

## Membrane 제거를 위한 전용 시스템 개발

최운집\*(수성기체), 정원재(수성기체),  
성승학(부산대학교 기계공학과), 이득우(부산대학교 나노과학기술학부)

### Development of Deburring System for Aircraft Components

U. J. Choi(Soosung Airframe), W. J. Jeong(Soosung Airframe),  
S. H. Seong(Mech. Eng. Dept., PNU), D. W. Lee(Nano Sci.&Tech. Sch., PNU)

#### ABSTRACT

This paper is on the development of a system for removing membranes which is designed exclusively for aircraft components. Membrane removal solution is a most critical issue in aerospace industries since a method of manufacturing the components tends to be changed from fabrication of many parts to cutting into one body. The cutting method inevitably produces a huge amount of chips and then membranes remain in the body. The membrane removal process, as a result, becomes an important issue since it is directly related to productivity. We tried to develop a new machine which will replace the conventional method that uses a handy tool. The machine has been designed for a cutting tool set to follow the unique shape of the slot in the body by a cam follower and cut the membrane automatically. The design has been checked by structural analysis: stress and vibration analysis. A prototype test has been finished. This paper summarizes a series of development process of the deburring machine and some design issues are discussed.

**Key Words** : Aircraft component (항공기 부품), Membrane (멤브레인), Stringer (스트링거), System for elimination of membrane (멤브레인 제거 시스템)

#### 1. 서론

항공기 기체 산업은 기체 제작 및 조립 기술, 설비와 각종 시스템, 승인·인증을 포함하는 종합적인 시스템 산업으로 항공 산업 인프라 구축과 국제 경쟁력 확보를 위해 기체 제작을 위한 핵심 기술 개발이 시급히 요구되고 있다.

특히 항공기 기체 구조물의 제작 방식에 많은 공정 개발이 필요하다. 항공기 기체 부품은 동체 및 날개 구조물이 각종 Sheet metal 로 구성되어 있으며 소형 부품에서 대형 부품까지 다양한 크기의 부품으로 구성되어 있으며 Sheet metal routing NC 가공, Forming 및 Chemical 공정 등을 통하여 제작되어 왔다. 그러나 하나의 구성품을 제작하기 위해서 여러 개의 Sheet metal 을 판금하여 조립해야 하기 때문에 부품 수를 증가시켜 결과적으로 항공기 중량을 증가시키며 조립 시간 또한 증가하여 생산성

을 악화시키고 있다.

최근 선진국에서는 기존의 조립체 부품이 아닌 일체형 항공기 기체 부품을 절삭 가공을 통해 제작하고 있으며 이로 인한 생산성 향상을 도모하고 있다. 또한 항공기 기체 구조물의 일반적 특성인 다품종 소량 생산의 특성을 고려해 유사한 형상과 공정을 지닌 부품군들을 그룹화하여 전 공정을 일정한 공간 내에서 일괄되게 제작하는 Cell 개념 생산 방식을 도입하여 기술과 체계가 상호 상승 효과를 발휘할 수 있도록 하였다. 이 결과 효율적이고 경쟁력 있는 가공 공정 시스템을 구축하여 개발 기간의 단축과 단품 수량의 소조립 등 공정을 대폭 축소, 부품 제조 원가를 최소화하고 있다. 그리고 공작기계의 발전으로 인해 기존의 절삭가공보다 더욱 생산성이 높은 고속 가공을 이용하게 되었고 더 향상된 생산성 및 고품질의 부품을 가공하여 제품의 경쟁력을 높이고자 하였다.

하지만 일체형으로 항공기 부품을 제작함으로써 문제점이 발생하게 되었는데 그것은 가공 후 제품에 Membrane 이 남는다는 것이다. Membrane 은 대형 공작물을 가공시 진공척을 이용한 고정 방식으로 인해 공작물의 가공이 완전히 이루어지지 않고 얇은 막으로 남는 부분을 말한다. 현재 Membrane 을 제거하는 방법으로 절삭기를 이용해 수작업을 행하고 있는데 시간적, 기술적인 문제점들이 많이 발생하고 있다. 그래서 Membrane 제거를 위한 전용 시스템의 개발이 시급히 요구되고 있다.

본 연구는 항공기 부품의 제작 시 발생하는 Membrane 을 수작업이 아닌 기계적인 방법으로 효율적으로 제거할 수 있는 장치의 설계·개발에 관한 것이다.

## 2. Stringer 절삭시 발생하는 Membrane

항공기 기체 구조물 중 Stringer 의 가공 형상을 Fig. 1 에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 Stringer 의 형상을 완전히 가공하지 않고 잔여 부분이 남게 됨을 알 수 있다.

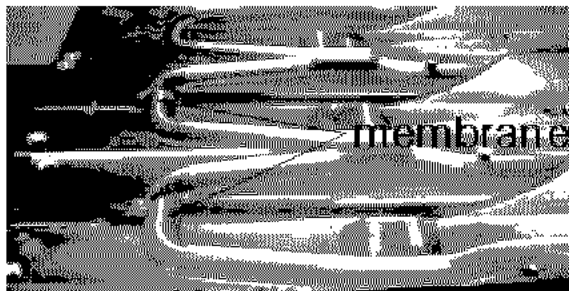


Fig. 1 Generating of membrane in cutting stringer

Stringer 의 Membrane 은 현재 가공 공정에서 1-2 mm 정도의 두께로 발생하고 있다. 현재 생산 현장에서는 발생한 Membrane 을 절삭기를 이용하여 가공물의 Membrane 외곽선을 따라 수작업을 이용하여 후처리를 하고 있는 실정이다. 수작업에 의존한 작업은 작업자가 절삭시 공구의 힘을 일정하게 유지할 수 없으며 절단면의 정밀도가 일정한 기준 공정은 힘든 노동을 필요로 함으로 작업의 기피 현상을 유발하고 있어 제품 생산성 향상에 큰 걸림돌이 되고 있다.

## 3. Membrane 제거 장치의 기본적 개념

항공기 기체 부품의 제작시 공용화된 진공척으로 인해 부품에 남게 되는 Membrane 을 기존의 수작업을 대체할 수 있는 기계적인 장치를 개발하고자 하였다. 이에 앞서 장치의 기본적인 개념 설계

를 수행해 보았다. Membrane 의 외곽선은 곡선의 형태로 존재하게 됨으로 제작될 Membrane 제거 장치는 이 외곽선을 따라 작업자의 별도의 노력 없이도 가공이 수행되어야 한다. 따라서 본 제거 장치의 가장 중요한 관점은 제거 장치의 공구를 Membrane 의 외곽선을 따라 자동적으로 안내할 수 있는 가이드라고 할 수 있다.

Fig. 2 는 Stringer membrane 의 외곽선을 따라 절삭 가공을 수행할 수 있도록 고안한 장치의 개념도이다. 절삭 공구는 일반적인 엔드밀을 사용할 것이며 Stringer 절삭 공정에서 Membrane 흠의 크기를 적당한 값으로 가공하여 정할 수 있다. 본 제거 장치의 개념도에서 가장 중요한 것은 공구가 Membrane 의 외곽선을 자동적으로 따라갈 수 있도록 해주는 안내 기구라고 할 수 있으며 여기서는 일반적으로 Cam follower, Roller follower 라고 알려져 있는 베어링의 개념을 이용하였다.

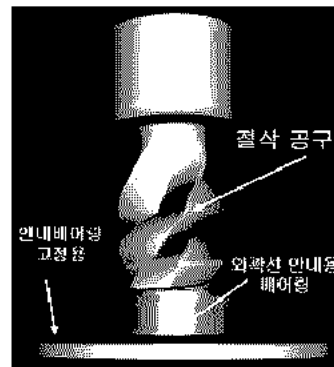


Fig. 2 Guide of system for elimination of membrane

본 제거 장치에서 사용될 절삭 공구는 일반적인 엔드밀과 형상에서 다소 차이를 가지고 있다. Fig. 2 에서 보듯이 절삭 공구는 크게 Membrane 을 절삭할 수 있는 인선 부분과 외곽선 안내용 베어링의 내륜과 결합하는 부분, 안내용 베어링을 Stringer 에 고정시키는 부분으로 구성되어 있으며 전용 공구로써 제작되어야 한다. 설계된 Membrane 제거 장치는 가공된 Stringer 를 뒤집어서 고정시켜 작업을 수행하도록 설계되었으므로 절삭 공구의 절삭 인선은 위쪽에 위치하며 안내용 베어링과 고정용 판은 밑부분에 위치하도록 설계되었다.

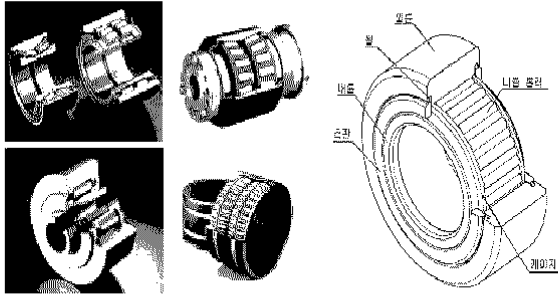


Fig. 3 Bearing for guiding the outline of membrane

Fig. 3 에 도시한 Roller follower 는 일반적으로 내부에 니들 베어링이 조립되어 있고 캠 판이나 직선 운동의 가이드 롤러로서 사용되고 있으며, 외륜과 내륜으로 구성되어 있다. 외륜은 Membrane 홈의 폭과 정확히 일치하는 치수로 제작하고, 내륜은 절삭 공구의 직경과 일치하게 제작하여야 한다. 또한 좌우의 Membrane 을 동시에 제거하기 위해서 제거 장치는 두 개의 절삭 장치를 장착할 계획이며 두 절삭 장치는 안내용 베어링이 Membrane 의 외곽선에 따라 좌우로 움직일 수 있도록 슬라이딩이 가능한 구조로 설계를 하여야 한다. 따라서 작업자가 제거 장치를 동작시켜 단순히 밀어주는 것만으로도 외륜은 Membrane 의 홈의 굴곡을 따라 절삭 공구를 안내하게 될 것이다.

#### 4. Membrane 제거 장치 제작

개념 설계를 바탕으로 개발된 Membrane 제거 시스템은 크게 주축 시스템, 이송 시스템, 제어 시스템으로 구성되어 있다. 주축 시스템은 회전 속도 24,000rpm 의 모터를 사용하였으며 공구와 Stringer 의 Membrane 사이에서 가이드 역할을 하는 Cam follower 를 장착하고 있다. 이송 시스템은 주축의 이송 방향 및 Cam follower 에 추가되는 하중에 따른 주축의 이송 방향과의 직각 방향으로의 이송을 위한 이송 시스템으로 구성되어 있다. 주축의 이송 방향 이송 시스템은 리니어 가이드를 사용하였으며 작업자의 수작업에 의해 주축을 이송 방향으로 이송하도록 설계되었다.

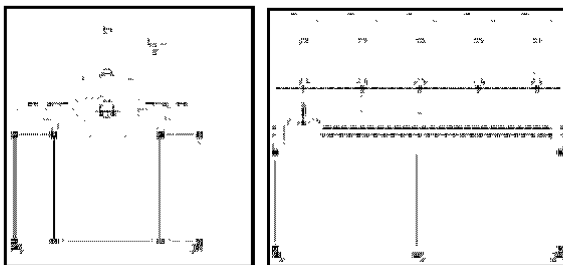


Fig. 4 Design of system for elimination of membrane

이 장치에서 가장 중요한 부분은 주축에 장착된 공구가 정확히 Membrane 의 경계선을 따라 가공을 수행할 수 있는지가 중요하며 이는 Cam follower 에 추가되는 하중에 적절히 대응하여 주축 시스템을 이송 방향과 직각 방향으로 어느 정도 이송을 제어할 수 있는가 하는 것이다.

그리고 주축 시스템의 이송 방향의 수직 방향의 이송을 제어하기 위해 공압 장치를 이용하였다. 공구와 Membrane 사이에는 Cam follower 가 장착되어 있으며 공구가 Membrane 을 따라 가공을 수행할 때 이송 방향의 수직 방향으로 하중이 발생하게 된다. 이는 Membrane 의 곡률에 따라 하중의 크기가 다르게 나타나며 이 하중의 크기에 따라 주축 시스템을 공압 시스템과 연계하여 좌우로 제어하도록 설계되었다. 실험 결과 약 3 kg/cm<sup>2</sup>의 압력에서 주축 시스템은 적절한 좌우 이송 제어가 되는 것으로 나타났다. 또한 본 시스템은 다양한 Stringer 및 Membrane 형상에 따른 적응성을 확보하기 위하여 주축의 좌우 이송을 제어하는 공압 초기 설치를 제어 장치에서 작업자가 직접 설정할 수 있도록 되어 있으며 작업 환경에 따라 적절히 제어할 수 있도록 제작되었다.

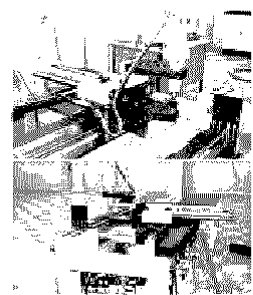
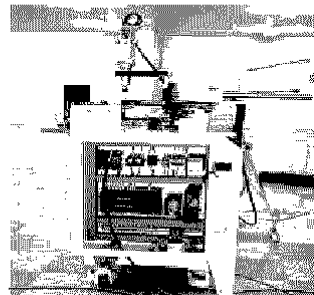
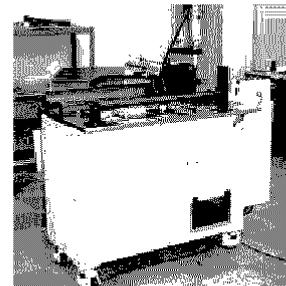


Fig. 5 Exclusive system for elimination of membrane

## 5. Membrane 제거 장치의 구조 해석

제작된 Membrane 제거 장치에 대하여 가공시 시스템 변형이나 떨림 등과 같은 구조적 문제에 대한 이론적 해석을 수행하였다.

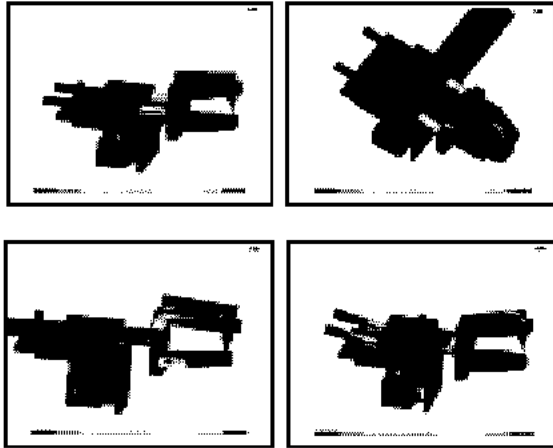


Fig. 6 Structural analysis of the deburring system

제작된 Membrane 제거 장치는 평균 약 3 mm 정도의 높이를 가지는 Membrane 에 Cam follower 의 일정 부분을 항상 접촉 시킨 상태에서 가공을 지속적으로 수행하여야 한다. 또한 가공에 의해 발생하는 절삭력 성분과 공압 시스템에 의해 일정하게 작용하는 힘, 시스템 자체의 중량에 의한 힘 등에 의해 전체 시스템 및 주축 시스템에 변형이 발생할 수 있으며 이로 인한 Membrane 가공 불량을 유발할 수 있다. 해석결과 Cam follower 가 가공물을 따라 이동할 때에 장치의 요소에 걸리는 응력은 Cam follower 근처를 제외하고는 미미한 정도로 나타났다. Fig. 6 은 진동의 기본모드 해석결과이다. 가이드 위에 놓인 이송부의 길이변화에 따라 기본 진동 모드 특성이 달라지고 각 경우에 스프링들의 회전 에 의한 공진을 피하도록 설계되는 것이 필요하다. 결론적으로 Membrane 자체는 매우 얇은 박막 형태 로써 절삭시 발생하는 절삭력이 매우 미약하며 자체 중량에 의한 변형 또한 매우 미약하여 전체적으로 가공시 주축 시스템의 변형에는 별다른 변화는 없는 것으로 나타났다.

## 6. 결론

현재 수작업으로만 가능한 Stringer 의 Membrane 제거 공정을 개선하여 작업자의 작업 기피 현상을 개선하고 보다 고품질의 Stringer 제품을 보다 높은 생산성 확보를 위한 목적으로 Membrane 제거 장치를 설계·제작하였다. 제작된 Membrane 제거 장치

는 자동화된 Membrane 제거 공정을 제공할 수 있으며 추가적인 보완작업이 끝나고 실제 활용되면 생산성의 대폭적인 향상이 기대된다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부의 중기거점기술개발사업 으로부터 연구비를 지원 받아 수행되었으며 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. E.E.Hardestry, "Design and construction of a large, fully automated tape placement machine for aircraft structures", Composites, Vol. 3, Issue. 6, pp. 248-253, 1972
2. J.P.Scanlan, J.D.G.Laughton, "The development of an automated forming machine for the manufacture of Airbus stringers", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 45, Issues. 1-4, pp. 193-198, 1994
3. David A.Clark, W.Steven Johnson, "Temperature effects on fatigue performance of cold expanded holes in 7050-T7451 aluminum alloy", International Journal of Fatigue, Vol. 25, Issues. 2, pp. 159-165, 2003
4. A.Heinz, A.Haszler, C.Keidel, S.Moldenhauer, R.Benedictus, W.S.Miller, "Recent development in aluminum alloys for aerospace applications", Materials Science and Engineering A, Vol. 280, Issue. 1, pp. 102-107, 2000
5. Stanley J., Paliwoda Andrea, J.Bonaccorsi, "Trends in procurement strategies within the European aircraft industry", Industrial Marketing Management, Vol. 23, Issue. 3, pp. 235-244, 1994