

CFD를 이용한 Frisbee의 공기역학적 특성에 대한 고찰

김철완, 장병희, 이장연*

CFD Study on Aerodynamic Characteristics of Frisbee

C. W. Kim, B. H. Chang and J. Y. Lee

CFD simulation is performed for 2D and 3D frisbees flying at 10m/s. For convenience of simulation, rotation of 3D model is not considered. CFD results show that pitching moment makes the nose down and holes at the leading and trailing edges improve the lift characteristics of the frisbee.

Key Words:원반(frisbee), 전산유체역학(CFD), 항력예측(Drag Prediction), 고양력장치(high lift device)

1. 서론

Frisbee는 매우 간편하며 쉽게 즐길 수 있는 레크리에이션 스포츠 기구로서 전세계적으로 그 인기를 확산시키고 있으며 많은 애호가들에게서 사랑받고 있다. 또한 disk golf, ultimate frisbee, dog play 등 frisbee를 이용해 즐기는 여러 가지 형태의 놀이들이 생겨나고 있다.

Frisbee의 시작은 대략 130여년 전으로 추정된다. 미국 코네티컷주의 Frisbie Baking Company는 대학생들을 위해 파이를 만들었는데 이 파이를 담았던 용기를 던지고 잡는 놀이가 대학생 사이에 유행하였고 이 용기의 바닥에 쓰여 있던 frisbie라는 단어가 이 놀이기구의 이름이 되었다. 그 후 여러번의 발전을 거

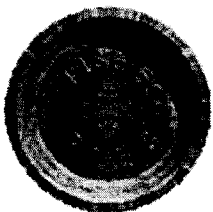


Fig. 1 Frisbee의 유래가 된 Frisbie Baking Co의 Tin Pie Plate

친 후에 현재와 같은 공기역학적으로 우수한 frisbee 모델은 1964년 Ed Headrick에 의해 고안되었다.

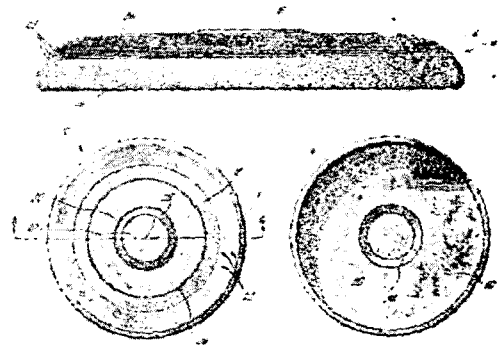


Fig. 2 특허 등록이 된 Frisbee 도면

Fig. 2는 특허 등록이 되었던 Frisbee의 단면을 보여주고 있다. Frisbee의 가장자리는 원형으로 새나 비행기의 날개처럼 양력을 발생시킬 수 있게 되어 있다. 본 연구에서는 2차원 및 3차원 frisbee 모형에 대한 CFD 해석을 수행하여 frisbee의 공기역학적 특성을 분석하고 frisbee의 양력 및 항력변화에 영향을

*1 정희원, 한국항공우주연구원 공력성능그룹

*E-mail : cwkim@kari.re.kr

줄 수 있는 형상변화를 시도하여 그 특성을 파악하고자 한다.

2. 수치 해석

Frisbee에 대한 수치해석은 먼저 2차원 형상에 대해 수행되었다. 2차원 airfoil 해석과 같은 방법으로 점성경계층을 형성하고 외부 유동장을 삼각격자로 형성하여 해석을 수행하였다. 2차원 frisbee 형상 주위의 계산 격자는 Fig. 3에 나타난 것과 같다.

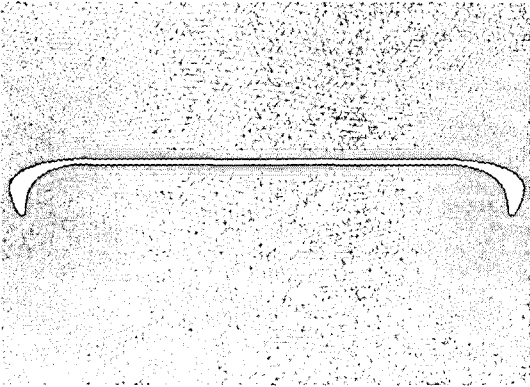


Fig. 3 2차원 Frisbee 주위의 계산 격자 분포

Frisbee의 비행 속도가 약 10m/s 정도로 매우 낮아 정확한 공력 특성 분석을 위해서는 층류 및 난류 영역이 혼재하는 영역을 해석하는 CFD code를 사용해야 하지만 난류로의 천이과정을 예측하는 것이 매우 어려워 전 영역을 난류로 가정한 후 해석을 수행하였다. 사용된 CFD code는 난류유동을 해석할 수 있는 non-conservative Navier-stokes equation들을 코드화한 Fluent이다. 사용된 난류 모델은 Spalart-Allmaras one equation 모델이다. 3차원 frisbee의 해석은 회전을 고려하지 않고 수행하였다. Fig. 4는 해석에 사용된 3차원 격자를 보여주고 있다. 점성 경계층 해석을 위해 12층의 격자를 표면에서부터 수직방향으로 형성하였다. 해석에 사용된 frisbee의 직경은 약 26cm로 흔히 사용되는 frisbee의 크기를 고려하여 정하였다. 수치 해석은 초기에 steady flow simulation을 수행하였는데 steady flow assumption으로 인한 간섭이 많아 수렴이 잘되지 않아 계산시간이 크게 증가하였다. Frisbee의 모델의 경우 오히려 초기부터 unsteady flow로 가정하여 해석을 수행하는 것이 해를 수렴하는데 효율적이었다.

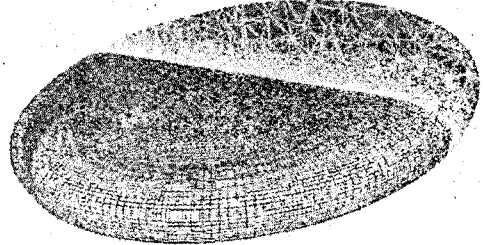


Fig. 4 3차원 Frisbee 주위의 계산 격자 분포

2. 수치 해석 결과

2.1 2차원 수치 해석 결과

Fig.5는 Frisbee 주위의 압력 계수 분포를 보인 것이다. 유동의 방향을 고려하여 왼쪽 끝을 앞전(Leading Edge)이고 오른쪽 끝을 뒷전(Trailing Edge)이라 부른다. 앞전에서 유동이 가속되어 frisbee의 윗면은 전체적으로 저압이 형성되고 (Fig. 5) 아랫면은 Frisbee의 형태로 인해 유동이 회전하는 recirculation 영역이 크게 형성된다(Fig. 6). 따라서 아랫면의 압력이 윗면에 비해 크게되어 frisbee는 양력을 발생한다. 아랫면의 압력분포를 자세히 살펴보면 앞전에 가까운 부분은 비교적 낮은 압력이 뒷전에 가까울수록 높은 압력이 형성됨을 알 수 있다. 따라서 이에 의해 발생하는 피칭 모멘트는 frisbee의 nose를 아래로 떨어뜨리려는 경향을 갖는다. 만일 frisbee의 회전으로 인한 angular momentum이 없다면 frisbee는 안정된 비행이 불가능하게 된다.

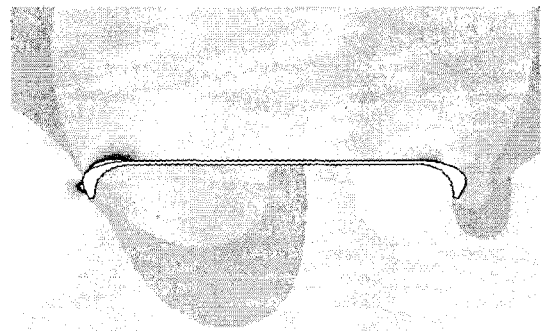


Fig. 5 Frisbee 주위의 압력계수(Cp) 분포

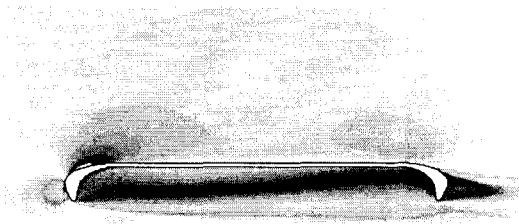


Fig. 6 Frisbee 주위의 속도 분포

2.2 3차원 수치 해석 결과

3차원 frisbee 주위 유동 현상도 2차원 수치 해석 결과와 크게 다르지 않다. Fig. 7은 frisbee의 중심점을 지나는 면의 압력 분포를 그린 것이다.

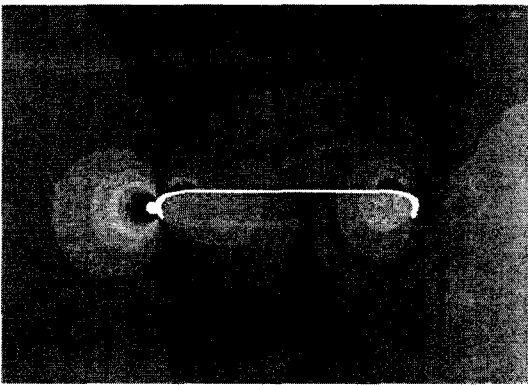


Fig. 7 3차원 Frisbee 주위 압력계수(Cp) 분포

2차원 및 3차원 frisbee에 발생하는 공력 계수 값들은 Table 1에 정리되어있다.

	양력 계수	항력 계수	양항비
2차원 모델	0.4838	0.0789	6.132
3차원 모델	0.4380	0.2933	1.493

Table 1 2차원 및 3차원 frisbee 주위의 공력계수

2차원 및 3차원 frisbee에 발생하는 양력은 모두 항력보다 크지만 그 비율은 크게 차이가 난다. 2차원 모델의 경우 양항비가 약 6.13정도이지만 3차원 모델

의 경우 약 1.49로 매우 낮다. 3차원 해석에서는 frisbee의 회전을 고려하지 않아 실제 유동과 차이가 발생할 수 있는데 앞으로 이를 고려한 수치해석을 수행하여 비행하는 frisbee의 현상을 정확히 분석하도록 하겠다.

3. Frisbee의 형상 변화에 대한 해석

2차원 모델에 대해 형상 변경을 시도하였고 여러 형상에 대해 수치해석을 행한 후 그 결과를 비교하였다. 먼저 뒷전에 유동이 흘러갈 수 있는 구멍을 만들어(H1) frisbee 뒷전 후류의 형태를 변화시켰다.

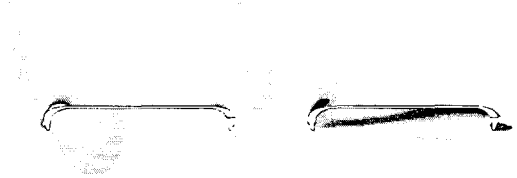


Fig. 8 H1 형상 주위의 압력 및 속도 분포

예상과는 달리 기본 모델보다 항력이 증가하였고(0.0799 -> 0.0889) 양력도 증가하였다(0.4838 -> 0.6542). 형상 H1과 달리 앞전 유동을 교란하기 위해 앞전에 구멍을(H2) 만들어 수치해석을 행하였다.



Fig. 9 H2 형상 주위의 압력 및 속도 분포

H1형상의 결과보다 아랫면에 형성되는 recirculation 영역이 많이 감소하고 뒷전 후류의 방향이 다른 경우와 달리 아래를 향하고 있다. 마지막으로 형상 H1과 H2를 종합하여 frisbee의 앞전과 뒷전에 유동이 흐를 수 있는 구멍을 만들어 수치해석을 진행하였다(Fig. 10). Frisbee 아랫면의 recirculation 영역은 다른 경우들보다 더욱 감소하고 고압의 압력 분포는 약간 감소하는 결과를 보인다.

Table 2에는 각 형상에 대한 양력 및 항력계수 값

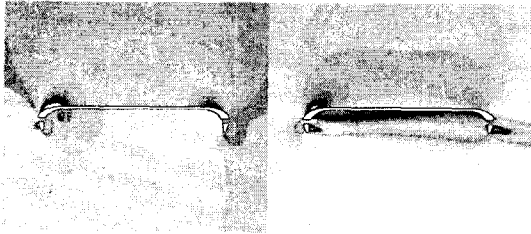


Fig. 10 H3 형상 주위의 압력 및 속도 분포

비교하였다. 기본 형상보다 변형된 형상의 양항비가 증가하고 H3의 경우 항력계수의 증가는 미미한데 반해 양력 계수는 크게 증가하는 결과를 얻었다. 이와 같은 결과에 대한 다른 해석은 H3형상은 leading edge slat 및 trailing edge flap을 갖는 airfoil과 매우 흡사하여 양항비를 증가시키는 것이다. 다른 점은 airfoil의 경우 윗면의 유동 변화를 유도하지만 H3는 frisbee 아랫면의 유동에 변화를 주는 점이다.

앞으로의 연구 진행방향은 각 형상에 대한 2차원 해석 결과를 토대로 3차원 형상에 대한 해석을 진행하여 양항비를 증가시킬 수 있는 frisbee의 형상을 결정하도록 하겠다.

	양력 계수	항력 계수	양항비
기본 형상	0.4838	0.0789	6.13
형상 H1	0.6542	0.0889	7.36
형상 H2	0.9064	0.0912	9.94
형상 H3	0.7944	0.0836	9.50

Table 2 각 형상에 따른 양력 및 항력계수 비교

5. 결 론

Frisbee에 대한 2차원 및 3차원 수치해석을 수행하여 frisbee의 공기역학적 특성을 분석하였다. 2차원 형상의 앞전과 뒷전에 구멍을 내어 유동이 흐르게 하였을 때 양항비가 크게 증가하는 결과를 얻었다. 앞으로의 연구 진행방향은 각 형상에 대한 2차원 해석 결과를 토대로 3차원 형상에 대한 해석을 진행하여 양항비를 증가시킬 수 있는 frisbee의 형상을 결정하도록 하겠다.

후 기

이 논문은 과학기술부 지원으로 수행하는 무인기 성능향상 핵심기술연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Abbott, I., and Doenhoff, A. "Theory of Wing Sections", Dover Publications.
- [2] Bowles, R. I., "Transition to Turbulent Flow in Aerodynamics," *The Royal Society, A* (2000) 358, pp. 245-260.
- [3] Krumbein, A., "Transitional Flow Modeling and Application to High-Lift Multi-Element Airfoil Configurations," *Journal of Aircraft*, Vol. 40, No. 4, pp. 786-794.
- [4] Crouch, J. D., Crouch, I. W. M., and Ng, L. L., "Transition Prediction for Three-Dimensional Boundary Layers in CFD Applications," *AIAA Journal*, Vol. 40, No. 8, pp. 1536-1541.
- [5] Herbert, T., "Parabolized Stability Equations," *A. Rev. Fluid Mech* 29, pp. 245-283, 1997.