플라스틱 소재의 응용 동향: 자동차 경량화를 위한 플라스틱 소재의 적용 기술

류민영[1] · 최태균[2] · 조한수[2]

1. 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

2. 서울과학기술대학교 일반대학원 제품설계금형공학과

Application Trend of Plastics: Manufacturing Technology of Plastics for Lightweight Automobile

M.-Y. Lyu, T. G. Choi, H. S. Cho

1. Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology

2. Department of Product Design Manufacturing Engineering, Seoul National University of Science and Technology

1. 서 론

최근 들어 자동차의 경량화가 자동차 업계나 사회의 큰 이슈로 부각되면서 플라스틱 소재가 더욱 주목 받고 있다. 자동차의 무게감소는 에너지 절감과 직접적으로 연관되어 있다. 즉, 자동차의 무게 감소 10%당 연비 증가율은 약 7% 정도이다. 그리고 자동차 경량화를 통한 연비 증가는 환경을 오염시키는 이산화탄소(CO_2)의 배출량 감소와 연관되어 있기 때문에 경량화 실현을 위해 다양한 노력이 시도되고 있다. 미국의 CAFÉ(Corporate Average Fuel Economy)는 2021년 목표 연비를 19.0km/l, 그리고 2025년에는 23.2km/l로 설정하고 자동차의 경량화에 박차를 가하고 있다(Fig. 1). 최근 들어서 하이브리드(hybrid) 자동차가 크게 보급되어가고 있고 또한 완전한 전기 자동차가 출현하면서 자동차의 무게감소에 대한 요구가 더욱 커지고 있다[1].

본 논문은 플라스틱 소재의 응용 중 큰 관심을 받고 있는 자동차 경량화를 위한 플라스틱 소재의 적용기술에 대해서 조사하였다. 소재에 의한 자동차의 경량화는 비중(specific gravity)이 큰 금속부품을 비중이 작은 플라스틱 소재로 대체하는 방법과 이미 대체된 플라스틱 부품에서도 무게를 더 감소하기 위해 플라스틱 소재의 비강도와 비강성을 높이는 방법 등이 있다. 금속을 플라스틱 소재로 대체하는 방법은 새로운 물성의 고분자 수지가 개발되고 그의 기능들이 향상되면서 크게 확대되고 있다. 플라스틱의 비강도와 비강성을 높이는 방법은 내부에 폼(foam)을 갖게 하는 방법과 다층복합판재를 활용하는 방법이 있다. 자동차의 내장재는 예전부터 대부분이 플라스틱 소재가 쓰였다. 자동차 내부의 보이지 않는 부품이나 외관품들은 자동차 출현 초기에는 금속이었지만 플라스틱 소재로 대체되는 부품은 날로 증가하고 있다. 플라스틱 소재로 대체되는 부품은 자동차의 등급이나 종류에 따라 다양하다[2]. 자동차에 활용되는 플라스틱 소재에 관한 연구는, 고강성 플라스틱 소재 개발, 플라스틱 소재의 무게감소를 위한 폼 형성 소재 개발, 물성보강 플라스틱 복합재료 개발, 플라스틱 복합판재 개발, 그리고 플라스틱/금속 하이브리드 부품 개발 등으로 분류할 수 있다. 이와 같은 플라스틱 소재의 응용 방법은 각각의 방법에 적합한 공정들이 개발되어 활용되고 있다.

본 논문에서는 플라스틱 소재의 무게감소를 위한

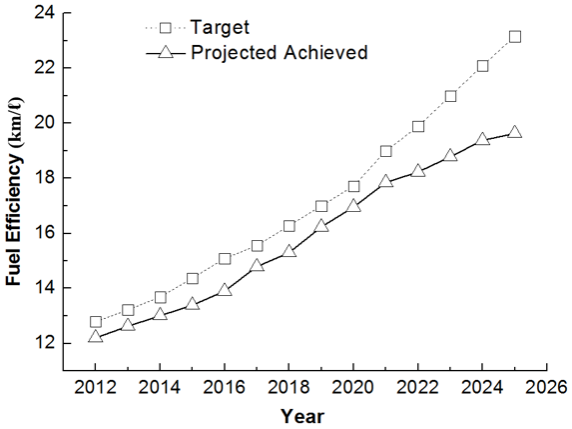

Fig. 1 Fuel efficiency target and projected achieved by the CAFÉ

폼 형성 소재 개발과 물성보강 플라스틱 복합재료 개발을 통해 자동자의 경량화를 실현하는 연구에 대해 정리하고자 한다. 플라스틱 소재의 무게감소를 위한 폼 재료의 활용은 플라스틱 소재의 특성과 성형상의 공정 조건들이 잘 부합되어야 올바른 폼 제품을 성형 할 수 있어서 공정조건이 중요하다. 반면에 CFRP(carbon fiber reinforced plastics) 등과 같은 복합재료를 이용한 제품성형방법은 공정조건보다는 성형공법이나 장치에 더 크게 의존되는 경향이 있다.

2. 자동차용 고분자 소재의 연구동향

2.1 무게감소를 위한 고분자 소재 개발

1930년대에 고분자 산업이 시작되고, 확장되면서 고분자 폼(polymeric foam)에 대한 과학적 이해가 정립되었다. 폼 소재의 시작은 제2차 세계대전 이전에 열경화성 수지인 PU폼(polyurethane foam)이 개발되어 가구, 건축물, 그리고 이동수단에 사용되었다. 제2차 세계대전 중에는 Dow Chemical(USA)이 바다 위에 선박을 건조시키는 용도로 사용되는 Floating Dock을 건설하기 위해 PS폼(polystyrene foam)을 압출공정으로 생산하였다.

그 이후 다양한 재료에서의 폼 성형공정과 폼을 일으키는 Blowing Agent에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 이러한 폼을 갖는 플라스틱 소재는 비강성이 커서 연비를 높이기 위한 자동차의 경량화에 매우 적합하다. 자동차 경량화에 사용되는 고분자의 무게감소를 위해서 즉, 플라스틱의 비강성을 증대시키기 위해서 사용되는 최근 성형기술은 성형시에 폼을 형성하도록 하는 Microcellular Foaming과 제공되는 고분자 Bead에 폼이 형성되어 있는 Bead Foam 재료를 사용하여 제품을 제조하는 방법이 있다[3].

2.1.1 미세 폼 성형(Microcellular Foaming)

금속 대신 고분자 소재를 쓰는 경우 강성의 증가를 위해 두께를 두껍게 하는 경우가 많다. 이런 경우에 고분자 소재 내부에 폼 또는 Bubble을 형성하도록 하여 무게를 감소시키기는 방법이 사용된다. 즉 일정 두께의 제품에서 고분자의 양을 줄이기 위해 내부에 폼을 형성 시킨다. 이러한 방법은 1980년대에 MIT의 서남표 교수가 아이디어를 고안하였고, Trexel Inc. 에 의해 MuCell Process로 공식화되었다(Fig. 2). 이 방법은 사출성형공정에서 제품을 성형하는 중에 Microcellular Foam을 형성하도록 하는 것으로 사출성형 공정 중 수지를 용융시킨 후 Physical Blowing Agent(PBA)로 초임계유체(supercritical fluid)를 사용하여 이것을 용융된 수지에 포함되게 한다(Table 1). 그리고 초임계유체를 포함한 수지를 고압으로 금형에 주입하고 냉각하여 성형을 완료한다. 초임계유체를 만들기 위한 PBA로 이산화탄소가스(CO_2)나 질소가스(N_2)를 이용 한다. Cell의 크기는 대략 1~100um정도이며 Cell의 밀도는 10^9~10^{15}cells/cm^3 이다. 공정 중 Cell의 크기와 밀도는 초임계유체의 농도(concentration)에 의존되며 이를 조절하는 파라미터(parameter)는 이산화탄소가스(CO_2) 나 질소가스(N_2)의 포화도(saturation), Microcellular Process 공정의 압력(Pressure), 혼합체의 온도(mixture temperature), 금형온도, 그리고 사출속도 등이다. 이러한 공정에 사용되는 고분자재료는 Polyphenylene Sulphide(PPS), Polystyrene(PS), Polyoxymethylene(POM), Polyethylene Terephthalate(PET), Thermoplastic Elastomer(TPE), Polypropylene(PP), High Density Polyethylene(HDPE), Polyamide(PA), Polycarbonate(PC) 등 다양한데 사용재료에 따라 10~60%의 무게감소의 효과를 보이고 있다[4, 5].

Bubble로 인한 무게 감소의 장점 외에 낮은 사출압력과 짧은 공정시간이 장점이다. 용융된 수지에 초임계유체가 융해되면 수지의 유리전이온도(glass transition temperature, T_g)는 낮아진다. 이로 인해 수지의 점도가 낮아지고 유동성이 증가한다. 이 때문에

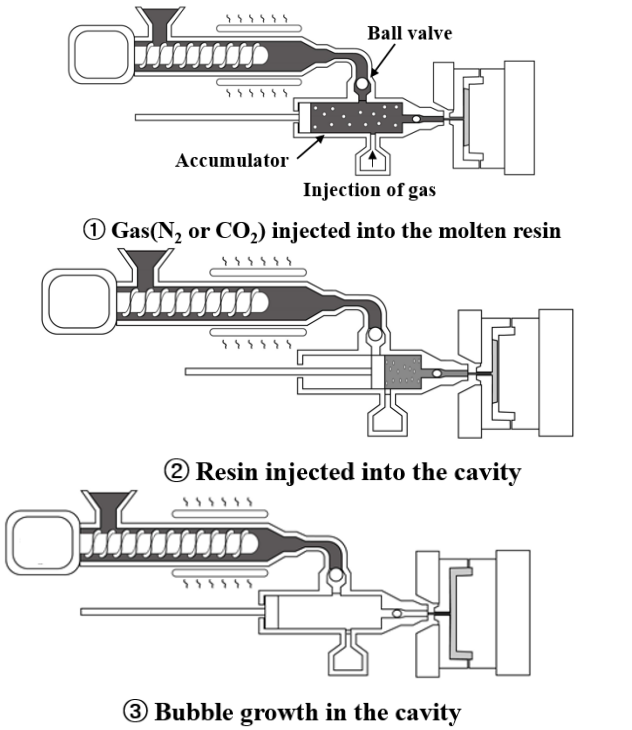

Fig. 2 Schematic drawing of microcellular foam injection molding process

Table 1 Examples of physical blowing agent

Physical Blowing Agent	Molar Weight (g/mol)	Boiling Temperature (℃)
Isobutane (C_4H_{10})	58.1	-11.7
Cyclopentane (C_5H_{10})	70.1	49.3
Isopentane (C_5H_{12})	72.1	29.0
CFC-11 ($CFCl_3$)	137.4	23.8
HCFC-22 (CHF_2Cl)	86.5	-40.8
Nitrogen (N_2)	28.0	-195.7
Carbon dioxide (CO_2)	44.0	-56.5

일반사출보다 낮은 사출압력이 요구된다. 또한 내부에 생성된 Bubble의 가스압력을 통해 보압 공정이 제거된다. 사출품 내부의 수 백만개의 핵이 생성되고 Bubble로 성장하는 것은 흡열반응이므로 냉각시간의 단축이 가능하다. 이와 같은 이유로 일반사출 공정 보다 MuCell 공정은 20~50%의 공정시간의 단축이 가능하다. 폼을 갖는 제품은 또한 단열특성(thermal insulating properties)의 증대를 가져온다. 이러한 공법의 단점은 표면에 Air Trap에 의한 Swirl Marks, Bubble이 터지면서 형성되는 Silver Streak, Surface Blistering, Post-blow등을 일으켜 표면의 품질이 떨어지는 것이다. 또한 Foam의 크기가 0.25mm이상이 되면 제품의 강도가 현저히 떨어지기 때문에 이러한 단점들의 보완을 위한 연구가 필요하다.

미세 셀 구조(microcellular structure) 의 안정성 향상을 위해 단순 사출성형(conventional injection molding)이 아닌 사출압축성형(injection compression molding) 방법을 활용하기도 한다(Fig. 3). 압축공정에서 작은 형상의 Cell은 붕괴되고 큰 형상의 Cell은 작아져서 전체적으로 균일한 Cell이 형성되며 밀도가 증가된다. 폼을 형성한 소재의 강성과 강도를 높이기 위해 소량의 유리섬유(glass fiber)나 Nanoclay를 첨가 하기도 한다. 유리섬유 강화(glass fiber reinforced) PP에는 PP의 점도를 낮추어 유리섬유의 깨짐(breakage)을 줄이기 위해 Chemical Blowing Agent(CBA)를 사용하기도 한다(Table 2). 또한 고무입자(Rubber Particle)를 첨가하여 충격보강과 파단저항의 특성(Impact-and Fracture-toughening Properties)의 향상을 얻기도 한다. MuCell 공정에서 PBA를 사용하면 Gas Dosage Unit, Controller, Gas Injector, Specially Designed Screw, High-pressure Gas Source 등의 특수장비가 필요하고, CBA를 사용하면 별도의 장치가 크게 필요 없지만 Bubble 생성 후에 제품에 잔여물이 남아있을 수 있다. 또한 금형에 오염이 발생하기 쉽고 폼 공정을 조절하기 어려운 단점들이 있다. 일반적으로 CBA를 이용한 폼 성형은 반응재료들을 각각 계량하여 믹싱챔버(Mixing Chamber)에서 혼합한 후 노즐을 통해 금형이나 Conveyor Belt, 또는 원하는 공간 속에 주입하여 제품을 성형한다(Fig. 4)[6~8].

수지와 Blowing Agent를 이축 스크류(twin screw)등의 압출기에서 녹이고 믹싱하여 Pellet을 만든 후 사출성형을 하기도 한다. 이를 Supercritical Fluid-laden Pellet Injection Molding Foaming Technology(SIFT)라 일컫는다. SIFT 방식은 가스 주입기가 설치된 압출장비로 Pellet을 생산할 수 있고 사출기에 별도의 장비 없이 사출이 가능하다. 이러한 방식은 PBA를 Pellet 내부에 포함하게 하여 공정절차를 간단하게 한 것이다. SIFT 공정에서는 주로 이산화탄소가스를 PBA로 사용한다. 질소가스를 Blowing Agent로 사용하게 되면 무게가 6% 감소 하는 장점이 있다. 하지만,

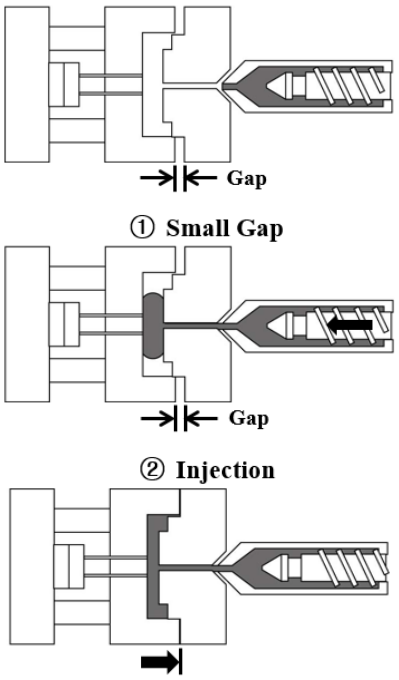

Fig. 3 Schematic drawing of microcellular foam injection-compression molding process

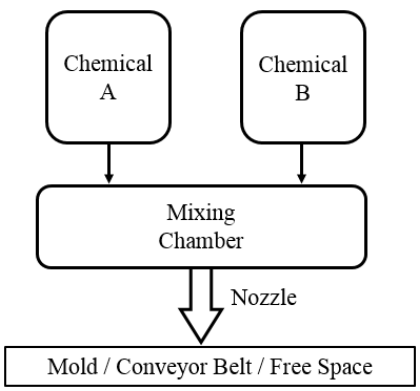

Fig. 4 Foam fabrication process using chemical blowing agent

사출품을 제작한 뒤 40시간 이후에는 제품 내부의 셀의 크기가 줄어들어 Bubble이 붕괴되는 단점이 있다. 이러한 SIFT 방식에 대한 연구는 현재 진행형이다[9, 10].

2.1.2 Bead Foam 성형

제품 내부에 폼을 갖게 하는 또 다른 방법은 일반적인 Pellet이 아닌 폼을 형성할 수 있는 Bead를 사용하는 것이다. Bead는 Expandable Bead와 Expanded Bead 두 가지로 나뉜다. Expandable Bead는 성형 중에 Bubble이 성장하도록 내부에 CBA 혹은 PBA를 포함한 형태이다. Expanded Bead는 이미 Bubble이 포함되어 부풀어 있는 상태의 Bead이다. Expanded Bead 또한 CBA를 사용하였는지, PBA를 사용하였는지에 따라 성형하는 공정이 다르다. 이러한 Bead를 제조하는 방법은 크게 세 가지로 나뉜다. 재료의 합성 단계에서 내부에 Blowing Agent를 포함하여 만드는 방법, 압출 후 Autoclave에서 Blowing Agent를 함침시키는 방법, 마지막으로 Blowing Agent와 함께 압출하여 Foam을 형성시키고 물 속에서 Granulation 하는 방법이다. Expandable Bead 제조에 가장 많이 사용되는 방법은 재료의 합성 단계에서 내부에 Blowing Agent를 포함하는 방식이다. Expanded Bead를 제조하는데 많이 사용되는 방식은 압출 후 Autoclave에서 Blowing Agent를 함침하는 방법이다. Blowing Agent와 함께 압출하여 Bead를 제조하는 방식은 Expandable Bead와 Expanded Bead의 제조에 모두 사용된다. Expandable Bead의 제조는 압출기를 통해 빠져 나오는 수지를 물속에서 냉각하면서 Pellet을 만든다. 이때 수압을 Bead 내부에 있는 Blowing Agent의 압력보다 높게 하여 Blowing Agent를 Bead 내부에 가둔 상태로 제조한다. Expanded Bead를 제조할 때는 반대로 수압을 Blowing Agent 보다 낮게 하여 Blowing Agent가 밖으로 빠져나오면서 Bubble을 만들어 부풀어 오르게 만든다. 이러한 방식은 연속적이고, Bead

Table 2 Examples of chemical blowing agent

Chemical Blowing Agent	Decomposition Temperature (℃)	Main Gas Components
Azodicarbonamide (ADC)	200-220	N_2, CO, CO_2(NH_3)
Modified ADC	155-220	N_2, CO, CO_2(NH_3)
4,4'-Oxybis(benzene sulfonylhydrazide)	140-165	N_2, H_2O
5-Phenyltetrazole (5-PT)	240-250	N_2
P-Toluenesulfonyl semicarbazide (TSS)	215-235	N_2, CO_2
P-Toluenesulfonyl-hydrazide (TSH)	110-140	N_2, H_2O

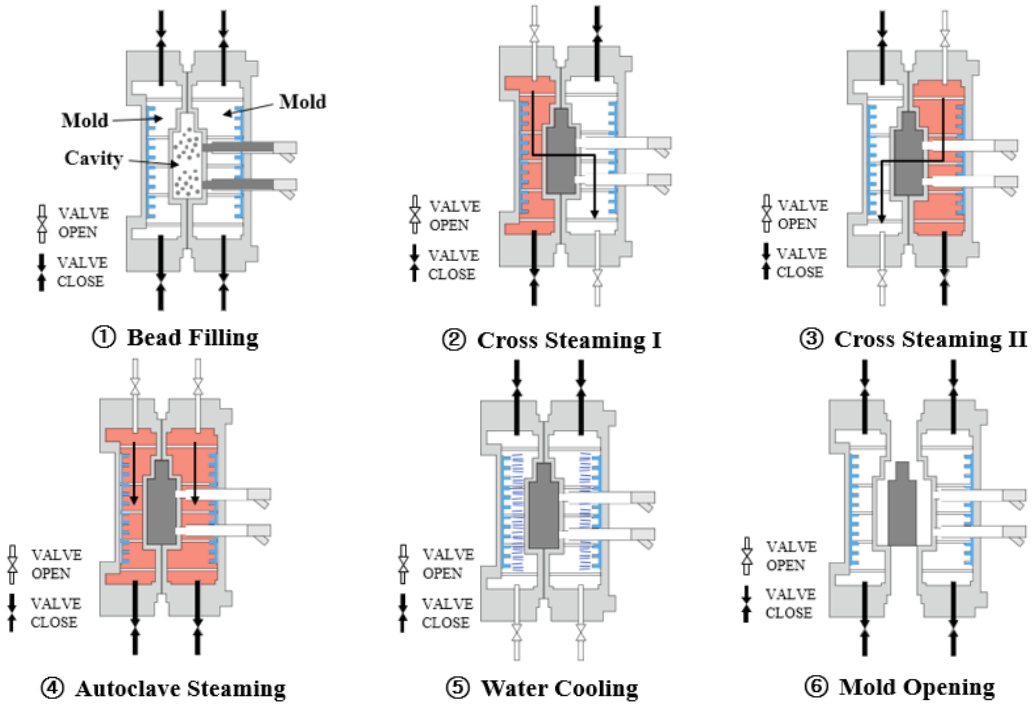

Fig. 5 Schematic drawing of steam chest molding process using expanded polypropylen

Size가 균일하다는 장점이 있지만, 수온과 수압의 미세한 변화에 민감하기 때문에 수압, 수온, Pelletization 속도 등의 공정조건이 잘 유지되어야 한다. Expandable Bead로 사용되는 재료는 Expandable Polystyrene(EPS)이다. Expanded Bead로 사용되는 재료는 Expanded Polypropylene(EPP), Expanded Polystyrene (EPS), Expanded Polyethylene(EPE) 등이다. 이 중에서 EPP는 충격강도, 에너지흡수, 열 및 소음차단, 그리고 열에 대한 저항 등이 높아 자동차용으로 적합하다고 볼 수 있다. 자동차 범퍼(bumper)내부의 Crash Absorbers, Sun Visors등에 EPP가 사용된다[11~13].

EPP Bead로 제품을 제작하기 위해서 Steam Chest Molding이 사용된다(Fig. 5). Steam Chest Molding 공정은 Bead를 금형의 캐비티(cavity)에 채우고 고온의 Steam을 주사(injection)하여 Bead를 물리적으로 접합(physical bonding)하는 것이다. 이 공정은 금형의 형폐, Bead Filling, Steaming, Cooling, 형개, Ejecting의 공정으로 이루어져 있다. 이 중 Steaming공정은 Bead를 Bonding시키는 가장 중요한 공정이다. 고온 고압의 Steam을 통해 근접해 있는 Bead의 Chain들이 내부적으로 확산(Inter-diffusion)되면서 물리적으로 결합된다. Bead간의 물리적 결합은 기계적 물성과도 연관되기 때문에 Bead간의 긴밀한 접촉을 위하여 압축공정(compression)이 사용된다. Steaming공정에서는 Steam의 온도, 압력, 시간 등이 중요한 요소이다. Steam시간이 너무 길면, 고온으로 인해 내부의 Cell이 붕괴된다. 또한 Steam 압력이 높으면 Steam Nozzle에서의 온도가 높아지기 때문에 Nozzle 근처 의 Bead가 녹아서 제품 표면에서 수축 등의 불량이 발생한다. 이 공정에서 사용되는 Steam은 Superheated된 상태로 좁은 통로의 Steam Nozzle을 통과하게 하여 금형의 캐비티 내부로 흐르게 된다. 캐비티 내부에 있는 Bead들은 Superheated된 Steam의 유로에 대한 장애물이 되며 이로 인해 Steam의 압력은 낮아지고 Steam의 온도는 낮아진다. 이에 따라 Superheated된 Steam은 물로 바뀌게 되며, 이러한 것들이 제품 표면에 Swirl Mark, 수축 등의 결함을 유발한다. 이를 방지하기 위해 Steam과 뜨거운 공기 Hot Air를 섞어서 사용하는 방법이 있다. Hot Air를 섞어서 사용하는 이유는 Joule-Thompson Coefficient(μ_J)로 설명할 수 있다. μ_J는 압력변화에 따른 온도변화 비율을 나타내는 계수이다. Superheated된 Steam의 μ_J는 13℃/atm이다. 이에 반해 Hot Air의 μ_J 는 0.01℃/atm으로 Superheated Steam에 비해 상대적으로 낮아 압력저하에 따른 온도저하가 낮다. 하지만 Hot Air의 열전도도는 매우 낮고 Superheated Steam의 열전도도는

매우 높다. 그렇기 때문에 Steam과 Hot Air를 섞어서 사용하게 되면 표면 품질의 개선 및 기계적 물성 증가 등의 효과를 낼 수 있다[14, 15].

최근에는 EPP와 Metal Foam을 합쳐 새로운 Foam 재료에 대해 연구가 진행되고 있다. 그리고 친환경성을 고려한 Expanded Polylactic Acid(EPLA)의 연구가 진행 중이다. 또한 Expanded Polybutylene terephthalate (EPBT), Expanded Polyethylene terephthalate(EPET), Expanded Thermoplastic Polyurethanes(ETPUs) 등의 연구도 진행 중이다.

2.2 물성보강 고분자 복합재료(Reinforced Polymer Composites) 개발

물성보강 고분자 복합재료는 크게 고분자 나노복합체와 강화제(reinforcement)를 이용한 즉 대표적으로 탄소섬유(carbon fiber)를 활용한 복합재료로 나뉜다. 나노복합체는 오래 전부터 시도되어왔다. 나일론에 Clay를 나노입자로 분산시켜 열 저항성을 높여 엔진주위의 부품으로 사용하였으며, 이를 시초로 많은 고분자 나노복합체에 대한 연구가 진행되어 왔다. PA, Polybutylene Terephthalate(PBT), PP, PC등의 소재와 나노 Clay와의 나노복합체의 연구가 많이 보고되고 있다. Clay는 Montmorillonite(MMT)로 판상형상이며 얇게 잘 펴지는 성질을 가지고 있어 이를 나노 두께로 만들어 고분자의 분자들 사이에 위치하도록 하면 내열성과 난연성이 증가된다. 그러나 Nano Clay 복합제는 기계적 물성, 특히 충격강도가 현저히 저하되는 단점이 있어 자동차 경량화에는 한계가 있다[16].

고분자 나노복합체 보다 편리한 방법으로 다양하게 물성을 발휘할 뿐만 아니라 대량생산이 가능한 것은 섬유보강 고분자 복합재료이다. 이 방법은 강화제를 고분자 매트릭스에 분산시켜 기계적 강성을 증가시키는 방법이다. 강화제로 쓰이는 섬유는 Glass Fiber, Carbon Fiber, Boron Fiber, Basalt Fiber, Aramid Fiber 등이 있다. 고분자복합재료의 강성과 강도는 강화제의 종류와 형태, 그리고 함량에 의존한다. 섬유보강 고분자복합재료에서 섬유의 형태에 따라 불연속섬유(discontinuous fiber)와 연속섬유(continuous fiber)로 나눌 수 있다. 불연속섬유는 Short Fiber, Long Fiber, Chopped Strand Mat가 사용되고 연속섬유로는 Continuous Fiber Mat, Unidirectional 또는 Multi-axial Laminate, Woven Fabric, Knitted Fabric, Braided Fabric등이 사용된다.

섬유보강 고분자복합재료 제품을 생산하는 공정은 매우 다양하다. 대략 3mm이하의 섬유길이를 갖는 Short Carbon Fiber 복합재료는 수지와 섬유를 스크류 압출기에서 믹싱하여 Pellet으로 제작한 후 일반사출성형으로 성형품을 제작한다. 3~25mm의 섬유길이를 갖는 Long Carbon Fiber 복합재료는 Long Fiber Reinforced Thermoplastic(LFT), Direct Long Fiber Reinforced Thermoplastic(D-LFT) 방식으로 제작한다. 섬유의 길이가 길수록 기계적 물성이 높게 나타나기 때문에 Long Fiber를 사용하기 위해 연구가 진행중이다. LFT 방식은 고분자 재료를 압출하여 Pellet으로 만드는 공정 중에 섬유를 Roving 형태로 연속적으로 주입하여 12mm이상의 Long Fiber를 함유한 Pellet을 만드는 것이다. 하지만, Pellet 형태로 사출기로 들어가게 되면 스크류에 의해 가소화되는 과정에서 섬유의 파손율이 높기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다. D-LFT 방식은 LFT와 유사하게 섬유를 Roving 형태로 연속적으로 주입하여 고분자와 섞은 후, Batch 형태의 덩어리로 제작한 다음 압축을 가하여 원하는 형상을 제작하는 방식이다. D-LFT 방식은 섬유의 파손율이 낮고 긴 형태로 나타나기 때문에 높은 기계적 강도를 요하는 부품 제작에 사용된다[17, 18].

Continuous Carbon Fiber 복합재료는 Filament Winding, Pultrusion 공정을 통해 제작한다. Filament Winding은 열경화성 수지를 함침시킨 섬유를 회전하는 Mandrel에 감아서 형상을 제작하는 공정이다. Filament Winding 공정은 섬유를 감는 방식에 따라 Helical Winding, Polar Winding, Circumferential Winding 등 다양한 방법 있다. 이 공정은 회전하면서 형상을 제작하는 방식이므로 제품의 형상은 실린더와 같은 원형의 단순한 형상으로 한정되어 있으며 복합 파이프나 압력용기 등의 제작에 사용된다. Pultrusion 공정은 Continuous Fiber를 이용하여 일정한 단면을 가진 제품을 연속생산 하는 공정이다. 섬유는 Roving 형태로 Continuous Fiber가 열경화성수지의 욕조를 지나면서 수지가 섬유에 함침되고, 섬유를 연속적으로 당기면서 일정한 형상으로 제작하는 방식이다[19].

섬유를 직조하여 Fabric 형태로 사용하는 방법은 먼저 Prepreg를 제작하고 이를 이용하여 후속공정을 거쳐 제품을 제작한다. Prepreg는 직조된 Fabric에 열경화성수지(thermosets resin)를 함침시켜 만드는데 이

는 Resin Transfer Molding(RTM) 방법으로 제작한다. Prepreg는 함침된 열경화성수지가 반응이 일어나지 않은 상태이다. RTM 방법은 Fabric을 Mold에 장착시키고 여기에 열경화성수지를 주입하여 Fabric속에 함침시키는 것이다. RTM에서는 미리 Mix된 열경화성수지를 Plunger를 이용하여 Mold에 주입하는데 수지의 점도 및 속도가 작아 Reinforcement의 위치가 변하지 않는 장점을 갖고 있다. 이 RTM 방법으로 Fabric에 수지를 함침시키고 경화시켜 직접 최종제품으로 완성하기도 한다. RTM 방법은 열경화성수지를 경화시키는 방식에 따라 다양한 형태의 공정으로 나타난다. HP-RTM(High Pressure Resin Transfer Molding) 공정은 열경화성수지를 주입할 때, 높은 압력으로 주입하여 Fabric으로의 함침을 개선하고 재료를 단시간에 경화시켜 공정시간을 단축시키는 공정이다. VARTM(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)은 직조된 Fabric을 Vacuum Vinyl에 위치시키고 진공펌프를 이용하여 대기압과의 압력 차이를 통해 Fabric에 열경화성수지를 함침시키는 방법이다. 부피가 작은 제품은 진공펌프와 Vacuum Vinyl을 이용하여 제작 가능하다. 하지만, 부피가 큰 제품은 진공펌프의 능력, Vacuum Vinyl을 덮는 과정에서 Void 발생, 표면품질 불량 등의 결함이 발생한다. RTM으로 제작된 Prepreg를 이용하여 열경화성수지로 성형하는 공정으로 Reinforced Reaction Injection Molding (RRIM)이 있다. RRIM으로 생산하는 방법은 Prepreg를 Mold에 위치시키고 열경화성수지를 Mold에 주입한 후 경화 시킨다. RRIM방법에서 Prepreg를 사용하지 않고 Fabric으로 제작한 Preform을 금형에 안착시키고 열경화성수지를 주입하고 경화시켜 직접 완성된 제품을 성형하기도 한다. RRIM방법은 반응 재료들을 따로 준비하여 믹싱 챔버에서 만나게 한 후 사출한다. Prepreg를 이용하여 열가소성수지(Thermoplastics Resin)로 성형 할 때는 Prepreg를 금형에 넣고 열가소성수지를 사출하면서 내부의 Prepreg는 경화되고 스킨층에는 열가소성수지가 고화되도록 하는 Overmolding 공정이 사용된다[20~22].

3. 맺음말

본 논문에서 플라스틱 소재가 자동차 경량화에 활용되는 성형기술에 대해서 조사하였다. 자동차 경량화를 위한 플라스틱소재는 고강성 플라스틱소재, 폼 형성 플라스틱소재, 플라스틱 나노복합소재, 섬유강화 플라스틱복합소재, 그리고 플라스틱 복합판재 등이 있다. 이중에서 자동차에 적용 가능성이 가장 뛰어난 소재는 폼 형성 플라스틱소재와 섬유강화 플라스틱복합소재이다.

폼 형성 플라스틱 소재에는 폼을 형성하기 위해 PBA와 CBA가 사용된다. 폼 형성 플라스틱소재는 일반 Pellet을 이용하면서 성형 중에 Blowing Agent를 첨가하여 수지가 캐비티를 채운 후 금형내에서 수지가 식어가면서 폼을 형성하도록 하는 방법이 있다. 또 다른 방법은 폼이 형성된 Bead를 사용하여 캐비티를 채운 후 캐비티 내부에 뜨거운 Steam을 주사하여 폼을 갖고 있는 Bead가 물리적으로 접합하도록 하는 방법이다. 이러한 방법들은 Cell의 크기와 밀도 조절을 위한 공정조건의 설정이 매우 중요하다.

섬유강화 플라스틱복합소재에서는 Carbon Fiber가 가장 큰 강성을 보인다. 섬유강화 플라스틱복합소재에서는 섬유가 길게 분포해야 강성의 효과를 볼 수 있기 때문에 Long Fiber복합소재의 제작이 중요하며, 또한 Long Fiber가 성형 중에 파단되지 않도록 하는 장비의 개선이나 장비의 운전이 중요하다. 섬유강화 플라스틱복합소재에서 섬유가 Fabric형태로 되어있을 때 강성이 가장 뛰어나다. 따라서 Fabric형태의 섬유강화 플라스틱복합소재의 제작공법과 이를 이용한 성형공정이 매우 중요하다. Fabric형태의 섬유강화 플라스틱복합소재는 Fabric형태의 섬유에 열경화성수지를 함침시켜 Prepreg를 만들고 이를 이용하여 성형을 한다. 또는 Fabric형태의 Preform에 열경화성수지를 함침시키면서 경화시켜 직접 제품을 제작하기도 한다. Prepreg를 금형속에 위치시키고 열가소성수지를 사출성형하여 Prepreg 스킨층에 열가소성수지로 마무리하는 방법도 활용된다. 이러한 성형방법들은 섬세한 공정조건들 보다는 공법이나 장비가 중요한 역할을 한다. 따라서 Fabric형태의 섬유강화 플라스틱복합소재의 제작방법과 이를 이용한 성형 공정법은 계속적인 연구가 필요한 분야이다.

후 기

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

[1] M.-Y. Lyu, T. G. Choi, 2015, Research Trends in Polymer Materials for Use in Lightweight Vehicles, Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 16, No. 1, pp. 213~220.

[2] J. S. Hwang, T. G. Choi, M. –Y. Lyu, D. –Y. Yang, 2015, Investigation for the Bending Modes of a Semi-circular Pyramidal Kagome Sandwich Structure and the Bending Load Calculation, Compos. Struct., Vol. 134, pp. 10~17.

[3] S. T. Lee, D. Scholz, 2008, Polymeric Foams-Technology and Developments in Regulation, Process and Products, CRC Press, New York, pp.1~40.

[4] G. Dong, G. Zhao, Y. Guan, G. Wang, X. Wang, 2014, The Cell Forming Process of Microcellular Injection-Molded Parts, J. Appl. Polym. Sci., Vol. 131, No. 12, pp. 1~11.

[5] W. Gong, J. Gao, M. Jiang, L. He, J. Yu, J. Zhu, 2011, Influence of Cell Structure Parameters on the Mechanical Properties of Microcellular Polypropylene Materials, J. Appl. Polym. Sci., Vol. 122, No. 5, pp. 2907~2914.

[6] T. J. Pinnavaia, G. W. Beall, 2000, Polymer-Clay Nanocomposites, John Wiley & Sons, New York, pp. 97~109.

[7] V. Kumar, N. P. Suh, 1990, A Process for Making Microcellular Thermoplastic Parts, Polym. Eng. Sci., Vol. 30, No. 20, pp. 1323~1329.

[8] H.-X. Huang, J.-D. Tian, W.-S. Guan, 2014, Microcellular Injection-Compression Molding (MICM): A Novel Technology for Effectively Improving Cellular Structure of Polystyrene Foams, Polym. Eng. Sci., Vol. 54, No. 2, pp. 327~335.

[9] J. Lee, L. S. Turng, E. Dougherty, P. Gorton, 2011, Novel Foam Injection Molding Technology Using Carbon Dioxide-Laden Pellets, Polym. Eng. Sci., Vol. 51, No. 11, pp. 2295~2303.

[10] X. Sun, L.-S. Turng, 2014, Novel Injection Molding Foaming Approaches Using Gas-laden Pellets with N_2, CO_2, and N_2 + CO_2 as the Blowing Agents. Polym. Eng. Sci., Vol. 54, No. 4, pp. 899~913.

[11] D. Raps, N. Hossieny, C. B. Park, Volker Altstadt, 2015, Past and Present Developments in Polymer Bead Foams and Bead Foaming Technology, Polymer, Vol. 56, pp. 5~19.

[12] D. Matson, M., R. Venkatesh, S. Biederman, 2007, Expanded Polystyrene Lost Foam Casting—Modeling Bead Steaming Operations, J. Manuf. Sci. Eng., Vol. 129, No. 2, pp. 425~434.

[13] J. Rossacci, S. Shivkumar, 2003, Bead Fusion in Polystyrene Foams, J. Mater. Sci., Vol. 38, No. 2, pp. 201~206.

[14] N. Hossieny, A. Ameli, C. B. Park, 2013, Characterization of Expanded Polypropylene Bead Foams with Modified Steam-Chest Molding, Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 52, No. 24, pp. 8236~8247.

[15] Beverte, 2004, Deformation of Polypropylene Foam Neopolen® P in Compression, J. Cell. Plast., Vol. 40, No. 3, pp. 191~204.

[16] S. Y. Park, M.-Y. Lyu, 2014, Investigation of the Structural Robustness of Deep Depth Injection Mold with Cavity Pressure and Mold Design, Int. Polym. Proc., Vol. 29, No. 5, pp. 616~623.

[17] D. Grauer, B. Hangs, M. Reif, A. Martsman, S. T. Jespersen, 2012, Improving Mechanical Performance of Automotive Underbody Shield with Unidirectional Tapes in Compression-Molded Direct-Long Fiber Thermoplastics (D-LFT), SAMPE J., Vol. 48, No. 3, pp. 7~15.

[18] M. Lee, H. Kim, M.-Y. Lyu, 2013, A Study on the Warpage of Glass Fiber Reinforced Plastics for part Design and Operation Condition: Part 2. Crystalline Plastics, Polym.- Kor., Vol. 36, No. 6, pp. 677~684.

[19] K. V. Velde, P. Kiekens, 2001, Thermoplastic Pultrusion of Natural Fibre Reinforced Composites, Composite Structures, Vol. 54, No. 2~3, pp. 355~360.

[20] P. Beardmore, C. F. Johnson, 1986, The Potential for Composites in Structural Automotive Applications, Compos. Sci. Technol., Vol. 26, No. 4, pp. 251~281.

[21] A. Harper, 1998, MIT Offers Economic Route to High Volume RTM, Reinf. Plast., Vol. 5, No. 42, pp. 28~33.

[22] C. R. Wang, Y. Z. Gu, K. M. Zhang, M. Li, Z. G. Zhang, 2013, Rapid Curing Epoxy Resin and Its Application in Carbon Fibre Composite Fabricated Using VARTM Moulding, Polym. Polym. Compos., Vol. 21, No. 5, pp. 315~324.