

추진장약 수락시험의 적정 점검탄 분석 연구

An Analysis Study of the Proper Quantity of Conditioning Rounds at the Acceptance Test of the Propelling Charge

나 태 흠*

Tae-Heum Na

Abstract

In this paper, the proper quantity of conditioning rounds has been studied using the statistical analysis on the basis of the acceptance test data of K676 and K677 propelling charge for K9 self propelled howitzer. In general, the muzzle velocity of the initial rounds tends to be a little lower than that of the succeeding rounds. The latter rounds are likely to have the constant velocities after firing the appropriate conditioning rounds. The main cause of velocity difference was proved to be the proper quantity of conditioning rounds by doing the correlation analysis among the initial tube temperature, the tube life and the quantity of conditioning rounds. The result of paired t-test shows that two rounds of conditioning projectiles are proved to be enough to maintain the constant velocity in the case of the acceptance test of K676 and K677 propelling charge.

Keywords : Conditioning Round(점검탄), Muzzle Velocity(포구속도), Acceptance Test(수락시험), K676/K677 Propelling Charge(K676/K677 추진장약)

1. 서론

동일한 화포로 동일 로트(Lot)의 포탄을 사격하여도 사격된 모든 포탄들은 동일한 포구속도를 나타내지 않는다. 대부분의 경우 최초 몇 발은 포구속도 크기변화에 있어 어떤 규칙적인 형태를 이룬다. 이러한 현상을 속도경향^[1]이라 하며 그 정도는 사격시 화포, 추진장약, 포강 손질상태에 따라 다르다. 대부분의 경우에 있어 속도경향은 초기에 발사된 포탄의 포구속도가

후속 발사된 포탄의 포구속도보다 다소 낮은 경향을 보이며, 적절한 사격 발수 후에는 일정한 포구속도를 유지하는 것을 볼 수 있다.

이러한 초기발사포탄에서의 포구속도 저하현상은 포구속도를 주요확인사항으로 하는 추진장약 수락시험에 있어서 매우 중요한 요소이다. 따라서 포구속도 저하현상에 의한 수락시험 결과의 영향을 배제하기 위하여 관련 국방규격서^[2]와 수락시험 절차서^[3]에는 시험탄의 사격에 앞서 점검탄의 사격을 명시한다. 점검탄(또는 가운탄이라 하며, 이하 점검탄으로 명칭)^[4]은 포강내 기름주유 및 포강온도 변화에 따른 포구속도의 증감을 없애고 일정한 포구속도를 얻기 위한 역할과 계측장비와 화포장비의 작동상태를 점검하는 목적

† 2011년 3월 16일 접수~2011년 5월 27일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 나태흠(fkxogma@hanmail.net)

으로 활용되며, 일반적으로 3발을 사격하도록 되어 있으나 시험책임관(Test Director)의 판단에 따라 가감할 수 있다.

충분한 발수의 점검탄을 책정하여 수락시험에 적용한다면 속도경향에 따른 포구속도 변화를 완전히 배제할 수 있겠지만 1발에 수백만원에 이르는 시료비용과 시험에 투입되는 인력 등을 고려한다면 낭비적 요소가 있음을 부인할 수 없다.

반대로 점검탄을 사격하지 않거나 필요 이상으로 축소시킨다면 초기발사포탄의 저하된 포구속도는 수락시험의 결과에 영향을 끼칠 수 있다. 이렇듯 적절한 점검탄의 시료수 판단은 수락시험 수행에 있어 매우 중요한 요소이며, 이에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 155mm K9 자주포용 K676 및 K677 추진장약의 수락시험 결과를 분석대상으로 통계적 분석을 수행하여 초기발사포탄에서의 포구속도와 속도경향에 대한 예측모델을 수립하고 정량화하였으며, 적절한 점검탄의 시료수를 판단하고자 하였다.

2. 분석방법

초기 발사포탄에서 포구속도의 증가량에 따른 속도경향을 분석하기 위하여 수락시험이력을 기초로 각 로트별 포구속도자료의 정리 및 통계분석을 실시하였다.

가. 수락시험 방법

K676 및 K677 추진장약 양산품은 국방규격서와 시장 수락시험 절차서에 규정된 방법과 기준에 의거하여 수락시험을 수행하는데 Table 1은 K676 및 K677 추진장약의 양산품 수락시험을 위한 사격시험 절차를 보여주고 있다.

일반적으로 추진장약 시험은 Table 1과 같이 3단계를 거쳐 수락시험이 이루어진다. 먼저, 추진제 약량조정 시험은 밀폐폭발시험(Closed Bomb Test)을 거쳐 예상되는 추진제 약량 대비 97%, 100%, 103% 약량에 대하여 각 3발씩 추진장약을 상온 챔버(Chamber)에서 24시간이상 온도처리 후 사격을 수행한다.

또한 시험추진제의 외적요인에서 기인하는 화포간(Weapon-to-Weapon)편차, 일간(Day-to-Day)편차 및 온도변화를 보정하기 위하여 기준추진장약(Master Calibration Charge)을 사격하여 포구속도와 약실압력을 보정한 후 단순 선형회귀분석을 통하여 표준포구속도에 대한 추

진제 약량을 계산하여 약량확인 시험에 적용한다.

약량확인 시험은 추진장약을 상온 챔버에서 24시간 이상 온도처리한 후 기준추진장약 1발에 시험추진장약 2발을 5회 교대사격하고 기준추진장약의 포구속도 결과로 보정을 한 후 약량조정시험과 마찬가지로 회귀분석을 통하여 표준포구속도를 기준으로 최종확인 시험에 적용할 약량을 결정한다.

최종확인 시험은 추진장약의 온도처리를 상온과 고온 각각에서 24시간이상 수행한 후 상온시험은 기준추진장약 1발에 시험추진장약 2발을 8회 교대사격(상온 총 시험추진장약은 15발임)하고, 고온시험은 기준추진장약 1발에 시험추진장약 2발을 5회 교대사격한다. 사격 후 기준추진장약의 포구속도로 시험추진장약의 포구속도를 보정하여 판정기준과 비교하여 수락여부를 확인한다.



K676 추진장약용
KM30A1 추진제(19공)



K677 추진장약용
KM30A1 추진제(7공)



K676 추진장약



K677 추진장약

Fig. 1. K676 및 K677 추진장약 형상

일반적으로 Table 1의 각 시험 단계별 점검단의 추진장약과 포탄은 시험시료와 동일한 로트로 구성된다.

Table 1. K676 및 K677 추진장약 수락시험 절차

시험단계	시험순서	발수	비고	
약량조정 (상온)	점검	3		
	시험97%약량	3		
	기준추진장약	3		
	시험100%약량	3		
	시험103%약량	3		
약량확인 (상온)	점검	3	기준1/시험2 교대사격	
	기준추진장약	5		
	시험추진장약	10		
최종 확인	상온	점검	3	기준1/시험2 교대사격
		기준추진장약	8	
		시험추진장약	15	
	고온	점검	2	기준1/시험2 교대사격
		기준추진장약	5	
		시험추진장약	10	

나. 자료정리

동일로트의 포탄과 추진장약을 동일 화포에 사격시 최초 사격시에는 포구속도가 낮다가 후속탄 사격시에는 포구속도가 증가하고 적절한 발수의 사격 후에는 일정한 포구속도 수준으로 안정 유지된다. 따라서 초기발사포탄에서 개별포구속도와 속도경향을 확인하기 위해 시험추진장약의 포구속도와 시험추진장약과 동일 로트로 사격한 점검단의 포구속도를 비교 분석하였는데, 시험단계 중 약량조정시험은 시험 시료수가 적고, 최종확인시험의 고온시험은 점검단 시료수와 추진장약의 온도조건이 상이하여 분석대상에서 제외하였다.

약량확인시험과 상온조건인 최종확인시험을 대상으로 당일 해당 추진장약 시험 사격전 타 시험으로 인한 화포 사용기록이 없으면서 당일 모든 시험이 종료되고, 또한 발당 사격시간이 일정한 주기인 자료를 선별하였다. 포구속도에 미치는 변수로는 포신의 온도, 포신수명^[5], 점검단 사격발수를 선정하였다. 포신 초기 온도(대기온도와 동일가정), 포신의 수명과 함께 각

로트별 점검 1번단, 점검 2번단, 점검 3번단의 개별포구속도와 시험추진장약의 평균포구속도를 정리하였다. 또한 발사포탄 사이의 속도 증가량을 알아보기 위해 점검 1번단에 의한 속도증가는 점검 2번단의 포구속도로 대변되므로 점검 2번단의 포구속도에서 점검 1번단의 포구속도를 뺀 값을 정리하였으며, 이와 같은 방식으로 점검 3번단의 포구속도에서 점검 2번단의 포구속도를 뺀 값과 시험추진장약의 평균포구속도에서 점검 3번단의 포구속도를 뺀 값을 정리하였다.

다. 분석절차

초기발사포탄의 포구속도와 가온효과에 따른 속도경향을 확인하기 위하여 K676 및 K677 추진장약의 수락시험결과를 바탕으로 자료를 정리한 다음 포구속도와 속도경향에 영향을 미칠 것으로 추정되는 요인인 포신 초기온도, 포신수명, 점검단 사격발수에 대한 상관분석을 통하여 주요인을 도출해 낸다. 도출된 주요인에 대하여 유의수준 5%로 쌍체검정을 수행하고, 점검단 사격발수에 따른 속도경향을 확인하여 적절한 점검단의 시료수를 판단하였다. 이를 위하여 상용 S/W인 미니탭(Minitab 16)을 활용하여 Fig. 2와 같이 통계분석을 수행하였다.

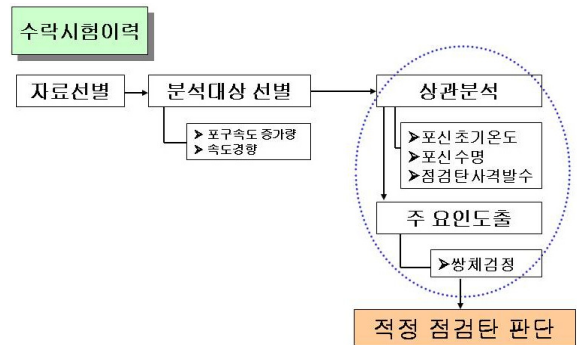


Fig. 2. 분석절차

3. 초기발사 포탄의 포구속도 및 속도경향

가. 상관분석(Correlation analysis)^[6]

포신의 초기온도, 포신수명, 점검단 사격발수와 포구속도 및 속도경향 사이에 관계를 분석하고자 상관분석을 수행하였다.

상관계수는 $-1 \leq r \leq 1$ 의 범위에서 그 값이 양이

면 양의 상관관계를, 음이면 음의 상관관계를 가지며 $|r|$ 값의 크기가 1에 가까울수록 강한 선형상관관계를 보인다. 상관계수 r 의 검정에 대한 귀무가설 $H_0 : r = 0$ 과, 대립가설 $H_1 : r \neq 0$ 에 따른 검정통계량(Test Statistic) $T(X) = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \sim t_{(n-2)}$ 은 자유도가 $n-2$ 인 t 분포를 보이며, 기각역은 $|T(X)| \geq t_{(n-2; \alpha/2)}$ 이다. 상관분석은 유의수준(Significance Level) $\alpha = 0.05$ 인 양측검정을 실시하였다.

K676 추진장약과 K677 추진장약 수막시험시 포신의 초기 온도 및 포신수명에 대한 점검 1번탄의 포구 속도에 대한 산점도는 Fig. 3과 같으며, 산점도상에서 큰 상관관계는 없는 것으로 보인다. 산점도를 확인 후 각 변수에 대하여 상관분석을 수행하였다. 상관분석의 결과는 Table 2와 같으며 검정통계량 $T(X)$ 가 기각역보다 작아 기각역에 해당하지 않으므로 귀무가설(H_0)을 채택하였고, 각 변수사이에 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

Table 2. 상관분석 결과(포신온도 및 수명)

구분		점검1	점검2 - 점검1	점검3 - 점검2	시험 - 점검3	
K676 (N=25)	기각역	2.069	2.069	2.069	2.069	
	포신온도	r	0.070	0.081	0.374	-0.344
		T(X)	0.337	0.390	1.934	-1.757
		검정결과	H_0 채택	H_0 채택	H_0 채택	H_0 채택
	포신수명	r	0.177	-0.160	0.152	0.235
		T(X)	0.862	-0.777	0.738	1.159
검정결과		H_0 채택	H_0 채택	H_0 채택	H_0 채택	
K677 (N=28)	기각역	2.056	2.056	2.056	2.056	
	포신온도	r	0.235	-0.261	0.723	-0.282
		T(X)	1.233	-1.379	1.447	-1.499
		검정결과	H_0 채택	H_0 채택	H_0 채택	H_0 채택
	포신수명	r	0.174	-0.339	0.097	-0.084
		T(X)	0.901	-1.837	0.497	-0.430
검정결과		H_0 채택	H_0 채택	H_0 채택	H_0 채택	

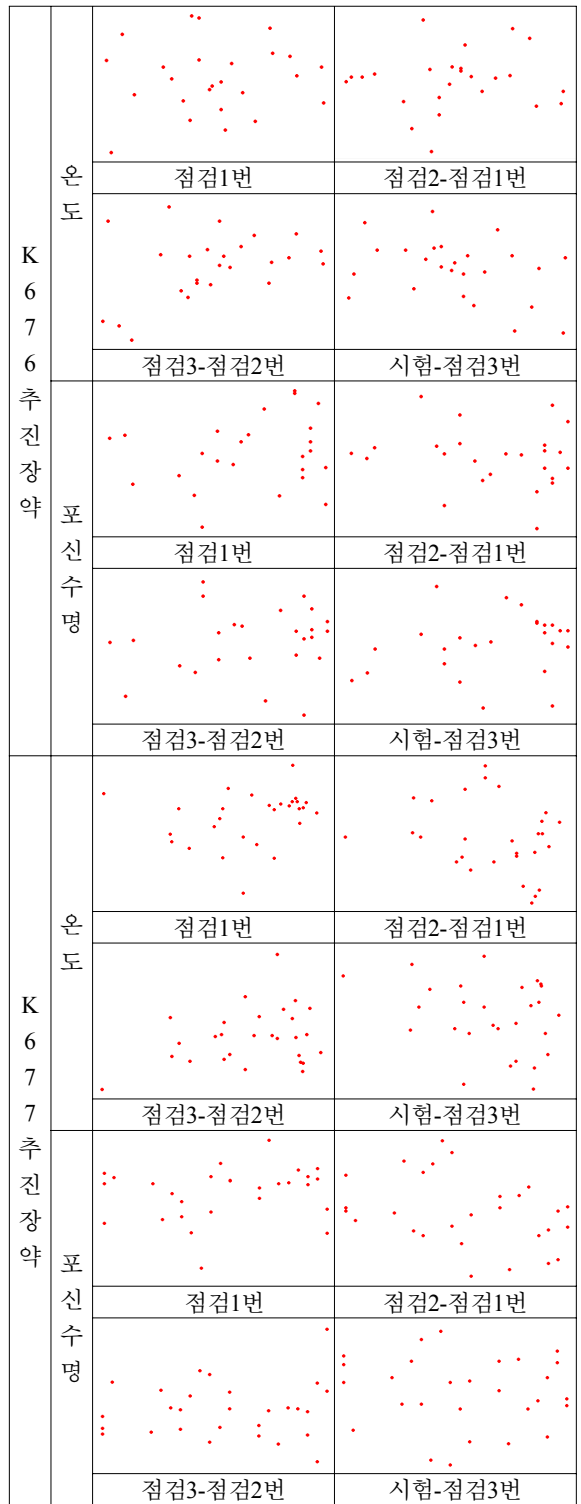


Fig. 3. 온도 및 포신수명과 포구속도에 관한 산점도

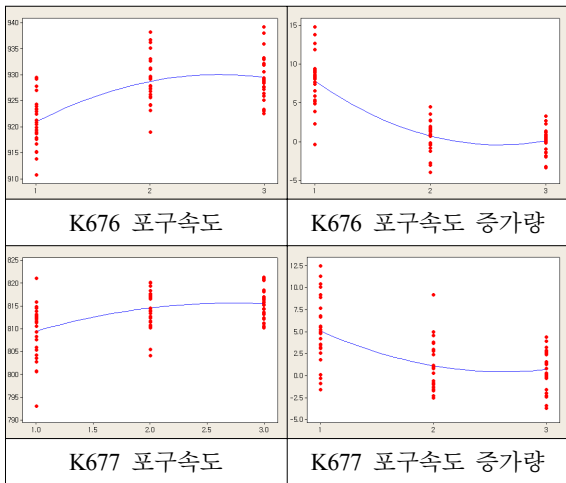


Fig. 4. 점검탄 사격발수에 따른 포구속도 및 속도증가량 산점도

Table 3. 상관분석 결과(점검탄 사격발수)

구분		점검1번 ~점검3번 포구속도	점검탄 사격발수간 포구속도 증가량
K676 (N=75)	r	0.590	-0.738
	T(X)	6.243	-9.344
	기각역	1.996	1.996
	검정결과	H_1 채택	H_1 채택
K677 (N=84)	r	0.499	-0.586
	T(X)	5.214	-6.549
	기각역	1.993	1.993
	검정결과	H_1 채택	H_1 채택

점검탄 사격발수와 포구속도 및 속도경향에 대한 산점도는 Fig. 4와 같으며, 산점도상에서 사격발수가 증가함에 따라 포구속도는 증가하고 포구속도 증가량은 감소하는 경향을 보인다. 상관분석결과는 Table 3과 같으며 검정통계량 T(X)가 기각역보다 크므로 귀무가설(H_0)을 기각하여 상관관계가 있음을 알 수 있으며, 상관계수 r에서 점검 1번탄에서 점검 3번탄까지의 포구속도는 점검탄 사격발수에 따라 증가하는 양

의 상관관계를 보이며, 사격진행 발수 간 포구속도 증가량은 감소하는 음의 상관관계를 보인다. 결론적으로 K676 및 K677 추진장악 수락시험에 있어서 초기 발사포탄의 포구속도와 포구속도 증가량은 포신의 온도와 포신수명보다는 점검탄 사격에 따른 발사탄수에 기인하는 것으로 나타났다.

나. 쌍체검정(Paired t-test)^(6,7)

초기발사 포탄에서 몇 발을 연속사격 했을 때 변화가 없는 일정한 포구속도를 유지할 것인지 알아보기 위해 쌍체검정을 실시하였다.

쌍체검정은 하나의 모집단에서 임의로 추출된 표본에 대해 두가지의 처리효과를 비교하는 시험의 경우, 하나의 표본에 대한 조건이 동일하므로 두 처리그룹 간의 차이는 다른 요인에서 기인하기 보다는 처리간의 차이로 해석할 수 있다. 이러한 경우의 두 그룹은 표본의 연관성 때문에 서로 독립이라 할 수 없다. 따라서 독립된 두 표본으로부터 시험을 거쳐 모평균의 동일성을 비교하는 방법을 이용할 수 없다.

이러한 경우 동일 그룹내에서 일어나는 차이와 그룹간의 차이를 분리하기 위하여 두 그룹으로부터의 관찰값 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 은 각 쌍의 차이값 d_1, d_2, \dots, d_n 을 계산하고, 이 차이값을 표본으로 하여 추론을 전개한다. 검정에는 차이값의 평균값(\bar{d})과 분산(S_d^2)을 이용한다.

포구속도 동질성을 검정하기 위하여 점검 1번탄의 포구속도 집단, 점검 2번탄의 포구속도 집단, 점검 3번탄의 포구속도 집단을 시험추진장악의 평균포구속도 집단과 각각 쌍체검정하여 집단간 평균의 차이 여부를 유의수준 $\alpha = 0.05$ 인 양측검정을 통하여 확인하였다. 귀무가설 $H_0 : \mu_D = 0$, 대립가설 $H_1 : \mu_D \neq 0$ 일 때 검정통계량 $T(X) = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{n}} \sim t_{(n-1)}$ 은 자유도가 n-1인 t분포를 따르며 기각역은 $|T(X)| \geq t_{(n-1; \alpha/2)}$ 이다.

쌍체검정 결과는 Table 4와 같으며, K676 추진장악에서 점검 1번탄과 시험추진장악의 평균포구속도에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 13.19 > t_{(24, 0.025)} = 2.064$ 이고, 점검 2번탄과 시험추진장악의 평균포구속도에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 2.09 > t_{(24, 0.025)} = 2.064$ 으로 기각역에 해당하여 대립가설(H_1)을 채택하고, 두 집단 사이에는 포구속도 차이가 있다고 할 수 있다. 그러나

점검 3번탄과 시험추진장약의 평균포구속도에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 0.46 < t_{(24,0.025)} = 2.064$ 으로 기각역에 해당하지 않아 귀무가설(H_0)을 채택하여 두 집단 간 포구속도 차이는 없다고 할 수 있다.

또한, K677 추진장약에서 점검 1번탄과 시험추진장약의 평균포구속도에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 7.38 > t_{(27,0.025)} = 2.052$ 이고, 점검 2번탄과 시험추진장약의 평균포구속도에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 3.01 > t_{(27,0.025)} = 2.052$ 으로 기각역에 해당하므로 대립가설(H_1)을 채택하여 두 집단 사이에 포구속도 차이가 있다고 할 수 있다. 그러나 점검 3번탄과 시험추진장약의 평균포구속도에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 1.71 < t_{(27,0.025)} = 2.052$ 으로 기각역에 해당하지 않아 귀무가설(H_0)을 채택하여 두 집단간 포구속도 차이는 없다고 할 수 있다.

결국 K676 및 K677 추진장약 점검 3번탄의 포구속도는 시험추진장약의 포구속도와 같다고 할 수 있으며 2발의 점검탄만 사격 하여도 사격시험 초기에 발생하는 속도저하 현상을 극복할 수 있음을 보여 준다.

Table 4. 쌍체검정 결과

구분		시험평균 vs 점검1	시험평균 vs 점검2	시험평균 vs 점검3
K676 (N=25)	SD차이	3.305	2.181	1.646
	평균차이	8.720	0.912	0.152
	T(X)	13.19	2.09	0.46
	p-value	0.000	0.047	0.648
	기각역	2.064	2.064	2.064
	검정결과	H_1 채택	H_1 채택	H_0 채택
K677 (N=28)	SD차이	4.823	2.890	2.165
	평균차이	6.729	1.646	0.700
	T(X)	7.38	3.01	1.71
	p-value	0.000	0.006	0.099
	기각역	2.052	2.052	2.052
	검정결과	H_1 채택	H_1 채택	H_0 채택

또한 Table 4에서 보듯이 K676 추진장약의 점검 1번탄과 시험추진장약의 포구속도의 평균차이는 8.72 m/s이며, K677 추진장약의 점검 1번탄과 시험추진장약의 포구속도의 평균차이는 6.73m/s이다. 점검 2번탄 및 점검 3번탄과 시험추진장약의 포구속도 평균차이는 점검 1번탄과의 평균차이보다 작다.

4. 점검탄 분석연구의 시사점 시험 및 야전 적용 효과

가. 점검탄 시료수 감소효과

점검탄과 시험탄에 대한 상관분석 및 쌍체검정을 통하여 K676/K677 추진장약 수락시험의 경우 점검 3번탄과 시험탄간의 포구속도 차이가 없음을 확인하였다. 따라서 K676/K677 추진장약 수락시험의 점검탄은 2발의 사격으로 충분하다. 점검탄 1발을 사격하기 위해서는 K307 탄두(T/P), K676/K677 추진장약, KM82 뇌관, K519 신관(모의)이 필요하며, 소요 탄약의 비용만 고려할 때 약 250만원이 소요된다. K676 및 K677 추진장약 1개 로트 수락시험시 각 시험 단계별 2발의 점검탄을 사격했을 경우 총 3발의 점검탄을 절감할 수 있으며, 추진장약 1개 로트 시험시 절감되는 점검탄의 비용은 약 750만원으로 추산된다.

이는 단순한 소요탄약에 대한 비용 절감 효과이며, 수락시험시 투입되는 시험 지원 인력 및 장비, 소요시간, 포신 마모 등 직·간접적인 요소까지 고려하면 추진장약 1개로트 시험시 약 2,000만원 이상의 예산절감 효과가 있을 것으로 추산된다.

나. 야전운동 측면

일반적으로 야전 사격운동시 야전 포병대대는 화포의 포구속도(비표준 포구속도)를 측정하여 해당 포의 포구속도와 표준 포구속도를 비교하는 포구수정을 통하여 화포별 속도차이에 따른 오차를 보정한다.

포구수정을 통하여 산출된 포구속도 변화량(MV.V, Muzzle Velocity Variation)은 사격체원 산출시 보정하지만 초기 발사포탄의 포구속도와 속도경향은 반영되지 못하기 때문에 초탄 명중률 향상 및 신속·정확한 효력사 임무수행이 어렵게 된다.

참고적으로 K676 추진장약의 1번탄 사격시 발생하는 포구속도 차이 약 8.7m/s는 최대사거리 사격시 약 900m의 사거리 차이를 보이며, K677 추진장약의 약

6.7m/s의 포구속도 차이는 최대사거리 사격시 약 500m의 차이를 보인다⁸⁾.

따라서 초기발사포탄의 포구속도 변화를 반영하여 사격제원을 산출할 수 있다면 초탄 명중률 향상 및 신속한 효력사 사격이 가능해질 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구로부터 K676 및 K677 추진장약 수락시험 시 적정 점검탄 발사탄수와 관련하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

첫째, 상관분석 및 쌍체검정 결과 초기 발사포탄의 포구속도와 포구속도 증가량은 포신의 온도와 포신수 명보다는 점검탄 사격에 따른 발사탄수에 기인하고, K676 및 K677 추진장약 수락시험 시 2발의 점검탄 사격으로 충분하다.

둘째, 현재 K676 및 K677 추진장약 시험시 3발의 점검탄을 사격하므로 2발로 조정할 경우 예산절감 효과가 매우 크며, 야전에서 사격제원 산출시 초기발사포탄의 포구속도 변화를 반영한다면 초탄 명중률 향상 및 신속한 효력사 사격이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] FM 32-3, Artillery Gunnery (Fire Direction), Dep. of the Army, p. 2-2, 2004.
- [2] KDS-1320-3011-1, Propellant KM30A1 For use in Charge Propelling K676, pp. 6~7, 10, ADD, 2000. 12. 7.
- [3] P-155H-11A, Propellant KM30A1 for Use in Charge Propelling K676 and K677, DSTC, pp. 5~8, 2009. 6.
- [4] Yeon-Shik Cho, "The Procedure for Calibration Testing to Establish a Master Calibration Round", p. 2, ADD, 2000. 3.
- [5] Jae-Kab Kim, "An Study on the Erosion Characteristics of Tube CN98", Journal of KIMST, p. 48, 2006.
- [6] Yong-Gu Lee, Sam-Yong Kim, Introduction to Statistics, Yulgokbooks, pp. 351~354, pp. 458~460 2008.
- [7] Dong-Eun Heo, "A Statistical Analysis on Measurement Devices for Fuze Delay Time of 81mm Illuminating Cartridge", ADD, pp. 4~5, 1997.
- [8] 32-0-33(155-K9-4), Basic Firing Table of 155mm Howitzer, Dep. of the Army, p. 170, p. 250, 2009.