

개인화기 총열 표면처리 및 시험에 관한 연구

채 제 옥[†], 김 인 우^{*}, 이 영 신^{**}

Study on Surface Treatment and Test over the Barrel of Small Arms

Chae Je-Wook, Kim In-Woo, Lee Young-Shin

Key Words: Surface Treatment(표면처리), Cr Plating(크롬도금), Nitriding(질화처리), Korean Next Generation Rifle(차기소총), Barrel(총열), Firing Test(사격시험), Salt Water Immersion Test(염수분무시험), Dispersion(분산), Initial Velocity(초기총구속도)

Abstract

This paper includes the comparative study between Cr plating and nitriding process with an aim at improving corrosion, wear and maintainability for KNR(Korean Next Generation Rifle) 5.56mm barrel. The endurance test was conducted to compare the performance of standard barrel, Cr plating barrel and nitriding barrel. Main activities are described as follows; optimal Cr plating and nitriding process set-up for KNR 5.56mm barrel; durability test of each barrel(20,000 rounds); salt water immersion test; dispersion, initial velocity, inner diameter data acquisition. According to the results of this firing test, Cr plating barrel is superior to standard barrel and nitriding barrel in view of corrosion, wear and maintainability

1. 서 론

본 연구는 차기소총 연구개발의 일환으로 총열 내부에 질화처리 및 크롬도금처리를 실시하여 총열의 내식성 및 내마모성을 향상시키고 정비의 용이성을 증대시켜 차기소총에 적용하기 위하여 수행하였다. 1972년 한국에서 M16A1을 생산한 이래로 성능향상을 위한 총열내경 표면처리⁽¹⁾는 계속 거론되어왔고 1978년에 7.62 mm M60총열에 크롬도금을 적용하는데 성공하였다. 이후 1980년부터 1982년동안 5.56 mm K1A 기관단총 총열에 적용하기 위한 시도⁽²⁾가 있었으나 당시

저수축 경도 크롬도금에 필요한 기술적 한계를 극복하지 못하였으며, 양산중인 장비에 대한 추가 균요구사항이 강력히 제기되지 않아 국내에서는 소구경 총열에 크롬도금을 적용하지 못하였다. 내경표면처리의 세계적인 추세는 약실 크롬도금에서 총열내부 전체를 도금하고 있으며 미국⁽³⁾의 M16A2, 오스트리아⁽⁴⁾의 AUG소총 등 대부분의 소총총열에 크롬도금이 적용되고 있다.

그러나 크롬도금은 내마모 및 내식성 특성이 탁월하지만 공정 중 발생하는 유해한 6가크롬 및 폐수처리의 어려움이 환경적 문제로 부각되면서 크롬도금의 대체 표면처리가 연구가 다양하게 수행되고 있으며 그 중에 대표적인 것으로 질화처리⁽⁵⁾를 들 수 있다. 질화처리는 공정중 발생하는 유해물질이 거의 없으며 금속의 표면 뿐 아니라 표면내부 일정깊이까지 질소원자가 침투하여 질화물 조직을 형성시키므로 제품의 용도에 맞게 사용할 수 있는 유용한 처리 방법이다.

따라서 현재 연구가 활발히 진행되어 자동차

[†] 국방과학연구소 1-1-1 연구원

E-mail : ukisuki@hanafos.com

TEL : (042)821-3116 FAX : (042)821-2221

^{*} 국방과학연구소 1-1-1 연구원

^{**} 충남대학교 기계설계공학과 교수

부품에 일부 적용되고 있으며 또한 발전속도도 빠르게 진행되고 있어 이용 분야가 급속히 확산될 전망이다. 따라서 차기소총 연구개발 범위내에 본 연구를 포함시켜 적극적인 연구개발을 수행하게 되었다.

2. 연구 목적 및 범위

본 연구에서는 총열내 크롬도금과 질화처리 공정별 성능을 비교평가하여 5.56 mm 총열에 적합한 표면처리 방법이 무엇인지 결정하고, 질화처리 및 크롬도금 기술이 5.56 mm 총열과 같은 제품에 적용될 수 있도록 표면처리 기술을 개발하는데 그 목적이 있다.

즉, 소화기 성능(내부식성, 내마모성, 정비성)향상을 위하여 5.56 mm 총열에 적합한 크롬도금 및 질화처리 기술 및 공정을 개발하고, 크롬도금 및 질화처리된 5.56 mm 총열의 성능 비교 시험을 수행하여 적합한 표면처리 기술을 선택하고 이를 소화기 총열에 적용하고자 하였다.

연구 진행은 먼저 크롬도금 및 질화처리 각 공정에서 총열에 최적인 크롬도금과 질화처리 방법을 내구도시험 및 염수분무시험 등의 방법을 통하여 최적방안을 연구하고 총열에 적용한다. 총열에 적용된 표면처리 기술 평가는 분산도, 총구속도, 총열내경치수, 염수분무시험, 총열내면 관측 등으로 구분하였으며 이는 실사격시험을 통하여 검증하였다. 실사격을 통해 산출된 자료는 총열규격 및 수락시험 기준을 적용하여 평가하였으며, 총열수명기준이 별도로 규격화되어 있지 않은 관계로 신품총열규격 및 수락시험 기준을 적용하였다.

5.56 mm 소구경 총열에 가장 적합하게 선정된 최상의 크롬도금과 질화 표면처리의 성능을 K2 소총 기준 6,000발 내구도 사격으로 비교평가⁽⁹⁾하였다. 또한 표면처리로 인한 성능증대를 확인하기 위하여 20,000발 내구도사격을 실시하였으며 크롬도금의 경우 내구성을 확인코자 25,000발까지 사격하여 시험결과를 평가하였다. 예비 검사 항목으로서는 각 총열에 대하여 두격검사, 기능검사, 강내검사, 진직도검사 등의 예비검사를 실시하였다. 지속사격 및 염수분무 시험항목 및 방법으로는 각 총열에 대하여 6,000발 내구도사

격 및 염수분무시험을 실시하였고, 내구도사격후 총열을 절개하여 육안검사를 실시하였다.

3. 크롬도금 최적공정 개발

크롬도금^(6,7,8)은 내마모성, 윤활성, 내열성, 이형성, 내약품성 향상을 위하여 적용된다. 크롬도금은 표준경도 크롬도금(Hard), 중간경도 크롬도금(Medium), 저수축 크롬도금(Low) 등으로 구분된다.

분리시험 시험결과 다음 Table 1.과 같이 각 시험항목을 검토할 때, 중간경도 크롬도금(Medium)이 가장 유리한 것으로 판단된다.

Table 1. Result of Specimen Test

| Test | Hard(55℃) | Medium(75℃) | Low(85℃) |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 경도(Hv) | 650~700 | 430~500 | 420~480 |
| 조직 (400배 확대) | 미세크랙 6개/16.6mm ² | 미세크랙 0개/16.6mm ² | 미세크랙 1개/16.6mm ² |
| 염수분무 (육안검사) | pitting 발생 | pitting 없음 | pitting 없음 |

중간경도 크롬도금(Medium)을 적용하여 양극봉 치수별 도금층 편차를 다음 Table 2.과 같이 각 시험항목을 검토할 때, 양극봉은 75℃에서 Step Type(Φ2.4/2.8)이 가장 유리한 것으로 판단된다.

Table 2. Deviation of Plating Thickness

| Temp. | Dia. of Anode | Deviation |
|-------|------------------------|-----------|
| 55℃ | Straight Type(Φ2.2) | 7~8 μm |
| | Step Type(Φ2.2 / Φ3.2) | 5~7 μm |
| | Step Type(Φ2.4 / Φ3.3) | 4~5 μm |
| 75℃ | Straight Type(Φ2.2) | 7~8 μm |
| | Step Type(Φ2.2 / Φ3.2) | 5~7 μm |
| | Step Type(Φ2.4 / Φ2.8) | 4~5 μm |

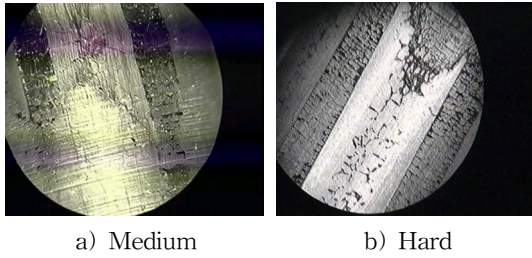


Fig 1. Picture of Inner Surface(6,000 Rounds)

도금표면에 있어서는 2,400발 사격후 약실 부위 2inch 구간에서 크롬도금층은 미세 크랙 및 탈락의 조짐이 관찰되었다. Fig 1. 과 같이 6,000 발 사격후 도금층 조직은 Hard 의 경우 약실에서는 심하게 파손되었으며 총열 중간 부위와 총구 부위는 미세 크랙이 있으나 사격전 수준이었다. 또한 Medium 의 경우 약실 부위에선 Hard 의 경우보다 다소 양호하나 크랙이나 탈락은 다소 있으며, 총열 중간 부위와 총구 부위에서는 비슷한 수준이었다.

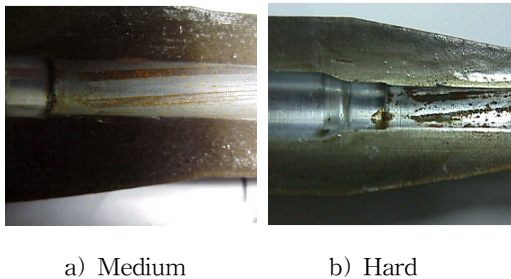


Fig 2. Picture of Inner Surface(6,000 Rounds)

크롬도금 총열의 분산도^(9,10,11)는 2,400발, 5,400 발에서 각 1회 벗어났으나 평균 3.6 inch로 규격(100 yard에서 10발중 1발제의 최대분산직경 4.8 inch 이내)에 만족하였다.

Land 부위^(9,10,11)에서는 초기 약실부위에서 동피의 고착으로 인하여 치수는 줄어드나 규격(0.219 0~0.2200 inch)에는 만족하였다. Groove 부위^(9,10,11)에서는 약실부위에서 동피의 고착으로 인하여 치수의 변화는 6,000발 사격후 크게 나타나며 총구로 갈수록 점점 줄어들었다.

내구도 사격발수인 6,000발 사격후 염수분무시험^(9,10,11) 결과는 Fig 2., Table 3.과 같다. 시험결과 단위면적당 부식 면적을 고려해 볼 때 Medium 이 상대적으로 양호하다고 판단된다.

Table 3. Result of Salt Water Test(6,000 Rounds)

| 위치 | 염수분무 시간(분) | 시험 결과 | |
|-------|------------|--------------|--------------|
| | | Medium | Hard |
| 약실 부위 | 30 | 없음 | pitting(80%) |
| | 60 | pitting(10%) | 전부위 녹발생 |
| 중간 부위 | 30 | 없음 | 없음 |
| | 60 | pitting(40%) | pitting(80%) |
| 총구 부위 | 30 | 없음 | 없음 |
| | 60 | 없음 | 없음 |
| | 180 | 없음 | pitting(80%) |

상기 시험 결과를 종합하여 볼 때 5.56 mm 소 화기 총열에는 Hard 크롬도금보다 Medium 크롬도금이 효과적일 것으로 판단되고, 양극봉은 양극봉 직경을 차별화하여 양극봉 치수별 도금층 편차를 최소화하는 75℃에서 Step Type(Φ2.4/2.8)으로 적용하여 질화 표면처리와 성능비교시험용으로 선정하였다.

4. 질화처리 최적공정 개발

질화의 목적은 높은 표면경도, 내마모성, 흡입에 대한 저항성, 피로수명, 내식성, 내열성 등이다. 현재까지 알려진 질화법은 암모니아 가스질화법, 고주파 가열식 신속질화법, 초음파이용 질화법, 염욕질화법, 이온질화법 등이 있으며, 지금도 각국에서는 끊임없이 연구 발전되고 있다.

크롬도금과 마찬가지로 총열내 질화 표면처리도 5.56 mm 총열이라는 특수한 형상의 모재를 사용하기 때문에 형상 및 사용 용도에 맞는 Fig 3.과 같이 질화처리 방법을 연구하였다. 시작단계에서는 외부 표면을 염수분무 시험으로 비교하여 가능성을 타진하였다.

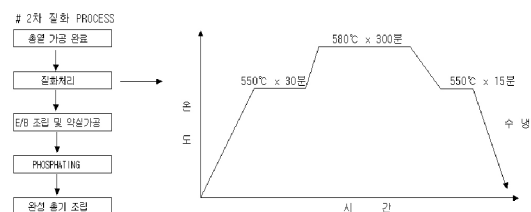


Fig 3. Optimal Process of Nitriding

질화처리 시험결과 550℃에서 30분간, 580℃에서 300분간, 550℃에서 15분간 가스(NH₃ 70%, N₂ 20%, CO₂ 9%, CH₄ 1%)질화 처리하고 수냉하면 Fig 4.와 같이 백층두께가 10~20 μm 정도 나오는 것을 알 수 있었다.

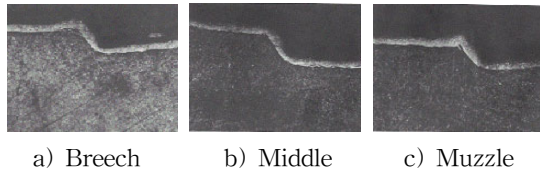


Fig 4. Picture of Nitriding Section

질화처리로 인하여 생성되는 백층은 경도가 높고 모재와 대기와의 직접적인 접촉을 차단하므로 내부식성이 양호하도록 유지시키는 역할을 한다. 반면에 경도가 높으므로 높은 압력과 충격력을 받는 총열 내부에서 내구성을 가지기 어려우므로 백층의 두께 결정은 상당한 고려가 필요하다. 최초에는 내구성을 우선적으로 고려하여 백층을 최소화하려 하였으나, 염수분무시험(48시간)에서 백층이 있는 부분은 우수한 내부식성을 나타내었으며 백층이 없는 부위는 녹발생과 pitting의 수가 상당량 나타나므로 백층이 총열 수명이 도래할 때까지 유지되어야 한다고 판단하였다.

Table 4. Variation of Groove Size(6,000 Rounds)

| 위치 발수 | 8" | 10" | 12" | 14" | 15" |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 최초 | 0.2238 | 0.2237 | 0.22362 | 0.22352 | 0.22352 |
| 2,400 | 0.22394 | 0.2238 | 0.22344 | 0.22336 | 0.22388 |
| 4,200 | 0.224 | 0.22368 | 0.22368 | 0.22402 | 0.2242 |
| 6,000 | 0.2241 | 0.22368 | 0.22376 | 0.2243 | 0.22456 |

※ Groove Specification : 0.2235~0.2245 inch

Table 5. Variation of Land Size(6,000 Rounds)

| 위치 발수 | 8" | 10" | 12" | 14" | 15" |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 최초 | 0.21930 | 0.21922 | 0.21916 | 0.21914 | 0.21906 |
| 2,400 | 0.21936 | 0.21964 | 0.21992 | 0.22004 | 0.22006 |
| 4,200 | 0.22002 | 0.22026 | 0.22034 | 0.22028 | 0.22028 |
| 6,000 | 0.22038 | 0.22042 | 0.22042 | 0.22042 | 0.22042 |

※ Land Specification : 0.2190~0.2200 inch

따라서 사격으로 인하여 마모되는 백층 두께의 증대가 요구되었으며, 두께는 사격시의 마모를 고려하여 10~20 μm 로 하는 질화처리를 적용하였다.

Table 4., 5.과 같이 내구도시험후 Groove 부위^(9,10,11)는 Land 부위보다 치수변화폭은 작았으며, 6,000발사격 완료후에는 총열의 대부분은 치수 규격을 만족하였으나 약실쪽은 치수 규격을 만족하지 않았다. Land 부위^(9,10,11)는 2,400발 사격후부터 총열의 약실쪽에서 총구쪽으로 마모가 진전되었음을 확인할 수 있었고, 6,000발사격 완료후에는 총열의 총구쪽은 내경치수 규격을 만족하였으나 약실쪽은 내경치수 규격을 만족하지 않았다.

분산도^(9,10,11)는 100 yard에서 4 inch로서 일반총열의 분산도 3.5 inch 에는 미치지 못하나, 분산도 규격인 4.8 inch 는 모두 만족하였다.

6,000발 사격후 염수분무시험에 있어 총구부근에서 시편을 채취하여 시험한 결과, 6,000발 사격 전에는 120시간까지 발청의 흔적이 없었다. 6,000발 내구도 시험후에는 20시간 경과 후부터 pitting 형태의 부식이 시작되어 24시간 경과한 후에는 4 군데에서 발청의 흔적이 발생되었다.

내구도 사격완료후 총구 및 중간부분의 치수변화와 조직은 대체로 균일한 형태를 나타내지만, 약실부근에 있어서는 치수 및 조직에서 매우 불균일한 형태를 보였다. Pitting형태의 크랙이 발생하였으며, 크랙은 Land와 Groove의 경계부분에서 발생하였다.

결론적으로 550℃에서 30분간, 580℃에서 300분간, 550℃에서 15분간 가스질화 처리하고 수냉하여 백층두께가 10~20 μm 정도 나오는 공정이 최적 질화처리 공정이라고 판단하였다.

5. 크롬도금 및 질화처리 비교시험

각각 최적화된 공정으로 처리한 총열을 비교시험하여 가장 적절한 표면처리방안이 무엇인지를 결정하고자 시험을 수행하였다.

시험은 분산도, 총구속도, 총열내경치수, 염수분무시험, 총열내면 관측 등으로 구분하여 비교 시험하였다.

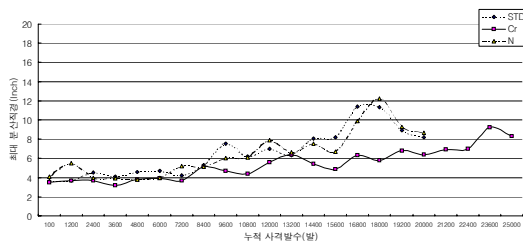


Fig 5. Comparison of Each Dispersion

Fig 5.의 분산도는 3번 측정하여 평균한 값이며, 분산도 검토 결과 질화처리총열이 6,000발, 표준총열이 7,200발, 크롬도금총열이 10,800발 사격시까지 규격을 만족하였다.

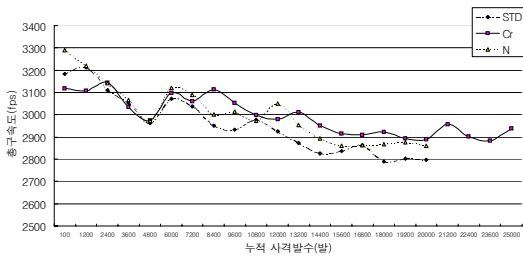


Fig 6. Comparison of Each Muzzle Velocity

Fig 6.과 같이 초기 총구속도는 질화처리총열이 가장 높으며, 크롬도금총열이 가장 낮았으나 20,000발 사격결과를 고찰하면 질화처리총열의 총구속도가 급속히 하락하였으며 크롬 총열의 총구속도 지속능력이 탁월한 것으로 판단된다.

총열위치별 치수변화를 확인하기 위하여, 총열을 총구로부터 시작하여 10개로 구분하여 1~10번 위치로 지정하였다. 각 위치별 총구로부터 거리는 1번(0.5 inch)으로부터 10번(16.5 inch)이다.

Fig 7., 8.과 같이 총열치수변화 검토결과 크롬도금총열의 치수변화가 제일 작으며, 동피 누적은 크롬 총열에서만 나타나는 현상으로 내경 측정용 Air gage 삽입이 불가능하였다. 질화처리총열 및 표준총열은 4,800발 사격후부터 내경이 규격을 벗어나기 시작하는 현상이 발생하였다.

내식성 평가를 위해 염수분무시험을 실시하였다. 온도는 35℃에서 5% 염수를 분무하여 총열을 30도 정도 기울여 매달아 놓고 시험하였으며, 최

초사격부터 시작하여 염수분무까지 144시간을 실시하였다. 시간배정은 최초사격(100발), 염수분무(48시간), 사격(100발), 염수분무(48시간), 사격(100발), 염수분무(48시간) 등으로 하였다.

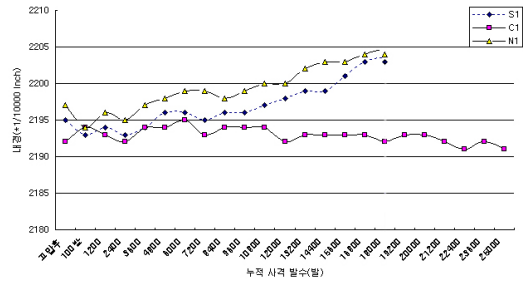


Fig 7. Variation of Land Size(#1)

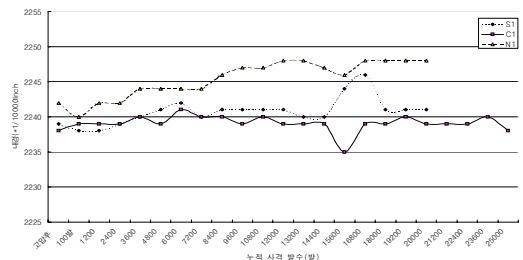
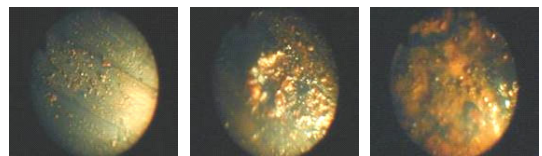
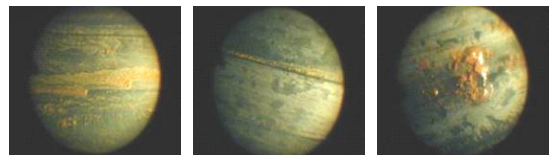


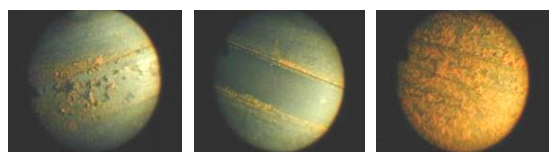
Fig 8. Variation of Groove Size(#1)



a) Breach b) Middle c) Muzzle
Fig 9. Result of Salt Water Test of Standard



a) Breach b) Middle c) Muzzle
Fig 10. Result of Salt Water Test of Cr Plating



a) Breach b) Middle c) Muzzle
Fig 11. Result of Salt Water Test of Nitriding

검토 결과 사격간 내부식성을 판단하는 염수분무시험에서 크롬도금 총열은 국부적 발청이 발생하였으며, 질화 총열은 전체적으로 잔잔한 부식이 진행되었으며, 표준총열은 심한 발청이 진행되었다.

표준총열, 크롬도금총열 및 질화처리총열 비교시험⁽¹²⁾결과, 치수 변화 즉 내마모성은 크롬도금 총열이 가장 우수하였다. 염수분무시험 즉 내식성은 크롬도금총열이 국부적으로 발청이 진행되어 비교적 우수한 것으로 나타났다. 분산도는 크롬도금 10,800발, 질화처리 6,000발, 표준총열 7,200발까지 규격을 만족하는 것으로 나타났다. 총구속도 변화는 크롬도금 총열의 총구속도 지속능력이 양호한 것으로 나타났다. 상기 시험결과에 의거 크롬도금 총열이 성능면에서 가장 우수하다고 판단된다

6. 결 론

본 연구는 총열 내부에 질화처리 및 크롬도금 처리를 실시하여 총열의 내식성 및 내마모성을 향상시키고 정비의 용이성을 증대시키기 위하여 수행하였으며 그 결론은 다음과 같다.

가) 크롬도금 공정은 표준경도 크롬도금보다 중간경도 크롬도금이 효과적일 것으로 판단되고, 양극봉 직경을 차별화하여 양극봉 치수별 도금층 편차를 최소화하는 Step Type($\Phi 2.4/2.8$)으로 적용하는 것이 최적공정이라고 판단된다.

나) 질화처리 공정은 550℃에서 30분간, 580℃에서 300분간, 550℃에서 15분간 가스질화 처리하고 수냉하여 백층두께가 10~20 μm 정도 나오는 공정이 최적 질화처리 공정이라고 판단된다.

다) 사격시험을 통한 표준총열, 크롬도금총열 및 질화처리총열 비교시험결과, 치수 변화 즉 내마모성은 크롬도금 총열이 가장 우수하였다. 염수분무시험 즉 내식성은 크롬도금총열이 국부적으로 발청이 진행되어 비교적 우수한 것으로 나타났다. 분산도는 크롬도금 10,800발, 질화처리 6,000발, 표준총열 7,200발까지 규격을 만족하는 것으로 나타났다. 총구속도 변화는 크롬도금 총열의 총구속도 지속능력이 양호한 것으로 나타났으며 전반적으로 크롬도금총열이 가장 우수한 것으로 판단된다.

상기 연구결과에 의거 차기소총 5.56mm 총열에는 크롬도금 총열을 적용하는 것이 가장 유리하다고 판단하였다.

참고문헌

- (1) Ministry of National Defense, 1975, "Chrome Plating", Military Specification, MS-0115-0011, ADD
- (2) US Army, 1986, "Rifle, 5.56 mm : M16A2", Military Specification, MIL-R-63997B, TACOM, Armament Research.
- (3) Kim.I.W., Lee.K.S., Lee.S.B., Choi.E.J., 1999, "Technical Report of Bull-pup Type Rifle", Technical Report, GEDC-519-991308, ADD
- (4) Kim.C.K., Choi.Y.J., 1983, "Report of Barrel Chrome Plating of Small Arms", Technical Report, EDAP-511-83002, ADD
- (5) Cho Chang Ki, 1986, "Nitriding Property of 3% Cr-Mo-V Steel", AMSD-711-86296, ADD
- (6) SAE, "Chromium plating R(1987)", 1987, AMS-2438, SAE International.
- (7) Park.S.H., Kim.B.S., Kim.T.I., 1999, "CN79 Cannon Wear Characteristics", Technical Report, DSTC-519-990006, ADD
- (8) Hong.S.K., Han.T.H., 2001, "Technical Report of Facility of Chrome Plating", GSRD-519-010810, ADD
- (9) Ministry of National Defense, 1991, "5.56 mm K2 Rifle", MS-1005-1299-1, ADD
- (10) US Army, 1992, "Rifle, 5.56 mm : M16A2E3", Military Specification, MIL-R-71135(AR), TACOM, Armament Research.
- (11) US Army, 1982, "Testing of barrel, 5.56 mm", TOP 3-2-045, TACOM, Armament Research.
- (12) Chae.J.W., Lee.S.B., Choi.Y.J., Kim.I.W., 2003, "Report of Surface Treatment and Test over the Barrel of Small Arms", 2003 Symposium on Ground Weapon System, ADD