

플라잉디스크의 단면 형상에 따른 공력 특성 연구

김 태 욱¹, 박 다 운²

¹건국대학교 항공우주정보시스템공학과

본 연구에서는 플라잉디스크의 윗면 곡률과 끝단두께에 따른 공력특성의 변화 및 유동 흐름을 EDISON CFD를 통해 해석하고자 한다. 플라잉디스크는 받음각이 증가할수록 윗면 표면에서는 박리 거품이 발생하게 되고 아랫면에서 윗면으로 올라 갈려는 유동의 흐름이 발생하게 되어 뒷전과 후류에서 거대한 박리 거품이 발생하게 되어 공력특성 및 유동흐름에 큰 변화를 주게 된다. 총 5가지의 형상에 대해서 받음각을 $0^\circ \sim 25^\circ$ 까지 마하수 0.0588, 해석모델은 KFLO W에서 $k-w$ SST를 레이놀즈수 3.78×10^5 을 조건으로 각 형상의 공력특성과 유동의 흐름의 비교를 분석하였다. 그 결과 윗면의 곡률이 증가 할수록 앞전박리가 활발해지고, 끝단두께가 두꺼워 질수록 뒷전박리가 활발해진다. 이로 인해 곡률은 완만할수록 두께는 얇을수록 양력계수와 실속각을 증가 시킬 수 있다.

Key Words : 전산유체역학(CFD), 플라잉디스크 (Fryingdisc), 아음속 유동 (Subsonic flow), 박리 (Separation), 와류 (Vortex),

1. 서 론

플라잉디스크는 흔히 알고 있는 원반이다. 예전에는 단순히 야외에서 애완동물 및 유아를 위한 놀이였지만 최근에는 초등학교 체육시간에 뉴 스포츠로서 플라잉디스크를 이용한 수업이 활발하게 진행되고 있으나 성능 검토 없이 제작이 되고 있다. 따라서 원하는 성능을 위해 공력해석의 필요성이 두 각 되고 있다. 플라잉디스크는 초기 사람이 가해주는 힘과 각 도에 의해 방향 및 비행거리가 결정된다. 이때 형상의 변화에 따른 변화를 알기 위해 본 연구를 실시하게 되었다. 플라잉디 스크는 항공기의 익형과 마찬가지로 형상의 변화에 따라서 유동의 특성이 변화하고 그로 인해 양력, 항력 즉 공력 특성이 변화 할 것이다. 또한 형상의 특성상 표면 주변에서 박리가 활발하게 발생하는데 이로 인해 양력은 감소하고 항력은 증가하게 되어 비행에 불리하게 된다. 실제 플라잉디스크는 회전을 하면서 비행하기 때문에 회전에 의한 공력 특성도 고 려해야 하지만 회전은 공력특성보다는 플라잉디스크의 안정 성에 영향에 미치고 양력, 항력은 회전에 의한 영향이 적기 때문에 본 연구에서는 회전을 고려하지 않고 형상과 받음각의 변화만 고려하였다.[1]

2. 본론

2.1 해석 형상 설계

플라잉디스크의 형상은 윗면 곡면과 아래면 곡면 그리고 평판 이렇게 세 부분으로 나누어진다. 평판이 길어질수록 양 력 특성에 이득이 있다는 것은 직관적으로 알 수 있다. 때문

에 이번 연구에서는 평판의 변화는 고려하지 않고 윗면과 끝단두께를 변경하여 공력특성이 어떻게 변화하는지 확인하 고자 한다.

기본 형상은 J.R. Potts & W.j. Crowther의 풍동실험 연구에 서 사용된 플라잉디스크로 설정하였다.[2][3] Case1을 기본형 상으로 하여 끝단두께는 일정하게 유지하면서, Case2는 윗면 의 곡률을 급격하게, Case3는 완만하게 변화하였고 Case4는 Case2에서 끝단두께를 줄이고 Case5는 두께를 증가시켜 형상 을 결정 총 5가지의 형상을 해석 및 비교하였다. 이 때 모든 형상의 길이는 동일하게 1로 설정하였다.

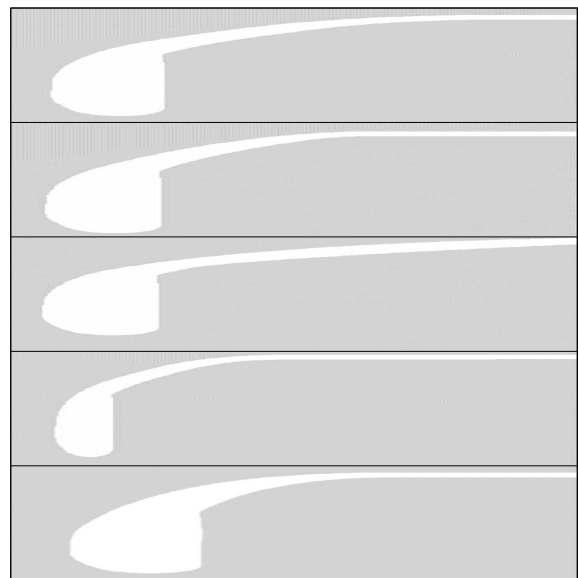


그림 1 플라잉디스크 형상 (case1, case2, case3, case4, case5)

2.2 수치해석 모델

해석을 위한 격자를 생성할 때 비교중점이 플라잉디스크의 윗면곡률과 끝단두께 변화이고, 플라잉디스크 특성상 표면에서 큰 박리가 발생하게 되는데 이를 정밀하게 해석하기 위해 형상의 앞전과 뒷전에 포인트 수를 증가시켰다. 또한 원방의 영역은 형상길이의 40배, 첫 번째 격자까지 간격은 5×10^{-5} 으로 설정하여 격자를 생성하였으며 총 격자 개수는 9만개이다.

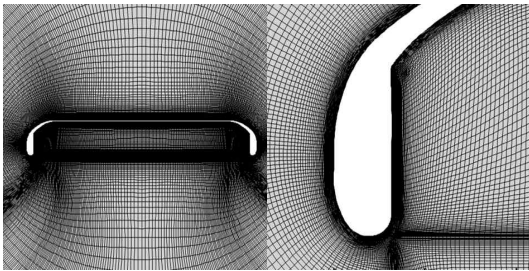


그림 2 형상 격자

그림 3 표면 격자 확대

해석모델은 EDISON_CFD에서 난류해석 모델인 KFLOW를 이용하여 각 형상의 공력특성을 비교하였으며 J.R. Potts & W.j. Crowther의 연구에서 사용된 형상을 기본형상으로 하였고 때문에 연구에서 사용한 유동의 조건을 해석 조건과 동일하게 하였다. 난류 모델은 $k-w$ SST를 사용하였다.

표 1 계산 조건

마하수	0.0588	격자수	90000
레이놀즈수	3.78×10^5	Total Iteration	80000
Error Tolerance	0.000001	받음각	$0^\circ \sim 25^\circ$

2.3. 해석 결과

해석 모델인 KFLOW는 정상상태의 해석 모델이다. 저 받음각인 경우 형상 표면에서 박리가 발생하지 않아 후류 유동에 영향이 적어 해석결과가 수렴하게 되지만 J.R. Potts & W.j. Crowther의 연구에 의하면 플라잉디스크의 받음각이 증가할수록 표면에서 박리가 발생하여 후류 까지 영향을 미치게 된다. 플라잉디스크는 앞전형상이 실린더와 비슷하여 마치 카르만 외류가 발생한다.[4] 때문에 유동의 흐름이 주기적으로 변화를 하여 공력특성을 해석하는 과정에서 수렴도가 일정하게 진동하게 되는 현상이 일어났다.

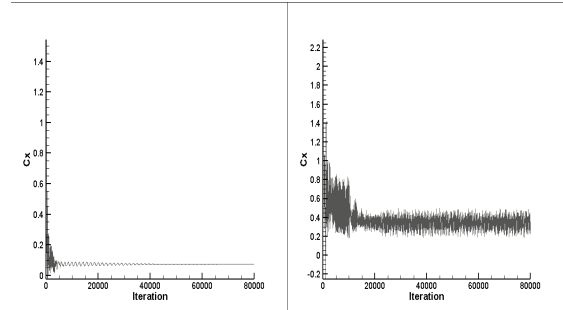


그림 4 AOA 0° , 25° 의 유동 계산 수렴도

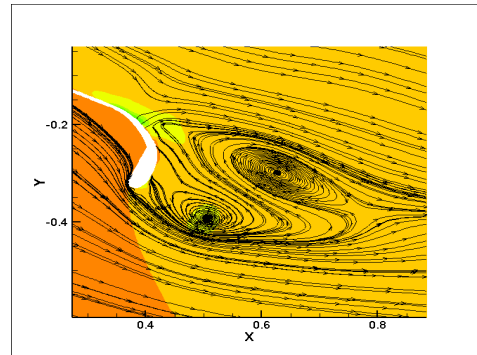


그림 5 Case 1 AOA 25° 의 후류 유동 흐름

2.3.1 Case1, 2, 3 (윗면 곡률변화) 공력특성 비교

기본형상에서 윗면의 곡률을 변경시킨 Case1, 2, 3의 공력특성을 비교해 보았다. 모든 형상이 받음각이 증가할수록 양력계수가 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 윗면 곡률이 증가된 형상(Case2)의 경우 기존형상(Case1) 보다 양력계수가 작으며 받음각 20° 에서는 급격한 양력계수가 감소하고, 항력계수가 급증하는 실속이 발생한다.

받음각 5° 의 유동흐름을 살펴보면 곡률이 증가된 형상(Case2)이 기존 형상(Case1)에 비해 내부 박리 거품이 더 크게 발생하여 양력손실이 발생하였다.

그림 9에서 곡률이 증가된 형상(Case2)의 유동흐름을 살펴보면 앞전에서부터 발생하여 형상전체로 확장되는 박리가 발생한다. 기존 형상(Case1)과 곡률이 완만한 형상(Case3)은 형상 윗면에서 박리의 발생하지 않는다. 이를 통해 윗면 곡률의 증가가 앞전 박리를 발생시켜 양력계수가 작아지고 항력계수가 증가한다는 것을 확인 할 수 있다.

윗면의 곡률이 증가하게 되면 두께가 두꺼운 익형과 같고 받음각일 때 유동이 앞쪽에서부터 흘러가면서 점성의 효과에 의해 앞전에서 발생한 작은 박리가 크게 확대되어 형상 전체에 영향을 미치게 된다.[5] 하지만 Case1과 Case3은 Case2와 비교했을 때 윗면의 곡률이 완만하여 마치 두께가 비교적 얇은 익형의 모습이 된다. 이로 인해 형상표면에서 박리가

발생하지 않으며, 내부에서의 박리 거품이 작게 생성되어 양력계수가 증가하고, 실속각이 증가된다.

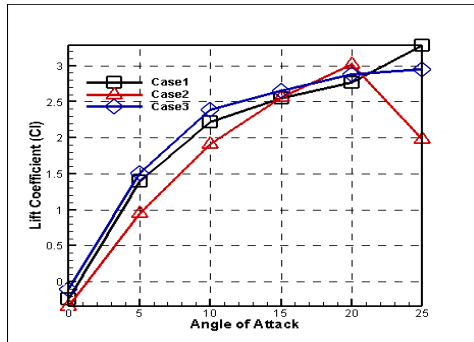


그림 6 Case1, 2, 3, 양력계수 비교

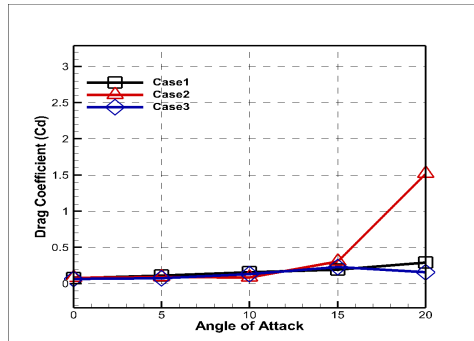


그림 7 Case1, 2, 3, 항력계수 비교

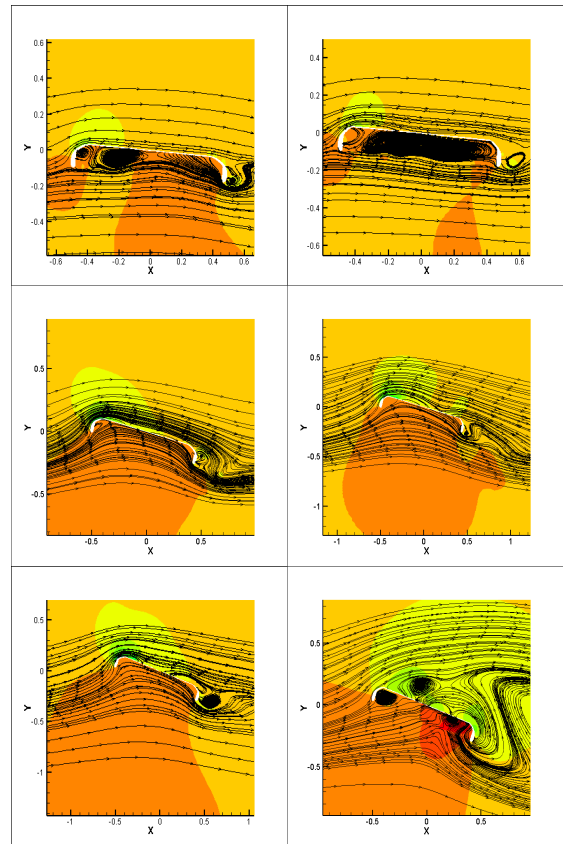


그림 9 Case1, 2 유동흐름 결과 비교 (AOA 5°, 15°, 20°)

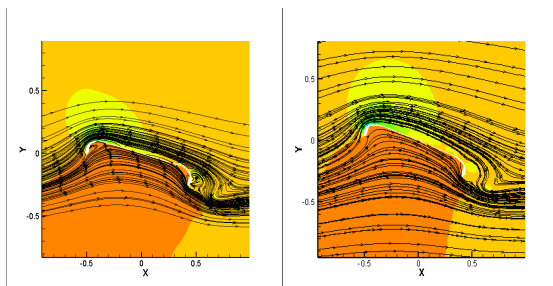


그림 8 Case1, 3 유동흐름 결과 비교 (AOA 20°)

2.3.2 Case2, 4, 5 (끝단두께 변화) 공력특성 비교

Case2, 4, 5의 공력계수는 받음각 15°까지는 두께가 얇은 Case4의 양력계수가 크게 측정된다. 그 이후로는 두께가 중간인 Case2와 두께가 두꺼운 Case5의 양력계수는 급격히 감소하고, 항력계수 또한 급증하는 실속이 발생한다.

받음각 5°일 때 두께가 얇은 형상(Case4)과 두께가 두꺼운 형상(Case5)을 비교해 보면 앞전에서의 유동흐름은 비슷하지만 두께가 두꺼운 형상(Case5)의 뒷전 박리가 더 강력하게 발생한다. 강력한 뒷전 박리로 인해 양력계수의 감소가 일어난다.

그림 13, 14, 15에서 받음각 15°일 때는 세 가지 형상이 매우 흡사한 유동의 흐름을 보여준다. 받음각이 증가 할수록 앞전에서 발생한 박리가 형상 전체에 영향을 미치는 것은 비슷하지만 두께가 얇은 형상(Case4)에 비해 두께가 두꺼운 형상(Case5)은 형상의 표면을 따라 위쪽으로 올라가려는 유동흐름이 강해진다. 이러한 영향으로 끝단두께가 두꺼워질수록 뒷전 박리가 강하게 일어나게 되어 실속이 발생하게 된다.

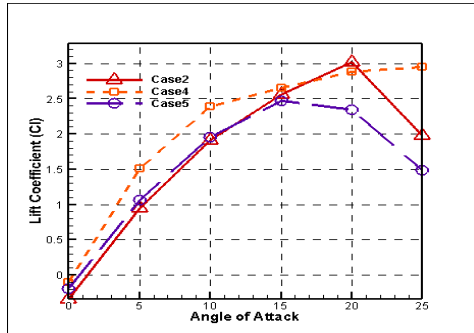


그림 10 Case2, 4, 5 양력계수 비교

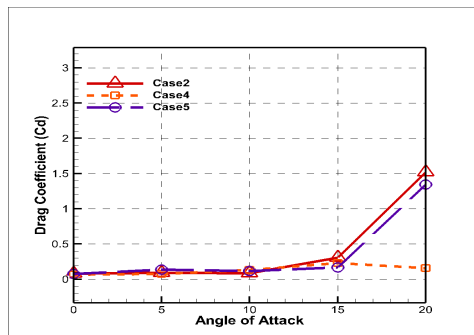


그림 11 Case2, 4, 5 항력계수 비교

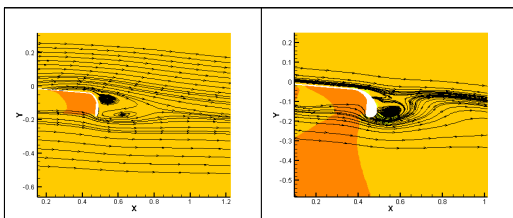


그림 12 Case4, 5 유동흐름 결과 비교(AOA 5°)

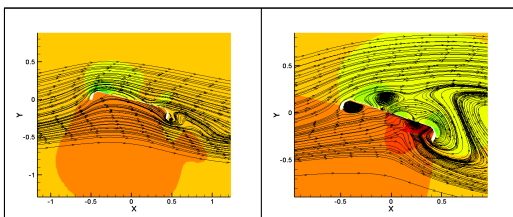


그림 13 Case2 유동흐름 결과 비교(AOA 15°, 20°)

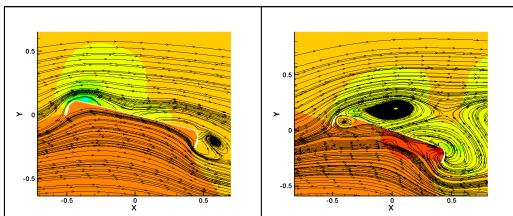


그림 14 Case4 유동흐름 결과 비교(AOA 15°, 20°)

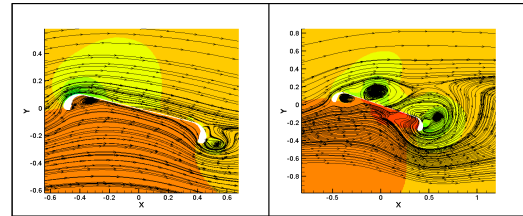


그림 15 Case5 유동흐름 결과 비교(AOA 15°, 20°)

3. 결 론

플라잉디스크의 형상을 크게 윗면 곡률과 끝단두께를 변화하여 총 5가지 형상을 설정한 뒤에 EDISON_CFD의 해석 모델을 이용하여 공력계수 및 유동흐름을 비교하였다. 첫 번째 비교인 윗면 곡률의 변화에서는 곡률이 급격해질수록 형상 표면에서 박리 와류가 발생하여 형상전체로 크게 확장되고, 형상내부에 박리 거품이 강하게 발생한다. 이로 인해 양력계수와 실속각이 감소한다. 두 번째 비교인 끝단두께의 변화에서는 두께가 두꺼워 표면을 따라 형상 위쪽으로 올라가는 유동흐름이 강해져 뒷전 박리가 강해져 양력계수의 감소와 실속각의 감소가 나타난다.

본 연구 결과 플라잉디스크의 양력계수와 실속각을 증가시키기 위해서는 형상을 윗면 곡률은 완만하게, 끝단두께는 얇게 제작하는 것이 유리하다는 것을 확인 하였다.

후 기

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2011-0020557)

References

- [1] 2003, Sarah Hummel, "Frisbee Flight Simulation and Throw Biomechanics," Doctoral dissertation, University of California Davis,
- [2] 2002, J.R. Potts & W.J. Crowther, "Frisbee Aerodynamics," *Proceedings of the 20th AIAA Applied Aerodynamics Conference*, AIAA 2002-3150
- [3] 2005, Jonathan Potts, "Disc-wing Aerodynamics," Doctoral dissertation, The University of Manchester
- [4] Frank M. White, "*Fluid Mechanics*", MacGraw-Hill.
- [5] John D. Anderson JR, "*Fundamentals of Aerodynamics*", MacGraw-Hill.