Zeppelin사의 비행선 개발 및 운용 (1)

이상종, 김동민, 강왕구, 김성욱, 이해창, 염찬홍
한국항공우주연구원

Development and Operation of the Zeppelin Airship (1)

Sang-Jong Lee, Dong-Min Kim, Wang-Gu Kang, Sung-Yug Kim, Hae-Chang Lee
and Chan-Hong Yeom

I. 서 론

한국항공우주연구원 비행선그룹에서는 산업자원부의 차세대 신기술 개발사업인 『성충권 장기체공 무인비행선의 체계종합기술 개발』 1단계 사업을 수행하고 있으며, 올 7월부터 전남 고흥에 소재한 항공센터에서 50m급 성충권 개념 시제 무인비행선의 비행시험을 계획하고 있다.

상기 사업과 관련하여 무인 비행선의 비행시험을 성공적이고 원활하게 수행하기 위해 필요한 비행선 지상운용(Ground handling) 기술과 무인 비행선 조종사의 비행훈련을 목적으로 지난 4월 독일 Zeppelin Luftschifftechnik사에서 훈련이 수행되었으며, 본 특집은 이 기간동안 수집된 정보와 자료를 정리한 것으로 현재 세계적으로 가장 성공적인 비행선 개발 및 운용을 하고 있는 독일 Zeppelin의 비행선 개발 현황 및 기술현황을 2회에 걸쳐 간략하게 소개하고자 한다.

우선 1회에서는 Zeppelin사의 비행선 개발 역사와 1997년 개발이 완료되어 현재 운영중인 Zeppelin NT LZ N07 비행선에 대한 구조 시스템과 기납 및 지상운영에 대해 정리하였다.

II. Zeppelin사의 비행선 개발 역사

Zeppelin사는 1890년도에 경식 비행선(rigid airship)을 개발하여 비행선의 대형화에 기여한 Ferdinand Graf von Zeppelin(1838~1917)이 설립한 Deutsche Luftschiffahrt A.G사를 모태로 비행선 역사에 남는 Zeppelin

이라는 이름을 이어받은 회사이다.

비행선 개발 역사에 있어서 1900년부터 1916년까지는 Zeppelin 시대라해도 과언이 아닐 정도로 Zeppelin사는 최초의 비행선 모델인 LZ 1 (그림 2)의 개발·제작을 시작으로 세계 최초로 대서양 횡단 비행과 1929년 독일 Friedrich-shafen, 미국 뉴욕, 일본의 동경을 잇는 세계일주를 성공한 LZ 127 'Graf Zeppelin'을 개발하였고, 지금까지 하늘을 날았던 가장 큰 비행체로 역사에 기록

그림 1. Ferdinand Graf von Zeppelin (1838~1917)

그림 2. Zeppelin사의 LZ 1 비행선

그림 3. Zeppelin사의 LZ 127 비행선

그림 4. Zeppelin사의 LZ 129 비행선

된 LZ 129 'Hindenburg'호까지 총 119척의 비행선을 제작하여 상업적인 여객수송 사업에서 번영을 누렸다.

Zeppelin 비행선은 1차 세계대전 중 런던 기습공격에도 사용되었으며, 이는 전략적 폭격의 시초이기도 하다. 전쟁이 진전되면서 Zeppelin 비행선은 영국 본토에 200톤에 달하는 폭탄을 쏟아 붓는데, 이 새로운 무기가 영국인들에게 가져다 준 공포감은 실로 엄청났다고 한다. Zeppelin의 비행선중 가장 큰 성공을 거둔 비행선은 LZ 127 'Graf Zeppelin' (그림 3)으로 1928년~1937년 9년 동안 비행활동을 하였으며, 1928년 최초의 대서양 횡단비행과 1929년 8월의 세계일주를 기록하기도 했다. 선체 길이는 235m, 직경 30m, 총중량 111톤으로 500마력의 엔진 5개를 장착하고 순항속도 110km/h로 20명의 승객을 태울 수 있었다.

이러한 Zeppelin의 비행선 성공은 1937년 미국 뉴저지의 레이크 허스트에서 발생한 LZ-129 힌덴부르크 비행선 (그림 4)이 원인 불명의 폭발로 전소되면서 급격한 쇠퇴의 길을 걷게 된다. 힌덴부르크호는 1936년에

취항한 이후 62회의 비행을 작은 사고도 없이 마쳤으며, 이중 35회는 대서양 횡단비행이었다.

III. Zeppelin사 시설 및 유인 비행선 (Zeppelin NT LZ N07)

3.1 Zeppelin사 소개

2차 세계대전 까지 영광과 성취를 경험한 Zeppelin의 비행선은 현대에 들어 대형 물류 운송이나 성층권의 통신 중계 등 새로운 수요를 통해 비행선에 대한 관심이 모아지면서 새로운 도약의 시대를 맞이하게 된다.

Zeppelin 사는 관광 목적의 비행선 Zeppelin NT LZ N07이라는 새로운 모델의 비행선을 개발하면서 1993년도에 Zeppelin Luftschifftechnik GmbH라는 이름으로 재설립 되었으며, 현재 독일 남부의 휴양 관광지인 Friedrichshafen에 행거 및 지상지원시설을 갖추고, 12명의 승객을 태울 수 있는 관광용 유인 비행선을 운영하고 있다.

Friedrichshafen은 스위스, 오스트리아와의 접경지역인 독일 남부에 위치하고 있는 아름다운 도시로, 이 접경사이에 570 km² 크기의 큰 호수인 Bodensee가 알프스 산맥을 뒤로하고 펼쳐져 있으며, 비행선하면 Zeppelin이라는 이름이 떠오를 정도로 비행선 역사에 한 장을 장식한 Ferdinand Graf von Zeppelin의 생가와 기념 동상 및 Zeppelin 비행선 박물관도 이곳에 소재하고 있다.

Zeppelin사는 발달된 현대의 항공기술을 반영한 Zeppelin NT LZ N07 모델의 14인승 관광용 유인 비행선을 개발을 1997년도에 완료하고 초도비행을 실시하였으며, 현재까지 1,640회의 비행과 1,675시간의 비행시간을 기록하고 있다. 작년 한해 14,000명의 유료 관광객을 탑승시켜 상업화에 성공하였다. 기술적인 개발과 지원은 Zeppelin Luftschifftechnik GmbH에서 맡고 있으며, 관광운송에 관련된 탑승 예약, 비행선 지상 운영 및 조종은 자회사인 DZR (Deutsche Zeppelin Reederei GmbH)에서 맡고 있다.

관광을 위한 승선 요금은 1시간 비행에 335로 한화로 약 40만원이 소요되며, Zeppelin사가 소재한 독일 남부

Friedrichshafen에서 이륙하여 독일, 스위스, 오스트리아 국경사이에 위치한 넓은 호수인 Bodensee 상공을 따라 동·서 두개의 비행루트(그림 5)로 비행하며 스위스의 알프스 등 천혜의 절경을 감상할 수 있다. 아래 그림은 비행선 탑승을 기다리는 관광객들의 모습과 비행선에 탑승하여 내려다 본 Friedrichshafen 항구의 모습이다(그림 6).

그림 5. Zeppelin사의 관광비행선 비행루트

그림 6. 탑승객들과 하늘에서 내려다본 절경

3.2 Zeppelin 유인 비행선 및 행거

Zeppelin NT LZ N07 유인비행선은 그림 7과 표 1과 같은 제원을 가지고 있는데, 주요 제원으로는 동체길이 75m, 최대 동체직경 19.5m, 높이 17.4m로 기낭의 체적은 $8,225\text{m}^3$ 이고 공기낭(Ballonet)의 체적은 $2,220\text{m}^3$ 이다.

전방과 후방에 2개의 공기낭을 가지고 있으며, 각각 Fan과 Valve가 장치되어 있어, 고도 변화 및 자세변화에 따른 압력을 조절할 수 있다.

추진 시스템으로는 200마력의 피스톤 왕복동 엔진 3개를 사용하고 있으며, 각기 가변 피치 프로펠러를 사용하여 추진력을 얻는다.

그림 7. Zeppelin 유인비행선(LZ N07)

표 1. Zeppelin 유인비행선 (LZ N07) 제원

Dimension	Length	75.0 m
	Max. width	19.5 m
	Height	17.4 m
	Envelope volume	$8,225 \text{ m}^3$
	Ballonet volume	$2,220 \text{ m}^3$
Gondola	No. of seats	2 + 12
	Cabin volume	26.0 m^3
	Cabin length	10.7 m
Mass	Max. take-off weight	8,040 kg
	Payload	1,900 kg
Propulsion	3×Textron Lycoming IO-360	147 kW (200hp)
Performance	Max. level flight speed	70knots (125 kph)
	Range	900 km
	Ceiling	2,600 m
	Max. endurance	approx. 24hr

그림 8. Zeppelin사 행거

그림 9. Zeppelin사 계류장

조종성의 효율을 높이기 위하여 좌측/우측 및 후방 프로펠러는 Swivel 시스템(Tilting 시스템)을 통해 엔진과 연결되어 있으며, 유압을 통해 작동하게 된다.

좌측 및 우측 엔진은 각각 프로펠러와 함께 상방으로 120°까지 틸팅이 되도록 설계되어 있으며, 후방 엔진은 Lateral 조종 프로펠러와 후방 프로펠러에 동력을 공급하도록 구성되어 있고, 후방 프로펠러만 틸팅 시스템이 장치되어 있다.

후방 프로펠러는 이·착륙 및 정점체공시에 하향으로 90°까지 틸팅되어 엘리베이터와 같이 비행선의 피치자세를 조종할 수 있도록 되어 있으며, 순항시는 0°로 틸팅되어 주 추진력을 제공하도록 되어 있다.

조종석은 2명의 복좌식으로 구성되어 있으며, 12명의 승객을 탑승시키고 최대 속도 70knots (125kph)를 낼 수 있으며, 운항거리는 900km로 압력고도 2.6km까지 상승할 수 있다.

비행선의 정비 및 유지·보수를 위한 비행선 행거는 폭 34m, 길이 110m로서 Friedrichshafen 공항 바로 옆에 위치하고 있으며(그림 8), 행거 좌측에 3층의 사무실을 갖추고 엔지니어 및 운영요원들이 상주하고 있다. 비행선은 비행시에 그림 9과 같이 행거 앞에 위치한 계류장으로 옮겨져 비행전 사전점검(Preflight check)을 수행하고 비행을 시작하게 된다.

IV. Zeppelin 비행선의 구조

4.1 기낭 및 내부 구조물

Zeppelin 비행선은 반경식 (semi-rigid) 비행선으로, 반경식 비행선은 기낭내에 별도의 구조물을 가지고 있어, 이 구조가 하중을 지지하고 기낭은 내압으로 형상만을 지지하도록 설계된 비행선이다. Zeppelin 비행선의 내부구조 형식은 다음 그림 10과 같다.

Zeppelin 비행선의 내부 구조는 비행선의 앞뒤를 가로지르는 3개의 론저론 (longeron)과 론저론을 연결하는 3각대를 주 구조로 하고 있다.엔진을 지지하기 위한 Engine Crossbeam과 꼬리날개를 지지하기 위한 Empennage Support Beam의 강보 (rigid-bar)에 의해 엔진과 꼬리날개가 하단부의 론저론과 연결된다. 후방에는 후방 착륙장치와 꼬리날개를 내부구조와 이어주는 3각의 구조를 가지고 있으며, 전방에서 후방으로 길게 이어지는 평판은 cat-walk로 비행선의 정비/보수를 위한 구조물이다.

내부 구조와 비행선의 기낭은 그림 11과 같은 knot-plate를 사용하여 연결되며, 이

그림 10. Zeppelin 비행선의 내부구조 형상

그림 11. Knot-plate

그림 12. Zeppelin 비행선의 Nose 콘 및 기낭

그림 13. Zeppelin 비행선의 전방 착륙장치

부분에서 전달되는 하중은 론저론에 전달되고, 하중 전달에 의하여 발생하는 론저론의 비틀림을 방지하기 위하여 같은 3각대를 설치하였다.

Zeppelin 비행선의 기낭은 그림 12와 같다. 기낭제작에 사용된 재료는 tedlar-polyester-PU의 laminate로 구성된 재료로, 면밀도 200kg/m^2 , 하중 26kgf/cm 를 가진다. 비행선 기낭은 열접착에 의하여 제작되

며, 일반 연식(non-rigid) 기낭과 비교하여, Zeppelin 비행선과 같은 반경식 비행선은 기낭제작에 있어 조금 다른 방식을 취한다. 즉, 내부 구조를 기낭 안에 넣기 위하여 기낭은 앞뒤 방향으로 4개의 부분으로 분리되어 제작되고, 분리되어 제작된 기낭을 앞쪽과 뒤쪽에서 내부구조를 덮어 씌운 후 분리된 기낭을 원주방향으로 접합한다. Zeppelin 사는 이를 위하여 Hand held seaming machine을 사용하였다.

4.2 착륙장치

Zeppelin 비행선은 전후방에 두개의 착륙장치를 가지고 있다. 전방 착륙장치(그림 13)는 곤돌라의 하부에 위치하며, 착륙시 발생하는 충격하중을 흡수하는 역할을 담당한다. 즉 Zeppelin 비행선은 전방 착륙장치가 먼저 지면에 닿은 nose-down 방식의 착륙을 수행한다. 전방 착륙장치가 지면에 닿으면, 비행선의 자세를 조절하여 후방 착륙장치를 지면에 닿게 한다. 후방 착륙장치(그림 14)는 비행선의 후면, 조종면 바로 전방에 위치한다. 후방 착륙장치는 비행선의 지상 운용시 주로 이용되며, 비행선이 정박해 있는 경우에 전방 착륙장치나 mooring point를 중심으로 바람에 의해 좌우로 움직이게 된다. 이때 후방 착륙장치가 비행선이 자유롭게 회전하도록 한다. 후방 착륙장치는 비행선의 이동시에도 사용된다. 비행선의 앞부분을 Mast-truck으로 고정한 뒤, 전방 착륙장치가 지면에 닿지 않도록 비행선의 자세를 조절한 뒤에, 비행선을 이동한다. Zeppelin 비행선의 경우, 수직 이·착륙이 가능하여 착륙시 발생하는 충격하중은 기타 비행선에 비해 상당히 작은 편이다. 하지만 대형비행선으로 큰 중량을 가지므로 지상 운용시 매우 큰 하중이 발생하는 편이다. 이로 인해 후방 착륙장치에 큰 하중이 발생한다. 그림 12와 13은 Zeppelin 비행선의 전/후방 착륙장치를 보여준다.

비행선은 자체중량을 조절하기 위하여 Ballast를 사용한다. 부력대 중량비(Buoyancy to Weight)를 일정하게 유지함으로써 비행선의 고도가 급격하게 상승하거나 하강하는 것을 막고, 이·착륙시 하중을 최소화시키기 위함이다.

Zeppelin 비행선은 물과 납탄(lead shot)

그림 14. Zeppelin 비행선의 후방 착륙장치

그림 15. Zeppelin 비행선의 물 탱크

두 가지종류의 Ballast를 사용한다. 물은 비행시 사용하며, 총 용량 760 liter이다. 물 Ballast는 곤돌라 하단부에 위치한 물탱크(그림 15)에 저장하며, 지상 계류시 full-tank 상태를 유지하다가 이·착륙시에 조종사의 수동 조작을 통해 물을 버릴 수 있게 설계되어 있다. 납 ballast는 지상 운용시에만 사용하며, 10kg shot bag으로 중량을 나누어서 필요한 무게를 곤돌라 하부에 장치된 3개의 ballast함에 장착한다. 후방착륙장치에도 행거 진·출입(Hangar In&Out)시에는 ballast 장착하여 운용하며, 연료 또한 일종의 Ballast로 활용된다.

Zeppelin 비행선은 비행중에 필요한 경우 엔진 연료탱크내의 연료를 이동시켜 무게중심을 맞출 수 있도록 되어 있다. 엔진 3개는 각각 별도의 연료탱크를 가지고 있으며, 각 연료탱크는 밸브와 펌프를 장착하여 서로 연결되어 있어 각 탱크간에 연료이동이 가능하도록 되어 있다. 기존 비행선에서는 비행선 앞뒤에 Ballast를 조절하여 무게중심을 이동시키는 방법을 사용한다.

V. Zeppelin 비행선의 지상 운용

5.1 헬륨 주입 (Helium Inflation)

비행선의 지상 운용에 있어 가장 중요한 것은 부력 기체인 헬륨을 기낭에 넣고 유지

그림 16. Zeppelin 비행선의 헬륨 포트 (곤돌라 후방)

그림 17. Zeppelin 비행선의 헬륨 포트 (곤돌라 전방)

그림 18. Zeppelin 비행선의 헬륨 저장 Bag

/관리하는 것이다. Zeppelin 비행선은 기낭 상부에 Helium inflation port를 가지고 있고, 기낭 하부에 2개의 Helium port를 가지고 있는데, 그림 16과 같이 곤돌라 뒤쪽에 한개를 장치하고 있고, 그림 17과 같이 곤돌라 전방에 또 한개의 Helium port를 장치하고 있다.

Zeppelin 비행선의 헬륨 주입과정은 Helium Purifier에서 비행선 상단 Helium inflation port로 헬륨을 주입하고 하단의 헬륨 포트에서 헬륨을 뽑아 헬륨 저장 bag으로 이동시킨 후 헬륨 저장 bag의 헬륨을 다시 Helium Purifier로 이동시켜 헬륨의 순도를 증가시키는 방식으로 수행된다. 그림 17과 18은 헬륨 포트와 헬륨 저장 Bag을 보여준다.

5.2 지상 모니터링 및 기낭수리

헬륨을 기낭에 채운 뒤에는 헬륨의 누수와 부력을 주기적으로 모니터링 해야 한다. 비행이 끝나고 비행선이 행거안으로 들어온 후에는 그림 19와 같은 지상 모니터링 장치를 곤돌라 하부에 장치하고 각 센서와 연결하여 지상 모니터링을 시작한다.

Zeppelin사에는 부력에 영향을 주는 요소들을 정의하고 이 값들을 지상 계류시 한시간 간격으로 측정하여 기록하여 지상 모니터링을 수행하는데, 주로 기록되는 항목은 전후방 공기낭의 높이, Super Heat 및 대기 온도 (super heat에 의한 부력 증가량을 계산해 놓아야 함), 대기압, 헬륨압력 및 공기낭 압력, 헬륨 순도 등이다. 이 데이터들을 측정하여, 미리 계산된 헬륨부력 공식을 사용하여 전체 헬륨 체적을 모니터링 해야 한다.

그림 19. 지상 모니터링 장치

그림 20. 지상 여압장비

헬륨이 공기낭에 유입된 후에는 핀홀(pin hole)이나 기낭/공기낭의 표면으로 외부 습기가 유입되어 헬륨 순도가 계속 낮아지나, 유입 후 약 10일 정도 가량은 외부의 습기 유입으로 인한 실제 헬륨 손실보다 체감 손실이 낮게 나타날 수 있음을 주의할 필요가 있다. 내·외부의 습도가 같아지면 급격하게 헬륨부력의 감소가 시작되어, 예상보다 부력의 감소가 클 가능성이 존재한다.

다음으로 중요한 것은 공기낭의 압력을 일정하게 유지시켜 주는 것으로, 비행선이 행거안에 격납되어 있을 시에도 밤낮의 기온차 등에 의해 발생하는 압력차를 모니터링하여 압력을 유지시켜 주어야 한다. 이때는 그림 20과 같은 지상 여압장비를 공기낭 Fan에 연결시켜 공기낭의 압력을 계속 모니터링 하면서 필요시에 외부전원을 통해 공기를 불어넣어 주는 방법을 사용한다.

비행선의 유지/정비에 중요한 사항 중에도 다른 하나는 기낭 및 공기낭의 수리이다. 공기낭과 기낭에 가장 잘 나타나는 손상은 핀홀 (pin hole)로 불리는 작은 홀에 의한 헬륨의 누수이다. 이 핀홀은 구조재의 손상 없이 헬륨막의 손상이 있을 경우에 해당되는데 주로 Poly-urethane paint를 칠해서 수리한다. 하중막이 손상된 경우에는 손상의 크기가 20cm 이하의 손상일 경우 손상된 부위보다 5cm씩 더 큰 패치를 adhesive를 이용하여 접착하며, 손상의 크기가 20cm 이상일 경우에는 제작 부서에서 손상 수리하는 것이 일반적이다.

기낭/공기낭의 손상을 판단하는 기준을 수립하는 것 또한 매우 중요하다. 헬륨 순도

가 하루에 0.3% 이상 감소시 필홀이 발생한 것으로 판단하며 헬륨 순도의 급격한 변화가 있을시 공기낭과 기낭에 들어가 육안 확인을 수행한다. 이때 주의할 사항으로는 공기낭에 유지/보수원이 출입시는 공기낭 산소 농도가 19% 이상임을 언제나 확인해야 한다는 것이다. 공기나 산소농도가 19% 이하일 경우에는 사망 가능성이 큼을 언제나 유지/보수원들은 인식해야 한다.

5.3 행거 진출입 및 계류

비행선은 고정익 항공기와는 달리 바람에 매우 취약한 특성을 가지고 있기 때문에 지상운영시에 매우 세심한 주의가 필요하다. 특히 비행을 위해 행거에서 비행선을 계류장으로 이동시킬 때나 비행을 마치고 행거로 다시 진입시에는 측풍에 의해 비행선이 행거 출입구에 충돌하여 파손되는 사고가 종종 일어나기 때문에 각별한 주의가 필요하다.

Zeppelin사는 이러한 행거 진출입시에 보다 안전한 운영을 위하여 그림 21에서 보여

지는 Mooring mast truck을 자체 제작하여 사용하고 있다. Mooring 트럭에는 일반적으로 비행선에 사용하는 삼각대 구조의 Tripod 대신에 Mooring mast가 장치되어 있고, 비행선의 노즈콘(Nose cone)에 연결된 Nose-line를 윈치(Winch) 시스템으로 감아서 고정시킨 후 행거 진출입을 수행한다.

행거 진출입시에는 지상운영에 대한 모든 권한을 갖고 있는 Ground Chief와 조종사의 지시에 비행선의 이동이 진행되며, Zeppelin 사의 경우는 바람의 속도가 7 knots 이상이 되면 행거 진출입을 수행하지 않는다.

계류장으로 이동한 후에는 그림 22과 같이 Mooring mast truck을 사용하여 지상계류를 수행하고, 비행전 점검 (Preflight check) 절차를 수행한 후 이상이 없으면 비행을 위한 이륙이 시작된다.

VI. 결 론

21세기 들어 첨단 비행선에 대한 관심과 수요가 전세계적으로 증가되고 있으며, 국내에서도 성층권 비행선에 대한 개발사업이 착실하게 추진되고 있다. 올 7월부터는 전남 고흥에 소재한 항공센터에서 50m급 성층권 개념 시제 무인비행선의 비행시험이 수행될 것이며, 이를 성공적으로 마친 후에는 고도 20km에서 장기체공하는 길이 200m급의 성층권 비행선 개발이 계속적으로 추진될 예정이다.

독일 Zeppelin 비행선은 현재 개발되어 운영되고 있는 비행선중에서 가장 우수한 시스템을 갖추고 있으며, 운용을 위한 지상 장비, 지상점검 절차, 운용절차 및 비행점검 절차 등은 이미 문서적으로나 관리·적용면에서 상세하게 구축되어 효율적으로 활용되고 있다.

본 특집에서는 Zeppelin 사의 비행선 개발 역사를 간단하게 살펴보고, 현재 운영중인 Zeppelin NT LZ N07 유인 비행선의 구조와 지상운영에 대한 중요사항을 정리하였다. 다음 2호에서는 Zeppelin 비행선의 여압 시스템과 조종 시스템을 중심으로 소개하고자 한다.

본 특집이 국내 비행선 개발에 관심을 갖고 있거나 참여하고 있는 연구관계자들에게

그림 21. 행거 진출입 모습

그림 22. 지상계류시의 모습

많은 참고가 되기를 바라며, 직접적으로는 국내에서 개발을 추진하고 있는 성충권 비행선의 개발시에 참고자료로 활용될 것이다.

참고문헌

- [1] <http://www.zeppelin-nt.com>
[2] 강왕구 외 4인, "비행선의 역사 및 신개념 비행선" 한국항공우주학회지, 제29권 제2호, 2001.

- [3] <http://www.zeppelinflug.de>
[4] <http://www.zeppelin-museum.de>
[5] "Airship Ground Handling Manual," Zeppelin Luftschifftechnik GmbH, Apr. 2001.
[6] "Airship Flight Manual and Pilot's Operating Handbook, Zeppelin Luftschifftechnik GmbH, Aug. 2001.
[7] <http://airship.kari.re.kr> "다목적성충권 비행선 개발 홈페이지(한국항공우주연구원)"