

항력감소제용 추진제의 경화시간 단축을 위한 조성 및 공정 연구

최영기*

Research on the Formulation and Process of Base Bleed Unit for reducing of Curing Time

Young-Ki Choi*

ABSTRACT

We made a new propellant formulation to improve the productivity of Base Bleed Unit(aka BBU) by reducing of the curing time. We made an experiment with new propellant formulation such as binder characteristics and manufacturing process. In addition, we already tested several basic characteristics and the final performance of the new propellant. According to the test report, it was not only satisfied with all requirements in the specification, but it also contributed to improve productivity and reduced 53% of the curing time.

초 록

항력감소제 추진제의 경화시간을 단축하여 생산성을 향상시키고자 새로운 추진제 조성을 개발하였다. 신규로 개발된 추진제 조성에 대한 바인더 특성 및 공정성 확인시험을 수행하였으며 아울러 다양한 추진제의 기본특성 및 최종 성능시험을 수행하였다. 시험결과, 모든 시험 항목들이 요구된 조건들을 만족하였을 뿐만 아니라 경화시간도 약 53% 단축되어 생산성 향상에 기여되었다.

Key Words: Base Bleed Unit(항력감소제), Propellant(추진제), Curing Time(경화시간), Formulation(조성), Process(공정)

1. 서 론

항력감소제는 155mm 고폭탄의 탄저부에서

항력 감소 효과를 통해 탄의 사거리를 증대시키고자 개발되었으며 미국의 M864를 기본 모델로 155mm HE탄에 사용되는 항력감소제, K307탄용(이하 K307)이 1999년에, DP-ICM에 사용되는 항력감소제, K310탄용(이하 K310)이 2000년부터 양산 중에 있다.

† 2008년 6월 26일 접수 ~ 2008년 8월 5일 심사완료

* 정희원, 국방기술품질원 탄약센터 탄약1팀
연락처, E-mail: evercap@korea.com

약 8년간의 양산 과정에서 80여회의 수락시험을 실시한 결과, 단한번의 로트 부적합도 발생하지 않을 정도로 높은 품질 신뢰수준을 유지하고 있다. 하지만, 최근 수요군 소요량 및 수출 물량의 급격한 증대로 생산성 증대를 위한 가장 효율적인 방안을 검토하게 되었으며 성능에 전혀 영향을 미치지 않으면서도 공정 소요시간을 최적화하여 생산성 증대에 기여할 수 있는 신규 추진제 조성 및 공정 조건을 연구하게 되었다.

연구 과정은 추진제 조성에 대한 검토와 실험을 통하여 경화반응이 빠르면서도 충분한 유동성을 확보할 수 있는 촉매시스템을 채택함과 동시에 최적의 추진제 경화반응 공정조건을 연구하였다. 제작된 제품은 각종 추진제 기본특성, 노화특성, 지상연소 및 비행시험을 통하여 요구된 성능을 확인하고 양산 적용 가능성 여부를 확인하는 순으로 연구를 진행하였다.

2. FT-IR을 이용한 바인더의 반응 연구

신규 조성 추진제는 생산성 향상을 위해 기존 조성 대비 경화시간을 단축하기 위한 최적의 프리폴리머, 경화제, 경화촉매, 결합제 조성을 도입하였다. 조성결정은 우선 바인더 시험을 통해 최적의 경화촉매시스템을 채택하였으며, 반응 메카니즘과 속도를 확인하기 위하여 FT-IR을 이용하였다.

2.1 FT-IR을 이용한 경화반응 연구

프리폴리머(HTPB)와 경화제(IPDI)는 아래와 같은 메카니즘으로 우레탄 반응을 하는 것으로 알려져 있다.



이를 확인하기 위하여 FT-IR (Fourier transform-infrared) Spectrometer를 이용하였으며, 반응 시간에 따른 IPDI의 Isocyanate 기(-NCO)의 감소와 Urethane group(-NHCO₂)의 생성은 Fig. 1에서 확인할 수 있었다.

FT-IR 장비는 Perkin Elmer co.(USA)를 이용하였으며, 건조된 KBr 펠렛에 혼합된 바인더를 얇게 도포한 후 60℃ 고온 Chamber cell에 장착하여 10분 간격으로 측정하였다.

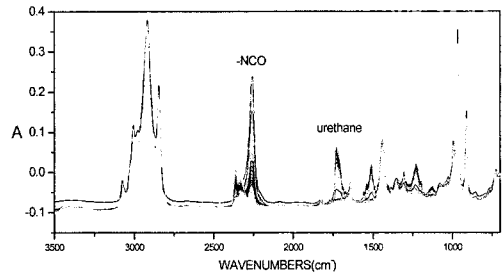


Fig.1 Infrared spectra of HTPB based Binder

Figure 2는 반응시간별 IR Peak로 Wavenumber 2257cm⁻¹에서 Isocyanate group의 농도가 반응이 경과함에 따라 점점 감소하는 현상을 볼 수 있으며, 이와 반대로 Wavenumber 1729cm⁻¹에서 Urethane group의 농도가 같은 비율로 생성되는 현상을 관찰할 수 있었다.

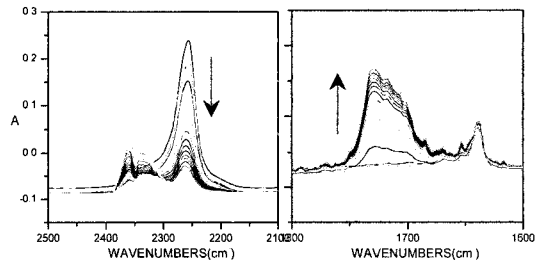


Fig. 2 Infrared spectra of Isocyanate & Urethane

2.2 경화촉매 변화에 따른 반응속도 비교

혼합형 고체추진제의 이상적인 경화반응은 초기에는 서서히 진행하다가 일정시간이 경과한 후부터 빠르게 진행하여만 공정성이 우수하다. 즉, 추진제 충전시 초기반응이 빠르게 진행되면 유동성(rheological property) 유지기간(Pot life)이 짧아져 생산성이 저하되고 고점성으로 인한 추진제 내부 기포발생 등 품질악화 요인이 될 수 있다. 또한 경화반응 후기에는 반응속도가

빠르게 진행되어야 경화시간이 단축되어 생산성을 향상시킬 수 있다.

따라서, 추진제 조성결정시에는 반응속도를 조절하는 경화촉매 선택이 매우 중요하며, 본 개발과정에서는 일반적으로 추진제 경화촉매로 많이 사용하는 TPB(triphenyl bismuth)를 채택하였으며, TPB를 활성화시키는 보조촉매로 MA(maleic anhydride)를 첨가하여 초기 경화반응 속도는 낮추고 경화촉매가 활성화되는 시점에서 반응속도가 빨라지도록 경화촉매 시스템을 사용하였다.

이를 확인하기 위하여 촉매 변화에 따른 반응성 확인 시험을 바인더 상태에서 실시하였으며, 시험조건은 HTPB의 수산기지수와 IPDI의 Isocyanate의 비율을 1.0으로 제조된 Premix에 Table 1과 같이 촉매를 변화시켜 혼합한 후 이를 FT-IR의 60°C 고온 Chamber cell에 Fig. 3과 같이 장착하여 10분 간격으로 측정하였다.

Table 1. Binder Test Matrix

cat.	TPB(%)	TPB/MA(%)
# 1	0.1	0.1/0.1
# 2	0.2	0.2/0.2
# 3	0.3	0.3/0.3

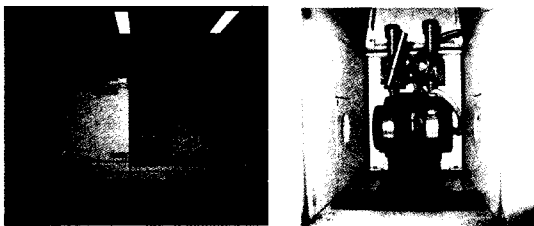


Fig. 3 FT-IR Spectrometer and Cell Chamber

Figure 4는 위 FT-IR Peak에서 살펴본 Isocyanate와 Urethane의 감소와 생성을 백분율로 나타낸 그래프로 반응에 참여하지 않는 Wavenumber 2917cm-의 Hydrocarbon Peak의 높이를 기준으로 상대적인 Isocyanate peak의 높이를 함량비로 환산하였으며, 반응 초기의 Isocyanate peak의 높이를 100% 농도비로 설정

하였다. 그리고 반응에 사용된 Isocyanate함량을 역으로 환산하여 우레탄 생성비를 결정하였다.

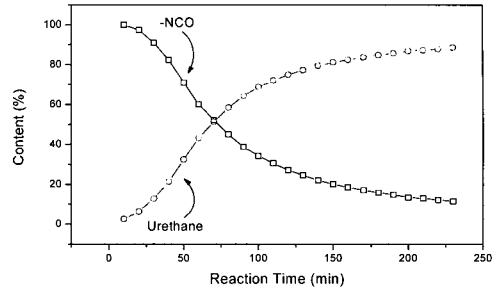


Fig. 4 Concentrations of Isocyanate and Urethane

바인더에 경화촉매로 TPB를 단독으로 사용한 경우와 보조촉매 MA를 첨가하여 사용한 경우의 반응속도를 확인한 결과 Fig. 5에서 나타나듯이 TPB 함량이 증가할수록 두 경우 모두 반응속도가 빨라지며, 동일 TPB를 함량을 기준으로 보조촉매 MA를 첨가한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하면 보조촉매를 사용한 초기 반응속도는 보조촉매를 사용하지 않은 경우와 매우 유사하나, 반응이 60%이상 경과한 이후부터는 보조촉매를 사용한 경우가 보다 빠르게 진행됨을 확인 할 수 있었다.

따라서, TPB/MA 경화촉매시스템은 추진제 충전 소요시간 동안 유동성을 충분히 확보할 수 있고, 충전이 종료된 이후에는 반응이 빠르게 진행되어 경화시간을 단축할 수 있는 촉매시스템이라고 판단되었다.

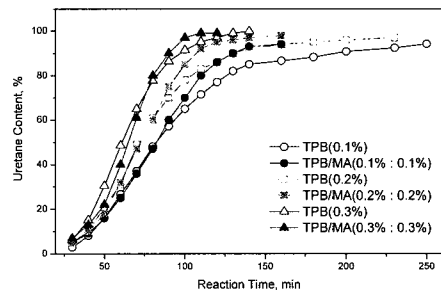


Fig. 5 Change of Urethane contents

3. 추진제 제조를 위한 최적의 공정조건 검토

3.1 혼화 공정성 검토

추진제 혼화 공정성은 여러 원료들을 균질하게 혼합하여 정상적인 화학반응이 일어나도록 하는 공정으로 대용량의 Cowles dissolver를 이용하여 추진제를 혼화한다.

Figure 6은 기존 추진제 조성 and 신규 조성의 300G/L Mixer의 Power chart로 산화제 분말 주입 이후부터 경화제 주입까지의 Power chart로 두 종류 조성 모두 각 혼화 단계별 유사한 부하량을 나타내고 있으며, 기타 다른 종류의 추진제 보다 고체 분말의 함량이 상대적으로 적어 혼화 균질성은 상당히 양호한 상태이다.

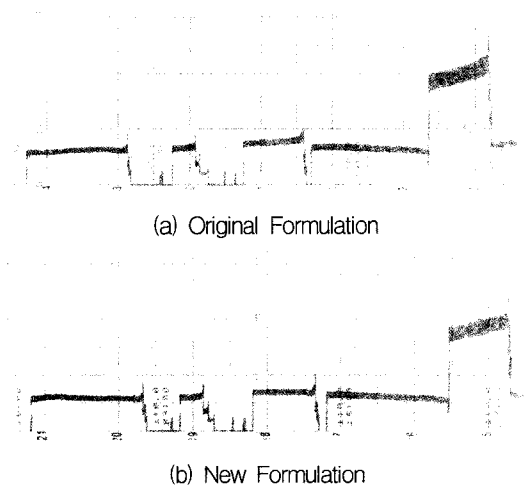


Fig. 6 Power Charts of 300 G/L Mixer

3.2 충전 공정성 검토

추진제 충전 공정성은 점도 Build-up을 살펴봄으로써 확인할 수 있으며, 경화속도와 점도 Build-up은 비례적인 상관관계가 있어 동일한 추진제 조성에서 경화반응을 빠르게 하면, 추진제의 점도 또한 급격히 상승하여 급형 몰드에 추진제 충전시 고점도로 인한 충전 지연 및 내부기포 생성으로 부적합 발생 확률이 높아진다.

따라서 본 경화시간 단축을 위한 추진제 조성

에서는 가급적 초기 점도를 낮추려 앞에서 살펴본 경화촉매로 TPB/MA 촉매시스템을 채택하여 초기의 경화반응 속도는 낮추고 경화촉매가 활성화되는 시점에서 반응속도가 빨라지도록 하였다.

Figure 7은 기존 추진제 조성 and 신규 조성의 점도 Build-up을 도시한 그림으로 추진제 조성 설계 당시 목표한 Pot life(점도 3kP 도달시간) 8시간을 충분히 만족하며, 초기 점도가 기존 추진제와 비교하여 낮게 출발하였다가 경화제 주입 9시간 이후 급격히 반응 속도가 빨라짐을 확인할 수 있었다.

또한 신규 조성은 촉매함량을 기존의 0.02% 보다 적은 0.01%를 사용하였음에도 경화반응 9시간 이후부터는 기존 추진제 보다 반응이 급격히 증가하여 추진제 경화시간이 단축될 수 있음을 확인 할 수 있었다.

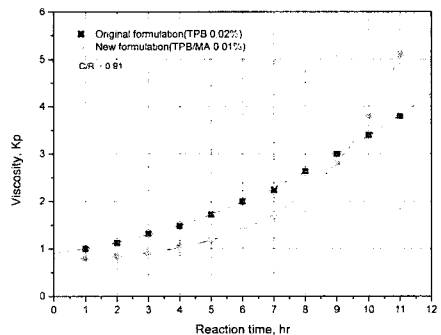


Fig. 7 Change of Viscosity at 50 °C

3.3 추진제 경화조건 검토

본 항력감소제용 추진제 조성개발 목적은 추진제 경화시간 단축을 통해 급형 및 치공구 회전율을 향상시켜 생산성을 증대시키는데 있었으며, 300G/L Mixer를 이용하여 경화시간을 확인한 결과, 기존 항력감소제 조성의 경화시간 96시간에서 51시간을 단축한 45시간에 최종 경화됨을 확인하였다.

추진제의 경화시간 단축을 위하여 추진제의 경화 반응 메커니즘을 반응이 빠르고 안정적인 조성으로 개발하였을 뿐만 아니라, 경화 조건의

다양한 예비시험을 거쳐 최적의 경화 조건을 설정하여 시험한 결과는 아래 Table 2와 같다.

Table 2. Curing conditions

	Curing condition (°C/hour)	Shore A Hardness	remarks
Type1	50°C(15)→60°C(10) →70°C(20)	54	
Type2	50°C(20)→70°C(20)	53	surface void

신규조성 추진제를 2종류의 경화조건으로 시험한 결과 Type 1,2 모두 각각 45시간 및 40시간에 요구된 경도 조건(50이상)을 만족하여 경화를 종료하고 몰드를 이형하였으며, 표면 및 내부상태를 검사한 결과 Type 1은 모두 양호하였고, Type 2는 추진제 온도의 급격한 변화로 내부 기공들이 Fig. 8과 같이 밖으로 빠져나오지 못하고 15% 정도 표면에 기포가 형성되었다.

따라서 최종적으로 신규조성 추진제의 경화조건은 Type1의 조건인 50°C(15시간)→60°C(10시간)→70°C(20시간)의 Step 경화조건을 설정하였다.



Fig. 8 Surface void of Propellant

4. 추진제 성능평가 시험

신규 조성 추진제는 생산성 향상을 위해 기존 조성 대비 경화시간을 단축하기 위한 최적의 프리폴리머, 경화제, 경화촉매, 결합제 조성을 도입하였다. 시험은 연소속도, 반응열, 기계적 특성 등의 추진제 기본 특성을 확인 후 내탄도 및

비행성능을 확인하는 순서로 진행하였다.

4.1 연소속도 및 반응열

일반적으로 추진제의 연소속도는 산화제인 AP(ammonium perchlorate)의 입자크기 분포에 크게 영향 받는다. 그러나 항력감소제 추진제의 연소속도는 AP의 입자분포에 의한 영향성이 작는데 그 이유는 일반적인 고체 추진제는 연소속도를 고압 조건인 1,000~1,500 psia 에서 측정하나 항력감소제 추진제는 대기압 조건인 14.7 psia 하에서 측정하게 되어있다. 즉, 추진제의 연소속도는 측정압력 조건에 매우 민감하나 항력감소제 추진제는 대기압 조건에서 측정하므로 그만큼 연소속도 민감도도 매우 적기 때문에 상대적으로 AP 입자 분포의 영향이 적다.[1-4]

또한, 항력감소제는 탄이 약 115초간 비행하는 중에 약 30초 정도의 작동시간을 가질 수 있어야 하며, 이 때 대기중 약 16km 상공까지 올라가게 되므로 1.93 ~ 14.7 psia까지의 압력 범위에서 효율적으로 연소할 수 있어야 한다. 따라서 항력감소제 추진제는 저압인 대기압 조건에서 연소속도를 측정한다[3].

Table 3은 연소속도 및 반응열에 대한 기존 조성과의 비교 결과로 규격에서 요구하는 성능 요구조건에 모두 부합됨을 확인할 수 있었다.

Table 3. Burning rate and Heat of reaction

	Burning rate (mm/s)	Heat of reaction (cal/g)
spec.	0.98 ~ 1.12	850 ↑
original Formulation	1.04	885
new Formulation	1.08	880

4.2 기계적 성질

항력감소제 추진제는 탄 발사시 급격한 회전 가속도 및 선형가속도가 발생하고 포구 내에 높은 압력이 발생하므로 이를 견딜 수 있는 높은 기계적 성질이 요구된다. 혼합형 고체추진제에

서 일반적으로 기계적 성질을 향상시키기 위해서는 추진제 내의 바인더와 고체 입자인 AP의 결합력이 중요하다. 물론 추진제의 Cure ratio를 조절하여 기계적 성질을 어느 정도 조절할 수 있으나, 근본적으로는 바인더와 고체 입자의 결합력을 증진시키는 것이 중요하여 결합제인 HX-752의 함량을 적절히 조절하여 기계적 성질을 향상시켰다.

Table 4. Comparison of the Mechanical properties

	Sm (bar)	Em (%)	Eo (bar)	Density (g/cc)	Hs
spec.	11.6 ↑	30 ↑	50 ↑	-	-
original Form.	13.0	50	65	1.510	65
new Form.	12.5	47	61	1.511	65

4.3 추진제와 연소방지제의 접착력

항력감소제 추진제 그레인 표면에는 연소방지제가 도포되는데 이 연소방지제는 항력감소제 연소시 추진제와 연소방지제 사이에 불꽃이 들어가는 측면 연소를 방지하는 역할을 하므로 추진제와 연소방지제 사이가 떨어져 있을 경우 점화되는 순간에 빠른 압력상승으로 인하여 그 틈이나 균열이 더 크게 진전되고 이 현상이 연소면적의 증가로 이어져 비정상적인 연소를 유발할 수 있다[6].

따라서 항력감소제는 일반적인 추진기관에 비해 높은 1.3daN/cm 이상의 박리 접착력을 규격에서 요구하고 있다. 신규 추진제 조성으로 제작된 시편 시험결과는 1.5 ~ 1.8daN/cm 수준으로 기존 조성의 평균 1.5daN/cm 수준과 비교해 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다.

4.4 추진제 응력완화시험(Stress relaxation test)

BBU는 고체추진제의 수명이 BBU의 Storage life와 직접적으로 연관되게 되며, 추진제의 기계적특성이 일정수준 이상으로 유지되어야 저장시 그레인의 형상이 안정적으로 유지되고 장기저장성이 우수해 진다[5]. 일반적으로 고체 추진제는 제조 후 저장기간이 증가함에 따라 응력이

완화되는 현상이 심하지 않아야 하며 이를 위해 제조 시 응력완화 특성을 예측, 점검하여야 한다. 이를 확인하기 위한 시험이 고체추진제 응력완화 시험이다. 시험은 추진제 인장시편에 일정비율의 Prestrain을 가한 후 시간에 따른 영률(Modulus)를 측정하였으며, 여러 온도에서 시간경과에 따른 응력완화 데이터를 구한 후 각 온도별 데이터를 기준 온도로 이동, 중첩시켜 하나의 마스터커브를 작성하게 되고 이를 통해 구조해석 시 기초자료로 활용하게 된다.

본 시험에서는 추진제 인장시편에 Prestrain 2%을 가한 후 -50 ~ +50℃에서 시간(0.1 ~ 10 min)에 따른 응력완화 모듈러스(E)를 시험하였으며 결과값은 아래 Table 5와 같다.

Table 5. Result of Stress relaxation test(Modulus)

℃	t(min)						
	0.1	0.2	0.4	1	2	4	10
50	20.7	19.8	18.8	17.5	16.6	15.6	14.6
40	21.4	20.3	19.3	17.9	16.9	16.1	14.9
20	21.4	20.3	19.4	17.9	16.8	15.8	14.4
0℃	28.9	25.6	22.8	19.7	17.7	16.2	14.5
-20	64.5	56.0	48.9	40.8	36.7	32.6	28.3
-40	98.9	93.3	92.0	77.7	64.5	56.6	46.5
-50	130.6	119.4	110.5	102.0	91.2	73.0	55.0

열유변학적 단순거동을 가정하면 위의 각 온도별 응력완화 특성값(Modulus)을 기준온도로 이동시킬 수 있으며 이를 위하여 이동계수(a_T)값을 산출하게 된다.

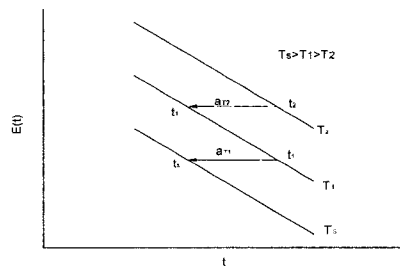


Fig. 9 E(t) Shift to standard temp. at T<T_s

T_s보다 낮은 온도에서 실험한 데이터는 기준 온도의 탄성률 곡선에 대해 좌측으로 이동하며,

기준 온도곡선으로부터 n번째 곡선이 이웃곡선과 중첩되기 위해서는 a_{Tn} 만큼 좌측으로 이동시켜야 한다.

$$\log a_{T1} = \log t_2 - \log t_1 \text{ 또는 } a_{T1} = t_2 / t_1$$

$$\log a_{T2} = \log t'_2 - \log t'_1 \text{ 또는 } a_{T2} = t'_2 / t'_1$$

이때 온도 T_1 에 대한 이동인자는 a_{T1} 이 되며 온도 T_2 에 대한 이동인자는 $a_{T1} \times a_{T2}$ 또는 $(\log a_{T1} + \log a_{T2} = \log a_T)$ 로 나타낸다. 이 과정은 각 온도에 대해 반복되고 가장 낮은 온도의 데이터에 대한 이동인자는 각 a_{Tn} 의 곱 또는 $\log a_{Tn}$ 의 합으로 나타낸다. 반대로 T_s 보다 높은 온도에서 시험한 데이터는 오른쪽으로 이동하게 되며 근접한 곡선에 중첩되기 위해서는 오른쪽으로 a_{Tn} 만큼 이동하여야 한다. 온도 T_3 에 대한 이동인자는 a_{T3} 이 되며 마찬가지로 온도 T_4 에 대한 이동인자는 각 a_{Tn} 의 곱 또는 $\log a_{Tn}$ 의 합으로 나타낸다.

$$\log a_{T3} = \log t_3 - \log t_4 \text{ 또는 } a_{T3} = t_3 / t_4$$

$$\log a_{T4} = \log t'_3 - \log t'_4 \text{ 또는 } a_{T4} = t'_3 / t'_4$$

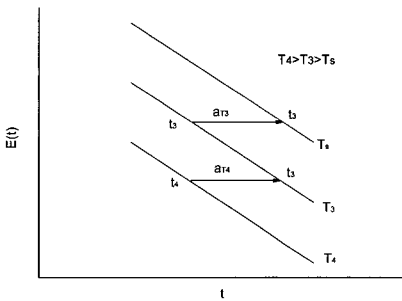


Fig. 10 E(t) shift to standard temp. at $T > T_s$

구해진 a_T (shift factor)를 기준온도의 E_s 와 임의온도에서 E_1 의 동일한 두 값 사이에 대해 대수시간 축에 따라 이동한 거리로 정의하고 온도를 T , 시간을 t , 환산시간(reduced time)을 t_{red} 라 하면 탄성률 곡선이 시간 축에 따라서 이동된 양(이동인자)은 다음과 같이 표현된다.

$$\log t_{red} = \log t - \log a_T = \log (t/a_T)$$

즉, 탄성률 곡선간의 이동은 각 온도에서 얻은 데이터의 해당시간을 그 온도에 대응하는 이동인자로 나누어 얻어지게 되며 구해진 환산시간을 아래의 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Calculation of Reduced time

Time (min)	$\log t_{red}$				
	50°C →20°C	20°C	-20°C →20°C	-40°C →20°C	-50°C →20°C
0.1	-0.851	-1.000	-3.773	-5.071	-5.560
0.2	-0.550	-0.699	-3.472	-4.770	-5.259
0.4	-0.248	-0.398	-3.171	-4.468	-4.958
1	0.149	0.000	-2.773	-4.071	-4.560
2	0.450	0.301	-2.472	-3.770	-4.259
4	0.752	0.602	-2.171	-3.468	-3.958
10	1.149	1.000	-1.773	-3.071	-3.560

위의 결과값으로부터 온도에서의 완화 탄성률 곡선을 a_T 만큼 이동/중첩시켜 Fig. 11과 같이 하나의 Master curve로 나타내며 이 과정에서 도출된 이동계수와 같은 변수들은 향후 BBU의 수명예측을 위한 구조해석 시 응용프로그램의 입력변수로써 활용할 수 있다.

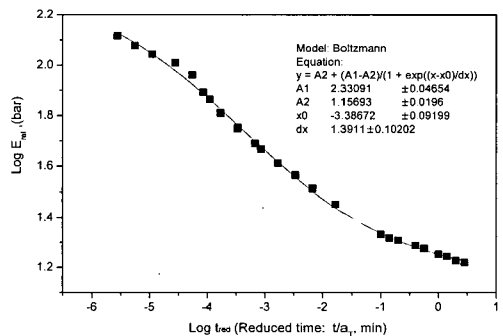


Fig. 11 Stress relaxation master curve

4.5 지상 연소 시험

항력감소제는 포구에서 발사된 후 약 16,000 ~ 18,000 rpm 정도까지 회전하며 이 때 탄의 회전은 탄의 연소거동에 상당한 영향을 미치며

로 회전상태에서의 연소시험을 통해 기존 조성과 신규 조성의 성능을 비교해 보았다.

장비의 회전은 전기 모터를 사용하였으며, 타이밍 벨트에 의해서 회전축과 연결되고 회전축의 회전속도는 Tachometer로 측정하였다. 시험을 통해서 궁극적으로 확인하고자 했던 사항은 추진제 간 연소시간 및 압력 변화 추이, 시험 종료 후 라이너의 형상을 비교하는 것이었다.

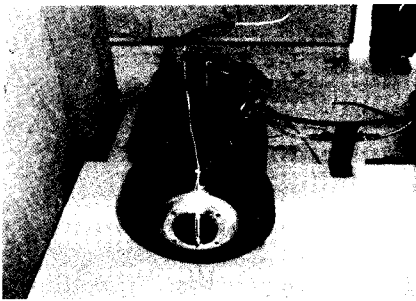


Fig. 12 Static Test Facilities

기존조성과 신규조성의 회전 상태에서의 연소 거동을 비교하기 위해서 0, 5,000, 10,000 rpm의 회전속도로 K307/310 각각에 대한 지상연소시험을 수행하였다.

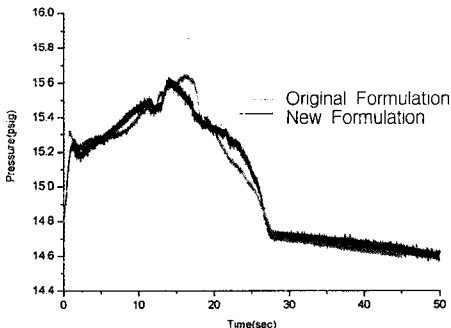


Fig. 13 Result of Static Test(K310, 10,000 rpm)

시험결과 획득된 연소시간과 평균압력 Data를 두 모평균의 차이가 같다는 귀무가설($u_1 = u_2$) 설정하에 t-검정(신뢰수준 95%)을 사용하여 통계적으로 분석하였다. Table 7은 K310에 대

한 연소시간 및 평균압력에 대한 t-검증 결과로 두 항목 모두 p-값이 $\alpha=0.05$ 보다 크므로 귀무가설을 기각할 수 없다. 즉, 기존 추진제와 신규 조성의 추진제 연소특성에 차이가 없음이 통계적으로 검증되었다.(Minitab ver.14 이용)

Table 7. t-test Result of K310 ($\alpha=0.05$, N=12)

	Type	\bar{X}	σ	P-value
Burn Time (sec)	Original	28.05	0.953	0.966
	New	28.03	0.921	
*P _{AV} (psia)	Original	15.31	1.03	0.981
	New	15.32	1.01	

*Average Pressure

4.6 비행 발사시험

항력감소제 신규 조성 추진제의 비행성능을 검증하기 위해서 K307과 K310 각각에 대해 3회의 비행발사시험을 수행하였으며, 기준탄 10발에 시험탄 3발을 적용하였으며 그 결과 정상 기준탄 대비 사거리 면에서 별 차이가 없음을 확인하였으며 두 제품간의 약간의 차이는 일반적으로 나올 수 있는 편차수준으로 실제 사거리 및 분산도 등 제품 성능상에 차이가 없다고 판단할 수 있다.

또한, 2개월 동안 60°C에서 가속노화된 탄을 동일한 방식으로 K307과 K310 각각 2회 비행시험을 수행하였으며 그 결과 역시 상기 시험된 일반시료와 마찬가지로 실제사거리 및 분산도 등 제품 성능 상에 차이가 없다고 판단할 수 있는 결과를 얻었다.

따라서 결론적으로 항력감소제 기존조성과 신규조성 간에는 성능상 차이가 없으며 장기 보관시에도 성능 저하의 우려가 없음을 확인할 수 있었다. Table 8,9는 155mm 완성탄의 비행 발사시험 결과로 신규 추진제 조성이 적용된 시험탄 3발의 결과 값들이 분산도 및 최소사거리율 계산에 적용된 Data(1~10)과 시험탄이 결과 계산에 적용되지 않은 Data(4~13)의 비교를 통해 신규조성의 성능을 확인한 결과이다.

Table 8. Result of Flight test(K307/k310)

Type	NO	Data(1~10)		Data(4~13)	
		*RPE (%)	Range (min %)	RPE (%)	Range (min %)
K307	1	0.3888	99.32	0.4014	99.06
	2	0.2802	99.19	0.3208	99.47
	3	0.2310	99.54	0.2488	99.41
K310	1	0.3049	98.87	0.3019	99.27
	2	0.3523	98.98	0.2143	99.37
	3	0.2931	99.17	0.3468	99.12

*Range Probable Error

Table 9. Result of Flight test(Aging BBU at 60°C)

Type	NO	Data(1~10)		Data(4~13)	
		RPE (%)	Range (min %)	RPE (%)	Range (min %)
K307	1	0.2748	99.47	0.2606	99.47
	2	0.1952	99.38	0.2178	99.41
K310	1	0.3499	99.14	0.2074	99.53
	2	0.2308	99.53	0.2092	99.53

*Range Probable Error

5. 결 론

항력감소제 신규조성 추진제는 현 국방규격에서 요구하는 연소특성 및 기계적 성질 등의 특성 요구조건 전 항목을 만족하며 경화시간을 현저하게 단축하면서도 추진제 혼화, 충전 및 이형 등 제조 공정성을 충분히 확보할 수 있었다. 아울러 내탄도 및 비행시험 결과 요구조건을 만족하여 기존 조성과의 품질면에서 차이가 없음이 검증되었다.

생산성 향상 측면에서 경화시간이 기존 96시간에서 45시간으로 53% 단축되었으며 이에 따

른 제조 금형 및 치공구 회전을 증가로 생산성이 21% 향상되어 생산 증대 효과를 거두었다. 이를 통해 적기 납품을 통한 조기 전력화 및 국가 위상 제고를 위한 원활한 수출업무에도 기여할 수 있게 되었다.

또한 경제적인 측면에서 생산성 증대를 위해 소요될 수 있는 금형 및 치공구 비용을 절감하였고 경화시간 단축을 통해 유틸리티 비용도 절감할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 제1개발본부, "Base Bleed Unit용 고체 추진제 개발", 국방과학연구소, 1994
2. 황준식, 김창기, 박봉업, 정명지, "사거리연장용 탄저부 항력감소장치 개발", 국방과학연구소, 1995
3. 박상호, "혼합형 고체 추진제의 저압하의 연소 특성", 충남대학교, 1997
4. 최성한, 박상호, 황준식, 김창기, "항력감소제용 저연소속도 추진제 조성연구", 유도무기 학술대회(추진기관 분야), 1998
5. 이경주, "혼합형 고체 추진제 온/습도 노화 특성", 한국추진공학회지, 제9권 2호, 2005, pp.46-53
6. 정병훈, 서태석, 홍명표 "고분자 경화제를 사용한 라이너와 HTPB 추진제의 접착력 및 접착공정 개선", 한국추진공학회지, 제10권 2호, 2006, pp.110-114
7. James Fillerup, Robert Pritchard, "Service Life Prediction Technology Program", AFRL-PR-ED-TP-1998-061