

항공기에 적용되는 비파괴검사에 대한 고찰

박길강

(주)대한항공 품질보증부

NDT for Aircraft Maintenance

Kil Kang Park

Korea Airlines, Dept. of QA

1. 항공기의 발달사

인류가 생긴 이래로 지상에서의 생활이 익숙해질 무렵 사람들은 하늘을 쳐다보며 자유롭게 날아 다니는 새들을 부러워하고 하늘을 날아보고픈 꿈을 갖게 되었다. 그리하여 새를 모방한 날개를 만들어서 날아보기도 했고 연을 만들어 사람을 태워서 하늘에 띄움으로써 적진을 살펴보기도 하였다. 좀더 나아가 가열된 공기가 가벼워져서 상승되는 현상을 이용한 열기구를 사용하여 비행선이 만들어지게 되었지만 이러한 것들은 비행기구들로서 근래에 와서 이야기하는 비행기 즉 항공기라고 볼 수 없는 것들이라고 하겠다.

내연 왕복기관이 점차 발달하여 소형화가 가능해짐에 따라 이것들을 항공기의 동력으로 삼고자 무척 노력하던 중 드디어는 1903년 12월 17일에 라이트 형제가 최초로 동력을 이용한 비행을 성공함으로써 항공기 발달에 획기적인 선을 긋게 되었다. 왕복 엔진을 이용한 복엽기, 삼엽기, 단엽기 등으로 발달해 오다가 이제는 나는 것에 만족하지 않고 좀더 빠른 것을 요구하면서 외부의 표피가

나무나 천에서 금속으로 바뀌고 엔진의 수가 단발, 쌍발, 사발등으로 늘게 되었다. 게다가 독일에서는 처음으로 '한스 폰 오하인'에 의해 제트엔진이 사용되면서 동력부분에서 혁신적인 급성장을 이루어 현재의 최첨단 항공기의 기초가 되었다.

이러한 기초를 바탕으로 근래에 대표적인 상업용 항공기인 미국의 보잉사에서 제작한 최신에 B-747비행기(일명 점보기)가 있는데 그 크기는 길이가 약 70미터, 폭이 약 65미터, 높이가 약 20미터로서 항공기를 조립하는데 약 600만개의 부품이 소요되며 392명의 승객과 60톤의 화물을 싣고 연료를 탑재한 무게가 약 390톤이나 된다. 이러한 거대한 물체가 하늘을 날기 위해서는 강력한 엔진이 필요하므로 무려 소형 자동차 300대의 힘과 맞먹는 22,600마력의 엔진이 4대나 장착되어서 커다란 덩치를 하늘에 뜨게 하고 있다.

서울에서 로스엔젤스까지의 거리는 약 9600 km정도 되는데 비행기가 어느 위치에 있건간에 항상 우주에 대하여 일정한 지점을 가리키는 자이로(GYRO: 회전 팽이)의 특성을 이용한 관성항법 장치가 탑재되어 computer

의 조종에 따라 움직이므로 목적지까지 정확하게 비행기를 갈 수 있도록 한다. 그외에도 승객의 편의와 쾌적성을 위해 기내에 장착되어 있는 video projector나 personal computer, 음료나 식사를 위한 galley system, 최첨단 전자 장비 system과 통신장비 system, 그리고 동체의 구조를 복합 재료로 사용하는 등 작은 부품 하나라도 모든 것이 과학의 정수를 응용하고 이용하여 이룩한 것이다.

2. 항공기의 안전에 관한 고찰

항공기는 1, 2차 세계대전을 겪으면서 급속도로 발달하게 되었지만 대전이 끝난 후 군수산업의 근간을 이루던 항공산업이 점차 민간용으로 확대되어 가면서 안전에 대한 인식이 고조되기 시작하였다. 물론 군용 항공기에서도 안전에 대해 소홀함이 있었던 것은 아니지만 민간용 항공기는 사고가 발생하게 되면 많은 인명 피해가 따르기 때문에 보다 더 철저히 안전에 완벽을 기해야 하였다. 이러한 완벽한 안전을 이룩하기 위하여는 항공기를 보다 더 튼튼히 제작하면 되지만 상업용 항공기는 승객과 화물을 보다 많이 운송할 수 있어야 경제성이 높은 항공기라고 할 수 있는데, 튼튼하게 제작하기 위해 주요 구조물이나 각종 부재들을 보다 많이 보강하고 큰 것으로 제작한다면 승객이나 화물의 하중보다는 자체 하중에 의한 연료 소모가 많아져서 경제성이 있는 좋은 항공기라고 할 수가 없다.

따라서 이런 요인들을 충분히 감안해서 가벼우면서도 강도를 높일 수 있는 재료를 사용하여 항공기 강도를 높이면서 항공기에 실을 수 있는 적재용량을 증가시킬 수 있도록 적절히 조화시켜서 설계를 하게 된다. 그러나 항공기를 계속 운용하다 보면 반복적인 이착륙에 의한 하중과 마모에 의해 손상되는 부분이 많아지므로 항공기에 사용되는 부품들은 일정기간의 사용시간이 지나면 폐기시키는 소모성 부품들과 계속적으로 사용상태를 확인하며 사용하는 부품들로 구성되어 있다. 특히 항공기의 동체와 날개를 잇는 부분

은 항공기를 뜨게 하는 양력과 동체에 있는 하중이 마주치는 중요한 부위이며 또한 강력한 추력을 담당하는 엔진은 고회전 고압력 고열이 발생되기 때문에 마모와 손상을 받기 쉬운 부분으로 손쉽게 장탈하여 결함유무를 확인할 수가 없는 부분이다.

그러므로 이러한 부분들에 대한 손상이나 균열등의 상태를 알기 위해서는 초음파 탐상방법이나 와전류 탐상방법 또는 X-ray 검사등을 비롯한 각종 비파괴검사방법을 적용시켜야 된다. 그러나 조그마한 결함을 찾기 위해 모든 부분을 대상으로 매번 검사한다는 것은 대형기에서는 매우 어려운 일이다. 그래서 항공기 제작회사에서는 항공기를 운용하기 전에 중요한 부위에서 발생될 수 있는 결함들을 찾기 위해 초기 제작한 항공기를 실제로 적용하여 동체와 중간날개(center wing)부분, 바깥날개 부분(outer wing), 꼬리부분(tail section) 등의 3부분으로 나누어서 각 부분에 대해 유압장치(hydraulic piston actuator)를 이용한 모의 하중 실험(simulated fatigue test : 실제로 항공기에 가해지는 하중을 각 부분에 반복적으로 주는 실험)을 5만 cycle, 10만 cycle 단위로 반복하여 실시하는 full scale fatigue test(proto test)를 수행한다. 그리고 나서 정밀하게 각 하중 부위를 검사하고 그 결과에 따라 발견된 결함들을 발취하고 분석하여 적절한 주기로(각 부위별로 다르지만 대체로 실험 cycle의 5분의 1, 즉 5만 cycle에서 결함이 발견되면 1만 cycle로 안전률이 주어지는 주기) 비파괴검사 또는 보강 수리를 실시할 수 있도록 기술 지침서(service bulletin)를 발행함으로써 각 항공기 운영 회사들로 하여금 안전운항을 할 수 있도록 한다.

이렇듯 항공기가 제 성능을 발휘하게 하기 위해서는 항상 모든 부품이 정상적으로 작동하고 제기능을 유지하고 있어야 한다. 이러한 기능을 항상 주기적으로 점검하고 있는데 그 종류를 살펴보면 기체검사, 엔진검사, 객실검사 등으로 나뉘어 있고 비파괴검사는 모든 검사중에 속해 있어서 그 중요도가 매우 크다고 할 수 있다.

3. 항공기에 적용되는 비파괴검사 방법

항공기에는 거의 모든 비파괴검사 방법이 동원된다 하여도 과언이 아니다. 그 종류를 각 부위별로 적용되는 형태로 살펴보면

침투탐상검사-주로 엔진을 오버홀(overhaul : 분해검사)할 때 각 부품에 대해 적용시키는 방법이지만 항공기의 기체에도 다른 방법에 의해 발견된 결함을 확인할 경우에 사용된다.

자분탐상검사- 침투탐상검사와 마찬가지로 엔진의 분해검사시 철강속 부품에 적용되고 항공기 동체 부위에서는 랜딩 기어(landing gear : 강착장치) 부위나 날개의 보조날개를 연결하는 부위등에 적용된다.

방사선투과검사-방사선투과검사는 비교적 큰 결함을 발견하기 위해 원형으로 되어 있는 항공기 동체구조의 뼈대부분에는 주로 panorama X-ray장비를 사용하여 구조를 검사하며 end emission type으로는 날개 부분의 honeycomb구조내에 moisture(습기)가 들어갔는가의 여부를 검사하는 등 부분적으로 검사할 경우에 사용된다. 또한 엔진 부품의 용접검사, blade내부에 있는 pin의 broken검사 등에도 사용된다.

초음파탐상검사-와전류탐상검사와 마찬가지로 항공기에 광범위하게 적용되며 특히 동체와 날개의 연결부분, 동체의 접합부분등과 엔진의 부품중 용접된 부위의 내부에 개재되어 있는 결함 탐지등에 이용된다.

와전류탐상검사-항공기의 날개, 동체, 꼬리날개, 랜딩기어등 전부위에 광범위하게 적용되며 엔진부품중 정밀하게 검사해야 할 부분에 주로 국부적으로 적용된다.

시각검사-항공기의 structure중에서 corner부분과 엔진의 내부등 직접 접근이 어려운 부분을 검사하기 위해서는 rigid와 flexible borescope장비를 이용한다. 이 장비들은 거울과 돋보기를 혼합해 놓은 것과 같아서 접근이 불가능하여 육안으로 직접 보이지 않은 부분을 확대하여 검사하는 효과를 얻을 수 있다.

항공기는 대별하여 항공기 기체부분과 eng. 또는 엔진부분으로 구분한다. 기체부분은 승객과 화물을 싣는 동체부분과 비행중에 계속적으로 양력을 받고 있는 wing부분, 그리고 항공기의 전 무게를 지니고 이착륙을 하는 landing gear부분으로 나누며 비파괴검사를 주로 적용하는 대상은 고공중에서 여압을 받는 동체의 pressure bulkhead와 동체의 section을 연결하는 주요 frame부위, wing과 동체를 연결하는 wing root부위, wing을 구성하는 wing structure, wing flap, aileron, elevator를 지지하는 부위, 엔진이 장착되는 엔진 pylon mount부위가 주검사 대상이며 엔진은 thermal shield, air seal등을 비롯한 몇개소를 제외하고는 주로 overhaul과정에서 완전 분해된 상태로 전수 검사를 수행하고 있다.

PT, MT, RT는 일반적으로 산업체에서 수행하고 있는 방법과 동일하다고 하겠으나 UT와 ET는 구조의 다양성 관계로 검사하고자 하는 부위에 적당한 probe 또는 X-tal이 별도로 제작되어 사용되고 있으며 장비의 calibration이후 반드시 현품과 동일한 대비 시험편에 의한 재 calibration을 수행한 후 검사에 임함이 특징이라고 하겠다. 그러면 검사방법별로 그 특징을 살펴보기로 한다.

3.1. 침투탐상검사

3.1.1. On wing검사

항공기에서 직접 검사하는 경우를 on wing검사라고 하는데 항공기의 구조가 단순하게 되어 있지 않고 각종 부재들과 여러 판이 겹쳐 있거나 frame과 stringer가 연결되어 있어 구조가 복잡하므로 on wing 침투탐상검사를 할 경우에는 겹쳐진 사이로 침투체가 침투되어 후처리가 완벽하게 되지 않기 때문에 광범위하게 적용시킬 수가 없다. 그래서 한정된 부위에만 특수한 방법을 적용시켜 검사하므로 주로 침투탐상으로 검사하는 부위는 이착륙 할때마다 충격을 가장 많이 받으면서 bare metal이 들어나는 부위인 landing gear의 fitting부위와 양력에 의해 인장과 압축 하중을 받는 wing의 skin부분과 엔진의

내부등이다.

한정된 부분의 하나인 엔진을 검사하기 위해 내부를 검사할 수 있으며 동시에 침투탐상도 수행할 수 있는 특수한 borescope를 이용한다. 이 방법은 엔진의 내부의 고열로 잔류된 침투제나 현상제는 모두 제거되므로 특별히 후처리가 필요없다. X-ray, ultrasonic, eddy current검사로 결함이 발견되어서 결함의 크기, 길이 등을 확인을 하기 위해서 침투탐상검사를 꼭 적용시켜야 할 경우에는 검사할 부위 외에 침투제가 흘러 들어가지 않도록 주의하여 검사를 수행하고 검사가 완료된 뒤에는 검사된 부위가 부식되는 것을 방지하기 위해 반드시 침투제 및 현상제를 완전히 제거시킨다.

3.1.2. 엔진 overhaul검사

항공기의 엔진을 장탈한 후 완전 분해하여 세척하고 검사 한 뒤 필요시에 부품을 교환하거나 또는 수리후 재조립해서 원상복구하여 사용가능하도록 하는 일련의 과정을 overhaul이라고 한다. 그 순서를 좀더 자세히 살펴보면 아래와 같다.

장탈-주기적인 연간 계획에 의거 장탈

분해-Hot Section Inspection(HSI)만 하기 위한 분해와 완전분해가 있다.

세척-분해된 부품을 vapor degreasing, solvent cleaning, alkali cleaning, blast등의 방법으로 완전하게 세척한다.

검사-엔진의 type에 따라 다르기는 하지만 분해 세척된 부품중 약 70%에서 75% 가량이 침투탐상검사나 자분탐상검사를 거쳐간다.

조립-검사를 거친 부품이나 교환된 부품으로 다시 조립한다.

시운전-조립된 엔진을 항공기에 장착하기 전에 별도로 설치된 시운전실에서 항공기에 장착된 것과 같이 full power를 넣어서 연료 소모율, 정상 추력 발생의 여부등의 성능과 mechanism의 이상유무를 체크하기 위해 반드시 시운전을 수행한다.

장착-완전하게 성능이 확인된 엔진은 장착하기 위해 엔진 bay에 입고시켜서 대기시킨다.

엔진의 overhaul 과정 중에서 검사가 차지하는 비중은 매우 높다. 외형을 검사하거나 치수를 측정하여 마모도를 검사하는 table measurement까지 포함한다면 거의 95%가 검사를 거쳐간다. 각 부품에 적용하는 검사 절차는 주로 엔진의 제작회사에서 재질과 부품의 특성을 고려하여 연구와 실험을 거쳐서 만든 SPOP(Service Process Operation Procedures) 또는 class절차를 이용하며, 부품을 정밀검사하기 위해 disk, shaft등 고압축, 고인장, 비틀림을 받는 특정한 부품에 대해서는 cleaning이 끝난 후 해당 부위를 국부적으로 etching을 하여 세척 후에도 없어지지 않고 흑시 있을지도 모르는 결함의 입구를 막고 있어서 침투제가 침투하지 못하도록 하는 scale이나 산화물들을 제거시킨다.

검사에는 후유화성 형광침투제 또는 수세성 형광침투제와 건식 현상제를 사용한다. 또한 주기적으로 월 1회 침투제와 현상제의 강도를 측정하고 자외선등(일명 black light)은 매 작업전에 자외선 강도 측정기로서 측정하여 부품제작회사의 절차서에 따라 다르지만 15인치 거리에서 800-1000microwatts/cm²의 강도에 미치지 못하면 등(lamp)을 교환하여 항상 본래의 강도를 유지하도록 한다. 부품을 검사할 때는 우선 부품의 외형을 육안으로 검사하여 일차적인 외부의 손상여부를 확인하고 각 부품별로 적용하는 침투제의 종류와 침투시간, 유화제 적용시간 등이 모두 다르므로 부품에 따라 작업절차서에 유의하면서 검사한다. 검사가 완료된 후 후처리를 위해 세척 팀으로 다시 부품을 보내서 잔류현상제와 침투제를 완전히 제거하고 조립 팀으로 이송시킨다.

3.2. 자분탐상검사

3.2.1. On wing검사

자분탐상검사는 철금속을 위주로 검사하므로 항공기에서 직접 검사할 수 있는 부위가 한정된다. 주로 검사하는 부위는 이착륙시에 압축힘과 마모를 심하게 받는 landing gear의 cylinder와 piston이 있고 또 이착륙시에 느린 속도에서 양력을 많이 받게 하기 위해

보조날개를 사용하는데 이때 많은 힘을 받는 상태에서 보조날개가 움직일 수 있도록 roller를 사용하므로 이 roller가 잘 움직이며 마모에도 잘 견디도록 철금속으로 제작한 track부위를 검사한다. 이 부위에도 역시 형광자분을 적용하여 보다 더 미세한 결함을 발견할 수 있도록 한다. 그리고 검사할 부품이 항공기에 부착되어 있기 때문에 yoke type과 같은 portable장비를 사용하며 prod type은 스파크에 의한 손상을 방지하기 위해 절대 사용을 금하고 있다. cable을 사용할 경우에도 cable의 절연 상태나 연결 부위의 절연상태를 확인하고 사용한다. 소요되는 ampere의 산정은 해당 항공기의 검사 지침서를 참고하여 적용한다. 계기에 영향을 줄 수 있는 잔류자기의 제거는 물론 움직이는 부분에 남아 있는 자분이 없도록 깨끗하게 세척하여 제거하는 등 후처리를 철저히 한다.

3.2.2. 엔진 Overhaul검사

엔진 부품 중에서 철금속 부품은 모두 자분탐상검사를 한다. 장비는 stationary를 사용하며 자분은 형광 습식을 사용한다. 그래서 항상 장비를 가동할 때는 자분이 용액에 잘 섞이도록 pump를 충분한 시간동안 작동시키고 검사 전에 centrifuge tube로 용액을 test하여 180ml당 0.15cc에서 0.25cc사이가 되는가 확인한다. 보통의 경우에는 용액의 증발 때문에 농도가 높을 때가 많다. Shaft나 gear 등은 주로 coil에서 검사하고 부품에 직접 contact방법을 사용하는 것은 접촉부위에서 소손이 발생할 우려가 있으므로 가급적 피한다. airseal이나 ring등 원형부품은 주로 유도자화(induced current magnetizing) 방법을 이용하여 검사하지만 물론 coil이나 conductor방법등 두가지 방법을 모두 사용하기도 한다. 또한 소요되는 ampere는 해당 엔진 제작회사 검사지침서에 기록되어 있는 수치와 실제 검사 data, 그리고 일반적인 계산식에 의해 얻어진 ampere는 참고로 한다. 엔진부품은 고회전 부위에 사용되는 것들이기 때문에 탈자동 후처리를 특히 완벽하게 한다.

3.3. 방사선투과검사

3.3.1. 항공기 동체 검사

항공기를 구성하는 뼈대의 구조는 truss type, monocoque type, semi-monocoque type, sandwich type등의 구조형태가 있다. 이중에서 truss type은 소형기의 동체를 구성하는데 사용하고 대형기에서는 내부의 유효용적을 넓힐 수 있도록 semi-monocoque type을 동체에 적용한다. 그리고 floor panel, flap등에는 가볍고 강도를 크게 하기 위해 honeycomb type의 sandwich type을 사용한다. wing부분과 수직 및 수평 꼬리날개에는 이상의 여러가지 형태를 혼합해서 사용한다. 동체에 사용되는 semi-monocoque type은 frame사이를 연결하는 stringer, 외부 skin panel등으로 구성되어 있으며 rivet로 서로 연결되어 각 부분이 모두 하중을 받는다. 이 하중을 받는 부위에서 피로균열이 발생할 수가 있으므로 frame 전 둘레를 panorama X-ray장비와 roll type film을 사용하여 주기적으로 X-ray검사를 실시한다. 또한 승객이 출입하는 entry door나 화물을 싣는 cargo door등은 동체 구조에서 불연속되는 부위이므로 보강재를 덧붙여서 강도를 증가시키도록 하였지만 이 door들의 corner부분에 하중이 집중되므로 이 부분을 다른 부위보다 비교적 짧은 주기로 X-ray검사를 한다.

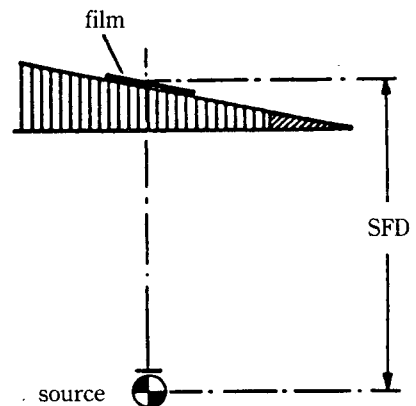


Fig. 1. X-ray 촬영도

3.3.2. Wing flap honeycomb검사

Wing도 동체와 마찬가지로 여러가지의 구

침투된 습기

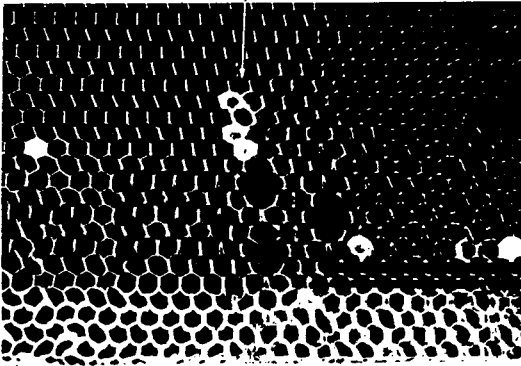


Photo. 1. Honeycomb X-ray film

조형태를 복합적으로 이용하여 뼈대를 이루고 있다. 이 부분중에서 보조날개인 falp이나 착륙시에 공기 저항을 이용하여 착륙거리를 짧게 하기 위한 speed brake등에는 주로 honeycomb sandwich type을 사용했다. Honeycomb sandwich type은 양판 사이에 벌집 모양의 육각형태로 중간재를 삽입하여 접착제로 부착시킨 것으로 무게를 줄이면서 강도를 증가시키도록 고안된 것이다. 이 판에 피로 현상이나 연결부위의 손상 등 기타 여러가지 원인으로 인해 honey comb에 습기가 침투하면 고공비행과 저공비행에 의해 열고 녹음의 반복으로 panel이 들뜨게 되어 honey comb이 더욱 더 손상을 입게 되고 강도에 영향을

준다. 그래서 역시 이부분도 주기적으로 X-ray검사를 하여 습기의 침투여부를 확인한다.

3.4. 초음파탐상검사

3.4.1. 엔진의 Fan rotor disk slot검사

항공기 엔진의 구조를 간단히 살펴보면 맨 앞쪽에 약 1미터의 fan blade(대형 깃) 38개가 fan rotor disk에 달려있고 그 뒤쪽으로 공기를 압축해 주는 압축기와 연료를 연소시켜 주는 연소실, 연소실에서 팽창되어 발생된 가스의 힘을 받는 터어빈등이 연결되어 있다. 이러한 엔진의 전체 추력(엔진을 미는 힘) 중에서 fan blade에서 발생하는 추력이 약 75%이고 연소실의 배기가스에 의한 추력이 25%정도가 된다. 이렇듯 fan blade에서 많은 힘을 감당해야 하므로 fan blade가 달려있는 축(fan disk)에 커다란 응력이 걸리게 된다. 그래서 초음파탐상 방법으로 이 축의 blade가 장착되는 slot(홈)부분의 피로 균열 여부를 검사한다. 검사부위는 blade root부분과 slot의 접촉 부위로서 가장 압력을 많이 받는 부분인데 보정 시험편에서 장비를 보정한 후 한계치를 벗어나는가의 여부를 검사한다. 보정 시험편은 실물을 잘라서 인공결함을 만들어 사용하고 시험편에 맞는 지그를 제작하여 검사하고자 하는 부위를 집중적으로 검사할 수 있도록 하였다.

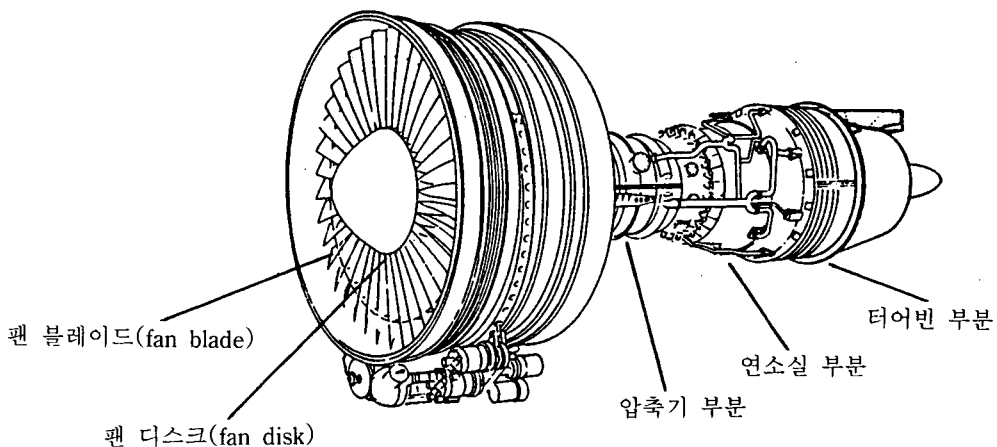


Fig. 2. Engine 개략도

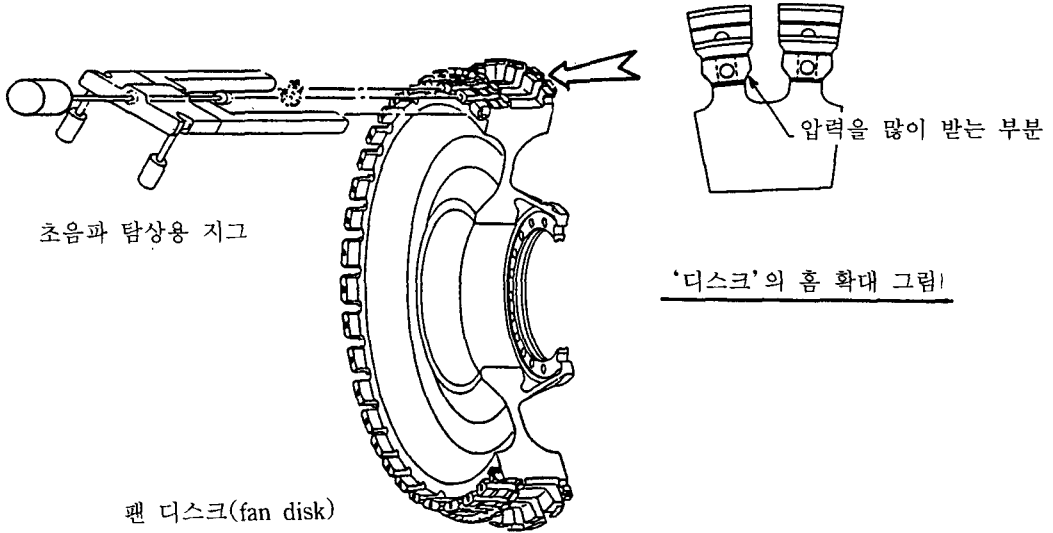
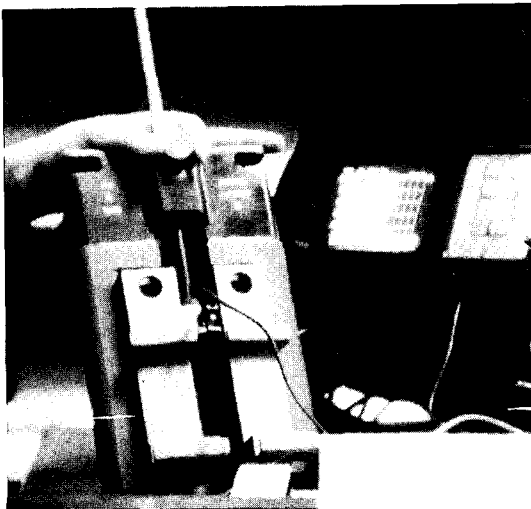


Fig. 3. Fan disk 검사부위 상세도



PANAMETRICS EPOCH - II
VER 2.00

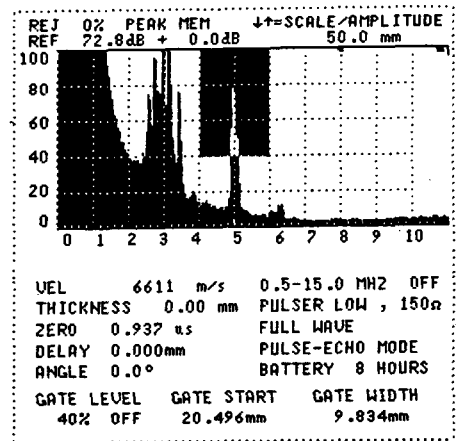
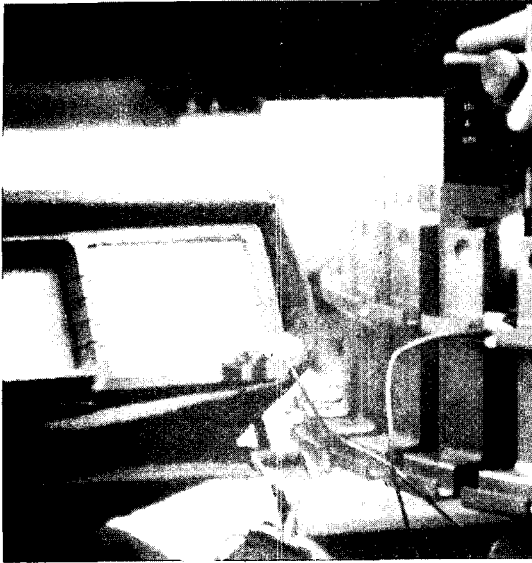


Photo. 2. Fan disk ref. std.에서 장비를 보정하는 모습 및 signal



PANAMETRICS EPOCH - II
VER 2.00

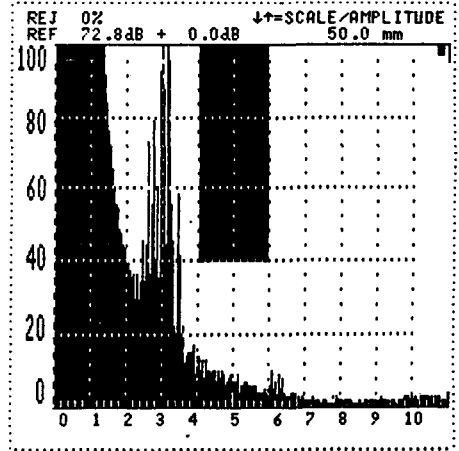


Photo. 3. Fan disk 실물에서 검사하는 모습과 장비화면

3.4.2. 항공기 동체 중 고강도 접착부위의
(Lap joint, stringer, doubler 등)
bonding 검사

항공기 동체 중에서 리벳트를 대신하여 부분적으로 고강력 접착제를 사용하여 연결시킨 부분이 있다. 이것은 항공기의 자체 무게

를 줄이기 위함이기도 하지만 접착제의 성능이 향상되어서 리벳트에 못지 않은 강도를 충분히 유지할 수 있기 때문에 가능하다. 그러나 알루미늄 판에서도 피로 균열이 나타나듯이 접착부위에서도 피로 현상이 나타난다. 이 피로현상은 접착제의 강도와 밀도의 성능

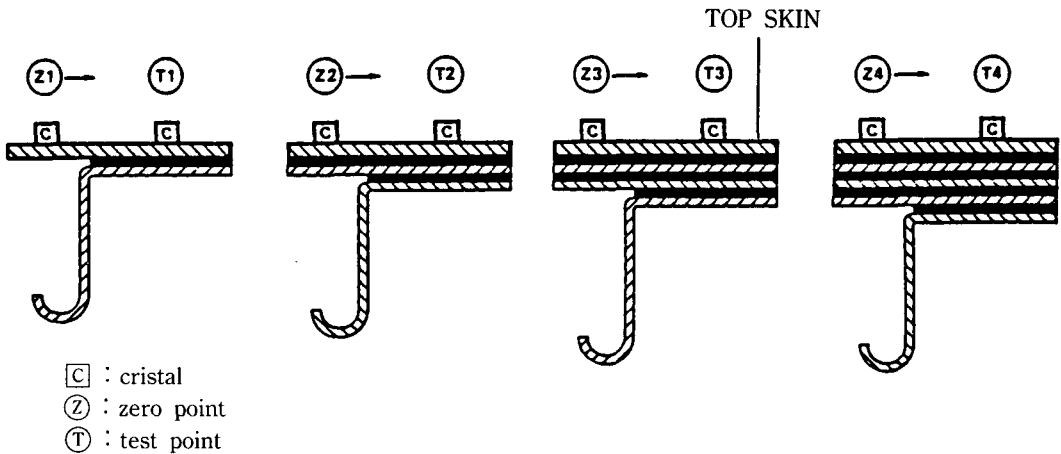


Fig. 4. 여러점으로 bonding된 판들

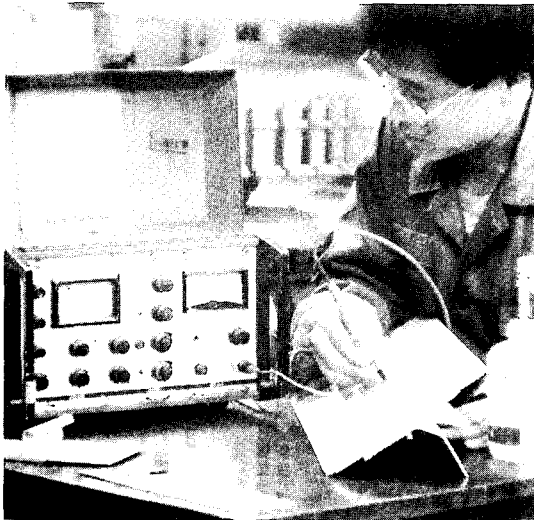
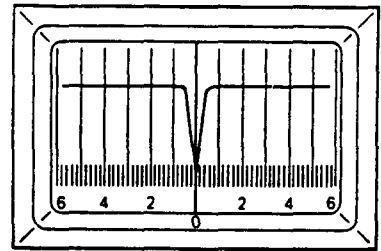
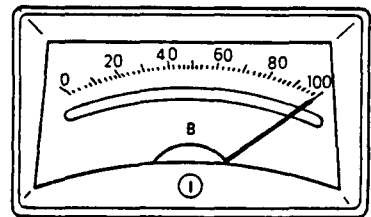


Photo. 4. Bonding 검사시 ref. std.에서 장비를 보정하는 모습과 장비의 signal



(a) scale



(b) scale

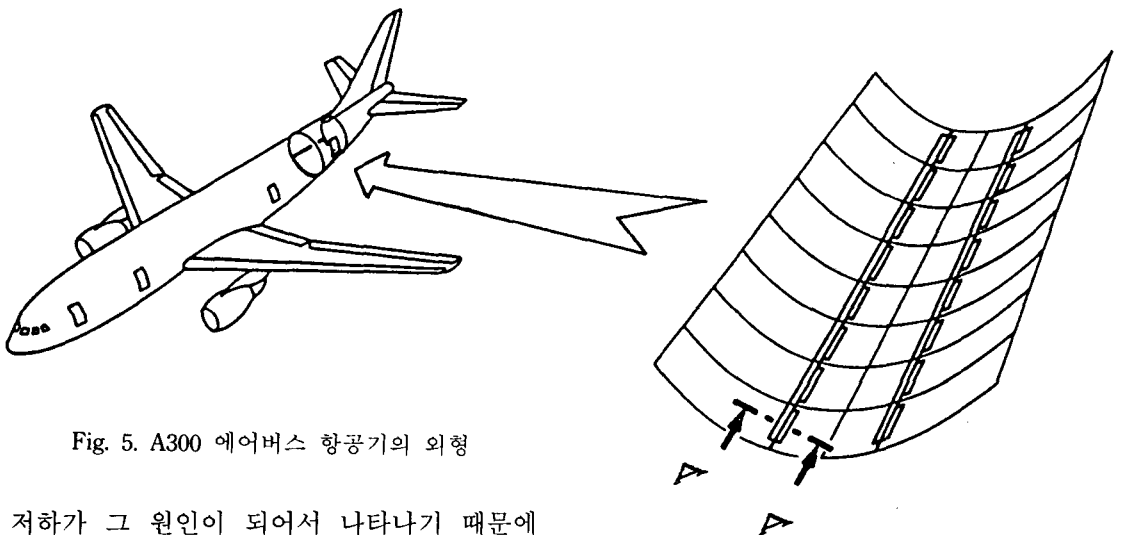


Fig. 5. A300 에어버스 항공기의 외형

Fig. 6. 검사부위의 확대도

저하가 그 원인이 되어서 나타나기 때문에 이 부분의 검사는 접착부분을 전문적으로 검사하는 장비와 그에 맞는 탐촉자를 사용해서 수행한다. 이 장비는 일종의 초음파장비로 공진주파수를 이용하여 고안된 장비인 bonding tester이고 탐촉자는 barium titanate로 만들어진 ceramic계열이다. 여기에 전기적인 연결을 위해 nickel coating을 30-80micron의 두께로 입혔다. 검사방법은 이중판인 경우 대비시험편의 단일판으로 된 부위에서

calibration을 한 후 즉 공진 주파수와 impedance를 단일판에 맞춘 후 이중판에서 측정하여 signal이 나타나지 않을 경우 양호한 것으로 판단한다. 오래 사용한 항공기의 접착된 부분의 강도는 전체적으로 단일하게 일정하지 않을 뿐더러 완전히 분리되어 떨어진

부위 외에도 접촉은 되어 있으나 강도와 밀도가 불량한 부분이 있기 때문에 항공기 제작회사에서 실험을 하여 일정한 범위를 측정 범위로 정한 후(예를들어 a scale에서는 ± 4 이하, b scale에서는 30% 이상은 debonding되었다고 판단하는 등) 항공기 운영회사로 절차를 보내어 참고하도록 한다.

3.5. 와전류탐상검사

3.5.1. 항공기 동체의 Lap joint(판의 겹치는 부위)검사

항공기의 동체외벽은 강도를 높이고 무게를 줄이기 위해 알루미늄 합금을 사용한다. 또, 이 외벽을 하나의 판으로 만들 수 없으므로 여러개의 판을 겹쳐 연결하여 제작하게 되는데 항공기의 내부압력과 하중에 의해서 이 연결부분에서 부식이나 피로균열등 결함

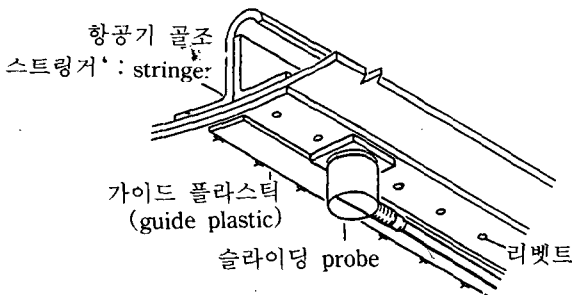


Fig. 7. Lap joint부위의 상세도(단면 A-A)

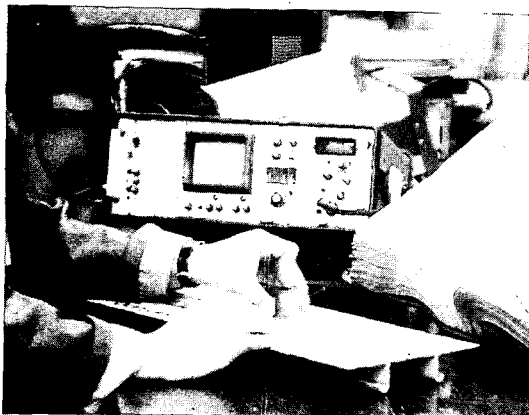


Photo. 5. Lap joint부위의 ref. std.에서 장비를 보정하는 모습

이 나타나게 된다. 결함이 주로 나타날 수 있는 부위가 결판의 안쪽에 있는 판이어서 이들 결함을 찾기 위해서는 초음파탐상검사나 방사선투과검사를 사용하기가 어렵다. 초음파인 경우에는 단일 부재가 아니기 때문에 안쪽의 판에 나타난 결함은 검출하기가 거의 불가능하고 방사선의 경우는 비교적 큰 결함만을 검출할 수가 있어서 rivet hole에서 시작되는 작은 결함을 찾기가 또한 어렵다. 그래서 표면하의 결함도 검출할 수 있는 와전류탐상 방법을 이용한다. 와전류탐상 방법을 이용하면 probe가 판위를 sliding하면서 검사하므로 신속하고 넓은 부위를 비교적 빠르게 검사할 수 있어서 외벽의 연결부위를 검사하는데 많이 이용하고 있다.

이 부위를 검사할 때는 CRT.type(impedance type)의 장비를 사용해야 하는데 그 이유는 검사시에 나타나는 신호가 판과 판사이의 연결된 부위에 리벳트를 사용하기 때문에 매끄러운 부분을 검사하듯이 일정하게 신호가 검출되지 않고 복잡한 형태로 신호가 나타나며 또한 검사자가 probe를 움직이는 속도등 여러가지의 변수가 복합적으로 작용하여 신호를 더욱 복잡하게 만들기 때문이다. 그래서 결함을 판독하는데 매우 신중해야 하므로 숙련이 되고 경험이 많은 고속연자가 주로 검사를 해야만 하는 점이 어렵다고 하면 어려운 점이다.

3.5.2. 항공기 Structure의 연결부분 bolt hole검사(rototest)

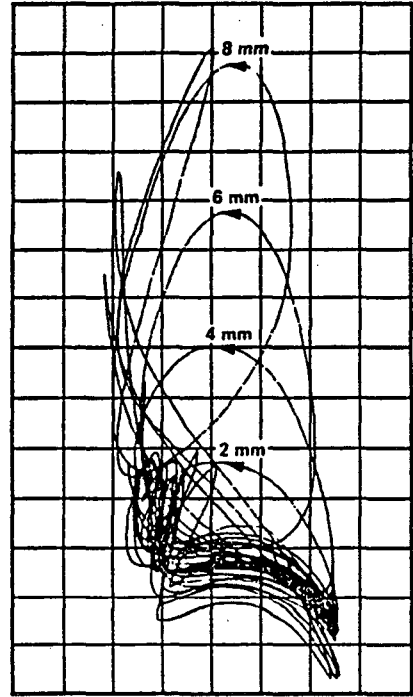
항공기 구조는 용접으로 영구히 조립하지 않고 리벳트나 볼트 등으로 조립하여 필요한 경우에는 분리가 가능하도록 되어 있다. 이것은 재질상의 용접성에도 문제가 있지만 수리를 할 경우나 부분적으로 교환할 경우 등 용접에 따른 후속조치가 쉽지 않은 이유도 있다. 이렇게 조립을 하는 구조를 택하다 보니 조립하는 bolt hole부분에서 결함이 발생할 수가 있다. 따라서 이 부분에서의 결함을 찾기 위해 와전류 방법을 이용하는 rototest장비와 rotary probe scanner라는 hole을 전문적으로 검사하는 장비를 사용하게 된다. 이 부분을 검사할 때는 미세한 결함도(폭 0.

1mm×길이 0.2mm) 검출해야 하므로 비교적 높은 주파수를 이용한다. 그리고 motor로 probe를 약 3000rpm으로 회전시켜 검사하기 때문에 probe의 마모가 심해서 probe를 스테인리스로 제작하여 자동적으로 shield가 되지만 이것은 마모에는 강하나 probe의 유연성을 없애므로 구멍의 크기에 따라서 각 단계별로 많은 수량이 필요하다. 대체로 각 구멍들의 크기는 0.4mm차이로 구분하고 probe와 구멍의 여유치는 0.1mm(±0.05mm)로 준다. 그래서 1/4 inch(6.25mm)에서 1 inch(25.4mm)까지는 약 60여개의 probe set가 필요하다.

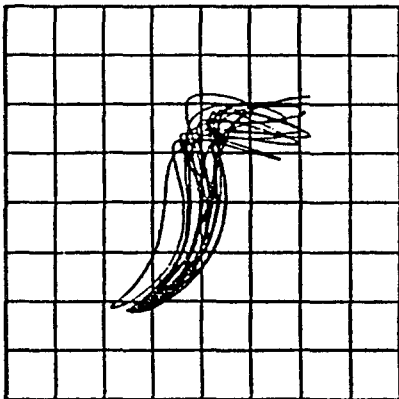
3.6. 시각검사

3.6.1. 엔진검사

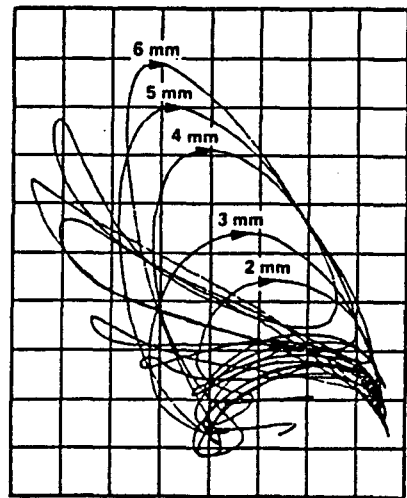
Borecope 또는 endoscope라고도 불리는 내시경을 이용하는 시각검사는 의료분야에서도 폭넓게 응용되고 있다. 주로 엔진내부의 회전부위와 연소실 등에서 발생된 결함을 검사하기 위해 엔진의 중요부위마다 plug를 만들어서 주기적으로(예를들어 100사이클 또는 1,000시간마다) plug를 빼낸후 rigid bore scope 또는 flexible borescope(막대형 내시경 또는 굴절형 내시경)들을 사용하여 plug hole을 통해 엔진 내부로 집어 넣음으로서 rotary blade(회전 깃)나 stator blade



바깥판에 결함이 있는 리벳트를 지날때의 화면



결함이 없는 리벳트를 지날때의 화면



안쪽판에 결함이 있는 리벳트를 지날때의 화면

Fig. 8. ref. std.에서 보적시 다양한 화면

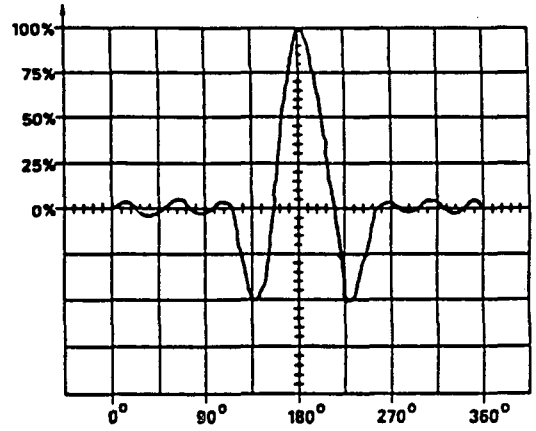
(고정 깃)들을 직접 육안으로 검사하거나 video monitor를 통해 검사하며 필요시에는 녹화하여 data로 사용하기도 한다.

3.6.2. 기체검사

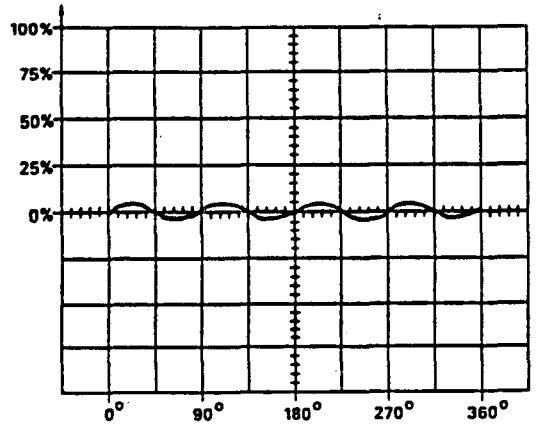
항공기 기체에서 floor panel이나 의자를 장탈하지 않고 짧은 주기로 동체의 frame을 검사하기 위해서는 borescope probe가 들어갈 수 있는 hole을 뚫어서 probe를 집어 넣어 검사하므로 장탈하는 부품을 최소한으로 적게 하여 경제적으로 수행할 수가 있다. Borescope probe는 각 probe마다 배율이 틀리는데 flexible probe는 1" 거리에서 1:1의 상을 나타내고 rigid probe는 2" 거리에서 1:1의 상을 나타낸다. 그래서 2" 이내로 근접하여 검사할 경우에는 결함이 확대되어 나타나므로 결함의 실측과 판정시에 주의를 기울인다. 최근에는 sizing program이 들어 있는 computer 전문장비가 개발되어 검사가 보다 정확하고 신속하게 수행된다.

4. 항공기의 비파괴검사에 관한 앞으로의 전망

이상에서 간단하게 살펴본 것과 같이 하늘을 날고 싶다는 욕망에서 비롯된 항공기가 이제는 대량 운송을 위한 최첨단 기술의 결정체로서 그 사명을 충실히 수행하는 문명의 이기(利器)가 되어 있다. 그러나 하늘을 난다는 것은 지상에서 걷거나 말이나 자동차를



(결함이 있을 때)



(결함이 없을 때)

Fig. 10. 장비의 CRT화면

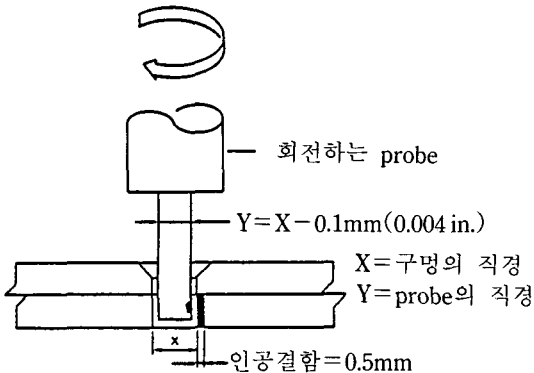


Fig. 9. Bolt hole에 probe를 넣은 그림

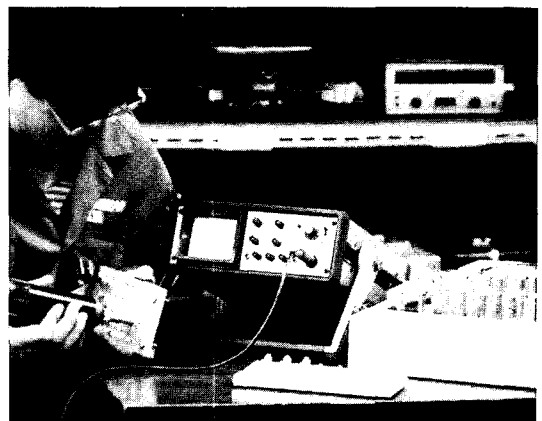


Photo. 6. Ref. std.에서 rototest장비를 보정하는 모습

타거나 하는 등 다른 운송체에 의해 움직이는 것과는 달리 안전에 관하여서는 많은 차이가 있다. 항공기의 운항 스케줄대로 움직이는 정시성이나 기내에서 승무원들의 서비스등 또는 기내 시설에 의한 쾌락성 등등은 모두다 안전성을 바탕으로 두고서야 이루어질 수 있는 것이다. 그리고 항공기가 오래되어 나이가 들어가면 그에 따른 검사부위도 점점 늘어나게 된다. 그러므로 비파괴검사가 항공기의 운용이나 전체적인 검사등의 한 부분으로 되어 있지만 어느 한 부분에서라도 소홀히 하여 누락될 수 없는 중요한 부분으로서 결국은 항공기를 안전하게 운항하는데 꼭 필요한 분야이다.

이러한 비파괴검사는 그 원리가 일반 산업에 적용되는 것과 항공산업에 적용되는 것이 동일하다고 보지만 항공기에 적용하는 비파괴검사는 항공기가 복잡하고 다양한 구조를 갖고 있으므로 검사하고자 하는 각 부분에

따라 필요한 시험편, probe 또는 transducer가 모두 다르고 또한 검사하는 접촉면이 다르기 때문에 그에 맞는 응용방법과 적용하는 기술면에서 많은 차이가 있다. 또한 최첨단의 기술을 응용한 새로운 형식의 항공기가 속속 개발되고 이에 따라 검사기술도 CT X-ray, Microspot X-ray, 레이저등 첨단분야를 응용하는 방향으로 개발되고 있다.

국영에서 민간항공사로 발돋움한지 20여년이 지났고 신기종인 B-747항공기를 도입하여 운용한 지도 15년이 넘고 있어 그간에 축적된 경험과 자료, 기술을 바탕으로 자체적인 검사개발 능력도 충분히 갖추고 있다. 또한 부분적이기는 하지만 항공기의 부품을 생산하는 단계에까지 와 있으며 앞으로 더욱 제작분야를 넓혀갈 것이므로 기술적인 부분이나 산업적인 면에서나 항공분야에서의 비파괴검사는 기술개발 및 응용에 대한 전망이 매우 밝다.