

Shotgun & RQ Bomb시험에 의한 추진제 폭연 특성

유지창* · 김창기* · 이경주*

The Study on Solid Propellant Deflagrability by Shotgun & RQ Bomb Test

Ji-Chang Yoo* · Chang-Ki Kim* · Kyung-Joo Lee*

ABSTRACT

This Study is to investigate 8 composite propellants including Butacene and Bi_2O_3 by Shotgun/RQ Bomb test. Burning rate and mechanical property are known to be major factors in determining the deflagrability of propellant. Propellant including over 5.5% Butacene(Ferrocene grafted HTPB) burned out over 135 m/s of impact velocity during Shotgun/RQ Bomb test. It was known that Butacene was very sensitive material under high velocity impact. In the test results, propellants under 25mm/s in burning rate at 1500 psia could meet the requirements for IM of UN Test Series 7c(ii). Propellant deflagrability depends on burning rate at performance in the results of the present.

초 록

본 연구에서는 Butacene과 Bi_2O_3 함량 변화에 따라 혼합된 추진제 8종을 대상으로 Shotgun/RQ Bomb 시험에 의한 추진제 폭연 특성을 살펴보았다. 추진제 연소속도와 기계적 특성은 추진제 폭연 특성에 크게 영향을 줄 수 있는 인자로 알려져 있다. 바인더이면서 연소촉매로 작용하는 Butacene (Ferrocene grafted HTPB)의 함량이 5.5% 이상에서는 탄속 135 m/s에서 모두 연소되었는데, 이는 Butacene이 고속으로 충격시 매우 민감한 물질로 작용함을 알 수 있었다. 시험 결과 추진제의 연소속도가 압력 1500 psia에서 25 mm/s 이하의 추진제는 UN Test Series 7c(ii) 규격을 만족하였다. 현재까지의 결과로 볼 때 추진제의 폭연 특성은 추진제의 연소속도에 의존하는 것으로 판단된다.

Key words; 추진제, 폭연특성, Shotgun/RQ Bomb 시험, 연소속도

1. 서 론

추진제의 폭연특성을 실험실 규모에서 측정하

는 시험 방법으로는 NAWC에서 개발한 BIC (Ballistic Impact Chamber) 시험과 SNPE에서 개발한 Shotgun/RQ Bomb 시험이 있다. SNPE에서

● 2002년 5월 17일 접수 ~ 2002년 9월 5일 심사 완료
* 정회원, 국방과학연구소(Agency for Defence Development)
주연락자 E-mail= yoojic@dreamx.net

대전시 유성우체국 사서함 35-5(기술-4-6)

는 화약과 추진제가 UNO 위험등급 분류체계에 서 1.6급수(우연한 개시나 반응의 전환 가능성이 거의 없는 매우 둔감한 물질)로 분류되는 기준을 UN Test Series 7c(ii)에 탄속 150 m/sec에서 dp/dt 가 15 MPa/ms 이내로 규정하고 있다.

기존의 HTPB/AP 추진제는 급·완속 가열 시험과 탄자, 파편 충격시험과 같은 IM(Insensitive Munition) 시험에 격렬한 반응을 할 수 있는 것으로 알려져 있다. 탄자 충격에 민감한 추진기관의 경우, 기존의 HTPB/AP 추진제의 산화제인 AP를 고밀도의 비활성 첨가제인 Bi_2O_3 로 대체하므로써 바인더의 부피 분율을 증가시키고 추진제의 기계적 특성을 증진시켜서, 탄자 충격 시험의 민감도를 떨어뜨릴 수가 있다. 이 경우 추진제의 비추력(I_{sp})은 떨어지나, 밀도가 증가하면서 단위 부피당 총추력($\rho \times I_{sp}$)은 큰 변화 없이 유지될 수가 있고, 추진제의 연소 특성을 유지시킬 수가 있으며, 추가적인 추진 기관 설계 변경 없이도 본래의 성능을 만족시킬 수가 있다.

본 연구에서는 Butacene과 Bi_2O_3 함량 변화에 따라 혼합된 추진제 8종을 대상으로 Shotgun/RQ Bomb 시험에 의한 추진제 폭연 특성을 살펴보았다. 추진제 연소속도(burning rate)와 기계적 특성은 추진제 폭연 특성에 크게 영향을 줄 수 있는 인자로 알려져 있다. 바인더이면서 연소촉매로 작용하는 Butacene(Ferrocene grafted HTPB)의 함량이 5.5% 이상에서는 탄속 135 m/s에서 모두 연소되었는데, 이는 Butacene이 고속으로 충격시 매우 민감한 물질로 작용함을 알 수 있었다. 시험 결과 추진제의 연소속도가 압력 1500 psia에서 25 mm/s이하의 추진제는 UN Test Series 7c(ii) 규격을 만족하였다. 현재까지의 결과로 볼 때 추진제의 폭연 특성은 추진제의 연소속도에 의존하며 판단된다.

2. 본 론

2.1 이론적 배경

2.1.1 위험등급분류

현재 국제적으로 위험한 물품의 위험등급 분류에는 위험물질의 수송을 관장하는 UNO(United Nations Organization)의 위험등급 분류코드(hazard classification code)를 사용하고 있다. UNO의 분류체계는 위험물질을 9등급(class)으로 분류하며 이중 화약, 추진제 및 무기의 적용 가능한 등급은 등급 1과 등급 6이다[1,2]. 그러나 등급 6은 화약성분이 포함되지 않은 폭발진압용 물품에 적용하므로 화약, 추진제 및 무기와 같은 폭발물은 실제적으로 모두 등급 1로 분류되고 있다. 등급 1은 위험물이 반응시 나타내는 위험수준과 성질에 따라 6구분(division)으로 나누어지는데 이는 다음과 Table 1과 같다.

Table 1 UNO hazard classification system

| Class / Div | Description |
|-------------|-------------------------------------|
| 1.1 | Mass Detonating |
| 1.2 | Non-Mass Detonating/Fragment Hazard |
| 1.3 | Mass Fire |
| 1.4 | Individual Fire |
| 1.5 | Insensitive Substances |
| 1.6 | Insensitive Article |

1970년대 후반부터 시작된 둔감화약 및 둔감 무기의 위험등급분류에 대한 결과로 1988년 당시까지 화약 및 무기를 1.1~1.4급수로 분류하던 체계에서 둔감화약에 대해서는 1.5급수를, 둔감 무기에 대해서는 1.6급수를 부여하는 등 위험분류등급 체계를 개정하고 또한 이들을 평가하기 위한 시험방법을 제정한 바 있으며 이 규정에 의해서 분류된 위험등급을 화약, 무기 등 폭발물의 수송 및 저장 시 적용하고 있다. 1.5 급수는 비록 집단 폭발하는 1.1 급수 특성을 갖는 화약이지만 대단히 둔감하여 수송이나 저장 중 반응이 개시되거나 연소반응에서 폭발반응으로 전환될 가능성이 거의 없는 화약물질이다.

UNO 위험분류체계에서 신규로 추가된 1.6 급수는 위에서 언급한 것과 같이 대단히 둔감한

폭발물질을 포함하는 물품(Article containing extremely insensitive detonating substance)을 말하며 의미는 다음과 같다. 1.6 급수(Class/Division 1.6)는 EIDS(Extremely Insensitive Detonating Substance)만이 충전된 EEI(Explosives, Extremely Insensitive) 물품(article)으로 이루어지며, 이는 Test Series 7을 통과하므로 정상적인 수송조건에서 우연한 반응의 개시(initiation)나 반응의 확산(propagation) 가능성이 거의 없음이 입증된 물품이다[2,3]. UNO 위험분류체계 1.6급수를 부여 받기 위해서는 UN Test Series 7 시험 전에 UN Test Series 3, 4 (Impact Friction, Thermal Stability, Response to flame 등)를 통과한 물질에 대하여 UN Test Series 7을 통과하여야 한다. UN Test Series 7은 물질시험(substance test)과 물품시험(article test)으로 구분되며 물질시험은 Extremely Insensitive Detonating Substance Test를 줄여 흔히 EIDS 시험이라 부른다.

2.1.2 추진제 폭연특성

HTPB/AP계 유연 추진제는 일반적으로 탄자 충격에 취약한 것으로 알려져 있으며, 특히 철 화합물 등의 연소촉매를 함유한 추진제의 경우 탄자 충격에 더욱 취약한 것으로 알려져 있다. 이러한 추진제의 경우 산화제인 AP를 Bi_2O_3 등과 같은 고밀도 첨가제로 대체함으로써 바인더의 파괴분율을 증가시킬 수 있다. 이 경우 추진제의 toughness가 증가되어 탄자 충격에 대한 취약성을 상당히 감소시키는 것으로 알려져 있다. 이와는 반대로 NEPE계 추진제는 탄자 충격에는 HTPB/AP계 추진제에 비해 덜 민감하고, 가열특성에는 상대적으로 취약한 것으로 알려져 있다. 파편충격과 동조폭발시험은 추진제의 속 감도에 의존하며 이러한 반응을 만족시키기 위해서는 1.3급수를 만족시켜야 한다.

IM 요구조건에 부합하는 추진제를 개발하기 위해서는 이에 따른 추진제 특성을 평가하는 시험 방법이 필요하며, 둔감추진제 특성 분야는 크게 폭굉성(detonability), 가열성(Cook-Off), 폭연성(deflagrability)과 의 세 가지로 분류할 수 있

다. 시험에 필요한 추진제는 1 gallon 이하의 소량의 추진제 혼합으로 이루어지며, 실험실 규모의 스크린 시험(screening test)을 거쳐서 둔감 추진제의 요구조건을 만족하는 추진제 조성을 선택하여 추진제의 scale-up과 모터 시험 유무를 결정한다. 모터가 폭굉을 일으킬지를 알아보기 위해 상대적으로 소량의 추진제를 사용하는 스크린 시험으로 NOLLSGT(Naval Ordnance Laboratory Large-Scale Gap Test)가 있으며, NOLLSGT의 1.1과 1.3급수의 기준은 PMMA카드 수 70장이다. 이보다 규모가 큰 시험으로는 NSWC에서 개발된 ELSGT(Expanded Large-Scale Gap Test)가 있으며, 이 경우 1.1급수와 1.3급수의 기준이 되는 카드 수는 180장이다.

추진기관에 열을 가하는 현상과 그로 인한 결과를 통칭해 가열성이라 하며, IM 가열 시험은 높은 가열 속도(Fast Cook-Off, FCO)와 낮은 가열 속도(Slow Cook-Off, SCO-3.3C/h)에서 수행한다. 추진제의 가열성을 스크린하는 시험으로 Small Scale Cook-off Visualization(SCV)와 Butckers 시험이 있다. 또한 탄두나 폭탄에 대한 가열성 평가 방법으로 Small Scale Cook-off Bomb(SCB) 시험 방법이 있으며, 이를 개선하여 로켓 모터의 가열성 평가 방법으로 사용할 수도 있다[4].

폭연성은 모터 케이스에 탄자나 파편에 의해 추진제가 점화, 연소되어 로켓 모터의 파열이나 폭발등의 현상을 초래하는 특성을 의미한다. 이러한 특성은 과거에는 소규모 유사 로켓 모터(Sub-scale motor)를 사용한 탄자나 파편 충격 시험에 의해 대부분 수행, 확인하여 왔으나, 그러한 시험을 수행하기에는 비용이 너무 많이 들기 때문에 실험실 규모의 시험 방법에 대한 연구가 여러 나라에서 진행되어 왔다. 이 중 NSWC에서 개발된 Ballistic Impact Chamber(BIC) 시험이 Insensitive Munition Advanced Development(IMAD)에 의해 추진제 폭연성 스크린 시험에 가장 적합한 시험 방법으로 평가되어 현재 IMAD에서 개발 중인 추진제에 대해서는 모두 적용되고 있다. 또한 NAWC에서 개발된

Burn-to-violent-reaction(BVR) 시험은 IMAD에 의해 폭굉이 가능한 추진제에 대한 XDT(Delayed transition to detonation, X is unknown), SDT(Shock to detonation transition) 특성을 평가하는데 필요한 표준 평가 방법으로 평가된다. 한편 폭연성을 측정하는 또 다른 방법인 Shotgun & RQ Bomb 시험은 SNPE에서 개발된 것으로 UN Test Series 7에서 정의하고 있는 friability 시험과 동일한 시험이며, SNPE 자체연구에서 탄자 충격 시험(bullet impact test)과 밀접한 상관관계가 있다는 결과를 발표한 바 있다 [4,5,6].

2.2 시험 장치 및 방법

추진제에 대한 폭연성을 평가할 수 있는 시험 기법인 Shotgun & RQ Bomb 시험 또는 Friability 시험은 UN Test Series 7의 “Test 7(c) ii” 와 “7(d) (ii)”로 규정되어 있다.

Friability를 사전에서 찾아보면 “부서지기 쉬움” 이라고 표현되어 있다. 단어가 의미하듯이 이 시험의 목적은 EIDS 후보가 충돌상태에서 고 변형을 변형 특성 및 변형 후의 민감도 변화를 평가하는 시험이라 할 수 있다. 추진기관이 보관·수송 중 또는 운용 중에 고속의 파편, 탄자의 공격을 받거나 비행 탄체가 견고 표적에 충돌하는 경우 추진기관 내에 충전된 추진제 역시 고 변형률로 변형되고 이로 인하여 기계적 변형이 발생한 추진제는 변형·파괴된 후 수반되는 열, 속 등의 충격에 의해 반응성이 커져 폭발 및 폭굉으로도 이어지게 된다. Friability 시험은 이러한 동적 기계적 충격에 대하여 화약 및 추진제의 반응 정도를 알아보기 위한 시험이며, 충격을 받아 기계적 변형이 생긴 화약에 대한 연소시험 결과로부터 얻은 시간당 압력변화율(dP/dt)을 통하여 그 화약의 반응형태가 외부의 동적 충격에 대하여 폭발(detonation)로 전이 될지 혹은 폭연(deflagration)이나 연소(burning)로 반응할지 여부를 평가한다. Friability 시험 방법은 직경이 18 mm, 무게 9 g 인 원통형 시편을

두께 20 mm의 강철판에 150 m/sec 속도로 충돌시킨 후 변형된 추진제를 포집하고, 이를 평균 직경이 0.75 mm인 흑색화약 0.5 g과 hot wire(M 100)로 구성된 점화 백을 사용하여 체적이 108 cc이고 시간당 압력변화를 측정할 수 있는 closed bomb에서 연소시킨다.

이때 계측된 압력변화 결과로부터 dP/dt를 계산하고 최대 값을 구한다. UN Test Series 7에서 Friability 시험의 통과기준(Pass/Fail criteria)은 충돌속도 150 m/s에서 시험한 후 연소시험 결과인 dP/dt의 최대 값들의 평균값이 15 MPa/ms 이하이면 시험물질은 EIDS에 통과한 물질로 규정하고 있다[5,7].

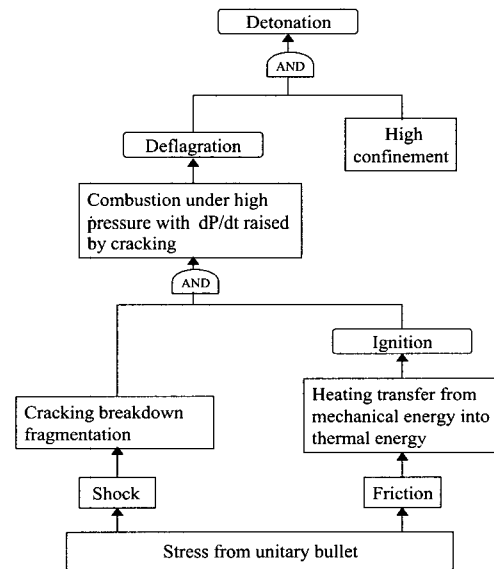


Fig. 1 Reaction process by bullet impact

탄자 충격에 의한 추진제의 반응 과정은 Fig. 1에 나와 있는 것과 같이 추진기관에 고속의 탄자가 충돌하면 응력이 발생하고 이로 인하여 추진기관 내부에 있는 추진제는 잘게 부서짐과 동시에 마찰이 생기며 이로 인하여 열에너지가 발생하여 부서진 추진제의 연소가 개시된다. 추진기관 내부에서 추진제의 부서진 정도가 크면 연소면적의 증가로 내부압력이 증가될 것이며, 이

와 더불어 추진제가 추진기관내에서 밀폐되어 있을 경우 내부압력의 상승 속도는 더욱 증가하여 결국에는 폭연에서 폭굉으로 반응이 확산되는 DDT (deflagration to detonation transition) 현상을 보이게 된다.

Friability 시험에서 원통형 형태의 추진제를 충돌판에 충돌시킨 후 부서진 추진제는 회수하여 closed bomb에서 연소시킨 후 이 때 발생하는 dp/dt 를 관찰하면, 탄속에 따른 추진제의 충돌 현상이 위에 설명한 탄자 충격의 반응과정과 유사함을 알 수 있다. Friability 시험은 소량의 시편으로 실험실 규모에서 수행이 가능하여 탄자 충격 시험에 비하여 시험 횟수에 제한이 없어 UN Test Series 7에서 정의된 것과 같은 후보 조성에 대한 충격의 반응정도를 빠른 시간 내에 쉽게 알 수 있다. 또한 Friability 시험의 반응과정과 탄자 충격 시험의 반응과정이 유사하기 때문에 Friability 시험결과로부터 탄자 충격 시험결과를 예측할 수 있을 뿐만 아니라, Friability 시험 결과만으로 EIDS의 충격에 대한 기준을 만족하는지를 알 수 있기 때문에 둔감추진제 조성의 개발단계에서 실험실 규모의 screening 시험으로서 매우 유용하다 할 수 있다.

Friability 시험 연구는 미국, 프랑스 및 기타 국가에서 초기에는 추진제를 대상으로 연구가 시작되었고, 현재는 점차 확대되어 화약 및 추진제에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다.

2.2.1 시험 장치

Friability 시험에서 시험장치는 크게 압축공기를 이용하여 시편을 빠른 속도로 발사시키는 air gun 장치, 시편을 손상 없이 air gun에서 발사시킬 때 사용되는 sabot, 시편이 충돌하는 충돌판과 부서지는 조각들을 회수하는 포집 장치, 시편의 속도를 측정하는 속도측정장치, 회수된 시편 조각들을 연소시켜 압력변화율을 측정하는 closed bomb으로 나눌 수 있다[7].

Fig. 2는 Friability 시험 과정에 대한 개념도이다. air gun 장치, photo sensor를 이용하여 시편

의 발사속도를 측정하는 장치와 시편이 충돌되는 25 mm steel plate와 충돌 후 시편 조각을 3단계로 포집하는 장치 등 크게 세 부분으로 이루어져 있으며, 총 길이는 5 m이다.

Air gun으로부터 발사된 시편은 속도 측정장치에 도달하기 전에 분리가 되며, 시편은 계속해서 진행하여 설치된 충돌판에 부딪히고 시편의 물성에 따라 여러 조각의 파편으로 부서지게 된다. 여기에서 air gun에서 발사되어 충돌판까지 도달하기 위해서는 시편이 방호 판과 속도측정장치, 그리고 포집 장치를 통과하게 되며 이때 시편이 통과하는 부분과 충돌이 발생하면 시험을 수행할 수 없기 때문에 air gun의 정렬과 통과되는 부분의 공간을 시편 크기보다 충분히 크게 해주어야 한다. Friability 시험을 수행하기 위하여 제작된 시험장치에 대하여 장치별로 설명하면 다음과 같다.

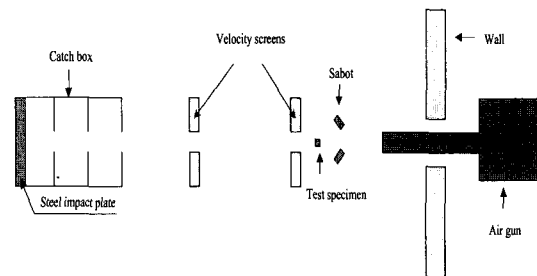


Fig. 2 Schematic diagram of Shotgun test

Fig. 3과 Fig. 4는 sabot의 도면과 사진을 나타낸 것이다. sabot 재질은 PE(polyethylene)이며, 초기형태가 분리가 잘 안되는 원인을 분석하여 sabot의 내·외경 공차를 조절하여 분리가 용이하도록 제작하였고, 내·외경 뿐만 아니라 2조각이 접촉하는 튼니형태도 작게 하여 접촉면적을 줄였다.

충돌 판은 열처리하여 HRC 50인 17-4PH steel을 사용, 두께 25 mm로 가공하여 제작하였다. 일정속도로 발사된 시편은 충돌 판에 충돌 후 시편의 물성에 따라 작은 조각으로 깨진다. 포

집 장치는 충돌 후 주변으로 퍼지는 조각들을 일정 공간 안에 손실 없이 수집하기 위하여 3단으로 제작하였다.

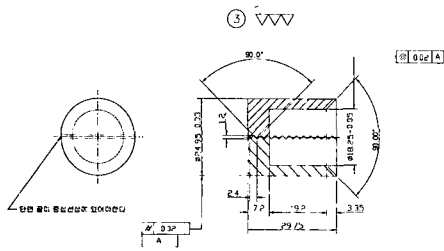


Fig. 3 Sabot Drawing

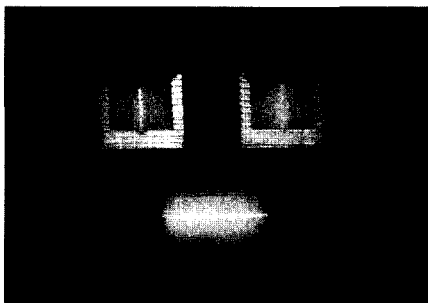


Fig. 4 Shape of Sabot

Air gun에서 발사된 시편의 속도를 정확히 측정하기 위하여 photo 센서를 사용하여 계측장치를 구성하였다. photo 센서는 독일 di-soric사의 Model No. OGW-V4055으로 고속 물체의 감지를 위하여 dynamic switching, pnp NO(normal open) type을 사용하였다. Normal open type은 센서 사이로 물체가 지나갈 때 신호가 high level에서 low level로 떨어지는 것을 의미한다.

Air gun 시험장치를 이용하여 충돌 시험을 수행하고 조각난 시편을 포집한 후 시간당 압력상승률(dP/dt)을 계산하기 위하여 용적 108 cc인 closed bomb에서 연소시험을 수행하였다.

Fig. 5는 연소시험에 사용한 closed bomb 시스템의 장치도이다. Closed bomb에서 시편을 연소

시켜 나오는 압력은 압력센서(Kistler, 6211)를 통하여 오실로스코프로 저장되고 오실로스코프에서 계측된 압력 데이터로부터 시간당 압력변화율(dP/dt)을 계산하여 데이터 전송 프로그램을 통하여 PC에 저장된다. Closed bomb은 몸체와 연소가 이루어지는 연소실(combustion chamber), 점화장치와 시편이 조립되는 firing head, 압력 transducer와 relief valve가 있는 opening head로 나눌 수 있고, 수평으로 설치하였다. Closed bomb 옆에 연소시험 후 closed bomb 몸체에 설치되어 있는 jacket을 통하여 냉각수를 순환시켜 상승된 내부 온도를 20℃로 유지시켜 주는 냉각장치가 함께 붙어 있다. 연소시험이 이루어지는 closed bomb은 시편이 연소될 때 발생하는 높은 압력에 견딜 수 있도록 몸체는 충분한 강성을 가져야 하며 구성품들이 조립되는 부분에서 고압의 연소가스가 새어 나지 않도록 완전히 밀폐시켜야 한다.

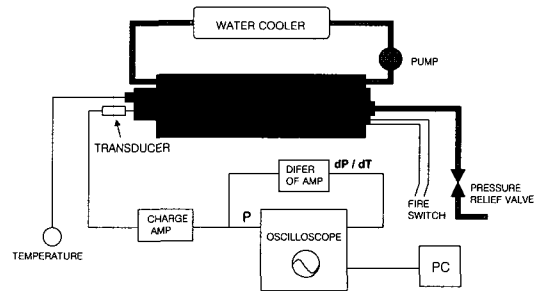


Fig. 5 Schematic Diagram of Closed Bomb

Closed bomb의 몸체는 높은 연소압력을 견딜 수 있도록 설계 제작해야 한다. 본 연구에 사용된 closed bomb의 몸체는 외경이 219.1 mm이고 연소실이 조립되는 내경이 50.7 mm로 되어있다. 몸체의 재질은 alloy steel로 제작되어 최고 206.84 MPa 압력까지 견딜 수 있게 설계하였다.

라이너는 closed bomb 안에서 실제적으로 화약의 연소가 이루어지는 곳이다. 본 연구에 사용된 closed bomb은 Friability 시험기법 개발을 위한 연소시험 수행 전에는 추진제의 연소속도

를 계산하기 위해서 사용되었기 때문에 라이너의 체적이 108 cc가 아니고 200 cc로 고정되어 있었다. 그러나 Friability 시험 규정에 의해 충돌 시험 후 회수된 화약을 108 cc의 연소실에서 연소시키게 되어 있어 라이너의 체적을 108 cc로 재 설계하였다. Firing head에 조립되는 점화장치는 M-100 electric match와 흑색화약(black powder)으로 구성된다. M-100 electric match는 두 가닥의 전선과 몸체로 이루어 졌으며 흑색화약을 점화시키기 위하여 DC 12V의 battery 전압이 사용된다. 흑색화약은 시편을 점화, 연소시키기 위한 점화도움물질이며 Friability 시험규정에 나와 있는 것과 같이 0.5 g을 정확히 계량하여 cellulose paper에 M-100 electric match와 함께 세지 않도록 잘 포장하였다.

2.3 결과 및 고찰

철과 Butacene 연소촉매를 함유한 B 추진제와 B 추진제를 둔감화한 A 추진제의 폭연 특성을 살펴보기 위하여 Shotgun & RQ Bomb시험을 수행하였다. B-1 추진제는 연소촉매로 Butacene을 5.5% 함유한 추진제로 기준 연소속도는 1500 psia기준에서 41.1 ± 2 mm/sec이다. 이 추진제의 폭연성을 살펴보기 위해 Shotgun & RQ Bomb시험을 수행한 결과에서 탄속 135 m/sec에서 전소하였다. 따라서 B-1 추진제는 고속의 기계적 부하를 가할 경우 쉽게 연소하는 추진제임을 알 수 있으며, 추진제 본래의 충추력을 유지하면서 폭연 특성을 개선하기 위해서 고밀도 불활성 첨가제인 Bi_2O_3 를 사용하였다.

A-1~A-4추진제는 Bi_2O_3 함량을 5%로 고정하고 연소촉매인 Fe_2O_3 와 Butacene 함량을 조절한 것으로 각 추진제의 연소속도를 Table 4에 나타내었다. Bi_2O_3 함량을 5%로 하고 Butacene 함량이 5.5%인 A-4 추진제는 B-1 추진제와 마찬가지로 135 m/sec에서 전소하였다.

Fig. 6은 Shotgun시험을 수행하였을 때 A-3 추진제의 탄속에 따른 부서진 형상이다. 시험은 탄속 130, 150, 160, 170 m/sec에서 각각 3회씩 실시하였다. 탄속 증가에 따라 시편의 부서진

조각이 증가하였음을 알 수 있었고, 150 m/sec의 탄속 이상에서는 검게 그을린 부분이 있었는데 이것은 고속의 기계적 충격에 의하여 일부가 점화되었으나 연소로까지 진전은 되지 않음을 보여준다.

Table 4 Burning Rate and Toughness of Propellants

| Propellant | $r_b @ 1500 \text{psia}$ (mm/sec) | Toughness | Remark |
|------------|--------------------------------------|-----------|---|
| A-1 | 20.85 | 1.269 | Bi_2O_3 5%, Fe_2O_3 1% |
| A-2 | 24.04 | 1.170 | Bi_2O_3 5%, Fe_2O_3 2% |
| A-3 | 24.07 | 3.352 | Bi_2O_3 5%, Butacene 3% |
| A-4 | 37.18 | 2.231 | Bi_2O_3 5%, Butacene 5.5% |
| B-1 | 41.70 | - | Butacene 5.5% |
| B-2 | 15.65 | 2.765 | Butacene 0% |
| B-3 | 28.60 | 1.017 | Butacene 3% |
| B-4 | 28.64 | 2.762 | Butacene 3% |
| C | 25.76 | 24.00 | |
| D | 14.95 | 2.305 | |

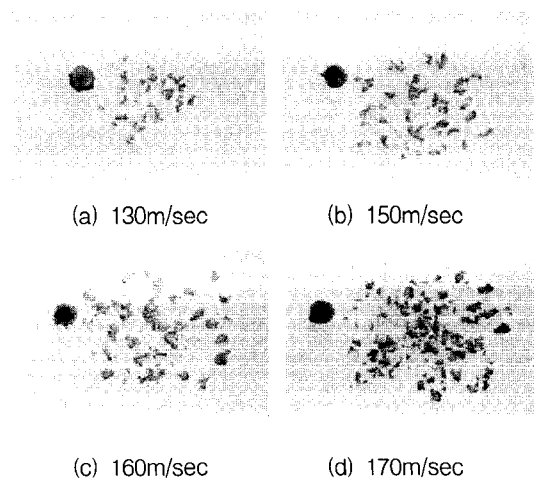


Fig. 6 Broken Shape of A-3 Propellant according to Impact Velocities

Fig. 7은 시험 대상 추진제들의 연소속도에 따른 dP/dt 를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 연소속도 25 mm/sec 이하의 추진제는 dP/dt 가 EIDS의 기준치인 15 MPa/ms이하로 나타났다.

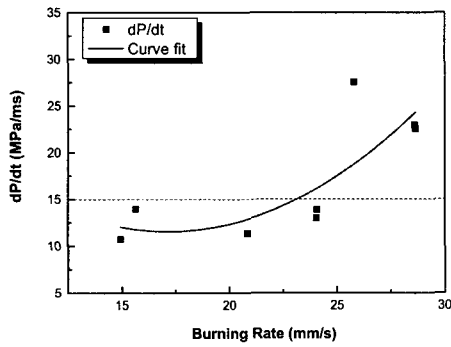


Fig. 7 The dP/dt according to Burning Rate (Pressure: 1,500 psia)

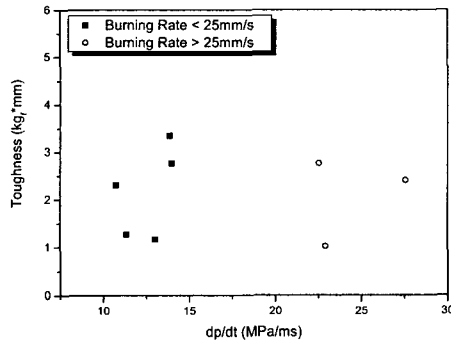


Fig. 8 The dP/dt according to Toughness

Fig 8은 추진제의 Toughness에 따른 dP/dt 를 나타낸 것인데, 두 값의 연관성이 크게 나타나지 않고 있다. 이는 통상 추진제의 기계적 특성인 Toughness가 클 경우에 탄속에 의한 추진제가 덜 부서지게 되고, 연소속도가 낮아지고 dP/dt 가 낮아지게 되는데, 현재의 결과는 크게 변하지 않는 것을 볼 수 있다. Toughness와의 관

계는 추가적인 시험을 통해 이를 보완할 예정이다.

Fig 9는 시험 대상 추진제 8종의 탄속별 $(dP/dt)_{max}$ 값을 하나의 그림에 나타낸 것으로 UN Test Series 7c(ii)의 EIDS의 기준치를 부합하는 추진제는 4종으로 모두 압력 1500 psia에서 연소속도가 25 mm/s이하인 추진제로 나타났다. 이 추진제 중 A-3 추진제와 B-2 추진제는 탄속 150 m/s에서 $(dP/dt)_{max}$ 값이 13.86MPa/ms로 UN

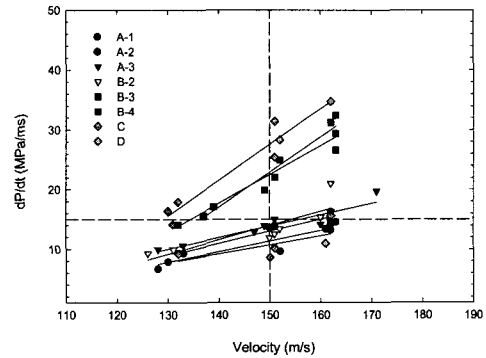


Fig. 9 The $(dP/dt)_{max}$ according to Impact Velocities of Propellants

Test Series 7c(ii)의 EIDS의 기준치를 넘지 않은 반면 B-4 추진제는 22.93 MPa/ms로 기준치를 초과한 결과를 나타냈다.

결론적으로 추진제의 폭연 특성에서는 A-3 추진제가 B-4 추진제보다 둔감하다고 할 수 있고, UN Test Series 7c(ii)의 기준치에 부합하는 매우 둔감한 물질(EIDS)로 분류할 수 있다.

3. 결론

혼합형 고체 추진제 8종을 대상으로 Shotgun/RQ Bomb 시험에 의한 추진제 폭연 특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자체 제작한 Shotgun 장치와 기존의 Closed Bomb을 변형하여 추진제 및 화약의 폭연 특성을 실험실 규모로 측정할 수 있는 Shotgun & RQ Bomb 시험 기법을 개발하였다.

2. 연소속도가 1500 psia에서 25 mm/sec이하인 추진제 5종(A-1, A-2, A-3, B-2, D)은 UN Test Series 7c(ii) 규격을 만족하였다.

3. 추진제 탄속에 따른 Relative Quickness(dp/dt)는 어느 정도 선형적인 경향을 보인다.

향후 본 연구 결과를 토대로 추진제의 크랙진과 특성 치와 연소속도 변화에 따른 폭연 특성 연구를 좀 더 체계적으로 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 함덕순, 박보영, 이정관, "화약/탄약의 위험 등급 분류 및 1.6 급수", 국방과학연구소 보고서, GWSD-519-950527, 1995. 9
2. Michael, M., Swisdak, Jr., "Hazard Class/Division 1.6: Extremely Insensitive Detonating Substances(EIDS)", NSWC TR 89-356
3. Isler, J., "Classification Tests For Assignment To Hazard Class/Division 1.6 : SNPE Two Years Experience", Minutes of the 25th explosives safety seminar, Vol 4, 18-20 August 1992
4. Gorden, E.J, David, W.N, Tactical Missile Propulsion, Vol. 170.
5. Gould, R.A., "Progress Report of JANNAF Panel on Shotgun/Relative quickness Testing", JANNAF Propulsion systems Hazard Sub Committee Meeting Vol 1, 29-31 October 1980
6. Gibson, P.W., "Friability and Critical Diameter Tests on the Maneuver Propulsion Assembly Propellants", AFRPL, TR-85-089, January, 1986
7. 박정수, 김성호, 이정관, "Friability 시험기법 개발(I)", GWSD-419-981558, 국방과학연구소 보고서, 1998. 12
8. Simopoulos, "High efficiency power amplifier," U.S Patent 577519 Jul., 1998