

# 노후항공기의 보수 방법 및 복합재 패치보수의 응용

김위대\* • 김종진\*\*

## Repair methods for aging aircraft and application of composite patch repair

W. D. Kim, J. J. Kim

**Key Words:** Aging aircraft, Composite Repair

### ABSTRACT

During the operation of military aircraft, maintenance is divided into organizational, intermediate and depot maintenance. In the depot maintenance, after removal of major parts and removable doors, damage assessment is performed. Locating damage, charactering the damage and determining its extent, zoning the damage on the part being repaired and re-evaluation of the damaged area after damage removal. Repair joints are classified by bonded joints and bolted joints, depending on joining material. In this paper, repair method in aging aircraft is investigated and the possibility of application of composite patch is surveyed.

## 1. 서 론

군용 항공기는 일정 비행시간마다 창정비를 수행하도록 계획되어 있으며 창정비를 통해 결함을 발췌하고 손상 정도에 따라 보수를 수행함으로써 항공기의 운용 안정성을 확보한다. 창에 입고된 항공기는 주요 부품의 분리 및 각종 점검창을 통해 결함을 발췌하여 손상의 정도에 따라 어떤 보수 방법을 사용할지 결정된다. 보수방법에는 크게 구조적 보수(Structural Repair)와 복합재 보수(Composite Repair)가 사용되고 있다. 본 논문에서는 군용 항공기 창정비의 일반적인 보수절차를 소개하고 나아가 복합재 패치보수의 응용분야를 살펴보고자 한다.

## 2. 손상평가 방법

### 2.1 외부 손상

항공기는 무게를 줄이는 구조로 만들어지기 때문에 기계적 손상에 쉽게 노출된다. 특히 얇은 표피(skin)나 심재(core)를 사용하는 샌드위치구조물은 쉽게 손상을 입는다. 손상(damage)은 활주로의 작은 돌의 충격, 우박, 연료주입 시 접촉, 정비사 그리고 장비의 접촉으로 발생하기도 한다. 대부분 기계적으로 발생한 손상은 시각적으로 발견되지만 수리교법의 범위 내의 적절한 수리절차를 결정하기 위해서는 손상의 정도를 세밀하게 결정하는 것이 바람직하다. 일반적으로 검사 시 발견되는 결함에는 다음과 같은 것이 있다.

#### ● 스크래치(Scratches)

스크래치는 표로파피에 대한 금속의 성질을 심각하게 저하시킨다. 표피의 보호피막을 관통하는 경우에는 부식에 쉽게 노출된다. 스크래치는 그 길이와 깊이를 측정하며 해당 기종의 정비교법에서 한계를 명시한다.

\* 부산대학교 항공우주공학과

\*\* 부산대학교 항공우주공학과

### ● 덴트(Dent)

덴트는 일반적으로 구조물을 약하게 만든다. 취성의 접착제를 사용한 구조물이나 두께운 표피에서의 덴트는 충간분리(delamination)가 생길 수 있다. 덴트는 그 반경과 깊이에 의해 측정된다.

### ● 끝단 깨짐(Edge Crushing)

끝단 깨짐은 눈으로 확인 가능하지만 틈새에 의한 물의 침투는 X-ray에 의해 확인해야 한다.

### ● 관통과 파인홈(Punctures and Gouges)

관통과 파인홈은 눈으로 확인 가능하며 손상부위가 관통되었을 경우에는 습기가 있는지 X-ray를 통해 확인해야 한다.

### ● 표피 균열(Skin Cracks)

균열은 일반적으로 체결구멍으로부터 발생되며 미세균열은 와상전류(Eddy Current)를 통해서 확인한다.

## 2.2 내부손상

내부 손상은 충간분리, 심재의 깨짐, 혹은 습기의 침투로 인한 부식이 대표적이며 비파괴검사로 탐지한다.

### ● 충간분리(Delamination)

부재 내부의 심재와 면재가 분리되는 현상은 동전을 두들겨보거나 초음파 검사로 탐지한다.

### ● 심재의 파괴(Crushed Core)

하니컴 코어(Honeycomb Core)는 집중하중에 의해 쉽게 깨지며 초음파 검사로 탐지한다.

### ● 습기(Moisture)

습기는 패널의 끝단 분리, 느슨해진 체결구멍을 통해 구조물에 들어가며 X-ray 검사로 탐지되며 습기로 인한 부식에 대해서는 확인해야 한다.

### ● 부식(Corrosion)

부식은 주위환경과의 전기화학적인 반응으로 부재의 특성을 저하시키며 부재 표면에 발생한 부식은 제거되어야 하며 부식방지 처리를 해야 한다.

## 3. 손상의 분류(Damage classifications)

### 3.1 경미한 손상(Negligible Damage)

눈으로 확인가능하며 부재의 건전성에 영향을 주지 않는 경우로 현 상태로 놓아두거나 간단한 절차로 결합전파를 막는다.

### 3.2 보수를 요하는 손상(Repairable Damage)

보강재나 손상부재를 연결하는 부재를 사용하여 보수를 수행한다. 보강재는 기계적 체결방법과 접착제를 이용하는 방법이 있다.

### 3.3 교환을 요하는 손상(NonRepairable Damage)

손상부위나 정도에 따라 보수가 불가능하거나 보수보다는 교환이 경제적인 경우에 해당한다

## 4. 보수절차의 선택기준(Repair procedure selection criteria)

일반적인 보수교범(SRM, Standard Repair Manual)에 정의된 보수방법에는 다음과 같은 사항이 고려된다.

### ● 강도(Strength)

### ● 강성(Stiffness)

### ● 하중경로(Load path Change)

### ● 무게 및 균형(Weight and Balance)

### ● 유연한 형상(Aerodynamic smoothness)

### ● 항공기 계통(Aircraft system)

### ● 보강재 제작방법(Part Manufacturing Method)

표 1 Applicable Inspection Methods for Various Types of Defects

Type of defect	Inspection method					
	Visual	Tapping	Ultrasonic	X-ray	Eddy Current	Acoustic emission
External damage	O				O	
Core-to skin delamination	O	O	O			
Metal-to-metal delamination	O	O	O	O		
Internal voids			O			
Distorted core			O	O		
Moisture			O	O		
Skin cracks					O	
Corrosion						O

## 5. 조인트 보수방법 (Basic Repair Joints)

보강재 사용에는 체결 방법에 따라 접착 조인트와 기계적 체결 조인트가 있다.

### 5.1 접착 조인트(Bonded Joints)

접착 조인트는 기계적 체결구를 사용하는 경우보다 많은 장점이 있다.

리벳팅 시 나타나는 응력집중을 접착영역에 고르게 분포시킬 수 있으며 무게대비 강도를 높일 수 있다. 연성의 접착제는 재료의 열팽창 차이를 막을 수 있고 진동이나 충격을 흡수하여 높은 파로 저항 특성을 보이며 이종금속간의 부식을 막을 수 있다.

또한 공기저항을 최소화 할 수 있도록 유연한 곡면을 만들 수 있으며 접착제는 외부로부터 습기나 물의 침투를 막아주는 역할을 한다.

그러나 접착제를 이용한 보수는 검사 시 결합을 찾기가 쉽지 않으며 접착력을 높이기 위한 표면처리가 필요하며 재료의 취급 및 처리 그리고 환경을 제어해야 한다. 또한 경화를 위한 오토크레이브(Autoclave) 같은 장비를 필요로 한다.

접착조인트는 크게 외부 접착 조인트 (External Bonded Patch), 내부 접착 조인트 (Internal Bonded Patch) 그리고 스텝 접착 조인트 (Scarf or Step Bonded Patch)이 있다.

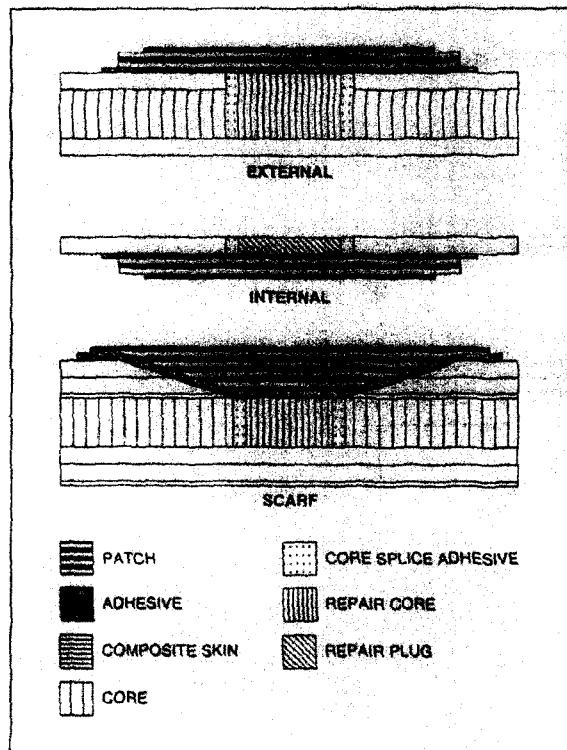


그림 1 Basic Repair Joints (Bonded)

### 5.2 기계적 조인트 (Bolted Joints)

접착 조인트보다는 보강판을 쉽고 빠르게 만들 수 있으며 부재의 두께가 0.125 inch 이상인 복합재 표면에도 적용이 가능하다. 그러나 접착 조인트보다는 무게 증가가 있으며 조종면과 같은 무게변화에 민감한 곳에서는 제한이 있다.

기계적 조인트는 크게 외부 체결 조인트 (External Bolted Patch), 내부 체결 조인트 (Internal Bolted Patch) 그리고 다중 체결 패턴 (Multiple Row Fastener Patterns)이 있다.

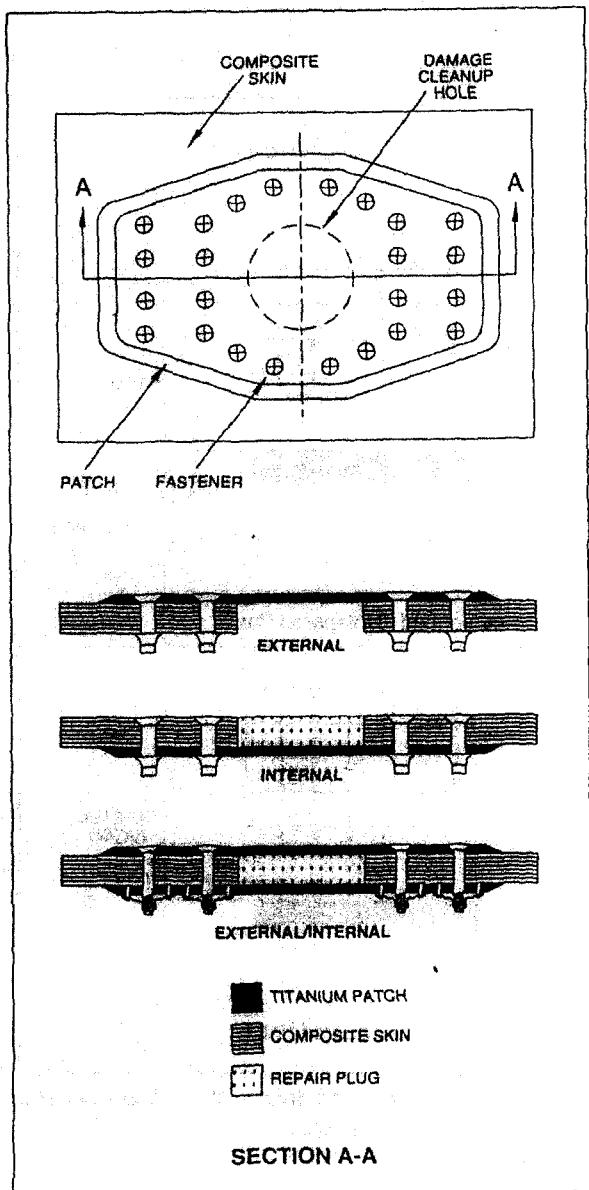


그림 2 Basic Repair Joints (Bolted)

## 6. 복합재 패치보수의 적용

항공기에서 복합재는 수평 꼬리날개, 수직 꼬리날개와 Aileron, flap, Speed Brake, wing tips 등에 주로 쓰이고 있으며 그 재료는 알루미늄, 티타늄, 보론, 그레파이트, 강화플라스틱 등이다.

보수 방법도 재료에 따라 구별되어 있으며 해당 기종 정비교범에서는 보수의 한계를 제시하고 있다.

군용 항공기의 복합재 사용과 패치보수의 적용 사례를 살펴보면 다음과 같다.

표 2. 복합재료 적용 사례.

Material	Defect	Area
Al skin & honeycomb core	Void Separation Cracks Punctures Sharp dents Delamination	Wing tip Aileron, Flap Rudder Fairing Vertical Stabilizer Stabilator Engine Nozzle Fairing
Titanium skin & honeycomb core		Vertical Stabilizer Rudder, Stabilator
Boron skin & honeycomb core		Speed Brake
Graphite skin & honeycomb core		

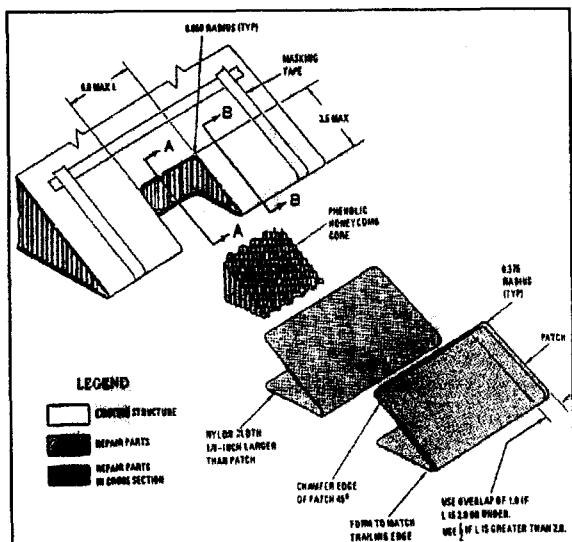
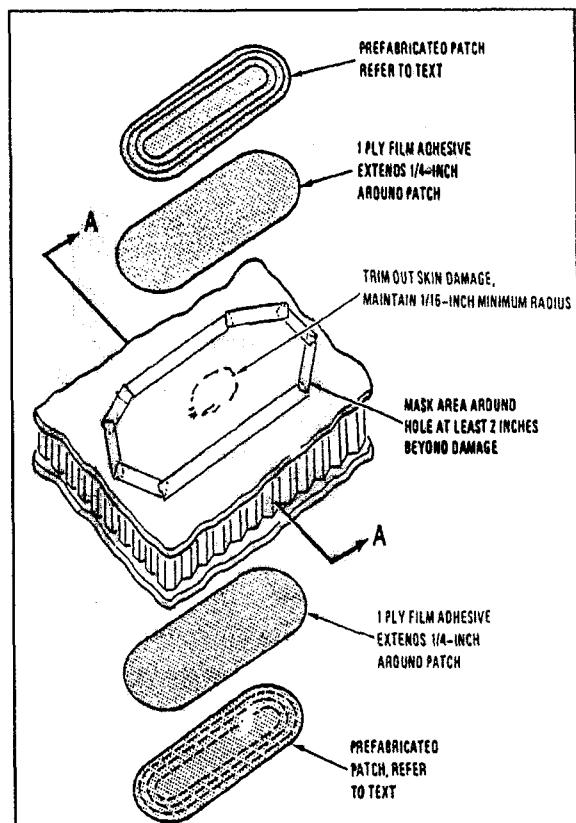


그림 3. Al skin and honeycomb core 보수  
Trailing Edge member (6.0 inch spanwise and 3.5inch chordwise)

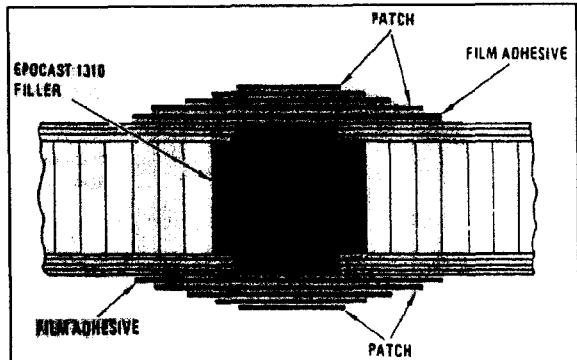
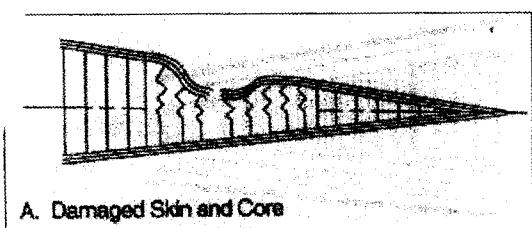
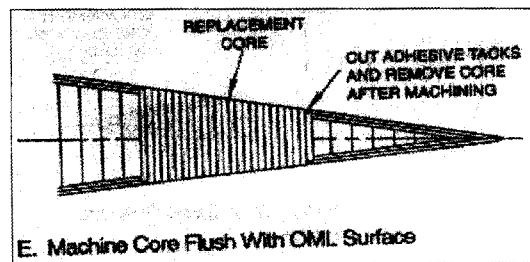


그림 4. Boron Composite skin and Al honeycomb core



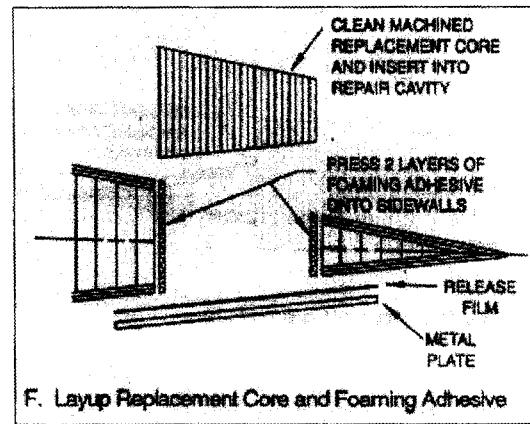
A. Damaged Skin and Core



E. Machine Core Flush With OML Surface



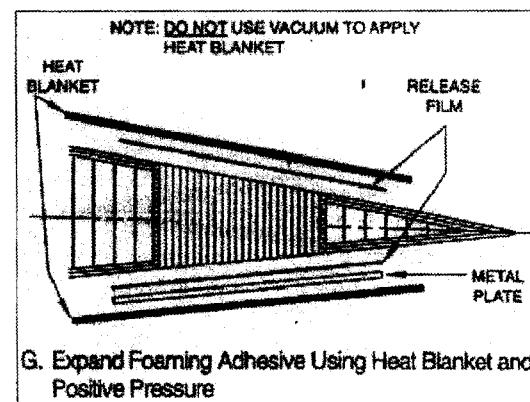
B. Remove Damaged Skin and Core to Opposite Side Skin



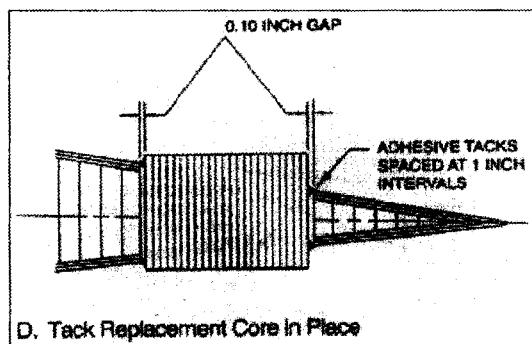
F. Layup Replacement Core and Foaming Adhesive



C. Remove Opposite Side Skin to Same Size and Shape as Damaged Skin



G. Expand Foaming Adhesive Using Heat Blanket and Positive Pressure



D. Tack Replacement Core In Place

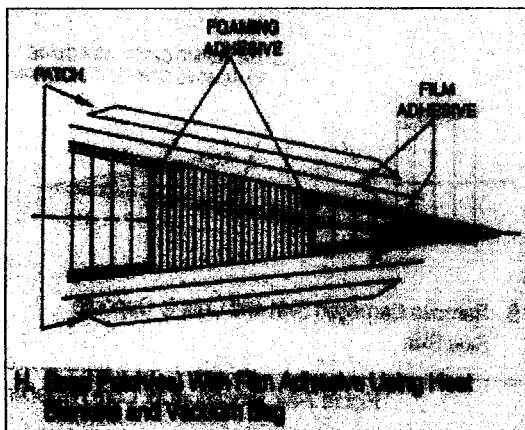


그림 5. Honeycomb Core 보수 절차. (Film/Form Adhesive)

손상부위의 직경이 1.5inch 이상으로 조종면에서 발생하는 보수방법으로 Foam adhesive을 사용하여 Replacement Core를 본딩하고 Film adhesive는 Repair patch를 본딩하는데 사용된다.

## 7. 결론

계획창정비는 항공기 설계부터 고려되며 그 지침을 정비교범에 수록하고 운용하면서 계속해서 새로운 보수방법이 도입되기도 한다. 현재까지 복합재 패치보수는 항공기의 2차 구조물에서 주로 사용되고 있지만 구멍가공을 수반하는 구조적 보수가 반복되면서 복합재 패치보수방법이 응용이 증가되고 있기 때문에 복합재 패치의 응용범위가 점차 확대되고 있다. 따라서 다양한 손상부위에 대한 패치보수방법의 연구가 중요하게 대두되고 있고, 이에 대한 연구가 많이 뒤따라야 할 것으로 보인다.

## 후기

본 연구는 BK21 핵심연구에 의해 이루어 졌으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) T.O 1-1A-1, General Manual for Structural Repair
- (2) T.O 01-1A-21, General Composite Repair
- (3) MIL-HDBK-337, Adhesive Bonded Aerospace Structural Repair