

## 파라핀/알루미늄 연료의 알루미늄 입자크기 및 함유비 변화에 따른 인장 및 압축강도 특성 연구

류성훈<sup>a</sup> · 한승주<sup>a</sup> · 김진곤<sup>b</sup> · 문희장<sup>b,\*</sup> · 김준형<sup>c</sup> · 고승원<sup>c</sup>

### Tensile and Compressive Strength Characteristics of Aluminized Paraffin Wax Fuel for Various Particle Size and Contents

Sunghoon Ryu<sup>a</sup> · Seongjoo Han<sup>a</sup> · Jinkon Kim<sup>b</sup> · Heejang Moon<sup>b,\*</sup> · Junhyung Kim<sup>c</sup> · Seung Won Ko<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Graduate School of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University, Korea

<sup>b</sup>School of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University, Korea

<sup>c</sup>Agency for Defense Development

\*Corresponding author. E-mail: [hjmoon@kau.ac.kr](mailto:hjmoon@kau.ac.kr)

#### ABSTRACT

Tensile and compressive strength tests were conducted to investigate the mechanical characteristics of aluminized paraffin wax fuel for hybrid gas generator applications. Mixtures of 0 wt%, 10 wt% and 30 wt% nano aluminum paraffin coupons as well as 5 wt%, 10 wt% and 15 wt% micro aluminum paraffin coupons were used. The average particle size of 100nm and of 8 $\mu$ m mixed each with microcrystalline paraffin wax(Sasol 0907) were chosen for the base specimens where the tensile strength test followed the ASTM-D638 specimen standard while the compressive strength test followed the ASTM D575-91. It was found that nano based specimens increased both the tensile and compressive strength enhancing the mechanical behavior of paraffin wax whereas the micro based specimens gave still less influential effect.

#### 초 록

본 연구에서는 하이브리드 가스 발생기용 파라핀/알루미늄 왁스 연료의 기계적 특성 파악을 위한 인장 및 압축강도 실험을 수행하였다. 혼합된 알루미늄 입자의 크기와 첨가량에 따른 기계적 특성을 파악하기 위해 10 wt%, 20 wt%, 30 wt%의 나노 입자 첨가 시편과 5 wt%, 10 wt%, 15 wt%의 마이크로 입자 첨가 시편을 사용하였다. 평균입도 100 nm 및 8  $\mu$ m 크기의 알루미늄 입자와 Sasol사의 미정질 파라핀 왁스(Sasol 0907)를 이용하였고, 인장시험과 압축 시험에 사용된 시편은 각각 ASTM-D638, ASTM D575-91 규격에 따라 제작하였다. 나노 입자의 첨가는 시편의 인장 및 압축강도를 크게 향상시키나 마이크로 입자의 첨가는 상대적으로 인장 및 압축강도의 증가에 미치는 영향이 미미한 것으로 파악되었다.

Key Words: Hybrid Rocket(하이브리드 로켓), Paraffin Wax(파라핀 왁스), Aluminum Particle(알루미늄 입자), Tensile Strength(인장강도), Compressive Strength(압축강도)

Received 3 August 2016 / Revised 5 September 2016 / Accepted 10 September 2016

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

#### 1. 서 론

덕티드 로켓은 램제트 추진기관으로 분류되며 타 램제트 시스템에 비해 비교적 높은 성능과 비추력을 가지고 있다[1]. 덕티드 로켓은 연료 농후가스를 생성하는 가스 발생기와 농후가스를 외부 흡입공기와 연소시키는 주 연소실로 구성되며 일반적인 가스 발생기는 고체 추진시스템을 채택하고 있다. 고체 추진 시스템을 이용한 VFDR (Variable Flow Ducted Rocket)의 가스 발생기는 연료의 후퇴율이 연소실 내부 압력에 비례하기 때문에 높은 압력을 견딜 수 있도록 설계 되어야하며 농후가스의 양을 조절하기 위해 고온 고압의 가스를 조절할 수 있는 장치가 필요하다. 이러한 고체 가스 발생기의 특성은 시스템의 중량을 증가시켜 결과적으로는 덕티드 로켓의 성능저하를 야기하게 된다. 반면 하이브리드 추진시스템을 이용한 하이브리드 가스 발생기는 후퇴율이 산화제 유량에 의해 결정되고 복잡한 농후가스 유량 제어시스템이 불필요하여 고체 가스 발생기에 비해 많은 장점을 갖는다[2]. 그러나 하이브리드 추진시스템의 연료는 고체 추진 시스템의 연료에 비해 낮은 후퇴율의 단점을 지니고 있으며 이러한 문제점을 개선하기 위해 다양한 연구[2,3]들이 수행되고 있다. 그 중에서도 기존 하이브리드 추진 시스템의 연료 대비 높은 후퇴율을 가지면서 고 에너지 물질의 첨가가 용이한 파라핀 연료에 대한 연구[4]가 활발히 진행되고 있다.

파라핀 연료는 동일한 산화제 유량조건에서 일반적인 하이브리드 시스템 연료인 HTPB (Hydroxyl Terminated PolyButadiene)에 비해 3-4 배 높은 후퇴율을 가지며 이런 현상은 연소 중 표면에 형성되는 저점성의 액막으로부터 액적형태의 연료가 산화제 유동으로 유입되는 것에 기인한다[4]. 이러한 파라핀의 연소 특성은 후퇴율의 증가 뿐 아니라 과농한 상태에서의 연소반응을 유발하기 때문에 파라핀 연료는 연료 농후 가스 발생기의 연료로서 매우 적합한 연료임을 알 수 있다[5]. 그러나 파라핀 연료는 기존 하이브리드 추진 시스템 연료들에 비해 낮은 기계적 강도를 가지고 있으며 이러한 특성은 연료 보관 및 연소 측면에서 문제점을 유발할 수 있

다. 대형 파라핀 그레이의 경우, 오랜 시간의 보관 기간 중 처짐이 발생해 연료에 변형이 일어날 수 있으며 이러한 문제점을 방지하기 위해 그레이에 별도의 보강재가 필요하게 된다[6]. 또한 낮은 파라핀의 기계적 강도를 고려했을 때 연소 중 연소실 내부 압력 상승에 의해 파라핀 연료가 파단 될 가능성이 있으며 이는 연료표면의 급격한 변화를 유발하여 과량의 연료 액적이 산화제 유동으로 유입될 수 있다. 이와 같이 급격히 유입된 다량의 연료액적은 연소실 내부에서 미처 연소되지 못하고 외부로 배출되어 연소 효율의 저하, 그리고 연료 농후가스의 불규칙적인 발생을 야기시킨다. 이러한 문제점을 방지하기 위하여 파라핀 기반 연료의 기계적 강도에 관한 연구는 필수적이며 파라핀 기반 연료와 40 wt%의 비율로 알루미늄 입자가 첨가된 파라핀 연료에 관한 인장강도에 대한 연구가 기 수행된 바 있다[7,8]. 그러나 파라핀 연료를 비롯하여 다양한 알루미늄 입자크기 및 함유량 변화에 따른 파라핀/알루미늄 연료의 기계적 강도에 관한 연구는 수행된 바 없다. 본 연구에서는 순수 파라핀 및 파라핀/알루미늄 연료의 기계적 강도에 관한 연구를 수행하여 나노 및 마이크로 알루미늄 입자의 함유량에 따른 파라핀/알루미늄 시편 제작 후 압축 및 인장강도 측정 실험을 통해 알루미늄 입자 크기와 함유량이 연료의 기계적 강도 변화에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 인장 및 압축 시험용 파라핀/알루미늄 시편

파라핀/알루미늄 인장 및 압축용 시편은 파라핀만을 위한 시험규격이 존재하지 않는다. 따라서 인장시험의 경우 파라핀의 기계적 특성을 고려하여 신율이 작은 재료에 사용되는 ASTM D638 Type 1[9] 시험 규격을 참고하여 제작하였으며 시편의 형상은 Fig. 1과 같다. 압축시험용으로는 고무재료의 압축시험용 규격인 ASTM D575-91[10]을 따라 시편을 제작하였고 시편의 형상은 Fig. 2와 같다.



Fig. 1 Specimens for tensile test: (a) pure paraffin wax, (b) w/ nano size aluminum (c) w/ micro size aluminum.

파라핀 왁스는 Sasol 사의 미정질 파라핀 왁스 (microcrystalline wax-Sasol 0907)를 이용하였으며 시편에 첨가된 나노 및 마이크로 알루미늄 입자는 각각 100 nm, 8  $\mu\text{m}$ 의 평균 입도 크기를 갖는 알루미늄 입자를 선정하였다. 알루미늄 입자의 크기와 함유량에 따른 기계적 강도 변화를 확인하기 위하여 입자를 첨가하지 않은 순수 파라핀 시편을 포함하여 각각 10 wt%, 20 wt%, 30 wt% 나노 알루미늄 입자 함유량을 갖는 시편과 5 wt%, 10 wt%, 15 wt% 마이크로 알루미늄 입자 함유량을 갖는 총 7종류의 시편을 제작하였다. 인장 및 압축시험에 사용된 시편은 용융된 파라핀 왁스에 알루미늄 입자를 혼합하여 주조한 후에 추가 가공하는 방식을 채택하여 제작하였다. 경화 과정 중의 알루미늄 입자의 침전을 최소화하기 위해 Sasol 0907 파라핀의 용융점(94 $^{\circ}\text{C}$ ) 근처온도에서 교반을 시행하였으며, 보다 균일한 혼합을 위해 임펠러 타입 혼합기를 사용하여 교반하였다. 마이크로 입자는 첨가량이 높을 경우 침전 문제가 발생된 관계로 최대 함유량을 15 wt%로 제한하였다. 미정질 파라핀 왁스는 타 계열 파라핀 왁스에 비해 경화 수축률이 크지 않기 때문에 타 파라핀 왁스에 비해 제작이 용이한 특성을 갖는다[11]. 그러나 인장시험용 시편의 경우 두께가 4-5 mm로 비교적 얇은 편이기 때문에 경화과정에서 수축에 의해 발생할 수 있는 작은 균열과 잔류응력이 시편의 조기파단 및 부정확한 물성측정을 야기할 수 있다.

따라서 이러한 문제점을 최소화하기 위하여 지연경화(slow cool down) 방법을 이용하여 시편을 제작하였다. 압축시험용 시편의 경우 실린



Fig. 2 Specimens for compressive strength test.

더 형태를 가지며 높이를 포함하여 전체적인 시편의 크기가 인장시험용 시편에 비해 큰 값을 갖기 때문에 경화 과정에서 수축에 의한 균열 발생과 입자 침전의 정도가 심한 편이다. 이러한 문제점들은 부정확한 압축강도 측정을 야기할 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 고안한 적층식 제조방법 (laminating method)을 이용하여 시편을 제작하였다.

파라핀/알루미늄 시편의 정확한 기계적 강도 측정을 위해서 시편 내부에 알루미늄 입자가 고르게 분포되어 있어야 하며 균열 또는 공동이 없어야 한다. 따라서 제작이 완료된 시편의 각 부분을 동일부피로 추출하여 무게비교를 통해 입자의 침전여부를 확인하였으며 측정이 완료된 시편의 절단면 확인을 통해 균열 및 공동 존재 여부를 확인하였다.

## 2.2 인장 및 압축 시험장치

파라핀/알루미늄 시편에 대한 기계적 물성과 악을 위한 인장 및 압축강도 측정 실험은 모두 만능재료시험기(Universal Testing Machine)를 이용하였으며 온도 23 $^{\circ}\text{C}$ , 상대습도 R.H 60%의 환경에서 시험을 수행하였다. 인장강도 측정 시험의 경우 5 mm/min의 크로스헤드(crosshead)로 수행되었으며 파라핀 왁스의 기계적 물성을 고려하여 5 kgf 용량의 로드셀(load cell)과 레이저 신축계(laser extensometer) MTS LX500을 사용하여 Fig. 3과 같이 실험 중 시편의 하중과 변형률을 측정하였다. 압축강도 시험은 3 mm/min의 이송속도로 수행되었으며 실험장치는 Fig. 4와 같다. 압축시험의 경우 인장시험과 달리 파단 시점을 육안으로 정확하게 판단하기 어려우므로



Fig. 3 Tensile test.



Fig. 4 Compressive test.

시험 중 시편에 걸리는 하중이 증가 하다가 급격히 감소하는 구간을 파단시점으로 선정하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 인장강도 측정 실험 결과

인장시험은 시편 종류 당 4회씩 총 28개의 시편에 대해 실험을 수행하여 데이터의 신뢰도를 확보하였다. 인장강도 측정 시험의 시험결과 값은 Table 1과 같으며 시편 종류별로 인장강도와 변형률의 평균값을 사용하였다. 나노 알루미늄 입자를 첨가한 시편의 경우 모두 순수 파라핀 시편에 비해 인장강도가 증가하였으며 나노 알루미늄 입자 첨가율이 10 wt%, 20 wt%, 30 wt% 인 시편의 경우 인장강도 값이 각각 2.759 MPa, 3.068 MPa, 2.764 MPa로 순수 파라핀에 비해 인장강도가 30.2%, 44.8%, 30.5% 증가하였다. 반면 마이크로 알루미늄 입자를 첨가한 시편의 경우 5 wt%, 10 wt%, 15 wt% 입자 함유량을 갖는 시편의 인장강도 값이 각각 1.768 MPa, 2.014 MPa, 2.601 MPa로 순수 파라핀에 비해 -16.5%, -4.01%, 22.8% 변화 하였다.

측정된 인장 변형률의 경우 알루미늄 입자의 크기나 함유량에 따른 변화의 방향성이 뚜렷하게 존재하지 않았다. 다만 마이크로 알루미늄 입

Table 1. Results of tensile test.

Specimen	Averaged Tensile Strength(MPa)	Averaged Failure Strain (mm/mm)
Pure Paraffin	2.118	0.00594
Nano 10 wt%	2.759	0.00813
Nano 20 wt%	3.068	0.00523
Nano 30 wt%	2.764	0.00563
Micro 5 wt%	1.768	0.00444
Micro 10 wt%	2.014	0.00468
Micro 15 wt%	2.601	0.00658

자를 첨가한 경우에는 함유량이 증가함에 따라 변형률이 증가되는 경향은 있으나, 증가폭이 크지 않고 측정된 시편의 낮은 인장 변형률을 고려한다면 함유량에 따른 변형률의 큰 변화는 없는 것으로 사료된다.

Fig. 5는 Table 1의 입자별 함유량에 따른 인장강도의 변화를 그래프로 나타내고 있다. 나노 알루미늄 입자를 첨가한 경우, 순수파라핀에 비해 인장강도가 모두 증가하였으나 함유량이 20 wt% 이하일 경우에는 입자 함유량이 증가할수록 인장강도가 증가하는 경향이 보이는 반면 30 wt% 함량을 갖는 경우에는 오히려 인장강도가 감소하였다. 이를 통해 일정량 이상의 나노 알루미늄 입자의 첨가는 인장강도의 증가에 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

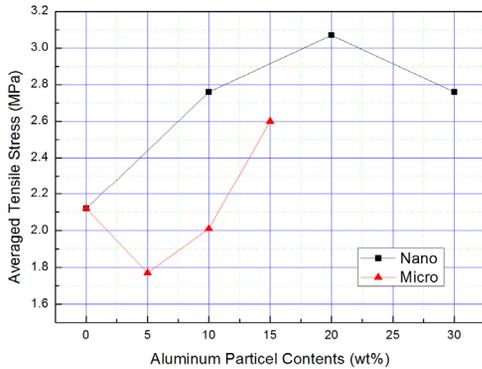


Fig. 5 Averaged tensile strength vs. particle contents.

반면, 마이크로 알루미늄 입자를 첨가한 경우, 입자의 함유량이 10 wt% 이하인 경우에는 순수 파라핀 시편에 비해 낮은 인장강도를 나타내었으며 15 wt%를 첨가하는 경우에만 순수 파라핀에 비해 인장강도가 증가하였다. 이를 통해 마이크로 알루미늄 입자를 혼합한 파라핀의 경우 일정량 이상의 입자가 첨가된 경우에만 시편의 인장강도가 증가하는 것을 확인하였다. 또한 동일한 함유량(10 wt%) 갖는 경우 나노 알루미늄 입자를 첨가한 시편이 마이크로 알루미늄 입자를 첨가한 시편 대비 약 36% 높은 인장강도를 갖는 것을 확인하였다.

또한 인장시험에서 측정된 인장강도-변형률 선도는 Fig. 6과 같으며 순수 파라핀 시편과 나노 및 마이크로입자 10 wt% 함유량을 갖는 시편의 실험 결과 중 가장 대표적인 성향을 갖는 케이스를 선정하여 그래프에 나타내었다.

### 3.2 압축강도 측정 실험 결과

압축강도 측정은 인장시험과 동일한 알루미늄 입자의 크기와 함유량에 대하여 시험을 수행하였다. 압축강도의 시험결과는 Table 2와 같으며 알루미늄 입자를 첨가한 모든 시편이 입자를 첨가하지 않은 순수파라핀 시편에 비해 높은 압축강도를 갖는 것을 확인하였다.

나노 알루미늄 입자를 첨가한 시편의 경우 입자 함유량이 10 wt%, 20 wt%, 30 wt%일 때, 압축강도 값이 각각 4.516 MPa, 4.417 MPa, 5.710

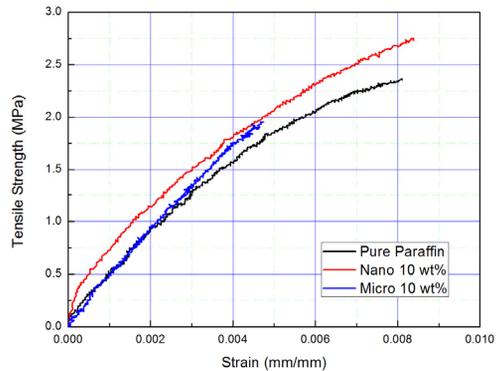


Fig. 6 Tensile strength-strain graph.

Table 2. Results of compressive test.

Specimen	Averaged Compressive Strength(MPa)
Pure Paraffin	3.503
Nano 10 wt%	4.516
Nano 20 wt%	4.417
Nano 30 wt%	5.710
Micro 5 wt%	3.740
Micro 10 wt%	3.707
Micro 15 wt%	3.791

MPa로 순수 파라핀 시편에 비해 압축강도가 28.9%, 26.09%, 63% 가량 증가하였다. 마이크로 알루미늄 입자를 첨가한 시편의 경우 5 wt%, 10 wt%, 15 wt%의 입자 함유량을 갖는 시편의 압축강도 값이 각각 3.740 MPa, 3.707 MPa, 3.791 MPa로 시편의 압축강도 변화율은 6.76%, 5.82%, 8.22%으로 측정되었다.

Fig. 7은 파라핀/알루미늄 시편의 압축강도 측정 시험결과를 그래프로 나타낸 것이다. 나노 알루미늄 입자를 첨가한 시편은 10 wt%, 20 wt% 함유량을 갖는 시편에 대해서는 압축강도의 차이는 크게 존재하지 않으나, 30 wt% 함유량을 갖는 시편의 경우 압축강도가 다른 두 종류의 시편에 비해 크게 증가한 것을 확인하였다. 이에 나노 알루미늄 입자를 첨가한 경우에는 입자의 함유량이 일정 수준 이상일 때 압축강도가 크게 증가하는 것으로 사료된다.

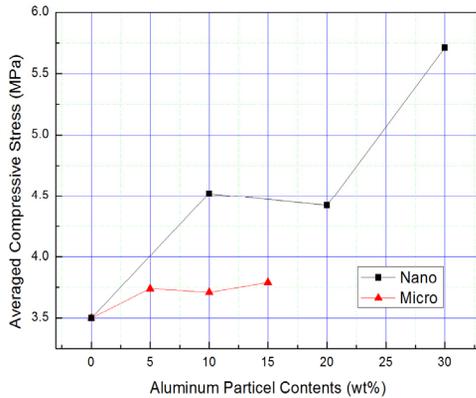


Fig. 7 Averaged compressive strength vs. particle contents.

마이크로 알루미늄 입자를 첨가한 시편의 경우 입자를 첨가하지 않은 순수파라핀 시편에 비해 압축강도는 증가하였지만 그 변화량이 10% 미만으로 증가 값이 크지 않은 것을 확인하였으며 기계적 강도가 낮은 시편의 특성을 고려할 때, 마이크로 알루미늄 입자의 첨가는 압축강도의 증가에 미치는 영향이 작은 것으로 사료된다.

또한 동일한 양의 입자 함유량을 갖는 경우, 나노 알루미늄 입자를 첨가한 시편이 마이크로 알루미늄 입자를 첨가한 시편 대비 21.8% 높은 압축강도를 가지는 것을 보아, 나노 알루미늄 입자의 첨가는 시편의 압축강도를 크게 향상시키며 마이크로 알루미늄 입자의 첨가보다 압축강도의 증가에 미치는 영향이 큰 것으로 판단된다. 이는 입자 혼합 과정 중에 나노 입자의 첨가보다 균질한 혼합도를 제공해 준 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 알루미늄 입자를 포함한 파라핀 연료에 대하여 입자의 크기 및 함유비(wt%)에 따른 인장 및 압축강도 측정시험을 수행하였다. 측정 결과 알루미늄 입자의 크기별, 그리고 입자 함유비에 따라 압축강도와 인장강도의 변화는 다른 경향을 나타내었다

나노 알루미늄 입자를 혼합한 시편은 순수파라핀 대비 입자 함유비가 10 wt%, 20 wt%, 30 wt%일 때 인장강도의 경우 30.2%, 44.8%, 30.5% 증가하였으며, 압축강도의 경우 28.9%, 26.09%, 63% 증가하였다. 마이크로 알루미늄 입자를 혼합한 시편의 압축강도는 순수 파라핀 시편 대비 입자 함유비가 5 wt%, 10 wt%, 15 wt%일 때 인장강도의 경우 -16.5%, -4.01%, 22.8%로 함유비 증가에 따른 뚜렷한 경향을 파악할 수 없었으며 압축강도 또한, 각각 6.76%, 5.82%, 8.22%로 변화율은 미미하였다.

이를 토대로 나노 입자 첨가가 마이크로 입자 대비 파라핀/알루미늄 연료의 기계적 강도 증가에 적합함을 알 수 있었다. 또한 동일한 양의 알루미늄 입자를 첨가했을 때 마이크로 알루미늄 입자에 비해 나노 입자 시편의 인장 및 압축강도가 각각 36%, 21% 향상되었다. 결론적으로, 나노 알루미늄 입자의 첨가는 시편의 인장 및 압축강도를 크게 향상시키나 마이크로 알루미늄 입자의 첨가는 상대적으로 인장 및 압축강도의 증가에 미치는 영향이 미미한 것으로 사료된다.

추후, 나노 및 마이크로 입자 최대 함유비(30 wt% 나노, 15 wt% 마이크로)에서 인장시험의 파단강도 경향성이 달라지는 현상에 대해 추가 연구가 수행될 예정이다.

#### 후 기

본 논문은 국방과학연구소의 지원 (과제 번호: UD150033GD)을 받아 수행된 연구로서 지원에 감사드립니다.

#### References

1. Fry, R.S., "A Century of Ramjet Technology Propulsion Evolution," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 20, No. 1, pp. 27-58, 2004.
2. Han, S.J., Kim, K.H., Kim, J.S., Joo, S.M.,

- Kim, S.S., Moon, H.J. and Kim, J.K., "Experimental Investigation of Ducted Rocket Gas Generator with Hybrid Motor," *2014 KSPE Fall Conference*, Kangwon-do, Korea, pp. 689-694, 2014.
3. Cantwell, B., Karabeyoglu, A. and Altman, D., "Recent Advances in Hybrid Propulsion," *International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion*, Vol. 9, No. 4, pp. 305-326, 2010.
  4. Karabeyoglu M.A., Altman D. and Cantwell B.J., "Combustion of Liquefying Hybrid Propellants: Part 1, General Theory," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 18, No. 3, pp. 610-620, 2002.
  5. Ryu, S.H., Han, S.J., Kim, K.H, Kim, J.K., Moon, H.J., Kim, J.H and Ko, S.W., "Experimental Invertigation of Gas Nitrous Oxide/Paraffin Hybrid Gas Generator for Ducted Rocket," *Asian Joint Conference on Propulsion and Power*, Kagawa, Japan, AJCPP 2016-021, Mar. 2016.
  6. Kilic, S., Karabeyoglu, A., Stevens, J. and Cantwell, B., "Modeling the Slump Characteristics of the Hydrocarbon-Based Hybrid Rocket Fuels," *39th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit*, AIAA-2003-4461, Huntsville, A.L., U.S.A., July 2003.
  7. DeSain, J.D., Brady, B.B., Metzler, K.M., Curtiss, T.J., and Albright, T.B., "Tensile Tests of Paraffin Wax for Hybrid Rocket Fuel Grains," *45th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit*, Denver, C.O., U.S.A., AIAA 2009-5115, Aug. 2009.
  8. Kirsty, L. Veale., Michael, J. Brooks. and Jean Pitot de la Beaujardiere, "Structural Performance of Large Scale Paraffin Wax Based Fuel Grains," *Propulsion and Energy Forum, 51st AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference*, Orlando, F.L., U.S.A., AIAA 2015, July 2015.
  9. ASTM, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM D638-10, 2010.
  10. ASTM, Standard Test Method for Rubber Properties in Compression, ASTM D575-91, 2007.
  11. Filomena Piscitelli, Guido Sccone, Antonio Gianvito, Giovanni Cosentino, Luca Mazzola, "Microcrystalline paraffin wax as fuel for Hybrid Rocket Engine," *6th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS)*, Capua, Italy, 81043, 2015.