

탄소섬유 토우프리프레그 최신 연구동향

박용민^{a,b} · 황태경^c · 정상기^c · 박노현^b · 장준열^a · 나창운^{a,*}Recent Research Trends in Carbon Fiber Tow Prepreg
for Advanced CompositesYongmin Park^{a,b} · Tae Kyung Hwang^c · Sangki Chung^c ·
Nohyun Park^b · Jun Yeol Jang^a · Changwoon Nah^{a,*}^aDepartment of Polymer-Nano Science and Technology, Chonbuk National University, Korea^bAdvanced Carbon Material Team, EZ Composites Co. Ltd., Korea^cAgency for Defense Development, Korea*Corresponding author. E-mail: cnah@jbnu.ac.kr

ABSTRACT

Tow Prepreg is the intermediate material for filament winding process that has been “pre-impregnated fiber tow” with resin system. As “dry filament winding” process emerges as a reliable alternative to conventional filament winding (called “wet filament winding”) process, interest in tow prepreg as a material for dry filament winding is rising as well. In this article, we have reviewed the recent research trends in carbon fiber tow prepreg for high-performance rocket motor cases, fuel tanks for hydrogen vehicles and other high-quality commercial pressure vessels.

초 록

토우프리프레그는 한 가닥의 탄소섬유, 유리섬유, 아라미드 등의 보강섬유에 일정한 비율의 수지가 미리 함침되어 있는 토우 형태의 프리프레그를 의미하며, 필라멘트와인딩 공법을 위한 중간재이다. 최근 고성능 압력용기 개발에 대한 연구가 활발해지면서 기존의 습식 필라멘트와인딩 공법을 대체할 수 있는 건식 와인딩 공법을 위한 소재인 토우프리프레그에 대한 관심이 증대되고 있다. 본 논문에서는 로켓 모터케이스, 수소연료전지 자동차용 연료탱크, 산업용 고성능 압력용기 등 성능과 신뢰성을 동시에 필요로 하는 부품 제조용 소재로 주목받고 있는 탄소섬유 토우프리프레그의 국내외 최신 연구동향에 대하여 살펴보았다.

Key Words: Tow Prepreg(토우프리프레그), Towpreg(토우프레그), Pressure Vessel(압력용기), Filament Winding(필라멘트 와인딩)

Received 23 June 2016 / Revised 15 November 2016 / Accepted 21 November 2016

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

[이 논문은 한국추진공학회 2016년도 춘계학술대회(2016. 5. 25-27, 제주 샤인빌리조트) 발표논문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

1. 서 론

최근 로켓의 모터케이스(Motor Case), 수소연

료전지자동차용 압력용기(Pressure Vessel for Hydrogen Fuel Cell Vehicle) 등 민군부품의 고성능화에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

이들 부품은 기본적으로 강인하고, 고압에 견디는 특성을 갖는 소재를 필요로 한다. 또한 로켓의 발사 효율 또는 자동차 연비향상을 위해서는 소재의 경량화가 필수적이다. 이를 위해 금속 재질의 소재를 비강성(Specific Stiffness) 및 비강도(Specific Strength)가 우수한 탄소섬유 복합재료로 대체하는 것은 가장 효과적인 방법 중 하나이다[1].

모터케이스 및 압력용기는 회전대칭(Axisymmetry) 구조의 부품들로, 탄소섬유강화 복합재를 이용하여 성형할 경우, 필라멘트와인딩(Filament Winding) 공법을 통해 제작을 하게 된다. 필라멘트와인딩 공법은 원통형이나 곡률을 가진 구조물을 용이하게 제작할 수 있고, 하중 전달 방향으로 섬유를 집중적으로 보강함으로써 섬유강화 복합재료가 가지는 물성을 극대화 할 수 있다는 장점이 있다[2].

필라멘트와인딩 공법은 수지가 함침된 연속섬유를 원통형상의 회전하는 금형(Mandrel)에 돌려 감은 후 경화시켜 회전대칭인 구조물을 제조하는 복합재 성형공법으로, 보강섬유를 금형에 돌려 감기 직전에 필라멘트가 수지조(Resin Bath)를 통과하면서 함침이 되는 습식와인딩(Wet Winding) 공법과, 토우프리프레그를 사용하는 건식와인딩(Dry Winding) 공법의 적용이 가능하다[3]. Fig. 1은 건식와인딩 및 습식와인딩의 개념을 나타내는 개략도이다.

현재 대부분의 모터케이스 및 압력용기 제조

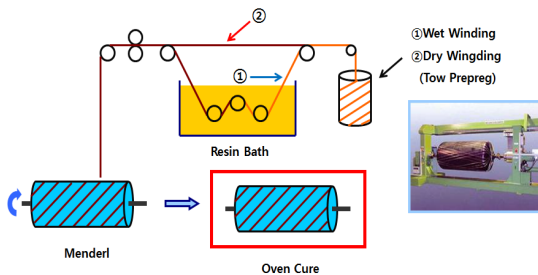


Fig. 1 Concept wet and dry filament winding process.

공정에 적용하고 있는 습식와인딩 공정은 보강섬유에 수지가 함침(Wetting & Impregnation)과 동시에 금형에 감기는 공정의 특성상 수지의 접도가 매우 낮아야 하며, 이로 인해 다양한 수지의 조합 및 첨가제 적용이 어려워 다양한 수지의 물성 구현이 어렵다는 단점이 있으며, 같은 이유로 와인딩 시 슬립 현상이 발생하여 복잡한 패턴을 감기 어려우며, 섬유 배열이 일정치 않아 상대적으로 재현성과 신뢰성이 낮고, 액상 수지 사용으로 인한 작업 현장의 오염으로 제조 환경의 열악함을 초래하게 된다. 또한 압력용기 생산 현장에서 보강 섬유와 수지의 함침이 이뤄지므로, 둘 간의 체적비를 일정하게 조절하기 어려운 단점이 있으며, 체적비 품질 불량 발생 시 압력용기 자체의 불량이 발생할 가능성으로 이어질 수 있다.

건식와인딩 공법은 미리 수지와 보강섬유를 일정한 체적비로 함침 시킨 중간재인 토우프리프레그를 제조하며, 정밀한 수지/섬유 체적비를 지닌 중간재를 적용함으로써 보다 균일한 부품의 성형이 가능하며, 토우프리프레그에 사용되는 수지는 기계적물성, 내열성, 내화학성 등 물리적/화학적 특성이 습식와인딩 공법에 적용되는 수지보다 월등히 우수한 특징을 나타낸다. 또한 토우프리프레그 표면은 점착성(Tack)이 있어, 금형 및 하부 와인딩 된 토우 프리프레그 표면에 점착이 이루어져, 와인딩 중 필라멘트의 미끄러짐(Slip)이 억제되어, 보다 복잡한 형상의 성형품 제작이 가능해진다. 이러한 이유로 최근 토우프리프레그를 이용한 건식와인딩 공법은 모터케이스는 물론 수소연료전지용 고압용기, 산업용 고성능 압력용기 등 성능과 신뢰성을 필요로 하는 부품용 소재의 새로운 대안으로 떠오르고 있다.

Fig. 2는 대표적인 토우프리프레그 제조사인 TCR Composites의 탄소섬유 토우프리프레그 및 이를 이용한 압력용기의 제작을 나타낸 그림이다[4].

본 논문에서는 필라멘트와인딩 공법을 통해 제조되는 로켓 모터케이스, 수소연료전지 자동차용 연료탱크, 산업용 고성능 압력용기 등 성능과 신뢰성을 동시에 필요로 하는 부품 제조용 소재



Fig. 2 Picture of tow prepreg and dry filament winding process [TCR Composites].

로 주목받고 있는 탄소섬유 토우프리프레그의 국외 및 국내 최신 연구동향에 대하여 살펴보도록 하겠다.

2. 토우프리프레그 국외 연구동향

2.1 토우프리프레그의 고성능화

탄소섬유 토우프리프레그가 로켓의 모터케이스, 위성 발사체용 모터케이스, 수소연료전지용 고압 압력용기, 자동차용 Drive Shaft 등 높은 물성을 요구하는 부품의 소재로 채택됨에 따라, 토우프리프레그의 물성 요구사항도 매우 높아졌다. 기존의 탄소섬유 토우프리프레그에 주로 T700급의 탄소섬유가 적용된 반면, 최근에는 T700은 물론 T800, T1000 급의 고강도, 초고강도 탄소섬유가 적용된 제품 개발이 이뤄지고 있으며, 토우프리프레그 제조 공정에서 탄소섬유 단사를 최소화 하여, 탄소섬유 물성의 95% 이상의 강도 전이율을 달성한 토우프리프레그가 출시되고 있다. Table 1은 다양한 탄소섬유가 적용된 TCR Composites 토우프리프레그의 기계적 물성을 나타낸 표이다.

또한 고성능 탄소섬유 토우프리프레그에 적용되는 수지는 기본적으로 고인성 에폭시 수지 (Toughened Epoxy Resin)가 적용되고 있으며, 특히 초고압을 요하는 로켓 모터케이스와 700 bar의 압력을 주기적으로 충/방전하는 수소자동차용 연료탱크에 적용되는 토우프리프레그에는 고강도 (High Strength)/고신율(High Elongation) 수지 시스템의 적용이 필수적으로 인식되고 있다.

Table 1. Typical fiber based tow prepreg performance in pressure vessel [TCR Composites].

Maker	Fiber	Tow K	Fiber Strength (ksi)	Towpreg Strenght (ksi)	Translation (%)
DowAksa	A49	12K	717	571	80
Grafil	34-700	12K	646	534	85
Hexcel	IM10-GS	12K	987	817	83
Hexcel	PV42-850	12K	821	787	96
Hyosung	H2250	12K	791	711	90
Pyrofil	TR50S	12K	683	583	85
Pyrofil	TRH50	18K	735	654	89
SGL	G30-T024-EPY	24K	712	579	86
Toho	G30-70HIA-TC	12K	689	628	91
Toho	UTS50-F24	24K	747	628	84
Toray	M30SC-50C	18K	823	780	95
Toray	T1000GB-40D	12K	911	845	93
Toray	T700SC-50C	12K	720	685	95
Toray	T800SC-10E	24K	866	855	99

Structural fibres

Carbon Fibre	HS, HE, IM & HM, 6k to 50k
Glass Fibre	E, S2 as Rovings or Assembled yarns
Exotica	PBO, Quartz, Aramid, Basalt

Matrix

A range of primary high-performance thermoset epoxy matrix systems are available;

- 'T' Toughened systems for dynamic Composite structures
- 'HS' High Strain for pressure vessels, where high fibre translation properties are critical
- 'EST' Elevated Service Temperature
- 'SF' Space Flight with pass of European Space Agency standard ECSS-Q-ST-70-02C, Thermal vacuum out-gassing test

Fig. 3 Example of tow prepreg product range [RED Composites].

Fig. 3은 영국 Red Composites의 토우프리프레그 제품에 적용된 보강섬유와 수지시스템으로, 고성능 복합재 압력용기에 적용되고 있는 수지 요구조건으로 고인성, 고신율 및 높은 강도전이율이 필요함을 확인할 수 있다[5].

2.2 수지 시스템의 다양화

토우프리프레그의 적용 분야가 방산 및 항공 우주 용도에서 산업용, 선박용, 자동차용, 스포츠/레저 용도로 확대되면서 부품의 사용 요구 조



Fig. 4 Example of sports / leisure application of tow prepreg [Advanced Composite Solutions].

건에 부합하는 다양한 수지 시스템이 적용되고 있다. 특히 산업용 투우프리프레그에는 내열성, 난연성, 도전성, 내충격성 등의 다양한 특성이 부여된 수지 시스템이 적용되고 있으며, 에폭시 뿐만 아니라 Cyanate Ester, BMI와 같은 고성능 열경화성 수지 적용 제품들이 출시되고 있다. 주요 투우프리프레그 제조사인 TCR社는 상온에서의 6개월 이상 보관 가능한 수지시스템이 적용된 투우프리프레그를 출시하여 주력 제품화하였는데, 이는 기존의 에폭시 수지가 적용된 투우프리프레그의 일반적인 상온 저장 가능 기간인 1개월을 훨씬 상회하는 것으로, 제품의 보관/운송/사용 안정성을 확보하여, 엄격한 이력관리를 요하는 항공/방산용도에 국한되어 사용하던 투우프리프레그의 용도를 산업용 부품에 까지 확대할 수 있는 기틀을 마련하였다.

최근에 자전거, 악기, 요트 부품 등 다양한 스포츠/레저 용도에 투우프리프레그가 적용된 제품들이 출시되고 있다. Fig. 4는 Advanced Composite Solution에서 출시한 투우프리프레그를 이용한 격자형 프레임이 적용된 자전거의 사례이다.

23 라지투우 탄소섬유 투우프리프레그 개발

탄소섬유는 섬유다발(Tow)을 구성하는 필라멘트(Filament)의 개수를 기준으로 레귤러투우(Regular Tow) 탄소섬유와 라지투우(Large Tow) 탄소섬유로 나뉜다. 레귤러투우는 섬유다발이 1,000~24,000개 (1 K ~ 24 K)의 필라멘트로 구성



Fig. 5 Large tow carbon fiber based tow prepreg [Zoltek (U), SGL (D)].

되어있는 비교적 얇은 다발의 탄소섬유로, 높은 기계적 특성 및 우수한 취급성으로 일반적으로 고성능 탄소섬유를 의미한다. 반면 라지투우 탄소섬유는 섬유다발이 48,000에서 320,000개 이상 (48 K ~ 320 K)의 필라멘트로 구성된 두꺼운 다발의 탄소섬유로, 레귤러투우에 비해 기계적물성이나 취급성은 다소 떨어지나 가격이 저렴한 범용등급의 탄소섬유를 의미한다[6].

Fig. 5는 라지투우 탄소섬유가 적용된 투우프리프레그의 예이다. 먼저 Toray社의 라지투우 탄소섬유(Large Tow Carbon Fiber) 제조 자회사인 Zoltek社에서는 라지투우 탄소섬유와 범용 에폭시 수지가 적용된 저가형 투우프리프레그를 개발하여 출시하였으며, 독일의 탄소섬유 제조사인 SGL社도 자사의 라지투우 탄소섬유를 적용한 투우프리프레그를 출시하였다. 이들 제품의 목표 시장은 기존 투우프리프레그가 적용되던 항공/방산과 같은 고품위 부품 시장이 아닌, 기존의 습식와인딩 공정이 적용되는 CNG (Compressed Natural Gas) 압력용기를 비롯한 산업용 부품 시장으로, 중간재 제조에 따른 비용 상승을 공정 시간의 단축, 수율의 향상, 제품 성능 향상으로 극복하는 것을 목표로 하고 있다.

24 투우프리프레그 제조 공정 동향

투우프리프레그의 제조 공법은 용제에 녹인

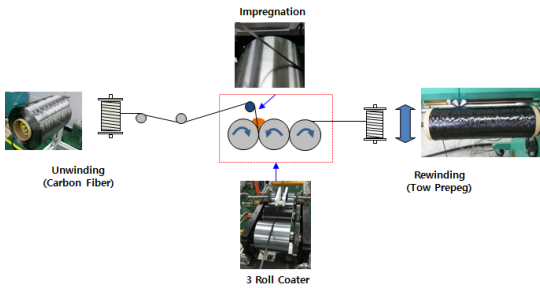


Fig. 6 Example of hot-melt tow prepreg manufacturing Process [EZ Composites].

수지를 보강섬유에 함침 후 건조시키는 솔벤트 공정(Solvent Process), 수지를 파우더화 시킨 후 보강섬유에 정전기적 인력으로 부착시켜 용융/함침시키는 파우더 공정(Powder Process), 수지를 열로 용해시켜 점도를 낮춘 상태에서 보강섬유에 함침시키는 핫멜트 공정(Hot Melt Process) 등이 있다. 이 중 핫멜트 공정을 통해 제조된 토우프리프레그는 잔류용제가 없으면서도 수지의 함침율이 높아 고품위 복합재 부품 성형에 주로 이용된다. 그러나 핫멜트 토우프리프레그 제조공정은 아직도 개발 중인 공정으로, 선진 토우프리프레그 제조사에서는 노하우(Know-how)로 규정하면서 외부에 기술유출을 금지하며 기술을 보호를 하고 있다[7].

토우프리프레그 제조 관련 특허는 1980년 이후 24건이 출원 및 등록 되었으며, Toray 9건, Mitsubishi Rayon 5건, JX Nippon Oil & Energy Corp 4건 등으로 주로 일본의 프리프레그 제조사에서 주요 특허를 보유하고 있으며, 국내에서는 최근 이지컴퍼지트, 현대자동차 등에서 관련 특허를 출원하고 있다.

공개된 특허 정보를 통해 핫멜트 토우프리프레그 제조공법의 기술 동향을 살펴보면, 초기에는 일방향(Uni-directional, UD) 프리프레그를 슬리팅하여 Tape 형태의 토우프리프레그를 만드는 방식이 제안되었으며, 이후 롤코터/슬롯다이 코터 등을 이용하여 탄소섬유에 직접 수지를 공급하는 다이렉트 코팅법이 제안되었다. 최근에는 증가하는 토우프리프레그의 수요에 대응하기 위해, 다이렉트 코팅법에 기초한 양산 개념의 고속

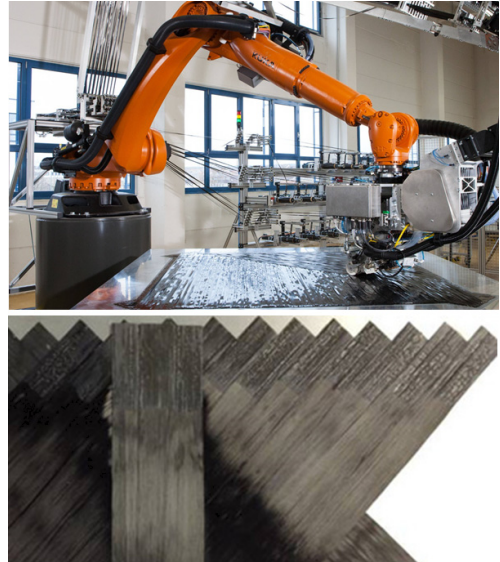


Fig. 7 Automatic fiber placement process using tow prepreg [Compositence].

생산 방법 및 제품의 품질 향상에 대한 제조공정 특허가 출원되고 있다. Freddy 등[8]은 2롤 코터를 이용한 다이렉트 코팅 방식의 토우프리프레그 제조공정에 대한 특허를 출원하였으며, Fig. 6은 Park 등[3]이 제안한 토우프리프레그 제조공정으로 정밀한 수지 함량 제어를 위해 3롤 코터를 도입하였으며, 보강섬유의 입사각 조절을 통한 개선포(Spreading) 특성향상 효과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.

2.5 기타 공법 적용 및 파생상품 동향

필라멘트와인딩 공법 외 토우프리프레그가 적용되는 공법인 Automatic Fiber Placement (AFP)을 이용한 복합재 부품의 제조 사례가 늘어나면서, AFP 공법에 적합한 수지가 적용된 토우프리프레그가 출시되고 있으며, 특히 다양한 열가소성 프리프레그 제조공법의 개발로 열가소성 수지가 적용된 토우프리프레그의 상업화도 진행되고 있다.

독일의 자동화 장비 제조사인 Compositence에서는 에폭시 수지가 적용된 라지토우 토우프리프레그를 AFP 공정에 활용하여 압축성형공법(Compression Molding Process)을 위한 프리폼

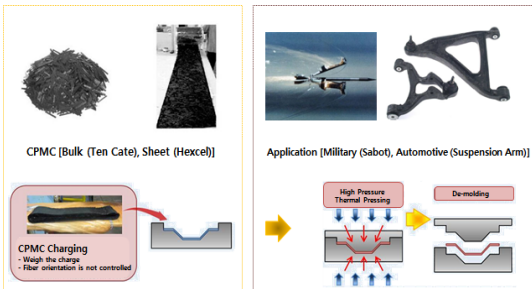


Fig. 8 Chopped prepreg molding compound (CPMC).

(preform) 대량생산 기술을 제안하였다. Fig. 7은 Compositence의 토우프리프레그/AFP 적용사례로 1,800 x 1,800 x 2.5 mm급의 [0/90/+45/-45] 구조의 프리폼을 제작하는데 11분 36초의 시간이 소요되며, 새로운 프리폼 적층을 위한 준비시간이 6초에 불과해 효율적으로 프리폼을 제작할 수 있다는 장점을 강조하고 있다[9].

국내 토우프리프레그 제조사인 이지컴퍼지트社와 중국의 토우프리프레그 제조사인 ATA社에서는 토우프리프레그를 일정한 길이로 잘라 무작위 분산(Random Distribution)을 시켜 만든 절단형 프리프레그 몰딩 컴파운드(Chopped Prepreg Molding Compound, CPMC)를 상업화하였다. 가장 널리 알려진 미국 Hexcel사의 CPMC 제품인 HexMC가 프리프레그를 길이방향으로 스퀴밍 한 후, 다시 일정한 길이로 절단하여 제조하는 것으로 원소재와 제작방법에 일부 차이는 있지만, CPMC 자체의 사용방법은 완전히 동일하다. Fig. 8은 CPMC의 성형 공정도, 등방성 장섬유 소재인 CPMC의 압축성형공정을 통해 단조 알루미늄 수준의 고성능 CFRP 부품의 제조가 가능하다. 최근에는 성형시간 2분 미만의 속경화형 수지가 적용되어, 대량생산 공정과 접목된 자동차용 부품의 소재로 큰 주목을 받고 있다[10].

3. 토우프리프레그 국내 연구동향

현재까지 국내에서 핫멜트 공정으로 토우프리프레그를 상업화 한 회사는 없으며, 솔벤트 공정

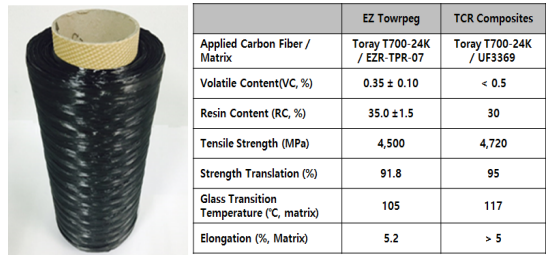


Fig. 9 Comparison btw. EZ TowPreg and TCR Tow Prepreg [EZ Composites].

으로 토우프리프레그를 제조하는 업체는 있으나, 매우 영세하며, 자체 기술 개발 능력을 보유하고 있지 않은 것으로 알려져 있다. 기초연구와 관련하여 핫멜트 토우프리프레그 수지 조성에 관한 연구, 열가소성 토우프리프레그 제조에 관한 연구, 토우프리프레그를 이용한 AFP 공정 연구 등의 선행연구들에 대한 사례가 있었으나, 개별적인 연구 수준에 그치고 있다. 그러나 최근 현대자동차의 수소연료전지 자동차 민간보급 계획 발표, 항공/방산 부품의 국산화 요구 증대에 따라 국내 주요 프리프레그 제조사 및 탄소섬유 제조사에서 복합소재 고압 압력용기의 소재 후보 중 하나인 탄소섬유 토우프리프레그 개발에 대한 관심을 갖기 시작하였다[11,12].

특히 국내 고성능 탄소 소재 전문 제조사인 이지컴퍼지트에서는 2014년부터 자동차, 산업용 부품 수요사와 공동으로 탄소섬유 토우프리프레그 국산화를 진행하고 있다. 이지컴퍼지트에서는 2016년 3월 자체 개발한 전용 고인성 수지가 적용된 탄소섬유 토우프리프레그를 개발하였으며, 2016년 하반기에는 EZ TowPreg를 이용한 수소연료전지자동차용 압력용기 및 방산용 부품 시제품 제작 진행과 더불어 본격적인 양산을 준비할 예정이다. Fig. 9는 이지컴퍼지트의 토우프리프레그인 EZ Towpreg 제품사진과 TCR Composites의 토우프리프레그와의 물성을 비교한 표로, 일부 물성 지표에서 격차를 확인할 수 있다.

4. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이, 건식 필라멘트와 인딩 공법에 적용되는 탄소섬유 토우프리프레그는 고성능 압력용기 제조에 있어, 기존의 습식 필라멘트와 인딩 공법용 소재 (탄소섬유 및 수지 단품)를 대체할 가능성이 높아지고 있다. 이러한 이유로 국외 주요 탄소소재 제조사에서는 탄소섬유 토우프리프레그의 고성능화, 토우프리프레그의 수지 시스템의 다양화, 산업용 용도로의 확대를 위한 저가 토우프리프레그 개발, 양산 개념의 고속 생산 방법 및 제품의 품질 향상을 위한 신공법 개발 등의 연구를 활발하게 진행하고 있다.

국내의 고품위 토우프리프레그 연구개발 경험 및 제조 인프라는 거의 없는 실정이나, 수소연료 전지 자동차의 양산 및 방산부품 소재 국산화에 대한 로드맵 구축으로 토우프리프레그 개발에 대한 관심이 높아지고 있는 현 단계에서 국가적 연구개발 지원이 시급해 보인다.

후 기

이 논문은 2016년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역신산업선도인력양성사업 성과임. (2016H1D5 A1910159)

References

1. Lee, T.H., "Review of the Composite Materials Application to the Solid Rocket Motor Cases," *Composites Research*, Vol, 25, No. 3, pp. 82-88, 2012.
2. Park, J.S., Kim, C.W., Cho, I.H., Oh, S.H., Hong, C.S. and Kim, C.G., "Structural Analysis and Strain Monitoring of the Filament Wound Composite Motor Case Used in KSR-III Rocket," *Composites Research*, Vol. 14, No. 6, pp. 24-31, 2001.
3. Park, Y.M., Chung, S.K., Yoon, Y.J., Jung, Y.J., Bae, S.W., Huh, M.Y., Lee, H.S. and Choi, D.H., "Preliminary Study on the Production of Hot-Melt Epoxy Applied Carbon Fiber Towpreg by 3-Roll Coater," *2015 KSPE Fall Conference*, Gyeongju, Korea, Nov. 2015.
4. TCR Composites, "Typical Fiber Performance in a Pressure Vessel," World Wide Web location <http://tcrcomposites.com/Our-Products/Prepreg-Tow>, 2016.
5. Red Composites, "Typical Fiber Performance in a Pressure Vessel," World Wide Web location <http://tcrcomposites.com/Our-Products/Prepreg-Tow>, 2016.
6. Toray Carbon Fibers America, "Carbon Fiber and Composite Terminology," World Wide Web location <http://www.toraycfa.com/terminology.html>, 2008.
7. Min, K.J. and Lee, H.S., "A Study on the Optimization of Composition and Characterization of Solventless Towpreg," *Composites Research*, Vol. 11, No. 2, pp. 1-7, 1998.
8. Freddy, M., Jesus, F.M., Atsushi, N. and Paul, K., "Tow Prepreg and System and Method for Forming the Same," U.S. Patent 20120251823, 2012.
9. Markus, T., "Preforming 2.0 - Leap Innovations for Automotive by Compositence," *SPE ACCE Presentation*, Detroit, M.I., U.S.A., Sep. 2015.
10. Jack, D.F., "Chopped Prepregs - A Compelling Performance and Cost Alternative Material Form," *SAMPE Conference 41st ITSC Presentation*, Wichita, K.S. U.S.A., Oct. 2009.
11. Park, Y.M., Chung, S.K., Jung, Y.J., Park, N.H., Kim, S.Y., Huh, M.Y. and Lee, H.S., "Preliminary Study on The Toughened Epoxy Matrix for High Performance CFRP Pressure Vessels," *2015 KSPE Fall Conference*,

- Gyeong-ju, Korea, Nov. 2015.
12. Park, G.Y., Park, S.I., Kuk, Y.S., An, K.H., Kang, S.J. and Jung, Y.S., "Study of Tow-Prepreg Properties for Automated Fiber Placement," 2016 *KSMTE Spring Conference*, Jeju-do, Korea, May. 2016.