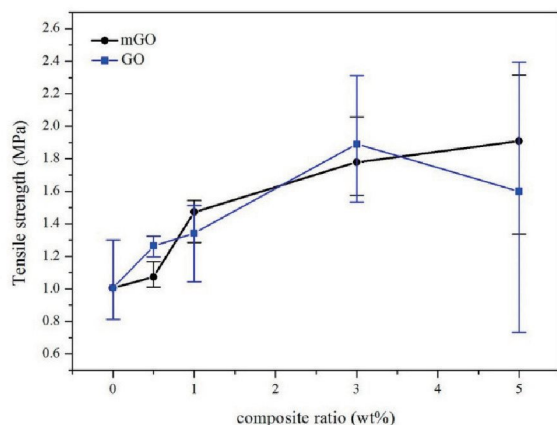


그림 7. 자가치유 고분자 나노복합재의 각 조합별 인장강도 비교.

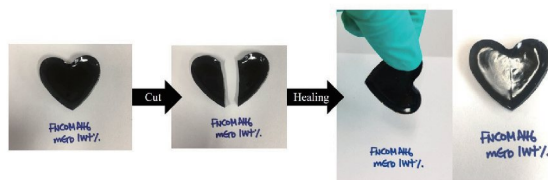


그림 8. 개질된 산화그래핀을 도입한 자가치유 고분자 나노복합재의 치유 테스트.

3. 경기대학교 화학공학과 고분자화학 연구실 현황

경기대학교 화학공학과 고분자화학 실험실은 2013년에 출범한 신생연구실로 지금까지 배출한 3명의 석사 졸업생은 학위 과정 중 습득한 고분자합성 기술을 바탕으로 한국 BASF 등에 진출하여 관련 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 현재는 석사과정 3명 및 학부 연구생 6명으로 구성되어 있으며, 고기능성 고분자 합성을 주제로 하여 다양한 연구를 활발하게 수행하고 있다(그림 9). 융합의 시대에 발맞추기 위해 본 연구실이 단독으로 진행되는 연구 외에도 타 대학의 연구실, 국책연구소 및 많은 기업과의 협업을 통한 연구도 동시에 수행하고 있다. 이를 위해 삼성종합기술원, LG화학, NGV 및 현대자동차 등의 민간기업 연구과제를 비롯한 한국연구재단, 산업통상자원부, 한국전력공사 그리고 중소기업청 등의 정부연구과제를 수행 및 수행한 바 있으며 해당 연구 과제수행을 통해 다수의 특허를 출원하고, 논문들을 발표하였다.



그림 9. 고분자 화학 연구실 구성원.