

# HTPB 바인더가 추진제에 미치는 영향

김정은<sup>1)</sup> · 류태하<sup>1)</sup> · 홍명표<sup>1)</sup> · 이형진<sup>1)\*</sup>

## Effect of HTPB Binder on Propellant

Jeongeun Kim\* · Taeha Ryu\* · Myungpyo Hong\* · Hyoungjin Lee\*<sup>†</sup>

### ABSTRACT

The polybutadiene-based HTPB used as the propellant main binder influences the curing reaction rate of the binder and propellant depending on the synthetic batch. The properties of HTPB synthesized in different batches were analyzed and applied to propellants to evaluate the curing reaction rate and mechanical properties. Finally this reaction can also affect mechanical properties of propellant. And the results suggest that proper degree of curing reaction is necessary to obtain better mechanical properties of propellant.

### 초 록

추진제의 주 바인더로 사용하고 있는 폴리부타디엔 계열인 HTPB(Hydroxyl Terminated Polybutadiene)는 합성 배취에 따라 바인더 및 추진제의 경화 속도에 영향을 미치는 현상을 보였다. 이에 각기 다른 배취에서 합성된 HTPB의 바인더 특성 분석을 통해 추진제에 적용하여 경화반응 속도 및 기계적 특성을 확인하였다. 최종적으로 이러한 추진제의 경화 반응속도가 추진제 물성에 영향을 미치며, 우수한 물성의 추진제를 제조하기 위해서는 적절한 수준의 바인더의 경화 반응이 필요한 것으로 분석되었다.

Key Words: HTPB Binder(수산기말단 폴리부타디엔 바인더), Propellant(추진제), Curing Reaction(경화 반응), Mechanical property(기계적 특성)

### 1. 서 론

추진제의 주 바인더로 사용하고 있는 폴리부타디엔 계열인 HTPB 기반의 열경화성 추진제는

산화제, 가소제, 연소촉매제, 금속연료, 경화제 등과 같은 다양한 원재료를 혼합하여 제조된다.

다양한 원재료를 혼합하여 제조된 추진제 성능은 각 원재료의 특성 및 함량에 따라 변화되므로, 추진제의 성능을 향상시키기 위해서 국방과 학연구소 및 방위산업체를 중심으로 현재까지 다양한 연구가 진행되고 있다[1-5]. 이러한 열경

\* LIG 넥스원 유도무기기술연구소<sup>1)</sup>

† 교신저자, E-mail: youngjin.lee@lignex1.com

화성 추진제는 다양한 원재료를 혼합한 후 충전 (Casting) 및 경화 공정을 통해 제조된다. 혼합이 완료된 추진제는 충전 공정 중 시간이 경과함에 따라 경화반응이 진행되고 추진제의 점도는 상승한다. 이러한 점도 상승이 일정 수준 이상이면 충전 공정이 순조롭게 진행되지 않거나, 불량을 초래할 수 있으므로 충전 공정이 진행되는 동안의 경화 반응은 매우 중요한 공정상 관리 요인이다. 이러한 경화 반응 현상은 HTPB의 수산기 개수, 관능기수, 분자량에 따라 달라지기 때문에 추진제를 제조하기 전, HTPB의 바인더의 화학적 특성을 미리 분석하는 과정이 필수적으로 진행되어야 한다. 본 연구에서는 HTPB 바인더의 다양한 분석을 통해 추진제 제조 공정 및 제조된 추진제의 기계적 특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 뱃취 별 바인더 특징

본 연구에서 적용된 바인더는 (주)삼양정밀화학에서 제조한 HTPB로 S1~S4로 구분한다. HTPB 바인더의 OH index, 점도, 분자량 결과는 Table 1에 제시하였다. 각기 다른 4종의 바인더 OH index는 0.75~0.77meq/g이며, 25°C에서의 점도 값은 59~60Poise로 유사한 값을 나타내었다.

Table 1. OH index, viscosity and molecular weight of HTPBs.

	S1	S2	S3	S4
OH index (meq/g)	0.75	0.76	0.77	0.77
Viscosity (25°C, Poise)	60	59	59	59
GPC (Mn)	3,407	3,353	3,346	3,351
GPC (Mw)	5,953	5,914	6,496	6,491
PDI (Mw/Mn)	1.75	1.76	1.94	1.94

HTPB 분자량은 겔투과크로마토그래피 (GPC,

Gel Permeation Chromatography)를 사용하였고 그 결과, S3와 S4는 S1과 S2 바인더와 비교하여 크고, 넓은 분자량 분포도를 갖는 것으로 분석되었다. S4는 수 차례 합성을 진행하는 동안 반응기 내 걸면에 덩어리 진 반응 잔여물을 제거하지않은 상태로 제조된 제품으로 반응 잔여물이 경화반응에서 어떠한 영향을 미치는지 확인하고자 한다. 경화제로 사용된 D.D.I는 Henkel 사 NCO index 3.25 meq/g을 사용하였다.

## 3. 바인더 특성 분석

### 3.1 HTPB 관능기수

HTPB의 관능기수(Functionality)는 한 분자 내에 포함된 수산기의 수로, 관능기수 측정은 일정 시간 동안 HTPB 바인더와 Isocyanate의 경화 반응을 통해 거시적 관점으로 관찰하여 도출한다. 실험에 사용되는 HTPB 바인더의 예상 관능기수 범위(2.2~3.0)에 대해 N-butyl isocyanate와 Toluene, HDI를 당량비에 따라 계량 혼합한 후, 시료를 60°C 오븐에서 12시간 동안 경화시킨 후 그 흐름성을 확인하는 것으로 관능기수를 측정하였다. 측정 결과 S1, S2에서는 2.6까지 미세한 흐름성이 관찰되어 관능기 수가 2.5인 것으로 확인되었고, S3에서는 2.9까지 미세한 흐름성이 관찰되어 관능기 수가 2.8임을 확인되었다.



Fig. 1 Result of Functionality of HTPBs (a) S1 F : 2.5 (b) S2 F : 2.5 (c) S3 F : 2.8.

### 3.2 바인더 경화반응 분석

시간 경과에 따른 HTPB 바인더의 점도 측정에는 Brookfield Viscometer (HB Type)를 사용하여 Spindle number 03, RPM 10의 동일한 조건으로 60°C 온도에서 1시간 간격으로 수행하였다. 경화촉매제로 TPB를 적용하였으며, 0.01%의 극미량을 투입할 수 있도록 휘발성이 강한 Benzene과 희석하여 10% solution을 제조한 후, 실험에 적용하였다.

Fig. 2와 같이 점도 측정 결과 S2 바인더만 점도 증가 속도가 매우 느렸으며 S2를 제외한 나머지 바인더의 경화 반응 경향성은 유사하였다. S1:S2 비교 S1과 비교하여 S2의 점도 상승 속도가 느린 것을 확인할 수 있다. 또한, S1:S3 비교 S1과 비교하여 S3의 관능기수가 많고, 분자량이 크기 때문에 경화반응이 활발히 진행되어 점도 증가 속도가 빠른 것으로 판단된다.

S3:S4 비교 S3와 비교하여 S4의 점도 상승 속도가 느린 것은 S4의 합성 시, 반응기 내부 겉면에 잔류하는 덩어리로 인해 합성에 필요한 열전달이 효율적으로 이루어지지 않으며, 제품에 미반응 물질이 포함되어 전체적으로 경화반응이 저하되었을 것으로 판단된다.

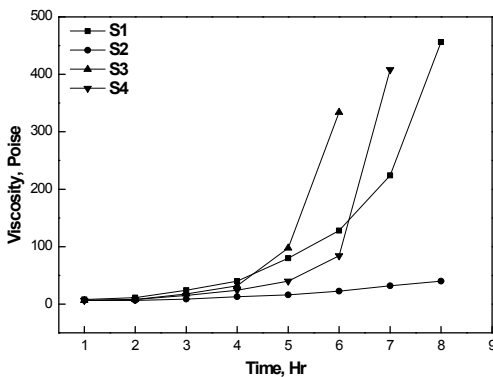


Fig. 2 Viscosity build-up after addition curing agent into the HTPB

## 4. 추진제 특성 분석

### 4.1 추진제 경화 반응 분석

각 HTPB를 사용하여 NCO/OH=0.8의 동일 조성으로 추진제를 제조하였으며, 시간에 따른 점도 변화를 측정하였다. S1의 경우, 경화반응 속도가 빠르고 분자량이 커서 시간 경과에 따른 점도가 크게 상승하는 결과를 보였으며, 관능기 수가 많은 S3의 경우, S2와 S4에 비해 소폭 높은 점도값을 나타내었다.

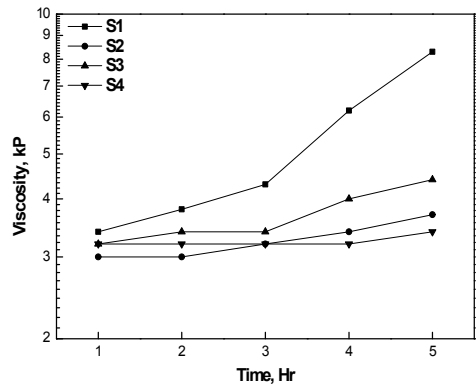


Fig. 3 Viscosity build-up property of the propellant

반면, S2와 S4의 경우, 시간 경과에 따라 안정적인 점도를 유지하는 모습을 관찰할 수 있었다.

추진제에 대한 점도 측정 결과가 HTPB의 경화반응 속도(Fig. 2)와 유사한 결과를 나타내는 것으로 보아, HTPB의 경화반응 속도와 화학적 특성이 추진제의 점도 변화에 큰 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있었다.

### 4.2 추진제 기계적 특성

제조된 추진제의 기계적 특성을 관찰하기 위해 Instron 5967을 사용하여 분석하였다. JANNAF 규격을 준수하여 시편을 제작하고 인장강도(Sm), 최대 인장강도에서의 신장율(Em), 파단 신장율(Eb), 탄성계수(Em), Shore 경도(Hs) 등을 분석하였다. 관찰된 각 추진제의 기계적 특성은 Table 2에 요약하여 제시하였다.

측정 결과, 모든 추진제의 Shore 경도값은 50 이상으로 대체적으로 HTPB 바인더를 적용한 추진제의 우수한 특성을 보였다. 전반적인 기계적

물성은 S1 바인더를 적용한 추진제의 경우, 다른 추진제와 비교하여 우수한 것으로 관찰되었으며, 특히 인장강도 특성에서 우수성을 보였다.

Table 2. Mechanical properties of HTPB Propellant.

	Sm (bar)	Em (%)	Eb (%)	Eo (bar)	Hs
S1	8.4	54	58	44	65
S2	7.6	54	58	44	65
S3	7.2	52	55	41	67
S4	7.2	52	58	40	65

Sm : Stress of Max.

Em : Strain at Max.

Eb : Break stress

Eo : Young's modulus

Hs : Hardness (Shore-A type)

## 5. 결 론

본 연구에서는 각기 다른 배합에서 합성된 HTPB(S1~S4)의 경화반응 속도와 분자량, 관능기 수와 같은 화학적 특성이 HTPB 기반으로 제조된 추진제의 시간 경과에 따른 점도 변화에 미치는 영향을 확인하였다.

HTPB의 Functionality 분석을 통해, S3의 관능기 수가 S1, S2의 관능기 수에 비해 많다는 것을 확인하였다. 관능기 수가 많은 S3가 관능기 수가 적은 S1, S2보다 동일한 반응 조건에서 상대적으로 빠른 경화반응 속도를 확인 할 수 있었다.

각 HTPB를 사용하여 추진제를 제조하여 시간 경과에 따른 점도 변화를 측정된 결과, HTPB 바인더의 경화반응 속도와 유사한 결과를 나타내는 것을 확인하였으며, HTPB의 경화반응 속

도와 화학적 특성이 추진제의 점도 변화에 큰 영향을 끼치는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 통해, HTPB의 수산기 개수, 분자량, 관능기수 등 화학적 특성에 따라 추진제의 경화반응 속도가 달라지는 것을 확인 할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. Yim Y.J., Park E.J., Kwon T.H., Choi S.H., "Effect of AP Particle Size on the Physical Properties of HTPB/AP Propellant," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 20, No. 1, pp. 14-19, 2016.
2. Min B.S., Hyun H.S., Yim Y.J., "Combustion Characteristics of HTPB/AP/Zr Propellant," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 9, No. 2, pp. 9-16, 2005.
3. Kim C.K., Yoo J.C., Hwang G.S., Yim Y.J., "Properties of HTPB/AP/Butacene Propellants," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 9, No. 2, pp. 40-45, 2005.
4. Hwang K.S., Yim Y.J., Kim C.K., "The Effect of Fe Compounds for Burning Catalyst on HTPB/AP Propellant," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences* 25(4), pp. 39-48, 1997.
5. Kim N.H., Kim J.E., Hong M.P., "Burning Properties of Uncured HTPB Propellant," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 20, No. 1, pp. 37-42, 2016.