

한국과학기술연구원 RAMP (그린모빌리티) 융합연구단 (RAMP*: Recyclable Air mobility, Materials and Platform)

1. 기술 전환기의 시대, 새로운 구조소재의 필요성

21세기 후반부로 접어들면서 모빌리티 기술은 그 변화의 폭과 깊이에서 이전과 전혀 다른 국면에 접어들었다. 전기차의 급속한 보급, 수소 기반 운송체계의 등장, 도심항공교통(UAM)의 상용화 움직임 등은 단순한 교통수단의 변화가 아니라, 국가 기술 체계 전체의 전환을 요구하는 흐름으로 확장되고 있다. 특히 ‘하늘을 나는 이동체’가 현실의 기술로 다가오면서 구조소재는 미래 모빌리티 산업의 중심축으로 떠오르고 있다.

미래 이동체에서 구조체의 경량성은 단순한 설계 요소가 아니라, 비행거리·에너지 효율·탑재량을 결정하는 핵심 변수로 작용한다. 구조소재의 내구성·열안정성·충돌안전성은 곧 승객 안전과 직결되며, 열관리·신뢰성·지능형 구조 설계까지 요구되는 기술적 난도의 확장은 기존의 단일 소재 접근만으로는 해결할 수 없다.

또한 복합소재 사용 증가에 따라 발생하는 폐기 문제는 국제적으로 중요한 환경·정책 이슈로 부상하고 있다. 고성능 복합재는 높은 열·화학 안정성 때문에 재활용이 거의 불가능하며, 파쇄·매립 형태로 처리된다. ESG·탄소 중립 요구수준이 높아지는 글로벌 기술 환경 속에서 이는 산업적 부담을 넘어 국가적 과제가 되고 있다.

결국 미래 모빌리티 산업은 “강하고, 가볍고, 안전하며, 사용 후 다시 원료로 되돌아갈 수 있는 구조소재”를 필요로 하는 기술 전환기에 진입했다.

한국과학기술연구원(KIST)의 RAMP(Recyclable Air mobility, Materials and Platform) 융합연구단은 바로



[RAMP 융합연구단 현판식 및 현판(2023.12)]

이러한 요구를 기반으로, 소재-공정-구조-부품-재활용이 하나의 생애주기 플랫폼처럼 연결되는 완전 순환 구조소재 생태계를 구축하기 위해 출범하였다. 본 고에서는 RAMP 융합연구단이 어떤 배경에서 시작되었고, 각 플랫폼이 해결하고자 하는 기술적 난제는 무엇인지, 그리고 이 연구가 대한민국의 미래 산업 구조에 어떤 의미를 갖는지를 종합적으로 소개하고자 한다.

2. 미래 기술환경 변화와 순환형 구조소재의 등장

RAMP 융합연구단이 출범한 2023년은 미래 모빌리티 산업이 기술·산업·정책 측면에서 동시에 큰 변곡점을 맞이하던 시점이었다. 특히 UAM 산업이 본격적인 성장을 예고하면서 기존 항공기와는 다른 안전성·경량성·환경성 요구가 새롭게 제기되기 시작했다. 이는 단순한 부품 설계의 개선이 아니라 구조체 기술 자체를 새롭게 정의해야 하는 변화였다. 동시에 항공·모빌리티 산업에서 사용량이 폭증하고 있는 탄소복합재의 폐기물 문제 역시 국제적 수준에서 매우 심각한 환경·정책 이슈로 부상했다.

고성능을 자랑하는 탄소복합재는 반면에 재활용이 극히 어렵고, 대부분이 파쇄·매립으로 처리되어 환경 부담을 가중시키고 있다. 이는 탄소중립·ESG 정책 강화와 맞물려 더 이상 외면할 수 없는 구조적 난제로 떠올랐다. 또한 금속·복합재·고분자 등 서로 다른 소재를 결합해 기능을 향상시키려는 산업적 요구가 증가했지만, 이종소재 간 신뢰성 있는 접합과 성형, 그리고 일관된 품질 확보는 세계적으로도 미해결 과제로 남아 있었다.

이처럼 고성능 구조재의 필요성과 동시에 폐기와 재활용 문제까지 해결해야 하는 기술적·환경적 흐름 속에서, 전 세계 어느 국가도 아직 “재활용 가능하면서도 항공·모빌리티용 고기능성을 만족하는 완전 순환형 구조소재 플랫폼”을 완성하지 못한 상황이다. 이는 기존의 기술개발은 설계·소재·공정·부품·재활용이 각기 다른 산업군에서 개별적으로 이루어져 통합 생태계 구축이 어려웠기 때문이다.

한편 대한민국은 탄소복합재, 고분자, 경량금속 등 각 소재 분야에서 높은 경쟁력을 갖추었음에도 불구하고, 이들을 미래 모빌리티용 통합 순환 구조체로 연결하는 플랫폼 기술은 부재한 상태였다. 또한 복합재 폐기물 증가, ESG·탄소중립 정책 강화, 미래 항공·UAM 산업 경쟁 심화, 재활용 산업의 낮은 부가가치 등 국내 산업이 직면한 문제들은 기술적·정책적 돌파구를 요구하고 있었다.

이러한 시대적 요구 속에서 RAMP 융합연구단은 국가 전략 기술 확보를 위한 통합 구조소재 플랫폼 구축 프로젝트로 탄생

하였다. 이는 단순한 연구 프로그램이 아니라, 대한민국이 미래 모빌리티의 소재 주권을 확보하고 지속가능한 산업 생태계를 구축하기 위한 필수적 기반 연구이자 전략적 선택이라 할 수 있다.

3. 순환형 구조소재 플랫폼의 개념

RAMP 융합연구단은 미래 UAM·항공·차세대 모빌리티 환경을 종합적으로 고려하여 설계된 네 개의 핵심 기술 플랫폼으로 구성된다. 이들 플랫폼은 개별적으로는 서로 다른 소재·공정·구조 기술을 다루는 독립 과제처럼 보이지만, 실제로는 소재 설계에서 구조부품 제작, 그리고 재활용·업사이클링에 이르기까지 전체 생애주기를 하나의 순환 흐름으로 연결하는 유기적 생태계를 이루도록 설계되어 있다. 즉, 각 세부가 다루는 소재는 서로 다른 방향성을 갖지만, 이 네 축이 결합되면서 RAMP 융합연구단이 추구하는 완전 순환형 구조소재 기술 플랫폼이 비로소 완성된다.

구체적으로는,

① 고성능 탄소섬유 기반 복합재 플랫폼(1세부)은 에어모빌리티 구조체의 기본 골격이 되는 고성능 CFRP 복합재의 원천 기술을 확보하고,

② 마그네슘·이종소재 하이브리드 플랫폼(2세부)은 금속·고분자·복합재의 상보적 특성을 결합한 초경량 구조체 설계를 구현하며,

③ 3R 기반 순환형 고분자 플랫폼(3세부)은 재활용·재사용·재가공이 가능한 완전 순환 구조소재 개념을 확장하고,

④ 재생 기반 복합재 구조부품 플랫폼(4세부)은 폐플라스틱·폐복합재를 활용해 산업용 구조부품으로 재탄생시키는 업사이클링 기술을 담당한다.

이 네 플랫폼은 원천소재 개발 → 기능 부여 → 구조 부품화 → 재활용 및 재처리 → 다시 소재로 환원되는 하나의 통합 생애주기(Life Cycle)를 구성하며, 이는 기존 복합소재 산업에서는 찾아보기 어려운 RAMP 융합연구단 고유의 연구 구조이다.

특히 1세부와 2세부는 기존 복합재 기반 항공 구조 기술의 성능적 한계를 극복하고, 미래 모빌리티 구조체가 요구하는 고강도·고신뢰성·고방열·고효율 성형을 구현하는 데 초점을 둔다. 1세부가 탄소섬유 기반 복합재의 근본적 성능을 끌어올리는 역할을 한다면, 2세부는 금속과 복합재의 장점을 융합해 에어모빌리티 구조체의 기능적 확장과 경량화를 달성한다.

연구그룹 소개

이어지는 3세부와 4세부는 구조소재의 생애주기 관점에서 RAMP의 핵심 철학인 순환성(3R)을 실현하는 축이다. 3세부는 분자 구조에서부터 재활용과 재성형을 고려한 순환형 고분자 원천기술을 개발하고, 4세부는 페플라스틱·페복합재를 고성능 구조부품으로 재탄생시키는 업사이클링 기반 구조체 기술을 완성한다. 이러한 후반부 두 플랫폼은 앞단의 고성능 소재 개발과 긴밀히 연결되어, 고성능·고기능·고순환을 결합한 미래 구조소재 기술 체계를 구축하게 된다.

RAMP 융합연구단의 플랫폼 구조는 단순한 소재개발형 전략이 아니라, 에어모빌리티·항공·미래 모빌리티 산업에서 요구되는 “소재-공정-구조-재활용” 시스템을 하나의 기술 생태계로 통합한 국내 최초의 완전순환 구조소재 연구 모델로 평가할 수 있다. 이 플랫폼은 향후 고성능 복합재의 국산화, 이종소재 융합 구조 기술 확보, 순환형 소재 산업 기반 구축 등 대한민국 미래 모빌리티 경쟁력 강화를 위한 핵심 기술적 기반이 될 것이다.

3.1. 탄소섬유 복합재 기반 구조 플랫폼



[한국과학기술연구원 이성호 책임연구원]

1세부 연구는 한국과학기술연구원(KIST) 이성호 책임연구원이 총괄하며, 미래 에어모빌리티가 요구하는 구조적 고신뢰성과 경량성을 동시에 충족시키기 위해 탄소섬유 기반 복합소재의 성능을 한 단계 끌어올리는 원천 기술 개발을 목표로 한다. 본 세부는 탄소섬유 자체의 제조를 새로이 시도하는 것이 아니라, 원자층증착법(ALD)과 열처리 기반 표면·계면 기능화, 그리고 복합재 구조체에 최적화된 수지·성형 프로세스 개발을 통해 기존 탄소섬유 강화 구조재의 한계를 기술적으로 보완하는 데 중점을 둔다. 이러한 접근은 공정·구조·소재 특성을 통합적으로 고려해 실제 항공·UAM 구조물로 확장이 가능한 복합소재 플랫폼을 구축하는 것을 지향한다.

탄소섬유강화플라스틱(CFRP)은 항공기와 발사체의 주요 구조재로 널리 활용되어 왔으며, 최근에는 UAM·전기차·수소 모빌리티 등 차세대 이동체에서도 핵심 소재로 빠르게 확장되고 있다. 그러나 기존 탄소섬유의 표면 반응성, 계면 취약성, 열적 안정성 등은 여전히 구조 설계상 중요한 제약 요소로 지적되고 있다. 이에 1세부는 표면·계면 기능화 기술을 통해 기계적 물성·내환경성·수지 함침성 향상을 목표로 한 기능성 탄소섬유 기반 복합재 플랫폼을 개발하며, 이를 바탕으로 실제 구조부품 제작이 가능한 기술 생태계를 구축하고자 한다.

이 연구에는 KIST뿐만 아니라 한국생산기술연구원(KITECH), 건국대학교, 울산과학기술원(UNIST), 하이즈복합재산업(주) 등이 참여하여 재료 개발-계면 기능화-복합재 성형-구조 시제 제작-검증으로 이어지는 전주기 연구를 수행한다. 특히 PCM, Oven, VARTM, OOA 등 다양한 성형 공정에 적용 가능한 프리프레그 및 towpreg 기술 개발, Autoclave 기반 고온 성형, 축소 구조체(SPAR 등)의 시제 제작 및 비파괴 평가 등은 연구계획서에 명확히 기술된 1세부의 핵심 활동이다. 이를 통해 단순 물질 개선 수준을 넘어 실제 항공 구조물 수준에서 성능·품질·제작성을 검증할 수 있는 통합 기술이 마련된다.

국내 탄소섬유 산업은 일본·미국·유럽 등 선도국에 비해 후발주자로 평가되고 있으며, 전략소재의 자립도 향상은 항공·우주·UAM 산업의 성장과 국가 기술주권 확보 측면에서 매우 중요한 과제다. 1세부 연구는 이러한 산업적 현실을 고려하여, 기능화 탄소섬유 원

RAMP(그린모빌리티) 융합연구단
(Development of a lightweight platform technology for recyclable future air mobility structural materials and parts)
재활용 가능한 미래 에어모빌리티 구조용 소재/부품 경량화 플랫폼 기술 개발

- 미래 친환경 에어 모빌리티 경량화 및 재활용/재사용/재가공 핵심 소재·부품 개발을 통한 탄소 저감 및 미래 모빌리티 산업의 국가 경쟁력 강화
- 에어모빌리티의 친환경 경량 소재 개발 플랫폼을 통한 시장확보 및 탄소 중립 실현

사업명 재활용 가능한 미래 에어모빌리티 구조용 소재/부품 경량화 플랫폼 기술 개발

연구기관

총괄연구책임자	한국과학기술연구원	총괄연구책임자	정용재
주관연구기관	한국재료연구원, 한국생산기술연구원		
공동연구기관	한국자동차연구원		
위탁연구기관	KAIST, UNIST, 건국대학교, 경북대학교, 공주대학교, 부산대학교, 인천대학교, LG화학, H&M, 하이즈복합재산업, H&S, 알파로, 엘에이티, 코나솔		
참여기업(2단계)	LG화학, H&M, H&S, KCA, 알파로, 엘에이티		

연구기간 2023.07.01 ~ 2029.06.30 (미래선도형, 3+3년)

참여인력 2024년도 119명 (연구인력 119명, 파견인원 9명)

고성능 복합소재 개발

구조/부품화 기술개발

친환경 소재 및 재활용 기술

융합연구 1 (협력: 융합연구2)

융합연구 2 (협력: 융합연구1, 3, 4)

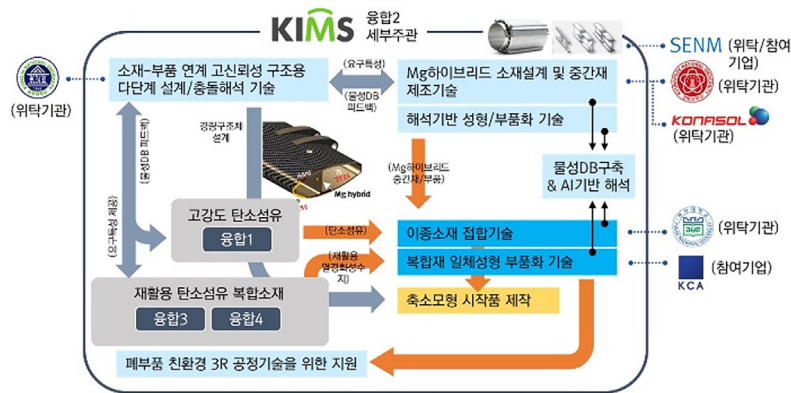
융합연구 3, 4 (협력: 융합연구1, 2)

한국과학기술연구원 **KIMS 한국재료연구원** **KITECH 한국생산기술연구원** **nst 국가과학기술연구회**

[RAMP 융합연구단 소개]



[1세부 핵심기술개발전략]



[2세부 핵심기술개발전략]

천기술과 복합소재 성형·구조 적용 기술을 확보함으로써 미래 모빌리티 산업의 기반 소재 경쟁력을 강화하는 데 기여하고자 한다.

3.2. 마그네슘 및 이종소재 하이브리드 플랫폼



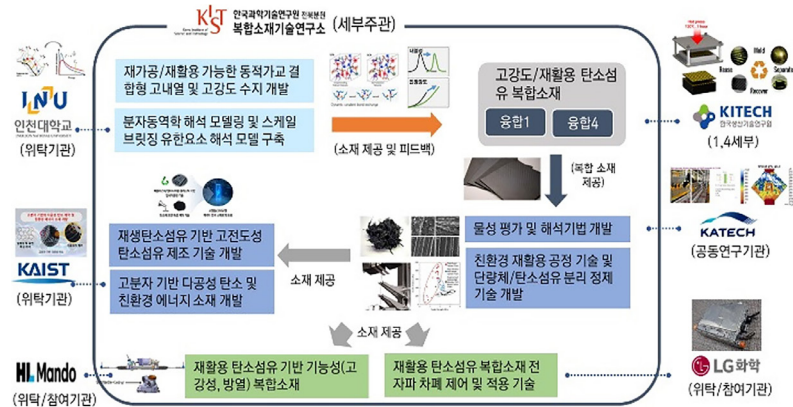
[한국재료연구원 김영민 책임연구원]

2세부 연구는 한국재료연구원 김영민 책임연구원이 총괄하며, 경북대학교, 부산대학교, 공주대학교 등 3개 대학과 코나솔, 샘 두 개 기업이 참여하여, 에어모빌리티 구조체에 직접 적용 가능한 고성능·경량 하이브리드 소재 및 부품 기술 개발을 목표로 한다. 특히 UAM(Urban Air Mobility)과 차세대 항공 이동체는 배

터리 효율, 비행거리, 안전성 등 모든 지표가 구조체 경량성에 의해 크게 좌우되기 때문에, 기존의 단일 소재 기반 설계만으로는 이를 만족시키기 어렵다. 이에 2세부는 소재 간 상호 보완적 특성을 극대화하는 금속-고분자-복합재 기반의 하이브리드 구조 개념을 핵심 방향으로 설정하고 있다.

핵심 연구 분야는 크게 세 가지로 구성된다. 첫째, 구조 경량화와 열관리 성능을 동시에 확보하기 위해 초경량 금속인 마그네슘 기반 고탄성·고방열 소재와, 고온 환경에서 우수한 성형성과 내열성을 보유한 탄소섬유 복합재용 열가소성 수지 기반의 고기능성 소재를 개발한다. 둘째, 서로 이질적인 재료들을 안정적으로 일체화하는 이종 소재 접합·하이브리드 구조 성형 공정 기술을 개발하여, 단순 시험편 수준을 넘어 실제 에어모빌리티 구조체에 필요한 형상과 내구성을 확보하는 데 집중한다. 셋째, 복잡한 성형 조건과 구조 거동을 빠르게 최적화하기 위해 머신러닝 기반 성형해석·공정 최적화, 충돌·내구해석 기반 설계기술을 도입함으로써, 소재 개발·성형 공정·설계 단계 간 데이터 기반 연계성을 강화한다.

이와 같은 연구 방향은 기존 복합재 중심의 항공용 부품 개발 방식에서 벗어나, 경량 금속 + 고기능성 복합재 + 지능형 설계가 결



[3세부 핵심기술개발전략]

합된 새로운 패러다임의 구조체 개발을 가능하게 한다. 특히 마그네슘-복합재 하이브리드 구조체는 높은 강도 대비 저밀도라는 장점뿐 아니라, 에어모빌리티의 전기추진 특성상 필수적인 열분산 성능을 함께 고려할 수 있다는 점에서 전략적 의미가 있다. 또한 접합·성형 공정 기술의 고도화는 향후 양산성과 유지보수까지 고려한 실질적 산업 연결성을 제공한다는 점에서 중요한 가치가 있다.

궁극적으로 2세부 연구는 단순히 경량 소재를 개발하는 데 그치지 않고, 소재-공정-설계-부품화로 이어지는 일체형 기술 체계를 구축하여 미래 에어모빌리티 산업의 핵심 요구에 부합하는 고성능 구조부품 개발을 목표로 한다. 이는 UAM 시장의 확산과 더불어 증가할 경량 구조체 수요에 대응할 뿐 아니라, 국내 재료산업의 기술 자립도를 높이고 글로벌 경쟁력을 확보하는 데 중요한 기여를 할 것으로 예상된다

3.3. 순환형 고분자 플랫폼



[한국과학기술연구원 정용재 책임연구원]

3세부 연구는 한국과학기술연구원(KIST) 정용재 책임연구원이 총괄하고, 한국자동차연구원, 한국과학기술원(KAIST), 인천대학교, LG화학, HL만도 등이 참여하여, 탄소중립·자원순환 시대에 적합한 3R(재활용·재사용·재가공) 기반의 혁신적 원천소재 및 응용기술 개발을 목표로 한다. 항공·모빌리티 산업에서 복합소재 활용이 확대될수록 폐기 복합재 처리 문제와 탄

소발생 문제가 심각해지고 있는데, 기존 열경화성 복합재는 재활용이 극히 어렵다는 구조적 한계가 있다. 3세부는 이러한 오랜 난제를 해결하기 위해, 애초부터 다회 재활용과 재가공이 가능한 구조소재를 설계하는 새로운 접근을 시도하고 있다.

연구의 중심에는 3R 기반 원천소재 설계가 있다. 이는 단순한 물질 재사용이 아니라, 분자 수준에서 재가공 가능한 결합구조를 설계하고, 이를 복합재로 구현하여도 구조적 강성과 내구성을 유지하는 새로운 개념의 구조소재를 만들겠다는 목표다. 이러한 소재는 기계적 파괴를 통하지 않고도 화학적·열적 조건에서 원재료를 분해·회수하거나, 새로운 형상으로 재성형이 가능하다는 점에서 기존 복합재의 한계를 넘어선다. 또한 연구단은 버려지는 폐플라스틱과 폐복합재를 친환경 공정기술로 업사이클링하여 고강도·고기능성 소재로 전환하는 기술 개발에도 중점을 두고 있다.

응용 측면에서는 자동차·모빌리티·공정 산업에서 실제로 활용 가능한 구조부품 개발도 병행한다. 예를 들어 자동차 하부구조나 충격흡수 구조체 등에서 재활용 기반 복합재를 활용할 수 있도록, 충격성·열적 안정성·내구성을 확보한 설계·제조 기술을 확보하고 있다. 산업계 파트너인 LG화학과 HL만도는 실제 재활용 기반 소재의 공정성·내구성·부품화 가능성을 함께 검증하고 있어, 연구성과의 실용화로 이어질 가능성이 크다. 이를 통해 재활용 기반 구조체가 단순 환경 분야가 아닌 고부가가치 산업 전반에 적용될 수 있음을 검증하고 있다.

3세부가 구축하는 기술은 단순한 친환경 프로젝트가 아니라, 향후 대한민국이 직면할 자원순환·탄소중립 규제 대응까지 고려한 미래형 구조재 생태계 구축이라는 점에서 국가적 중요성을 갖는다. 특히 복합재를 포함한 고분자 기반 구조체가 폭발적으로 증가하고 있는 상황에서, 3R 기반 원천기술 확보는 향후 글로벌 소재 패러다임 변화에 대응하기 위한 전략적 자산이 될 것이다.



[4세부 핵심기술개발전략]

3.4. 재생 복합재 기반 구조부품 플랫폼



[한국생산기술연구원 최두영 수석연구원]

4세부는 한국생산기술연구원 최두영 수석연구원이 총괄하며 페플라스틱 및 폐복합재를 활용한 재활용 가능 구조소재 개발과 하이브리드 접착-체결 기술 고도화를 목표로 한다. 급증하는 플라스틱 폐기물과 복합재 폐기물 문제는 글로벌 환경 이슈로 부상하고 있으며, 항공·자동차·전자 등 주요 산업에서 복합재 사용량이 증가함에 따라 폐기물의 성능 저하·재활용 불가 문제는 산업적 부담으로 이어지고 있다. 4세부는 이러한 문제를 해결하기 위해, 단순한 분쇄 재활용 수준이 아닌 물성 개선형 재생소재 개발과 고신뢰 구조 접합 기술의 원천 확보에 집중하고 있다.

주요 연구 내용은 크게 두 축으로 이루어진다. 첫째, 다양한 페플라스틱 및 폐복합재를 대상으로 구조적 성능을 회복하거나 향상시킬 수 있는 물성 개선 기술을 개발한다. 이 과정에서 상분리 억제, 충격강도 향상 등을 위한 고분자 개질 기술을 적용하여, 재활용 원료에서도 원재료에 준하는 성능을 확보하는 것을 목표로 한다. 둘째, 복합재-금속-재생소재 등 이질적 재료 조합을 안정적으로 결합할 수 있는 하이브리드 접착-체결 기술을 고도화하여, 다양한 재생소재 기반 구조체가 실제 산업용 부품으로 사용될 수 있는 신뢰성을 확보하고자 한다.

특히 항공·UAM·자동차 부품에서 요구되는 급격한 온도변화, 진동, 충격 등 다양한 환경 조건을 고려하여, 접합부 내구성 평

가·피로수명 평가·환경 안정성 검증을 수행하고 있다. 이러한 연구는 단순 재생 원료 활용 수준의 순환경제 접근을 넘어, 구조적 신뢰성을 요구하는 산업 분야에서도 재활용·업사이클링 소재가 본격적으로 사용될 수 있도록 하는 기반 기술을 제공하는다는 점에서 차별성을 갖는다.

4세부가 구축하고자 하는 기술은 환경 규제가 강화되고 자원 순환 산업이 급격히 성장하는 시대에, 탄소중립 대응형 구조소재 플랫폼으로 기능할 수 있다. 이를 통해 폐기물 절감뿐 아니라 재생소재의 고부가가치화, 산업 적용성 향상, 친환경 부품 실용화 등 다양한 산업적 파급효과가 기대된다. 궁극적으로 4세부의 연구는 순환경제와 지속가능 소재 분야에서 대한민국의 기술경쟁력을 확보하는 데 중요한 역할을 수행하게 될 것이다.

4. 맺음말

RAMP 융합연구단이 구축하고 있는 완전순환 구조소재 생태계는 단순한 소재개발 프로젝트가 아니라, 대한민국 미래 모빌리티 산업의 기술적 방향성을 제시하는 국가적 기술 플랫폼이다.

고성능·경량화·지능화·순환성이라는 네 가지 핵심 가치가 하나의 기술체계 안에서 연결될 때, 미래 모빌리티 산업은 비로소 지속가능성과 경쟁력을 동시에 확보할 수 있다. RAMP는 이러한 요구를 충족시키는 국내 최초의 통합 연구 플랫폼으로, 글로벌 기술 패러다임 변화 속에서 대한민국이 구조소재·모빌리티 산업에서 주도권을 확보할 수 있는 전략적 기반이 될 것이다.

미래 이동체 시대, 순환하는 구조소재의 시대

RAMP 융합연구단은 그 변화를 현실로 만드는 대한민국의 기술적 토대이며, 미래 모빌리티 산업을 향한 국가의 전략적 여정에 든든한 기반이 될 것이다.