

자동차 경량화를 위한 고분자 기반 소재 기술 동향

Trends of Polymer based Lightweight Materials Technology in Automotive

이현욱 · 하진욱 · 고윤기 · 이평찬 | Hyun Wook Lee · Jin Uk Ha · Youn Ki Ko · Pyoung-Chan Lee

Lightweight Materials R&D Center, Korea Automotive Technology Institute,
303 Pungse-ro, Pungse-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do 31214, Korea
E-mail: pclee@katech.re.kr

1. 서론

환경 문제 및 에너지 자원의 가격 상승으로 야기된 각국의 각종 환경 규제는 석유자원의 30%를 소비하며 전체 온실가스 배출량의 25%를 차지하는 자동차 산업에 직접적인 영향을 주고 있다.¹ 이로 인해 국제 환경 규제 및 연비규제 강화는 완성차 업체 및 부품 업체 그리고 각국 정부로 하여금 엔진 효율 향상, 차량 경량화 및 친환경 자동차 개발 등에 막대한 연구개발비를 지출하도록 유도하고 있다.¹ 자동차 산업을 둘러싼 환경 규제가 점차 강화되고 있으며, 완성차 및 관련 업체별 차이는 있으나, 2020년~2025년 규제 목표 대비 갭이 큰 상황이므로 목표 충족을 위해서는 다양한 수단 강구가 필요하다. 또한 EU 지역의 경우 2025년을 기점으로 더욱 강력한 규제가 시행될 전망으로 이에 대한 대책마련이 시급한 상황이다. 환경 규제를 충족하지 못한 경우 자동차 업체에서는 판매제한과 같은 소극적 제재가 아닌 기준 초과 차량 판매 대수별 벌금을 부여하는 방식의 강화된 제재를 받기 때문에 업체 수익률이 낮아지고 있는 상황에서 기업의 수익성에 상당히 심각한 문제를 초래할 수 있다. 미국은 0.1 mpg당 5.5 달러의 벌금을 판매 차량 전체에 부과하는 제재를 고려하고 있으며, 유럽은 초과배출량 기준 5~95 유로의 누진 벌금을 부과할 예정이다.²

자동차에서 연비를 향상시킬 수 있는 방안은 크게 3가지로, 엔진 및 파워트레인 등 동력 계통의 효율 향상, 차량 주행시 에너지 손실을 최소화하기 위한 주행 저항 감소, 마지막으로 차량의 중량을 감소시키는 경량화 방법이다.^{2,3} 동력계 효율 향상 방안은 엔진 다운사이징, 트랜스미션 기어비 최적화 등과 같은 연구를 들 수 있으며, 종래의 연비 향상 방안으로 많은 연구가 진행되었다. 하지만 최근에는 연구비 및 기간 투입 대비 연비 향상 효과가 낮은 것으로 알려져 있다. 주행 저항 감소의 경우 차체의 공기역학적 설계, 타이어 패턴 최적화 및 타이어 소재 개선을 통한 구름 저항 감소 등의 연구가 진행되고 있으나, 차량 디자인 요소와 연관되어 있어 적용에 한계가

Author



이현욱

2009 고려대학교 신소재공학과 (학사)
2011 고려대학교 신소재공학과 (석사)
2010~2014 ㈜OCI 중앙연구소 연구원
2014~현재 자동차부품연구원 선임연구원



고윤기

2003 한국과학기술원 기계공학과 (학사)
2005 한국과학기술원 기계공학과 (석사)
2011 한국과학기술원 기계공학과 (박사)
2011~현재 자동차부품연구원 선임연구원



하진욱

2004 인하대학교 화학공학과 (학사)
2007 NJIT 화학공학과 (석사)
2010 NJIT 화학공학과 (박사)
2003~2005 현대자동차그룹 사원
2010~2012 삼성 제일모직 책임연구원 (現롯데첨단소재)
2012~현재 자동차부품연구원 센터장



이평찬

2005 성균관대학교 고분자시스템공학과 (학사)
2007 성균관대학교 고분자공학과 (석사)
2012 성균관대학교 고분자공학과 (박사)
2009~현재 자동차부품연구원 선임연구원

있다. 차량의 중량을 감소시키는 방법은 신소재 및 신공법 연구, 최적 설계를 통한 부품 수 감소 등의 연구가 진행되고 있으며, 기존에는 낮은 소재 물성으로 적용 부품에 한계가 있었으나, 최근 소재 기술 발달로 인해 다양한 부품에 확대 적용이 가능하게 되었다. 이에 따라 차량의 연비 향상을 위한 가장 효율적인 방안으로서 차량 경량화하기 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있다.^{2,3}

본 기고에서는 이러한 자동차 경량화를 위한 고분자 기반 소재의 국내의 기술 개발 동향에 대해 소개하고자 한다.

2. 본론

2.1 자동차 중량 변화 추세

자동차의 중량은 안전/편의 사양의 증가로 인해 꾸준히 증가해 오고 있다. 예를 들어, Toyota Corolla의 경우 공차무게가 1,090 kg(1992년)에서 1,300 kg(2014년)으로 증가하였으며, 국내 H사 고급 승용차의 경우 2012년 대비 2013년 차량의 무게가 약 135 kg 증가했다고 알려져 있다.¹ 또한 그림 1에서 보는 바와 같이, 유럽 내 평균 차량 무게는 유럽 내 평균 차량 무게는 2005년 1,340 kg에서 2012년 1,400 kg까지 증가했다가, 2016년 1,388 kg으로 소폭 감소하였다.⁴ 이러한 무게 감소의 원인은 차량 중량과 온실 가스의 배출량 관계와 연관이 있다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 자동차 중량이 자

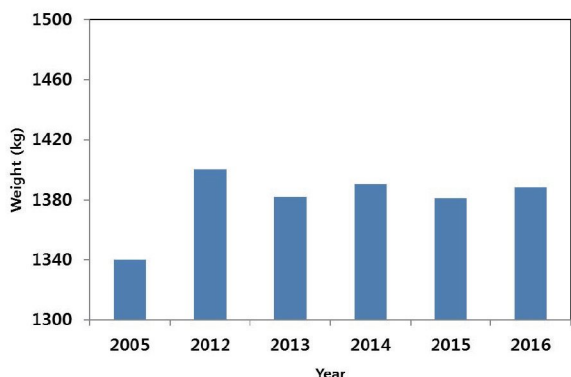


그림 1. 유럽 자동차 중량 변화 추이.⁴

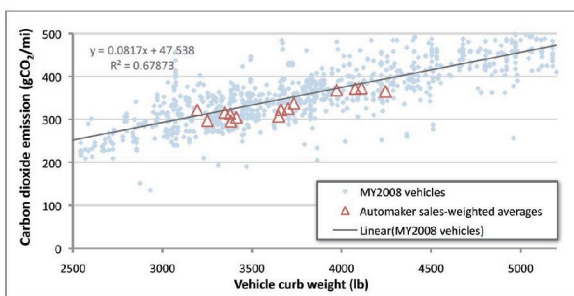


그림 2. 자동차 중량과 CO₂ 배출이 연관성.⁵

동차 중량이 증가할수록 온실 가스의 배출량 역시 선형적으로 증가한다고 알려져 있으며,⁵ 유럽의 경우 강력한 온실가스 규제에 의해 차량 무게 감소에 많은 노력을 투입하고 있다.

유럽의 경우, 2016년 현재 이산화탄소 배출량이 118.1 g/km 수준으로 2021년 규제 목표인 95 g/km를 달성하기 위해서는 매년 45 kg 이상, 5년간 약 230 kg 이상의 경량화가 필요하다고 예측되고 있다. 이에 따라 주요 메이저 완성차 업체에서는 동력 전기화와 더불어 차량 경량화를 추진하고 있으며, 2020년까지 지속적으로 새로운 모델 차량을 출시할 것으로 예상된다.⁴

2.2 자동차 경량화 방안

앞서 설명한 바와 같이, 자동차 산업은 안전규제 강화와 편의 사양 증가로 인해 차량 중량이 지속적으로 증가하고 있으며, 차량 중량 증가는 온실가스 배출 증가로 이어지고 있다. 환경 규제 속도가 가속화됨에 따라, 기존의 온실가스 감축 노력 대비 배 이상의 노력이 필요하게 되었으며, 이로 인해 표 1에서 보는 바와 같이 주요 완성차는 매년 경량화 요구가 증가하고 있다. 이로 인해 경량화 요구가 증가하고 있다. 차량 경량화는 내연기관의 연비 개선과 전기차 효율성 향상의 공통 분모에 위치해 있는 것으로 알려져 있다. 전기차 보급 활성화를 위해서는 1회 충전 주행거리 향상이 필수적이다. 이를 위해서는 배터리 용량 증가 및 효율 향상과 차량 중량 저감이 필요하다. 하지만 배터리 용량 증가는 차량 무게 증가와 가격 상승이라는 문제점을 가지고 있어, 차량 중량 저감이 필수적이다. 현재 양산되어 있는 전기차량의 주행거리와 무게와의 연관성을 분석하면, 차량 무게와 주행거리가 직접적으로 연결됨을 확인할 수 있으며, 차량 무게 10% 경량화 시 주행 거리 5.3%씩 증가한다고 추측되어진다.² 이로 인해 글로벌 자동차 업체에서는 부품소재 경량화 기술, 엔진 효율성 개선, 전기차 개발 및 판매에 집중하고 있다.

자동차의 경량화를 위한 방안은 부품을 소형화하는 방법, 디자인 변경 및 설계 변경을 통한 구조 합리화하는 방법, 그리고 신소재를 적용하는 방법 등이 대표적이다.³ 차량 및 부품 소형화는 소비자의 선호도 저하 및 편의 장치의 대형화 추세와 맞지 않는다는 점에서 적용에는 한계가 있다. 구조 합리화는 공정 기술의 발전과 함께 최근 들어 다양한 연구가

표 1. 주요 완성차별 CO₂ 배출량 변화 및 경량화 예측(2016-2021)⁴

	Current 2016 (g/km)	Expected 2020/21 (g/km)	YoY (g/km)	Weight Reduction (kg/vehicle)
Ford	120	94	6,5	65
Daimler	125	102	5,75	57,5
BMW	121	101	5	50
Toyota	105	93	3	30

진행되는 분야이다. 이는 신소재 개발과 연관되어 소재 개발과 함께 그에 알맞은 공정 개발 및 모듈화 등으로 진행되고 있는 실정이다.^{2,3}

자동차에 다양한 소재가 적용되고 있다. 자동차 산업에 있어서 소재의 선택의 폭은 매우 좁으며, 소재 선정시 가격 경쟁력, 경량화, 성형성 등이 고려된다.¹ 이 중 약 73%의 금속과 약 16%의 고분자 기반 소재 등이 적용되고 있으며, 금속 소재는 주로 차체새시 부품 쪽에 적용되고, 고분자 기반 소재는 주로 내장 및 외장부품용 소재로 사용되고 있다.³ 따라서 획기적인 경량화를 위해서는 차체새시 부품의 금속을 신소재로 대체하는 방안이 모색되고 있다. 하지만 고분자 기반 소재의 경우, 낮은 기계적 물성으로 인해 적용에 한계가 있는 실정이다. 이를 개선하기 위하여 엔지니어링 복합소재, 수퍼 엔지니어링 복합소재 등의 적용이 연구되고 있으나, 아직까지는 획기적인 채용은 어려운 실정으로 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

또한, 적용 부품에 따라 요구되는 물성이 다르기 때문에 부품별 주요 경량 소재 역시 다르게 연구되고 있다. 예를 들어, 차체의 경우 기존 스틸과 플라스틱에서 알루미늄과 플라스틱으로, 내장부품은 스틸과 플라스틱에서 플라스틱과 마그네슘으로 변화될 것으로 예상된다. 하지만, 고급 차종 또는 고성능차량의 경우 차체는 탄소섬유 강화 복합소재(CFRP)와 알루미늄에서 CFRP로, 내장부품은 알루미늄과 플라스틱에서 플라스틱 및 CFRP로, 새시부품은 알루미늄에서 CFRP

로 변화할 것으로 예측된다(그림 3). 즉, 차종별 요구 물성, 가격, 생산성 등을 고려하여 최적의 경량화 소재가 적용될 것으로 보인다.

2.3 자동차용 고분자 기반 경량소재 시장규모

자동차용 경량소재 세계 시장 규모는 2016년에 71.1 Bn\$ 규모이며, 2027년에는 188.9 Bn\$ 규모로 성장할 것으로 예측되고 있다. 이 중 고분자 기반 경량소재의 시장규모는 18.16 Bn\$ (2016년)에서 40.19 Bn\$ (2027년) 규모로 성장할 것으로 전망된다.⁶ 이 중 승용차 기준으로 고분자 기반 소재의 75% 정도가 내장부품 및 외장부품에 사용되고 있다(그림 4).⁷

2.4 자동차 내장부품용 경량화 소재 기술

자동차 내장부품은 시트 크래쉬패드, 도어모듈, 헤드라이닝, 대시아이소패드 등 대형 부품이 많음에도 불구하고 이제까지 경량화보다는 고급화에 개발이 집중되어 왔다. 이는 플라스틱 채용 비율이 높은 내장부품의 특성상 경량화 필요성이 높지 않았기 때문이나, 최근 전부품을 대상으로 경량화가 진행되고 있어, 다양한 경량화 개발이 진행되고 있는 실정이다. 내장부품의 경량화 기술 개발 전략은 저비중 소재 개발, 고유동 고강성 소재 개발 및 금속구조재 대체 기술이다.

저비중 소재 개발은 대부분 발포 소재를 적용하는 기술이다. 발포는 화학 발포제 등을 사용하는 화학 발포와, 미세 등과 같은 물리 발포, 그리고 열팽창 캡슐을 사용하는 발포 기

Current(2016)				Future(2025)					
		Body	Interior	Chassis			Body	Interior	Chassis
									
Standard		Steel	Steel	Steel			Aluminium	Plastics	HS Steel
		Plastics	Plastics	HS Steel			Plastics	Magnesium	Aluminium
Performance		Aluminium	Aluminium	Aluminium			CFRP	Plastics	CFRP
			Plastics	CFRP				CFRP	

그림 3. 자동차 주요 부품군별 소재 변화 예측.⁴

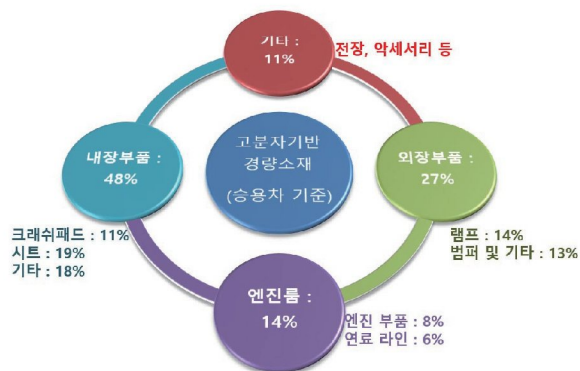


그림 4. 고분자 기반 경량소재의 차량 부품별 적용 비중.⁷

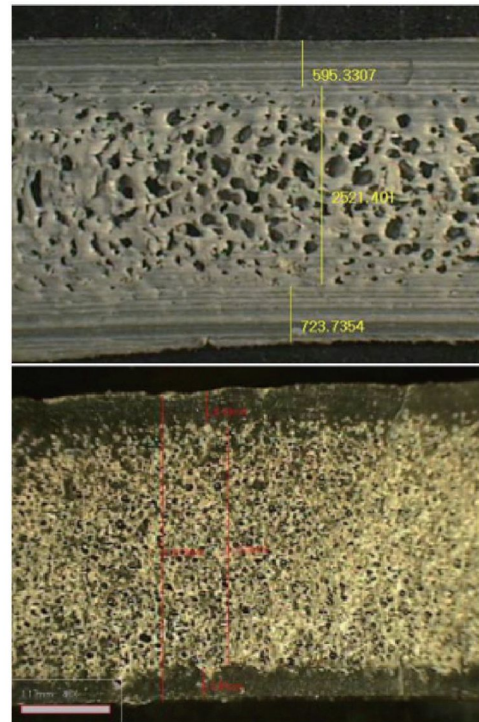


그림 5. 발포폴리프로필렌의 단면 OM 이미지; (상) 화학 발포제, (하) 열팽창 캡슐 적용.⁸

술 등이 적용되고 있다. 저비중 소재의 경우, 기존 일반 소재와 동일한 물성을 구현하기 위해서는 균일한 발포가 매우 중요하며 표면 품질이 중요하게 여겨진다(그림 5).

고강성 소재 개발을 통해 금속 구조재를 대체하는 기술의 경우 대부분 CFRP를 적용한 기술이 대부분이다. 포르쉐는 탄소섬유를 적용하여 기존 시트 프레임 제품 대비 약 50% 무게를 절감한 시트 프레임 개발을 성공하였다(그림 6). 해당 기술을 적용시 시트 전체의 부피를 줄일 수 있으며, 이를 통해 차량 실내공간을 확장하는 부수적인 효과도 기대할 수 있다.^{2,9} 벤츠는 CCB(cockpit cross beam)를 기존 스틸 소재에서 알루미늄, 마그네슘, 복합소재로 복합적으로 적용하여 30% 경량화를 달성하였다.² 또한, 국내에서는 CCB를 PA 기반의 고강성 복합소재를 적용하기 위한 정부과제가 진행 중에 있다.¹⁰

2.5 자동차 외장부품용 경량화 소재 기술

자동차 외장부품은 기존 스틸 소재를 비철금속으로 대체하기 위한 연구 위주로 진행되었으며, 최근 복합소재를 적용하기 위한 연구가 간헐적으로 추진 중에 있다. 내장부품에만 한정되었던 고분자 수지가 신소재 개발을 통해 향후 외장부품으로서 사용 가능성이 높아지고 있기 때문이다. 글로벌 소재사를 중심으로 엔지니어링 플라스틱으로 제작된 외장부품을 장착한 컨셉카를 출시하고 있으며, 그림 7에서 보는 바와



그림 6. 탄소섬유를 적용한 포르쉐 Carrera GT 시트 프레임.^{2,9}



그림 7. 복합소재를 적용한 경량 테일게이트(DMM).¹¹

같이 경량 테일게이트가 일부 차종에 적용된 바 있으나, 일부 차종에 적용된 바 있으나, 아직 확대 적용까지는 추가적인 연구가 필요한 상황이다.

또한, 금속으로 되어 있는 휠 림(wheel rim)을 고분자 복합소재로 제작하여 30% 경량화한 연구 결과를 스마트 포비전 컨셉카에 적용하여 바스프에서 2011년도에 발표하였다. 그 외에 펜더(Fender)를 CFRP 및 복합소재로 대체한 사례가 있으며, 기존 제품 대비 60~70% 경량화 효과가 있으나 금속 대비 낮은 내열성으로 인해 외부열에 의한 수축 및 팽창으로 제품간 단차가 발생하여 양산 중단된 사례가 있다. 자동차 유리를 폴리카보네이트로 대체하면 경량화에 많은 도움이 되고, 창 구동용 모터의 소형화 및 도어 패널의 경량화가 가능하다. 이러한 글레이징 소재는 자동차 경량화 측면에서 수요가 급진적으로 증가할 것으로 추정되나 해결해야 할 부분도 많은 상태이다. 성형공정, 표면 정도 및 열전도도 향상을 위한 연구 등의 기술 개발이 필요하다.

2.6 자동차 차체새시부품용 경량화 소재 기술

자동차 차체새시는 전체 중량에서 차지하는 비중이 매우 높아 경량화에 대한 연구도 꾸준히 진행되고 있다. 기존 스틸에서 비철 금속을 적용하는 방향으로 연구 및 양산화가 진행되고 있으나, 일부 도전적인 완성차 업체를 중심으로 고분자 기반 복합소재 적용이 진행되고 있다. 안전과 관련되어 있어 대부분 높은 물성을 나타내는 CFRP 위주의 연구가 진행되고 있다. CFRP 선두주자인 BMW의 경우 독일 SGL 그룹과 협력을 통해 CFRP 대량 생산에 집중하고 있으며, 소재 생산 → 부품 성형/가공/접합 → 차량 생산 → 재활용에 이르는 밸류체인을 완성하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이, 사이클 타임 측면에서 용이한 차체 부품을 활용하여 양산차인 7 시리즈의 16개 부품에 양산 적용하였다. 또한, 전기차 i3의 life module을 CFRP로 제작하였으며 전기차 무게를 300 kg 이상 절감하였다. 이 외에도 GM, Toyota, Ford 등에서 CFRP를 적용한 외장부품을 양산 적용하였다.¹

CFRP는 다양한 성형 공법이 존재하나 자동차 산업에 실제

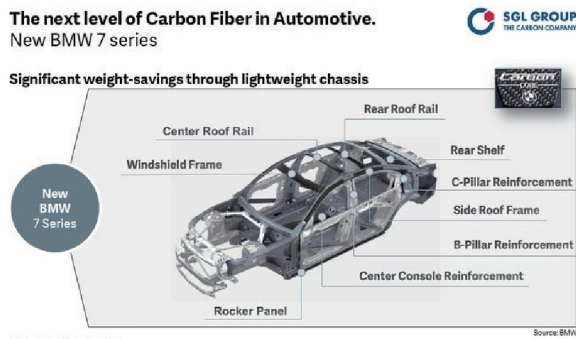


그림 8. BMW 7 시리즈에 적용된 CFRP 부품.^{2,12}

적용된 기술은 RTM(resin transfer molding), SMC(sheet molding compound), WCM(wet compression molding) 등이다. 이는 열경화성 소재를 기반으로 하고 있기 때문에 대량 생산에 한계가 있고 성형 공정이 복잡하고 생산 비용이 높다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 열가소성 CFRP(일명, CFRTP) 공법도 빠르게 발전하고 있다.

2.7 자동차 기타 부품용 경량화 소재 기술

자동차의 전장화 및 지능화로 인해 전장부품의 채용이 증가하고 있으며, 이로 인해 차량 무게 증가가 가속되고 있다. 따라서 전장부품 경량화를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

차량에는 약 34 kg의 전선이 사용되는데, 친환경 자동차의 고압 케이블이 추가될 경우 전선의 무게는 더욱 증가할 것으로 예측되고 있다. 따라서, 전원 공급을 위한 와이어 하네스의 경량화가 요구되고 있다. 경량화 방안으로는 기존 구리 전선 대비 비중이 낮은 알루미늄 전선을 적용하는 기술로 약 40%의 경량화 효과를 보인다.² 또한 저전압의 전력 공급용으로는 사출 부품 표면에 회로를 직접 인쇄하는 LDS(laser direct structuring) 기술이 적용 중이다. 이는 PCB 기판을 삭제할 수 있으며, 이로 인한 디자인 자유도 및 공간 활용도 확대와 조립 공정이 단순화된다는 장점이 있다.¹³

전기차의 배터리 팩 장착으로 인한 차량 무게 증가(~400 kg)에 대한 경량화 대책 연구도 꾸준히 진행되고 있다. 그림 9에서 보는 바와 같이, 바스프는 All Plastic EV 배터리 팩을 2018년 NPE 전시회에서 발표하였다. 이는 팩 하우징부터, 커넥터, 실링 소재까지 경량 솔루션을 제시하였다.¹⁴

3. 결론

그 동안 완성차 업체는 연비 규제 수준이 높지 않아 비용 대비 효과가 높은 옵션을 선택적으로 실행해 왔으나, 국제 환경 규제 및 연비 규제 강화로 인해 차량 경량화가 필수적인

로 병행 수반되어야 하는 상황이 되었다. 이에 따라 국내외 자동차 경량화 관련 시장 규모는 계속적으로 증가할 것으로 예상되나 경쟁력의 근간인 경량화 소재 및 가공 업체의 국내 기술력은 매우 미흡한 상황으로 판단된다. 경량화는 단순 무게 절감이 아닌 장기 내구 신뢰성, 양산성, 제조 원가, 품질 등이 종합적으로 확보되어야 하기 때문에 중장기적 관점에서 기술 접근이 필요하며, 소재-성형-부품화에 이르는 업계 간 협력이 반드시 필요하다. 고분자 기반 경량소재의 경우 중장기적인 측면에서 활용도가 높을 것으로 예상되고 있어, 자동차 산업의 밸류 체인간의 긴밀한 협조 및 공동 개발 등을 통해 혁신적인 소재 기술과 응용화 기술 개발을 추진하여 자동차용 고분자 기반 경량화 소재 기술을 선도할 필요가 있다.

참고문헌

1. S. K. Jeoung and P.-C. Lee, *Auto Journal*, **36**, 27 (2014).
2. S. K. Jeoung and J. U. Ha, *Auto Journal*, **40**, 30 (2018).
3. S. K. Jeoung, P.-C. Lee, Y. K. Ko, and J. U. Ha, *KIC News*, **16**, 37 (2013).
4. *Automotive OEMs Passenger Car and Light Duty Truck Lightweighting Strategies, Forecast to 2025*, Frost&Sullivan, Texas, 2018.
5. N. P. Lutsey, *Review of Technical Literature and Trends Related to Automobile Mass-reduction Technology*, Davis: Institute of Transportation Studies(UCD), Univ. of California, Davis, 2010.
6. *Automotive Lightweight Materials Market 2017-2027*, Visiongain, London, 2017
7. *Global Automotive Plastics Market, Forecast to 2022*, Frost & Sullivan, Texas, 2018.
8. J. U. Ha, S. K. Jeoung, P.-C. Lee, Y. J. Hwang, B. K. Nam, I.-S. Han, S. B. Kwak, and J. Y. Lee, *Polym. Korea*, **39**, 64 (2015).
9. *911GT2 RS Seat Information*, Porsche Group, 2018.
10. S. B. Kwak, B. J. Kim, J. S. Kim, J. Y. Lee, and I.-S. Han, *PSK Annual Spring Meeting*, **41**, 96 (2016).
11. *Fakuma 2017*, Friedrichshafen, 2017.
12. *Investor Relations Presentation*, SGL Group, Lightweight Expertise for BMW Group, 2016.
13. H. W. Lee, S. K. Jeoung, B. H. Min, J. W. Lee, D. H. Kwon, and J. S. Lee, *KSAE Fall Conference Proceedings*, 1212 (2017).
14. *NPE 2018: The Plastics Show*, Plastics Industry Association, Orlando, 2018.



그림 9. All Plastic EV 배터리 팩.¹⁴