

120mm 운동에너지탄용 소진탄피 조성이 연소 특성에 미치는 영향

Effect of CCC Composition on Burning Characteristic for 120mm Kinetic Energy Ammunition

권순길*
Kwon, Soon-Kil

황준식*
Hwang, Jun-Sik

최상경*
Choi, Sang-Kyung

김진석*
Kim, Jin-Seok

ABSTRACT

The burning rates of combustible cartridge cases(CCCs) of 120mm kinetic energy ammunition were measured by CBT(Closed Bomb Tester). The burning coefficient was 1.4 for CCC fabricated by Post Impregnation(PI) process, and 1.0 for that by Beater Additive(BA) process. The BA process CCC showed the fixed burning coefficient of 1.0 in spite of changing the composition of CCC. As the Korean Future Main Battle Tank is requiring the high penetration performance compared with that of KIA1 tank ammunition(K276), CCC was designed to have higher impetus composition than that of K276 composition (525J/g). The optimum impetus was 600J/g when considering the increases of pressure and muzzle velocity with increasing impetus. When impetus of CCC by changing the composition increased from 525J/g to 600J/g, the muzzle velocity of 12m/s at pressure increase of 3500psi increased in case of using SCDB propellant.

주요기술용어(주제어) : combustible cartridge case(소진탄피), kinetic energy ammunition(운동에너지탄), Korean Future Main Battle Tank(차기전차), penetration performance(관통력), impetus(추력)

1. 서론

최근에 개발되는 대구경 탄약은 추진제 용기로 사용되는 금속 탄피(직사 탄) 및 약포(곡사 탄)를 소진탄피(CCC, combustible cartridge case)로 바꾸는 추세이다. 소진탄피는 금속 탄피에 비하면 생산 단가가

저렴하고, 약포 사용 시 불가능한 자동 장전이 가능하고, 사격 후 탄피를 배출하는 과정을 생략 할 수 있는 장점이 있다.

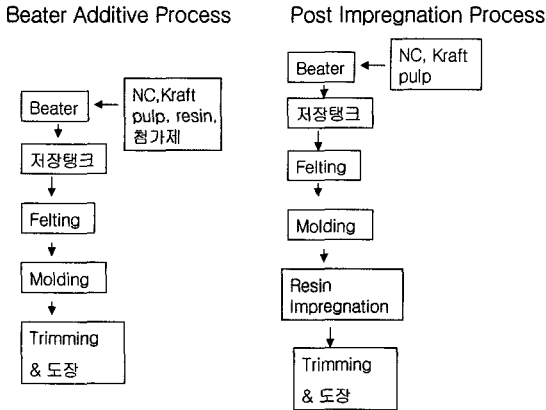
또한 소진탄피 자체가 연소 할 때 에너지를 발생하므로 추진제의 에너지와 함께 탄자에 추가의 에너지를 공급 할 수 있다. 그러나 소진탄피는 금속 탄피에 비해 기계적 물성이 약하다는 단점이 있어 환경에 영향을 많이 받고 거칠게 취급하면 손상이 될 수 있다^[1].

그림 1은 대표적인 소진 탄피 제조 공정을 보여준다.

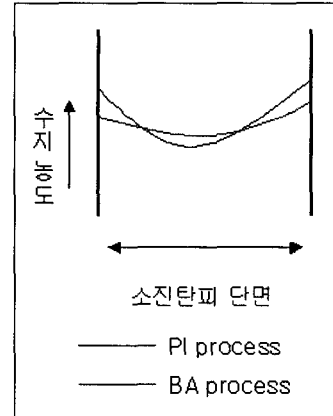
† 2005년 9월 5일 접수~2005년 12월 7일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : ksk@add.re.kr



[그림 1] 소진 탄피 제조 공정



[그림 2] 소진탄피 내부의 수지함량 분포

소진탄피를 제조하는 공정은 크게 Post Impregnation (이하 PI라고 함) 공정과 Beater Additive(이하 BA라고 함) 공정으로 나눌 수 있다. 국내는 소진탄피 제조 공정을 해외로부터 기술 도입 시 BA 공정만 도입되었고 PI 공정은 도입되지 않았다. 소진탄피의 원재료는 에너지를 부여하는 니트로 셀룰로즈(Nitrocellulose, NC)와 강도를 보강하는 역할을 하는 kraft pulp, 이들을 접착시키는 수지(resin)로 구성되어 있다. 두 공정은 모두 원재료를 탱크(beater)에서 물에 용해시켜, 금형에 주입하여 물을 짜내는 felting 공정, 탈수된 혼합물을 금형에 넣고 압력과 열을 가하여 최종 제품을 만드는 molding 공정으로 나누어져 있다. 그러나 두 공정의 차이점은 수지를 투입하는 시점이 상이하다. BA 공정은 섬유 형태의 니트로 셀룰로즈와 목재 섬유에 수지 결합제(resin binder)를 혼합하여 만드는데 비해 PI 공정은 molding된 소진탄피에 수지를 함침 시켜 경화 시킨다^[2].

그림 2에 PI 공정과 BA 공정의 소진탄피 단면의 수지 농도 분포를 보여준다. PI 공정은 Molding 후 수지를 함침 시켰으므로 소진 탄피 표면 쪽에 수지 농도가 높고 이에 반해 BA 공정에서는 탱크에서 수지와 니트로 셀룰로즈를 균일하게 혼합하여 molding 하였으므로 소진 탄피 단면의 수지 농도는 거의 일정하다. PI공정과 BA 공정의 장단점을 비교하면 PI 공정으로 제조된 소진탄피는 강도 면에서는 BA공정으로 제조한 소진 탄피 보다 기계적 강도가 좋은 것으로 알려져 있다. 그러나 PI 공정으로 제조된 소진 탄

피는 수지 농도가 균일하지 않기 때문에 탄 발사 후 미 연소된 소진탄피(이하 잔사)가 포강 내에 남을 수 있다. 잔사가 포강 내에 남으면 다음 탄이 장전될 때 화재가 발생해 심각한 위험을 초래 할 수 있으므로 소진 탄피 개발 시 반드시 점검해야 할 항목이다.

미국의 경우 직사탄인 120mm 전차탄 적용 소진탄피의 경우는 PI 공정으로 제조하고 155mm M203A1 곡사포탄용 소진탄피는 BA 공정으로 제조한다. 정확한 이유는 알 수 없지만 155mm 곡사포의 경우 강내 압력이 50,000psi 정도이고 120mm 전차탄의 경우에는 강내 압력이 85,000psi이므로 소진탄피의 잔사 발생량도 강내 압력이 높은 120mm 전차탄이 적다. 따라서 120mm 전차 탄약은 잔사 발생 위험이 높으나 기계적 강도가 우수한 PI 공정을 채택한 것으로 보인다. 그러나 BA공정으로 제조한 소진 탄피도 120mm 전차탄에 적용 하는데 문제는 없다고 알려져 있다. 즉 국산 K1A1 전차탄에도 BA 공정으로 제조한 국산 소진탄피를 적용하고 있고 아직까지는 큰 문제점이 발견되고 있지 않다. 미국의 탄도 연구소(Ballistic Research Laboratory)에서 검토한 결과에도 BA 공정으로 제조한 소진탄피가 120mm 전차탄용 소진탄피로 사용 가능하다고 보고하고 있다^[3].

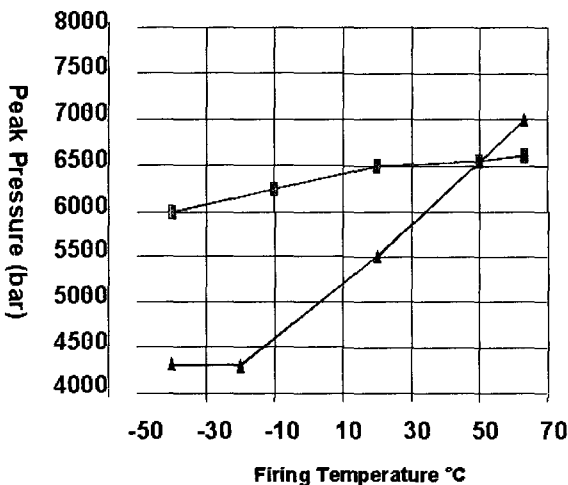
120mm 차기 전차 운동 에너지 탄(APFSDS-T, Armor-Piercing Fin-Stabilized Discarding Sabot-Tracer) 용 소진탄피는 K1A1 전차의 운동에너지탄인 K276탄과 동일하게 금속 탄피인 stub와 소진 탄피로 이루어져 있는 반 소진 탄피(semi-combustible

cartridge case)를 적용할 예정이다.

차기 전차에서는 탄의 포구 속도를 증대시키기 위하여 K276탄에 적용되었던 K683추진제(M30 계통, 화염온도 3100K) 대신에 19공(19holes) 추진제인 SCDB (Surface Coated Double Base, 화염온도 3550K) 추진제를 적용한다. SCDB 추진제는 Nitrochemie사에서 개발한 추진제로 M30 추진제에 비해 고 에너지 조성을 사용하기 때문에 화염온도가 높아 포강을 마모 시킬 위험이 크지만 온도 의존성이 낮은 장점이 있다.

그림 3은 SCDB 추진제의 온도에 따른 약실 최고압의 변화를 보여준다. 고온에서 약실 최고압은 상온과 비슷한 수준이므로 상온에서 추진제 약량을 증가시켜 포신 허용 압력까지 사용할 수 있기 때문에 무기 성능 향상에 기여 할 수 있다.

소진탄피 관점에서 보면 운동 에너지탄이 추구하는 관통력 최대를 위해서는, 탄의 포구 이탈 속도를 올려야 하며 이를 위해서는 에너지를 많이 생성할 수 있는 고 에너지 조성의 소진탄피를 사용하여야 한다. 따라서 본 연구의 목적은 BA 공정으로 제조되는 국산 소진탄피의 120mm 운동에너지탄 적용성과 K276용 소진탄피보다 고 에너지 조성을 적용한 소진탄피를 사용하였을 때 차기전차 운동에너지탄에 나타나는 소진탄피 연소 특성과 SCDB 추진제를 충전한 후 발



[그림 3] 추진제 온도에 따른 강내 최고압 (사각형: SCDB추진제, 삼각형: 재래식 추진제)

사 시험에서 나타나는 강내 탄도 특성을 살펴보고자 한다.

2. 실험

가. 열역학 특성 분석

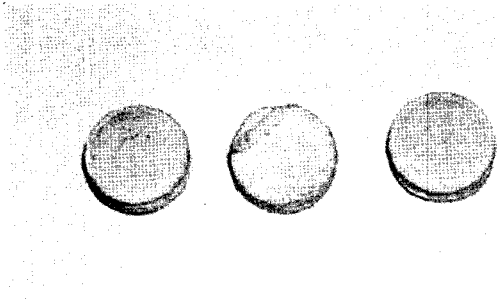
각국에서 사용하고 있는 120mm 운동 에너지탄용 소진탄피의 수준을 살펴보기 위하여 입수된 각국의 소진탄피의 특성을 분석하였다. 미국 군사규격(MIL) 및 NATO(North Atlantic Treaty Organization, 북대서양 조약) 규격(STANAG)에 공개된 조성을 사용하여 충전 밀도 0.15g/cc에서 열역학적 특성을 BLAKE code로 계산하면 표 1과 같다. K276탄용 소진탄피는 미국 M829탄 및 SNPE사의 120mm 탄보다 추력(impetus) 및 폭발 열이 낮게 나타났다. 이는 K276탄용 소진탄피는 외국의 120mm 탄의 소진탄피보다 에너지가 낮은 조성으로 제조 되었다는 것을 보여 준다.

[표 1] 각국 소진탄피 열역학 특성

	Impetus* (J/g)	Flame Temp.* (K)	폭발열 (cal/g)	인장강도 (Kgf/cm ²)
K276	525	1443	430	315
M829(USA)	564	1518	513	360
SNPE	555	1495	493	283

나. 연소 속도 측정

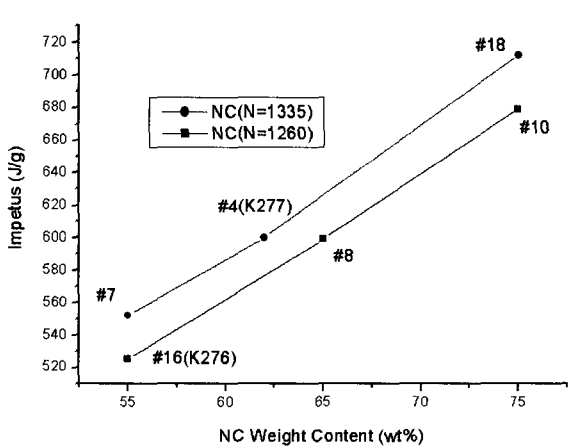
소진 탄피의 연소 속도를 결정하기 위하여 밀폐 용기 내 연소 속도 CBT(Closed Bomb Tester) 측정이 수행 되었다. 소진탄피 시편은 공기압력으로 작동하는 punch를 사용하여 직경 9.1mm의 알약 형태로 만들고 온도를 55°C로 맞추어진 oven 속에 넣어 4시간 건조 하였다(그림 4 참조). 이 건조된 소진 탄피 시료를 200cc 부피의 CBT에서 충전 밀도 0.2g/cc로 하여 시간에 따른 압력 변화율을 측정 하였다. 측정된 값을 소진탄피 형상 함수를 입력하여 소진 탄피의 겉보기 연소 속도(apparent burn rate)를 구하였다.



[그림 4] 연소 속도 측정용 시료

다. 소진 탄피 조성 변경

수지 함량을 고정하고 면약(니트로 셀룰로즈) 함량과 kraft pulp 함량을 변경하며 조성 변경된 소진 탄피를 제조 하였다. 사용된 면약은 질소(N)함량이 높은 강면약(guncotton grade, 질소 함량 13.35%)과 약면약(pyrocellulose grade, 질소 함량 12.6%) 2종류를 사용하였다. 제조한 소진탄피 조성을 BLAKE code를 사용하여 계산한 추력(충전밀도 : 0.15g/cc)을 그림 5에 나타내었다. 동량의 니트로 셀룰로즈 함량을 가졌을 때는 니트로 셀룰로즈에 질소 함량이 13.35%인 조성이 니트로 셀룰로즈 질소 함량이 12.6%보다 추력이 크다는 것을 알 수 있다.



[그림 5] 니트로셀룰로즈 함량과 추력과의 관계

라. 발사 시험

탄 발사 시험은 포신내부를 크롬으로 도금한 120mm 활강포(L55)를 사용하여 발사 시험 하였다. 압

력에 따른 강내 압력의 변화는 약실내의 breech쪽과 base쪽에 압력 센서를 각각 1개씩 설치하여 측정하였고, 강내 최고압은 탄피 속 점화 뇌관 결합체 밀부분에 설치한 M11 압력 게이지(M11 Crusher)로 측정 하였다. 탄의 포구 이탈 속도는 MVR(S(Muzzle Velocity Radar System))로 계측하였다.

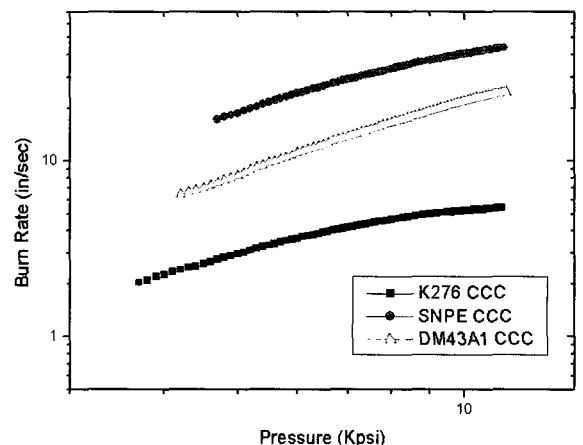
3. 결과 및 토론

가. 연소 속도

운동에너지(Kinetic Energy, KE)탄용 소진 탄피의 압력에 따른 연소 속도를 대수-대수 그래프로 비교하면(그림 6) SNPE의 소진탄피 연소 속도가 가장 높고 DM43A1탄용 소진탄피가 중간, 국산 KE탄용 소진탄피의 연소 속도가 가장 낮다.

그림 6을 주의 깊게 살펴보면 국산 KE와 SNPE KE탄용 소진탄피의 기울기는 비슷하나 DM43탄용 소진탄피의 경우는, 기울기 증가로 압력 증가에 따른 연소속도가 크게 증가함을 알 수 있다. 따라서 압력 증가에 따른 연소 속도의 증가를 Saint-Robert & Vieille 연소 모델을 사용하여 해석 하였다.

$$r \text{ (in/sec)} = \frac{dx}{dt} = aP(kpsi)^b \quad (1)$$



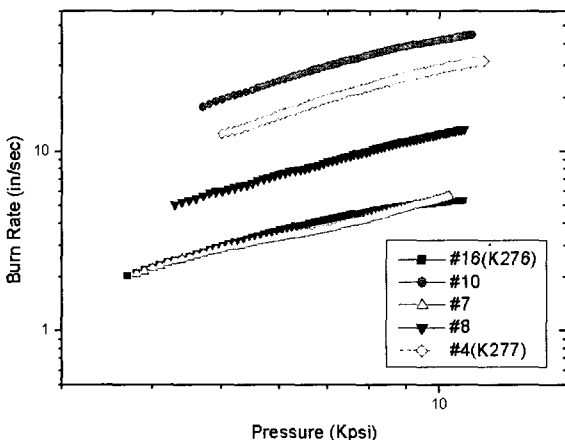
[그림 6] 각국 120mm 운동에너지탄용 소진탄피 연소 속도

여기서 r 은 추진제의 연소 속도, x 는 표면으로부터 타 들어간 거리, P 는 평균 압력, a 와 b 는 상수이다. a 는 연소 상수, b 는 압력 지수이다. 소진 탄피 연소 속도를 식 (1)에 regression한 결과를 표 2에 보였다. BA 공정을 사용하는 SNPE KE탄용 소진탄피와 K276용 소진탄피는 압력 지수 값이 각각 $b=1.035$ 와 $b=1.045$ 로 유사한 값을 가지나, PI 공정을 사용하는 DM43탄은 압력지수가 1.399이다. 이는 DM43탄 소진탄피가 압력 상승에 따라 연소 속도가 급격히 상승함(progressive)을 보여 주는 것이다. 그 이유는 PI 공정은 수지를 소진탄피 성형 후 칩투 시켰기 때문에 표면의 수지 농도가 높다는 것에 기인한다. 즉 연소 초기에는 연소가 잘되지 않는 수지 때문에 연소 속도가 낮다가 소진탄피 중심부로 갈수록 상대적으로 수지 농도가 낮아지고 니트로 셀룰로즈 농도가 높아져서 연소 속도가 빨라지므로 압력 생성이 증가됨에 기인된 것으로 생각된다.

소진탄피 조성에 따른 연소 속도 측정은 그림 5에

[표 2] 연소 속도 측정 결과

Sample	a	b	Process
국산(K276)	0.550	1.035	BA process
SNPE KE탄용	3.883	1.045	BA process
Nitrochemie KE용(DM43)	0.887	1.399	PI process



[그림 7] 소진탄피 조성에 따른 연소 속도

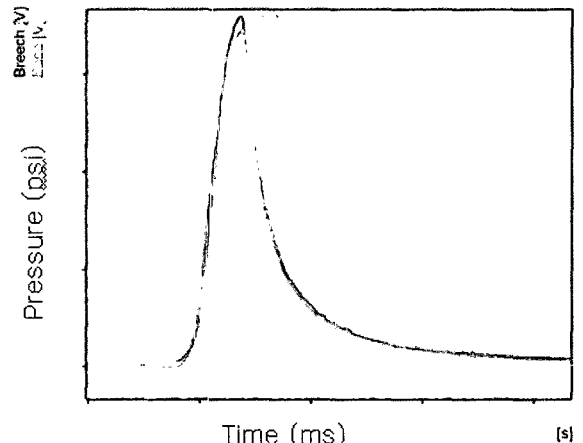
서 보이는 추력을 갖는 조성으로 제작된 소진 탄피를 앞에서 언급한 공기압 펀치를 사용하여 시편을 제작하여 연소 속도를 측정 하였다. 그림 7은 측정된 연소 속도를 나타낸다. 겉보기 연소 속도는 같은 질소 함량일 경우에는 니트로 셀룰로즈 함량이 큰 조성이 연소속도가 크다. 그러나 연소 속도는 면약종류, 즉 강면약을 사용하였거나 약면약을 사용하거나 에는 관계없이 impetus가 큰 값이 연소 속도가 큰 값을 보였다.

측정된 연소 속도를 Saint-Robert & Vieille 연소 모델을 사용하여 구한 연소속도 상수 a 와 지수 b 를 구하면 조성에 큰 영향 없이 1.0 근처의 값을 갖는다.

나. 발사시험 결과

발사 시험 결과 BA 공정으로 제조된 소진탄피는 시험한 조성에서 미 연소된 소진탄피(잔사)나 그림 8에 보이는 강내 압력 및 시간 변화 곡선에서 보이는 것처럼 과도한 부의 차압(negative differential pressure)과 같은 비정상 강내 압력 거동이 보이지 않아 120mm 차기전차 운동에너지탄용 소진탄피로 적용성이 있음을 알 수 있었다.

그림 9에 각 조성에 대해 강내 최고 압력과 탄속을 그려 보면 impetus에 따른 압력과 탄속과의 관계를 명확히 알 수 있다. 즉 #4 조성까지는 압력증가에 따라 탄속 증가가 크지만 Impetus 가 이보다 높은 #10, #18은 압력이 증가하여도 탄속이 그리 증가하지 않는



[그림 8] 시간 경과에 따른 강내압력 곡선

다. 즉 #10, #18과 같은 고 에너지 조성으로 제조된 소진 탄피는 소진탄피의 화학에너지가 탄자의 운동에너지로 전환되는 효율이 낮다는 것을 의미한다. 따라서 차기전차 운동 에너지탄에서는 Impetus 600J/g 수준의 소진탄피가 적당하다고 판단된다.

SCDB 추진제를 Impetus 525J/g 수준의 소진탄피 (K276용 소진탄피 조성)와 Impetus 600J/g의 소진탄피를 사용하고 SCDB 추진제를 사용 하여 발사 시험한 결과를 그림 10에 보였다. Impetus 525J/g과 600

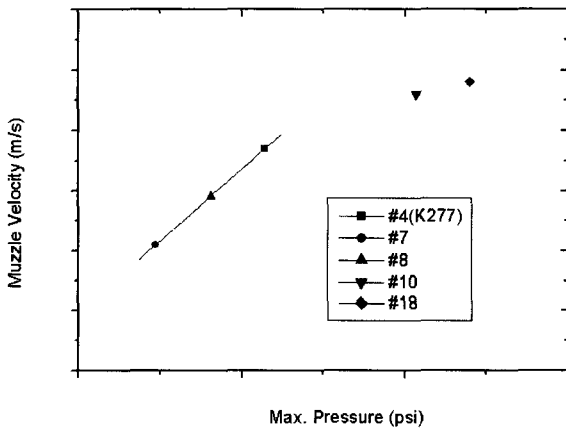
J/g 조성의 소진 탄피를 사용 하였을때 포구 속도와 강내 최고압은 Curve fitting하면 일직선 상에 위치한다. 이는 소진 탄피를 고 에너지 조성으로 바꾸면 소진 탄피의 에너지가 증가하여 강내 압력과 탄자의 탄속을 동시에 증가 시키는 것을 의미한다. 발사 시험 결과는 강내 최고압 3500psi, 탄속 12m/s 상승을 보였다.

4. 결론

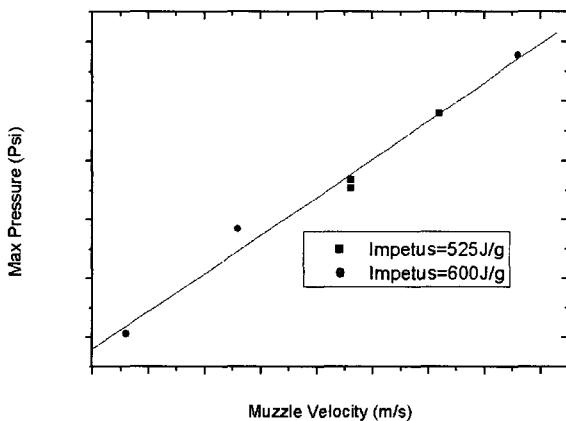
BA 공정으로 제조한 국산 소진탄피는 발사시험 결과 120mm 차기전차 운동에너지탄에 적용성이 있음을 확인 하였다. 소진탄피의 고 에너지화는 Impetus 600J/g 이상에서는 탄자의 속도증가에 따른 강내 압력이 증가율이 급격히 증가 하므로 소진탄피 조성을 Impetus 600J/g로 설계하는 것이 최적이다. 그 이유는 소진탄피의 형상은 웹(web) 크기가 소진탄피 두께인 단공 추진제로 생각 할 수 있으므로 차기 전차 운동 에너지탄에 사용 되는 19 공 SCDB 추진제에 비해 가스 방출량이 누진적으로(Progressive) 방출되지 않기 때문이다. 이는 탄자를 가속하는데 19공 추진제에 비해 비효율적이므로 에너지를 높여 탄자의 포구 속도를 증대하는 데는 한계가 있다고 판단 된다.

참 고 문 헌

- [1] F. W. Robbins, "Combustible Cartridge Cases: Current Status and Future Prospects", BRL-TR-3383, 1992.
- [2] 김동만, "소진탄피의 개발동향 분석", 국방과학연구소 보고서, 1994.
- [3] J. W. Colburn, "Combustible Cartridge Case Ballistic Characterization", BRL-MR-3835, 1990.



[그림 9] 소진탄피 조성 별 강내 최고압과 탄속



[그림 10] SCDB 추진제 적용 시 강내 최고압과 탄속