

CN98 포신의 마모특성 연구

An Study on the Erosion Characteristics of Tube CN98

김 재 갑*

Kim, Jae-Kab

ABSTRACT

Tube erosion can be defined as a phenomenon for an increment of bore diameter, a declination of accuracy and utility of tube by firing. This study introduces the characteristics of tube life for the 155 mm K9 SHP. Using a tube history book with bore measurement data and firing data of standard charge, this study analyzed the EFC vs Tube life and EFC with heat transfer effect formula as a consideration of continuous firing vs tube life. The results were compared with Firing Table(FT 155-K9-1) after the analysis. Also, this study suggests that CN98 tube can be rifled as 1000 EFC through the severe condition with continuous firing.

주요기술용어(주제어) : Tube Wear(포신마모), Tube Life(포신수명), Prediction of Erosion(마모예측), EFC(유효장약당량)

1. 서론

포신 마모는 사격에 의하여 포강면이 손상되고 확장되어 화포의 정확도와 유용성이 저하되는 현상이다. 포신마모량이 어느 기준량 이상이 되면 포구속도, 강내압력, 사거리 분산도 등의 탄도학적 데이터에 영향을 주기 때문에 더 이상 사용할 수 없는 폐기한도에 이르게 된다.

포신 마모에 영향을 주는 인자는 여러 가지로 나누어 볼 수 있으나 열적 인자, 화학적 인자, 기계적 인자로 분류할 수 있다. 그러나, 각 인자들이 단독으로 나타나지 않으며 복합적으로 나타난다^[1].

포신 마모를 발생시키는 인자들간의 예측하기 힘든 복잡한 비선형적인 관계를 가지고 있어 모든 영향을 고려한 이론적인 해석이나 모델링 기법은 정립되어 있지 않으며, 실제로 과거 외국 유사장비에서 마모수명 평가는 실사격을 통해 판단하였다. 그리고 근래에는 제한된 조건하에서 여러 실험을 통해 축적된 자료를 이용한 경험식이 많이 발표되고 있으나 적용대상이나 적용범위가 제한되어 있다. 따라서 개발자들은 자신들의 설계조건, 설계변수에 적합한 모델을 정립하기 위해 많은 실험과 분석으로 Database를 구축하고 적합한 평가방법 및 도구를 개발하고 예측모델을 수립하고 있는 실정이다^[2].

여러 선진국에서는 포신마모를 감소시키기 위하여 다양한 방안이 연구되어 왔으며^[3~6], 사격 누적발수에 따른 포신 구경의 변화, 탄속 및 압력의 변화식을 많은 양의 사격을 통하여 도출하고 있다^[7~9].

† 2006년 3월 9일 접수~2006년 5월 17일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : hite@add.re.kr

155mm K9 자주곡사포의 포신마모에 관한 연구는 각종 시험보고서^[10-11]에서 초도품의 내구도(Durability), 신뢰도(Reliability), 안전도(Safety), 설계변경(Design Change)에 관한 평가를 하기 위하여 많은 양의 탄약을 사격하였다. 특히, 내구도 시험으로 얻은 누적발수에 대한 마모량, 탄속, 압력, 사거리, 편류와 각 표준 편차에 관한 자료를 통해 마모특성을 분석하기 위하여 활용하고 있다.

본 논문은 155mm K9 자주곡사포용 CN98 포신을 분석대상으로 하였다. 시험장에서 이루어진 사격결과를 분석하여 연속사격에 의한 발사속도와 사격발수를 고려하지 않은 EFC와 마모량 및 발사속도와 사격발수를 고려한 EFC와 마모량에 관하여 회귀분석식을 유도하였으며, 사표 FT 155-K9-1과 비교 분석하였다.

2. 분석방법

CN98 포신의 마모특성 및 성능변화특성을 분석하기 위하여 사격이력을 기초로 하여 각 포신별 누적 EFC, 구경축정값 자료를 정리하였다.

가. 포신구경 측정

포신구경은 스타게이지(Stargage)로 포미선단 49.75 인치의 직경을 측정하였다. 그림 1은 스타게이지의 헤드부분과 손잡이 부분으로 측정부와 직접 접촉하여 측정되는 부분이다. 그림 2는 스타게이지를 이용하여 구경을 측정하는 장면이다. 스타게이지의 운용절차는 절차서^[12]에 명시되어 있는 내용을 따른다.

나. 사격 누적발수 계산

포신수명은 기본적으로 구경축정값을 이용하여 포



[그림 1] 스타게이지의 헤드부분과 손잡이 부분



[그림 2] 구경축정 장면

신수명을 판단하며, 각 사격발수에 EFC값을 적용하여 EFC누적발수를 계산함으로써 포신수명을 예측할 수 있다. EFC는 탄종별 추진장약간의 상대적인 마모정도를 수치로 표현한 값이다. 본 논문에서는 아래 식 (1)의 EFC^[10]를 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 EFC &= Ax + Bx^2 + Cx^3 + Dx^4 + Ex^5 \\
 A &= -5.38097 \times 10^{-3} \\
 B &= 8.65679 \times 10^{-4} \\
 C &= -2.95689 \times 10^{-5} \\
 D &= 2.13429 \times 10^{-7} \\
 E &= 4.17626 \times 10^{-9} \quad x = \text{Pressure (psi)}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

또한, 연속사격에 의한 포신 온도상승을 고려하기 위하여 발사속도 및 사격발수의 변수를 포함한 Smith-O'Brasky의 식 (2)를 사용하였다^[14].

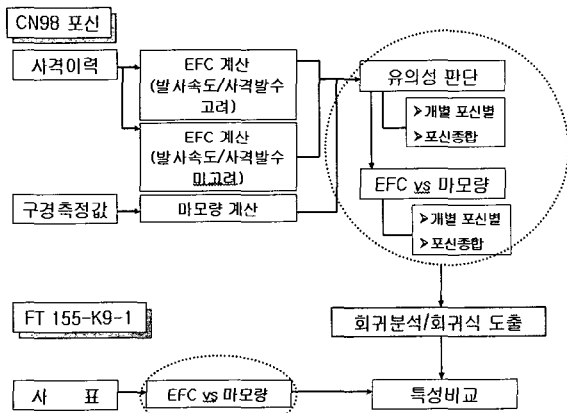
$$\begin{aligned}
 T_w &= 1.096 \frac{(T_f - \Delta T_c - 600)}{d} (CP)^{1/2} \\
 T_f &= 0.4632(T_f - \Delta T_c - 600)C^{0.75}(N-1)^{0.6}R^{0.5}d^{1.5} \\
 W &= 0.4216 \text{EXP}(0.0049(T_w + T_i))
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

T_f : 화염온도, ΔT_c : 추진제 성분에 따른 온도보정계수
 C : 추진제 무게, P : 최고압력, d : 포신구경
 N : 총 사격발수, R : 분당 사격발수
 T_w : 초기의 포신온도
 T_i : 이전 사격발수로 부터의 포신온도

다. 사격자료를 이용한 분석

포신마모에 의한 성능변화를 분석하기 위하여 시사장에서 사용한 K9포신의 모든 사격데이터를 입력한 후 대상 포신을 선정하였다. 시사장 특성상 1개 LOT 시험시 연속사격을 진행하는 특성을 가지고 있으며, 많은 사격발수를 사격하고 있다.

연속사격에 의한 CN98 포신의 마모 특성식을 구하기 위하여 사격이력으로부터 각 사격발수에 EFC를 적용하여 누적EFC를 계산하였으며, 발사속도와 사격발수를 고려한 누적EFC를 계산하였다. 정리된 데이터를 발사속도와 사격발수를 고려하지 않은 EFC vs 마모량과 발사속도와 사격발수를 고려한 EFC vs 마모량에 관하여 각 포신별 및 포신종합별로 마모량과의 유의성을 유의수준 5%로 판단하였으며, CN98 포신의 마모특성식을 구하였다. 최종적으로 사표 FT 155-K9-1과 비교 분석하였다



[그림 3] 비교분석 Flow chart

3. CN98 포신의 마모특성

비교적 사격발수가 많고 구경측정을 자주 수행한 포신을 6문(30AAA, 30BBB, 30CCC, 30DDD, 30EEE, 30FFF)을 선택하여, 사격이력을 검토한 결과 K676, K677 추진장약을 주로 사격하였다. 각 개별포신의 사격이력을 모두 입력하여 Database를 구축하였으며, EFC를 계산하였다. 포구속도와 압력을 측정하지 않

은 발사탄에 대해서는 해당 LOT시험시 평균값을 부여하여 마모특성을 분석하였으며. 또한 연속사격에 의한 포신온도 상승의 효과를 포함한 마모특성도 분석하였다.

가. 분석방법

선택된 6문의 포신에서 사격된 사격이력으로부터 EFC vs 마모량에 대한 회귀분석하여 마모 특성식을 구하였다. 회귀분석에 사용된 S/W는 Origin이다.

나. 분석결과

상기 6문에서 EFC와 구경을 표 1과 같이 구할 수 있다.

발사속도와 사격발수를 고려한 EFC vs 포신구경, 또한 발사속도와 사격발수를 고려하지 않은 EFC vs 포신구경이 서로 유의한지 판단하기 위해 유의수준 5%로 두 모집단의 평균차에 의한 양측검정을 하였다.

• 귀무가설 (H_0): $\mu_1 = \mu_2$ (3)

• 대립가설 (H_1): $\mu_1 \neq \mu_2$

• Test Statistics; $T_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$ (4)

여기서, μ_i : 모평균, T_0 : 검정통계량,

X_i : 샘플평균, S_i : 샘플표준편차,

n_i : 샘플갯수

표 2의 결과 발사속도와 사격발수를 고려한 대응수명은 유의수준 5%에서 $\bar{T}_0 = 0.231 < t_{(0.025, 20)} = 2.086$ 이므로 귀무가설(H_0)을 채택하게 되며, 발사속도와 사격발수를 고려하지 않은 대응수명은 유의수준 5%에서 $\bar{T}_0 = -2.557 < t_{(0.025, 20)} = -2.086$ 이므로 각각되어 대립가설(H_1)을 채택하게 된다. 여기서 가설의 기각역은 $t_{(0.025, 20)} < -2.086$ 또는 $t_{(0.025, 20)} > 2.086$ 이다.

[표 1] EFC vs 포신수명

관측 수	발사속도 / 사격발수 고려 EFC	대응 수명 (%)	발사속도 / 사격발수 미고려 EFC	대응 수명 (%)	실측 포신 수명 (%)
1	26.3143	97	18.4022	98	97
2	66.0262	93	37.9899	96	92
3	73.9655	93	49.5113	95	97
4	86.1525	91	53.3751	95	93
5	103.3208	90	54.0664	95	95
6	83.2495	92	54.0701	95	95
7	120.4421	88	61.2573	94	93
8	124.1387	88	62.3396	94	90
9	196.4094	80	106.1755	89	86
10	220.3158	78	112.8595	89	77
11	226.1952	77	115.7450	88	77
12	254.4281	75	125.4805	87	77
13	317.1042	68	156.8800	84	68
14	315.7612	68	167.7185	83	68
15	358.8508	64	184.6294	82	60
16	416.5930	58	204.2058	80	61
17	442.5482	56	218.0844	78	59
18	448.8965	55	220.0333	78	56
19	510.7869	49	251.4867	75	51
20	502.6589	50	259.0701	74	45
21	567.1729	43	277.5990	72	44
\bar{X}_i	-	73.994	-	86.709	75.286
S_i	-	17.079	-	8.207	18.213

즉, 발사속도와 사격발수를 고려한 EFC는 포신구경과 유의수준 5%에서 다르다고 할 수 없으며, 발사속도와 사격발수를 고려하지 않은 EFC는 포신구경과 유의수준 5%에서 같다고 할 수 없다.

[표 2] 두 모집단 평균차에 의한 검정

구분	발사속도 / 사격발수 고려 대응수명	포신 구경 (%)	발사속도 / 사격발수 미고려 대응수명
\bar{X}_i	73.994	75.286	86.709
n_i	21		
D.O.F	20		
\bar{S}_i	17.079	18.213	8.207
T_0	0.231		-
	-	-2.557	
$t_{(0.025, 20)}$	2.086		
판정	$H_0 (\alpha=0.05)$ 선택		-
	-	$H_1 (\alpha=0.05)$ 선택	

[표 3] EFC vs 포신구경 회귀식

구분	$\bar{\alpha}_0$	$\bar{\alpha}_1$	$\bar{\beta}_0$	$\bar{\beta}_1$
30AAA	109.2167	-0.2576	106.1665	-0.1239
30BBB	105.5586	-0.2193	104.7446	-0.1063
30CCC	108.8020	-0.2455	105.5203	-0.1200
30DDD	106.8996	-0.2275	106.2510	-0.1101
30EEE	102.8350	-0.2059	102.3863	-0.0998
30FFF	100.3160	-0.2044	99.1450	-0.0994

표 3은 각 포신별 EFC vs 포신구경에 관한 회귀식이며, 그림 4~9는 개별포신 EFC vs 포신구경이며, 표 4~표 7은 회귀식에 대한 오차 및 ANOVA (Analysis of Variance) Table이다.

$$\bar{y}_i = \bar{\alpha}_0 + \bar{\alpha}_1 x_i$$

(EFC vs 포신구경, 발사속도 / 사격발수 미고려)

$$\bar{y}_i = \bar{\beta}_0 + \bar{\beta}_1 x_i$$

(EFC vs 포신구경, 발사속도 / 사격발수 고려)

여기서 $i = 1, 2, \dots, i$ 이다.

[표 4] 회귀식에 대한 오차
(EFC vs 포신구경, 발사속도와 사격발수 미고려)

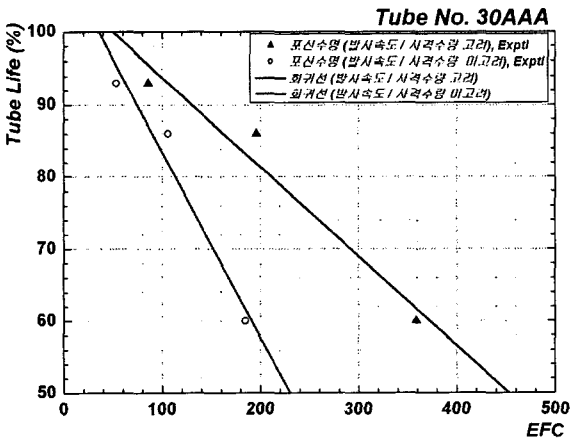
구분	R-Square (COD)	Adj. R-Square	Root-MSE (SD)
30AAA	0.9571	0.9143	5.0913
30BBB	0.9876	0.9814	2.6072
30CCC	0.9997	0.9995	0.5396
30DDD	0.9992	0.9988	0.7367
30EEE	1	1	0
30FFF	0.9979	0.9968	0.5832

[표 5] 회귀식에 대한 오차
(EFC vs 포신구경, 발사속도와 사격발수 고려)

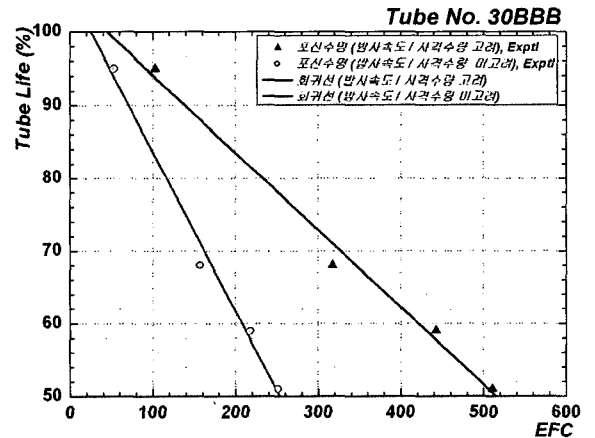
구분	R-Square (COD)	Adj. R-Square	Root-MSE (SD)
30AAA	0.9562	0.9124	5.1473
30BBB	0.9884	0.98260	2.5242
30CCC	0.9997	0.9995	0.5412
30DDD	0.9992	0.9987	0.7423
30EEE	1	1	0
30FFF	0.9977	0.9965	0.6063

[표 6] 회귀분석 결과 ANOVA Table
(EFC vs 포신구경, 발사속도와 사격발수 미고려)

구분	Item	DOF	Sum of Squares	Mean Square	F Statistics
30AAA	Model	1	578.745	578.745	22.327
	Error	1	25.921	25.921	-
	Total	2	604.667	-	-
30BBB	Model	1	1085.150	1085.154	159.640
	Error	2	13.595	6.798	-
	Total	3	1098.750	-	-
30CCC	Model	1	1826.167	1826.167	6271.571
	Error	2	0.583	0.291	-
	Total	3	1826.750	-	-
30DDD	Model	1	1311.914	1311.914	2417.350
	Error	2	1.086	0.543	-
	Total	3	1313.000	-	-
30EEE	Model	0	0	0	-
	Error	0	0	0	-
	Total	0	0	-	-
30FFF	Model	1	318.069	318.069	935.225
	Error	2	0.680	0.340	-
	Total	3	318.750	-	-



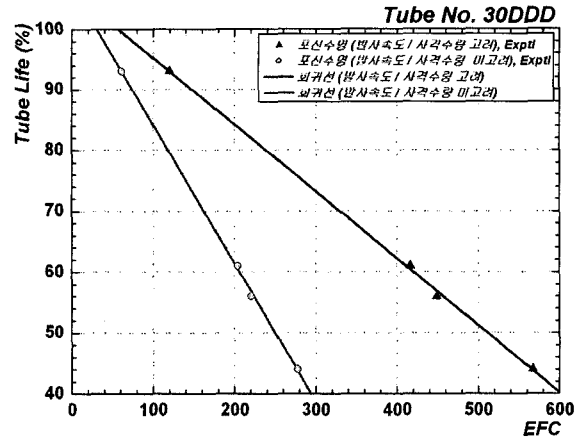
[그림 4] EFC vs 포신구경(포신번호 30AAA)



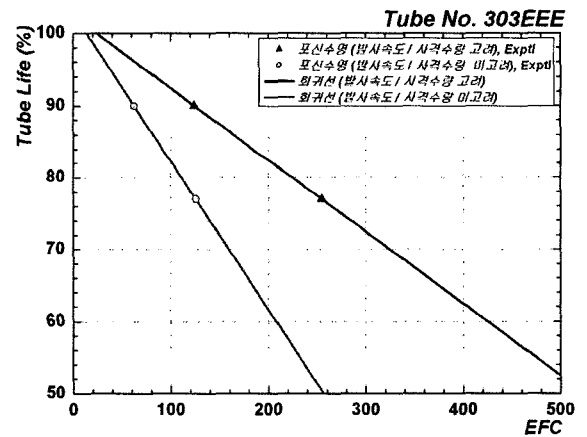
[그림 5] EFC vs 포신구경(포신번호 30BBB)

[표 7] 회귀분석 결과 ANOVA Table
(EFC vs 포신구경, 발사속도와 사격발수 고려)

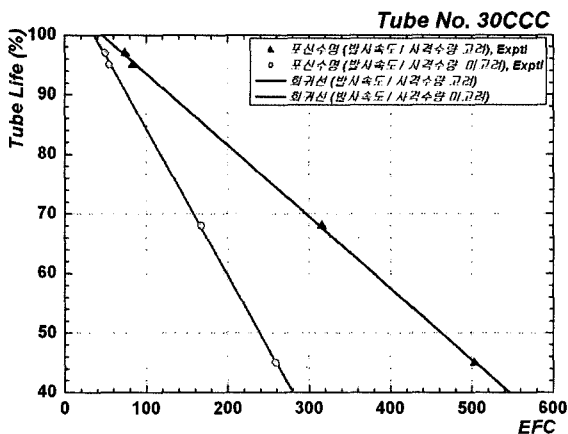
구분	Item	DOF	Sum of Squares	Mean Square	F Statistics
30AAA	Model	1	578.172	578.172	21.823
	Error	1	26.495	26.495	-
	Total	2	604.667	-	-
30BBB	Model	1	1086.007	1086.007	170.448
	Error	2	12.743	6.372	-
	Total	3	1098.750	-	-
30CCC	Model	1	1826.164	1826.164	6234.165
	Error	2	0.586	0.293	-
	Total	3	1826.750	-	-
30DDD	Model	1	1311.897	1311.897	2380.778
	Error	2	1.102	0.552	-
	Total	3	1313.000	-	-
30EEE	Model	0	0	0	-
	Error	0	0	0	-
	Total	0	0	-	-
30FFF	Model	1	318.015	318.015	865.098
	Error	2	0.735	0.368	-
	Total	3	318.750	-	-



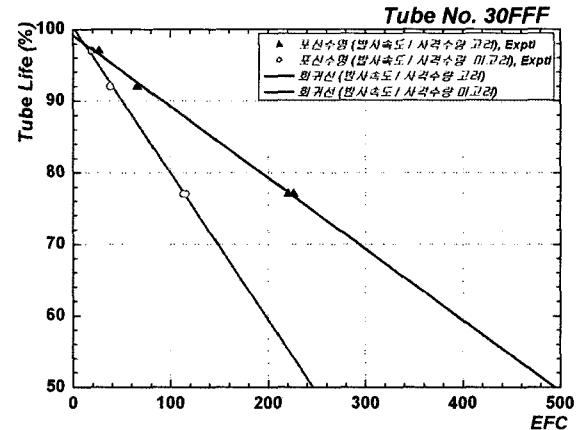
[그림 7] EFC vs 포신구경(포신번호 30DDD)



[그림 8] EFC vs 포신구경(포신번호 30EEE)



[그림 6] EFC vs 포신구경(포신번호 30CCC)



[그림 9] EFC vs 포신구경(포신번호 30FFF)

표 8은 포신종합 EFC vs 포신구경에 관한 회귀식이며, 그림 10은 포신종합 EFC vs 포신구경이며, 표 9~12는 회귀식에 대한 오차 및 ANOVA(Analysis of Variance) Table이다.

그림 4~9는 각 포신별 발사속도와 사격발수 미고려 EFC vs 포신구경, 발사속도와 사격발수 고려 EFC vs 포신구경에 관하여 나타낸 후 각각 1차 회귀하였다.

그림 10은 6문의 포신을 종합하여 발사속도와 사격발수 미고려 EFC와 발사속도와 사격발수 고려 EFC를 포신구경에 관하여 나타낸 후 1차 회귀하였다.

[표 8] EFC vs 포신구경 회귀식[6개 포신]

구분	$\bar{\alpha}_0$	$\bar{\alpha}_1$	$\bar{\beta}_0$	$\bar{\beta}_1$
포신 종합	104.4913	-0.2198	102.7162	-0.1055

[표 9] 회귀식에 대한 오차[6개 포신]

(EFC vs 포신구경, 발사속도와 사격발수 미고려)

구분	R-Square (COD)	Adj. R-Square	Root-MSE (SD)
CN98	0.9806	0.9796	2.6037

[표 10] 회귀분석 결과 ANOVA Table[6개 포신]

(EFC vs 포신구경, 발사속도와 사격발수 미고려)

구분	Item	DOF	Sum of Squares	Mean Square	F Statistics
CN98	Model	1	6505.483	6505.483	959.645
	Error	19	128.802	6.780	-
	Total	20	6634.285	-	-

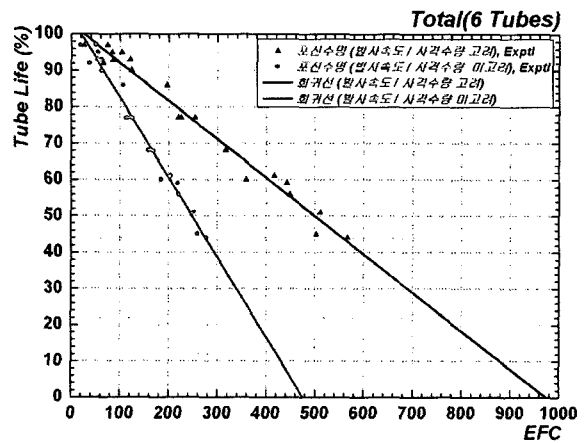
[표 11] 회귀식에 대한 오차[6개 포신]

(EFC vs 포신구경, 발사속도와 사격발수 고려)

구분	R-Square (COD)	Adj. R-Square	Root-MSE (SD)
CN98	0.9783	0.9772	2.7530

[표 12] 회귀분석 결과 ANOVA Table[6개 포신]
(EFC vs 포신구경, 발사속도와 사격발수 고려)

구분	Item	DOF	Sum of Squares	Mean Square	F Statistics
CN98	Model	1	6490.282	6490.282	856.341
	Error	19	144.003	7.579	-
	Total	20	6634.285	-	-



[그림 10] EFC vs 포신구경(6개 포신)

그림 10에서 발사속도와 사격발수를 고려한 EFC에서 포신수명이 0%가 되는 값은 약 1000 EFC이다.

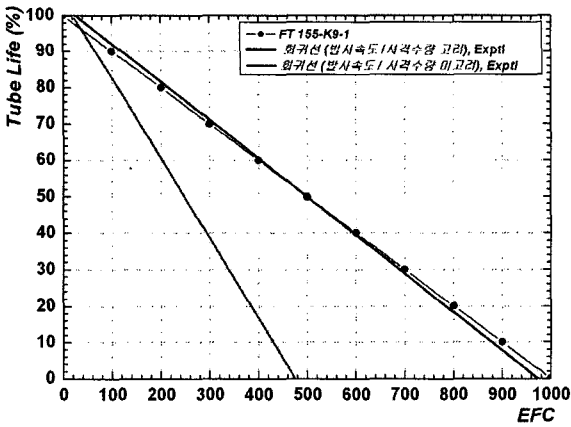
4. CN98 포신 마모특성과 사표와의 비교

가. 분석방법

3절에서 얻은 결과를 바탕으로 CN98 포신의 발사속도와 사격발수 미고려 EFC vs 마모량, 발사속도와 사격발수 고려 EFC vs 마모량으로부터 누적발수 100발단위로 마모량을 계산하여 사표 FT 155-K9-1과 비교하였다.

나. 분석결과

그림 11은 EFC vs 마모량을 6문의 대상포신과 사표 FT 155-K9-1을 비교한 것이다. 6문의 대상포신은 발사속도와 사격발수를 고려할 때, 회귀선이 약



[그림 11] EFC vs 사표(FT 155-K9-1)

[표 13] 각 EFC별 예상수명

EFC	발사속도 / 사격발수 고려 예상수명(%)	발사속도 / 사격발수 미고려 예상수명(%)
50	97.4422	93.5038
100	92.1682	82.5163
150	86.7942	71.5288
200	81.6202	60.5413
250	76.3462	49.5538
300	71.0722	38.5663
350	65.7982	27.5788
400	60.5242	16.5913
450	55.25021	5.6038
475.5	52.5604	0
500	49.9762	-
550	44.7022	-
600	39.4282	-
650	34.1542	-
700	28.8802	-
750	23.6062	-
800	18.3322	-
850	13.0582	-
900	7.7842	-
950	2.5102	-
973.8	0	-

1000 EFC에 이르면 포신폐기 한계(포미 밀폐링을 부착하고 포미선단 49.75인치 지점에서 0.1inch 강선마모가 생기기점)인 0%의 포신 수명이 예상되며 사표와 유사하게 포신구경이 감소되는 경향을 나타내는 것으로 나타났다.

표 8에서 발사속도와 사격발수 미고려 EFC와 발사속도와 사격발수 고려 EFC 대한 각각의 예상수명을 표 13과 같이 50 EFC 단위로 구할 수 있다.

표 14는 표 1~표 2와 동일한 방법으로 계산한 결과, 발사속도와 사격발수를 고려한 EFC는 FT 155-K9-1과 비교시 유의수준 5%에서 $\bar{T}_0 = 0.015 < t_{(0.025, 20)} = 2.086$ 이므로 귀무가설(\bar{H}_0)을 채택하게 되며, 발사속도와 사격발수를 고려하지 않은 EFC는 FT 155-K9-1과 비교시 유의수준 5%에서 $\bar{T}_0 = 2.499 > t_{(0.025, 9)} = 2.262$ 이므로 대립가설(\bar{H}_1)을 채택하게 된다. 즉, 발사속도와 사격발수를 고려한 EFC는 포신구경과 유의수준 5%에서 다르다고 할 수 없으며, 발사속도와 사격발수를 고려하지 않은 EFC는 포신구경과 유의수준 5%에서 같다고 할 수 없다.

[표 14] 두 모집단 평균차에 의한 검정

구분	발사속도 / 사격발수 고려 수명(%)	FT 155-K9-1	발사속도 / 사격발수 미고려 수명(%)
\bar{X}_i	47.719	47.859	-
	-	72.745	44.598
n_i	21	-	-
	-	10	-
D.O.F	20	-	-
	-	9	-
\bar{S}_i	30.209	28.641	-
	-	14.748	32.409
\bar{T}_0	0.015	-	-
	-	2.499	-
$t_{(0.025, 20)}$	2.086	-	-
$t_{(0.025, 9)}$	-	2.262	-
판정	$\bar{H}_0 (\alpha=0.05)$ 선택		-
	-	$\bar{H}_1 (\alpha=0.05)$ 선택	

5. 맺음말

본 연구는 CN98 포신 6문의 사격된 데이터를 EFC vs 마모량에 관하여 1차 회귀분석 하였으며, 데이터 분석간 연속사격시 포신 온도상승에 의한 발사속도와 사격발수의 효과를 보상해 주기 위해 식 (2)를 사용 하였으며, 아래와 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 발사속도와 사격발수를 고려한 CN98 포신의 수명은 1000 EFC로 추정할 수 있으며,
- (2) 발사속도와 사격발수를 고려한 CN98 포신의 EFC는 사표 K9-155-1과 동일하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 박성호외 2명, 포신마모의 원리 및 CN79 포신의 마모특성 연구, DSTC-519-9900006.
- [2] 남석현, 류재봉외 2명, 자주포 포신 마모수명 예측 연구, 시험평가기술 심포지엄, 1999.
- [3] R. S. MONTGOMERY and F. K. SAUTTER, Erosion and its Control, ADA123164, Dec. 1982.
- [4] J. A. LANNON and A.C. VALLADO, Effect of Chrome Plating on the Wear Characteristics and Ballistic Performance in the 155-mm M198 Artillery System, ADE400565.
- [5] ROBERT S. MONTGORY, "Wear of Projectile Rotating Bands", ADA156666, Mar. 1955.
- [6] J. R. WARD, "On the Erosivity of Stick and Granular Propellant", ADA114964, May. 1982.
- [7] A. Rauf Iman, An Empirical Approach to predicting Cannon Tube Erosion Rate, WVT-TR-74033, 1974.
- [8] W. F. Rosenberger, An Examination of the Relationship of Wear to the Initial State of Wear in a Cannon Tube, WVT-TR-74003, 1974.
- [9] D. S. Downs, J. A. Lannon, L. E. Harris, Prediction of Wear Characteristic of Artillery Propelling Charges, ADA096879, Mar. 1981.
- [10] 정동윤외 4명, 신형자주포 포신마모 시험연구, GWSD-419-981230, 1998.
- [11] 남석현, 류재봉, 김동수, XK9 자주포 포신의 마모 연구, GSDC-419-030361.
- [12] ITOP 3-2-802, Measurement and Inspection of Gun Tubes, 14 May. 1993.
- [13] TM 9-1000-202-14, Evaluation of Cannon Tubes, Dep. of the Army, June. 1993.
- [14] BRL Technical Report, Prediction of Erosion from Heat Transfer Measurement, July. 1979.