

## 제작방법에 따른 모사 젤 추진제의 특성 연구

김재우\* · 전두성\* · 신웅섭\*\* · 이효미\*\* · 문희장\*\*†

### Simulant Gel Propellant Characteristics depending on Mixing Method

Jaewoo Kim\* · Doosung Jun\* · Woongsup Shin\*\* · Hyomi Lee\*\* · Heejang Moon\*\*†

#### ABSTRACT

In this study, two different kind of impeller, commercial hand blender and manual type were used to investigate the most effective mixing method for simulant gel propellant. Ionized Water, Carbopol 941 and NaOH were used to produce the simulant gel for temperature of 25°C and 50°C. The amount of bubbles produced during mixing of simulant gel at 50°C were higher than that of simulant gel at 25°C. After 24 hours, bubbles of simulant gel made at 50°C disappeared rapidly with respect to the bubbles of gel made at 25°C. Bubbles from blender did show notable amount even after 24 hours. Among mixing type, it was found that the pitched paddle impeller was the best candidate for the production of simulant gel.

#### 초 록

본 연구에서는 효과적인 젤 추진제의 제작 방법을 찾기 위해, 특성이 다른 두 개의 임펠러 형태를 선정하여 Ionized Water, Carbopol 941, NaOH를 혼합한 모사 젤 추진제를 25°C와 50°C에서 제작하였다. 제작 직후에는 50°C에서 제작된 모사 젤 추진제 내부의 기포가 25°C에서 제작된 모사 젤 추진제에 비해 많이 존재하는 것을 확인하였다. 반면, 24시간 후에는 50°C에서 제작된 모사 젤 추진제의 기포 양이 상온에서 제작된 젤 추진제의 기포 양보다 적은 것을 확인하였다. 또한, 25°C와 50°C 두 가지 경우에서 Pitched Paddle 임펠러를 사용하여 제작된 모사 젤 추진제 내부에 가장 적은 기포가 존재하는 것을 확인하였다.

Key Words: Simulant Gel Propellant(모사 젤 추진제), Impeller(임펠러), Bubble(기포)

#### 1. 서 론

젤 추진제는 연료 및 산화제에 젤화제를 첨가하여 제작된 액체-고체 중간 단계의 젤 형태의 연료 및 산화제로써, 액체추진제의 저장성 및 누설 문제와 고체추진제의 추력 조절 문제를 해결할 수 있는 대안적인 추진제로 평가 받고 있다.

\* 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

† 교신저자, E-mail: hjmoon@kau.ac.kr

젤 추진제의 제작은 추력기에 종종 사용되는 연료인 MMH (Monomethylhydrazine) 또는 산화제인 RFNA(Red Fuming Nitric Acid)와 같이 독성이 강한 추진제를 사용하여 실제 젤 추진제를 제작하거나[1] 독성이 없고 취급이 용이한 물을 사용하여 실제 젤 추진제와 유변학적 특성이 유사한 모사 젤 추진제를 제작하기도 한다.[2]. 또한, 젤 추진제의 에너지 밀도를 향상시키기 위해 알루미늄이나 마그네슘과 같은 금속 첨가물을 젤 추진제에 첨가하여 제작하는 연구 등이 진행되고 있다[3].

젤 추진제의 응용연구와 관련하여 국외에서는 non-Newtonian 유체의 특성을 갖는 젤 추진제의 유변학적 특성과 관련된 연구[2,3], 복잡한 관과 다양한 오리피스 형상 및 수축 형상 인젝터를 통해 공급되는 젤 추진제의 액화 특성에 대한 수치해석적인 연구[4,5], 분무형 인젝터 및 충돌형 인젝터를 사용한 젤 추진제 액적의 분열 및 미립화에 대한 실험적인 연구 등이 활발히 진행되고 있다[6]. 최근에는 누설에 취약한 램제트 기관에 기밀성이 뛰어난 젤 추진제의 장점을 활용하기 위해 케로신 연료에 젤화제를 첨가하여 제작된 젤 추진제의 기초 연소 실험을 통해 성공한 바 있다[7].

젤 추진제에 대한 국내에서의 연구는 국외에 비해 상대적으로 미흡한 수준으로써, 모사 젤 추진제의 기초 분무 특성을 연구한 사례[8,9] 및 유체의 전단률이 증가함에 따라 점성이 감소하는 전단 박화 효과 (shear thinning effect)를 조사하는 연구가 이루어지고 있다[10-12].

본 연구에서는 교반기를 사용하여 다량의 젤 추진제 생산에 효과적인 방법을 모색하고자, Paddle, Flat turbine, Manual method 및 Hand blender를 이용하여 다양한 혼합 방법으로 모사 젤 추진제의 제작을 시도하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 모사 젤 추진제 제작

젤 추진제와 관련된 연구의 진행을 위해, 국외에

서는 효율적인 젤 추진제 제작을 위해 교반기를 직접 제작[13]하여 사용하는 반면, 국내에서는 현재까지 일반적으로 손(Manual method)이나 믹서기 (Hand blender)를 사용하여 젤 추진제를 제작하였다. 젤 추진제를 제작하는 방법 및 제작 환경에 따라 젤 추진제의 점도 및 유변학적 특성이 다르게 나타나는 것으로 알려져 있으나[14], 상세한 제작 방법은 대외적으로 공개하지 않으며 기피하는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 효율적인 모사 젤 추진제 제작을 위해 Ionized Water 98.5wt, 아크릴산의 중합 폴리머 계열인 Carbopol 941 0.5wt, NaOH 10% 농축액 1%wt을 혼합하여 pH 8.5의 모사 젤 추진제를 다양한 방법을 사용하여 제작하였다. 혼합 방식은 Table 1과 같으며, 젤 추진제의 점도에 미치는 주요인자인 온도에 의한 영향을[14] 확인하기 위해 상온(25°C)과 50°C에서 제작하였다.

Table 1. Parameter used depending on Mixing device

	Pitched Paddle Impeller	Flat Turbine Impeller	Manual	Blender
Mixing Time (hour)	1	1	1	0.25
Mixing Velocity (RPM)	200/400	200/400	-	7000
Mixing Temperature (°C)	25 50	25 50	25 50	25 50

Figure 1은 본 연구에서 제작한 교반기에 사용된 Pitched Paddle 임펠러와 Flat Turbine 임펠러 형상을 보여주고 있다. Pitched Paddle 임펠러는 축 방향으로 주유동을 발생시켜 벽면으로 와류를 형성하는 반면, Flat Turbine 임펠러는 반경방향으로 주유동을 발생시켜 임펠러의 상·하부로 순환류를 발생시킨다[15]. 본 연구에서는 효과적인 젤 추진제의 제작 방법을 찾고자, 특성이 다른 두 개의 임펠러 형태를 선정하였으며,

임펠러는 교반 성능이 가장 좋은 것으로 알려진 교반기의 1/3지점에 위치하도록 하였다[16].



Fig. 1 Pitched Paddle Impeller and Flat Turbine Impeller

## 2.2 제작 방법에 따른 모사 젤 추진제의 특성

Figure 2와 Fig. 3은 상온 25°C와 50°C에서 400 rpm의 교반기, manual method 및 믹서기 (hand blender)를 사용하여 제작한 모사 젤 추진제를 보여주고 있다. 임펠러의 회전이 느린 200 rpm에서는 Carbopol 941이 부유하면서 축에 흡착되어 모사 젤 추진제의 제작이 이루어지지 않았다. 50°C에서 400 rpm의 교반기, manual method 및 믹서기 (blender)로 모사젤 추진제를 제작한 직후에는 제작된 모사 젤 추진제 내부의 기포의 양이 상온 25°C에서 제작된 모사 젤 추진제보다 많은 양이 존재하는 것을 확인하였다. 제작 시간 24시간 후에는 상온 및 50°C에서 제작된 모든 모사 젤 추진제의 기포가 줄어드는 것을 확인하였으며, 50°C에서 제작된 모사 젤 추진제 내부의 기포의 양이 상온에서 제작된 젤 추진제보다 적은 것을 확인하였다. 이는 증가된 온도로 인해 기포 내부에 존재하는 공기의 밀도가 감소하여, 부력이 증가하였기 때문인 것으로 판단된다.

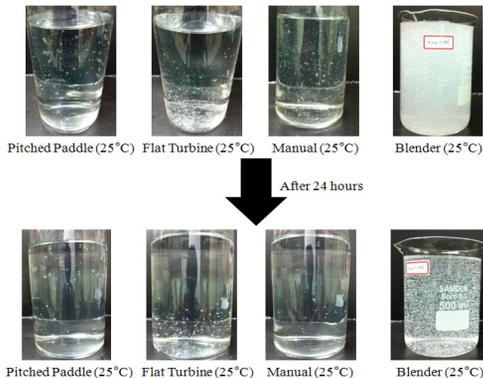


Fig. 2 Manufactured Simulant Gel Propellant at 25°C

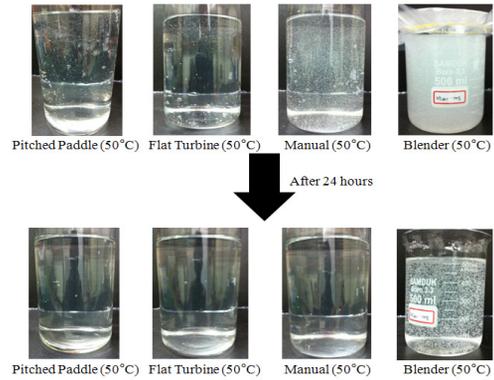


Fig. 3 Manufactured Simulant Gel Propellant at 50°C

믹서기 (hand blender)가 지니는 고속의 회전 속도(7000 rpm)로 인해 모사 젤 추진제의 점도가 감소하는 현상을 보여 15분 동안 혼합하였으나, 많은 양의 기포가 발생한 것을 확인할 수 있다. 반면에, Pitched Paddle 임펠러를 사용하여 제작한 모사 젤 추진제의 경우가 가장 적은 기포가 생성되는 것을 확인하였다. 모사 젤 추진제 내부에 존재하는 기포는 젤 추진제의 점도 및 유변학적 변수를 측정하는데 오차를 일으키는 요인으로써 기포의 생성을 억제하는 최적의 혼합방법을 구해야 한다. 따라서 Pitched Paddle 임펠러를 사용하여 모사 젤 추진제를 제작하는 경우, 기포 제거 시간이 가장 적게 걸릴 것으로 사료된다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 Manual 방법, Hand blender 및 Pitched Paddle 임펠러와 Flat Turbine 임펠러를 장착한 교반기로 25°C와 50°C에서 Ionized Water 98.5wt, Carbopol 941 0.5wt, NaOH 10% 농축액 1%wt을 혼합하여 pH 8.5의 모사 젤 추진제를 제작하였다.

제작한 모든 모사 젤 추진제의 기포가 시간이 지나면서 감소하는 것을 확인하였으며, 50°C에서 제작한 모사 젤 추진제가 25°C에서 제작한 모사 젤 추진제에 비해 적은 양의 기포를 갖는 것을 확인하였다.

Pitched Paddle 임펠러를 사용하여 제작한 모사 젤 추진제의 경우에 기포 생성량이 가장 적은 것을 확인하였으며, Pitched Paddle 임펠러를 사용하여 젤 추진제를 제작 시, 젤 추진제 내부의 기포 제거가 가장 용이할 것으로 사료된다.

향후, 혼합 방법 및 온도 변화에 따른 젤 추진제의 점도 및 유변학적 특성에 대한 연구를 수행할 예정이다.

## 후 기

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2011-0027099)

## 참 고 문 헌

1. T. D. Kubal, R. Arnold, T. L. Pourpoint, O. H. Campanella, and W. E. Anderson, "Rheological Characterization of Hydroxypropylcellulose/Monomethylhydrazine and Silica/Red Fuming Nitric Acid Gels," 46th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 2010
2. Mallory, J. A., Defini, S. J., Sojka, P. E., "Formulation of Gelled Propellant Simulants," 46th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 2010
3. Natan, B. and Rahimi, S., "The Status of Gel Propellants in Year 2000," in Combustion of Energetic Materials, 2001, pp.172-194
4. Yoon, C., Heister, S., Xia, G., and Merkle, C., "Numerical Simulations of Gel Propellant Flow through Orifice," AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 2009
5. Rahimi, S. and Natan, B., "Numerical Solution of the Flow of Power-Law Gel Propellants in Converging Injectors", Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 25, Issue 4, 2000, pp.203-212
6. Negri, M., Ciezki, H. K., "Atomization of non-Newtonian fluids with an impinging jet injector: influence of viscoelasticity on hindering droplets formation," 46th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 2010
7. Kuznetsov, A., Solomon, Y., and Natan, B., "Development of a Lab-Scale Gel Fuel Ramjet Combustor," 46th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 2010
8. 정병훈, 고승원, 황갑성, 한정식, 홍명표, "슬러리와 젤 추진제의 기술개발 동향," 한국추진공학회 2007년도 학술대회 논문집, 2007, pp.168-171
9. 황태진, 이인철, 김상선, 구자예, "Water-Gel 모사 추진제의 충돌 분무 특성 연구," 한국추진공학회 2009년도 추계학술대회 논문집, 2009, pp.11-14
10. 오정수, 박지훈, 장석필, 문희장, "U-자형 덕트에서의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 나노 입자를 포함한 모사 Gel 추진제의 유동 특성 수치해석," 한국추진공학회 2010년도 춘계학술대회 논문집, 2010, pp.377-382
11. 오정수, 전두성, 최상태, 김덕운, 최양호, 이정혁, 문희장, "인젝터 형상 변화에 따른 Gel 추진제의 유동 특성 연구," 한국추진공학회 2010년도 추계학술대회 논문집, 2010, pp.300-303
12. 김재우, 전두성, 문희장 "SiO<sub>2</sub> 젤화제를 첨가한 Jet A-1 젤 추진제의 특성 연구," 한국추진공학회 2011년도 춘계학술대회 논문집, 2011, pp.337-340
13. Mohan Varma and Roland Pein, "Optimisation of Processing Conditions for Gel Propellant Production," International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion, Vol.8, Issue 6, 2009
14. P.H.S. Santos, R. Arnold, W.E. Anderson, M.A Carignano, and O.H Campanella, "Characterization of JP-8/SiO<sub>2</sub> and RP-1/SiO<sub>2</sub> Gels," Engineering Letters, 2010
15. 송애경, 허남건, 원찬식, 안익진, "산업용 교반기의 고체-액체 혼합에 대한 Eulerian Two-Phase 유동해석," 유체기계공학회, 한국유체공학학술대회 논문집 제1권, 2006, pp.471-474
16. 안익진, 송애경, 허남건, "자유표면을 고려한 교반기 내부의 비정상 유동해석," 한국전산유체공학회지 제11권 제4호, 2006, pp.9-13