

추진장약 수락시험의 시험단계 통합 연구

김재갑^{*,1)} · 김재훈²⁾ · 나태흠¹⁾ · 김보균¹⁾ · 박노석¹⁾

¹⁾ 국방과학연구소 제8기술연구본부

²⁾ 충남대학교 공과대학 기계설계공학과

An Integration Study of the Firing Test Stage at the Acceptance Test for the Propelling Charge

Jaekab Kim^{*,1)} · Jaehoon Kim²⁾ · Taeheum Na¹⁾ · Bokyun Kim¹⁾ · Noseok Park¹⁾

¹⁾ The 8th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

²⁾ Mechanical Design Engineering, Chungnam National University, Korea

(Received 18 June 2015 / Revised 3 December 2015 / Accepted 26 February 2016)

ABSTRACT

In this paper, the integration of the firing test stages at the acceptance test of the propelling charge has been studied using statistical analysis on the basis of the test data of K676 and K677 propelling charge for K9 self propelled howitzer. Acceptance test of K676 / K677 propelling charge consists of 3 stages and each stage is charge assessment test, charge uniformity test and charge proving ground test. Many of rounds are fired and much money is spent to prove the charge performance at each stage. The result of t-test shows that there is no difference between charge uniformity and charge proving ground test stage of K676 and K677 propelling charge.

Key Words : Acceptance Test(수락시험), K676/K677 Propelling Charge(K676/K677 추진장약), Statistical Analysis(통계적 분석)

기 호 설 명

t : 평균
 $T(X)$: 검정통계량
 r : 상관계수
 μ : 평균

1. 서론

군(軍)에서 사용하고 있는 탄두 및 추진장약은 방산 업체에서 생산되고 품질보증기관의 보증활동을 거쳐, 사격시험을 통해 성능을 확인하고 있다.

품질보증활동 중 수행하는 사격시험은 관련품목의 국방규격 및 수락시험 절차서에 맞게 사격시험을 수행하고 있다.

국내에서 생산되는 추진장약 수락시험은 약량조절,

* Corresponding author, E-mail: kajun001@naver.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

약량확인, 최종확인의 3단계로 시험을 수행하고 있다.

약량조절 시험후 평균 포구속도로 결정된 약량은 약량확인시험에 적용하며, 약량확인 시험후 평균 포구속도로 결정된 약량은 최종확인 시험에 적용한다.

약량조절, 약량확인 및 최종확인 시험은 각각 규정된 사격수량을 사격하고 있으며, 이에 따른 탄두, 신관, 추진장약, 뇌관 등의 비용이 소요되고, 사격에 따른 포신의 마모도 발생, 대규모 시험인력의 투입을 고려할 때 많은 예산이 소요되며, 다른 시험과의 시험일정 조정 및 수립에 막대한 영향을 주고 있다.

본 논문에서는 155 mm K9 자주포용 K676 및 K677 추진장약의 수락시험 결과를 분석대상으로 하였으며, 통계적 분석기법을 통하여 약량조절, 약량확인, 최종확인의 상관관계 및 유의성을 확인한 후 시험단계 통합가능성을 확인하고자 한다.

2. 분석방법

각 시험단계별 추진제 중량 변화 경향을 파악하기 위하여 수락시험이력을 기초로 관련 데이터를 수집하여 분석하였다.

2.1 수락시험방법

K676 및 K677 추진장약 시험은 국방규격서^[1]와 시사장 수락시험 절차서^[2]에 규정된 방법과 기준에 따라 시험을 수행하고 있다. Table 1은 K676 및 K677 추진장약의 양산품 수락시험을 위한 사격시험 절차이다.

추진장약시험은 Table 1과 같이 3단계를 거쳐 수락시험이 이루어진다.

약량조절 시험은 밀폐폭발시험(Closed Bomb Test)을 거쳐 예상되는 추진제 약량에 대비하여 97 %, 100 %, 103 % 약량에 대하여 각 3발씩 조립 후 상온 챔버(Chamber)에서 24시간 이상 온도처리 후 사격을 수행하고 있다.

또한 시험추진제의 외적요인에서 기인하는 화포간(Weapon to Weapon)편차, 일간(Day to Day)편차 및 온도변화를 보정하기 위하여 기준추진장약^[3]을 사격하여 포구속도와 약실압력을 보정한 후, 선형회귀분석을 통하여 약량확인 시험을 위한 추진제 중량을 구한다.

약량확인 시험은 추진장약을 상온챔버에서 24시간 동안 온도처리 한 후 기준추진장약 1발에 시험추진장약 2발을 5회 교대사격을 실시한다. 약량조절시험과

동일하게 기준추진장약을 통하여 포구속도를 보정하고 회귀분석을 통하여 최종확인 시험을 위한 추진제 중량을 구한다.



Fig. 1. Composition of muzzle velocity radar system

최종확인 시험은 추진장약을 상온과 고온에서 각각 24시간 이상 온도처리 한 후, 상온시험은 기준추진장약 1발에 시험추진장약 2발을 8회 교대사격을 하고, 고온시험은 기준추진장약 1발에 시험추진장약 2발을 5회 교대사격한다. 사격후 기준추진장약의 포구속도로 시험장약의 포구속도를 보정하여 국방규격서에 의한 판정기준과 비교하여 수락여부를 확인한다.



Fig. 2. K676 and K677 charge

Table 1은 각 시험 단계별 시료구성을 나타낸다. 각 발사탄은 탄두, 추진장약, 신관, 뇌관으로 구성되며, 점검탄의 탄두와 추진장약은 시험시료와 동일한 로트로 구성된다.

Table 1. Acceptance test procedure of K676 and K677

시험단계	시험순서	발수	비고	
약량조절(상온)	점검	3		
	시험97%약량	3		
	기준추진장약	3		
	시험100%약량	3		
	시험103%약량	3		
약량확인(상온)	점검	3		
	기준추진장약	5	기준탄1발, 시험탄2발 교대사격	
	시험추진장약	10		
최종확인	상온	점검	3	
		기준추진장약	8	기준탄1발, 시험탄2발 교대사격
		시험추진장약	15	
	고온	점검	2	
		기준추진장약	5	기준탄1발, 시험탄2발 교대사격
		시험추진장약	10	

2.2 자료정리

시험장에서 각 단계별로 최근 사격된 시험자료를 분석대상으로 하였으며, 각 시험자료는 규격일치된 자료이다. 1개의 추진장약 로트가 시험을 거치는 약량조절, 약량확인, 최종확인 단계 중 국방규격의 판정항목에 맞지 않아 규격불일치된 로트는 분석대상에서 제외하였다.

시험단계별 추진장약 약량 차이를 확인하기 위하여 K676 및 K677 추진장약의 수락시험결과를 바탕으로 자료를 정리하였다.

또한, 각 단계별로 사용된 기준추진장약이 정상적인 포구속도를 나타내지 않은 시험로트는 분석대상에서 제외하였다.

약량조절 시험후 결정된 추진제 약량과 시험 100 % 약량의 차이를 확인하였으며, 약량확인 시험후 결정된 추진제 약량과 약량조절시험 후 결정된 약량의 차이를 확인하였다.

2.3 분석절차^[4]

수집된 자료는 통계적 가치를 확인해야 하며, 이를

위해 기초통계량을 확인하는 작업을 수행하였다. 시험 100 % 약량이 약량조절 시험 및 약량확인 시험후 결정되는 약량과의 상관관계를 확인하였다. 또한, 약량조절 시험후 결정약량과 약량확인 시험후 결정되는 약량과의 유의수준 5 %로 쌍체검정을 실시하여, 약량확인시험과 최종확인 시험단계의 통합 가능성을 판단하였다.

이를 위하여 상용 S/W인 미니탭(Minitab 16)을 활용하여 Fig. 3과 같이 통계분석을 수행하였다.

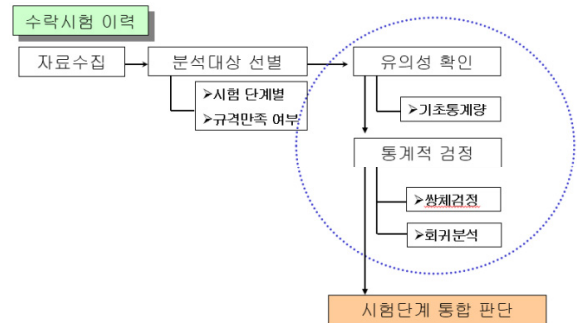


Fig. 3. Analysis procedure of test result

3. 자료분석

3.1 기술통계량

K676 및 K677 추진장약 데이터의 기술통계량은 Table 2와 같다.

Table 2. Descriptive statistics quantity of K676 and K677

시험구분	자료 갯수	평균(g)	표준편차(g)	
K676	약량조절 시험후 결정약량	26	14,352	137
	약량확인 시험후 결정약량	26	14,344	126
K677	약량조절 시험후 결정약량	26	10,357	21.3
	약량확인 시험후 결정약량	26	10,352	26.5

3.2 정규성 검정

수집된 K676 및 K677 추진장약 데이터의 정규성 검정 결과는 아래 Table 3과 같다.

Table 3. Result of normality test of K676 and K677

시험구분		P-값
K676	약량조절 시험후 결정약량	0.537
	약량확인 시험후 결정약량	0.552
K677	약량조절 시험후 결정약량	0.143
	약량확인 시험후 결정약량	0.189

P-값(P-value)이 일반적인 유의수준인 0.05 이상이면 정규분포를 따른다고 할 수 있으며, 검정결과 모든자료의 P-값이 0.1을 초과하는 것으로 확인하였다.

아래의 Fig. 4 ~ Fig. 7은 K676 및 K677 시험자료에 대한 정규성 검정결과이다.

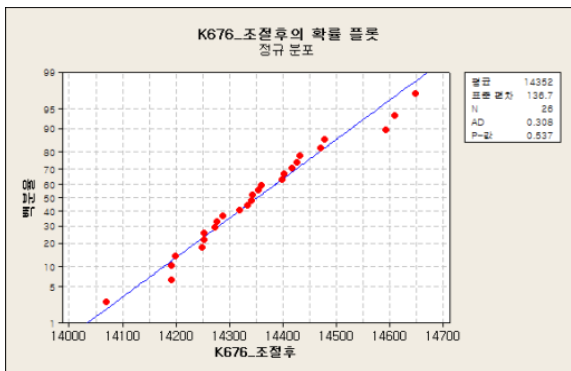


Fig. 4. Normality test of K676(After assessment test)

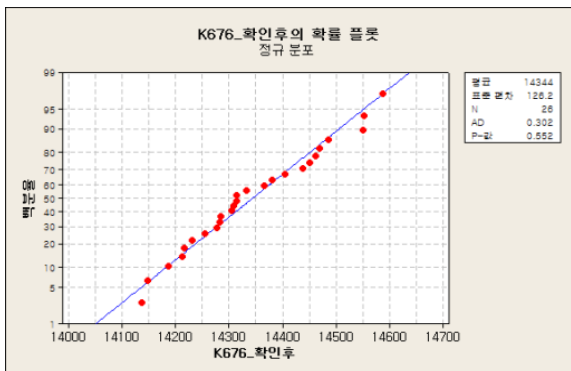


Fig. 5. Normality test of K676(After unification test)

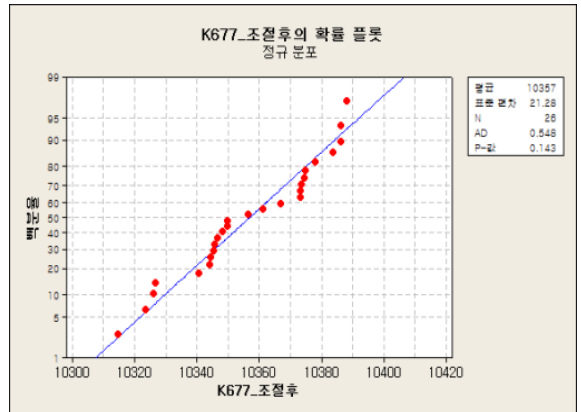


Fig. 6. Normality test of K677(After assessment test)

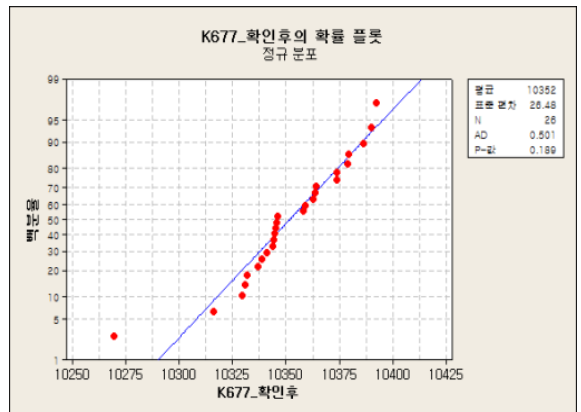


Fig. 7. Normality test of K677(After unification test)

3.3 상관분석

약량조절 단계의 시험 100 % 약량, 약량조절 시험후의결정약량, 약량확인 시험 후의 결정약량 사이의 상관관계를 분석하였다.

상관계수는 r 로 표시되며, $-1 \leq r \leq 1$ 의 범위에서 그 값이 양을 나타내면 양의 상관관계, 음을 나타내면 음의 상관관계를 갖으며, $|r|$ 값의 크기가 1에 가까울수록 강한 선형상관관계를 보인다.

상관계수 r 의 검정에 대한 귀무가설 $H_0 : r = 0$, 대립가설 $H_1 : r \neq 0$ 로 설정하고 이에 따른 검정통계량

$$(Test Statistics) T(X) = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

이다. 이 값은 자유도가 $n-2$ 의 t 분포를 따르며 기각역은 $|T(X)| \geq t_{(n-2, \alpha/2)}$ 이다. 상관분석은 유의수준(Significance Level) $\alpha = 0.05$ 인 양측검정을 실시하였다.

Table 4. Correlation analysis

시험구분		K676 (N=26)	K677 (N=26)
시험 100 % 약량 ~ 약량조절 후 결정약량	r	0.574	0.068
	$T(X)$	3.434	0.334
	기각역	1.706	1.706
	검정결과	H_1	H_0
시험 100 % 약량 ~ 약량확인 후 결정약량	r	0.672	0.160
	$T(X)$	4.446	0.794
	기각역	1.706	1.706
	검정결과	H_1	H_0

상관분석 결과, K676 추진장약은 검정통계량이 기각역보다 커서 H_1 을 선택하고, K677 추진장약은 검정통계량이 기각역보다 작아서 H_0 을 선택한다. 즉 K676 추진장약은 시험 100 % 약량, 약량조절시험 후 결정약량 및 약량확인시험 후 결정약량 사이의 상관관계가 있다고 할 수 있으며, K677 추진장약은 시험 100 % 약량, 약량조절시험 후 결정약량 및 약량확인시험 후 결정약량 사이의 상관관계가 없다고 할 수 있음을 확인하였다.

3.4 쌍체검정^[5,6]

약량조절, 약량확인, 최종확인의 단계가 서로 독립적인 시험이 아니라, 약량조절시험은 약량확인시험에 영향을 주며, 약량확인시험은 최종확인시험에 영향을 주는 짝을 이루고 있어 쌍체검정을 실시하였다.

쌍체검정은 하나의 모집단에서 임의로 추출된 표본에 대해 두가지의 처리효과를 비교하는 시험의 경우, 하나의 표본에 대한 조건이 동일하므로 두 처리그룹간의 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 시험을 거쳐 모평균의 동일성을 비교하는 방법을 이용할 수 없다.

쌍체검정에서 두 관측값의 차에 의한 방법을 적용시키며 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 로 주어질 때 $d_i = x_i - y_i, i = 1, \dots, n$ 으로 정의하고, d_1, d_2, \dots, d_n 에 일표본 방법을 적용시킨다. 즉, $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i, S_d^2 =$

$\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2$ 으로 정의할 때, 신뢰구간과 함께 검정통계량은 아래와 같다. 유의수준 $100(1-\alpha)\%$ 의 신뢰구간은 $\bar{d} \pm t_{\alpha/2}(n-1) \frac{S_d}{\sqrt{n}}$ 으로 표현할 수 있으며, 검정통계량 $T(X) = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{n}} \sim t_{(n-1)}$ 은 자유도가 $n-1$ 인 t 분포를 따르며, 기각역은 $|T(X)| \geq t_{(n-1, \alpha/2)}$ 이다.

각 시험단계별 추진장약 증량의 동일성을 검정하기 위해 시험 100 % 약량 집단, 약량조절시험 후 결정약량 집단, 약량확인시험 후 결정약량 집단으로 구분하고 각 집단별로 쌍체검정을 실시하여 집단간 평균의 차이여부를 유의수준 $\alpha = 0.05$ 인 양측검정을 통하여 확인하였다. 귀무가설 $H_0 : \mu = 0$, 대립가설 $H_1 : \mu \neq 0$ 로 설정하였다.

쌍체검정의 결과는 Table 5와 같으며, K676 추진장약에서 시험 100 % 약량과 약량조절 시험 후 결정약량에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 3.02 > t_{(26, 0.025)} = 2.060$ 이고, 시험 100 % 약량과 약량확인 시험 후 결정약량에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 3.16 > t_{(26, 0.025)} = 2.060$ 이므로 기각역에 대한 대립가설(H_1)을 채택하고, 두 집단사이에서의 결정약량에 대한 차이는 있다고 할 수 있다. 그러나 약량조절 시험 후 결정약량과 약량확인 시험 후 결정약량에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 0.960 < t_{(26, 0.025)} = 2.060$ 이므로 기각역에 해당되지 않아 귀무가설(H_0)을 채택하여 두 집단사이에서의 결정약량에 대한 차이는 없다고 할 수 있다.

또한, K677 추진장약에서 시험 100 % 약량과 약량조절 시험 후 결정약량에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 7.16 > t_{(26, 0.025)} = 2.060$ 이고, 시험 100 % 약량과 약량확인 시험 후 결정약량에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 7.47 > t_{(26, 0.025)} = 2.060$ 이므로 기각역에 대한 대립가설(H_1)을 채택하고, 두 집단사이에서의 결정약량에 대한 차이는 있다고 할 수 있다. 그러나 약량조절 시험 후 결정약량과 약량확인 시험 후 결정약량에 대한 쌍체검정은 $|T(X)| = 1.15 < t_{(26, 0.025)} = 2.060$ 이므로 기각역에 해당되지 않아 귀무가설(H_0)을 채택하여 두 집단사이에서의 결정약량에 대한 차이는 없다고 할 수 있다.

Table 5. Two-sample T-test result

시험구분		K676 (N=26)	K677 (N=26)
시험 100 % 약량 ~ 약량조절 후 결정약량	$T(X)$	-3.02	7.16
	P-값	0.006	0.000
	기각역	2.060	2.060
	검정결과	H_1	H_1
시험 100 % 약량 ~ 약량확인 후 결정약량	$T(X)$	-3.16	7.47
	P-값	0.004	0.000
	기각역	2.060	2.060
	검정결과	H_1	H_1
약량조절 후 결정약량 ~ 약량확인 후 결정약량	$T(X)$	0.960	1.15
	P-값	0.344	0.260
	기각역	2.060	2.060
	검정결과	H_0	H_0

4. 수락시험 단계 통합 연구의 시사점 적용 효과

4.1 수락시험 단계 통합

K676 및 K677 추진장약의 약량조절, 약량확인, 최종 확인 시험단계에 대한 상관분석 및 쌍체검정을 통하여 약량조절시험 후 결정약량과 약량확인시험 후 결정약량 사이의 차이가 없음을 확인하였다.

따라서, K676 및 K677 추진장약의 시험단계는 약량 조절 및 약량확인 또는 약량조절 및 최종확인 단계 또는 약량확인 및 최종확인 단계로 통합할 수 있음을 확인하였다.

시험단계의 통합으로 K676 및 K677 시험비용 예산의 절감 뿐 아니라, K676 및 K677 추진장약의 시험 빈도가 낮아짐에 따른 한정된 장비와 인력으로 시험을 수행하는 시험장에서 다른 연구개발 시험에 더 많은 장비와 인력을 투입할 수 있다.

5. 결론

본 연구로부터 K676 및 K677 추진장약 수락시험 단계의 통합과 관련하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

첫째, 상관분석 및 쌍체검정 결과 약량결정에 필요한 약량조절, 약량확인 및 최종확인 단계 통합이 가능하다.

둘째, 약량조절, 약량확인 및 최종확인 시험의 단계 통합이 될 경우 예산의 절감효과가 매우 크며, 다른 연구개발 시험이 가능하므로 시험장 운영 효과 상승이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] KDS-1320-3011-1, Propellant KM30A1 for use in Charge Propelling K676, pp. 6~7, 10, ADD, 2000. 12. 7.
- [2] P-155H-11A, Propellant KM30A1 for Use in Charge Propelling K676 and K677, DSTC, pp. 5~8, 2009. 6.
- [3] Yeon-sik Cho, "The Procedure for Calibration Testing to Establish a Master Calibration Round," p. 2, ADD, 2000.
- [4] Jae-Kab Kim, "An Study on the Erosion Characteristics of Tube CN98," Journal of KIMST, p. 48, 2006.
- [5] Yong-Gu Lee, Sam-Yong Kim, Introduction to Statistics, Yulgokbooks, pp. 351~354, pp. 458~460, 2008.
- [6] Tae-Heum Na, "An Analysis Study of the Proper Quantity of Conditioning Rounds at the Acceptance Test the Propelling Charge," Journal of KIMST, pp. 615~621, 2011.