

항력감소제 공정 Lead time 단축을 위한 조성개발 연구

손현일* · 채경민* · 서 혁* · 최영기**

Research on the formulation of Base Bleed Unit for the reduction of process lead time

Hyunil Son* · Kyungmin Chae* · Hyuk Suh* · Youngki Choi**

ABSTRACT

BBU is the weapon system for the extension of range through the reduction of base drag in 155mm. It has been mass-produced since 2000. The purpose of this research is productivity increase through the reduction of process lead time. Development process is as follows. First, formulation tests about propellant and liner, Second, spin test and final firing test about end products.

초 록

BBU(Base Bleed Unit)는 155mm 탄에 부착되어 비행 중에 형성되는 탄저부 항력(Base drag)을 감소시켜 사거리를 연장시키는 무기 체계로 국내에서는 2000년 이후 양산화 되었다. 본 연구는 항력감소제용 저연소속도 추진제의 원료 조성 변화를 통한 공정 Lead time 단축으로 생산성을 향상시키는데 목적이 있으며 개발 과정은 추진제 및 연소방지제의 조성시험을 통한 기본적인 특성 확인을 거친 후 Spin Test 와 실제 발사시험을 통해서 최종 성능을 확인하는 순서로 진행하였다.

Key Words : Base Drag(탄저부 항력), Spin Test(회전 지상연소시험), Reduction of process lead time (공정 Lead time 단축), Pot life(공정 운영시간)

1. 서 론

항력감소제(Base Bleed Unit, 이하 BBU)는 탄에 생기는 항력의 50%를 차지하는 탄저부 항력(Base Drag)을 줄임으로써 탄의 사거리를 증대시킬 목적으로 개발되었다. 국내에서는 90년대에 개발을 시작하여 2000년도부터 (주)한화 대전공장에서 양

산되고 있으며, 2004년을 기준으로 할 때 연간 K307, K310 각각 약 0000발 수준의 생산능력을 확보하고 있다. 하지만 2005년 이후의 수요량 증대에 대비하고자 공정 소요시간을 단축시킨 추진제/연소방지제 조성을 개발하게 되었으며, 이를 통해 현 수준대비 60%의 생산량 증대가 가능하도록 개선시험을 진행하였다.

개발 과정은 크게 추진제 및 연소방지제 성능 시험, 회전 연소 시험, 비행 발사 시험 순으로 진행되었다.

* (주)한화 대전공장 품질보증부

** 국방품질관리소

연락처, E-mail: victory@hanwha.co.kr

2. 추진제 성능 시험

성능 확인을 위해 BP(가칭) 추진제에 대한 조성 시험을 수행하였으며 먼저 스트랜드 연소속도 조정 시험을 수행하고 바인더와 결합제 함량 및 당량비(NCO/OH)를 조절하여 기계적 특성을 확인한 후 대량생산에 필요한 공정성 개선시험 순으로 진행하였다.

2.1. 연소속도

2.1.1 산화제 비율에 따른 영향

BBU에서 추진제의 연소속도는 산화제인 AP 함량 및 입자크기에 영향 받는다. 본 시험에서는 AP 입자크기 비율, 즉 Blend Ratio를 통해 연소속도를 조절하였다. 시험 결과는 Table. 1과 같으며 산화제 Blend Ratio 조절만으로 규격 요구조건을 충분히 만족시킬 수 있음이 확인되었다.

Table. 1 AP Blend ratio에 따른 연소속도 비교

AP B/R(%)	Pressure(psi)	Burn rate(mm/s)
70/6(μ m)	14.7	1.02~1.12
36/38	14.7	1.10
39/35	14.7	1.08
42/32	14.7	1.06

2.1.2 저압 연소속도 시험

문헌[3]에 의하면 BBU는 탄이 약 115초간 비행하는 중에 약 30초 정도의 작동시간을 가질 수 있어야 하며, 이 때 대기 중 약 16km 상공까지 올라가게 되므로 1.93~ 14.7 psi의 압력 범위에서 효율적으로 연소되어야 한다.

Figure. 1에서 보듯이 저압에서의 연소 특성은 기존 BBU 추진제와 비교해 유사한 경향을 보이는 안정된 수준임이 확인되었다. 단, 그래프에 나타난 연소속도의 차이는 시험당시 사용된 시편의 14.7psi에서 연소속도 차이 0.05mm/s가 반영되었기 때문에 발생하였다.

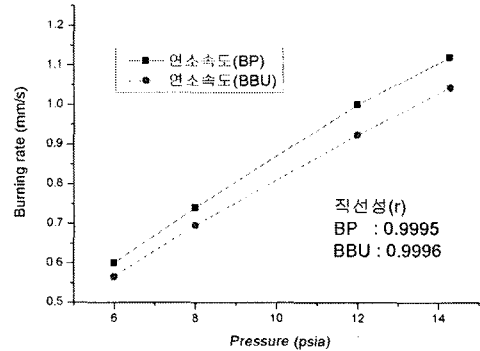


Fig. 1 저압 하에서의 연소속도 비교시험

2.2 기계적 성질

BBU 추진제는 탄 발사시 급격한 회전가속도가 발생하고 포구 내에 높은 압력이 발생하므로 높은 기계적 성질이 요구된다. 본 실험에서는 일반적으로 혼합형 고체추진제에서 기계적 성질을 향상시키기 위한 방법으로 사용되는 Cure ratio 조정 및 결합제 함량 변경 시험을 통해서 최적의 기계적 성질 구현하고자 하였다.

2.2.1 Cure ratio에 따른 영향

본 시험 결과를 통해 Cure ratio가 커질수록 Sm, Eo 및 Hs는 높아지고 Em은 감소함을 확인할 수 있었다. 만약 추진제의 Em이 너무 작아지면 취성이 증가하여 포구내의 높은 압력에서 추진제 그래인이 깨질 우려가 있다. 하지만, Cure ratio 0.83 조성은 다른 특성에 대한 규격 요구조건을 만족하면서 Em 또한 40~50% 사이로 안정되게 유지되므로 최종적인 BP 추진제의 조성으로 결정되었다.

Table. 2 Cure ratio에 따른 기계적 성질 비교

C/R	M/P	Sm	Em	Er	Eo	Hs
		11.5 ↑	30 ↑	-	50 ↑	55 ↑
0.77		13.2	74.54	90.00	29.80	60
0.80		14.0	55.47	60.76	43.58	65
0.83		15.2	42.76	48.33	61.69	70

2.2.2 결합제 함량에 따른 영향

앞의 Cure ratio에 따른 추진제 기계적 성질 시험 결과에서 최적 조성으로 확인한 Cure ratio 0.83 조성에 결합제인 TEPAN 함량을 0.15, 0.30, 0.45로 변화시켜 추가 시험을 진행하였다. 시험 결과 TEPAN을 0.3% 이상 적용한 조성에서는 신율이 증가함에 따라 영률이 감소하는 효과로 인해 BBU 추진제의 규격 요구조건을 만족할 없었으며 따라서 0.15%를 최적 조성으로 결정하였다.

Table. 3 결합제 함량에 따른 기계적 성질 비교

M/P	Sm	Em	Er	Eo	Hs
결합제	11.5 ↑	30 ↑	-	50 ↑	55 ↑
0.15%	14.0	42.54	55.94	59.94	67
0.30%	16.2	66.91	72.44	46.28	64
0.45%	16.8	83.22	88.99	39.42	63

2.3 충전 공정성

BP 추진제는 반응성이 강한 HTPB(R45HT)를 사용함에 따라 경화기간을 단축할 수 있었으나, 상대적으로 기존 BBU 추진제에 비해 점도 Build Up 속도가 빨라서 대량 생산되는 BBU 추진제의 특성상 9시간 이상의 Pot Life 확보가 어려웠다. 따라서 공정성 확보를 위한 방안을 다각도로 모색하였으며, 최종적으로 공정성 개선제 투입, 혼화조건 변경, 기타조건 변경 등의 방법으로 조성 시험을 진행하였으며 세부 내용은 아래와 같다.

2.3.1 공정 개선제에 의한 영향

BP 추진제는 조성시험 결과 R45HT의 영향으로 경화제 투입 4시간 후의 점도가 3.6kP로 공정에 적용이 불가능한 상황이었다. 그래서 사용하게 된 것이 안정제인 MD-4이며 MD-4의 공정성 개선 효과는 기존 개발 사업 등에서 검증된 바 있다.

실제로 BP 추진제에 MD-4를 0.015% 적용한 결과 아래와 같은 공정성 개선효과를 확인하였으며, MD-4 함량에 따른 공정성 개선 효과는 없는 것으로 확인됨에 따라 0.015%가 공정상 최적 조임을 확인했다.

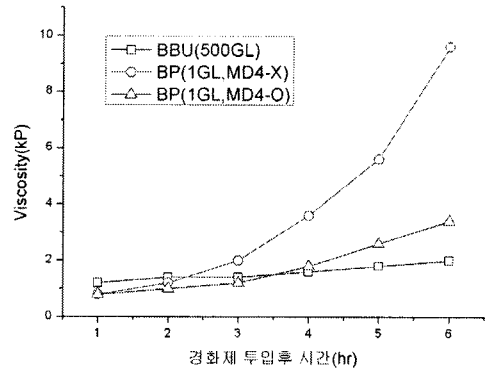


Fig. 2 MD-4 공정성 개선 효과

2.3.2 혼화 조건에 의한 영향

기존 BBU 추진제는 50℃에서 혼화되는데 비해 BP 추진제는 60℃ 혼화를 기본 조건으로 잡았으나 이에 따른 점도 상승효과가 커서 BBU와 동일한 50℃ 혼화시험을 진행하였으며 그 결과 BBU의 Pot Life 10시간과 동일한 수준까지 도달하지는 못했지만 제품 생산에는 문제가 없는 Pot Life 7시간 수준을 확보할 수 있었다.

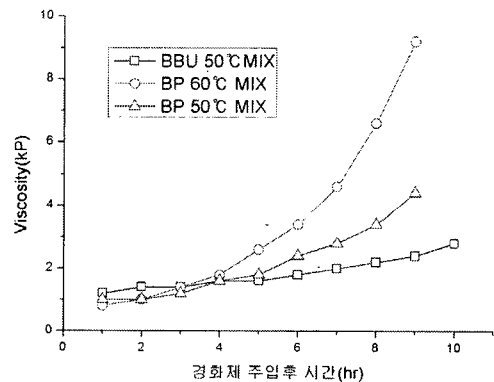


Fig. 3 혼화조건 변경에 따른 공정성 개선 효과

2.4 집착력

BBU 추진제 그레인 표면에는 K307의 경우 약 1.5mm, K310의 경우 약 2.0mm의 연소방지제 도포되는데 추진제와 연소방지제 사이가 떨어져 있을 경우 점화되는 순간에 빠른 압력상승으로 인해 그 틈이나 균열이 더 크게 진전되고 이 현

상이 연소면적의 증가로 이어져 비정상적인 연소를 유발할 수 있다. 따라서 일반적인 추진기관에 비해서 높은 접착력이 요구되며 BP의 시험결과는 1.43~1.45 daN/cm 수준으로 기존 BBU의 평균 1.5 daN/cm 수준과 유사한 것으로 확인되었다.

2.5 반응열

BBU에서 탄저부 압력을 증가시키기 위해서는 일정 수준 이상의 추진제 발열량이 요구되며 BP 추진제의 경우는 평균적으로 890 cal/g으로 BBU 추진제와 동일한 수준의 발열량을 나타냄을 확인할 수 있었다.

3. 연소방지제 성능 시험

신규 연소방지제는 기존 BBU 연소방지제(이하 HL001)과 비교해 고체입자의 함량이 20% 정도 적고 상대적으로 바인더 함량이 증가하여, 반응성이 우수한 HTPB (R45HT)를 사용하였음에도 불구하고 초기 점도를 더 낮게 유지할 수 있었다. 또한 모든 특성면에서 HL001과 유사한 기계적 성질을 나타내고 있으며, HTPB(R45HT)의 사용으로 인해서 경도 Build Up이 빨라 12시간 정도면 경화가 완료되는 것을 확인했다. Table. 4는 HL001과의 기계적 성질 및 공정 조건 차이를 비교한 내용이다.

Table. 4 BBU 및 BP 연소방지제 특성 비교

항목	BBU	BP
초기 점도	80 poise	50 poise
Sm	18.6	17.8
Er	351	316
Eo	14.7	15.9
Hs	30	28
경화조건	60±5°C 30시간	60±5°C 12시간

4. 지상 연소 시험

BBU는 포구에서 발사된 후 약 16,000 rpm 정

도까지 회전하며 이 때 탄의 회전은 탄의 연소 거동에 상당한 영향을 미치므로 회전하의 연소시험을 통해 BBU와 BP의 성능을 비교해 보았다.

시험을 통해서 궁극적으로 확인하고자 했던 사항은 추진제 간 연소시간 및 압력 변화 추이, 시험 종료 후 라이너의 형상을 비교하는 것이었다.

4.1 비교시험 결과

BBU와 BP의 회전하 연소 거동을 비교하기 위해서 0, 5000, 10000 rpm 의 회전속도로 K307/310 각각에 대한 지상연소시험을 수행하였다. 시험 결과 얻어진 연소시간, 최대압력, 평균압력에 대해서는 MINITAB을 이용한 비교 검정을 수행하였고 그 결과 신뢰수준 95% 범위에서 두 추진제의 성능 상에는 차이가 없음이 통계적으로 확인되었으며 비행 발사 시험을 통해서 최종 성능에 대해서 검증하고자 한다.

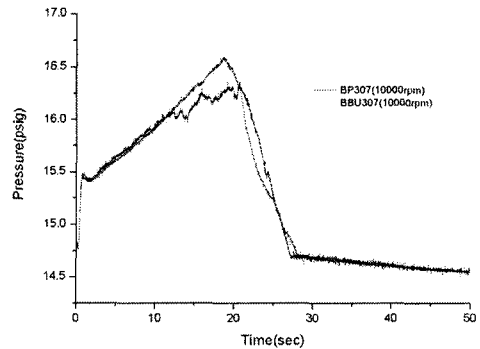


Fig. 4 K307 지상연소시험 결과 (10000 rpm)

5. 비행 발사 시험

BP 추진제의 최종 성능을 검증하기 위해서 K307 (064LOT)과 K310(067LOT)의 점검탄(가운탄) 각 3발에 시험용 시료를 적용하였으며 시험 결과 얻어진 사거리 및 사거리편차에 대해서 MINITAB을 이용한 비교 검정을 수행하였고 그 결과 신뢰수준 95% 범위에서 두 추진제의 성능 상에는 차이가 없음이 통계적으로 확인되었다. 아래 Table. 5는 기존에 시험된 BBU 수락시험 결과와 067 LOT의 수락시험 결과를 비교한 내용이다.

Table. 5 K307 064LOT 수락시험 결과 비교

구분		04년		05년
		048 LOT	050 LOT	064 LOT
시험탄	평균 (m)	00000	00000	00000
	편차 (m)	135.8	114.1	183.7
점검탄 (가온탄)	평균 (m)	00000	00000	00000
	편차 (m)	48.9	108.5	47.6
사거리 편차		99.4%	99.5%	99.3%

6. 결 론

지금까지 공정 소요시간 단축을 위한 BBU용 추진제 및 연소방지제 개발 과정에 대해 살펴보았다. 전체적으로는 추진제 및 연소방지제의 개별 특성 및 완성탄의 최종 성능 면에서는 기존 BBU와 유사한 결과를 확인할 수 있었으며 초기 목표로 했던 공정 소요시간도 상당 부분 단축하는 효과를 얻을 수 있었다.

신규 추진제 및 연소방지제는 경화시간 단축을 통한 생산성 증대효과, Tool 투자비용(제반투입비) 절감 효과, 원료 변경에 따른 재료비 절감 효과 등으로 연간 9700만원의 유형효과를 발생시키는 것으로 확인되었다.

향후 공정 운영은 추진제 공정성 문제로 인해 K310/307을 합쳐 000발을 배치크기로 가져가야 할 것으로 판단된다. 하지만, 공정 소요시간 단축을 통해서 주당 1BT 생산하던 기존 공정이 최대 주당 2BT 수준까지 생산 가능하게 됨에 따라 생산량은 주당 0000발 수준으로 기존 대비 60% 증가하게 될 것으로 판단된다.

7. 향후 연구 과제

현재까지의 연구결과 부족한 사항과 추가적으로 시험의 필요성이 제기된 아래의 항목에 대해서는 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

1. 지금까지 진행된 추진제와 연소방지제의 조성 시험은 상온에서 진행되어 저온과 고온에서의 특성에 대해서는 확인하지 못하였으므로 추가적으로 추진제와 연소방지제의 저/고온 물성에 대해서 확인할 예정이다.
2. 비행 발사 시험은 K307/310 가온탄에 각 3발씩 적용하였으나 전체적인 분산도 및 장기 저장 시 탄의 성능을 확인하기 어렵기 때문에 국방과학연구소 및 국방품질관리소와 협의 후 K307/310 각각에 대한 발사시험을 추가적으로 진행하여 최종 성능을 입증하여야 할 것으로 판단된다.
3. 비행 발사시험과는 별도로 추진제 및 연소방지제에 대한 장기 노화특성 시험 수행을 통해서 장기 저장 시 추진제 및 연소방지제 특성상에 문제는 없는지 확인해야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 제1개발본부, "Base Bleed Unit용 고체 추진제 개발(I)", 국방과학연구소, 1994
2. 황준식, 김창기, 박봉엽, 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