

분산분석을 활용한 K11 복합형소총 사격통제장치 균열발생 원인 연구

신상식^{*†} · 김병규^{*} · 심철보^{*}

^{*} 국방기술품질원

A Study on Crack Formation in the K11 Objective Individual Combat Weapon Fire Control System using Analysis of Variance

Shin, Sang-Sik^{*†} · Kim, Byeong Kyu^{*} · Sim, Chul Bo^{*}

^{*} Defense Agency for Technology and Quality

ABSTRACT

Purpose: This study examined the problem of crack formation in the fire control system(FCS) of the K11 objective individual combat weapon(OICW), using design of experiment analysis. Three hypothesis were considered. The first hypothesis is that bolted joint has an effect on impulse caused by firing the weapon and the second hypothesis is that a short time interval of shooting has an effect on impulse and lastly, the third hypothesis is that a positive correlation has between the bolted joint of the FCS and the impulse.

Methods: The relationship between the bolted joint and the impulse cause by firing the weapon were examined experimentally. The first and second hypothesis was tested using correlation analysis and the t-test.

Results: Using ANOVA, the first null hypothesis was rejected and the alternative hypothesis was accepted. ANOVA confirmed the second null hypothesis. Correlation analysis dismissed the last null hypothesis. A positive correlation between the bolted joint and the impulse caused by shooting the weapon was verified.

Conclusion: The bolted joint of the K11 FCS and the barrel of the K11 affect the impulse caused by firing the weapon. A positive correlation was established between the bolted joint of the FCS and the impulse on firing the K11 OICW.

Key Words : Fire Control System Cracks, One-way Design of Experiment, Correlation Analysis

● Received 5 August 2015, 1st revised 7 September 2015, accepted 8 September 2015

† Corresponding Author(sinppq@dtaq.re.kr)

© 2015, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 연구목표 및 배경

K11 복합형소총(K11)은 우리나라에서 세계 최초로 개발한 신개념 소구경화기로써 운동에너지탄과 공중폭발탄을 사수가 하나의 방아쇠로 선택적으로 발사하여 노출된 적뿐만 아니라 은폐, 엄폐된 적을 효과적으로 제압할 수 있는 첨단무기이다. 그러나 2008년 개발이 완료되어 2010년에 군 전력화를 위하여 초도양산 중 개발 시 확인하지 못한 결함과 양산시 생산 공정 안정화 미흡 등으로 여러 차례 설계와 생산 공정을 보완하였다^{[6][7]}. 2014년에 이르러 양산품의 품질확인 중 K11 복합형소총의 사거리 측정, 탄도계산을 기능을 하는 사격통제장치(사통장치)의 결함이 발생되어 이에 대한 연구가 필요하였다.

해당 결함은 K11 복합형소총의 내구도 사격시험 중 사격 간 발생하는 반복충격으로 인한 사통장치 하우징의 미세 균열로 발생되었으며 사통장치의 하단 및 총기와 결합되는 2곳 중 후방부에서 미세한 균열이 발견되었다. 균열 발생의 원인을 분석하여 하였으나, 사통장치 제조사와 화기 제조사간 균열 발생 원인에 대한 이견이 발생하여 객관적 원인을 규명하는데 어려움이 있었다. 따라서 사통장치의 균열발생에 대한 객관적이고 근본적인 원인분석을 위하여 실험계획법에 의한 실험과 과학적인 분석을 통한 접근방법, 재발방지 대책수립이 요구되었다.

화기 및 사통 제조사간 사통장치의 균열원인에 대하여 이견은 전체적으로 3가지로 분류된다. 첫 번째 이슈는 K11 화기와 사통장치의 체결 삼각나사의 체결력이 사통장치가 받는 충격량에 영향을 미치는지에 대한 것으로 나사 체결력의 변동이 결함의 원인이라는 것에 대한 업체 간 이견이다. 두 번째 이슈는 내구도 사격시험에서 사격 간 시간간격이 충격량에 영향을 미치는지에 대한 것으로 짧은 사격 시간간격이 사통장치 충격량에 영향을 줄 수 있다는 의견에 대한 이견이다. 마지막 이슈는 나사풀림 현상이 사통장치가 사격 충격을 버티는 횟수에 영향을 받는 것인지에 대한 원인 분석이다. 나사풀림의 정도가 사통장치가 받는 충격량의 크기와 상관관계가 있다는 것에 대한 이견이다.

따라서 위 세 가지 이슈에 대한 이견을 해결하기 위하여 모의충격 내구도 시험을 실시하였으며, 사통장치가 받는 충격량을 측정하기 위하여 가속센서를 사통장치와 모의충격 내구시험치구에 부착하여 나사의 체결력에 따라 사통장치가 받는 충격량을 측정하였다. 나사의 체결력과 사통장치가 받는 충격량 시험과 사격 시간간격에 따른 충격량 시험은 일원 배치법(One-way Design of Experiment)을 사용하여 분산 분석(ANOVA)을 적용하였으며, 나사 풀림과 사통장치가 받는 충격량의 횟수는 상관분석(Correlation Analysis) 및 T-검정(T-test)을 통하여 유의성 검정을 실시하였다^[2].

이에 본 논문은 일원배치법과 상관분석을 통하여 K11 복합형소총 내구도 사격시험 간 발생한 사통장치의 결함에 대해서 과학적으로 분석하였으며, 이를 통하여 K11 사통장치의 결함에 대한 개선방향을 도출할 수 있었다.



Figure 1. Structure of K11 OICW

2. 관련문헌 연구

K11복합형 소총은 세계 최초로 대한민국이 독자 기술로 개발한 소총으로 표적과 거리를 정확하게 측정하고 공중 폭발탄과 운동에너지탄을 모두 발사할 수 있어 벽이나 참호 뒤에 숨어 있는 적도 살상시킬 수 있는 위력적인 무기이다. 그러나 야전 운용성 확인 시험사격 중 발생한 폭발사고로 인해 양산이 전면 중단되었으며, 이를 보완하여 야전 운용성을 향상시켰으나, 사거리 측정과 탄도계산을 기능을 하는 사통장치의 결함이 발생하였다.

그러나 아직까지 국내에서 복합형소총의 사통장치 결함을 보완하기 위한 연구 활동이 미미한 실정이다. 사통장치와 관한 연구로는 한두희 외 2명(2006)은 중구경 포의 기동표적의 상태추정을 이용하여 포의 사격통제 시스템 향상 연구를 수행하였다^[2]. 또한, Chun-Cai Wang 외 3명(2008)은 전차 사격통제장치의 자동추적기능에 대한 핵심적인 기술을 연구하였으며^[3], Qin jia 외 3명(2009)은 이미지 프로세싱을 기반으로 탱크 사격통제장치의 동적 안정화에 대한 분석과 시험을 수행하였다^[4].

사통장치의 균열원인은 세 가지로, (i) 삼각나사의 체결력의 변동과 (ii) 짧은 사격 시간간격, (iii) 나사풀림 현상이다. 따라서 K11 사통장치의 균일을 발생시키는 원인에 대하여 분석하고, 어느 시험조건에서 얼마만큼 시험을 실시하는지를 결정해야한다.

이금강(2011)은 볼트의 진동 체결시 진동 변화에 따른 체결력 변화에 관한 연구를 수행하였으며[8], 이동희 외 3명(2011)은 충격체의 진동 및 충격량 분석을 이용한 사통장비의 개발내용을 기술하였다[9]. 또한, 이기원(2012)은 볼트의 체결력 측정을 위해 제안한 커브피팅 알고리즘을 제안하였으며[10], 황우채 외 1명(2015)은 소재와 나사산 변화에 따른 정밀나사의 체결력 향상에 관한 연구를 수행하였다[11].

본 논문에서는 K11 사통장치의 균열원인을 조사하기 위해 소총 및 무기에 대한 조사를 실시하였고, 결함원인을 과학적으로 분석하여 개선방향을 제안하였다.

3. K11 복합형소총 기능 및 내구성시험

K11 복합형소총은 20mm공중폭발탄과 5.56mm운동에너지탄을 모두 발사할 수 있는 미래 육군 핵심 전력화 복합형소총으로 크게 2가지의 주요 구성품으로 이루어져 있다[5]. 첫 번째는 20mm 공중폭발탄과 5.56mm 운동에너지

탄을 발사할 수 있는 총기이다. 총기는 20mm탄과 5.56mm탄을 발사할 수 있도록 2개의 총열과 총열을 고정하는 윗 총몸, 원하는 탄을 사수가 선택적으로 발사할 수 있는 방아쇠 등이 조립된 아랫 총몸과 사통장치를 제어할 수 있는 전장조립체로 구성되어 있다. 두 번째는 사통장치이다. 주간 및 야간 광학계와 레이저 광학계가 장착되어 있으며, 레이저 조준, 목표물 거리 측정 등 K11에서 핵심적인 역할을 담당하고 있다. 사통장치는 윗 총몸에 2개의 삼각나사(전방나사, 후방나사)로 고정되어 있으며 주요 형상은 Fig 1과 같다.

K11은 생산 후 수요군에 인도되기 전 품질검증을 위한 각종 시험이 수행된다. 주요 시험으로 소총의 기본 성능 시험인 단발, 점사 및 정확도 시험과 20mm 탄약의 공중폭발 정확도 시험, 내구도 시험, 체계호환성, EMI시험 등이 수행되고 각 항목에서 목표하는 성능이 만족되어야 한다.

특히, 내구도 사격시험은 실제 사격에서 발생하는 충격을 소총이 얼마나 그것을 버틸 수 있는지에 대한 내구수명을 확인하는 시험으로서 전체 6,000발을 사격하여 각종 부품이 규정된 기준을 만족하여야 한다. 그러나 '14년 8월에 생산된 K11복합형 소총에 대하여 '14년 9월에 기본성능시험 후 내구도 시험을 실시한 결과, 4,800사격 후 사격 간 반복 충격으로 인해 K11복합형 소총의 핵심장치인 사통장치에 균열이 발생하는 문제가 발생하였다. 각 분야의 전문가를 통하여 사통장치의 균열발생 원인을 분석한 결과, 사통장치 내부 균열, 조립공정 관리미흡, 사통장치 전방나사 및 후방나사의 체결력 등 많은 요인들이 제기되었다. 아래의 Figure 2는 K11 내구도 시험 중 발생한 사통장치의 균열을 보여주고 있다.



Figure 2. Cracks of K11 Fire Control System

4. 문제점 및 가설

상세한 원인 분석 이후 K11 부품업체 간 의견이 크게 두 가지로 분리가 되었다. 첫 번째는 소총 윗총몸과 사통장치를 체결하는 전방나사 및 후방나사 체결력이 떨어져 사통장치의 내구도 시험 간에 충격량이 증가하였다는 것이며, 두 번째의 경우 사통장치는 외부 사출품의 강도 저하 및 사출 기공 발생, 미세균열 잔존 등으로 기본적인 사격 시에 발생하는 충격을 견딜 수 없다는 의견이다. 이에 따라 사통장치의 균열 원인 규명을 위해 보다 과학적인 접근 방법이 요구되었다. 실험계획법에 따른 정확한 시험방법과 실험데이터 획득을 바탕으로 유의성 검정을 통하여 최종 의사 결정에 도움이 되는 근거 자료를 제시하고자 한다.

이슈가 되는 3가지 가설(Hypothesis)에 대해서 유의성 검정을 하고자 한다. 첫 번째는 'K11 소총과 사통장치를 체결하는 나사의 볼트, 너트 체결력 차이가 사통장치가 받는 충격량에 영향을 미치는 여부'에 대한 것이다. 사통장치

와 소총을 체결하는 전방나사와 후방나사에 가해지는 토크(Torque)에 대한 가설으로써, 나사 체결의 경우 볼트와 너트를 회전시키는데 필요한 회전모멘트를 토크라고 하며 그 단위는 $N \cdot m$ 로 표기한다. 실험계획에서 토크라는 인자는 모수인자(Fixed Factor)가 되며, 인자수준은 3수준(전방나사 x 후방나사 토크: $3 \times 3 N \cdot m$, $2 \times 2 N \cdot m$, $1 \times 1 N \cdot m$)으로 분리하여 시험을 진행하고자 한다. 또한, 유의성 검정을 실시하기 위하여 귀무가설(Null Hypothesis)은 'K11과 사통장치를 체결하는 나사의 체결력 차이가 사통장치가 받는 충격량에 영향이 없다'이며, 대립가설(Alternative Hypothesis)은 'K11화기와 사통장치를 체결하는 나사의 체결력 차이가 사통장치가 받는 충격량에 영향이 있다'로 설정하였다.

두 번째는 내구도 시험에서의 사격 시간간격이 충격량에 영향을 미치는지에 대한 것이다. 사격 시간간격은 모수인자이며, 인자수준은 2수준(3초, 10초)로 분리하여 시험을 진행하고자 한다. 또한, 유의성 검정을 위하여 귀무가설은 '내구도 시험에서의 사격 시간간격은 사통장치가 받는 충격량에 영향이 없다'이며, 대립가설은 '내구도 시험에서의 사격 시간간격은 사통장치가 받는 충격량에 영향이 있다'로 설정하였다. 이는 짧은 내구도 시험 사격 간격시간이 사통장치 충격량에 영향을 줄 수 있다는 가설이다.

마지막으로 나사 풀림이 사통장치가 충격을 버티는 횟수에 영향을 받는 것인지에 대한 상관관계 분석이다. 나사 풀림이라는 원인이 사통장치가 받는 충격량의 크기에 영향을 미치는지 상관관계를 알아보기 위하여 사통장치 나사(전방나사, 후방나사)가 풀린 충격횟수와 사통장치가 균열이 나기까지의 충격횟수에 상관관계 실시하였다.

5. 실험 및 분석

5.1 나사 체결력과 충격량 실험 및 분석

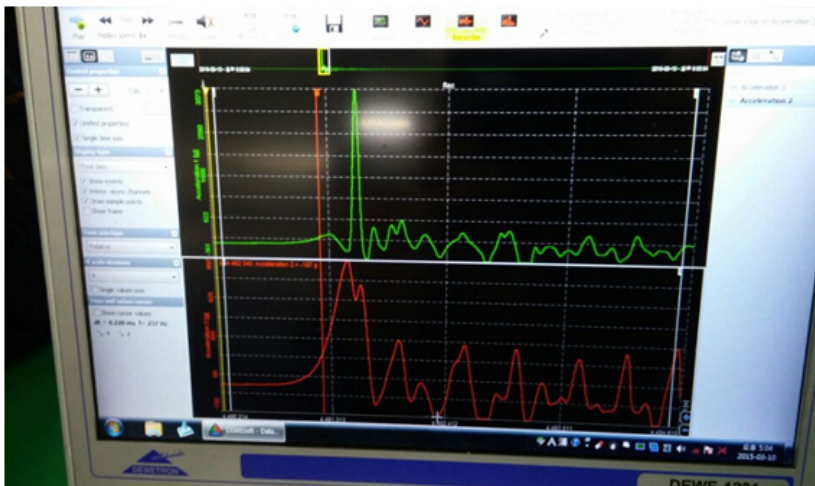


Figure 3. Measure of K11 Fire Control System Impulse

첫 번째 입증시험은 K11화기와 사통장치를 체결하는 나사의 볼트와 너트의 체결력 차이가 사통장치의 충격량에 영향을 미치는 여부에 대한 실험을 실시하였다. 정확한 K11복합형 소총의 실 사격 내구도 시험을 위하여 비용(실탄 사용 등) 및 시간(야외 사격 시 날씨에 대한 영향으로 시간 지연 등)의 조건으로 모의충격 내구도 시험을 실시하였다.

Figure 3은 모의충격 내구도 시험에서 시험치구와 사통장치에 가해지는 충격량을 측정한 결과이다. 자세한 시험방법은 아래와 같다.

- 1) 시험 전 사통장치 결합 의심품의 결합 현상을 상세히 기록(미세균열, 수축, 기공의 유형, 크기 및 형상)
- 2) 삼각홈 나사에 LOCTITE 222을 도포 후, 토크렌치로 각 수준(3수준: 3x3 N·m, 2x2 N·m, 1x1 N·m)에 맞는 체결력으로 체결
- 3) LOCTITE 222의 경화를 위해 24시간 경과시킨 후 모의충격시험을 실시
- 4) 사통장치가 받는 충격량을 측정하기 위하여 시험치구 및 사통장치에 가속센서를 부착
- 5) 삼각홈 나사 토크 수준에 따른 충격량 값(단위: G)을 측정하여 기록
- 6) 10회 반복시험으로 시험의 정확도(Accuracy)를 높임

Table 1. Test equipment result of K11 bolted joint and impulse

Number	A1 (3x3 N·m)	A2 (2x2 N·m)	A3 (1x1 N·m)
1	920	900	960
2	910	930	910
3	930	890	930
4	960	930	940
5	950	900	930
6	950	910	940
7	960	920	940
8	950	900	940
9	950	920	910
10	920	930	940
Total	9,400	9,130	9,340

Table 2. FCS result of K11 bolted joint and impulse

Number	B1 (3x3 N·m)	B2 (2x2 N·m)	B3 (1x1 N·m)
1	4810	3650	1170
2	4710	3950	1000
3	5110	3470	950
4	5180	4300	940
5	5290	3570	920
6	5060	4390	940
7	5150	4240	930
8	4970	4420	910
9	5080	4660	900
10	4970	4360	920
Total	50,330	41,010	9,580

첫 번째 시험은 실험계획법의 일원배치법(One-way Factor Design, 3 Level, Repetition 10)에 따라서 실험을 실시하였으며, 시험 결과는 시험치구와 사통장치가 전방과 후방 나사의 토크 체결력 차이에 따른 충격량(단위: G)에 대한 결과 값으로 Table 1과 Table 2에서 보여주고 있다. 또한, 가설에 대한 유의성 검정을 위하여 결과 값을 토대로 분산분석(Analysis of Variance, ANOVA)을 사용하였으며, 귀무가설과 대립가설은 아래와 같다.

귀무가설(H0) : K11화기와 사통장치를 체결하는 나사의 체결력 차이가 시험치구 또는 사통장치가 받는 충격량에 영향이 없다.

대립가설(H1) : K11화기와 사통장치를 체결하는 나사의 체결력 차이가 시험치구 또는 사통장치가 받는 충격량에 영향이 있다.

A는 시험치구가 받는 충격량에 대한 분석을 하였으며, B는 사통장치가 받는 충격량에 대하여 분석한 것이다. 분산분석의 결과는 아래의 Table 3에서 확인할 수 있다.

Table 3. Analysis of Variance

Variable Symbol	Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F0	F(0.99)
A	Impulse	4020	2	2010	7.697872	5.49
	Error	7050	27	261.111		
	Total	11070	29			
B	Impulse	9175660	2	45587830	662.0934	5.49
	Error	1859060	27	68854.0740		
	Total	93034720	29			

Table 3에 따르면 유의수준 1%에서 A(시험치구의 충격량)의 분산비(F0)가 기각역(p-value)보다 크므로 귀무가설을 기각한다. 또한 B(사통장치의 충격량)의 분산비가 기각역보다 크므로 귀무가설을 기각한다. 따라서 “K11 소총과 사통장치를 체결하는 나사의 체결력 차이가 시험치구 또는 사통장치가 받는 충격량에 영향이 있다.”라고 판정한다.

5.2 사격 간격시간과 충격량 실험 및 분석

두 번째 입증시험은 K11복합형 소총의 사격 간격시간 차이로 인해 사통장치가 받는 충격량에 영향을 미치는 여부에 대한 실험을 실시하였다. 정확한 시험을 위하여 첫 번째 실험과 동일한 비용 및 시간의 조건으로 K11복합형 소총의 실 사격 내구도 시험을 실시하였다. 상세한 시험방법은 아래와 같다.

- 1) 시험 전 사통장치 결합 의심품의 결합 현상을 상세히 기록(미세균열, 수축, 기공의 유형, 크기 및 형상)
- 2) 삼각홈 나사에 LOCTITE 222으로 도포 후 토크렌치로 수준(3x3 N·m)에 맞는 체결력으로 체결
- 3) LOCTITE 222의 경화를 위해 24시간 경과시킨 후 모의충격시험 실시
- 4) 사통장치가 받는 충격량을 측정하기 위하여 시험치구 및 사통장치에 가속센서를 부착

- 5) 사격 간격시간(3초, 10초)을 다르게 하여, 그에 따른 충격량 값(단위: G)을 기록
- 6) 5회 반복시험으로 시험의 정확도(Accuracy)를 높임

Table 4. Result of K11 bolted joint and impulse

Number	C1 (3 seconds)	C2 (10 seconds)
1	2613	2803
2	2613	3118
3	3335	2558
4	2170	2965
5	2808	2695
Total	13,539	14,139

두 번째 시험은 실험계획법의 일원배치법(One-way Factor Design, 2 Level, Repetition 5)에 따라서 실험을 실시하였으며, 시험 결과는 내구도 시험에서의 사격 시간간격 차이에 따른 충격량(단위: G)의 결과 값으로 위의 Table 4에서 확인할 수 있다. 또한 분산분석(Analysis of Variance, ANOVA)을 통하여 가설에 대한 유의성 검정을 하였으며, 아래와 같이 귀무가설과 대립가설을 설정하였다.

귀무가설(H0) : 내구도 시험에서의 사격 시간간격은 사통장치가 받는 충격량에 영향이 없다.

대립가설(H1) : 내구도 시험에서의 사격 시간간격은 사통장치가 받는 충격량에 영향이 있다.

C는 사통장치가 받은 충격량을 토대로 분산 분석한 것이며, 결과는 아래의 Table 5와 같다.

Table 5. Analysis of Variance

Variable Symbol	Variance	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F0	F(0.99)
C	Impulse	36000	1	36000	0.318336	11.2586
	Error	904705.6	8	113088.2		
	Total	940705.6	9			

Table 5에 따르면 유의수준 1%에서 C(사통장치의 충격량)의 분산비(F0)가 기각역(p-value)보다 작으므로 귀무가설을 채택한다. 따라서 “내구도 시험 사격 시간간격은 사통장치가 받는 충격량에 영향이 없다”라고 판정한다.

5.3 나사 풀림과 충격량 실험 및 분석

마지막 입증시험으로 K11화기와 사통장치를 고정하는 나사 풀림이 사통장치가 충격을 버티는 횟수에 영향을 받는 것인지에 대한 상관관계를 실시하였다. K11복합형 소총의 사통장치에 대한 정확한 모의충격 내구도 시험을 위하여, 첫 번째와 두 번째 시험과 동일한 비용과 시간의 조건으로 시험을 실시하였으며, 자세한 시험방법은 아래와 같다.

- 1) 시험 전 사통장치 결합 의심품의 결합 현상에 대한 상세 기록(미세균열, 수축, 기공의 유형, 크기 및 형상)
- 2) 삼각홈 나사에 LOCTITE 222를 도포하고 토크렌치로 수준(3x3 N·m)에 맞는 체결력으로 체결
- 3) LOCTITE 222의 경화를 위해 24시간 경과시킨 후 모의충격시험 실시
- 4) 나사 풀림의 횟수와 사통장치가 균열이 일어나기 전까지의 충격횟수를 기록
- 5) 9번의 반복시험으로 시험의 정확도(Accuracy)를 높임

Table 6. Result of K11 a loose bolt and impulse numbers

Number	A loose bolt	Impulse numbers
1	38	750
2	23	54
3	9	438
4	19	684
5	6	90
6	32	251
7	27	690
8	7	298
9	25	750

세 번째 시험의 결과는 Table 6과 같이 나사 풀림의 횟수에 따라 충격을 버티는 횟수를 보여주고 있다. 나사 풀림의 횟수와 충격횟수의 상관관계 여부를 파악하기 위하여 상관분석(Correlation Analysis)을 실시하였다. 표본 상관계수는 아래의 계산식과 같다.

$$\gamma = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}}$$

표본 상관계수는 0.4639로, 양의 상관관계임을 확인할 수 있으며, 모집단의 상관유무 검증을 위하여 아래와 같이 귀무가설과 대립가설을 설정하였다.

귀무가설(H0) : K11의 나사 풀림과 사통장치가 충격을 버티는 횟수와 상관관계 없다.

대립가설(H1) : K11의 나사 풀림과 사통장치가 충격을 버티는 횟수와 상관관계 있다.

검정통계량은 데이터가 개수가 10개 미만이므로($v < 10$), 아래의 검정통계량(T-검정) 수식을 사용하여 상관관계 존재여부를 분석하였다. 이에 따른 검정통계량은 4.138이다.

$$t_0 = \frac{\gamma_0}{\sqrt{\frac{1-\gamma_0^2}{n-2}}} = \frac{\gamma_0 \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\gamma_0^2}}$$

유의수준 5%에서 기각역($t_{1-\alpha/2}(n-2) = t_{0.995}(7)$)은 3.499으로, 검정통계량이 기각역보다 크기 때문에 귀무가설 (H_0)을 기각한다. 따라서 “K11의 나사 풀림과 사통장치가 충격을 버티는 횟수와 상관관계가 있다.”라고 판정한다.

6. 결 론

본 연구는 K11 복합형소총의 내구도 시험 사격 간 발생된 사격통제장치 균열의 원인을 해결하기 위하여 실험계획을 세워 통계적으로 분석함으로써 문제를 해결하고자 하였다. 첫 번째 시험은 나사의 체결력 차이가 사통장치가 받는 충격량의 영향에 대한 여부를 파악하기 위해 분산 분석을 실시하였으며, “K11화기와 사통장치를 체결하는 나사의 체결력 차이가 시험치구 또는 사통장치가 받는 충격량에 영향이 있다.”라고 판단할 수 있었다. 두 번째 시험은 첫 번째 시험과 동일한 조건에서 분산 분석을 통하여 “내구도 사격시험에서의 사격간 시간간격은 충격량에 영향이 없다.”는 것으로 확인할 수 있었다. 마지막 시험은 표본 상관분석 및 상관관계 유무 분석을 통하여 “나사 풀림과 사통장치가 충격을 버티는 횟수가 양의 상관관계가 있다.”는 것으로 확인하였다. 이에 따라 나사 풀림을 방지하는 방향으로 삼각홈 나사를 개선하고 나사 체결 토크도 증가하는 방향으로 개선하였다.

REFERENCES

- Han., D. H., Lee, D. G., and Song, T. L. 2006. "Gun fire Control System Design with Maneuvering Target State Estimates." *Transactions of Korean Institute of Electrical Engineers D* 55(3):98.
- Hwang, T. J., and Shim, C. Bo. 2010. "A Quality Assurance Activity Report For The First Product of K11 Dual Barrel Air Burst Weapon." Defense agency for technology and Quality.
- Hwang, T. J., and Shim, C. Bo. 2010. "The Report on Quality Improvement for K11 Dual Barrel Air Burst Weapon." Defense agency for technology and Quality.
- Hwang, W. C., and Ra, S. W. A. 2015. "Study on the Clamping Improvement of Precision Screws according to the Materials and Thread Changes." *Journal of the Korean Society of Precision Engineering* 32(6):503-507.
- Lee, D. H., Lee, J. H., Youn, J. H., and Park, N. S. 2011. "Development of Fire Control System with an Analysis of Impact Vibration and Impact Energy." *The Transactions of Korean Institute of Power Electronics* 16(1):58-63.
- Lee, G. G., 2011. "Study of vibration amplitude effect on clamping force in vibration for bloted jonint." Master's Degree Thesis, Pusan National University.
- Lee, K. W., 2012. "Study on The Suggested Curve Fitting Algorithm for Bolt Clamping Force Measurement." *The Journal of The Korea Society of Space Technology* 7(3):94-98.
- Park, S. H. 2003. *Current Design of Experiment*. Minyoungsa.
- Qin, J. L., Lu, Z. G., Li, Y., and Ma, Y. P. 2009. "Method of Testing and Analyzing the Dynamic Stabilization Precision in Tank Fire Control System based on Image Processing." *Huoli Yu Zhihui Kongzhi* 34(10):175-179.
- Song, Y. S. 2009. "The Report on The Initial Production Quality Assurance Activities for the K11 FCS 20 mm and 5.56 mm Air-burst Weapon." Defense agency for technology and Quality.
- Wang, C. C., Yao, C., Chen, Y., and Zhang, C. H. 2008. "The Investigation on the Key Technology of Automatic Tracking Function of Tank Fire Control System." *Huoli Yu Zhihui Kongzhi* 33(12):160-162.