

판상 화약 DXD-19 조성 및 성형 공정개발

Development of the formulation and the process of DXD-19 sheet explosive

전 용 구* 이 진 성*
Young Gu Cheun Jin Sung Lee

ABSTRACT

DXD-19 is a flexible sheet explosive, which is a new polymer-bonded explosives(PBX's). DXD-19 is relatively insensitive and can be extruded into various configurations to be applied to munitions. A typical application includes multi-point initiation for the warhead, cutting/severance devices and transfer lines.

The DXD-19 composition employs a binder system derived from the thermoplastic elastomer(HyTemp 4454) containing 5% OH terminated with isocyanate curable for increasing mechanical properties. The use of an elastomer CAB increases its mechanical properties and the use of an energetic plasticizer BDNPF/BDNPA(F/A) improves the process ability as well as energy contents.

The composition of the extruded DXD-19 formulation is formed % weight of PETN/HyTemp/ATEC/(F/A)/CAB=72~73/12~13/6~7/6~7/1~2.

Our safety tests of DXD-19 shows insensitivity to an impact test and friction test, good thermal stability and excellent mechanical properties.

주요기술용어(주제어) : Flexible sheet explosive(변형 판상 화약), HyTemp thermoplastic elastomer(HyTemp 열가소성 탄성체), Extrusion cast(압출 주조형), Energetic plasticizer BDNPF/BDNPA(에너지 함유 가소제 BDNPF/BDNPA), Softening temperature(연화 온도), Glass transition temperature(유리전이온도)

1. 서론

변형 판상 화약(flexible sheet explosive)은 특수 목적성 탄두, 다양한 연결 기폭관 등의 분야에서 파괴(demolition) 목적으로 개발되고 있다. 특히 연

결 기폭관 적용에서는 임계 직경 이 작아지면서 고 성능 변형 판상 화약(high energetic flexible sheet explosive) 개발이 필요하다. 판상 화약 조성개발은 분자화약 선택, 물성 개선을 위한 열가소성 탄성체(thermoplastic elastomer), 에너지 함량 조절을 위한 에너지 함유 가소제 등을 고려한 새로운 조성개발과 원료 특성을 고려한 신규 제조공정이 요구된다.

지금까지 개발된 변형 화약은 미국 Dupont사 상품인 Detasheet C가 있으며, 조성은 분자화약인 PETN

† 2004년 5월 19일 접수~2004년 8월 2일 심사완료

* 국방과학연구소(Agency for Defense Development)
주저자 이메일 : ygcheun@add.re.kr

63 wt.%, nitrocellulose(NC, 12.3 wt.%의 nitration 함유) 8 wt.%, 가소제인 acetyltributylcitrate(ATBC) 29 wt.%로 구성되어 있다. 이 판상 화약은 상업화하여 각종 demolition 목적 등에 실험용으로 사용되고 있다.^[1,2,3]

미 해군 등에서 표적지향성 탄두에 적용 실험하고 있는 PBXN-301(XTX-8003)의 조성은 분자화약 80 wt.%와 결합제인 sylgard(silicone resin) 20 wt.%로 구성되어 있다.^[4,5] PBXN-301의 제조 공정에 대해서 알려져 있지 않으며, 현재 생산에 대한 정확한 근거가 없다.

본 연구에서는 상기 개발된 변형 화약의 특성을 보완하여 독자적인 설계에 의한 판상 화약조성을 개발하여 표적지향성 탄두 및 다양한 연결 기폭관에 적용하고자 한다.

고성능 판상 화약 조성은 PETN 분자화약, 결합제인 열가소성 탄성체인 HyTemp 4454, 에너지 함유 가소제는 국과연에서 개발한 열적 안전도가 높은 가소제 BDNPF/BDNPA(F/A)과 비활성 가소제인 ATEC(acetyltriethyl citrate) 등을 이용하여 용매 내에서 혼화 제조 공정을 연구하였다.^[6] 아울러 새로운 개념의 판상 화약은 제조 공정을 단순화하고, 판상 화약 성형 공정은 압축 및 압출 성형이 가능하도록 조성을 개발하고자 하였으며,^[6] 개발한 판상 화약 특성인 각종 안전도 관련 감도, 열적 안전도, 온도에 대한 유연성, 기계적 특성에 관심을 두고 연구하였다.

특히 복합 화약 조성으로 개발한 DXD-19는 활성 화약인 PETN에 적용할 열가소성 탄성체인 HyTemp 4454와 물성 개선의 모체에 대한 실험과 일부 보강제 CAB 등의 첨가로 유연성 개선에 역점을 두었다.

새로운 판상 화약의 모델에 대한 복합화약 개발과 기계적 특성 개선에 따른 감도, 열적 안정도, 유연성 특성을 분석하였으며, 특히 잠정적인 감도, 열적 성질 및 기계적 성질을 고려한 조성 개발 공정과 판상 화약 성형 조건을 연구하였다.

2. 실험

분자화약 PETN은 평균 입자가 5~10 μ m인 것을

사용하였으며, 레이저 입자 분포 분석 결과 약 12 μ m의 중앙값을 나타냈다.

혼화 공정상의 안전을 위하여 PETN 입자에 비활성 가소제인 ATEC를 약 3~4%로 피복한 PETN를 공정에 사용하였다.

결합제인 열가소성 탄성체인 HyTemp 4454는 BF Goodrich사 제품을 사용하였다. HyTemp 4454는 ethyl acrylate와 butyl acrylate에 5% 내의 chlorine를 함유한 유도체가 포함된 공중합체(copolymer)이며, 용해할 수 있는 부분의 무게 평균 분자량(Mw)은 약 100,000~200,000이다. 또한 물성 보강제 탄성체인 CAB(cellulose acetate butyrate) 첨가로 유연성 물성을 개량하고자하였다.

에너지 함유 가소제 BDNPF/BDNPA(F/A)는 국과연에서 개발한 열적으로 안전도가 높은 가소제가 혼합된 화합물 BDNPF/BDNPA의 조성비는 50/50으로 되어 있으며, 안정제인 nitrodiphenyl amine(2-NDPA)를 2% 첨가하였다. 비활성 가소제인 ATEC는 산업용을 사용하였다. 용매는 DXD-19 조성의 활성 충전제인 PETN 입자에 영향이 적은 불용성인 미지의 DCE-MC 용매를 선택하여 사용하였다.

가. DXD-19 조성 개발

DXD-19 조성 실험은 1.5 liter 용량, horizontal mixer로 진공 증류할 수 있는 system과 chiller system로 -30 $^{\circ}$ C 이하로 온도를 조절할 수 있는 장비를 이용하였다.

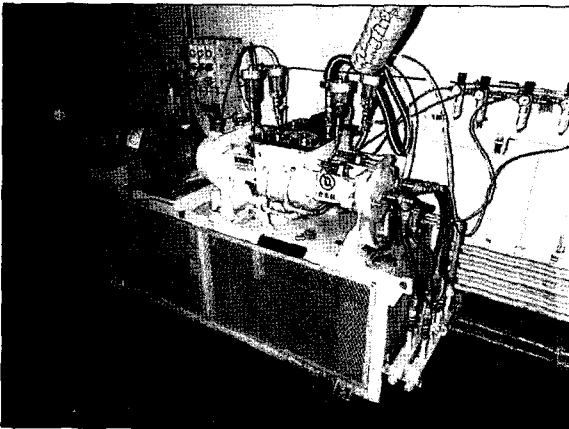
PETN/HyTemp/ATEC/(F/A)계 사용한 DXD-19 복합화약 조성 실험은 분자화약 PETN 입자에 영향이 아주 적으면서 결합제인 HyTemp 4454를 잘 용해시키는 용매를 사용하는 것이 요구된다. 혼화 공정에서 활성 충전제인 PETN의 안전을 위하여 이미 약 3.0%의 가소제인 ATEC로 코팅한 PETN 원료를 사용하였으며, 감도 및 안전 면에서 둔감화한 상태에서 혼화기의 제조 공정 안전도를 개선하였다.

활성 충전제인 PETN에 불용성인 DCE-MC 인 용매를 선택하여 열가소성 탄성체인 HyTemp 4454(13%)를 혼화기의 60 $^{\circ}$ C 온도에서 충분히 10시간 이상 용해시키고, 활성 충전제인 PETN(72~73%)를 2~3시간 잘 분산시키고, 가소제인 ATEC(6.0~6.5%)와

F/A(6.0~6.5%)계를 첨가하고 5~6시간 충분히 분산시켜 균일한 용액 상을 만든다. 물성 개선을 위하여 강화제인 CAB 등을 사용하였으며, 첨가량은 약 1~2% 내에서 사용하였다.

DXD-19 조성 실험은 그림 1의 3 liter kneader 혼화기에서 60°C 온도를 유지하면서 조절된 진공도(50~76mmHg)를 이용하여 용매인 DCE-MC를 서서히 증류하였다. 용매를 충분히 제거한 후 혼화기에서 꺼내 paste 화약을 온도가 조절된 오븐에서 화약 내의 일부 잔유 용매 등을 충분히 제거한다.

건조된 판상 화약은 프레스를 이용하여 판상 형태로 압축성형을 하였다. 성형된 판상 화약은 실험실적 안전도, 기계적 특성, 유변 특성, 폭발 속도 등을 점검하였다. 개발한 DXD-19의 대표적인 실험실



[그림 1] 3L kneader 혼화기

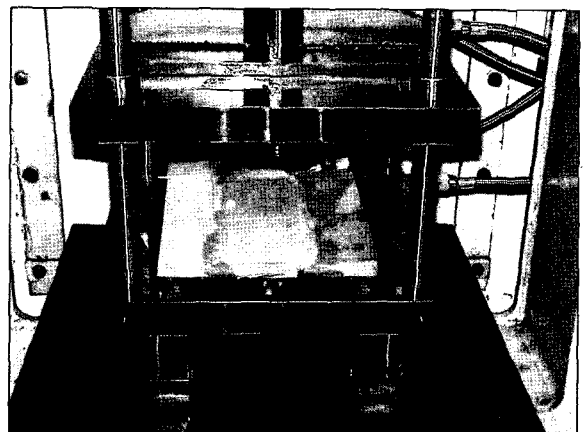
[표 1] Formulations of DXD-19

Ingredients	DXD-19 (wt.%)
PETN	72.0~73.0
HyTemp 4454	12.0~13.0
ATEC	6.0~6.5
F/A	6.0~6.5
CAB	1.0~2.0
화약 상태	유연한 고무상

적 조성은 표 1에 요약한 것과 같다. 활성 충전재 PETN은 72~73 wt.%이고, 탄성체인 HyTemp는 12~13 wt.%이며, 가소제는 13~14 wt.% 내에서 조정하였다.

나. 판상 화약 압축 성형

DXD-19 조성에 대한 성형 실험은 20톤 용량의 단동 유압 프레스를 사용하였으며, 성형 치구 및 금형을 판상 화약 성형이 이루어지도록 그림 2와 같은 형태로 설계/제작하였다. 제작된 금형의 기본적인 구조는 압축을 하기 위한 상, 하 판 구조로 구성되어 있고, 실린더에 연결된 상판이 하강하여 화약을 압축, 판상 형태로 성형한다. 그리고 hot oil generator를 설치하여 상, 하 판에 연결, 화약의 성형온도를 조절하게 하였다. 성형화약의 성형높이는 하 판상구조물 끝단에 위치해 상 판상구조물의 stopper 역할을 하는 block의 두께로 조절하였으며, 상판의 상하 이동시 두 판 사이의 수평이 일정하게 유지되도록 guider를 설치하여 성형 시 상 판이 기울어져 국부응력이 발생하는 것을 방지하며, 성형화약의 두께를 균일하게 유지하도록 하였다. 또한 특수 탄두에 적용하기 위해 kit 금형을 설계/제작하여 주장약 외벽에 부착할 수 있는 곡면의 판상 화약을 성형하기 위한 공정개발 연구도 수행하였다.



[그림 2] 압축 성형 장치

다. 판상 화약 압출 성형

Ram extruder는 cylinder type의 압출장치를 말하는 것으로서 유압 실린더를 사용해 금형내부의 paste 화약을 가압하여 금형 아래 부분의 노즐을 통하여 판상 등의 여러 형태로 압출하는 방식이다. 노즐을 통한 화약배출에 있어서 비틀림 없는 일직선형태의 판상 형상을 유지하기 위한 조건으로는 화약의 작업 온도, 실린더 하강속도, 실린더 압력, 노즐의 형상 등의 여러 가지 인자들이 있으며, 이에 대한 자료를 얻기 위해서는 각 화약에 대한 여러 조건에 대한 시험이 요구되고, 실험을 통해 화약의 안정적인 압출조건을 확보할 수 있다. 그림 3의 소형 ram extruder는 300~500g 정도의 paste 화약을 압출 실험할 때 사용된다. 금형에 hot oil generator를 사용한 가열장치가

제작되어있어 작업온도의 조절이 가능하며, 진공 system을 갖추고 있다. 소형 ram extruder의 경우 요구되는 화약량이 소량이기 때문에 mixer나 kneader에서 만들어진 화약을 직접 금형에 넣고 진공 작업 후 압출작업이 이루어진다.

3. 안전도 및 특성 평가

가. 열적 특성 시험

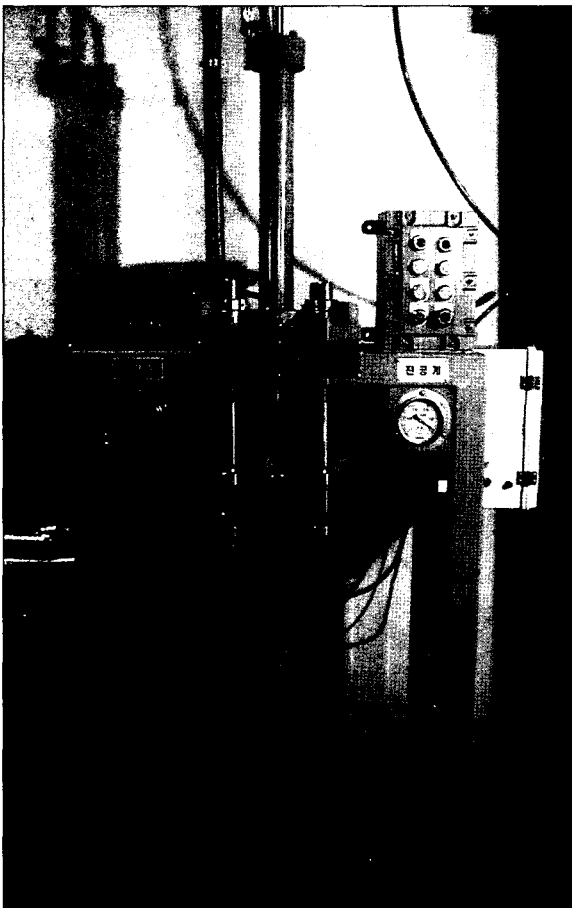
열적 특성분석은 Mettler사의 시차주사열량계, DSC (Differential Scanning Calorimeter)를 사용하여 유리전이온도(glass transition temperature, Tg), TGA (thermal gravimetric analysis) 및 TMA(thermal mechanical analysis)로 온도 변화에 따른 분해 온도 및 열팽창 계수 등을 관찰하고자 하였다. 특히 DXD-19 개발 화약에 대하여 DSC을 이용하여 온도 변화에 따른 함량변화와 분해열량 분석으로 열적 안전도를 확인하였으며, 복합화약의 유리전이온도(Tg)에서 온도 변화에 대한 유연성 범위를 예측하였으며, TGA에서는 화약의 분해 온도를 관찰하였다. 특히 수입한 Detasheet C와의 열적 특성 비교에서 온도 변화에 대한 유연성 범위를 명확히 확인할 수 있었다.

나. 충격감도시험

충격감도시험은 독일 Julius Peters사의 Impact Tester를 이용하여 실시하였다. 시료는 압축 성형한 판상 화약을 시험 전 65℃ 오븐에서 4시간 건조한 후, 건조기에서 실온으로 냉각시켜 준비하였다. 실험은 예비시험 5회, 본시험 25회를 실시하여 50% 양성반응이 일어나는 추(5kg hammer)의 높이와 에너지를 구하였다. 활성 충전재인 PETN의 충격감도 시험자료를 기준으로 하여, 판상 화약 DXD-19와 Detasheet C 성형 제품을 비교 시험하여 감도의 변화를 확인하였다.

다. 진공 안전도 시험

진공안전도 시험은 정밀 항온조 “21 Berlin Julius Peters”를 사용하여 수행하였으며, 5g의 압축 성형한 판상 화약을 진공상태에서 48시간동안 100℃로 가열



[그림 3] 소형 ram extruder

하여 발생된 기체의 양을 측정하였으며, Detasheet C와 비교 시험하여 안전도를 확인하였다.

라. 폭속(Detonation velocity) 측정시험

판상 화약인 DXD-19의 기폭 현상에 대한 시험으로 보조장약(booster)없이 RP 87 EBW detonator를 이용하여 기폭여부를 확인하였고, Detasheet C와 비교 기폭시험을 시행하였다.

시험은 길이 130mm, 두께 3.0mm로서 길이 30mm의 간격으로 pin을 설치하여 폭속 시험을 실시하였다.

마. 물성 특성 시험

DXD-19의 기계적 특성 중 인장강도, 탄성률, 연신율 등을 측정하였으며, 시험의 준비, 시험장비, 시험절차, 결과 처리 등은 복합화약 분석 방법에 따라 실험하였다.

판상 화약인 DXD-19의 인장시험시료는 3mm의 판상 화약을 JANNAF(Joint of Army, Navy, NASA, and Air Force) 표준형 시험편으로 제작하여 사용하였다.

바. 유변 특성 시험

DXD-19 조성의 온도 변화에 대한 동력학적 물성 특성은 rheometer(RMS-800/RDS 11)를 사용하여 측정하였다.

압축성형 제작한 시험편(두께 3.0mm, 길이 40.0mm)에 대해 -120~150℃의 온도 범위에서 저장 탄성률(storage modulus, G'), 손실 탄성률(loss modulus, G''), $\tan\delta(G''/G')$ 등을 측정하였다. 또한 DXD-19 판상 화약의 온도 변화에 대한 물성 특성은 온도에 따른 유변 특성을 Detasheet C와 비교 시험하여 확인하였다.

4. 결과 및 고찰

가. DXD-19 조성 개발

DXD-19 복합화약 조성은 감도와 안전도를 고려하여 조성실험을 실시하였으며, 온도 변화에 따른 유연성 등의 개선을 위하여 물성 강화제인 CAB을 적용

하였다.

PETN/HyTemp/ATEC/(F/A)계 조성 실험은 활성 충전재인 PETN을 용해시키지 않고, 결합체인 HyTemp 4454를 잘 용해시키는 용매를 찾는 것이 연구의 첫 대상이었다.

활성 충전재인 PETN에 불용성인 DCE-MC을 모체로 한 용매를 선택하여 열가소성 탄성체인 HyTemp 4454는 혼화기의 60℃ 온도에서 10시간 이상 용해시키면 gel 상태가 되었으며, 활성 충전재인 PETN는 용매에서 영향이 아주 적게 천천히 분산시켰다. 분산시 용매에 의한 PETN의 입자 등의 영향이 적도록 온도 조절 등에 역점을 두었다.

활성 충전재인 PETN의 안전을 위하여 약 3% 이상의 가소제인 ATEC로 피복한 PETN을 사용하였으며, 혼화기 내의 활성제의 감도를 둔감화하여 제조공정상에 안전도를 개선하여 사용하였다.

활성 충전재인 PETN를 결합체인 HyTemp 4454가 용해된 gel 상태의 용액에서 4~5시간 이상 분산시켜야 균일 상이 되었으며, 가소제인 ATEC와 에너지 함유 가소제인 F/A 동시에 첨가하고 5~6시간 충분히 분산시켜 균일한 용액 상을 만들었다. 혼화기의 온도를 60℃로 유지하면서 조절된 진공도 50~76mmHg를 이용하여 용매인 DCE-MC를 서서히 증류하여 반응물에서 용매가 증류하도록 하였다. 용매를 충분히 제거한 후 혼화기에서 꺼내서 30℃로 온도가 조절된 오븐에서 화약내에 함유한 용매 등을 충분히 제거하여 떡 화약(paste explosive) 균일 상을 얻었다.

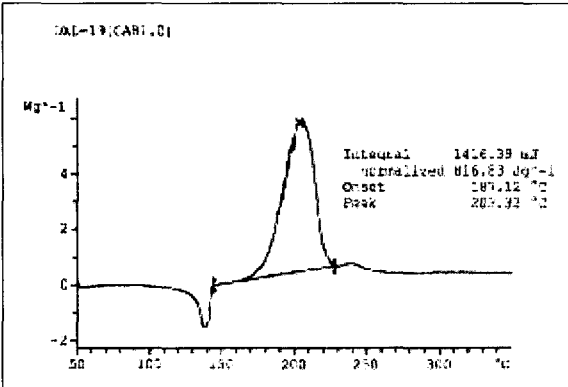
판상 화약 DXD-19의 조성은 감도, 안전도, 물성 및 성능 특성 등을 고려하여 대표적 조성을 표 1과 같이 확정하였다.

나. 안전도 평가 결과

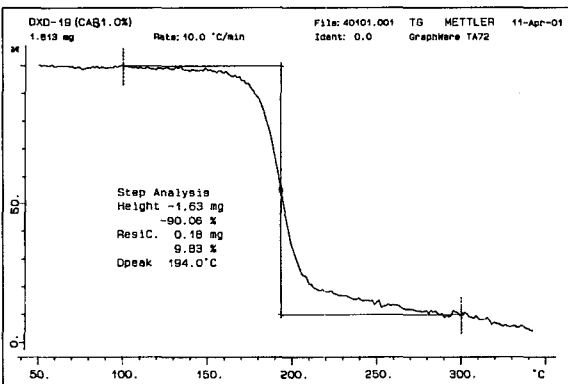
개발한 판상 화약 DXD-19의 열적 안전도는 Detasheet C의 열적 특성분석과 비교하여 평가하였으며 TGA, DSC로 온도 변화에 따른 함량 변화와 분해열량을 확인하였다. 특히 판상 화약의 유리전이 온도(Tg)에서 유연성 있는 범위 온도 등을 관찰하였다.

그림 4의 판상 화약 DXD-19의 DSC의 열적 안전

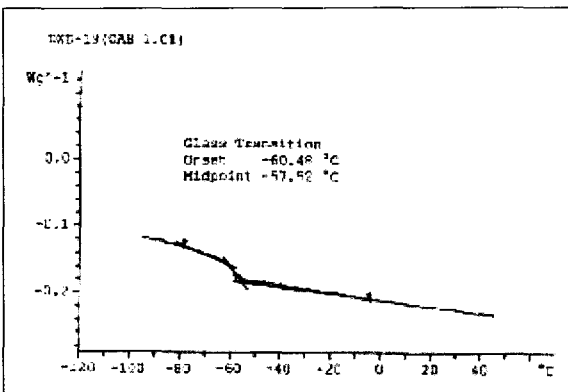
도는 약 145°C까지 안전하였으며, 그림 5의 TGA spectrum에서는 145°C 이후에 함량 변화가 시작됨을 알 수 있었다. 그림 6에서 DXD-19의 유리전이온도



[그림 4] DSC Spectrum of DXD-19



[그림 5] TGA Curve of DXD-19



[그림 6] Tg spectrum of DXD-19

(T_g)에서 유연성의 온도는 약 -60°C에서 시작됨을 알 수 있었다.

개발한 DXD-19와 Detasheet C 비교에서 활성 충전재인 PETN의 함량을 63%에서 73%로 증가시킨 DXD-19 판상 화약이 열적 특성 분석에서 유사한 결과를 나타냈다.

다. 충격, 마찰 감도시험 결과

DXD-19에 대해 충격, 마찰 감도시험 결과를 표 2에 요약하였다. 활성 충전재인 PETN 충격 감도시험에서는 4.8 J의 충격감도 에너지를 나타냈으며, 이는 충격감도에 예민한 감도의 에너지를 갖는다는 것을 의미한다.

PETN 마찰 감도시험에서는 6.6 kg.f의 마찰 감도 에너지를 나타냈다. 표 2를 살펴보면, DXD-19의 경우 22 J, 28 kg.f로서 아주 둔감한 화약으로 전환됨을 알 수 있었으며, 수입한 Detasheet C와 DXD-19 화약이 충격, 마찰 감도시험에서 유사한 결과를 보였다.

[표 2] DXD-19 충격 마찰 감도시험 결과

시험항목	PETN	DXD-19	Detasheet C
충격감도 (J)	4.8	22.2	19.6
마찰감도 (kg.f)	6.6	28.0	28.0

라. 폭속(Detonation velocity) 측정 결과

표 3을 살펴보면 판상 화약 DXD-19의 폭속은 결합제 및 첨가제의 변화에 따라 7,210m/s로 Detasheet C의 6,800m/s보다 조금 크게 나타났다.

[표 3] DXD-19의 폭속 결과

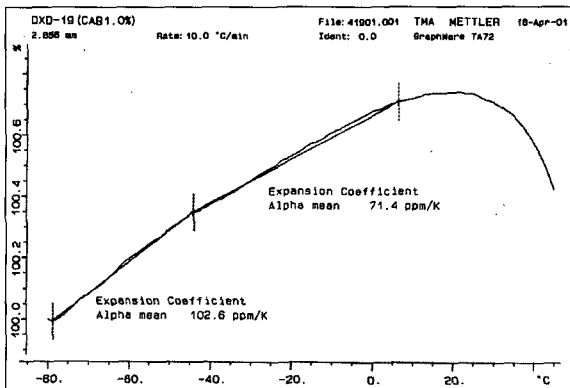
화약명	밀도(ρ) g/cm ³	폭속(DV) m/s
DXD-19	1.52	7,210
Detasheet C	1.48	6,800

DXD-19 조성은 충격 감도 등에서는 유사한 감도와 열적 특성을 나타내면서도 폭속 등 에너지 성능면에서 Detasheet C 화약보다 우수한 것으로 판단된다. 이 판상 화약은 무기체계 탄두 적용을 위해 판상 화약 2mm 이하 두께에서도 기폭관으로 판상 화약을 완폭 할 수 있게 임계 직경을 작게 하였다.

마. 물성 특성 분석 결과

Thermal Mechanical Analysis(TMA)를 이용하여 온도 변화에 따른 열팽창계수를 확인하였으며, 이로 부터 간접적으로 물성 변화를 예측할 수 있었다. 그림 7의 DXD-19 TMA spectrum에서 -60~40°C 까지는 선형적인 선팽창계수 값을 갖는 것을 알 수 있다.

만능시험기를 이용한 DXD-19의 인장강도, 탄성율, 연신율 등을 측정된 결과를 표 4에 수록하였다. Detasheet C와 직접 비교는 어려우나, 유사한 spectrum을 얻었으며, 최대 인장강도는 2.2 bar로 크



[그림 7] TMA curve of DXD-19

[표 4] DXD-19 물성 특성 결과

화약명	첨가제 %	최대 응력	최대 연신율	탄성율
		bar	em(%)	
DXD-19	T4454 CAB	2.2	15.5	24.1
Detasheet C	-	1.5	30.0	8.1

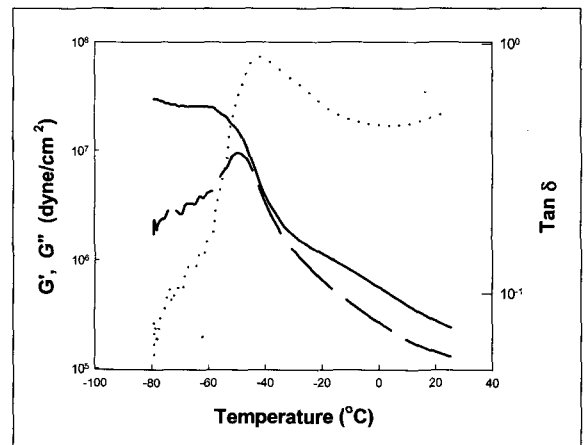
게 나타났으며, 최대 연신율은 Detasheet C가 30%로 DXD-19의 15.5%보다 유리하지만, 탄성율에서는 DXD-19가 더 우수하였으며, 판상 화약의 특성인 고무성질이 잘 나타남을 확인할 수 있었다.

바. 유변 특성 시험 결과

DXD-19의 온도 변화에 대한 동력학적 물성 특성은 저장 탄성율(G')과 손실 탄성율(G'')을 -120~60°C 사이에서 온도의 함수로 그림 8에서 나타냈다. 그림 8을 보면 DXD-19에 대한 고유의 유변 특성 spectrum을 얻으며, 저장 탄성율(G')의 물성을 위한 10^6 dyne/cm² 조건에서 온도 범위가 20~40°C로 낮은 범위임을 알 수 있다. 유리 전이온도는 -65~-60°C로 범위에서의 저장 탄성율(G') 값이 2.0×10^{10} dyne/cm² 이상으로 정상적인 열가소성 탄성체임을 확인할 수 있다.

G' 의 저장 탄성율(G')의 단단한 분질의 녹는 구역이 90°C 근처로 G' 의 값도 1.0×10^7 dyne/cm²로 연한 분질 내에 단단한 분질의 특성이 유지되는 범위임을 알 수 있다. 저장 탄성율(G')의 물성 유지를 위한 10^6 dyne/cm² 조건에서 온도 범위가 -120~100°C로 넓은 범위임을 알 수 있다.

Detasheet C 고유의 유변 특성 spectrum을 비교하여 보면 저장 탄성율(G')의 물성유지를 위한 10^6 dyne/cm² 조건에서 온도 범위가 20~40°C로 낮은 범위임을 알 수 있었다.



[그림 8] Complex modulus properties for DXD-19

사. 판상 화약 압축성형 공정

20톤 프레스를 사용하여 2~5mm 두께로 판상 화약을 압축 성형 시에는 금형에 대한 화약의 집착방지 및 성형 후 화약보관을 용이하게 하기 위하여 성형시 film을 화약의 상하에 위치시켜 압축하였으며, 화약과 film 사이에는 실리콘 이형제를 도포하여 film을 화약에서 분리하기 쉽게 하였다.

DXD-19 판상 화약의 압축성형은 결합제의 주 탄성체인 HyTemp의 연화 온도(soft temperature)가 -50℃ 이하이므로 상온에서도 성형이 가능하지만, 화약의 압축속도, 압력 등을 고려한 최적조건을 찾기 위해 상온 및 40℃ 작업온도에 대해 실험을 실시하였다. 40℃ 실험에서는 화약을 오븐에서 가열한 후 사용하였다.

실험결과, 성형온도 차이는 압축에 의한 화약 압축 변형속도의 차이로 나타났고, 상온(18℃)보다 40℃의 온도에서 성형이 더 잘 이루어짐을 확인할 수 있었다. 압력 조건은 1,000psi, 압축 체류시간은 2 분으로

확립하였고, 성형 후 두께측정을 통해 성형화약의 두께가 전체적으로 균일함을 확인할 수 있었다. 표 5는 20톤 프레스 성형 시 각 성형 두께 별로 소요된 화약량과 성형 후 그림 9와 같이 만들어진 성형체의 대략적인 지름이다.

성형 후 화약의 시편에 대한 밀도분포 확인을 위해 시편의 부분별로 water immersion 방법을 사용하여 밀도측정을 하였다. 측정결과, 전체 샘플에 대한 밀도는 압축시 위치와 관계없이 동일하게 측정되었고, 일정한 밀도를 유지함을 확인하였다.

아. 판상 화약 압출 성형 공정

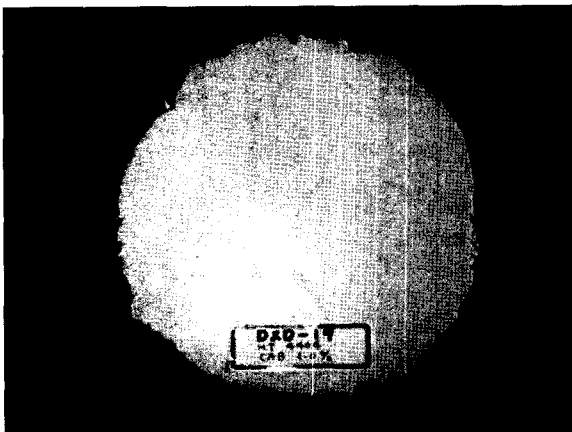
Extruder 작업 시에는 화약 덩어리 사이의 공기를 제거할 수는 있으나, 만약에 화약내부에 밀폐된 공기가 있는 경우 extruder 진공작업이 진행되더라도 밀폐된 공기는 제거가 안되므로 mixing 작업 후 분리되는 화약을 진공상태에서 작업되는 kneader 및 mixer에서 배출 상태대로 보관하는 것이 중요하다.

압출하기위한 화약은 먼저 소형 extruder 금형 안에서 40℃ 작업온도까지 3 시간 정도 가열하였다. 이를 위해 실린더는 금형 내 삽입한 화약을 압축하지 않는 금형내의 위치에서 같이 가열하였다. 이는 작업시 장비의 온도 차이에 의한 화약온도 변화를 최소한으로 하기 위해서이며, 설정된 작업조건은 표 6과 같다.

가열된 화약은 3 분의 진공작업 후 그림 10과 같이 압출작업이 이루어졌다. 화약의 압출두께는 노즐 간격에 의해 조절되며, 화약 두께조절이 필요한 경우에는 노즐을 교체하여 간격을 조절해야한다. 압출 압력 또한 노즐 간격의 영향을 받으며, 간격에 따라 화약 배출량이 달라진다. 그림 11의 압출된 판상 화약

[표 5] DXD-19 성형체

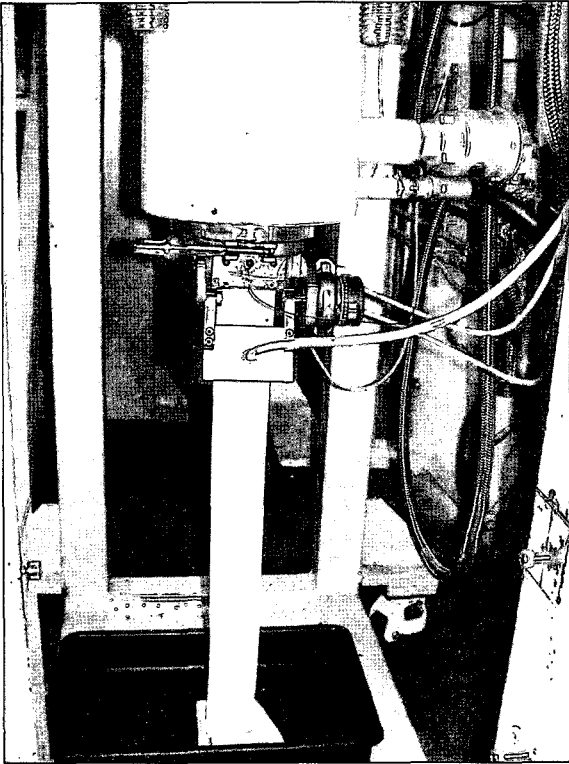
화약두께 (mm)	화약량 (g)	성형체 지름 (mm)
2	약 100	약 200
3	약 145	약 200
4	약 200	약 200



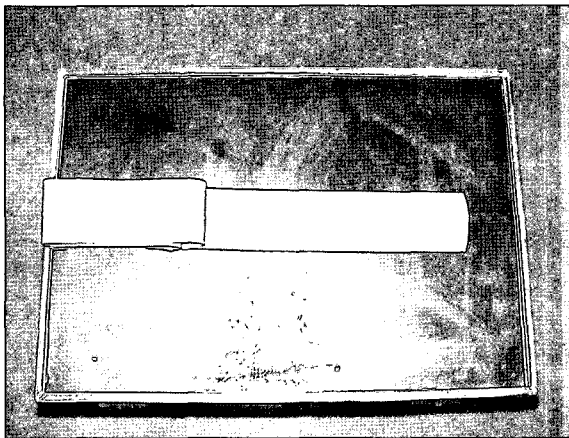
[그림 9] DXD-19(3mm 판상 화약)

[표 6] 압출 작업조건

DXD-19 작업조건	
온도(℃)	40
진공도(mmHg)	730
진공시간(second)	180
압력(psi)	1,000



[그림 10] 압출 중인 DXD-19



[그림 11] 압출된 DXD-19

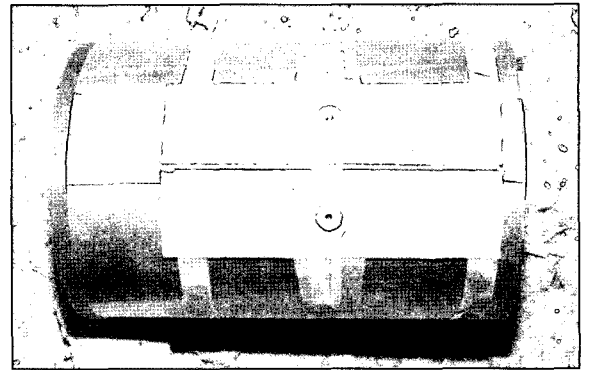
을 절단해본 결과, 압출 전 진공작업에 의해 압출화약 내부에 공기기포가 없었고, 노즐에 의한 화약의 판상 형상 변형이 뚜렷하게 나타나며, 판상으로 변형된 화약이 뒤틀리는 현상이 발생하지 않았고, 압

출화약 표면 거칠기 등으로 판단할 때, 전체적으로 압출상태가 양호하였다. 압출된 판상 화약의 두께는 2.65mm이고, 폭은 61.6mm이었다. 압출된 판상 화약의 여러 부분에 대한 샘플 밀도를 측정된 결과, 모두 동일한 밀도치를 갖고 있었으며 이는 압축한 DXD-19 화약과도 동일한 밀도를 보여 압축 및 압출 조건에 따른 밀도변화는 없음을 확인하였다.

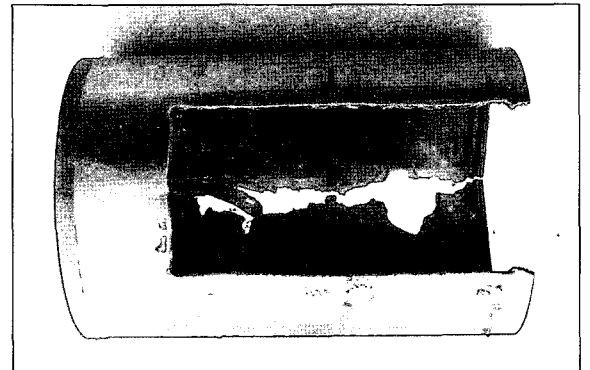
자. 탄두적용 시험 결과

그림 12의 탄두 적용 시험을 위한 기폭관에 의한 기폭 시험에서는 판상 화약 2mm 이상 두께에서는 완폭이 발생함을 확인하였다.

시험탄두에 판상 화약 적용에 따른 최적변형조건 확인을 위하여 국과연 개발 판상 화약을 2mm, 3mm, 4mm, 6mm 두께로 부착하여 시험하였다. 탄



기폭 전



기폭 후

[그림 12] 판상 화약 기폭 시험 전 후 결과

두 적용시험 결과 약간의 성능 차는 있었지만, 시험 전 후의 탄두 변형에 따라 활성 탄두에서 표적 방향의 파괴효율을 극대화시키는 탄두 변형을 보여주었다.

실험결과로부터 국내에서 개발한 판상 화약은 탄두 및 적용 조건에 만족할 수 있는 형태의 kit로 제작 가능할 것으로 판단되었다.

특히 탄두에 개발 화약인 판상 화약을 적용하여 표적을 향한 파편 집속이 판상 화약 적용하지 않은 탄두와 비교에서 90% 이상 성능 증대된 결과를 예측할 수 있었다.

4. 결론

판상 화약인 DXD-19 복합화약 조성은 활성 충전재 PETN은 약 73 wt.%이고, 열가소성 탄성체인 HyTemp는 약 13 wt.%이며, 가소제는 15 wt.% 내에서 감도와 안전도를 고려하여 F/A와 ATEC를 설계 및 조성실험으로 세계 최초로 열가소성 탄성체 적용 판상 화약 개발을 수행하였다.

판상 화약 DXD-19 조성은 감도, 안전도, 물성 및 성능 특성 등을 고려하였으며, 설계 및 조성 개발 특성을 아래와 같이 요약하였다.

- (1) 판상 화약 DXD-19의 DSC 열적 안전도는 약 145°C까지 안전하였으며, TGA spectrum에서는 145°C 이후에 함량 변화가 시작됨을 알 수 있었다. DXD-19의 유리전이온도(Tg)에 대한 확인을 위하여 저온인 -120°C에서 상온으로 전개하였으며, 유리전이온도는 약 -60°C로 현상이 뚜렷이 나타났다.
- (2) DXD-19의 충격감도 측정결과에 의하면 활성 충전재인 PETN의 충격감도 시험에서는 4.8 J의 충격감도 에너지를 나타내었으며, PETN의 마찰감도 시험에서는 6.6 kg.f의 마찰감도 에너지를 나타냈다. 이는 충격감도에 예민한 감도의 에너지를 갖는다는 것을 나타낸다. DXD-19에 대한 충격, 마찰 감도시험 결과는 각각 약 22J, 28kg.f로 아주 둔감한 화약으로 전환됨을 알 수 있었다.
- (3) DXD-19의 폭속 실험 결과, 약 1,720m/s이며,

[표 7] The properties of DXD-19

항 목	Detasheet C	DXD-19
Density (g/cc)	1.48	1.52
Impact 감도 (Joule)	19.6	22.2
Friction 감도 (kg.f)	28.0	28.0
Flexibility Range (°C)	-56~60	-56~70
Vacuum Stability 100°C, 48 hr (cc/g)	0.50	0.50
Thermal Stability (DSC)(°C)	145	145
Detonation Velocity (m/s)	6,800	7,210

Detasheet C의 6,800m/s 보다 조금 크게 나타났다. DXD-19 조성은 충격 감도 등에서는 유사한 감도와 열적 특성을 나타내면서도 폭속 등 에너지 성능 면에서 Detasheet C 화약보다 우수한 것으로 판단된다. 이는 폭속 임계 직경을 낮추는 효과를 갖고 있다.

- (4) DXD-19의 물성인 인장강도, 탄성율, 연신을 등을 측정된 결과를 Detasheet C와 직접 비교는 어려우나 유사한 결과를 얻었으며, 최대 인장강도는 2.2 bar로 크게 나타났으며, 특히 탄성율이 약 25%로 더 우수하였으며, 판상 화약의 연신을 특성인 고무성질이 잘 나타남을 확인할 수 있었다.
- (5) 20톤 프레스를 이용하여 DXD-19 판상 화약을 성형하였다. 압축 조건은 40°C, 약 1,000psi 하에서 압축 체류시간은 2분으로 확립하였다. 압축 결과, paste 화약의 형상에 관계없이 일정한 두께의 판상 화약이 성형됨을 확인하였고, 화약이 금형에 접촉되는 현상을 방지하는 공정을 개발하였으며, 압축된 화약시편의 여러 위치에 대한 샘플에서 압축시 위치와 관계없이 일정한 밀도를 유지함을 측정을 통해 확인할 수 있었다.

(6) 소형 ram extruder를 사용하여 40℃, 약 1,000 psi 이하의 압력에서 압출실험을 한 결과, 화약이 노즐을 통해 압출될 때 압출된 화약이 좌우로 틀어짐 없이 직선상으로 양호하게 압출됨을 확인하였다. 압출 후의 표면 상태 또한 매우 양호하였으며, 여러 실험을 통해 재현성 있는 압출상태를 보였다.

압출 화약의 밀도 확인 결과, 압축한 화약의 밀도와 동일함을 확인하였으며, 결과적으로 압축 및 압출 성형과정에 따른 밀도의 변화가 나타나지 않음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Franklin B. Wells, Some Properties of the Flexible Explosive EL 505C, Type 2, Picatinny Arsenal Technical Report PATR 4612, 1973.
- [2] C. J. Breza and C. O. Davis, U. S. Patent, 299, 743.
- [3] H. H. C. D. Fasshacht, R. W. Felch and C. O. Davis, Patent 3, 311, 513, 1967.
- [4] Franklin B. Wells, Development of a Non-Properties of the Flexible Sheet Explosive, Picatinny Arsenal Technical Report PATR 4713, 1974.
- [5] John D. Hopper and Franklin B. Wells, U. S. Patent, 3, 317, 361, 2 May 1967.
- [6] (a) 전용구, 김정국, 이효재, KTRC-419-99303 (1999), (b) 전용구, 김정국, 이효재, KEDC-419-000996(2000), (c) 전용구, 김정국, 박보영, 이효재, KEDC-419-011126 (2001), (d) 전용구, 이효재, TEDC-419-021094(2002), (e) 전용구, 이진성, 이효재, 사회실, TEDC-419-031187(2003).
- [7] John D. Hopper and Franklin B. Wells, U. S. Patent, 3, 354, 010, 21 November 1967.
- [8] David A. Dadley and Peter J. Haskins, U. S. Patent, 4, 693, 181, 15 September 1987.