

한국형 기동헬기 꼬리 날개 디페인팅 현상을 통한 도장 품질 향상에 관한 연구

장인기^{**} · 김영진^{*} · 서현수^{*} · 전부일^{**}

^{*} 국방기술품질원

^{**} 한국항공우주산업(주)

A study on improvement of painting quality through a de-painting phenomenon of KUH-1 tail blade

Chang In-ki^{**} · Kim Young-Jin^{*} · Seo Hyun-Soo^{*} · Jeon Boo-Il^{**}

^{*} Defense Agency for Technology and Quality

^{**} Korean Aerospace Industries

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study was to explain de-painting phenomenon of KUH-1 tail blade and to propose useful solution of it by test. The proposed solution was evaluated by real flight, and then it applied to mass product to improve the paint quality of KUH-1 tail blade.

Methods: This study investigated an adhesive ability of primer following surface sanding condition. The cross cut and scratch test were conducted to evaluate the adhesive strength. And the water flow test was designed to simulate a real flight condition under rain. Through water flow test, an optimal condition of tail blade to prevent a de-painting phenomenon was deduced. Finally, the improvement method was evaluated by real flight under rain.

Results: The results of this study are as follows; The sequential polishing was most excellent method in primer painting quality. The results of test including cross cut, scratch and water flow showed that MIL-DTL-53039 paint with epoxy primer has excellent adhesive ability. To proof the effect of improvement, a real flight during a rain condition was conducted. Finally, the comparison between original and improved configuration was conducted.

Conclusion: The painting quality of KUH-1 tail blade was improved through deriving an optimal painting condition. In detail, a condition of optimal sanding and a sort of primer and paint was showed. Finally, the reliability of tail blade was guaranteed through improving the quality of painting.

Key Words: De-painting Phenomenon, Cross Cut Test, Scratch Test, Water Flow Test, Flight Test

● Received 11 August 2014, 1st revised 12 August 2014, 2nd revised 24 August 2014, accepted 27 August 2014

† Corresponding Author(inkij@naver.com)

© 2014, 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. 서 론

헬리콥터의 블레이드(Blade)는 회전자용 허브로부터 회전력과 피치 조종력을 전달받아 양력, 추력 및 기동력을 발생시키는 장치로 주로터 블레이드와 꼬리로터 블레이드로 구성된다. 수리온 헬기 꼬리로터 블레이드는 끝단 마모 방지를 위해 티타늄으로 제작된 보호판(Erosion Shield)을 부착하여 블레이드가 우수한 내식성과 내마모성을 갖도록 하고 있다.

또한 외부 도장(Painting)은 부식, 열화 등으로부터 블레이드를 보호하여 내구성 및 신뢰성을 향상시켜주는 역할을 한다. 특히 국내 개발된 수리온 헬기의 블레이드는 화생방 환경에서 원활한 작전 수행이 가능하도록 폴리우레탄 계열의 화생방 페인트(CARC, Chemical Agent Resistant Coating)를 적용하였다.

하지만, 양산 중 꼬리 블레이드가 우천환경에서 비행 중 보호판의 끝단부에서 도장이 벗겨지는 결함이 발생하였다. Figure 1과 같은 디페인팅 현상(De-Painting)은 비행 안전 품목 중 하나인 블레이드의 내구성 및 신뢰성에 손상을 일으키고, 품질을 저하시키며 이로 인하여 운용에 큰 영향을 줄 수 있다. 하지만 개발 시 도장 품질에 대한 평가는 제한적으로 수행되었으며, 양산에서도 블레이드의 운용 조건을 고려한 도장 품질을 확인 할 수 있는 객관적이고 구체적인 평가방법이 없어 실제 비행 이전에는 확인이 힘든 것이 현실이다. 따라서 도장의 품질을 개선하고 시편단위에서 실제 비행 환경을 모사할 수 있는 평가 방법의 개발이 요구되었다.

본 연구에서는 티타늄 보호판의 샌딩 조건에 따른 프라이머 밀착성 확인을 위한 크로스 컷(Cross-Cut) 시험 및 스크래치(Scratch) 시험과 2종류의 프라이머(MIL-C-8514, MIL-PRF-23377)와 유사 헬기에 적용 중인 2종류의 화생방 페인트(MIL-DTL-64159, 53039)의 밀착성 확인 시험을 실시하여 꼬리 블레이드의 디페인팅 현상 해결을 위한 방안을 도출하고, 시편단위에서 강우 조건을 구현한 강우모사 시험(Water Flow Test)을 개발, 적용하며 실제 운용 조건에서 비행시험을 통해 이의 타당성을 입증하였다.

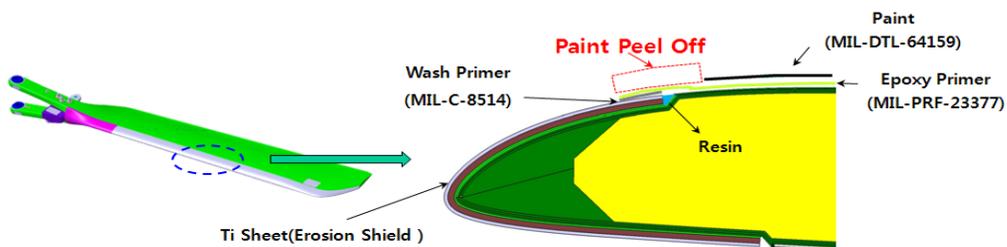


Figure 1. Structure and de-painting zone of the tail blade

2. 블레이드 외부도장 문제점 및 자료조사

2.1 디페인팅(De-Painting) 현상 발생

항공기 시험비행 중 Figure 2와 같이 블레이드(Blade) 끝단에서 페인트가 탈락하는 결함이 발생하여 단기적으로 프라이머의 사양을 Epoxy 프라이머에서 Wash 프라이머로 변경하고 끝단부의 단차에 모따기(Chamfer)를 추가 적용하는 등의 개선을 하였으나, 우천 상황에서 비행한 거의 대부분의 항공기에서 유사한 결함이 계속되었다. 결함 원인은 우천 중 비행으로 인해 블레이드 끝단부 티타늄으로 제작된 보호판(Erosion Shield)에 빗물 충격과 해당 부위

로 흐르는 물이나 공기 및 먼지 등의 마찰에 의해 외부 도장이 탈락된 것으로 판단되었다.

이에 대해 티타늄 면에 적용한 프라이머와 외부 도장의 작업조건, 도장 두께 및 표면거칠기 등의 도면 및 공정규격을 기준으로 작업 공정의 타당성을 확인하였으나 특별한 문제점을 확인하지 못하였다. 근본적으로 설계 측면에서 프라이머와 티타늄 모재의 접착력 향상과 적용된 화생방 외부도장(MIL-DTL-64159)의 수분에 대한 내구성 측면의 개선이 필요하였다.



Figure 2. De-painting of the tail blade

2.2 도장 선정 문제점 및 기존 연구

T-50 등 항공기에 사용되는 외부 도장은 일반적으로 MIL-PRF-85285(Polyurethane Coating) 페인트, 프라이머는 MIL-PRF-23377 또는 MIL-P-2441을 사용한다. 초기 수리온 헬기의 블레이드는 설계 경험이 부족하고 기준이 확립되지 않아 고정익에서 사용 중인 MIL-PRF-85285 페인트에 MIL-PRF-23377 프라이머를 사용하여 시험하였다. 하지만 헬기의 화생방 환경에서 원활한 작전 수행 가능하도록 화생방페인트 적용이 요구되어(DAPA, 2013) 화생방 페인트(MIL-DTL-64159)로 변경하였다.

꼬리 블레이드 끝 부분은 내마모성을 위해 티타늄 합금을 사용하고, 그 위에 프라이머 및 페인팅이 된다. 티타늄은 알루미늄에 비해 비중 및 당도가 높고, 일반 강철보다 비중이 낮아 가볍고 강도가 우수하다. 또한 부식에 대한 저항성이 좋아 자동차용 및 항공기용 소재로 널리 적용되고 있으며, 인체에 대한 안정성 때문에 의료용으로도 적용되고 있다(Shim, Jae Dong, 2011)

자동차 및 항공기용 구조물로 널리 적용되고 있는 알루미늄 합금의 표면처리를 위한 도장처리에 대해서는 다양한 연구가 이루어져 왔으나, 티타늄 합금으로 제작된 제품의 표면처리 및 도장에 대한 조사는 거의 이루어지지 않았다. 기존 연구결과에 따르면 알루미늄 합금은 표면 조도가 도장성이 영향을 주며 거칠기 값이 높아질수록 박리가 잘되지 않는다(Seung-Hyun Moon, 2009). 또한 알루미늄 표면 연마단계에서 연마지를 순차적으로 사용하였을 때 도장성이 우수하다(Han-Ki Yoon, 2011). 자동차용 강판에서 표면거칠기의 도장성에 미치는 영향에서도 표면거칠기가 도료의 부착성 향상에 영향을 주며(Soon-Kyung Kim, 1998) 강판의 종류 및 가공 방법 등의 변수도 다양하게 작용함을 알 수 있다.

또한 수리온 사업을 통해 최초로 헬기를 개발 한 국내 여건상 블레이드의 운용 조건, 비행 환경 및 진동 등 헬기 특성에 따른 블레이드 페인트의 건전성에 대한 평가방법이 없는 게 현실이다. 개발 시 사업 측면에서 제한적으로 적용하여 공정 타당성 확인, 환경시험 및 항공기 체계 성능 적합성 측면의 비행시험 위주 확인되었고, 비행 시 우선조건에서의 도장 품질에 대한 구체적 평가는 없었다. 생산 중의 도장 건전성에 대한 판단은 수리온 사업의 공정규격서(DAPA, 2013)에 따라 건조 및 습식상태로 밀착성 시험을 하며, 이는 군용품의 도장상태를 확인 일반적인 방법으로 블레이드의 밀착성 및 도장 적합성을 판단하기는 불충분하다.

3. 실험 조건 및 방법

수리온 꼬리 블레이드 끝단 디페인팅(De-Painting) 결함에 대해 프라이머 접착력 강화와 항공기 운용 측면의 화생방페인트 경우 환경 적합성 시험으로 나누어 개선을 추진한다. 블레이드는 티타늄 보호판 조립 후 표면 샌딩, 프라이머를 사용한 하도 작업 및 최종 페인팅 순으로 외부도장이 진행된다. 여기에서 프라이머와 보호판 사이의 밀착성은 보호판의 샌딩 조건, 프라이머의 도장 두께에 따라 결정되며, 페인팅의 밀착성은 프라이머와 페인팅의 상호조합과 각 특성의 영향을 받는다.

따라서 프라이머 접착력 강화를 위해 도장면 표면 샌딩(Sanding) 상태, 프라이머 적용 조건 등을 변경하여 아래와 같은 조건으로 시험편을 제작하여 관련 시험을 하였다. 화생방 페인팅의 적합성 측면에서는 국내에서 운용 중인 유사 헬기의 페인팅을 활용하여 비행 조건을 고려한 시험 확인 방법(Water Flow Test)을 연구하고 시험설비를 제작하여 실제 평가에 적용하며, 우천 환경에서 항공기 시험비행을 통해 최종 적합성을 검증 하였다. 작업 순서는 다음과 같다.

1단계: 샌딩(Sanding) 조건

2단계: 프라이머 조건

3단계: 화생방 페인팅 선정

4단계: 강우모사(Water Flow) 시험 개발

위의 작업 순서에 맞추어 다음과 같이 실험을 실시하였다.

1단계 샌딩(Sanding) 조건

시험편의 재질은 실제 꼬리 블레이드에 적용 중인 티타늄 합금(AMS 4902) 판재이며, 시험편의 도장 전에 작업되는 샌딩 작업 조건은 Table 1과 같다. 일반적으로 사포의 거칠기는 숫자가 높을수록 면이 고운 것을 의미하며, 샌딩 작업은 사포의 거칠기 및 사용한 종류에 따라 “중간단계 생략”, “임의 선정”, “순차적 샌딩” 조건으로 분류하였다.

Table 1. Specimens number of titanium sheet abrade condition

Specimens	Titanium sheet abrade	Sanding condition
No.1	#80→#320	Skip the middle step polishing
No.2	#120→#220	Voluntary polishing
No.3	#80→#120→#150	Sequential polishing
No.4	#80→#120→#150→#220→#320	

2단계 프라이머 조건

수리온 헬기 꼬리 블레이드의 경우 워시 프라이머(Wash Primer, MIL-C-8514) 위에 화생방 페인팅을 바로 도장하여 사용하도록 되어 있었으나, 디페인팅 현상이 발생하여 Figure 3과 같이 워시 프라이머 위에 에폭시 프라이머(Epoxy Primer, MIL-PRF-23377)를 적용하여 개선 여부를 확인 하고자 하였다. 워시 프라이머에는 경화제(PT402Y, MIL-C-8514)를 섞어 사용하였으며, 에폭시 프라이머는 희석제(MIL-T-81772 Type 2)를 적용하였다.

위시 프라이머 층의 두께 영향성 확인을 위해 위시 프라이머가 2겹 처리된 시편과 1겹 처리된 시편을 Figure 4와 같이 구성하여 비교 시험하였다.

도장은 Table 2와 같이 노즐압력, 거리, 직경 및 분사패턴 폭을 일정하게 하고 각 시험편 별로 동일한 조건으로 동시에 작업하였다. 도장 작업에는 Spray Gun(Binks Model 95SL)을 사용하였으며, 정확한 시험을 위해 각 조건별 시험편을 Table의 작업조건으로 동시에 작업하였다.



Figure 3. Section shape of specimens

Table 2. Application requirements of primes(DoD. 1967, DoD 2012)

Requirements	Wash Primer(MIL-C-8514)	Epoxy Primer(MIL-PRF-23377)
Thinner rate	base 4 : Hardner 1	base 3 : Thinner 1
Mixing Time	5min	10min
Spray Pressure	20~55psi	20~55psi
Gun Nozzle Dia	1.5mm	1.5mm
Nozzle Distance	15~20cm	30~40cm
Cure Time	15~30min	60min
Coating Thickness	5~7.6 μ m(1coat)	15.2~50.8 μ m
	10~15 μ m(2coat)	

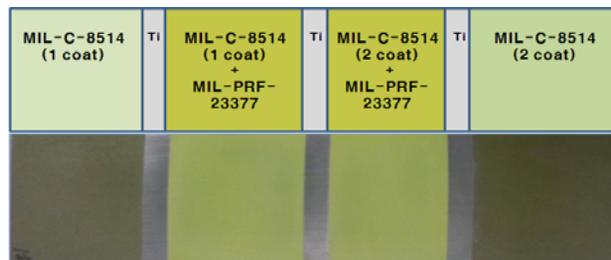


Figure 4. Specimens coated by primer

3단계 화생방 페인트 선정

화생방 페인트는 흔히 CARC(Chemical Agent Resistant Coating)라 하며 화생방 환경에서 작전 수행이 가능하도록 화학무기 침투에 잘 저항할 수 있는 표면을 만들어 주는 것으로, 현재 국내에서 운용 중인 헬기에서 사용되는 화생방 페인트의 특성은 Table 3과 같다.

Table 3. Chemical agent resistant coating

CARC	MIL-DTL-53039(DoD. 2002)	MIL-DTL-64159(DoD. 2011)
Characteristic	<ul style="list-style-type: none"> · Water-dispersible, chemical agent resistant, aliphatic polyurethane coatings · Use as a finish coat on all military tactical equipment. 	<ul style="list-style-type: none"> · Single component, chemical agent resistant, aliphatic polyurethane coating · Use as a finish coat on military combat equipment.
Application	<ul style="list-style-type: none"> · Don't let water contact with the coating. · Use within 8 hours unless protected by a nitrogen or argon blanket. · Apply a minimum DFT of 1.8 mils. · Coating cures in one week at 70°F. 	<ul style="list-style-type: none"> · Use the admix coating within 6 hours. · Apply a minimum DFT of 1.8 mils. · Coating cures in one week at 70°F.

4단계 강우모사(Water Flow) 시험 개발

(1) 시험 방법 및 치구 개발

외부도장의 밀착성을 확인하는 방법으로 Tape 시험, Rod 시험 등이 사용되지만 블레이드처럼 특수한 환경조건에서 사용되는 것은 도장을 확인 할 수 있는 객관적이고 구체적인 평가방법이 없다. 이에 따라 시편을 통해 단품 단위에서 실제 비행환경 모사하여 실제적으로 도장의 밀착성을 확인하기 위하여 강우모사(Water Flow) 시험 방법을 개발하였다.

항공기가 비행 중 접하는 강우조건 및 비행속도와 꼬리 블레이드의 속도(DAPA, 2013)를 고려하여 분사조건을 설정 후, Figure 5와 같이 Water Jet을 이용하여 블레이드 도장상태를 모사한 시편에 직접 분사하여 도장상태를 확인하는 방법을 설정하였다.

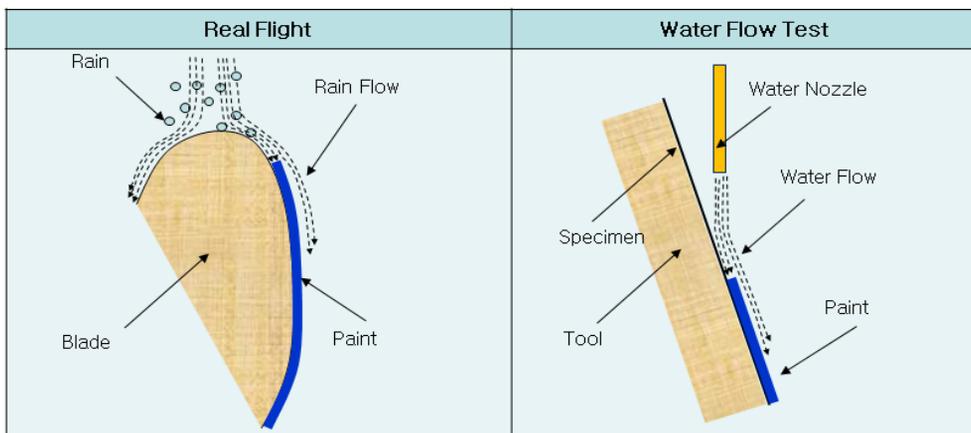


Figure 5. Real flight vs. water flow test condition

실제 비행에서 결함(디페인팅)은 빗물이 블레이드 끝단 Erosion Shield를 타고 흐르면서 페인트를 직접 타격 또는 침식시켜서 일어난다. 강우모사 시험도 실제 비행과 동일하게 물방울이 시편을 타고 흐르면서 페인트 끝단을 직접 타격 또는 침식시키는 메카니즘을 재현하였다. 블레이드 끝단에서 속도와 항공기 비행속도를 고려하여 아래와 같이 실험에서 유속을 설정하였다.

결과적으로 Water Nozzle에서 1,000bar 및 1,500bar 조건으로 실험 시 꼬리로터 블레이드 끝단에서 제자리 비행 및 수평비행 시 빗물에 의한 영향을 확인 할 수 있다.

① 블레이드 끝단 실제 속도

- Hover(제자리 비행) 시

$$\cdot r(\text{반경}) = 1.44\text{m}$$

$$\cdot \omega(\text{각속도}) = (1,321\text{rpm}) \times 2\pi = 138 \text{ rad/sec}$$

$$\cdot V(\text{속도}) = r \times \omega = 199 \text{ m/sec (0.59 Mach)}$$

- Level Flight (100 knot)

$$\cdot 100 \text{ knot} = 51.4 \text{ m/sec}$$

$$\cdot V(\text{속도}) = 51.4 + 199 = 250 \text{ m/sec (0.74 Mach)}$$

* 블레이드 끝단 속도에 비행 전진속도 합으로 계산

② Water Nozzle에서 흐름 속도(1,000bar)

- Nozzle에서의 속도

$$\cdot \text{Area} = \frac{1.131}{10^6} \text{ m}^2, \text{ Dia}=0.0012\text{m}$$

$$\cdot P(\text{Pressure}) = 1,000\text{bar} = 109\text{N/m}^2$$

$$\cdot \rho(\text{density}) = 999\text{kg/m}^3 = 9,790\text{N/m}^3$$

$$\cdot P = 0.5 \times \rho \times v^2$$

$$\therefore v = \sqrt{2 \times \frac{10^9}{9,790}} = 452 \text{ m/sec}$$

- 시편에서의 속도 : 시편에서 Dia = 1.8mm(1.5배 확산)

$$\therefore v = 452 \div 2.25 = 201\text{m/sec (0.59 Mach)}$$

* Dia.가 1.5배 확산되면 A(면적)은 2.25배 증가

③ Water Nozzle에서 흐름 속도(1,500bar)

1000bar의 경우와 동일한 과정을 거쳐 속도를 구하며,

$$\text{계산결과 } v = 554 \div 2.25 = 246 \text{ m/sec (0.72Mach)}$$

시험에 사용할 치구는 블레이드가 비행 중 접하는 강우조건을 단순화하여 시험조건에 따라 구현하고 분사 노즐을 이동식으로 배치하여 Figure 6과 같이 모사하였다.

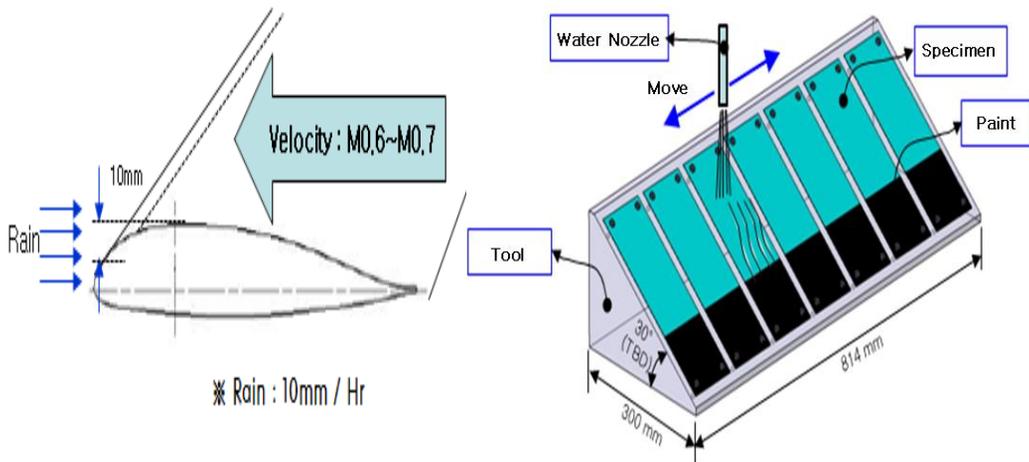


Figure 6. Water flow test Tool Setting

(2) 시험 시편

시편은 화생방 페인트와 프라이머를 조합한 조건에 따라 Table 4와 같이 구성하였다. 화생방 페인트는 수리온 헬기 양산에 적용된 MIL-DTL-64159와 UH-60에 적용하고 있는 MIL-DTL-53039 2가지 종류, 프라이머는 워시 프라이머와 에폭시 프라이머 2종류를 사용하였다.

Table 4. Water flow test specimens

Specimens			
Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4
Wash Primer + CARC(53039)	Wash Primer + CARC(64159)	Wash Primer + Epoxy Primer + CARC(53039)	Wash Primer + Epoxy Primer + CARC(64159)

4. 실험 결과

4.1 크로스 컷(Cross Cut) 시험

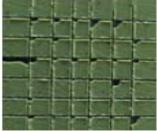
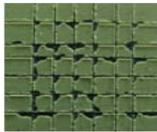
ASTM D 3359에 따라 금속표면에 도포된 도장의 밀착성을 평가하기 위한 테이프 시험(ASTM, 2009)을 실시하였다. 시험방법은 먼저 실온에서 시험편에 적절한 용제에 침적한 후 표면을 깨끗이 세척한 후 건조시킨다. 다음으로 금속 표면을 Cutting Tool을 사용하여 간격이 1mm가 되도록 격자 형태로 자른 뒤 부드러운 브러쉬나 티슈를 이용하여 시험편 위의 작은 조각들을 제거하고 테이프를 붙인 후 제거하여 피복층의 탈락 정도를 확대경으로 조사하였다.

티타늄합금 판재에 도포된 에폭시 프라이머의 밀착성을 Cross Cut 시험방법을 이용하여 평가한 결과는 Table 5

와 같다. Table에서 보는 바와 같이 워시 프라이머를 2회 도포한 후 에폭시 프라이머 도포된 시편이 1회 도포한 시편보다 밀착성이 더 향상됨을 알 수 있다. 샌딩 조건에 따른 밀착성 시험 결과 또한 그림과 같이 순차적 샌딩을 거친 시편(No.3, 4), 중간단계를 생략한 시편(No.1), 임의로 샌딩 한 시편(No.2) 순으로 접착력이 강하여 도장 상태가 양호 것으로 확인되었다.

결과적으로 Cross Cut 결과 순차적인 샌딩 단계를 거친 후 워시 프라이머 2회 코팅, 에폭시 프라이머 도장한 시편이 가장 밀착성이 우수한 것으로 판단된다.

Table 5. Results of cross-cut test

Specimens	Painting Surface after Cross-Cut test	
	Wash Primer 1	Wash Primer 2
No.1		
No.2		
No.3		
No.4		

4.2 스크래치(Scratch) 시험

스크래치 시험은 부드럽고 편평한 표면에 도장된 페인트나 바니쉬 등과 같은 유기 코팅층의 밀착성을 평가하기 위한 시험방법이며 ASTM D 2197-13에 따라 수행한다(ASTM, 2013). Figure 7과 같이 다이아몬드 입자(Rockwell C cone)를 통하여 시편에 수직하중을 부하한 상태에서 일정속도로 시험편을 이동시켜 피복층을 손상시켜 표면 상태를 확인한다. 시험에 사용한 스크래치 장비는 반경이 3.25 ± 0.05 mm인 U자형으로 구부러지고 스테인레스 강재의 직경이 1.6mm 바늘이 장착되어 있다. 시험은 상온, 상대습도 $50 \pm 5\%$ 에서 수행하였으며, 시험편은 25.4~50.8 mm/s의 속도로 이동하였다. 먼저 스크래치용 바늘의 오염물을 제거한 후, 시험기 위에 시험편을 설치하고 시험하중을 1, 1.5, 2, 4, 5kg의 5단계로 구분하여 3회씩 스크래치를 발생시킨다. 이동 초기 13mm 구간 이후의 스크래치를 관찰하였다. 피복층의 벗겨짐 유무를 광학현미경을 이용하여 확인하였다.

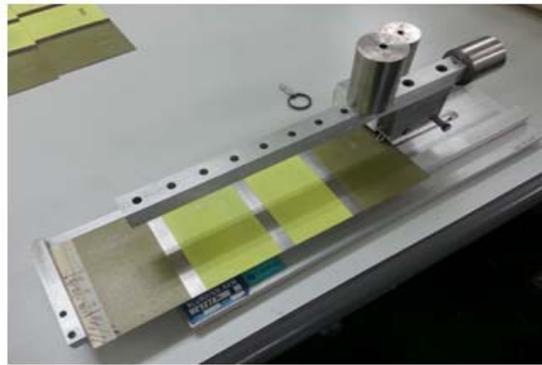


Figure 7. Balanced beam scrape adhesion tester

티타늄합금 판재에 도포된 에폭시 프라이머의 밀착성을 스크래치(Scratch) 시험 방법을 이용하여 평가한 결과는 Figure 8과 같다.

티타늄 금속표면에 워시 프라이머(1coat, 2coat)와 에폭시 프라이머 유무 조건의 밀착성을 도장층에 발생된 스크래치의 폭으로서 상대적인 평가를 하였다. 하중조건은 1, 1.5, 2, 4, 5kg의 5가지 경우로 하였으며 스크래치 폭은 거의 유사한 것으로 결과가 나왔다. Cross Cut 시험결과에서 상태가 가장 양호한 No.4 시편과 상태가 가장 좋지 않은 No.2 시편을 확대하여 비교해 보면 No.2 시편의 경우 도장이 벗겨져 금속표면이 노출되는 것을 확인 할 수 있지만, No.4 시편의 경우 금속표면이 노출되는 현상은 일어나지 않았다. 또한 예상한대로 하중이 증가할수록 스크래치 폭이 커지는 것을 확인할 수 있으며, 워시 프라이머 2회의 경우가 1회 도장에 비해 스크래치 폭이 다소 적게 나타났다. 스크래치(Scratch) 시험 결과에서도 순차적인 샌딩 단계를 거친 후 워시 프라이머 2 coat 프라이머 상태의 시편이 가장 밀착성이 우수하였다. Airbus 항공기 도장 시 적용되고 있는 Epoxy Prime의 밀착성 시험규격(AIMS. 2001, British Standards. 2011)과 비교해 보면 규격에서 허용되는 1.5kg까지는 도장의 벗겨짐이 나타나지 않는 양호한 도장상태임을 알 수 있다.

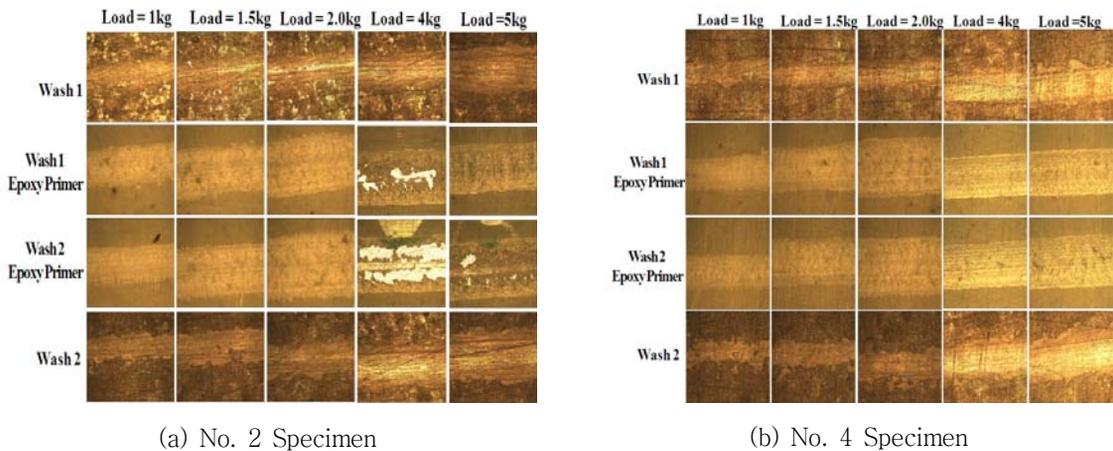


Figure 8. Surface of specimens after scratch test

4.3 강우모사(Water Flow) 시험

강우모사 시험은 Figure 9와 같이 시험치구에 시편을 고정시키고 노즐을 통해 물을 분사하여 도장의 이탈 상태를 관찰하는 방식으로 진행된다. 시험방법은 헬기 운용 특성을 반영하여 수압 1000bar에서 12회 분사하여 상태를 확인하고, 추가로 1,000 bar 조건에서 12회 및 1,500bar에서 36회를 순차적으로 실시하였다. 타격 위치는 블레이드 운용 상황과 같이 페인트 끝단에서 2mm이며, 노즐속도는 1000mm/분, 시편당 1회 이동시 6초를 적용하였다. 시험 조건에서 압력은 1,000bar와 1,500bar으로 구성되며, 이는 제자리비행(Hover) 상황(1,000bar)과 수평비행(Level Flight) 상황(1,500bar)을 각각 모사한 것이다.

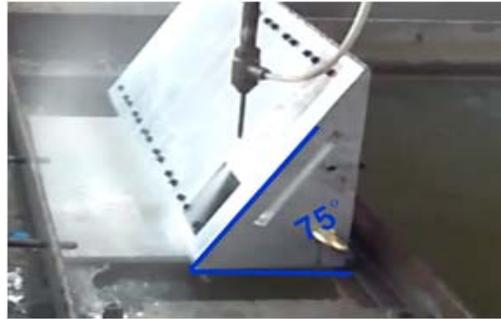


Figure 9. Water flow test

도장 조건별 강우모사(Water Flow) 시험한 결과는 Table 6과 같다. 결과에서 보는 것처럼 에폭시 프라이머가 적용된 시편이 미적용 된 것 보다 강우조건에서 밀착력이 좋은 것으로 나타났다. 또한, 화생방페인트의 경우 MIL-DTL-53039가 MIL-DTL-64159보다 상대적으로 밀착성 우수한 것으로 나타났다.

Table 6. Results of water flow test

Specimens Methods	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4
1000bar/12Times	No Change	No Change	No Change	No Change
1000bar/12Times	1mm Erosion	Erosion Tendency		
1500bar/12Times	1~2mm Erosion	2mm Erosion		
1500bar/12Times	3~4mm Erosion	3~4mm Erosion		
Results				

4.4 실환경 비행시험(Flight Test)

실제 항공기 운용 상황은 강우모사(Water Flow) 시험에서 반영할 수 없는 진동, 블레이드 주변 공기흐름 등 환경적인 요소가 다르게 작용한다. 따라서 실제 운용상태 시험을 통해 도장상태의 건전성을 확인하고 강우모사(Water Flow) 결과의 일치성 등을 판단하기 위해 비행시험을 수행하였다.

외부도장은 강우모사(Water Flow) 시험에 사용한 화생방 페인트 2종류에 워시 프라이머 및 에폭시 프라이머를 모두 적용하여 강우 상태에서 계류 지상가동 및 비행하여 결과를 확인하였다.

시험조건은 Table 7과 같으며, 적용된 형상은 Figure 10과 같다.

Table 7. Flight test condition

Date	Test Conditions	Rain
13.6.18	· 1Hr Ground Engine Run after 4Hrs Mooring in Rain	16.2mm/hr
13.6.25	· 0.5Hr Mooring and 2Hrs Flighting in Rain - Flight : 1 Hr, 2 Sorties - Flight velocity : Level Flight 145 knots(Max)	1.5mm/hr

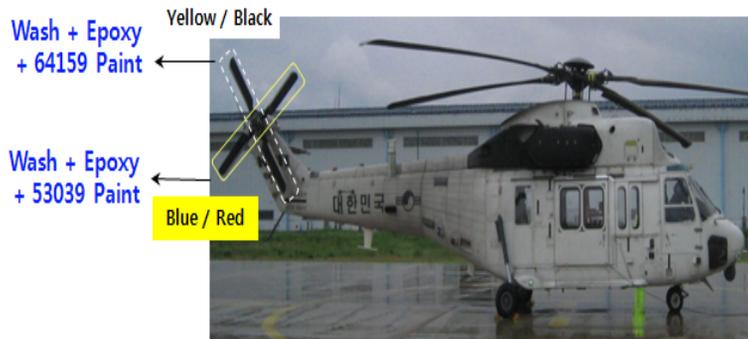
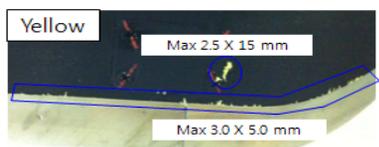
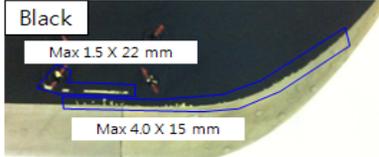
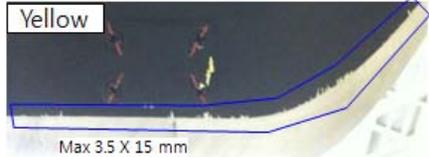


Figure 10. Flight test under rain

도장 조건별 비행 시험(Flight Test)한 결과는 Table 8과 같다. 우천 환경에서 비행시험 결과, 기존에 수리온 헬기에 적용된 MIL-DTL-64159 화생방 페인트 보다 UH-60 헬기에 사용 중인 MIL-DTL-53039 화생방 페인트가 우천 환경에서 더 밀착성이 우수한 것으로 확인 되었다. 또한 강우모사 시험과 비행시험을 Table 6, 8에 따라 비교할 때 결과가 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있으며, 향후 양산단계 블레이드 도장 밀착성 확인 방법으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

Table 8. Results of flight Test

Test Date	Tail Rotor Blade	Test Date	Tail Rotor Blade
13.6.18 (MIL-DTL -64159)	 	13.6.25 (MIL-DTL -64159)	 
13.6.18 (MIL-DTL -53039)	 	13.6.25 (MIL-DTL -53039)	 

5. 결론

헬리콥터에서 외부 도장은 운용 환경인 온도 및 습도변화, 강우에 의한 부식 또는 침식 등으로부터 모재를 보호하며 외관을 돋보이게 하는 중요한 역할을 한다. 하지만 체계개발 시 도장 품질에 대한 평가는 제한적으로 수행이 되었고 비행조건까지 고려한 블레이드의 도장 건전성에 대한 객관적이고 구체적인 평가방법이 없었다.

도장은 모재를 보호하고 신뢰성을 지키기 위한 필수적인 공정으로 개발 단계에서부터 품질을 정량화하여 평가하고 모든 운용조건에서 확인된 방법을 적용할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 양산 과정에서 발생한 수리온 헬기 블레이드 디페인팅 현상을 바탕으로 도장에 사용되는 프라이머 2종과 화생방 페인트 2종을 활용하여 밀착성을 개선하기 위한 방법을 제시하였다. 샌딩 조건과 프라이머, 페인트의 조합 조건별로 크로스 컷, 스크래치 시험을 활용하여 평가하였고, 시편 단위에서 비행환경을 모사하여 검증할 수 있는 강우모사(Water Flow) 시험을 고안하여 적용하였으며, 이 결과를 실제 비행시험을 통해 입증하였다. 본 연구에서 제시하는 최종 결론은 아래와 같다.

(1) 티타늄 합금판재의 프라이머 도장특성은 순차적으로 연마지(최종 #320)를 사용하여 샌딩 하였을 때 가장 우수하였다.

(2) 각 조건별로 크로스 컷, 스크래치, 강우모사(Water Flow) 시험 결과 에폭시 프라이머를 적용하고 UH-60용 화생방 페인트(MIL-DTL-53039)를 적용한 경우가 밀착성이 가장 우수한 것으로 나타났다.

(3) 위시/에폭시 프라이머와 UH-60용 화생방 페인트(MIL-DTL-53039)를 적용한 도장 조건이 디페인팅 현상이

발생한 기존 수리온용 보다 비행환경에서 우수함을 실제 비행 시험을 통해 입증하였다.

(4) 헬기 비행 및 강우조건을 고려한 강우모사(Water Flow) 시험을 고안(장비, 조건)하였고, 이를 통해 시험 후 실제 비행시험 결과와 유사성을 입증하였으며, 이를 바탕으로 향후 양산 및 개발 블레이드의 도장 밀착성 시험에 적용가능 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 도출된 결과에 따른 도장 방법이 현재 수리온 헬기에 적용되고 있으며, 도장 품질확인을 위하여 제시된 평가 방법 및 과정은 향후 파생형 헬기사업, 소형무장헬기 사업 등에 훌륭한 참고 사례가 될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- American Institute of Marine Science(AIMS). 2001. AIMS 04-04-012, Airbus Industry Material Specification External paint system: wash primer + primer + top coat Material Specification.
- American Society for Testing Materials(ASTM). 2009. ASTM D3359-09, Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test.
- American Society for Testing Materials(ASTM). 2013. ASTM D2197-13, Standard Test Method for Adhesion of Organic Coatings by Scrape Adhesion.
- British Standards. 2011. EN ISO 1518, Paint and Varnishes-Determination of scratch resistance-part1, Constant-Loading Method.
- Defense Acquisition Program Administration(DAPA). 2013. A88MP0001, 6-7. KUH process specification for finish requirement.
- Defense Acquisition Program Administration(DAPA). 2013. KDS 1520-4001, Korean Utility Helicopter.
- Defense Acquisition Program Administration(DAPA). 2013. KDS 1615-4003. Rotary Wing Blade Specification:6-15.
- DoD(Department of Defense). 1967. MIL-C-8514, Coating compound metal pretreatment.
- DoD(Department of Defense), 2002. MIL-DTL-64159, Water Dispensible Aliphatic Polyurethane, CARC.
- DoD(Department of Defense). 2011. MIL-DTL-53039, Coating, Aliphatic Polyurethane, Single Component, CARC.
- DoD(Department of Defense). 2012. MIL-PRF-23377, Primer coatings, epoxy, high solids.
- Kim, Soon-Kyung, Jeon, Eon-Chan. 1998, "A study on the Effect of Surface Roughness os Strip for Automobile in the paintability." *Journal of The Korean Society of Mechanical Engineers A*(7):1326-1335.
- Moon, Seung-Hyun, Choi, Seok-In, and Lee, Jong-Ho. 2009. "The Characteristics of Roughness and Scratch by the Coating Effect on Aluminum Sheet." *Spring Conference of The Korean Society of Mechanical Engineers*: 557-560.
- Shim, Jae Dong. 2011. "Research and Development Trends of bio-medical titanium alloy." *Biomaterials Research* 15(4):176-183.
- Yoon, Han-Ki, Choi, Seok-In. and Lee, Jong-Ho. 2011. "The Characteristics of Painted Coating on Aluminum Sheet by Sending Conditions." *Journal of Ocean Engineering and Technology* 25(1):44-48.