

A Study on Depot Maintenance Technology for Recycling Observation Window of the K1A1 Tank Commander's Primary Thermal Sight

Myoungjin Choi* · Yongwan Byun** · Jaekyung Yang***†

*Department of Defense Weapon System, Howon University

**JIAT(Jeonbuk Institute of Automotive convergence Technology)

***Department of Industrial and Information Systems Engineering, Jeonbuk National University

K1A1 전차 전차장 열상조준경의 관측창 재생을 위한 창 정비기술 연구

최명진* · 변용완** · 양재경***†

*호원대학교 국방무기체계학과

** (재)자동차융합기술원

*** 전북대학교 산업정보시스템공학과

K1A1 tank commander's primary thermal sight is a device that enables tank commanders to detect, identify, aim and track the target by observing targets in all directions during day, night and in situations of smokescreen and fog through 360° rotation independent from the gunner's primary thermal sight and stabilizing the line of sight even under the vibrations occurring when the tank is standstill and moving. The main function of this device is to detect and process visible and thermal images and deliver the final images to the tank commander. One of the core parts to that end is the observation window (daytime/ thermal image window). This core part is mounted at the entrance of the optical path for observing the target and plays the role of making visible light during the daytime and infrared light during the night pass through the target and transmitting the resultant images to the internal optical system of the tank commander's primary thermal sight. Such core parts have been selected as depot maintenance items so that they are replaced by new parts instead of being recycled when they are subjected to maintenance in most cases. That is, the military budget is wasted because such parts are replaced by new parts despite that they can be recycled for maintenance. Therefore, this study proposed a mounting tool for polishing and coating observation windows (daytime and thermal image window) using planar polishing equipment and DLC (Diamond-Like Carbon) coating equipment. In addition, this study presented an amendment (proposal) of the Depot Maintenance Work Request (DMWR) already published to verify the performance of recycled products including the establishment of inspection standards for recycling processes.

Keywords : Depot Maintenance, Recycle, Thermal Sight, Visible Light, Infrared

Received 14 August 2019; Finally Revised 25 September 2019;

Accepted 26 September 2019

† Corresponding Author : jkyang@jbnu.ac.kr

1. 서 론

절대온도 0도 이상의 모든 물체는 흑체복사라는 복사열을 방출하며 이러한 복사열은 상온에서 원적외선부터 중적외선에 걸쳐 강한 방출스펙트럼 대역을 갖고 있다. 따라서 주로 태양광에 의존하는 가시광선 영역의 빛이 존재하지 않더라도 적외선 영역의 센서를 사용하여 흑체 복사 열원을 감지하여 물체의 영상을 얻을 수 있다. 이를 열영상이라고 부르며, 이러한 영상을 관측 가능하게 하는 장비를 열상시스템이라 한다. 일반적인 열영상시스템은 미약한 열 신호를 감지하여 전기적 신호를 발생시키는 적외선 검출기, 검출기에서 발생된 전기적 신호를 처리하는 리드아웃(ReadOut) 회로, 영상구현을 위한 신호 처리 시스템 등으로 구성된다[9, 10]. K1A1 전차 전차장 열상조준경 또한 주야간 관측이 가능하도록 관측창(주간/열상 창)을 통하여 수신된 가시광선과 적외선을 광학렌즈 및 전자 구성품 간의 상호 인터페이스(Interface) 등으로 신호를 처리하여 화면을 형성하게 된다. 여기서 관측창(주간/열상 창)은 전차창 열상조준경 상부 유닛에 설치되어 주야간 목표물의 가시광선과 적외선을 투과 및 화면 형성을 위한 핵심부품으로 단가가 높으며 창 정비에서 재생이 불가한 품목이다[3, 4].

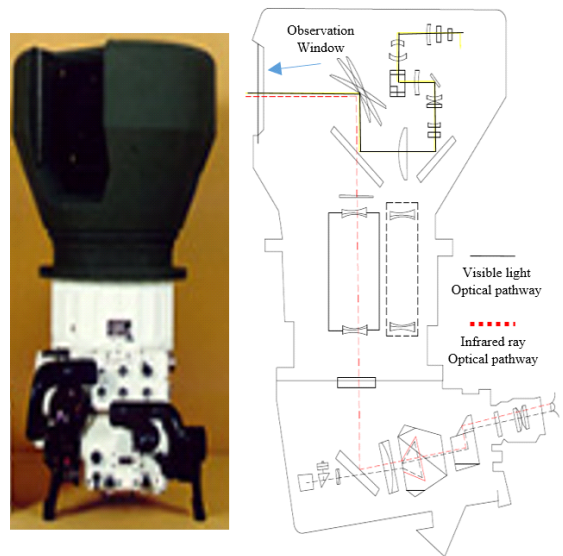
이에 본 연구는 경제성과 원활한 부품 조달을 위해 관측창(주간/열상 창)을 평면연마장비와 DLC(Diamond-Like Carbon) 박막 코팅 장비를 활용하여 재생이 가능하도록 연마·코팅을 위한 장착치구 설계를 제안하며, 재생품에 대한 검사기준 정립 및 성능 검증 등을 포함한 연마·코팅 절차를 제시하고자 한다.

2. 관련 연구

K1A1 전차 전차장 열상조준경은 <Figure 1>과 같으며, 주야간 관측 및 안정화 기능을 가지고 있어 주야간 이동 중에서도 전차의 조준선을 독립적으로 조작할 수 있다. 주야간 관측 장치는 목표물 주위의 가시상 및 열상을 포착하여 그 상을 전차장이 볼 수 있게 한다. 안정화 장치는 광 경로가 시작되는 곳에 위치하는 안전거울의 짐벌(Gimbal)을 통해 고저각으로 방위각 회전부를 통해 방위각으로 움직일 수 있다. 짐벌 축이 자이로(Gyro)에 연결되어 전차가 이동 중에도 좁은 시계(10배율) 및 넓은 시계(3배율)로 관측할 수 있으며, 이때도 정지해 있을 때와 같이 조준선을 안정시킨다. 즉, 관측창(주간/열상 창)은 전차 전차장 열상 조준경 상부유닛의 전면에 장착되어 목표물에 대한 광행로를 제공하는 기능을 수행한다[6].

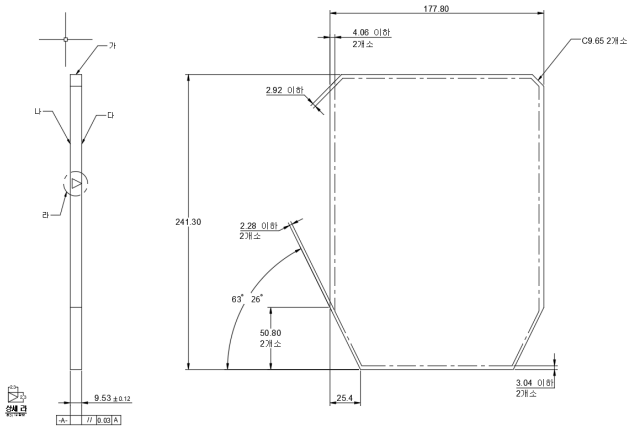
전차장 열상 조준경의 광학경로는 <Figure 1>과 같이

목표물 영역의 주간 상은 조준경 상부 보조 조립체의 관측창(주간/열상 창)을 통해 들어오고 비초점 열상조립체의 안정거울 조립체에서 반사되어 하부 파노라믹 모듈(Panoramic Module)에 입사된다. 입사된 상은 갈렐레안 렌즈에서 3배율 또는 10배율로 변환되어 망원경 조립체의 반사경에 입사되고 2개의 회전차선(십자 : 조준선, 역 T자 차선 : 포탑 방향)은 지각 프리즘, 차선 반사경을 통하여 반사경의 중앙 홀로 입사된다. 주간 상과 회전 차선은 반사경에서 중첩되어 대물렌즈를 통하여 폐칸 프리즘에서 상이 정렬되어 전차장이 집안렌즈를 통하여 주간 상을 관측한다. 감쇄 필터는 상의 밝기를 80% 감소시킨다. 비초점 안정거울 조립체의 안정거울에서 반사되어 광속 분리기를 통과한 가시광선은 하부 파노라믹 모듈에서 3배/10배 배율 변환을 한다. 다시 이 가시광선은 망원경 조립체로 입사되어 차선정보와 함께 전차장에게 전달된다.



<Figure 1> Commander's Primary Thermal Sight & Optical Pathway

K1A1 전차 전차장 열상조준경 관측창(주간/열상 창)의 도면은 <Figure 2>와 같으며, 황화아연(Zinc Sulfide) 재질에 다중대역 비반사코팅으로 되어 있다. 이러한 재질의 코팅은 중적외선과 원적외선 모두에서 공통적으로 사용할 수 있는 물질이지만 관측창(주간/열상 창) 외관의 색은 시간이 지나면서 아주 많이 변하게 된다[6]. 일반적으로 사용되는 황화아연 재질의 코팅은 가시광선에서는 어두운 노란색으로 투명하게 보이며, 코팅 과정은 화학기상증착(Cheical Vapor Deposition, CVD) 방식으로 진행된다. CVD법으로 제작한 황화아연 코팅 창은 굴절률(Refractive Index)은 8~12 μm 파장에서 2.2 μm 정도이며, 파장대가 높아질수록 낮아지는 경향을 가진다[5].



<Figure 2> Observation Window Drawing

위와 같은 방식으로 관측창의 재생은 포병관측장비의 레이더 세트(TPS-830K) 등 유사 무기체계에 적용 중에 있으며, 이러한 재생 및 코팅이 완료된 관측창(주간/열상 창)에 대한 국방규격의 성능검사 기준은 <Table 1>과 같다[1, 2, 12, 13].

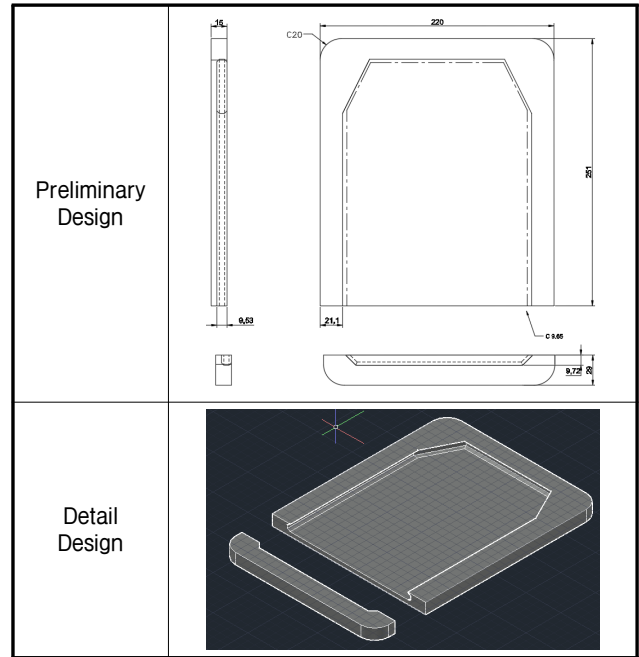
<Table 1> Criteria of Performance Inspection

Item	Inspection
Thickness	9.53±0.12mm
Transmittance rate	90% ↑ 7.7~103μm
Coating adhesion	MIL-M13508
Humidity Test	+49.2°, relative humidity 95% 24hour exposure
Temperature Test	+71℃, -92℃ 2hour exposure
Salt Fog Test	MIL-STD-810G(509.5)
Surface Quality & Job Skill	MIL-O-13830

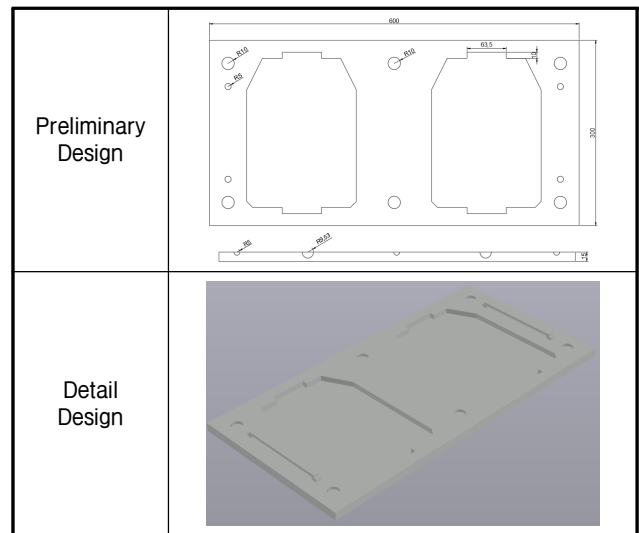
3. 관측창(주간/열상 창) 재생 방안

3.1 연마·코팅을 위한 장착 도구 개발

관측창 재생 공정의 연마·코팅을 위한 장착 도구 개발과 DLC 박막 코팅을 위한 코팅장비 성능개선을 위해 대상품목의 특성을 분석하였으며, 장착의 편의성, 호환사용 가능성을 중점으로 하여 설계를 검토 하였다. 연마·코팅을 위한 장착 도구는 포병관측장비(TAS-1)의 창정비 요소개발시 개발된 DLC 박막 코팅 장비의 사용되는 장착 도구를 참조하였으며, <Figure 3>과 <Figure 4>와 같이 운용성, 작업 편의성 등을 고려하여 설계 및 개발하였다. 또한 발청방지를 위해 알루미늄 계열 재질로 제작하였으며,



<Figure 3> Installation Tool for Grinding Polishing



<Figure 4> Installation Tool for Coating

제작된 연마·코팅을 위한 장착 도구에 대해 운용성 등을 확인한 결과 양호하였다.

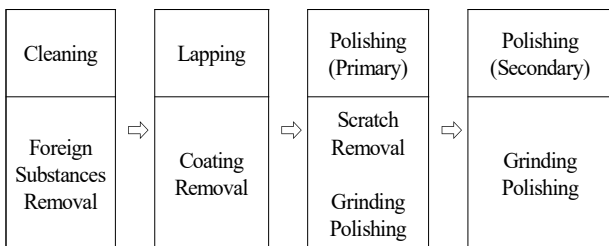
관측창 연마는 현 종합정비창 정비단에서 보유하고 있는 평면연마장비를 활용하였으며, 래핑(Lapping), 폴리싱(Polishing) 작업 간에 사용되는 연마접시와 패드는 공정별로 맞게 세팅하였다. 그리고 코팅은 내구도를 증대하는 방안으로서 다중대역 비반사코팅(BBAR)으로 되어 있던 것을 Si-DLC 코팅으로 변경하였으며, 이를 위해 가스 2종(5%SiH₄+He, N₂)을 추가하여 DLC 박막 코팅 장비의 성능을 개선하였다.

3.2 연마공정 정립 및 연마제 적용

연마공정은 광학유리를 렌즈 또는 프리즘의 형태로 1차 연마한 다음, 렌즈 표면이 뿌옇게 흐린 곳이 없도록 투명하게 하고, 주어진 곡률 반경의 구면 또는 필요로 하는 각도나 평행도를 갖는 평면으로 마무리하는 공정을 말한다. 이때 사용되는 광택 연마제는 주로 산화세리움(Cerium Oxide)이 사용되며, 연마명(研磨皿, 연마 tool)에는 피치 또는 폴리우레탄 패드(Pad) 등이 많이 사용된다. 연마 작업은 광학렌즈 부품 가공 공정 중 60~80%를 차지하는 중요한 공정으로 연마제를 활용하여 렌즈를 연마하면 광택과 더불어 다음의 3가지의 효과가 발생한다.

- 1) 면(面)의 평활화(平滑化)는 저립의 미소절삭 작용에 의해 표면이 불룩한 부분이 제거된다.
- 2) 연삭 중에 생기는 유동층이 오목한 부분에 묻으면서 평활화가 진행된다.
- 3) 사용하고 있는 연마제 등의 화학작용에 의해 연마가 이루어진다.

정밀연마 가공은 환경에 좌우되며 따라서 능률에 크게 영향을 미친다. 연마작용은 피치를 사용하며 이때 온도는 20~30°C로 일정하게 유지하는 것이 좋다. 같은 실내에서도 남쪽과 북쪽, 출입구의 개폐 등에 의해 온도차가 발생할 수 있기 때문에 이중문 또는 회전문 등을 설치하는 것도 고려해야 한다. 또한 최근 새로운 렌즈 개발에 따라 성능이 좋은 렌즈가 시판되고 있으나 이들은 습도에 약한 것이 많아 부식되기 쉬우므로 주의를 필요로 한다. 또 실내에 떠다니는 먼지는 연마 면에 상처를 발생시키는 원인이 되므로 청정을 유지하도록 해야 한다. 관측창 재생을 위한 연마 가공은 항온항습 및 클린 룸(Clean Room)에서 실시되며, 연마 공정은 <Figure 5>와 같다.



<Figure 5> Observation Window Polishing Process

렌즈의 연마방법은 피치가 부착된 렌즈를 연마 판에 붙여서 연마하는 방법과 툴(Tool)을 사용하여 연마하는 방법 그리고 고속연마기를 사용하여 렌즈를 한 개씩 연

마하는 방법 등으로 나눌 수 있으며[5], 재생을 위한 관측창(주간/열상 창) 연마는 황화아연 재질의 코팅된 상태를 고려하여 검토한 결과 <Table 2>와 같이 적용하였다.

<Table 2> Abrasives by Polishing Process

Item	Equipment	Abrasives
Lapping		WCA-9T
Polishing	Primary	Alumina 3.0CR
	Secondary	Alumina 1.0CR

3.3 코팅 내구도 강화

다이아몬드상 탄소박막(Diamond-Like Carbon, DLC)은 고체상태의 탄소박막 방법 중의 하나로 높은 기계적 경도와 낮은 마찰계수 및 높은 내마멸성 등의 유용한 기계적 특성으로 인해 많은 부분에서 널리 이용되고 있으며 그 효용성은 날로 증대되고 있다[7].

한편 광학분야에서는 적외선에 대한 높은 투과성과 가시광선에 대한 부분적 투과성을 이용하여 여러 분야에서 활용되고 있다. 대표적인 예로 Ray-Ban 社의 DLC 박막 코팅 선글라스(모델명 Diamond-Hard)나 적외선에 대한 높은 투과성을 이용한 Bar-code Scanner Window의 보호코팅(미국, Dia-monex社)을 들 수 있다. 하지만 이에 이용된 특성은 적외선 영역에 대한 투과성 및 가시광선에 대한 부분적 투과성이며 투명하다고 할 수 있을 정도의 전체적인 가시광선 영역에 대한 높은 투과성을 나타내는 DLC 박막은 제작이 불가능해왔던 것이 사실이다. 높은 경도 특성은 디스플레이의 보호용 박막으로서 요구되는 가장 큰 특성으로서 DLC 박막의 경우 이에 알맞은 높은 경도 특성을 가지고 있으나, 부족한 투명성으로 인해 이용이 제한되어 왔다. DLC 박막이 높은 경도 특성을 최대한 유지한 채 가시광선에 대한 투명도를 나타낸다면 디스플레이 분야 및 고경도와 투명도가 요구되는 자동차 헤드라이트 등 많은 분야에서 활용이 가능할 것으로 예상된다[8, 11].

<Table 3> Characteristics of DLC Coating Types

Division	W-DLC	WC-DLC	Si-DLC
Number of Layers	4	3	2
Adhesive Layer	Cr	Cr	Si
Illuminance	15	30	32
Hardness(Hv)	1,318±35	1,250±80	1,315±130
Shear Modulus	165±3	140±7	90±3
Coating Thickness(μm)	1~5	3~5	3
Hydrogen Content(%)	14	16	20
Preparation Method	Hybrid PVD / PECVD		CVD

이에 전차장 열상 조준경의 관측창 재생을 위한 코팅 방법은 야지 운영에 따른 내구도 강화를 위해 DLC 박막의 고경도 특성을 유지하고 주간 관측의 용이성, 시야성 등을 확보하기 위해 가시광선에 대한 투명도를 높이는 방안에 대한 코팅 기술을 적용한다. 코팅 절차로 첫째, 전차장 열상 조준경의 관측창 탈거하여 아세톤으로 20분간 초음파 세척기를 이용하여 관측창 표면의 이물질이나 기름 등의 오염 물질을 제거한다. 둘째, 관측창을 RF CVD(Radio Frequency Chemical Vapor Deposition) 장치 즉, 포병관측장비(TAS-1)의 창정비요소개발시 개발된 장비를 성능개선 한 DLC 코팅 장비에 <Figure 4>의 개발한 코팅 장착 도구를 활용하여 장입하고, Ar 기체 플라즈마를 이용 200W, 0.1 Torr에서 10분간 전처리과정을 거쳐 표면의 유기 불순물을 제거하게 된다. 셋째, 20분간 진공 과정을 거쳐 Ar 기체를 충분히 제거한다. 넷째, DLC 박막 코팅 증착은 Methane(CH₄)과 Silane(SiH₄) 및 Ar 혼합 기체를 이용한 RF CVD 방법을 통해 관측창에 증착한다. 이때, 주원료 가스인 Methane은 20sccm 주입, Silane은 Methane의 5%에 해당하는 1sccm, Ar은 5%에 해당하는 1sccm을 주입한다. 마지막으로 RF Power는 100W를 사용하고 공정 압력은 0.1 Torr로 진행하며, 증착시간은 총 20분간 진행한다. 마지막으로 관측창 재생을 위한 코팅 완료 후 DLC 박막 코팅에 대한 기계적 특성과 광학적 특성을 측정하였다.

기계적 특성은 나노-인덴테이션(Nano-Indentation) 장비를 사용하여 경도를 측정하였으며(포아송비 : 0.18), 경도 측정시의 부하 하중은 DLC 박막 코팅의 두께가 매우 얇기 때문에 관측창의 영향을 최대한 피하기 위해 0.3mN으로 설정하였다. 측정은 20μm 간격으로 3×2로 관측창의 여섯 군데를 각각 측정하였다. 코팅의 경도를 비교하기위해 같은 방식으로 코팅 이전의 관측창의 경도도 측정하여 그 값을 비교하였다. 그 결과 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Hardness of DLC & not DLC

Number	1	2	3	4	5	6
Hardness of DLC (Hv)	1447.7	1406.5	1441.7	1458.2	1317.2	1413.6
Hardness of not DLC (Hv)	679.5	710.8	558.3	608.3	486.7	551.8

경도측정결과 DLC 박막 코팅은 평균 Hv1,414.15로 코팅 이전 경도 Hv599.2 보다 약 2배 이상 경도가 향상되었다.

광학적 특성은 가시광선 영역(350~800nm)에 대한 투과도를 측정하였다. 가시광선 투과도 측정은 코팅이 되지 않은 관측창의 투과도를 기준으로 설정하여 그 값을 1로

하고 코팅 후의 투과도를 %단위로 나타내어 비교·측정한 결과 가시광선의 400nm 이상의 파장에서 90% 이상의 투과율을 나타내었다.

이와 같이 <Table 4>의 코팅이 완료된 관측창(주간/열상 창)에 대한 측정결과는 국방규격상 성능검사 기준과 <Table 3>의 Si-DLC 코팅 기준에 적합하다는 결과를 확인하였다.

3.4 관측창(주간/열상 창) 검사기준 및 절차 정립

관측창의 재생을 위해 연마 및 코팅이 완료된 재생품에 대하여 검사기준 및 절차를 다음과 같이 정립하였다. 검사기준은 도면상에는 수록되어 있으나 세부적인 절차가 없어서 동일재질의 유사장비인 K-1전차 포수조준경(GPTTS) 주간 창 및 열상 창 검사기준을 참조하였다[4]. 세부적인 검사기준은 <Table 5>와 같으며, 검사절차는 다음과 같다.

<Table 5> Inspection Standard of Observation Window

Inspection item	Standard	Result
SCRATCH(Thickness)	Less than 80(1/1,000mm)	Good or Bad
DIG(Diameter)	Less than 50(1/100mm)	Good or Bad

첫째, 스크래치 검사절차는 피검사체에 최대허용 스크래치 두께(폭)보다 큰 스크래치가 없는지 확인하는 것으로 가장 두께(폭)가 큰 스크래치가 해당 부품 유효구경의 1/4 이하 인지 확인하다. 또한 피검사체에 나타난 스크래치의 합이 식 (1)을 만족하는지 확인하다.

$$N_i = \sum \frac{\sum \epsilon x L_i}{D} \leq 1/2 Nm \quad (1)$$

N_i : 관측된 스크래치 적용 Number

L_i : 관측된 스크래치의 길이(cm)

D : 해당부품의 유효구경(cm)

N_m : 최대허용 스크래치 Number

둘째, 디그 검사는 피검사체에 최대허용 디그 보다 큰 직경의 디그가 없는지 확인한다. 또한 유효구경 내에 임의의 지점에서 2cm의 원을 설정할 때 원 내에 존재하는 모든 디그 직경의 합이 식 (2)를 만족하는지 확인한다.

$$\sum D_i \leq 2 D_m \quad (2)$$

D_i : 2cm 원 내에 존재하는 디그 Number의 합

D_m : 최대허용 디그 Number

셋째, 코팅 상태 검사는 피검사체에 코팅의 부식 또는 확연히 드러나는 변색 현상이 없는지 확인한다. 마지막으로 일شم씨는 관측창(주간/열상 창) 표면에 먼지, 실오라기 등의 오물이 없는 지 확인한다.

4. 결론

K1A1 전차는 야전에서 운용시 모래 등으로 인하여 관측창(주간/열상 창)의 외부흡집 등의 발생이 빈번한 실정이며, 정비 소요 발생시 진량 신품 교환에 따른 부품조달 예산이 많이 발생하고 있다. 이에 창 정비단에서 보유 중인 연마장비와 포병관측장비 창정비 소요 개발간 개발한 DLC 박막 코팅 장비 및 연마·코팅을 위한 장착 도구 개발을 통한 정비기술 개발로 신품 교환 정비에 따른 정비비 등을 고려한 경제적 효과와 정비불가품목 정비기술 개발로 군직 정비능력확보를 위해 기술적인 분석과 정비기술 방안을 제시하였다.

즉, K1A1 전차 전차장 조준경은 주간 및 야간 관측기능 수행이 가능하기 위해서 가시광선과 적외선을 수신하여야 하는데 그 기능을 담당하는 것이 관측창(주간/열상 창)으로 전력화된 이후 야전 운용환경에서 흡집 및 코팅 탈거(코팅 벗겨짐) 등 정비 소요가 발생하고 있으며, 관측창(주간/열상 창)은 단가가 높은 품목으로 정비소요 발생시 정비가 불가하므로 진량 폐처리하는 품목이지만, 연마·코팅 정비기술개발로 재활용이 가능한 품목이라고 판단하였다. 관측창(주간/열상 창) 연마·코팅 재생정비기술 개발을 최소의 비용으로 수행하기 위해 창 정비단에서 보유 및 운용하고 있는 특수광학렌즈 연마·코팅 장비를 활용하고, Si-DLC 코팅에 필요한 가스 및 배관 작업과 운용프로그램 수정을 통하여 성능을 개선하였다. 또한 관측창(주간/열상 창) 연마·코팅을 위한 장착 도구를 개발 및 활용함으로써 예산절감과 군직정비 능력 확보에 기여할 것으로 판단된다. 특히 관측창(주간/열상 창) 재생 정비기술개발에 대한 연구결과를 확대 활용한다면, K1E1 전차 전차장 열상조준경, K21 장갑차 차장 조준경의 관측창(주간/열상 창) 재생 정비시 적용이 가능할 것으로 판단된다. 이는 예산절감으로 반영되어 경제적 효과도 예상된다. 또한, 향후 개발예정인 무기체계의 사격통제장치는 광전자장치가 융복합되어 설계된 장비로서 향후 기술발전 추세에 부응하여 획기적으로 발전할 것으로 예상되어 본 연구를 통한 주간 및 열상 창의 복합된 관측창(주간/열상 창)에 대한 재생정비기술 개발은 기술적인 파급효과가 클 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study has been partially supported by a Research Fund of Howon University, Korea.

References

- [1] Army Logistics Command (LOG CMD) SOP 060, Component Development SOP.
- [2] Army Logistics Command (LOG CMD) SOP 610, Production and Maintenance SOP.
- [3] Army Regulation (AR) 480, Equipment Maintenance Regulation.
- [4] Depot Maintenance Work Request, Tank Commander's Primary Thermal Sight, K9 (1)-1240-016-L, ROK army headquarters, 2009.
- [5] Hong, Y.W. and Baek, J.H., Development Status of long wavelength infrared Transparent ZnS Materials, *The Korea Ceramic Society*, 2014, Vol. 17, No. 4, pp. 72-79.
- [6] K1A1 Tank Commander's Primary Thermal Sight, visible light and infrared sight window Drawing (Q65021308), Defense Acquisition Program Administration, 2009.
- [7] Kim, J.G., Lee, K.R., and Yang, S.J., Wear-corrosion performance of Si-DLC coatings on Ti-6Al-4V substrate, *Journal of Biomedical Materials Research. Part A*, 2008, Vol. 86, No. 1, pp. 41-47.
- [8] Kim, T.G., Shin, Y.H., Cho, H., and Kim, J.K., Synthesis of transparent diamond-like carbon film on the glass by radio frequency plasma enhanced chemical vapor deposition, *Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology*, 2012, Vol. 22, No. 4, pp. 190-193.
- [9] Production Company (GOODRICH), Maintenance Manual (Operation AND Maintenance Manual).
- [10] Production Company (GOODRICH), Operation Manual (Basic Field Maintenance Training).
- [11] Shin, Y.H., Kim, T.G., and Kim, N.K., A Study on the Transparent DLC Coating Technology, *Proceedings of the KSMPE Conference*, 2011, pp. 39-40.
- [12] Supplementary Quality Assurance Provisions 50090000 etc. 10 kinds.
- [13] Technical Manual, K9 (2)-1285-400-34 Radar Set (TPS-830K), ROK army headquarters, 2010.

ORCID

- Myoungjin Choi | <http://orcid.org/0000-0003-2919-8252>
 Yongwan Byun | <http://orcid.org/0000-0002-3706-6973>
 Jaekyung Yang | <http://orcid.org/0000-0002-4904-1351>