

L.T.A(lighter than air-vehicle) 기낭 개발

최동수*·강왕구**·김동민***·염찬홍**·박승신***·홍의석***

Development of lighter than air-vehicle envelope

Dong-su Choi, Wanggu Kang, Dong-min Kim, Chan-hong Yeom, Seung-sin Park, Eu-seok Hong

Key Words: 기낭(envelope), 막재료(membrane material), 열접합(heat seaming), 고어(gore), 내압시험(pressurization test), 기밀시험(sealing test)

Abstract

한국항공우주연구원과 신영중공업(주)는 L.T.A 비행체의 주구조물인 기낭(envelope)의 설계 및 제작을 국내 기술에 의해 개발하는데 성공하였다. 막재료를 고어로 재단하여 열접합으로 이어 붙여 제작하는 기낭의 개발에는 설계 및 제작에 기존의 항공기와는 구별되는 설계 및 제작기술이 요구된다. 본 연구에서는 개념설계 단계로부터 제작도면화 및 생산에 이르기 까지 전 공정을 국산화하는데 성공하였다. 본 논문에서는 이번 연구성과를 요약하였다.

1. 서 론

비행선, 열기구, 헬륨기구, 에어로스탯(aerostat) 등은 공기보다 가벼운 기체의 부력을 이용하여 비행하는 비행체로 L.T.A(lighter than air vehicle)로 분류된다. 부력가스로는 일반적으로 헬륨(He)이 사용된다. L.T.A에서 부력가스를 담아 부력을 발생시키는 부분을 기낭(envelope)이라 칭하며, L.T.A에서 가장 중요한 구조물을 형성한다.

L.T.A의 기낭은 제작 방식에 따라, 경식(rigid), 연식 (blimp or non-rigid) 및 반경식(semi-rigid)으로 구분된다 (그림 1.). 경식은 금속제 등으로 기낭 형상의 프레임을 구성한 뒤, 기낭의 외형을 씌우는 방식이다. 연식은 천을 이어 붙여 비행선의 형상으로 만든 다음, 내부 압력을 외부압 보다 높게 유지함에 따라 발생한 기낭의 막재응력(membrane stress)에 의한 강성을 이용해 구조물을 장착하는 방식이다. 반경식은 두 가지 방식을 적절히 혼용하여 사용하는 구

조 형식으로 일반적으로 기낭은 연식과 동일한 재료를 사용하며, 기낭 상부로부터 현가장치(suspension system)를 이용하여 골격구조(keel structure)를 지지하고 이를 활용하여 집중질량이나 집중하중을 견디도록 설계한다.

L.T.A의 초기에는 비행선 등을 연식으로 개발하는 것이 일반적이었지만, 현대에 들어서는 보다 가볍고 유연하며 고강도의 유연 막재료가 가능해져 반경식 혹은 연식의 기낭이 보편화되고 있다. 연식 비행선의 경우, 보다 경량의 기낭이 가능하며, 헬륨 누수를 효과적으로 방지할 수 있고, 구조가 간단하여 적은 제작비용이 소요된다는 장점이 있다. 하지만 연식 비행선의 경우, 기낭의 크기가 커질수록 기낭에 작용하는 장력이 커져, 크기에 제한이 있다는 단점이 있다. 현재까지 제작된 연식 비행선 중 가장 큰 비행선은 Goodyear사에서 제작한 ZPW-3W로 그 길이가 123m였다. 제펠린이 제작한 최대 경식 비행선인 힌덴부르크(Hindenburg)의 길이가 245m에 달했던 것에 비하면 제작할 수 크기가 매우 제한적이라는 것을 알 수 있다.[1]

과거 제작 가능한 연식 비행선의 최대 크기가

* 발표저자, dschoi@syhico.com 신영중공업(주)

** 한국항공우주연구원

*** 신영중공업(주)

제한되는 중요한 이유는 충분한 강도를 가진 유연재료(membrane material)를 확보하지 못하기 때문이었다. 하지만 HDPE(high density polyethylene), aramid fiber, vectran fiber 등 최신 고분자 화합물 섬유들이 개발되면서, 가볍고 강도가 강한 막재료가 가능해지며, 충분히 큰 연식 비행선의 가능성이 점점 커지고 있다[2].

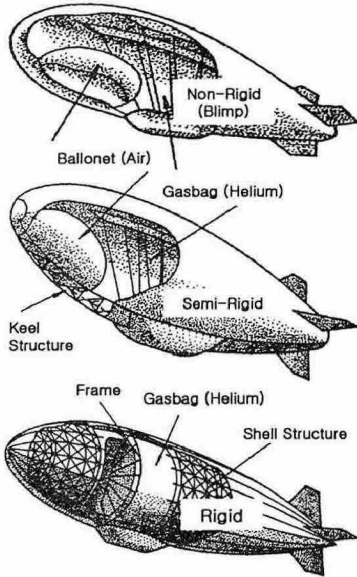


그림 1 비행선 구조형식

물론 거대 연식 비행선이 가능하기 위해서는 고강도의 경량재료의 구현뿐 아니라, 여압시스템, 거대 비행체 조종 시스템 등의 관련 부품과 거대 비행선을 운용하기 위한 지상장비 및 거대행거 등이 부수적으로 개발되어야 함은 물론이다.

한국항공우주연구원과 신영중공업(주)는 다목적 성층권 무인 비행선 개발의 일환으로 L.T.A 기낭 막재료를 국내 독자적으로 개발하였고, 기낭 설계 및 제작기술을 확보하였다. 본 논문에서는 이중 확보된 기낭의 설계 및 제작 기술에 대하여 간략히 정리하였다.

2. 기낭 설계 및 단품개발

L.T.A의 외형설계가 수행되면 이를 바탕으로 기낭의 설계를 수행한다. L.T.A의 기낭은 부력기체를 담아야 하므로 그 형상이 원형이나 시가 등의 형태를 띠게 된다. 기낭은 기낭내부의 압력과 부력을 조절하기 위한 공기낭(ballonet)이

포함된다. 내부의 부력가스와 막으로 분리되어 있는 공기낭은 외부 대기와 공기를 주고 받을 수 있도록 공기 밸브와 팬으로 구성된 여압조절시스템(pressure control system)이 부착되어 있다[3].



그림 2 형상설계된 L.T.A(관광용 벌룬)

이 여압조절 시스템을 통하여 외부의 공기를 주입하거나 방출함으로써 전체적인 내부의 압력을 조절하거나 (비행선의 경우) 부력의 위치를 조절한다. 기낭에는 부력가스를 주입할 수 있는 헬륨주입장치와 비상시에 헬륨을 방출할 수 있는 헬륨밸브 그리고 립패널(rip panel)등이 부착된다.

L.T.A의 기낭은 꼬리날개 등의 방향조절 장치와 승객이나 임무장비를 장착하는 곤돌라, 동력비행기의 경우에는 추진 시스템등과 연결된다. 기낭과 타 시스템의 연결은 패치를 사용한다. 패치는 기낭에 부착되는 구조물로, 기낭 막재료와 우레탄이 코팅된 스트립(strip)을 가공하여 제작한다.[그림 3]

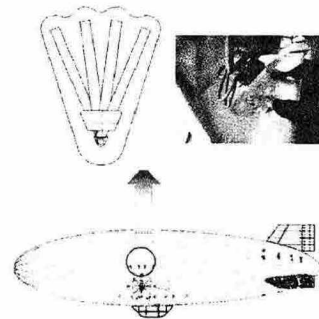


그림 3 장착물 부착용 패치(예)

기낭에 부착되는 외부 장착물과 패치의 위치가 결정되면 기낭을 제작하기 위한 2-D 평면도를

생산한다. 기낭을 제작하기 위한 2-D 평면도는 일반적으로 재단도면(cut-file)이라 부른다. 재단도면은 3-D의 기낭을 몇 개의 고어(gore)로 분할하여 펼쳐진 형상으로 이루어진다. 아래는 3-D 구형기구를 제작하기 위한 2-D의 재단도면을 보여준다.[그림4] 각 gore에는 부착물을 위한 컷아웃(cut-out)과 패치등이 표시된다. 2-D화된 도면을 바탕으로 기낭 막재료를 재단한 뒤, 접합하여 3-D의 기낭을 제작하는 것이다.

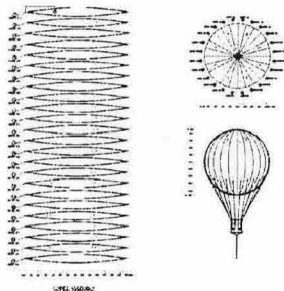


그림 4 벌론의 컷파일(cut-file)

3. 제 작

L.T.A 기낭의 제작은 기낭 막재료를 재단도면(cut-file)에 따라 제도 및 재단(plotting & cutting)을 수행함으로써 시작된다. 제도 및 재단은 수동과 자동의 방법을 쓸 수 있다. 수동방식은 마스터 고어(master gore)를 제작하고, 이에 따라 각 고어를 재단한 뒤에 각 고어별로 부착물의 위치를 그려 넣은 방법으로 대형 플로터가 대중화되기 전의 대부분의 기낭제작에 사용한 방법이다.[그림 5]



그림 5 고어 재단작업

현재는 대형 재단기를 통하여 재단과 부착물 제도를 동시에 수행할 수 있다. 각 고어별로 제도 및 재단을 수행할 시에는 각 고어별로 재료물성치 시험을 수행하는 것이 좋다. 신영중공업

(주)와 한국항공우주연구원은 각 고어별 막재료에 대하여 온도환경 챔버를 사용한 고온 제한 하중 시험(elevated temperature limit load test)을 24시간동안 수행하여 각 고어별 막재료의 재료건전성을 확보하였다. 재단된 각 고어는 재단 치수와 부착물의 위치에 대한 공차검사를 수행한다. 각각 기낭의 요구조건과 부착물의 위치 오차허용치를 고려하여 치수공차를 설정하고 이를 통한 치수관리를 각 고어별로 수행하고 이를 문서화한다.

항목	요구사항	결과
H+C 동시작업시간	120 sec/cycle	약 200 sec/cycle
H+C 개별작업시간	120 sec/cycle	약 60 sec/cycle
온도편차	±2 °C	±1 °C
Pressure	-	OK
Laser pointing /alignment	-	OK
Tape Guide	-	NOT GOOD
Tape magazine	-	OK
Driving mech.	-	Normal
기타	-	Normal
종합평가	개발규격에 비교의 충실도 검토, 작업성 양호(134 시험 제작 수행)	

그림 6 개발된 열접합기

각각의 고어는 접합(welding)에 의해 연결된다. 고어를 접합하는 방식은 접착제(adhesive)에 의한 접합, 고주파접합(RF welding) 그리고 열접합(heat welding)등으로 나뉘어 진다. 접합강도가 강하고, 오랜 기간 동안 접합강도를 유지할 수 있으며, 균일한 접합품질을 유지할 수 있는 열접합이 L.T.A 기낭제작에 가장 적합한 것으로 알려져 있다. 신영중공업(주)은 이번 연구를 통하여 국내에서 독자적으로 열접합기를 국산화하였다.[그림 6]

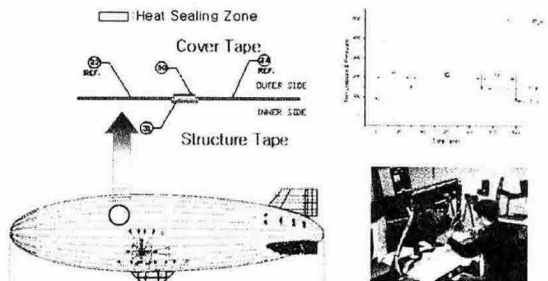


그림 7 고어 열접합

열접합은 보통 30~50cm의 길이에 폭5cm의 접합테이프(seaming tape)을 사용하여 고어를 이어 붙인다. 열 접합시에는 열접합 온도와 접합시의

압력 그리고 접합 시간, 냉각시간 및 온도 등이 중요한 변수가 된다. 특히 냉각온도 및 시간이 열접합의 품질을 좌우하는 큰 변수인 것으로 알려져 있다. [그림7]은 기낭제작에 사용되는 일반적인 열접합 개념 및 싸이클이다.

기낭부착물인 패치와 컷아웃 보강물은 고어와 별도로 제작한 뒤에 고어의 특정한 위치에 연결한다. 각각의 고어는 미리 정해진 순서에 따라서 연결된다. 고어를 연결하는 순서는 세심한 주의를 기울여서 선정되어야 한다. 방법은 접합된 고어에 계속적으로 고어를 덧붙여 나아가는 방법과 고어를 두개씩 연결하고 이를 다시 네 개씩 연결하는 식으로 부분품을 계속 만들어 나아가는 방식이 있다. 전자는 제작을 단순화시킬 수 있다는 장점이 후자는 초기에 접합된 고어의 크기가 커지지 않아 제작 속도를 빠르게 할 수 있다는 장점이 있다. 보통 두 가지를 혼합하여 최적의 제작순서를 정하는 것이 보통이다.

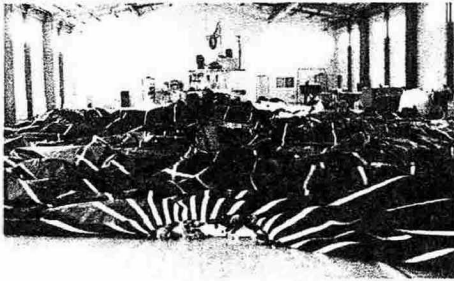


그림 8 기낭제작 과정

고어연결이 계속되어 마지막 고어를 연결하기 전에 기낭 앞 뒤쪽에 마감 패치를 붙인다. 고어들인 모여들어 모든 고어가 만나게 되는 기낭의 앞 뒤 부분에는 원형 패치를 붙여 마무리를 하게 된다. 마감 패치가 연결되면 마지막 고어를 연결하여 최종적으로 3-D 기낭을 완성한다.[그림 8]

4. 성능 입증 시험

기낭제작 후, 제작품질을 확인하고 공기 기밀성(air tightness)를 측정하기 위한 성능 입증 시험(Factory Acceptance Test)을 수행한다. 성능 입증 시험은 기밀시험()을 수행하는 것이 일반적이다. 기밀시험은 제작된 기낭에 공기를 최대 운용내압의 1.5~2배까지 가압한 뒤에 부풀림 형상을 확인하고 적정 운용내압으로 가압한 뒤에 한

시간 이상 내압의 변화를 관찰하여 기낭의 기밀성을 검사한다. 내압의 감소가 목격될 경우, 편홀 등을 찾아 적절한 방법에 의하여 보수작업을 수행한다. 내압의 감소가 더 이상 일어나지 않는다면 경우 충분한 기밀성을 확보했다고 판단할 수 있다.

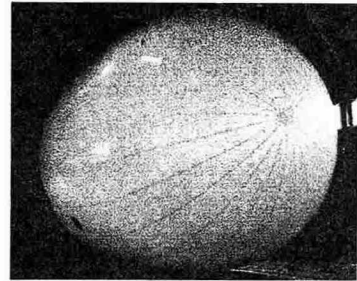


그림 9 완성된 기낭

5. 결론

신영중공업(주)은 한국항공우주연구원의 도움으로 중대형급의 L.T.A 기낭을 국산화하는데 성공하였다. 이는 지금까지 소형 비행선을 수작업만으로 제작하는 수준이었던 국내 L.T.A 기술을 한단계 더 도약시킨 것으로 판단된다. 신영중공업(주)은 확보된 기술을 바탕으로 다양한 L.T.A 개발을 추진하여 국내 L.T.A 기술을 세계 일류 수준으로 도약시키고자 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부 주관인 차세대 신기술사업의 일환으로 진행중인 "다목적 성층권 장기체공 무인비행선 개발" 사업을 통해 수행되었음.

참고문헌

- [1] <http://airship.kari.re.kr/>, 다목적 성층권 비행선 개발사업 홈페이지.
- [2] 강왕구, 김동민 외 3명, "비행선의 구조 및 재료," 한국항공우주학회지 제29권 제2호, pp.141-151, 2001.
- [3] G.A. Khoury, J.D. Gillet, "Airship Technology", Cambridge Univ. Press, 1999
- [4] FAA-P-8110-2, Airship Design Criteria, U.S Department of Transportation Federal Aviation Administration, 1995.