

새치류의 부리와 미사일의 Spike형상의 유동특성 연구

길 하 중¹, 안 영 민¹, 배 진 규^{*1}

¹건국대학교 항공우주정보시스템공학과

물 속에서 고속으로 수영하는 상당수의 어류는 긴 부리 모양의 주둥이를 가진다. 대표적으로 지구상 가장 빠른 물고기인 돛새치가 있다. 이러한 사실은 이 독특한 형상과 고속운동의 상관관계에 대해 학구적 호기심을 자아냈고 그에 따라 본 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 돛새치, 청새치들의 2차원 형상을 가지고 부리의 존재 유무가 항력에 미치는 영향을 분석하고 더 나아가 미사일의 spike가 항력에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 부리가 방향전환 시 기동성 증진에도 기여하는지를 알아보았다. 해석을 위해 Kflow Edison 13와 2D Comp P 해석자를 활용하여 동일 유동조건에서 항력계수를 비교하였다. 그리고 돛새치가 방향 전환할 때 발생하는 모멘트계수를 얻기 위해 2D_Incomp_P 해석자를 활용하였다.

Key Words : 부리형상(Spike configuration), 돛새치(Sailfish), 항력 계수(Drag Coefficient), 모멘트 계수(Moment Coefficient)··· 충격파(Shock wave)

1. 서 론

가장 빠른 물고기로 알려진 돛새치는 부리를 가지고 있으며 최대 110km/h의 속도로 수영할 수 있다. 또한 청새치 역시 부리를 가지고 있으며 비슷한 수영속도를 지닌다. 돛새치, 청새치는 부리 뿐 만아니라 V자 형태의 돌기 비늘이 존재하며 이는 다른 물고기에서 찾아볼 수 없는 특징이다. 최근 한 연구에서는 풍동실험과 수치해석을 통해 돛새치 표면에 존재하는 V자형돌기가 마찰저항에 미치는 영향을 분석하였다.^[1] 해당 연구에서 마찰저항은 감소하지만 돌기로 인한 형상저항 증가로 인해 전체저항의 감소효과가 미미하다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 풍동실험을 통해 부리가 유동에 미치는 영향을 나타낸 선행연구가 있다.^[2] 하지만 풍동실험은 피실험체의 제작에 어려움이 있을 뿐 아니라, 아음속에서부터 초음속까지 넓은 속도범위 및 다양한 조건을 연구하는데 제약이 있다. 그에 반해 전산유체해석(CFD)을 이용할 경우 상대적으로 비용과 시간의 소모가 적으며 다양한 조건에 대해 간편하게 연구를 수행할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 EDISON CFD를 활용하여 부리가 유동에 미치는 영향을 연구하였다. 구체적으로 다양한 속도구간에서 부리의 유무에 따른 저항 감소 여부를 확인하기 위해 EDISON CFD의 Kflow Edison 13와 2D_Comp_P해석자를 활용했다. 그리고 방향전환에 미치는 부리의 영향을 분석하기 위해 2D_Incomp_P해석자를 활용했다. 저항 감소 여부는 항력계수의 비교를 통해 판단했다. 아음속 영역에 대한 해석을 위해 돛새치 및 청새치 형상을 이용했다. 더 나아가 천음속,

초음속 구간에서의 연구를 위해 부리와 비슷한 형상의 Spike가 장착된 UGM-96미사일 형상을 바탕으로 연구를 수행했다. 방향전환에 대한 부리의 영향해석은 돛새치 및 청새치에 대해 부리 유무에 따라 여러 받음각에서 모멘트 계수를 비교했다.

연구에 사용될 형상 데이터를 구하기 위해 CATIA의 Sketch Tracer 기능을 사용하였다. 물고기의 경우, 고속유영 시 지느러미를 몸에 밀착시키기 때문에 지느러미를 제외한 형상을 데이터화하였고, 부리가 존재하지 않는다고 가정한 형상들은 주둥이의 형상만 유선형으로 변화시켜 얻었다. 미사일 spike 유무에 대한 형상도 마찬가지로 선두부분을 유선형으로 변화시켜 얻었다.

2. 본 론

2.1 배경 이론

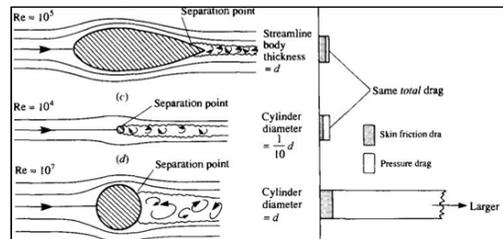


Fig. 1 Comparison between skin friction drag and pressure drag

유동장에서 물체의 저항은 항력이고 항력은 (1)^[3]의 식으로

표현된다.

$$Drag = C_D \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \quad (1)$$

동일한 유동조건이라면 항력계수의 비교를 통해 항력을 비교할 수 있다. 2차원에서의 전체 항력계수는 압력에 의한 pressure drag coefficient와 점성에 의한 friction drag coefficient의 합으로 나타난다.

초음속의 유동에서는 압력, 온도, 밀도 등 매질의 특성에 불연속적인 변화를 일으키는 충격파(Shock wave)현상이 나타난다. 충격파의 종류에는 Oblique shock, Normal shock가 있으며, 충격파를 경계로 Oblique shock 보다 Normal shock 하류의 매질에서 더 크게 성질이 변한다.

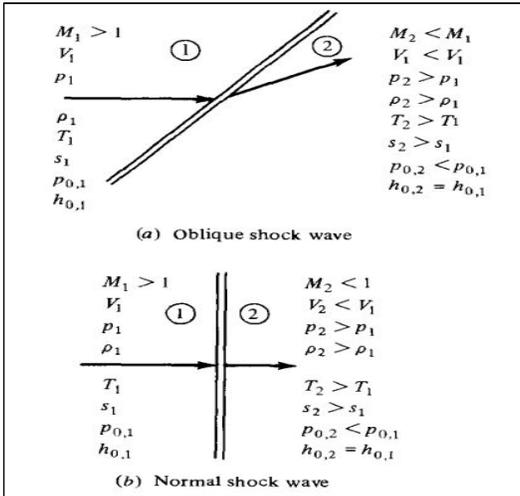


Fig. 2 Qualitative pictures of flow through oblique and normal shock waves.

Blunt Body의 경우, Normal Shock가 나타나는 Detached shock가 발생하며, 앞이 뾰족한 형상에서는 Oblick shock가 발생한다.

받음각에 따른 모멘트 계수는 (+)받음각에서 음의 방향으로 클수록 안정하고 (-)받음각에서 양의 방향으로 클수록 안정하다. 안정성이 낮을수록 유동변화에 민감하게 반응하므로 기동성이 높다. 그러므로 돛새치 윗면 형상의 받음각에 대한 모멘트 계수를 비교하여 기동성 우위를 판단할 수 있다.

2.2 EDISON_CFD Setting

물고기의 옆면 해석 시 유동장을 바닷물이라고 가정하여 Kflow edison 13를 활용하고 초음속 영역을 해석하는 미사일 경우 압축성 유동 해석자인 2D_Comp_P를 활용하여 해석한다.

Table 1 Sailfish topview 2D_Incomp_P setting

2D_Incomp_P 유동 조건	
비점성/층류/난류	Turbulent Flow
Mach Number	0.0898
Reynolds Number	4500000
받음각 [Degree]	0-20° 1° 간격
정상/비정상 유동	Steady Flow
Flux 계산 기법	Roe M
제한자	Van Albada
시간전진기법	LU-SGS
CFL	1

Table 2 Sideview Kflow edison 13 setting

Kflow edison 13 유동 조건	
비점성/층류/난류	Turbulent Flow
Mach Number (Velocity) & Reynolds number	0.0293(10m/s) - 1,500,000 0.0440(15m/s) - 2,250,000 0.0587(20m/s) - 3,000,000 & 0.0734(25m/s) - 3,750,000 0.0898(30m/s) - 4,500,000
받음각	0
정상/비정상 유동	Steady Flow
Flux 계산 기법	Roe M
제한자	Van Albada
시간전진기법	LU-SGS
CFL	1

Table. 3 Missile 2D_Comp_P setting

2D_Comp_P 유동 조건	
비점성/층류/난류	Turbulent Flow
Mach Number & Reynolds Number	0.5 - 1,540,225 0.8 - 2,466,741 1.0 - 3,083,426 1.2 - 3,697,154 1.5 - 4,625,140 1.9 - 6,166,853
받음각	0
정상/비정상 유동	Steady Flow
Flux 계산 기법	Roe M, Roe
제한자	Van Albada, Minmod
시간전진기법	LU-SGS
CFL	1

2.3 물고기 및 미사일 형상

모든 격자는 O형 격자로 제작하였고 난류 계산의 정확성

을 위해 첫 번째 cell 간격은 Y+calculator를 이용하여 $ds=5.8216E-6$ 로 설정하였다.

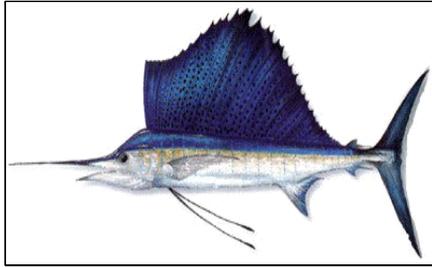


Fig. 3 Sailfish



Fig. 4 Bluemarin

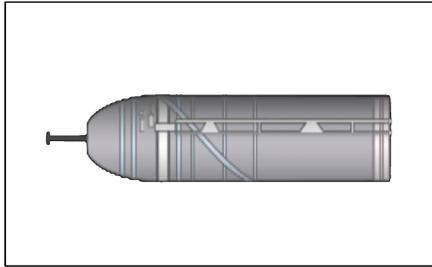


Fig. 5 UGM-96 Missile

모든 형상은 부리 혹은 spike가 있는 형상과 없다고 가정한 형상으로 제작하였으며 Fig.3-5는 형상제작에 사용된 사진자료이다.

2.4 해석 결과

Fig. 6과 Fig. 9은 돛새치와 청새치의 부리 유무에 따른 항력계수를 나타낸 그래프이다.

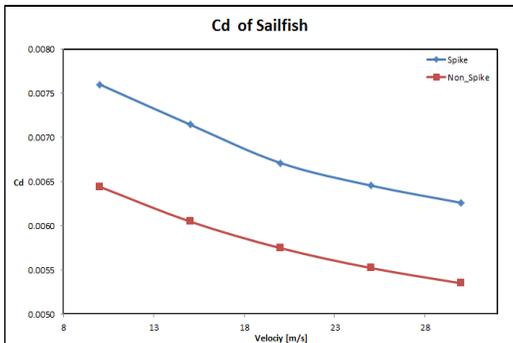


Fig. 6 Drag coefficient of sailfish

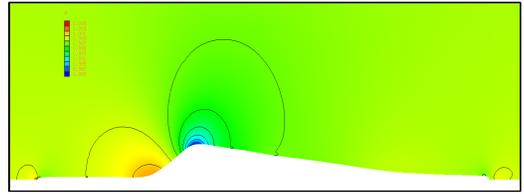


Fig. 7 Sailfish spike Pressure contour (30m/s)

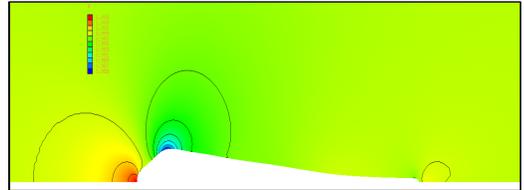


Fig. 8 Sailfish nonspike pressure contour (30m/s)

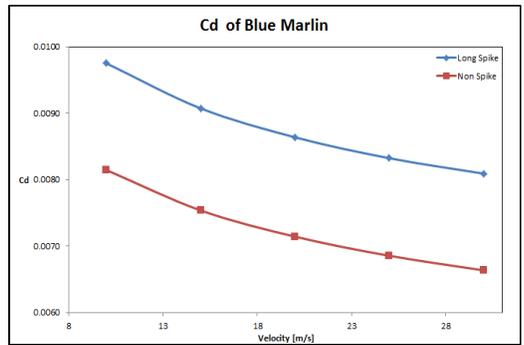


Fig. 9 Drag coefficient of bluemarin

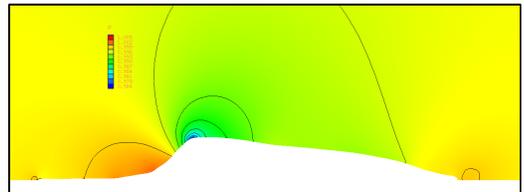


Fig. 10 Bluemarin spike pressure contour (30m/s)

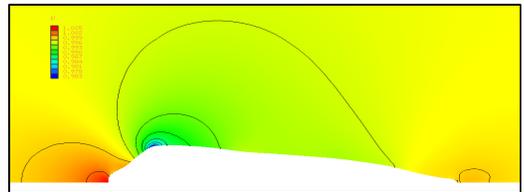


Fig. 11 Bluemarin nonspike pressure contour (30m/s)

돛새치와 청새치 모두 모든 속도 범위에서 부리가 있는 형상이 더 큰 항력계수를 나타냈다. 돛새치의 경우는 부리가 있

을 때가 항력계수가 약 0.001 증가하였고 청새치의 경우 약 0.002 증가하였다. 이런 결과로 볼 때, 아음속에서 부리의 존재는 저항감소에 미치는 영향이 없으며 오히려 저항증가를 유발한다.

부리의 길이가 저항증가에 미치는 영향을 알아보기 위해 돛새치 부리의 길이를 달리하여 항력계수를 확인하였다. 부리의 길이는 0% (부리가 존재하지 않을 경우), 50% (실제 부리의 절반 길이), 100% (실제 부리 길이)로 나누어 비교하였다.

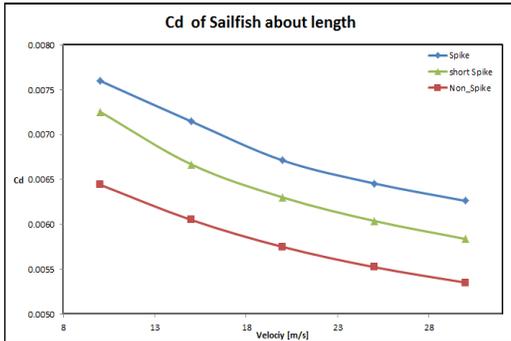


Fig. 12 Drag coefficient of sailfish about length

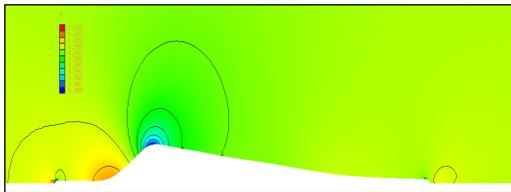


Fig. 13 Sailfish 50%spike pressure contour (30m/s)

부리의 길이가 증가할수록 그에 비례하여 항력도 증가하는 것을 확인하였다.

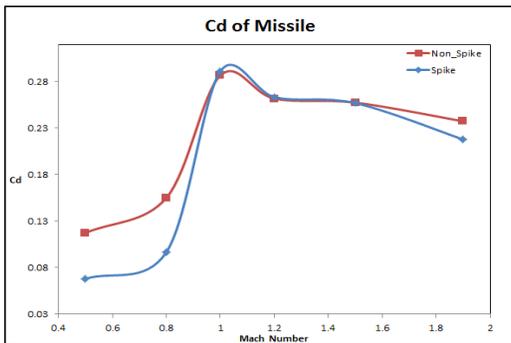


Fig. 14 Drag coefficient of Missile

미사일의 경우 Mach 1 이하의 아음속 영역에서 Spike가 있는 형상이 더 낮은 항력계수를 가진다. 그리고 항력발산 마하수를 지나는 천음속 구간에서 뿌리 유무와 상관없이 형상 앞쪽에 Detached shockwave가 발생한다. Spike의 존재로 인해 충

격파의 발생양상이 달라지지 않으므로 하류에 큰 영향을 미치지 않아 항력계수의 차이가 미미하다. 하지만 Mach 1.5이상의 초음속 영역에서는 충격파 발생에 미치는 Spike의 영향이 커지며, 그에 따라 Spike가 존재하는 형상의 항력계수가 없는 형상보다 더 작아진다.

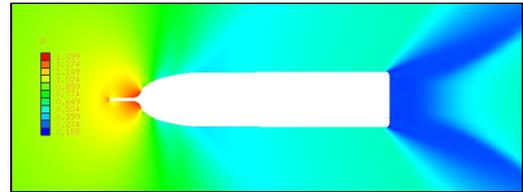


Fig. 15 Rocket spike subsonic speed (M=0.8)

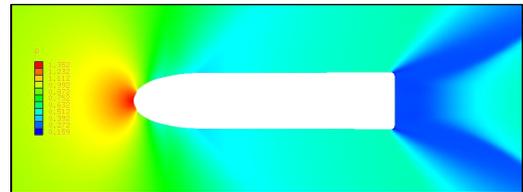


Fig. 16 Rocket nonspike subsonic speed (M=0.8)

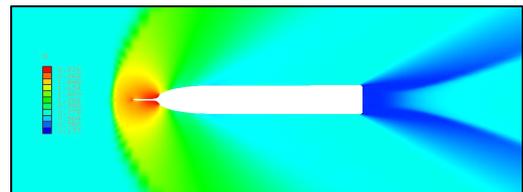


Fig. 17 Rocket spike transonic speed (M=1.2)

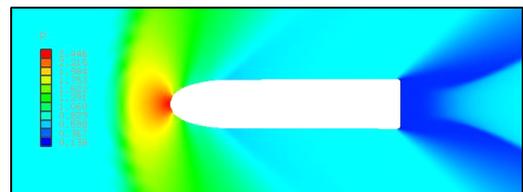


Fig. 18 Rocket nonspike transonic speed (M=1.2)

미사일 형상에서만 발생하는 독특한 현상이 아님을 확인하기 위해, 돛새치 형상을 바탕으로 초음속 유동조건에서 해석한 결과 Table. 4와 같이 돛새치 형상에서도 초음속 영역에서는 부리가 있는 형상이 더 작은 항력계수를 갖는 것을 확인할 수 있다.

Table. 4 Sailfish supersonic output (M=1.5)

Sailfish sideview		
Mach number & Reynolds number		1.5 - 4625140
Drag coefficient	부리가 있는 형상	0.1171
	부리가 없는 형상	0.2010

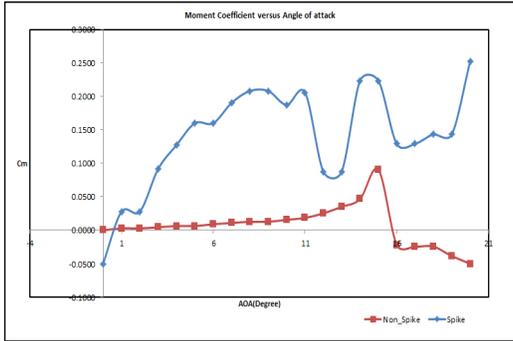


Fig. 19 Moment coefficient of sailfish about AOA

Fig. 19에서는 돛새치 윗면 형상의 받음각에 대한 모멘트 계수를 나타낸다. 부리의 유무에 따른 두개의 그래프를 비교 해본 결과, 받음각이 증가할수록 모멘트계수도 증가한다. 이때 부리가 존재할 때 더 큰 폭으로 모멘트계수가 증가한다. 즉 부리의 존재가 방향전환 시 기동성향상에 기여한다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

새치류의 부리가 고속운동에서 항력계수를 감소시켜주는 역할을 할 것이라는 예상과 달리 오히려 부리가 있는 형상에서 더 큰 항력계수가 측정되었다. 그리고 부리의 길이가 길수록 항력계수 또한 증가하였다. 이것은 아음속 영역에서는 부리가 없는 경우보다 유동에 닿는 면적이 커지면서 항력계수가 증가한 것으로 판단된다.

미사일의 경우, 천음속구간에서는 spike의 존재유무와 상관없이 Detached Shockwave가 발생하고, spike로 인한 저항감소가 미미하다. 하지만 Mach Number가 증가할수록 spike가 장착된 형상에서 더 낮은 항력계수를 확인할 수 있었다. 따라서 마하수가 1.2이상 및 극초음속영역으로 갈수록 spike의 저항감소 효과가 커질 것으로 예상할 수 있다.

부리의 존재는 모멘트 계수를 더 크게 증가시켜 기동성 향상에 도움을 주지만 비행체에 spike형상을 장착할 경우 안정성을 저하시킬 수 있다.

결과적으로 돛새치, 청새치, 황새치 등이 가지고 있는 부리가 새치류의 운동에 미치는 영향을 정리해보면 다음과 같다.

1. 아음속에서 물체 전방에 부리 혹은 Spike형상은 Friction drag coefficient를 증가시켜 고속운동 시 저항을 증가시킨다.
2. 아음속에서 spike의 길이가 길어질수록 항력계수가 증가한다.

3. 천음속에서 물체의 전방에 있는 Spike 형상의 저항감소 효과는 미미하지만, 초음속에서 마하수가 높아질수록 저항감소 효과는 커진다.
4. 전방에 있는 spike는 방향전환 시 기동성향상에 기여한다.

후 기

본 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2016M3C1A6937383)

참 고 문 헌

[1] 2009, 사공웅, 전우평, 최해천, “돛새치와 황새치의 유체역학적 특성”, *대한기계학회 춘추학술대회*, p2729-2733

[2] 2008, Sagong, W., Kim, C., Choi, S., Jeon, W. -P. and Choi, H., , “Does the sailfish reduce the skin friction like the shark skin?,” *Phys. Fluids, Vol. 20, 101510.*

[3] 2005, John D. Anderson, JR., *Introduction to Flight Fifth Edition*, McGraw-Hill international edition.