ISSN 1229-1889(Print)
ISSN 2287-9005(Online)
J Korean Soc Qual Manag Vol. 47, No.3: 401-415, September 2019
https://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2019.47.3.401

수리온 주로터 블레이드 프라이머 공정변경을 통한 PU Strip 품질 향상에 관한 연구

이윤우*† · 김영진* · 서영진* · 김민호**

* 국방기술품질원 항공센터
** 한국항공우주산업(주)

A Study on PU Strip Quality Improvement through a Change of Primer-process for SURION Main Rotor Blade

Yoon-Woo Lee*† · Young-Jin Kim* · Young-Jin Seo* · Min-Ho Kim**

* Aeronautical System Center, Defense Agency for Technology and Quality
** Korea Aerospace Industries, Ltd

ABSTRACT

Purpose: When the SURION Aircraft operated in the fields, cracks are found in PU(polyurethane) Strip on main rotor blade. This study has been conducted to explain PU(polyurethane) Strip crack phenomenon of SURION main rotor blade and to propose useful solution of it by experimental method.

Methods: This study considered a lot of factor because the SURION is operated at severe environment. This study investigated the influence of temperature, thermal shock, paint and primer process, PU Strip material, primer material.

Results: The results of this study are as follows; The primer process was most excellent influence. The Application of primer having a brittleness caused by a crack of PU Strip. Other factors have influenced on the PU Strip, but they can not be controlled because they are related to the SURION's operating environment.

Conclusion: The Quality of PU Strip on SURION main rotor blade was improved through removing the primer process. Finally, the reliability of main rotor blade was guaranteed through improving the quality of PU Strip.

Key Words: SURION, Rotor System, Main Rotor Blade, PU Strip

● Received 5 May 2019, 1st revised 26 July, accepted 5 August 2019
† Corresponding Author(cscsm91@naver.com)
ⓒ 2019, 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

수리온은 한국군이 운용 중인 노후화 된 기종을 대체하기 위해 한국항공, 한국항공우주연구원, 국방과학연구소가 주관하여 국내 최초 연구 개발된 헬기이다. 로터계통에서 주로터 및 꼬리로터의 2종의 블레이드를 갖추고 있으며, 주로터 블레이드는 회전자용 허브로부터 회전력과 피치 조종력을 전달받아 양력, 추력 및 기동력을 발생시킨다. 블레이드는 고속 회전운동 때문에 앞전부위 및 끝단 등에 마모방지를 위해 스테인레스, 티타늄 및 니켈로 제작된 보호판(Erosion Shield)을 부착하여 우수한 내식성과 내마모성을 갖도록 하고 있으며, 보호판 밑 부분에 폴리우레탄 띠(PolyUrethane Strip, 이하 PU Strip)을 적용(Fig. 1, 2)시켜 블레이드 표면 손상을 방지한다.

하지만, 운용 중 PU Strip 갈라짐 현상이 발생하였으며 이에 따라 고장탐구를 수행하였다. 먼저 개발단계 검토결과 블레이드의 내구성 시험 시 PU Strip의 특이사항이 발생하지 않았으며, PU Strip 자재도 MIL-STD-810F에 따른 강우, 모래먼지침식 시험이 수행되어 요구 조건을 만족하였다. 또한 양산 생산 공정 역시 개발에서 제정된 규격에 따라 생산되어 특이사항이 발견되지 않았다. 마지막으로 운용환경 분석결과, 수리온은 야지에서 계류되며 높은 일교차, 혹한/혹서기, 강우/강설 등의 가혹한 환경에서 운용되는 것을 확인하였다. 이러한 가혹한 운용환경은 PU Strip 자재의 내구성 저하를 초래할 수 있다. 따라서 PU Strip의 품질을 저하 할 수 있는 운용 환경 요인 분석이 필요하였고, 이를 바탕으로 설계 개선을 추진하였다. 주로터 블레이드의 품질 신뢰성 확보는 비행 안정성과 직결되는 문제이므로 매우 중요하다.

본 연구에서는 수리온 PU Strip의 품질에 영향을 줄 수 있는 환경요인을 고려한 열화온도, 저온영향성, 열충격 조건과 PU Strip 제작공정에서 적용되는 프라이머, 페인트 종류와 경화온도 등을 주요 인자로 시험 조건을 설정하여 시험을 수행하였다. 이를 바탕으로 PU strip의 기계적인 성질을 대표 할 수 있는 물성치인 인장 강도, 신장률을 평가하여 최종적으로 품질신뢰성을 확보할 수 있는 최적의 조건을 확인하여 제시하였다. 마지막으로 접착력 시험을 수행하여 제시된 방안의 타당성을 입증하였다.

Figure 1. Structure and PU Strip of main rotor blade

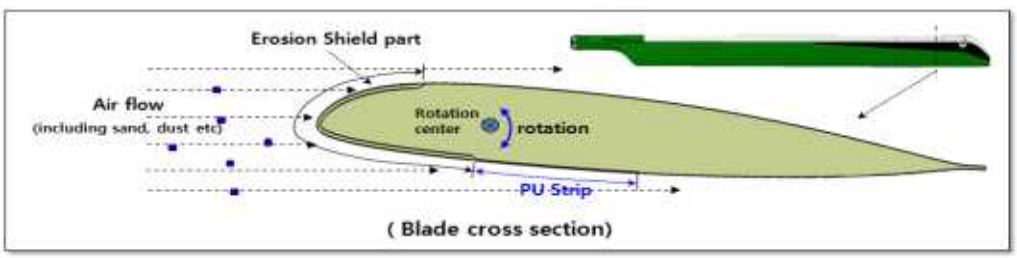

Figure 2. Shape of Blade cross section

2. PU Strip 문제점 및 자료조사

2.1 갈라짐(Crack) 현상 발생

수리온 항공기 운용 중 Fig. 3과 같이 페인트에서 갈라짐이 발생하였다. Fig. 3을 자세히 보면, 우선 페인트 층에서 미세한 갈라짐 현상이 나타나고 아래층의 프라이머 및 PU Strip까지 갈라졌음을 확인 할 수 있다. 또한 이러한 현상은 동절기에 많이 운용된 항공기에서 주로 나타남을 확인 하였다. 결함 발생의 주요한 요인으로는 제작 측면에서 경화온도, 페인트/프라이머 적용 여부, 페인트 종류 그리고 PU Strip 및 프라이머 원자재 특성이 고려되었고, 운용 환경 측면에서 낮과 밤의 온도차에 의한 열충격과 동절기의 저온특성, PU Strip 자재 열화온도 등이 검토되었다.

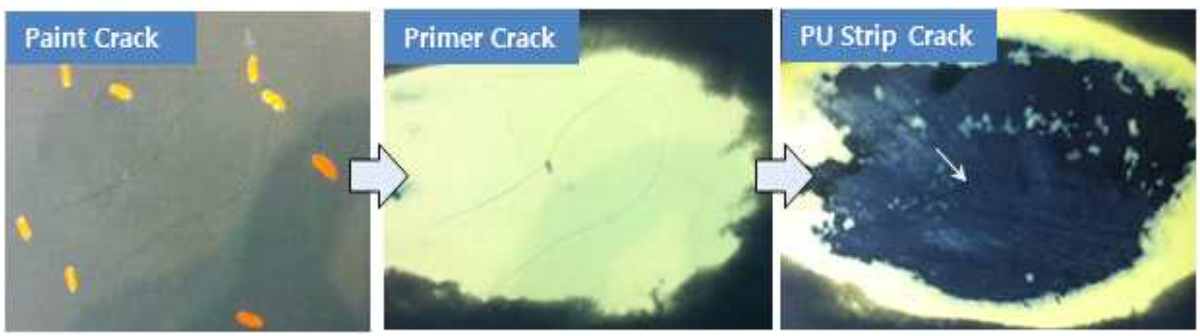

Figure 3. Crack of PU Strip, Primer and Paint

2.2 PU Strip 문제점 및 기존 연구

수리온은 혹한기, 혹서기 및 극심한 일교차 환경에서 노출되어 운용되며, 비행을 하지 않을 때도 야지에서 계류됨으로 이러한 운용 환경에서 발생하는 열충격 및 여러 요인에 의해 PU Strip의 내구성이 저하 될 수 있다. 최근 수리온 항공기에서 나타난 PU Strip 갈라짐 현상도 이러한 여러 가지 요인들로 인해 발생했다고 판단된다. 하지만 이와 같은 갈라짐 현상은 PU Strip이 수리온과 유사하게 적용된 Airbus Helicopter(AH) 사의 EC225, AS532에서도 발생하는 현상으로, 추가적인 근본원인에 대한 조치 없이 PU Strip의 탈착이 예상될 시 교체하여 사용한다. 이렇듯 기술력이 높은 국가의 항공기에서도 발생하는 PU Strip 갈라짐 현상에 대한 명확한 근거가 없으며 연구가 이루어지지 않고 있다.

또한 수리온 사업을 통해 최초로 회전익 항공기를 개발 한 국내 여건상 블레이드의 운용 조건, 비행 환경 및 진동 등 헬기 특성에 따른 블레이드 PU Strip의 건전성에 대한 평가방법이 없는 게 현실이다. 개발 시 환경시험 및 항공기 체계 성능 적합성 측면의 비행시험 위주로 건전성을 확인하였고, PU Strip 단독 구성품의 품질에 관한 구체적인 연구가 수행되지 않았다.

3. 실험 조건 및 방법

결함 원인을 파악하기 위해 수리온 주로터 블레이드 PU Strip에 영향을 줄 수 있는 여러 인자에 대해 시험을 실시하였다. 경화/열화 온도 조건, 페인트 적용 유무, 열충격 및 페인트 종류와 PU Strip/프라이머 원자재, 프라이머 적용 유무 그리고 저온 영향성을 평가하였다. 경화/열화 온도 시험 및 열충격은 BJ-TS3Z-555L 장비(Fig. 4)를 사용하여 수행하였다. PU Stirp 시편(Paulstra)은 두께 0.63mm로 A88TB0111 규격서에 따라 인장시편(Fig. 5)을 준비하고 Instron 5567 인장 시험기(Fig. 4)를 이용하여 인장강도, 신장율, 저온인장, 저온 신장율 특성 평가를 수행하였다. 시편의 기본적인 기계적 특성은 Table. 1과 같고 시험조건은 아래 Table. 2에 명시하였다.

	BJ-TS3Z-555L (Thermal Shock Test)
	Temp. range : -50℃ ~ 150℃
	Heating and Cooling Hour : -50℃ ~ 150℃ (5min)
	allowable specimen size : 500 x 500 x 500 (mm)
	Instron 5567Q8947 (Tensile & Elongation)
	Weight of Load Frame : 192 Kg
	Load Cell Capacity : 3000 Kgf
	Maximum Speed : 600 mm/min

Figure 4. Test Equipment

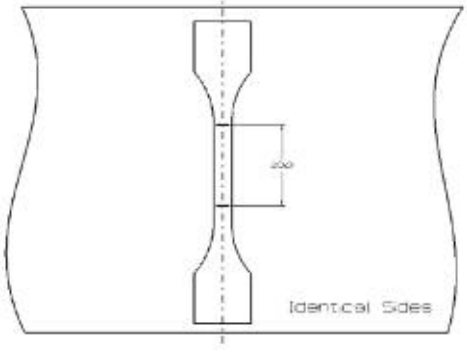	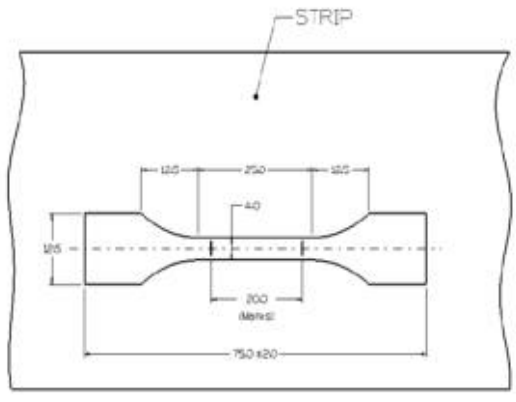
Pulling along width	Pulling along length

Figure 5. Tensile Test Specimen

Table 1. Influence of Degradation and Hardening Temp.

	Test Method	Result and Tolerances
Pulling	Test Temp. : 23℃ ± 2℃ Pull rate : 450mm/min ± 50mm/min	31MPa≤individual value≤65MPa
Elongation	Elongation is measured from pulling specimens.	≥500%
Tear resistance	Test Temp. : 23℃ ± 2℃ Pull rate : 450mm/min ± 50mm/min	5.3daN≤individual value≤8.3daN Mean value≥6.1daN

Table 2. Test Condition

	Content
1	Degradation and hardening temperature
2	Paint Process
3	Thermal Shock
4	Thermal Shock + Paint Type
5	Low temperature
6	Thermal Shock + Primer process

조건 1 열화/경화 온도 조건

열화/경화 온도 영향성 시험은 PU Strip 자재 열화시험 환경인 100℃에서 100시간, AH(Airbus Helicopter)사 항공기 블레이드 경화온도인 125℃에서 2시간, 수리온 블레이드 경화온도인 135℃에서 2시간의 조건을 적용하여 각각 수행하였다. 그리고 경화온도(시편1)와 열화온도 조건(시편2, 3)을 동시에 주어 조금 더 극한 온도 조건(시편 4, 5)에서 영향성을 살펴보았다. 시편5와 같은 경우는 열화시험을 제외하면 일반적으로 블레이드를 경화시키는 공정과 동일하게 제작 된 시편이다. 이상의 시험조건을 반영하여 Table. 3과 같이 5가지 조건 시편의 인장시험을 수행하였다.

Table 3. Influence of Degradation and Hardening Temp.

No	Content	Specimens Condition
1	Degradation Test Temp.	100℃ 100Hr
2	AH Blade Hardening Temp.	125℃ 2Hr
3	SURION Blade Hardening Temp.	135℃ 2Hr
4	Degradation Test Temp. + AH Blade Hardening Temp.	100℃ 104Hr + 125℃ 2Hr
5	Degradation Test Temp. + SURION Blade Hardening Temp.	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr

조건 2 페인트 적용/미적용

수리온 주로터 블레이드에는 기본적으로 화생방 페인트(MIL-DTL-64159)가 사용하고 있다. 페인트 적용 여부의 영향성을 확인하기 위해 Table. 4와 같이 조건1의 시편5를 그대로 사용한 시편(시편 1)과 조건1의 시편5에 프라이머(MIL-PRF-23377)와 화생방 페인트를 적용한 시편(시편 2)의 인장시험을 수행하였다.

Table 4. Influence of Paint Process

No	Content	Specimens Condition
1	Paint Process	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr
2		100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + **Primer&Paint**

조건 3 열충격

열충격에 의한 영향성 확인은 Table. 5와 같이 조건1의 시편5를 기본으로 운용환경을 고려한 Cycle로 확인하였다. 시험은 -20℃에서 0.5 시간 유지 이후 바로 70℃ 챔버로 옮겨 0.5 시간 유지하는 것을 1Cycle로 하여 총 100 Cycle 수행하였다. BJ-TS3Z-555L장비를 사용하였으며, 조건1의 시편5에 열충격을 가한 시편(시편 2)과 가하지 않은 시편(시편 1)을 비교하여 인장시험을 수행하였다.

Table 5. Influence of Thermal Shock

No	Content	Specimens Condition
1	Thermal Shock -20℃(0.5hr) ↔ 70℃(0.5hr) 100 cycle	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr
2		100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + **Thermal Shock**

조건 4 열충격 + 페인트 종류(화생방, 비화생방)

수리온에 적용되는 화생방 페인트(CARC, Chemical Agent Resistant Coating, MIL-DTL-64159)는 화생방전에서 원활한 작전 수행이 가능하도록 화생방 물질에 노출 되었을 때 제거가 용이하게 만든 우레탄 계열의 페인트고, 비화생방 페인트(MIL-PRF-85285)는 일반적인 우레탄 계열의 페인트이다. 조건3의 시편2에 Table. 6과 같이 화생방 페인트와 비화생방 페인트를 각각 적용시켜 인장시험을 수행하였다.

Table 6. Influence of Paint Type

	Content	Specimens Condition
1	Paint type CARC Paint(MIL-DTL-64159), Urethane Paint(MIL-PRF-85285)	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock + **CARC Paint**
2		100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock + **Urethane Paint**

조건 5 저온 영향성

저온 영향성을 평가하기 위해 -30℃에서 아무 처리도 하지 않은 원자재와 조건1의 시편5에 에폭시 프라이머(MIL-PRF-23377), 화생방 페인트(MIL-DTL-64159) 공정이 수행된 시편을 Table. 7과 같이 구성하여 인장시험을 통해 특성 값을 비교하였다.

Table 7. Influence of Low Temperature

	Content	Specimens Condition
1	Low Temp. -30℃	-
2		100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Epoxy Primer + CARC Paint

조건 6 열충격 + 프라이머 적용/미적용

조건3의 시편2를 기본으로 Table. 8과 같이 시편을 구성하여 프라이머 재료 및 프라이머 적용/미적용의 영향성을 평가하였다. 프라이머 재료는 현재 에폭시 프라이머(MIL-PRF-23377)가 사용 중이며, 비교재로 우레탄 프라이머(TT-P-2760)를 사용하였다. 또한 프라이머 적용/미적용의 영향성을 알아보기 위해 프라이머를 적용한 한 것(시편 2, 3)과 적용되지 않은 것(시편 1)을 인장시험을 통해 비교하였다.

Table 8. Influence of Primer Material and Process

	Content	Specimens Condition
1	Primer material and process Epoxy Primer(MIL-PRF-23377), Urethane Primer(TT-P-2760)	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock + CARC Paint
2		100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock + CARC Paint + **Urethane Primer**
3		100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock + CARC Paint + **Epoxy Primer**

추가적으로, ASTM D 3359에 따라 금속표면에 도포된 도장의 접착력을 확인하기 위해서 아래 조건에서 Fig. 6과 같이 시편을 제작하여 Dry, Wet 상태에 Tape Test를 수행하였다. Dry Tape Test는 상온에서 시편에 스크래치를 낸 상태에서 Tape를 접착시켰다고 뗐고, Wet Tape Test는 시편에 스크래치를 낸 상태에서 24시간 침지 후 Tape를 접착시키고 떼면서 Tape의 표면을 확인하였다. 시편은 아래의 4가지 시편을 준비하였다.

1-1 : 에폭시 프라이머(MIL-PRF-23377) + 화생방 페인트(MIL-DTL-64159)
1-2 : 화생방 페인트(MIL-DTL-64159)
2-1 : 에폭시 프라이머(MIL-PRF-23377) + 비화생방 우레탄 페인트(MIL-PRF-85285)
2-2 : 비화생방 우레탄 페인트(MIL-PRF-85285)

Specimen 1-1	Specimen 1-2	Specimen 2-1	Specimen 2-2
Epoxy Primer +CARC Paint	Only CARC Paint	Epoxy Primer +Urethane Paint	Only Urethane Paint

Figure 6. Specimens of adhesion test

4. 실험 결과

4.1 열화/경화 시험

경화/열화온도 조건별 별 5개 시편으로 확인 한 시험 결과는 Fig. 7 및 Table. 9와 같다. Table. 9를 보면 인장 및 신장율에 길이방향(L)과 폭(W) 방향이 있음을 알 수 있다. 길이방향은 PU Strip 원자재가 사출되어 나오는 방향을 나타내며, 폭은 사출되어 나오는 방향과 90° 방향을 나타낸다. 시편1과 시편5의 길이방향 인장강도를 보면 각 32.5, 33.9 MPa로 차이가 거의 없으며, 길이방향 신장율 역시 618%, 642%로 큰 차이는 나타나지 않음을 알 수 있다. 또한 Fig. 7을 통해서 전반적으로 열화(시편1), 경화(시편2, 3), 열화+ 경화 온도조건(시편4, 5)에서 인장 강도 및 신장율에 차이가 나타나지 않음을 확인 할 수 있으며, 그에 따라 열화 및 경화 온도는 PU Strip 품질에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

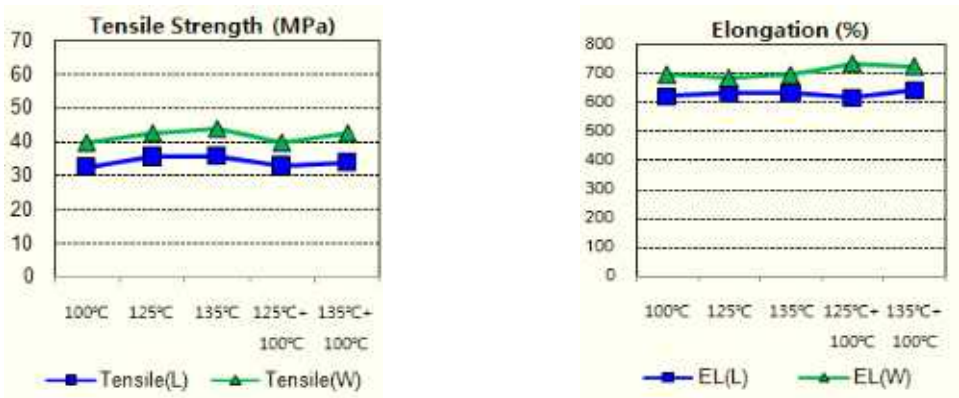

Figure 7. Tensile Strength and Elongation of Hardening & Degradation Condition

Table 9. Influence of Hardening & Degradation Temp.

	Specimens Condition	Tensile(L,MPa)	Tensile(W,MPa)	Elongation(L,%)	Elongation(W,%)
1	100℃, 100Hr	32.5	39.9	618	695
2	125℃, 2Hr	35.4	42.7	633	683
3	135℃, 2Hr	32.7	39.9	630	693
4	100℃ 104Hr + 125℃ 2Hr	35.6	44.0	615	732
5	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr	33.9	42.5	642	723

4.2 페인트 적용 시험

페인트 자체의 영향성을 알아보기 위한 시험으로 조건1의 시편5에 프라이머(MIL-PRF-23377)+ 페인트(MIL-DTL-64159)를 적용한 것(시편 2)과 적용하지 않은 것(시편 1)을 비교하였다. Table. 10의 값을 보면 페인트가 적용 되지 않은 시편 1에서 길이 방향 인장 강도는 33.9 MPa, 페인트가 적용 된 시편 2에서 인장 강도는 17.1MPa로 16.8 MPa정도의 인장강도가 감소했으며, Fig. 8에 나타난 바와 같이 신장율 역시 642%에서 450%으로 29% 저하가 나타남을 확인 할 수 있다. 이런 차이가 발생하는 이유로는 페인트는 경화되면 취성을 가지게 되어 폴리우레탄 재질의 Strip과 탄성률 차이에 의한 변형이 쉽게 발생 할 수 있기 때문이다. 이는 PU Strip의 품질에 영향을 미치는 인자로 판단할 수 있다.

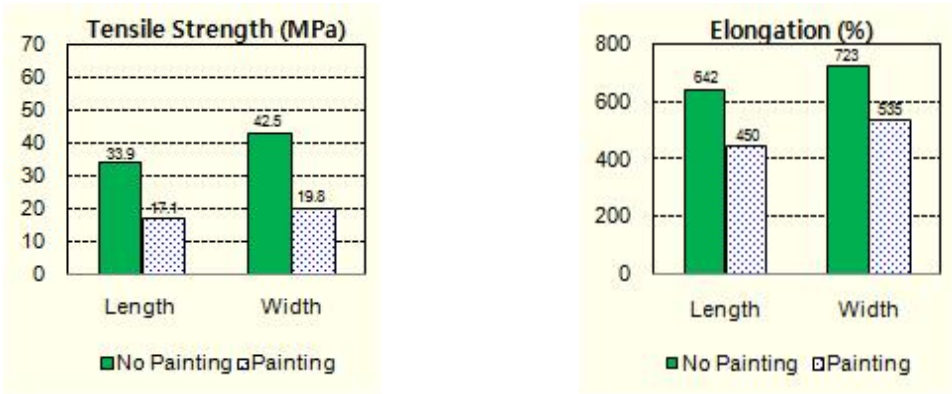

Figure 8. Tensile Strength and Elongation of Paint Process Control Condition

Table 10. Influence of Paint Process

	Specimens Condition	Tensile(L,MPa)	Tensile(W,MPa)	Elongation(L,%)	Elongation(W,%)
1	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr	33.9	42.5	642	723
2	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Epoxy Primer + CARC Paint	17.1	19.8	450	535

4.3 열충격 시험

열충격 시험은 4.2항의 시편1에 열충격을 100Cycle 수행하였다. Table. 11와 Fig. 9의 결과를 보면 열충격을 적용하였을 때, 길이 방향 신장율이 642%에서 590%으로 8% 저하가 나타남을 확인 할 수 있다. 반복되는 온도 차이에 의해 폴리우레탄 재질의 내구성 저하가 나타난 것으로 사료된다. 이렇듯 열충격도 PU Strip의 품질에 영향을 주는 인자라고 판단된다.

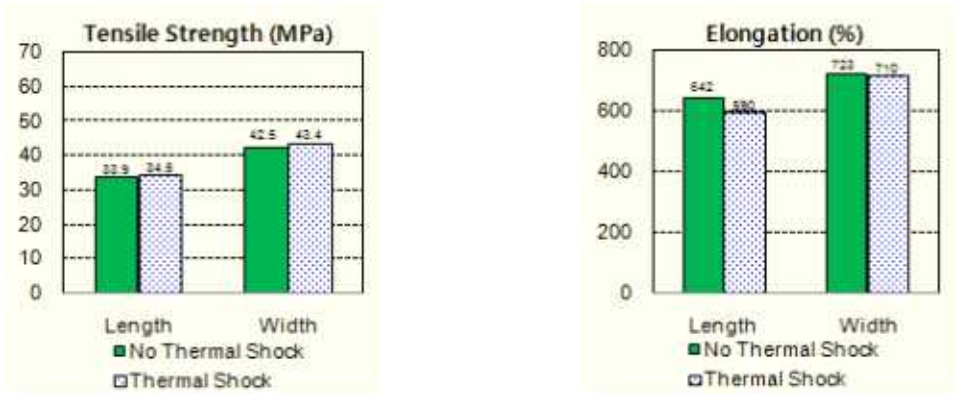

Figure 9. Tensile Strength and Elongation of Thermal Shock Condition

Table 11. Influence of Thermal Shock

	Specimens Condition	Tensile(L,MPa)	Tensile(W,MPa)	Elongation(L,%)	Elongation(W,%)
1	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr	33.9	42.5	642	723
2	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock	34.5	43.4	590	710

4.4 페인트 종류 시험

현재 수리온에 사용 중인 화생방 페인트(MIL-DTL-64159)와 다른 종류의 비화생방 우레탄 계열의 페인트(MIL-PRF-85285)를 사용 하였다. Table. 12과 Fig. 10을 보면, 길이방향 인장 강도는 두 종류가 값이 같고 폭 방향은 비화생방 페인트가 적용된 시편 2가 시편 1보다 2.9MPa정도 우수하나 이 정도 값의 차이는 거의 영향성이 없으며, 신장율 역시 길이 방향에서 2% 정도 차이가 나타나지만 거의 영향성이 없다고 사료된다. 즉, 화생방 페인트와 비화생방 페인트의 인장강도 및 신장율 차이가 크지 않다는 것을 확인 할 수 있으며, 따라서 페인트 종류는 PU Strip 품질에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 확일 할 수 있다.

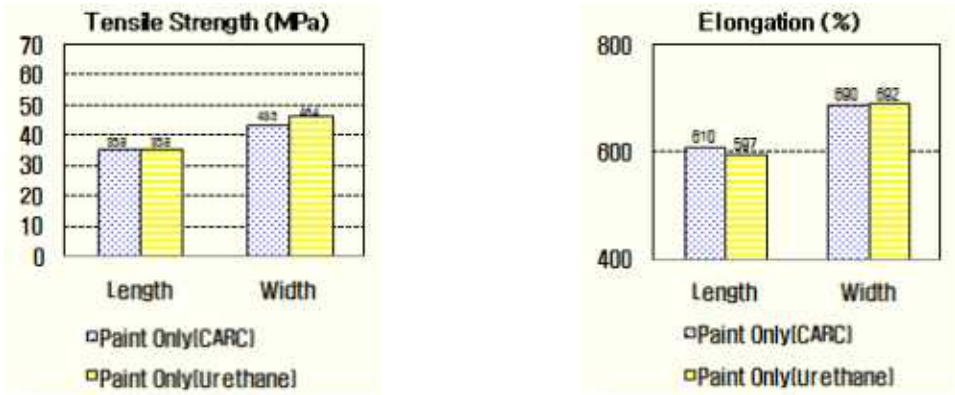

Figure 10. Tensile Strength and Elongation of Paint Type Condition

Table 12. Influence of Paint Type

	Specimens Condition	Tensile(L,MPa)	Tensile(W,MPa)	Elongation(L,%)	Elongation(W,%)
1	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock + **CARC Paint**	35.8	43.5	610	690
2	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock + **Urethane Paint**	35.8	46.4	597	692

4.5 저온 영향성 시험

저온에서의 영향성을 평가하기 위해서 -30℃에서 아무 공정도 가하지 않은 PU Strip 원 자재와 조건1의 시편 5에 프라이머(MIL-PRF-23377) 및 페인트(MIL-DTL-64159)를 적용한 자재의 인장 시험을 수행하였다. Table. 14 및 Fig. 11과 같이 여러 공정을 수행한 자재의 인장 및 신장율 값이 낮게 나타는 것을 확인 할 수 있었다. 특히 길이 방향의 신장율이 433%에서 365%로 15%정도가 감소하였다. 일차적으로 여러 공정 수행이 폴리우레탄의 내구성을 저하시켰고, 저온에서 더욱 내구성이 감소하여 PU Strip의 품질을 저하시킨 것으로 판단된다.

Table 14. Influence of Low Temp(-30℃).

	Specimens Condition	Tensile(L,MPa)	Tensile(W,MPa)	Elongation(L,%)	Elongation(W,%)
1	-(-30℃)	50.4	51.6	433	450
2	**100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Epoxy Primer + Urethane Paint (-30℃)**	46.9	56.4	365	445

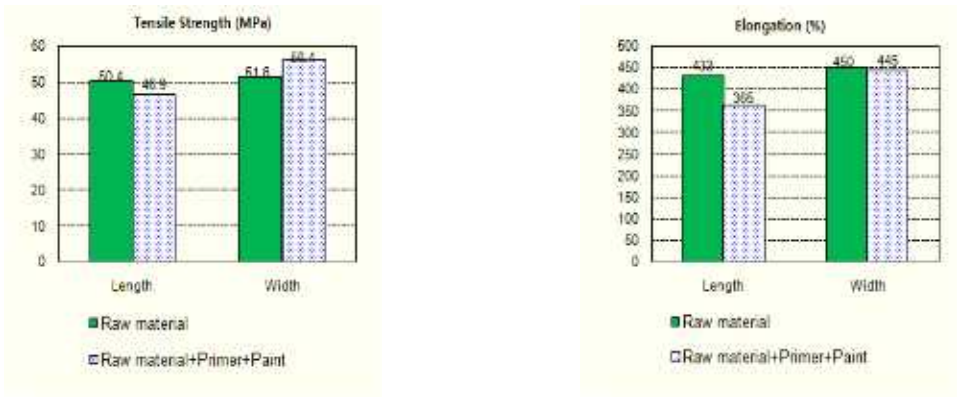

Figure 11. Tensile Strength and Elongation of Low Temp(-30℃). condition

4.6 프라이머 재료 및 프라이머 적용/미적용

현재 사용 중인 에폭시 프라이머(MIL-PRF-23377)와 우레탄 프라이머(TT-P-2760)을 비교하였다. Table. 13과 Fig. 11에서 나타나는 것과 같이 우레탄 프라이머를 적용하였을 때의 시편 2가 에폭시 프라이머를 적용한 시편 1보다, 길이 및 폭 방향 인장 강도가 약 5MPa 정도 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있으나, 이 값의 차이는 PU Strip의 품질에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다. 또한 프라이머 종류보다는 적용 여부가 큰 효과가 나타낸다는 것을 확인 할 수 있다. 페인트 만 적용된 시편1의 기계적 특성 값과 프라이머와 페인트가 동시에 적용된 시편2, 시편3의 기계적 특성 값을 비교해보면, 프라이머가 추가적으로 적용되었을 때, 길이방향 인장강도가 최대 7.5MPa, 폭 방향으로 최대 17.5MPa 정도의 저하가 나타났으며, Fig. 11과 같이 신장율은 폭 방향으로 최대 7% 저하가 나타나 전반적인 기계적 특성의 감소를 확인 할 수 있다. 프라이머는 기본적으로 PU Strip과 페인트가 잘 접착되도록 하는 역할을 하며 경화되면서 취성을 띄는 것이 특징이다. 하지만 이 취성에 의해 PU Strip의 특성이 저하될 수 있으며, 이러한 프라이머 적용은 공정 변경을 통해 조정이 가능하므로 프라이머를 미적용 하여 PU Strip 품질을 향상 시킬 수 있다. 물론 프라이머가 제거 되어도 접착력에 문제가 없어야 하며, 이 점에 대해서는 페인트 접착력 시험을 통해서 검증하도록 하였다.

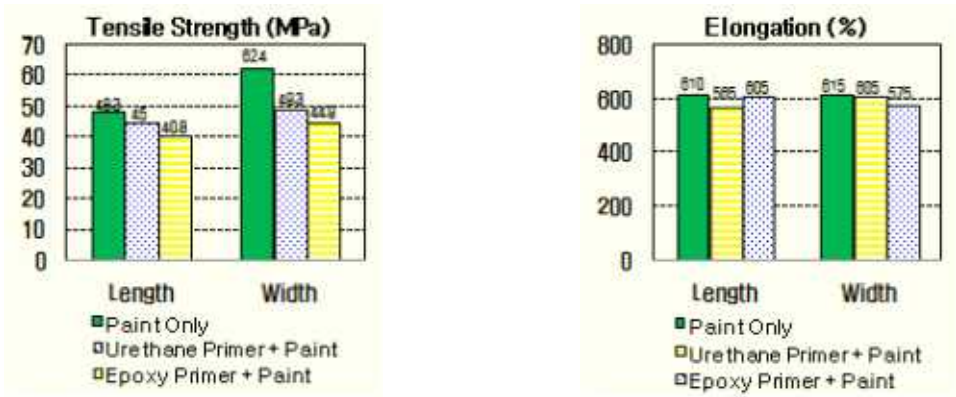

Figure 12. Tensile Strength and Elongation of Primer Material and Process

Table 13. Influence of Primer Material and Process

	Specimens Condition	Tensile(L,MPa)	Tensile(W,MPa)	Elongation(L,%)	Elongation(W,%)
1	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock + CARC Paint	48.3	62.4	610	615
2	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock + **Urethane Primer + CARC Paint**	45	49.3	565	605
3	100℃ 104Hr + 135℃ 2Hr + Thermal Shock + **Epoxy Primer + CARC Paint**	40.8	44.9	605	575

페인트 접착력을 확인하기 위해 Dry Tape Test와 Fig. 13의 Wet Tape Test를 수행하였다. 준비된 시편 1-1, 1-2, 2-1, 2-2 (Fig. 14)에 스크래치를 낸 후 Tape을 붙였다 떼는 시험이며, Tape에 붙어 나오는 페인트를 측정했다. Dry, Wet Tape Test에서 모두 Tape에 페인트가 붙어 나오지 않았으며, 프라이머를 미적용 하여도 페인트와 PU Strip 간의 접착력에는 이상이 없는 것으로 나타났다. 즉, 페인트와 PU Strip 간 접착력을 위해 사용되어진 프라이머의 효과는 미미했으며, 오히려 프라이머의 취성이 PU Strip의 갈라짐을 야기할 수 있다고 사료된다.

Figure 13. Wet Tape Test

Figure 14. Specimens of Paint Adhesion Test

5. 결 론

헬리콥터에서 주로터 블레이드는 항공 안전과 직결된 가장 중요한 구성품 중의 하나이다. 따라서 블레이드를 구성하는 하위 부품들 또한 항공기의 안전성에 영향을 미친다. 그렇기에 체계개발단계에서 어느 정도 사용 환경을 고려하여 내구성 시험을 수행하지만, 그 하위 모든 구성 부품까지 사용 환경을 고려해 평가 하는 것에는 한계가 있다. 또한 실 운용 환경에서는 어떠한 문제가 발생할지 예측하기 쉽지 않다.

주로터 블레이드의 PU Strip은 블레이드 표면 Skin의 손상을 보호해주는 중요한 역할을 한다. 주로터 블레이드의 신뢰성을 유지하기 위해 개발 단계에서부터 품질을 정량화하여 평가하고 모든 운용조건에서 확인된 방법을 적용할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 수리온 항공기 운용 중 발생한 PU Strip 갈라짐 현상을 바탕으로 항공기에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 인자를 고려하여 시험하였고 결과를 제시하였다. 열화/경화 온도 조건, 페인트 적용/미적용, 열충격, 페인트 종류, PU Strip/프라이머 재료, 저온환경, 프라이머 적용/미적용, 페인트 접착력에 관한 시험을 수행하였고 분석하였다. 본 연구에서 제시하는 최종 결론은 아래와 같다.

(1) 열화온도 및 경화온도 시험에 의한 기계적 특성 차이가 거의 없으므로 영향성이 미미한 것으로 판단된다.
(2) 화생방 페인트(MIL-DTL-64159) 적용 시 인장강도 및 신장율의 저하가 발생하여, PU Strip 품질에 영향성을 미친다.
(3) 열충격이 가해지면 신장율의 저하가 발생하며, 열충격 역시 PU Strip 품질에 영향성을 미친다.
(4) 화생방 페인트와 비화생방 페인트(MIL-PRF-85285) 비교 시, 기계적 특성 차이가 거의 없어 페인트 종류의 차이는 미미한 것으로 판단된다.
(5) 저온(-30℃)조건에서 시험 수행 시, 경화, 프라이머, 페인트 등 각종 공정을 수행한 시편의 기계적 특성 값이 더 낮게 나타나는 것을 확인 하였으며, 이를 통해 저온은 PU Strip의 품질에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.
(6) 에폭시(MIL-PRF-23377)와 우레탄 프라이머(TT-P-2760) 종류의 차이는 미미하나, 프라이머가 적용 되었을 때, 인장강도 및 신장율의 감소가 나타나므로 영향성이 있다. 또한 프라이머 적용 여부는 조정이 가능한 공정으로 공정변경을 통해 PU Strip의 품질 신뢰성이 향상 될 것으로 판단된다.
(7) 추가적으로 수행한 페인트 접착력 시험에서 프라이머가 첨가 되지 않아도 PU Strip과 페인트 간의 접착력에는 문제가 발생하지 않는 것으로 나타났으며, 이를 통해 프라이머 공정을 제거하는 것이 PU Strip의 품질을 향상 시킬 수 있다고 판단된다.

본 연구에서 도출된 결과 따라 PU Strip 품질 향상이 이루어질 것으로 판단되며, 향후 소형무장헬기 사업 등의 블레이드 개발에 있어 훌륭한 참고 사례가 될 것으로 기대된다.

REFERENCES

Chang In-Ki, Kim Young-Jin, Seo Hyun-Soo, and Jeon Boo-Il. 2014. "A Study on Improvement of Painting Quality through a De-painting Phenomenon of KUH-1 Tail Bblade." Journal of Korean Society for Quality Management 42(3):325-338.

Kim Soon-Kyung, and 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.

Kim Jang-Eun. 2018. "The Mass Production Weapon System Environmental Stress-Screening Test Design Method Based on Cost-effective-Optimization." Journal of Applied Reliability 18(3):229-329.

Kim Young-Rae, Hong Yeon-Woong, and Kim Dong-Gil. 2018. "MIL-STD 810 Tailoring for Korean Peninsula and Periphery Climate." Journal of Applied Reliability 18(2):95-103.

Nam Mun-Ho, Chi Su-Chung, Lim Sun, Lim Seung-Hwan, and Jeong Ye-Chan. 2017. "Reliability Evaluation of Constant Pressure Mechanism on Phased Array Ultrasonic Testing for Wind Turbine Blade." Journal of Applied Reliability 17(3):236-245.

Defense Acquisition Program Administration(DAPA), 2013, KDS 1615-4003, Rotary Wing Blade Specification: 6, 15.

Defense Acquisition Program Administration(DAPA), 2013, A88MP0001, KUH process specification for finish requirement:6-7.

Defense Acquisition Program Administration(DAPA). 2013. A88TB0111. POLYURETHANE EROSION STRIP.

DoD(Department of Defense). 2012. MIL-PRF-23377. Primer coatings, epoxy, high solids.

DoD(Department of Defense). 1967, MIL-C-8514. Coating compound metal pretreatment.

DoD(Department of Defense). 2011, MIL-DTL-53039. Coating, Aliphatic Polyurethane, Single Component, CARC.

DoD(Department of Defense). 2002, MIL-DTL-64159. Water Dispensible Aliphatic Polyurethane, CARC.

Defense Acquisition Program Administration(DAPA). 2013. KDS 1520-4001, Korean Utility Helicopter.

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.

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.

British Standards. 2011. EN ISO 1518. Paint and Varnishes - Determination of scratch resistance - part1:Constant-Loading Method.