

論文

십자형 낙하산의 방향 제어에 관한 풍동시험 연구

임주창*, 김범수**

A Wind Tunnel Test for Directional Control of Cruciform Parachutes

Ju-Chang Lim* and Beom-Soo Kim**

ABSTRACT

Wind tunnel tests were conducted to compare gliding and turning performance of normal cruciform parachutes with newly modified cruciform parachutes. Modified cruciform parachute has better gliding performance than original cruciform parachutes but, modified cruciform parachute has worse turning performance than original cruciform parachute.

초 록

기본적인 십자형 낙하산과 새롭게 고안된 십자형 낙하산의 활강 및 회전 성능을 풍동 실험을 통해 정성적으로 비교하여 보았다. 실험 비교 결과 새로이 고안된 낙하산의 활강 성능은 기본 십자형보다 좋았으나 회전 성능은 보다 떨어졌다.

Key Words : cruciform parachute(십자형낙하산), canopy, wind tunnel testing(풍동실험)

1. 서 론

최근 미국을 비롯한 여러 국가들은 우주탐험 후 지구귀환용 낙하산 및 수송기로부터 지상 화물 낙하를 정확하게 하기 위한 낙하산 연구에 투자를 하고 있다. 특히 고도 2만5천 피트에서 만파운드의 물체를 정확하게 배달하기 위한 목표로 연구하는 JPADS(Joint Precision Airdrop System) 관련 연구의 ACTD(Advanced Concept Tech Demo) 프로그램은 미국 Yuma 기지에서 국제 기술 전시로 최근의 낙하산 기술진보 현황을 보여주고 있다[1]. 낙하산에 GPS와 제어를 장착하여 원하는 위치에 화물을 정확히 도착시키기

위한 연구는 미국 육군의 중요한 과제중 하나이다. 이러한 프로젝트에서 원형낙하산을 사용하는 하지만, 제작이 용이하고 보다 쉽게 비행 경로 수정이 가능한 십자형 낙하산이 사용되며 본 연구의 고려 대상이다.

낙하산에 관련된 연구는 미국과 한국에서 이루어지고 있고[2-5] 관련된 설계매뉴얼도 나와 있다[6]. 그러나 한국에서는 십자형 낙하산의 활공 능력에 관련된 연구 논문은 아직까지 없었다. 십자형 낙하산에 관련된 실험연구로는 美 Saint Louis 대학의 Potvin[7] 등 몇 대학에서 축소형의 모델을 이용하여 풍동실험을 실시하였고 美 육군과 공군에서도 실물 실험을 통하여 낙하산의 활공성능을 검증하고 있다. 미 육군은 2010년부터 지금의 원형 낙하산 T-10 을 십자형 낙하산인 ATPS(Advanced Tactical Parachute System) 로 바꿀 계획이다. 십자형 낙하산은 착지 속도가 25% 줄어 들어 착지시의 부상을 줄여 주나 퍼진 지름은 원형보다 14% 크다.

† 2005년 12월 26일 접수 ~ 2006년 8월 17일 심사완료

* 정희원, 인하대학교 대학원 항공우주공학과

** 정희원, 인하대학교 기계공학과

연락처, E-mail : bskim@inha.ac.kr

인천광역시 남구 용현동 253번지

본 연구에서는 이러한 낙하산 연구에 많이 사용되는 기존 십자형 낙하산과 새로이 설계된 십자형 낙하산의 활공과 회전제어에 관한 공력특성을 풍동실험을 통하여 분석하였다. 현재까지 국내에서 사용되고 있는 십자형 낙하산의 제어 방법 연구로는 투하 후 방향회전 효과만 주어 활공을 하였지만 이러한 제어방법은 화물의 정확한 투하에는 한계가 있고 지나치게 방향회전 동작에만 의존하여 낙하산 끈이 꼬여 추락하는 사고가 빈번하게 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 기존에 실시되었던 연구결과를 바탕으로, 일반적인 십자형 낙하산의 비행 성능보다 조금 더 좋은 활공 효율을 갖는 낙하산을 얻고자 여러 디자인을 하였으며 그 중 가장 성능이 좋은 개량형태의 십자형 낙하산의 비행성을 풍동실험으로 일반 십자형 낙하산과 측정 비교해 보았다.

II. 본 론

2.1 실험에 사용된 낙하산

일반적으로 풍동실험을 위한 축소된 모형 낙하산은 재질의 문제로 인한 유연성의 저하로 부정확한 기하학적 상사성, 공력특성, 팽창현상을 가지게 된다. 하지만 이번 실험에 사용된 십자형 낙하산은 실제 낙하산의 재질을 사용함으로써 기하학적 형태를 일치시켜 이러한 문제점들을 극복하였다.

이번 실험에 사용된 낙하산의 특성은 실제 크기의 1/8의 크기를 가진 축소형을 사용하였다. 이러한 크기는 논문에서 블록효과를 고려하여 항력을 측정하였을 때 인하대 풍동에서 실험가능한 최대 크기이다[8][9]. 항력계수 측정 시에는 블록 효과 보정을 하였다. 자세한 실험보정은 논문 [10]을 참조하기 바란다.

시험에 사용된 십자형 낙하산은 Fig. 1의 기본형과 Fig. 2에서 보여 지는 것처럼 삼각형으로 Fig. 1의 두 곳을 막은 변형형이다. 그림에서 조그만 원들은 끈을 묶는 위치이다. 이외에도 다른 변형 낙하산 형태를 본 연구진에서 실험하였으나 본 논문에는 가장 좋은 결과를 나타낸 Fig. 2의 변형 십자 낙하산의 결과만을 실었다. 두 낙하산의 제원은 다음과 같다.

- S_0 (기본형): $0.2304m^2$
- S_0 (응용형): $0.2628m^2$
- C_d 범위 : $0.60 \sim 0.85$

변형 십자낙하산의 경우 canopy 면적이 다소

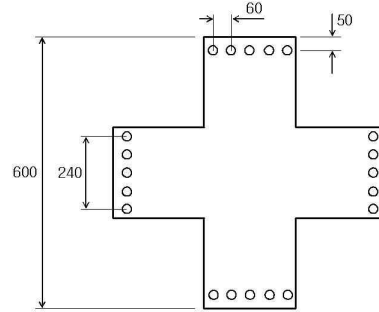


Fig. 1. Basic Cruciform Parachute

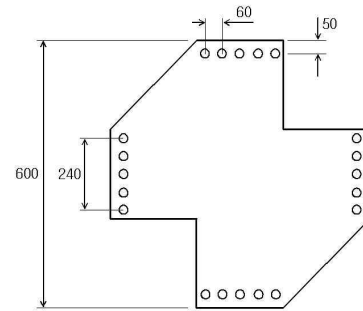


Fig. 2. Modified Cruciform Parachute

증가하기는 하지만 C_d 값은 실험범위 내에서 큰 차이는 없었다.

2.2 실험 장치

실험에 사용된 낙하산은 무게가 가볍고 공기의 흐름에 민감하게 반응하기 때문에 풍동 내 장비 설치에 최대의 작아야 한다. 낙하산은 Fig. 3 과 같이 풍동에 20 개의 끈을 사용하여 부착하였으며 조종끈은 자유로이 길이를 조절할 수 있도록 하였다. 조종에 따라 이동하는 낙하산의 중심 위치를 측정하기 위해 후방에 카메라를 설치하여 일정시간 동안의 촬영을 통하여 낙하산이 움직인 방향과 거리를 평균하여 데이터를 산출하였다.

본 실험에 사용된 풍동은 인하대학교에 설치되어 있는 폐회로 방식의 아음속 풍동으로 test section의 단면은 좌우길이와 높이가 각각 1m인 정팔각형 형태이다. 풍속은 낙하산 실험에 알맞은 11 m/s 로 하였다. 그 외의 사항은 다음과 같다.

- Power : 75 kW DC Motor
- Velocity Range : $0 \sim 65m/s$
- Contraction ratio : 4 : 1

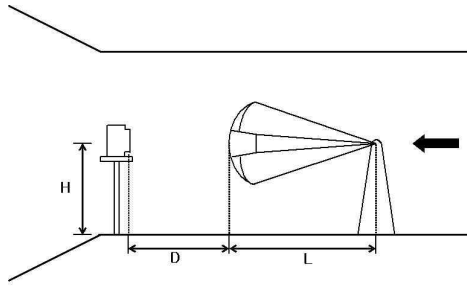


Fig. 3. Wind Tunnel Experiment Apparatus

2.3 실험 결과

실험은 회전성과 활공성능 두 가지 성능에 대해 수행하였다. 회전성능이라 함은 낙하산의 조종끈을 당겼을 때 낙하산이 수직방향을 축으로 회전하는 성능을 말한다. 낙하산이 회전한 각도는 카메라로 찍어 측정하였다. 회전 모멘트를 측정하여 정량적 실험결과를 얻어야 정확하나, 본 논문에서는 정성적인 실험을 하여 어떤 끈으로 제어하는 것이 효율적인가를 우선 실험해 보았다. 많은 실험을 해 본 결과 본 논문에서는 가장 효율이 높은 조종끈의 위치의 실험결과만을 제시하였다.

활공성능은 Fig. 4와 같이 대칭적인 두개의 끈을 당겨 낙하산의 중심점의 이동하는 거리를 측정하였다. Fig. 1과 2와 같이 한 면에 다섯 개의 끈이 있으나 그 중 양끝 한 개씩 두개를 조종끈으로 사용하게 된다. A는 기본형이고 B는 변형 낙하산에서 삼각형으로 막은 방향으로 활공하는 것이며 C는 B에 수직한 방향으로 활공하는 경우이다.

Fig. 5에 조종끈을 당긴 길이를 X축으로, 낙하산의 중심이 움직인 거리를 Y축으로 실험데이터를 표시하였다. 이를 보면 변형 십자 낙하산의 경우의 B방향의 조종끈이 가장 효과가 좋음을 알 수 있다. A와 C의 경우에는 조종끈을 3cm 당길 때까지 변화가 적었다. 변형 십자낙하산의 C 방향 활공의 경우에는 오히려 기본형보다 적게 움직였다. 그리고 B 방향 활공의 경우 끈을 당긴 길이 변화에 따라 활공 효과가 일정하게 증가함을 볼 수 있었는데 이 경우 활공시 좀더 안정적인 상태로 제어를 할 수 있을 것이다.

회전성능을 측정하기 위해서는 Fig. 6과 같이 A, B의 활공방향 쪽의 조종끈을 한개만을 당겨 카메라로 촬영한 다음 평균 회전 각도 데이터를 얻었다. 활공성능이 떨어지는 C형은 제외하였다. 이 조종끈 위치외에 다양하게 조종끈을 선택하여

조종해 보았는데 진행방향의 끈을 당기는 것이 가장 효과가 좋았다. 그리고 이 경우, 활공과 회전을 단 두개의 끈으로 조종할 수 있게 됨으로서

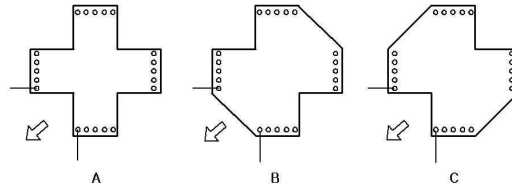


Fig. 4. Location of Control Lines for Glide

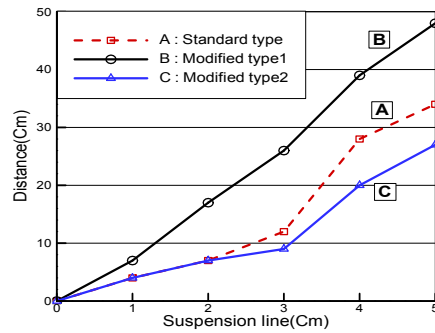


Fig. 5. Gliding Performance Data

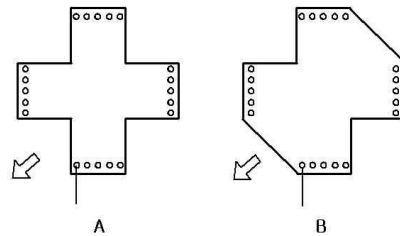


Fig. 6. Location of Control lines for Turning

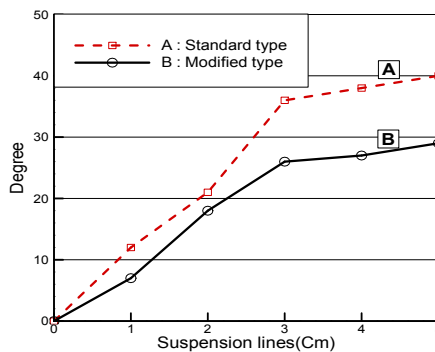


Fig. 7. Turning Performance Data

제어 작동기 갯수가 줄어드는 장점이 있다. Fig. 7에 X축은 당긴 길이, Y축은 회전 각도로서 실험 데이터를 표시하였다.

실험결과 변형 십자낙하산은 기본형 십자낙하산의 방향회전 특성보다 성능이 나았다. 조종끈을 1센티에서 5센티미터까지 당겼을 때, 기본형은 3센티를 당겼을 때 36도 정도의 회전각도를 보여주는 한편, 변형형의 경우, 25도 로서 기본형의 회전이 크다. 그러나 전반적 경향은 비슷하였다.

본 풍동실험의 주요 목적중 하나는 가장 적은 조종끈의 숫자로 큰 비행제어효과를 얻는데 있다. 위의 실험 결과들은 끈 두개만을 사용하였을 경우이다. 조종끈을 더 많이 사용하는 경우에는 제어작동기의 숫자가 증가하여 비효율적일 수 있다. 그러나 낙하산이 불안정한 대기를 활공할 경우, Fig. 8과 같이 활공방향의 뒷쪽 끈을 당기는 것이 안정적일 수 있을 가능성을 배제하지 못한다. 이런 위치의 조종끈의 제어성능에 관한 자세한 실험결과는 문헌[10]을 참고하기 바란다.

마지막으로 실험 도중 볼 수 있었던 지나친 조종끈의 당김으로 인한 추락의 경우는 크게 끈의 꼬임과 canopy의 함몰 두 가지의 경우로 나눌 수 있었다.

끈이 꼬이는 현상은 주로 회전을 얻기 위한 동작에서 지나친 조종으로 인한 것인데 낙하산이 회전에 들어가는 속도가 상당히 빠르고 낙하산에 큰 떨림 현상도 관찰되지 않았으며 무리한 힘을 가하지 않은 상태에서도 자칫 발생할 수 있다. 한번 끈이 꼬이기 시작하면 회복이 불가능하기 때문에 위험한 상황이라 여겨진다. 실제 비행시험에서도 낙하산이 과도한 회전을 하는데 화물이 그를 못 따라갈 경우 추락이 생긴다. 또한 canopy 함몰의 경우는 지나친 활공 효과를 얻기 위한 조종 과정에서 발생하는데 끈의 꼬임 현상과는 달리 canopy 함몰 전 큰 떨림과 끈에 큰 힘이 걸리는 것이 관찰되었다. 하지만 이러한 현상 발생 시 끈을 원상태로 회복하여 주면 함몰 현상에서 벗어날 수 있었다.

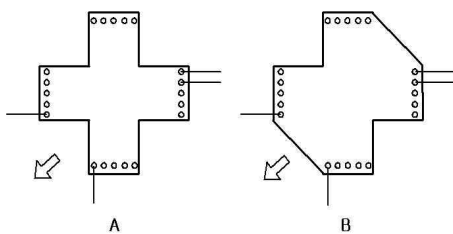


Fig. 8. Rearside Location of Two Control Lines for Turning



Fig. 9. Entangled Lines



Fig. 10. Collapsed Canopy

III. 결 론

이번 십자형 낙하산의 풍동실험 결과, 본 연구에서 제안한 십자형 낙하산의 사이를 막은 변형 십자형 낙하산의 경우 활공효과가 증대함을 보았다. 이는 십자형 낙하산에 활공의 장점을 덧붙였다고 볼 수 있는데 캐노피의 면적이 증가한 만큼 좀 더 무거운 화물을 투하할 수 있게 될 것이다.

회전능력에서는 실험전 예측한대로 원래의 기본형 십자형 낙하산이 우수하였으나 차이는 그렇게 크지 않았다. 보다 우수한 활공거리와 방향 제어를 위해서는 본 논문에서 제안한 변형 십자형 낙하산을 사용하는 것이 좋다는 결론을 도출하였다.

참고문헌

- 1) AIAA 연차보고서, 항공우주연구정보센터, 2005. 2.
- 2) Wailes, W.K, N.E Harrington, "The Guided Parafoil Delivery System Program", AIAA-95-1538 13th AIAA Aerodynamics Deceleration System Technology Conference, Clearwater Beach, FL, 1995.
- 3) J. Potvin, J. Papke, E. Brighton, T. Hawthorn and G. Peek, "Glide Performance Study of Standard and Hybrid Cruciform

Parachutes", AIAA-2003-2160 17th AIAA Aerodynamics Decelerator Systems Technology Conference and Seminar 19-22 May 2003, Monterey, California.

4) 김홍만, 구분준, 채한길, 이동호, "낙하산의 공력특성에 관한 풍동실험 연구", 한국항공우주학회 추계학술발표회 논문집, 1993.

5) 오세윤, 김찬기, 박금룡, 현재수, "감속낙하산 Reefing 효과에 관한 실험적 연구", 한국항공우주학회지, 제 30권 2호, 2002, pp. 39-45

6) Knackle, T.W., "Parachute Recovery Systems Design Manual", Para Publishing, Santa Barbara CA, 1992.

7) J.potvin, L. Esteve, "Wind Tunnel Study of Cruciform Parachutes Folded in Various Configuration", AIAA-99-1739.

8) Maskell, E. C., "A Theory of the Blockage Effects on Bluff Bodies and Stalled Wings in a Closed wind Tunnel", Unpublished Royal Aircraft Establishment, Report Aero. 2685, November 1963.

9) Macha, J. M. and Buffington, R. J., "Wall Interference Corrections for Parachutes in a Closed Wind Tunnel", AIAA-89-0900, 10th AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference, Cocoa Beach, FL, 1989.

10) 임주창 "십자형 낙하산의 방향제어에 관한 풍동실험 연구", 인하대학교 항공공학과 석사논문, 2006. 2.

11) Rae, W., H. and Pope, A., "Low-Speed Wind Tunnel Testing", 2nd edition, John Wiley & Sons(New York, NY, 1984).