

탄약 표면 처리용 아연계 인산염 피막의 중량 및 내식성에 관한 연구

김명현^{1*}, 이승용², 이현희¹, 이영태¹
¹국방기술품질원 탄약센터, ²주풍산 안강사업장

Study on the coating weight and corrosion resistance of Zinc phosphate for surface treatment of ammunition

Myung-Hyun Kim^{1*}, Seung-Yong Lee², Hyun-Hee Lee¹, Young-Tae Lee¹

¹Ammunition Center, Defense Agency of Technology and Quality

²Angang Plant, Poongsan Corporation

요약 탄약을 포함한 다양한 산업 분야에서 사용되는 철강 재료는 부식에 취약하므로, 표면 그대로 사용하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 도금, 도장, 화성처리와 같은 표면 처리 이후 사용하여야 하는데, 탄약 제조 과정에서는 주로 아연계 인산염 피막 처리가 사용되고 있다. 표면 처리 기법 중 하나인 아연계 인산염 피막은 금속 표면을 화학적으로 처리하여 안정성이 높은 화합물 층을 표면에 고착시키는 방법으로, 크게 도장 하지용 경인산염 피막과 부식 방지용 중인산염 피막으로 나뉘어지는데, 아연계 인산염 피막은 전산도, 철 함량과 같은 여러 가지 인자에 의해 피막의 품질과 내식성이 결정된다. 본 연구에서는 전산도 및 철 함량이 탄약 부식 방지 목적으로 사용되는 아연계 중인산염 피막의 중량 및 내식성에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 철 함량에 따라 피막의 구조가 치밀해지며, 내식성이 향상되는 결과를 확인할 수 있었으나, 전산도는 피막의 두께와 중량에만 영향을 주고 내식성에는 큰 영향을 주지 못하였다. 위 결과를 토대로 탄약 제조 과정에서 사용되는 인산염 피막 처리 공정의 최적 제어 수준을 제시하였다.

Abstract Steel used for various industrial fields including ammunition is vulnerable to corrosion so surface treatments are required such as plating, painting and chemical conversion coating. Zinc phosphate, used for ammunition manufacturing, is used to stick the stable compound on the surface by chemical conversion of metal. The quality of phosphate coating depends on many factors such as total acidity and iron content. In this study, we studied the influence of total acidity and iron content on coating weight and corrosion resistance of phosphate coating. The surface structure of the coating becomes dense and corrosion resistance is improved with increasing iron content. However, total acidity influences only the thickness and phosphate coating weight. In conclusion, this study suggests the optimal range of total acidity and iron content to manufacture the ammunition.

Keywords : Ammunition, Zinc Phosphate, Corrosion resistance, Total Acidity, Iron Content

1. 서론

탄약의 제조 과정에서 가장 많이 사용되는 재료인 철은 상대적으로 내식성이 부족하여 표면 상태 그대로 사용하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 내식성을 향상시

키기 위한 조치가 반드시 적용되어야 하며, 그 방법으로는 도금, 화성처리, 도장 등이 있다[1-3]. 본 연구에서 다룰 인산염 피막(Phosphating)은 화성처리 중 한 가지로써, 표면 보호 및 도장성 향상 역할을 한다. 인산염 피막은 금속 표면처리 분야, 전기 공업 분야

*Corresponding Author : Myung-Hyun Kim(Defense Agency of Technology and Quality)

Tel: +82-53-757-3061 email: mhkim@dtq.re.kr

Received September 12, 2017

Revised (1st September 21, 2017, 2nd September 22, 2017)

Accepted October 13, 2017

Published October 31, 2017

등에서 도장 하지, 소성가공 및 전기 절연 처리 등의 목적으로 사용되고 있으며, 적용하고자 하는 목적에 따라 크게 아연계, 망간계, 철계 등으로 분류된다.

특히, 아연계 인산염 피막은 피막 중량에 따라 경인산염 피막과 중인산염 피막으로 나뉘게 되는데, 경인산염 피막은 주로 도장 전처리용으로 사용되어 도료와 철강재료와의 결합성을 향상시키며, 중인산염 피막은 그 자체로 철강재료의 부식 방지 용도로 사용되고 있다[4,5].

탄약은 군 주요 비축물자 중 하나로써, 장기저장성을 중요한 특성으로 갖는데, 이 특성은 주로 도장처리나 인산염 피막과 같은 표면 처리 방법으로 부여된다. 따라서 도장 전처리용 혹은 부식방지용으로 사용되는 인산염 피막 처리는 탄약의 생산에 있어서 필수 처리과정으로 자리잡고 있다고 할 수 있다.

두 종류의 아연계 인산염 피막 중, 경인산염 피막은 주로 중/대구경 탄약의 도장 전처리용으로, 중인산염 피막은 대공탄약의 링크나 고폭자탄 등과 같은 탄약 부품 요소의 표면 부식 방지용으로 주로 사용되고 있다.

본 연구에서 다룰 아연계 중인산염 피막은 피막 중량이 10.8 g/m² 이상인 피막으로, 사용되는 피막제의 성분은 경인산염 피막과 동일하지만, 온도 및 처리시간을 달리한 것으로, 경인산염 피막과 비교하여 더 무겁고 두꺼운 피막 특성을 갖는다. 두 피막 모두 피도물을 일정 시간동안 침지시키는 방법으로 처리되고 있다.

현재 탄약 제조과정에서 사용되는 아연계 중인산염 피막제의 구성 성분은 다음과 같다.

Table 1. Component of phosphate parkerizing solution

component	content (%)
H ₃ PO ₄	45.3
Zn(H ₂ PO ₄) ₂	10.0
HNO ₃	3.5
Ni(NO ₃) ₂	6.7
NaClO ₃	0.3
NaOH	2.0
Others(Water, etc.)	32.2

인산염 피막은 처리 과정에서 온도, 시간, 전산도, 철 함량 등의 인자에 의해 피막의 품질이 결정되는데, 피막 표면의 균일성 및 내식성 향상을 위해서는 각 조건이 적정 수준으로 제어되어야 한다.

특히, 전산도 및 철 함량은 인산염 피막 처리에 있어서 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있는데, 온도 및

시간과 마찬가지로 적정 수준으로 제어되어야 피막 품질을 안정화할 수 있다[6,7].

본 연구에서는 전산도 및 철 함량이, 탄약에 주로 사용되는 재료인 AISI 4140 표면의 아연계 중인산염 피막 중량과 내부식성에 미치는 영향에 대하여 알아보았으며, 탄약 제조 시 제어되어야 하는 합리적인 수준을 제시하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

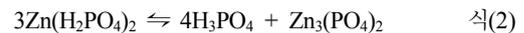
2.1 피막 형성 메커니즘

피도물이 아연계 인산염 피막체에 침지되기 이전의 피막체 내부 화학 반응을 살펴보면 다음과 같다.

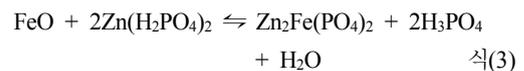
피도물이 아연계 인산염 피막체에 침지되면 다음의 식(1)과 같이 부식반응이 진행된다. 이 부식반응이 진행됨에 따라 재료 표면에 인접한 피막체의 pH가 부분적으로 낮아지게 된다.



식(1)의 반응이 진행됨에 따라 유리인산 농도가 낮아지게 되는데, 아래 식(2)와 같은 반응이 동시에 진행되어 유리인산 농도를 일정하게 유지시키고 동시에 hopeite 피막(Zn₃(PO₄)₂)을 형성한다.



또한, hopeite 피막 외에, 식(1)에서 형성된 Fe₂(H₂PO₄)₂가 재료와 반응하여 phosphophyllite(Zn₂F₂(PO₄)₂) 피막을 형성하게 되는데, 그 반응식은 아래의 식(3)과 같다.



따라서, 아연계 인산염 피막의 주성분은 아래 Table 2.과 같이 hopeite와 phosphophyllite로 구성되게 되며, 부수적으로 이온화된 철이 피막체와 반응하여 vivanite(Fe₃(PO₄)₂)와 iron-hreaulite(Fe₃H₂(PO₄)₂)를 형성하게 된다.

Table 2. Structure of phosphate coating

layer	name	constituent
materials	surface	FeO, Fe ₂ O ₃
coatings	hopeite	Zn ₃ (PO ₄) ₂
	phosphophyllite	Zn ₂ Fe(PO ₄) ₂
	vivanite	Fe ₃ (PO ₄) ₂
	iron-hreaulite	Fe ₃ H ₂ (PO ₄) ₂

2.2 인산염 피막 공정 및 특성

인산염 피막 처리 공정은 크게 전처리, 본처리, 후처리 공정으로 구분할 수 있으며 그 세부 내용은 탈지, 세척, 표면조정, 인산염피막, 크롬실링, 방청코팅 등으로 이루어진다.

주요 공정의 역할에 대해서 자세히 살펴보면, 탈지 공정은 표면의 유지분을 제거하는 표면 청정 역할을 하며, 세척 공정은 강산을 이용하여 철강 표면에 발생한 부식과 스케일을 제거하는 역할을 한다. 표면 조정 공정은 탈지 및 세척 공정 과정에서 거칠어진 철강 재료 표면을 조정하는 공정으로, 표면의 활성점 수를 증가시켜 피막 결정의 크기를 균일하게 하는 역할을 한다[8]. 표면 조정 시, 피막의 품질이 균일해지고 내식성이 향상되므로 표면 조정 공정을 거치는 것이 일반적이며, 피막 표면의 활성점 및 결정 형성에 아래 Fig. 1.와 같은 역할을 한다.

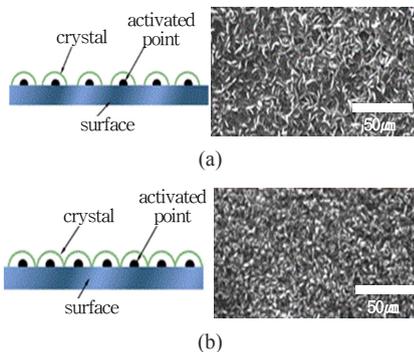


Fig. 1. Role of surface adjustment process in phosphate (a) Before surface adjustment (b) After surface adjustment

이후 본처리 과정인 인산염 피막 공정에서 금속 재료 표면에서 화학적 반응이 일어나 피막을 형성하게 되고, 크롬 실링 공정을 통하여 피막의 내식성을 향상시키게 된다. 크롬 실링 공정은 인산염 피막 표면의 미세한 기공들을 크롬으로 메우는 공정이다.

위 공정 중 표면조정, 크롬실링, 방청코팅 공정은 필요 시 거치게 되는 공정으로, 피막의 품질을 향상시키기 위한 선택적인 공정이다.

2.3 주요 인자

인산염 피막에 영향을 미치는 인자로는 온도, 시간, 전산도, 철 함량 등이 있는데, 각각의 인자는 다음과 같이 피막에 영향을 미치게 된다.

온도는 피막 중량과 비례 관계를 갖는데, 탄체 도장 전처리용으로 사용되는 경인산염 피막 처리 과정의 적정 온도는 약 70 °C이고, 중인산염 피막 처리 과정의 적정 온도는 약 90 ~ 95 °C이다.

시간 역시 피막 중량 결정에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데, 경인산염 피막은 약 10 ~ 15 분의, 중인산염 피막은 약 20 ~ 30 분의 적정 처리 시간을 갖는다. 인산염 피막 처리 시, 시간에 따라 피막 중량이 증가하는 것이 일반적이지만, 피막 처리 시간이 적정 시간보다 길어지게 되면, 피막이 거칠어지고 피막 중량이 도리어 감소하여 내식성이 저하될 수 있으므로 적정 수준으로 제어되어야 한다.

전산도 또한 피막 중량과 비례 관계를 갖는데, 전산도는 피막제의 산성 성분 전체 량을 말한다. 본 연구에서 전산도의 단위는 point 값을 사용하였는데, 전산도의 point는 피막제 10 cc를 페놀프탈레인 용액을 지시약으로 하여 0.1 N NaOH 용액으로 적정할 때 중화에 필요한 NaOH의 부피(cc) 값을 전산도의 point 값으로 한다. 전산도는 피막 상태에 전반적으로 영향을 주므로, 인산염 피막 처리 공정에서는 인산염 수용액을 주기적으로 보충하여 적정 전산도를 유지하여야 한다.

마지막으로 철 함량은 피막의 내식성에 영향을 주게 된다[9-11]. 피막제 속 철 함량이 과다할 경우에는 인산염 피막의 결정화 속도가 낮아지고 피막 형성이 저해되며 표면이 거칠어져 내식성이 감소된다[12]. 전산도와 마찬가지로 본 연구에서는 철 함량의 단위 역시 point 값을 사용하였다. 철 함량의 point는 피막제 10 cc를 0.2 N 과망간산칼륨 용액을 지시약으로 하여 50 vol% 황산 수용액으로 적정할 때 분홍색이 최소 10 초 이상 지속될 때의 황산 수용액 부피(cc)에 0.112를 곱한 값이다.

3. 실험 및 결과

3.1 실험

3.1.1 전산도 변화에 따른 피막중량

전산도 변화가 피막 중량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 일반적으로 탄약 표면 처리 시 사용되는 철 함량 5 point의 피막제에서 전산도 값을 변화시켜 피막의 중량 변화를 알아보았다. 또한, 피막 중량과 더불어 표면의 변화를 전자 주사 현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 이용하여 확인하였으며, 장비는 (주)풍산 안강사업장에서 운용되고 있는 JEOL사의 JSM-6010LV 모델을 사용하였다.

3.1.2 전산도 변화에 따른 내식성

전산도 변화가 피막의 내식성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 3.1.1항과 동일한 조건인 철 함량 5 point를 일정하게 유지시킨 상태에서 전산도 값을 변화시켜 피막 결과물의 내식성의 차이를 알아보았다. 내식성 확인 실험은 한국산업규격 KS D 9502에 따라 5 w% NaCl 수용액 분무 시험 절차대로 진행하였으며, 폭로시간은 72시간으로 하였다. 일반적으로 탄약 표면의 내식성 시험은 48시간의 폭로시간에서 진행되지만, 위 폭로시간에서 부식이 발생하지 않아 50% 증가된 시간으로 실험을 진행하였다. 실험 시편에 대한 부식 발생 여부는 육안으로 확인되었다.

3.1.3 철 함량 변화에 따른 피막중량

철 함량 변화가 피막 중량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 일반적으로 탄약 표면 처리 시 사용되는 전산도 40 point의 피막제에서 철 함량을 조정하여 피막 중량 변화 추이를 알아보았다. 또한, 피막 중량과 더불어 피막 표면의 변화를 앞서 사용된 동일한 SEM을 이용하여 확인하였다.

3.1.4 철 함량 변화에 따른 내식성

철 함량 변화가 인산염 피막의 내식성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 3.1.3.항과 동일한 조건인 전산도 40 point를 일정하게 유지시킨 상태에서 철 함량을 조정한 피막 결과물의 내식성 정도를 알아보았다. 내식성 확인 실험은 한국산업규격 KS D 9502에 따라 5 wt% NaCl 수용액 분무 시험 절차대로 진행하였으며, 폭로시간은

일반적인 탄약 표면의 내식성 시험 기준인 48시간으로 하였다. 실험 시편에 대한 부식 발생 여부는 육안으로 확인되었다.

3.2 결과

3.2.1 전산도 변화에 따른 피막중량 실험 결과

실제 탄약 제조 공정과 동일한 수준인, 철 함량을 5 point로 일정하게 유지시킨 상태에서 전산도 변화에 따른 피막 중량을 확인한 결과, 아래 Fig. 2.과 같은 피막 중량 변화 추이를 확인할 수 있었다.

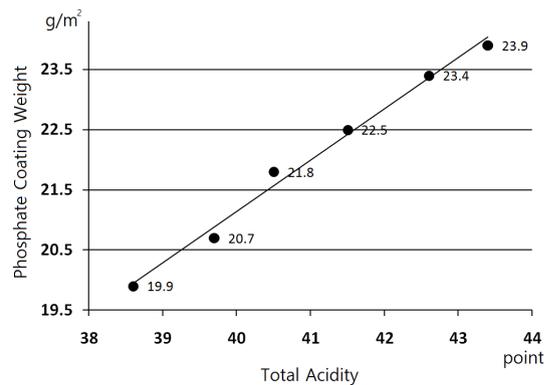


Fig. 2. Variation of the phosphate coating weight depending on the total acidity

전산도가 38.6 ~ 43.4 point 범위 내에서 증가함에 따라, 피막 중량이 19.9 g/m²에서 23.9 g/m²까지 선형으로 증가하였는데, 추세식으로 표현할 경우 다음과 같다.

$$y = 0.8664x - 13.518$$

피막 중량이 증가할수록 결정의 크기가 증가하고 조직이 치밀해지며 피막 두께가 두꺼워지는 경향이 있기 때문에 위와 같은 비례 관계의 그래프를 볼 수 있다. 일반적으로 탄약 제조 시 인산염 피막 처리는 피막의 품질을 위하여 35 ~ 45 point의 전산도 범위 내에서 제어되고 있는데, 전산도가 35 point 미만으로 떨어지면 피막 처리 시간이 과도하게 소요되며, 45 point를 초과하게 되면 단시간 내에 두꺼운 피막이 형성되어 피막 표면이 거칠어지는 현상이 발생하게 된다.

전산도 변화에 따른 인산염 피막 표면의 SEM 촬영 결과는 아래의 Fig. 3.와 같다.

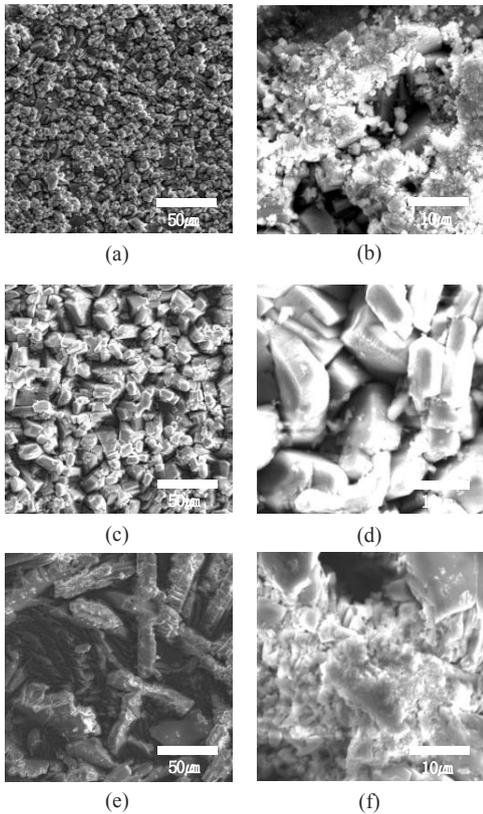


Fig. 3. Surface structure of phosphate depending on the total acidity (a)38.6 point of total acidity($\times 200$) (b)38.6 point of total acidity($\times 1,000$) (c)40.5 point of total acidity($\times 200$) (d)40.5 point of total acidity($\times 1,000$) (e)42.6 point of total acidity($\times 200$) (f)42.6 point of total acidity($\times 1,000$)

전산도 변화에 따른 인산염 피막의 표면을 확인한 결과, 전산도가 증가할수록 인산염 피막 결정 크기가 증가하고 조직이 더욱 치밀해짐을 알 수 있었다. 피막 결정 크기가 증가함에 따라 유공의 크기 역시 감소하였으며, 이에 따라 피막 처리 제품의 내식성도 향상될 것으로 생각된다. 하지만, 전산도 증가에 따라 결정 크기가 증가할수록 피막 두께 및 중량이 증가하게 되므로, 제품의 특성에 맞는 적정 피막 중량을 설정하고 이에 따라 전산도 값을 조절하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

3.2.2 전산도 변화에 따른 내식성 실험 결과

실제 탄약 제조 공정과 동일한 수준인 철 함량 5 point로 일정하게 유지시킨 상태에서 전산도 변화에 따른 내식성 확인 결과, 전산도에 따른 내식성의 변화 추이

를 확인할 수 없었다. 각각의 전산도 38.6, 40.5, 42.6 point에서 모두 부식이 발생하지 않았는데, 이는 부식 방지용 중인산염 피막의 경우 내식성 측면에서 전산도의 영향을 거의 받지 않는다고 말할 수 있다.

3.2.3 철 함량 변화에 따른 피막중량 실험 결과

실제 탄약 제조 공정과 동일한 수준인 전산도 40 point로 일정하게 유지시킨 상태에서 철 함량 변화에 따른 중량 변화를 확인한 결과, 아래 Fig. 4와 같은 결과를 확인할 수 있었다.

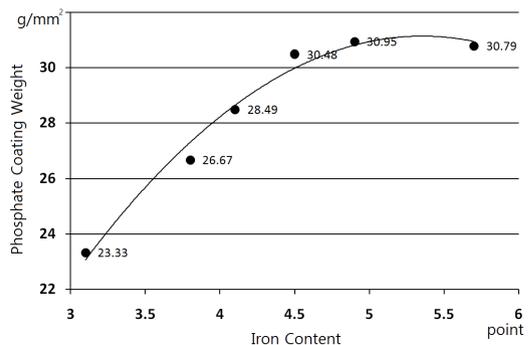


Fig. 4. Variation of the weight of phosphate coating depending on the iron content

철 함량이 약 5.0 point 까지 증가함에 따라 피막 중량이 함께 증가하였으나, 그 이후 5.4 point 까지는 큰 변화가 없었다. 또한, 약 5.4 point 이후로는 피막 중량이 오히려 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

이를 2차 다항 추세식으로 분석하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$y = -1.51x^2 + 16.329x - 13.045$$

위 추세식을 미분하여 기울기가 0인 지점을 찾을 경우, $x = 5.41$ 인 지점에서 y 가 감소하기 시작하는 것을 알 수 있는데, 이를 토대로 철함량이 약 5.4 point에서 가장 높은 피막 중량을 갖을 것으로 추측할 수 있다.

이는 약 5.4 point를 초과하는 철 성분이 인산염 피막 결정 형성에 관여하지 않고 오히려 피막 처리 시간을 증가시키에 따라 부수적인 화학적 반응이 진행되어 피막 형성을 방해하고, 이에 따라 피막 중량이 감소하는 것으

로 추측된다.

또한, 각각의 철 함량 3.1, 3.8, 4.5, 4.9, 5.7 point에 대한 인산염 피막 표면을 SEM으로 확인한 결과, 4.9 point 까지 철 함량이 증가함에 따라 피막 조직이 작아짐과 동시에 치밀해져 유공의 수가 현저히 감소하는 모습을 볼 수 있었으나, 5.7 point 에서는 피막의 조직은 작아졌으나 유공의 수가 증가하는 모습을 볼 수 있었다.

아래 Fig.5.의 SEM 촬영 결과는 철 함량-피막 중량 그래프에서 철 함량이 5.4 point를 기점으로 증가 추세에서 감소 추세로 전환되는 것을 설명해준다. 따라서, 균일한 피막 품질을 위해서는 약 5.0 point의 철 함량으로 처리하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

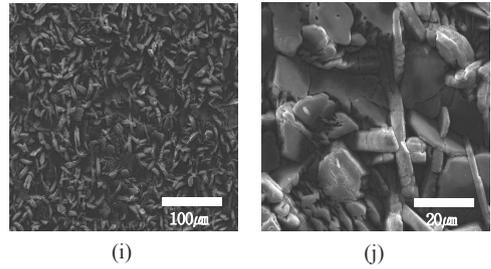
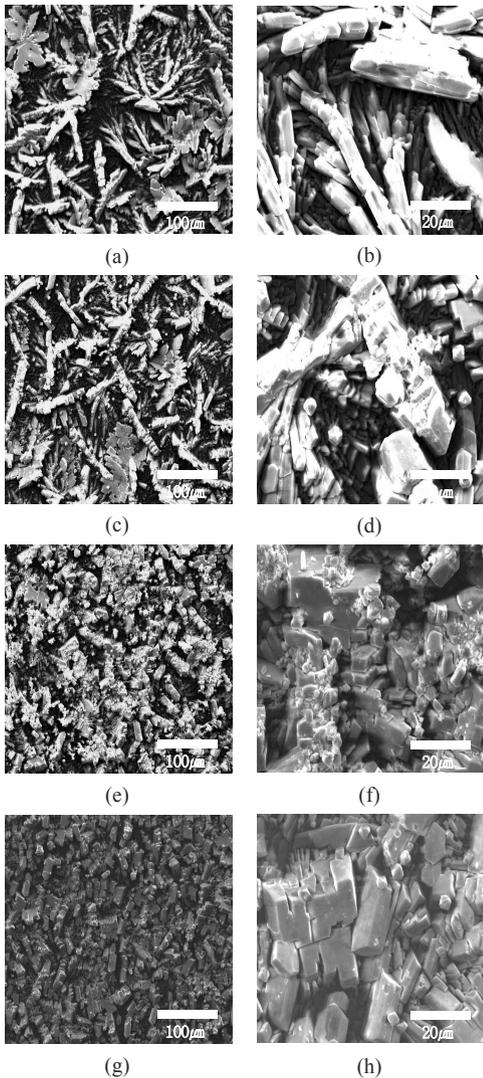
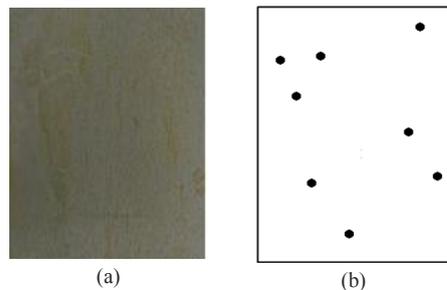


Fig. 5. Surface structure of phosphate depending on iron content (a)3.1 point of iron content($\times 200$) (b)3.1 point of iron content($\times 1,000$) (c)3.8 point of iron content($\times 200$) (d)3.8 point of iron content($\times 1,000$) (e)4.5 point of iron content($\times 200$) (f)4.5 point of iron content($\times 1,000$) (g)4.9 point of iron content($\times 200$) (h)4.9 point of iron content($\times 1,000$) (i)5.7 point of iron content($\times 200$) (j)5.7 point of iron content($\times 1,000$)

3.2.4 철 함량 변화에 따른 내식성 실험 결과

실제 탄약 제조 공정과 동일한 수준인 전산도 40 point로 일정하게 유지시킨 상태에서 철 함량 변화에 따른 내식성 확인 결과, 피막 중량 실험과 동일하게 약 5.0 point의 철 함량에서 내식성이 가장 우수한 것으로 확인되었다. 철 함량 3.1, 3.8, 4.5 point에서는 철 함량이 증가할수록 내식성이 향상되는 모습을 볼 수 있었으며, 4.9 point에서 부식이 발생하지 않아 가장 우수한 내식성을 나타내었다. 이후 5.7 point에서는 다시 부식이 발생하는 것으로 보아 내식성이 저하된 것으로 해석된다.

전산도에 따른 내식성 실험 결과와는 달리, 48 시간의 염수 분무 시에 일부 시편에서 부식이 상당부 발생하였으며, 부식 발생 부위를 육안으로 확인하였다. 아래의 Fig. 6.에서 (a), (c), (e), (g), (i)는 실험 시편 사진이며, (b), (d), (f), (h), (j)는 부식 발생 정도 비교를 용이하게 하기 위하여 부식 발생 부위를 도식화하여 점으로 표시한 것이다.



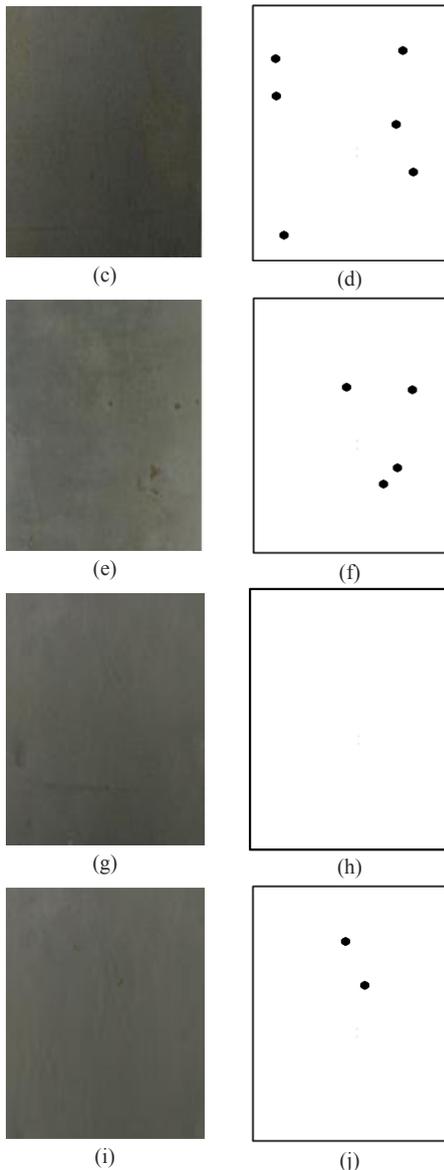


Fig. 6. anticorrosion characteristics of phosphate surface depending on the iron content (a)3.1 point of iron content (b)3.1 point of iron content (c)3.8 point of iron content (d)3.8 point of iron content (e)4.5 point of iron content (f)4.5 point of iron content (g)4.9 point of iron content (h)4.9 point of iron content (i)5.7 point of iron content (j)5.7 point of iron content

위 Fig. 6. 결과를 보면, 피막 중량 실험과 동일하게 철함량 약 4.9 point 까지 피막 조직이 치밀해져 내식성이 향상되다가, 5.7 point 에서는 유공의 수가 증가하여 내식성이 저하된 것으로 추측된다.

4. 결론

본 연구에서는 탄약 부식방지 목적으로 사용되는 인산염 피막에 대해서 알아보았다. 전산도 및 철 함량이 인산염 피막의 중량과 내식성에 미치는 영향을 SEM 촬영 등을 통하여 분석하였는데, 그 결과는 다음과 같다.

1. 전산도가 증가함에 따라 피막 중량이 증가하였으며, 피막 구조가 치밀해지는 경향을 보였으나, 기존의 전산도 관리 범위(35 ~ 45 point) 내에서 내식성은 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 전산도는 제품의 목적에 따라 피막 두께 등을 고려하여 기존의 관리 범위 내에서 결정하는 것이 합리적이라고 할 수 있다.
2. 철 함량 약 5.0 ~ 5.4 point에서 인산염 피막 중량이 최대를 나타내었는데, SEM 분석 결과에 따르면 철 함량이 4.9 point 까지 증가함에 따라 피막 조직이 작아짐과 동시에 치밀해져 유공의 수가 감소하는 모습을 관찰할 수 있었고, 5.7 point 이후로는 유공의 수가 오히려 증가하는 모습을 볼 수 있었다. 또한, 내식성 역시 철 함량 4.9 point의 시편이 가장 우수한 것으로 확인되었고, 4.7 point의 시편에서는 내식성이 저하되는 모습을 볼 수 있었는데, 이는 일정량 이상의 철 함량은 인산염 피막 결정 형성에 관여하지 않고 오히려 피막 처리 시간을 증가시키고 피막 형성 반응을 방해함으로써 피막 구조 및 내식성에 악영향을 주는 것으로 추측된다.

결론적으로, 탄약의 부식 방지 목적으로 사용되는 인산염 피막 처리에는 전산도 및 철 함량이 피막의 두께 및 내식성에 중요한 영향을 미친다고 볼 수 있다. 따라서, 제품의 특성에 맞는 수준의 두께 및 내식성을 고려하여 전산도와 철 함량을 조절해야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] Freeman, D Brian, "Phosphating and metal pre-treatment", 229, Cambridge, 1986.
- [2] D John, "Zinc phosphating", *Metal Finishing*, vol. 97, no. 5, pp. 71-86, 1999.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0026-0576\(99\)80761-2](https://doi.org/10.1016/S0026-0576(99)80761-2)
- [3] G. D. Cheever, "Formation and growth of zinc phosphate coatings", *J Paint Technol*, vol. 39, no. 504, pp. 1-13, 1967.
- [4] S. Yawei, J. Cao, M Guozhe, Z. Tao, W. Fuhui, "The role of a zinc phosphate pigment in the corrosion of

scratched epoxy-coated steel", *Corrosion Science*, vol. 51, no. 2, pp. 371-379, 2009.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.11.015>

- [5] J. A. Kargol, D. L. Jordan, "The influence of phosphorous alloy additions on the zinc phosphate coating formation on cold rolled steels", *Corrosion*, vol. 38, no. 4, pp. 201-206, 1982.
DOI: <https://doi.org/10.5006/1.3593865>
- [6] G. Y. Li, J. S. Niu, Z. H. Jiang, "Influence of pH of phosphating bath on the zinc phosphate coating on AZ91D magnesium ally", *Advanced Engineering Materials*, vol. 8, no. 102, pp. 123-127, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1002/adem.200500095>
- [7] J. F. Ying, B. J. Flinn, M. Y. Zhou, P. C. Wong, K. A. R. Mitchell, T. Foster, "Optimization of zinc phosphate coating on 7075-T6 aluminum alloy", *Progress in Surface Science*, vol. 50, no. 1, pp. 259-267, 1995.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0079-6816\(95\)00060-7](https://doi.org/10.1016/0079-6816(95)00060-7)
- [8] P. E. Tegehall, N. G. Vannerberg, "Nucleation and formation of zinc phosphate conversion coating on cold-rolled steel", *Corrosion Science*, vol. 32, no. 5-6, pp. 635-652, 1991.
- [9] D. Weng, P. Jokiel, A. Uebleis, H. Boehni, "Corrosion and protection characteristics of zinc and manganese phosphate coatings", *Surface and Coatings Technology*, vol. 88, no. 1-3, pp. 147-156, 1997.
- [10] N. Rezaee, M. M. Attar, B. Ramezanzadeh, "Studying corrosion performance, microstructure and adhesion properties of a room temperature zinc phosphate conversion coating containing Mn 2+ on mild steel", *Surface and Coatings Technology*, vol. 236, pp. 361-367, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.10.014>
- [11] K. Nomura, Y. Ujihara, Y. Matsushita, R. Kojima, Y. Sugawara, "Chemical state analysis of iron in zinc phosphate coatings by conversion electron moessbauer spectrometry", *Nippon Kagaku Kaishi*, 1980.9, pp. 1372-1379, 1980.
DOI: <https://doi.org/10.1246/nikkashi.1980.1372>
- [12] A. A. Guenbour, A. Kacemi, "Evaluation of the corrosion performance of zinc-phosphate-painted carbon steel", *Surface and Coatings Technology*, vol. 113, no. 1, pp. 36-43, 1999.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(98\)00816-0](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(98)00816-0)

김 명 현(Myung-Hyun Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한국기술교육대학교 응용화학공학과 (공학사)
- 2014년 9월 : 울산과학기술원 신소재공학부 (공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

화학공학, 고분자, 무기체계

이 승 용(Seung-Yong Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 충남대학교 화학공학과 (공학사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 화학공학과 (석박사 통합과정)
- 2007년 1월 ~ 현재 : ㈜풍산 과장

<관심분야>

화학공학, 표면처리

이 현 희(Hyun-Hee Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 경북대학교 기계공학과 (공학사)
- 2006년 8월 : 경북대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

기계공학, 표면공학, 무기체계

이 영 태(Young-Tae Lee)

[정회원]



- 2000년 2월 : 선문대학교 무기재료공학과 (공학사)
- 2002년 8월 : 한양대학교 신소재공정공학과 (공학석사)
- 2002년 10월 ~ 2007년 9월 : 국방품질관리소 사업관리담당
- 2007년 10월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

재료공학, 무기체계