

技術論文

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2011.39.9.866>

스팬 방향 곡선 상반각과 방구멍을 갖는 전통 방패연의 풍동 실험 연구

강치행*

A Study of Wind Tunnel Test of a Korean Traditional Bangpae Kite with the Wind Hole and Spanwise Curved Dihedral

Chi-Hang Kang*

ABSTRACT

In this paper, the aerodynamic forces of a Korean Traditional Bangpae Kite with the wind hole and spanwise curved dihedral were measured by wind tunnel test. For the flat plate kite without the wind hole, the stall presents at $\alpha = 35^\circ$ with $C_{Lmax} = 1.2$. The Korean Traditional Bangpae Kite with the wind hole had $C_{Lmax} = 1.05$ at $\alpha = 30^\circ$ without the apparent stall phenomena. As the wind hole size growing, the lift and drag of kite were changed slowly after stalling angle of attack. As increasing the leading edge dihedral angle, lift curves were more increased than drag curves. As the growing of wind hole size, the effect of dihedral angle was constant affect to the lift and drag of kite.

초 록

본 논문에서는 스펬방향으로 곡면 상반각과 방구멍을 갖는 전통 방패연에 작용하는 공기력을 풍동실험을 통해 측정하였다. 방구멍이 없는 평판 연의 경우 $\alpha = 35^\circ$ 에서 $C_{Lmax} = 1.2$ 이고 실속 현상이 뚜렷하게 나타났다. 반면에 방구멍을 가진 전통 방패연에서는 $\alpha = 30^\circ$ 에서 $C_{Lmax} = 1.05$ 를 가지지만 명백한 실속현상은 나타나지 않았으며 반경이 커짐에 따라 실속각 이후의 양력 및 항력 곡선이 완만하게 변하였다. 곡선 상반각이 커질수록 항력 곡선에 비해 양력 곡선이 차이가 커졌으며 방구멍 반경이 작을수록 상반각의 효과는 크게 나타나고 방구멍 반경이 클수록 상반각의 효과가 거의 일정하게 나타났다.

Key Words : Korea Traditional Bangpae Kite(전통 방패연), Wind Hole(방구멍), Curved Dihedral Angle(곡선 상반각), Wind Tunnel Test(풍동 실험), Aerodynamic Analysis(공력 분석)

1. 서 론

최근에 날개 비행체의 한 종류인 연(kite)이 과학적 측면 및 스포츠적 측면에서 활발하게 활용됨에 따라 연에 대한 이론 및 실험적 연구가

다양하게 발전하고 있다. Williams, Lansdorp과 Ockels[1]은 고고도의 일정한 바람을 이용하여 생산한 전기를 지상에 전달하는 도구로서 연을 활용하는 방법을 연구하였으며, Sneyd[2]는 비회전 비점성 이론을 적용하여 파도타기 연(sail-kite)의 공력 계수와 세로 안정성에 대한 해석을 수행하였다. Alexander와 Stevenson[3]은 가로세로비가 1.5인 두 줄 연의 평형 안정 특성에 대해 이론 정립 및 풍동실험을 통한 실증 연

† 2011년 4월 11일 접수 ~ 2011년 8월 12일 심사완료

* 정회원, 공군사관학교 항공우주기계공학과
교신저자, E-mail : 119chk@paran.com
충북청원군 남일면 쌍수리 사서함 2호



그림 1. 전통 방패연

구를 수행하였다. Kang[3,4]은 전통 방패연의 평형 비행 조건을 형상이 유사한 평판의 공력 자료로부터 분석하면서 풍동 실험을 통한 공력 자료의 필요성을 강조하였다. 이에 따른 후속 연구로서 방패연의 공력 측정 실험을 수행하고, 설계 요소 변경에 따른 공력적 기능을 분석하였다[5-8].

그림 1에서 보는 바와 같은 우리나라의 방패연은 다른 나라 연의 구조적 특성과 비교해 볼 때 가운데 방구멍이 있으며 앞전에 활발이줄을 매어 형성된 곡선 상반각을 가진 유선형의 직사각형 구조이다. 이렇게 독특한 구조를 가진 전통 방패연의 비행 성능에 관련되는 설계 요소 및 평형 비행 조건을 해석하려면 풍동 실험을 통하여 받음각 변화에 따른 방패연의 공력 계수 및 압력 중심 위치에 대한 정확한 공력 자료를 확보하는 것이 필수적이다.

이를 위해 본 논문에서는 실제 자연 조건과 똑같은 조건을 부여한 풍동 실험을 통해 측정된 공력 자료로부터 방구멍 크기 및 앞전 상반각의 조정에 따라 공력 특성 변화 및 기능을 분석하였다. 또한 받음각에 따른 전통 방패연의 압력 중심점의 위치를 산출하였다. 이러한 방패연의 공력 자료는 세시 풍속과 전통놀이 속에 배어있는 우리 민족의 독창적인 과학성을 발굴하는데 이용할 수 있다.

II. 본 론

2.1 공력 측정 모델 설치 및 보정

공군사관학교 소형 아음속 풍동의 측정부는 0.9m x 0.9m x 2.15m이므로 봉쇄 효과를 고려하여 방패연의 실험 모형을 그림 2와 같이 제작하였다. 자연 환경에서 방패연을 띄우는데 적합한

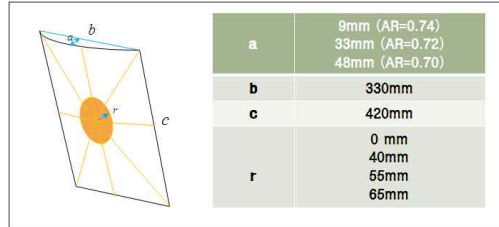


그림 2. 실험 모델의 제원



그림 3. 모델의 받음각 변화 (0° / 45° / 90°)

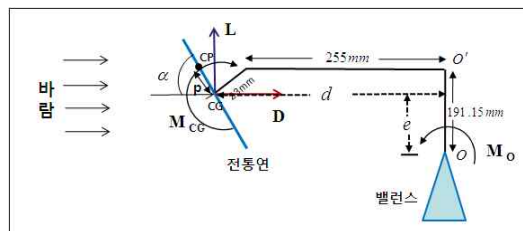


그림 4. 모델 설치 및 기하

바람의 속도는 3m/sec ~ 5m/sec이므로 실험 모델과 같은 방패연의 실제 비행 조건을 풍동 측정부에서 정확하게 실현시킬 수 있기 때문에 실험 상사 조건은 따로 고려할 필요가 없었다.

방패연 공력에 미치는 스팬 방향 곡선 상반각 영향을 고려하기 위하여 그림 2의 모델 기하의 a 길이를 9mm, 33mm, 48mm로 각각 조정할 수 있도록 하였으며 유선형 표면을 형성하도록 허리살에도 a=33mm의 상반각을 주었다. 이렇게 상반각을 줄 경우 가로세로비 AR은 각각 0.74, 0.72, 0.70이다. 또한 방구멍의 반경을 각각 0mm, 40mm, 55mm로 조정할 수 있도록 하였다.

측정부 내 방패연 모델 설치와 받음각 변화는 그림 3 및 그림 4에서 보는 바와 같다. 모델 지지부의 간섭 항력을 최소로 하기 위하여 밸런스 지지를 유선형 에어포일로 차폐하였으며 풍동 바닥과 약간의 틈새를 두었다[9].

방패연의 공력은 받음각을 변화시키면서 측정해야 할 필요가 있으므로 모델의 받음각을 0도에서 90도까지 변화시킬 수 있게 특별 제작한 지그를 방패연의 무게중심 점에 부착하여 스팅 스트러트에 연결하였다.

그림 4와 같은 모델 설치에서 모델의 무게 중심점 CG에 작용하는 피칭 모멘트 M_{CG} 를 피라미

달 밸런스의 리졸빙 센터에서 측정된 피칭모멘트 M_O 로부터 구하는 보정 절차는 다음과 같다. 받음각 변화를 위한 지그를 조정하여 받음각을 변화시킬 때 방패연의 무게 중심은 스팅 스트러트 연결점에 대해 아래 방향으로 움직이므로 이러한 CG 점의 이동에 따른 피칭 모멘트 팔의 길이 d 는 받음각 변화에 따라 아래와 같이 계산된다.

$$d = 255mm + 23mm \cdot \sin\alpha \quad (1)$$

또한 리졸빙 센터 O 점과 CG점과의 수직 거리 e 는 다음과 같이 계산된다.

$$e = 191.15mm - 23mm \cdot \cos\alpha \quad (2)$$

모델에 작용하는 공기역학적인 힘은 모델 지지대를 통해 피라미달 밸런스에 전달되고, 밸런스 구조체는 이에 반응하여 변형과 반력을 일으키면서 평형상태를 유지한다. 따라서 밸런스의 리졸빙 센터 O 점에 대한 피칭 모멘트의 평형을 고려하면 모델의 CG에 작용하는 피칭 모멘트는 다음과 같이 산출된다.

$$M_{CG} = M_O - L \cdot d - D \cdot e \quad (3)$$

방패연의 무게 중심 CG에서부터 압력 중심 CP까지의 거리를 p 라고 하자. 압력 중심에 작용하는 피칭모멘트는 0이므로 시위길이 c 에 대한 무게 중심으로부터 압력 중심까지의 거리의 비는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{p}{c} = \frac{C_{M_{CG}}}{C_L \cos\alpha + C_D \sin\alpha} \quad (4)$$

2.2 공력 측정 결과 및 분석

그림 5는 $AR=0.70, a=48mm$ 공력 계수들을 그래프로 나타낸 것이다. 받음각에 대한 양력의 분포를 보면 최대양력 계수 값을 갖는 30도까지 양력이 꾸준히 증가하고 있다.

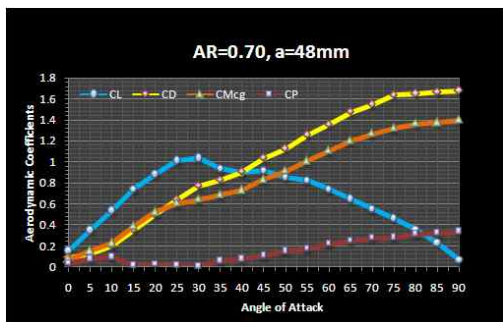


그림 5. 공력 계수 및 압력 중심 곡선

일반적으로 전형적인 에어포일에서는 실속이 후 양력이 급속하게 감소하는 데 반해 방패연에서는 실속이 일어난 다음에도 양력이 점진적인 감소를 보이고 있으며 받음각이 90도에 이르기까지 0이 아닌 값을 갖고 있음을 알 수 있다. 항력 곡선은 얇은 에어포일에서와 같이 $\sin\alpha$ 와 같이 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 무게 중심에 대한 피칭 모멘트는 항력 곡선과 비슷하게 증가하고 있음을 알 수 있다.

2.2.1 방구멍의 영향

그림 6은 앞전 상반각의 높이 $a=9mm, 33mm$ 로 하고 방구멍의 반경 r 을 0mm, 40mm, 55mm로 각각 조정된 경우의 양력과 항력 계수를 비교한 그래프이다. 가운데 방구멍이 없는($r=0mm$) 평판 연은 받음각 $\alpha=35^\circ$ 에서 최대 양력 계수

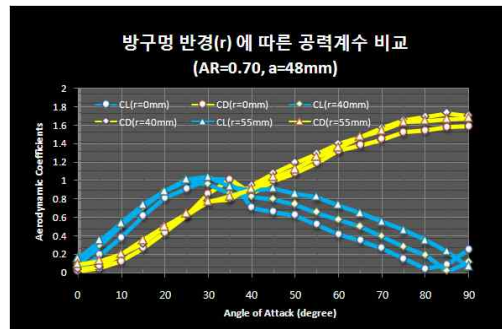
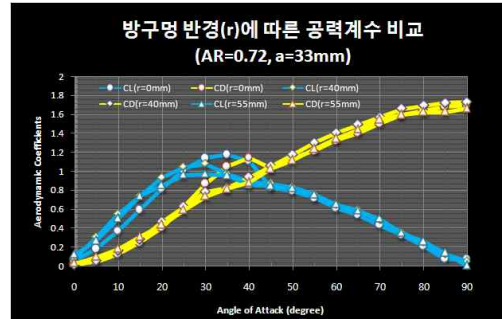
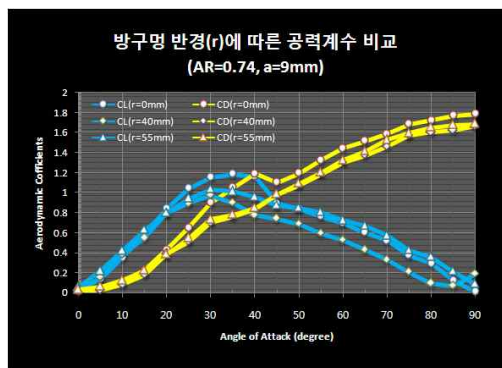


그림 6. 방구멍의 영향

값 $C_{L_{max}} = 1.2$ 를 보이며 실속 현상이 나타나면서 $\alpha = 90^\circ$ 에서는 양력이 0으로 줄어들고 있다. 가운데 방구멍이 있는 방패연은 최대 양력계수가 $\alpha = 30^\circ$ 근처에서 $C_{L_{max}} = 1.05$ 의 값을 가져 방구멍이 없을 때 보다 작지만 실속 현상이 뚜렷하게 나타나지 않으면서 $\alpha = 90^\circ$ 까지 점진적인 양력 감소 경향을 보이고 있다. 그러나 방구멍 반경이 40mm인 경우가 55mm인 경우 보다 $\alpha = 30^\circ$ 이후 양력계수 값이 다소 작게 나타나는 경향을 볼 수 있다[9].

방구멍이 없는 평판 연($r=0mm$)의 항력계수는 실속이 일어나는 받음각 근처에서 약간 감소했다가 $\alpha = 90^\circ$ 까지 계속 증가하는 경향을 보이고 있다. 방구멍 반경이 40mm인 경우나 55mm인 경우 모두 받음각이 $\alpha = 90^\circ$ 까지 항력 계수 값은 거의 차이가 없으며 계속 점진적 증가 경향을 보이고 있지만, 방구멍이 없을 때가 있을 때 보다 큰 값을 가진다. $\alpha = 45^\circ$ 이후는 증가 폭이 0.03으로 일정하며 $\alpha = 90^\circ$ 에서 최대 항력계수 값 $C_{D_{max}} = 1.8$ 을 가짐을 알 수 있다.

또한 최대 양력계수 값을 가지는 받음각 이후의 양력 계수 값의 차이는 방구멍 반경이 0mm \rightarrow 40mm \rightarrow 55mm 순으로 증가하고 있음을 볼 수 있다. 반면에 항력계수 값은 방구멍 유무에 관계없이 사인 곡선의 경향을 보이고 있으며 값의 차이가 거의 없다.

이상에서 분석한 바와 같이 방구멍은 실속각 이후의 양력 생성에 뚜렷한 영향을 미치고 있다. 그러나 항력의 증감에는 뚜렷한 영향을 미치지 않는다. 방구멍은 연 앞면의 중심 부근에 모이는 공기 흐름을 분산하여 뒷면으로 바로 보내는 역할을 함으로서 실속각 이후 항력 성분 보다는 양력 성분에 의해 공력 균형이 이루어진다고 볼 수 있다. 방구멍이 크면 연의 면적이 상대적으로 작아지기 때문에 바람 속도가 강할 때 유리할 것이고 방구멍이 작으면 바람속도가 보다 약할 때 유리할 것이다. 따라서 연실을 풀 때는 바람이 약하고 연실을 감을 때는 바람이 강하기 때문에 연의 기동성은 방구멍의 크기에 달려 있다고 추론 된다.

2.2.2 곡선 상반각의 영향과 기능 분석

그림 7은 방구멍 반경 $r=0mm, 40mm, 55mm$ 로 변경하면서 곡선 상반각을 변화시키는 a 의 길이를 9mm, 33mm, 48mm로 조정하였을 때의 연의 양력계수와 항력 계수를 비교한 그래프이다.

방구멍이 없는 $r=0mm$ 인 연의 공력 계수 변화는 상반각이 커질수록 실속각까지는 변화가 없

지만 실속각 이후에는 영향이 커진다는 것을 알 수 있다. 방구멍이 있는 연에서는 방구멍이 커질수록 상반각 효과가 거의 일정하게 나타나는 경향을 관찰할 수 있다.

이러한 경향은 방패연에 있어 상반각의 역할은 항공기와 마찬가지로 가로 안정성에 영향을 미칠 뿐 공력 변화에는 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나 상반각은 연의 앞전에서부터 방구멍까지 연의 공력면을 유선형으로 만들어 줌으로서 공기흐름을 양 옆으로 잘 흘러가게 하여 기수 부분에 부딪치는 맞바람에 의해 연이 뒤집히는 것을 방지해주는 기능을 수행한다.

그림 7의 그래프로부터 방구멍 반경이 작을수록 상반각의 효과는 크게 나타나고 방구멍 반경이 클수록 상반각의 효과가 거의 일정하게 나타남을 알 수 있다. 따라서 방구멍 크기와 상반각의 관계를 고려하여 연의 공력 균형을 향상시키는 방패연 설계가 이루어져야 할 것이다.

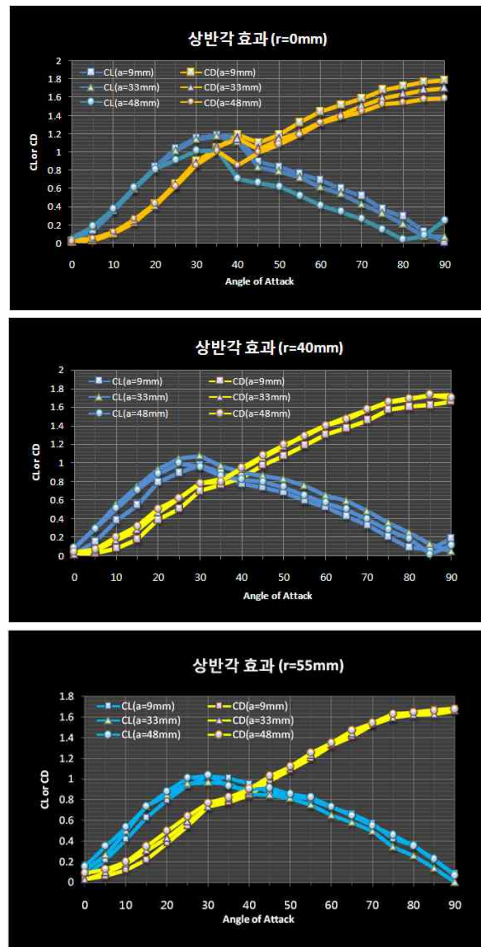


그림 7. 상반각 효과

2.2.3 압력 중심의 위치

방패연에 작용하는 공력 평형 조건을 이용하여 목줄과 공수줄의 상대적 길이를 산출할 때 압력 중심의 위치를 알아야 한다. 그림 8은 $V=3m/sec$, $a=33mm$ 인 실험 조건에서 (4)식을 이용하여 산출한 받음각에 따른 압력 중심의 위치 변화 그래프이다. 방패연의 압력 중심은 무게 중심 위치보다 앞에 위치하고 있음을 알 수 있다.

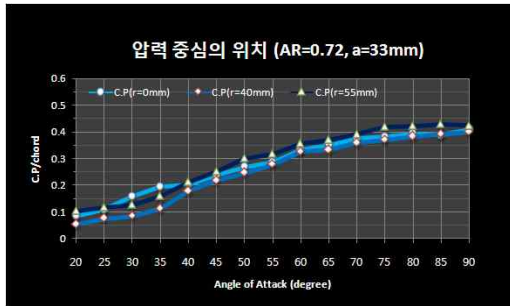


그림 8. 압력 중심의 위치

III. 결 론

본 연구에서는 스펠방향으로 곡면 상반각을 갖는 날개 비행체인 방패연의 비행성능과 거동 특성을 해석하기 위하여 풍동실험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다. 받음각 변화에 따른 방패연의 공력 자료를 가지고 방구멍 크기 및 앞전 상반각의 변화에 따르는 상대적인 공력 특성을 분석한 결과 방구멍이 없는 경우 실속 현상이 뚜렷하게 나타나고 반경이 커짐에 따라 실속 이후의 양력 및 항력 곡선이 완만하게 변화하였다. 앞전 상반각이 커질수록 항력 곡선에 비해 양력 곡선이 차이가 커졌으며 방구멍 반경이 작을수록 상반각의 효과는 크게 나타나고 방구멍 반경이 클수록 상반각의 효과가 거의 일정하게 나타남을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 공군사관학교 항공우주연구소의 국고 연구지원 (관리번호 : KAF10-25)을 받아 수행한 '스펠방향 곡면 상반각을 갖는 Flying Wing의 풍동실험 연구'의 결과입니다.

참고문헌

- Williams, P., Lansdorp B. and Ockels W., "Optimal crosswind towing and power generation with tethered kites", Journal of guidance and control and dynamics. Vol. 31, No.1 Jan-Feb. 2008.
- Sneyd, A. D., " Aerodynamic coefficients and longitudinal stability of sail aerofoils", J. Fluid Mech., Vol. 49, 1984.
- Alexander K. and Stevenson, J., "Kite equilibrium and bridle length", Aeronautical Journal, Sept. 2001.
- 강치행, "전통 방패연의 평형 비행 조건 연구", 한국 항공우주학회 2008 추계 학술발표회 논문집, 2008.
- 강치행, "방패연의 정적 비행성능 특성 분석", 공사논문집 제 60집 제 1권, 2009.
- 강치행, "Low AR flying wing의 공력 측정 실험 연구", 한국 항공우주학회 2010 춘계 학술 발표회 논문집 I, 2010.
- 강치행, "설계 요소 변경에 따른 방패연의 공력 특성 분석", 한국 항공우주학회 2010 추계 학술 발표회 논문집, 2010.
- Kang, C. H. and Kim, I. G., "The Static Flight Performance Analysis of a Korea Traditional Kite", 14th Australian International Aerospace Congress, 28. Feb.-3. Mar., Melbourne, Australia, 2011.
- Barlow. Rae, Pope, Low-Speed wind tunnel testing, 3rd edition, John Wiley & Sons, 1999.