

WIG선의 해면효과에 대한 수치적 접근 및 고찰

Numerical study of wing in ground effects of the WIG ship

임옥재^{1*}, 박세완¹, 이희범¹
 서울대학교 조선해양공학과¹

초 록

항공기가 지면 혹은 해면 위를 낮게 비행할 때 양력이 증가하고 항력이 감소하는 이른바 해면 효과(ground effect)가 발생하게 된다. 위그선(WIG)선은 이러한 해면 효과를 이용한 선박으로 시속 100~500km의 속도 범위에서 해면 위를 낮게 비행하는 선박을 뜻하며 차세대 초고속 해상 수송수단으로 떠오르고 있다. 본 연구에서는 해면효과로 인한 2차원 위그선 날개 주위의 양항력 변화를 알아보기 위하여 유한체적법 기반의 EDISON-CFD를 사용하였다. 위그선 날개 주위의 유동은 날개와 해면사이의 거리에 영향을 받으므로 날개와 해면사이의 거리에 따른 계산 영역과 격자를 각각 생성 하였다. 본 연구를 통해 날개와 해면 사이의 거리가 가까워 질수록 해면효과에 의하여 위그선 날개의 양력이 증가하였고 항력은 감소되는 결과를 확인할 수 있었다.

Key Words : 위그선(WIG ship), 해면효과(wing in ground effect)

1. 서론

위그선이란 항공기가 지면 혹은 해면 위를 낮게 비행할 때 발생하는 양력의 증가와 항력의 감소로 양항비가 급격히 증가하는 점을 이용하여, 경제적으로 시속 100~500km의 속도 범위에서 해면 위를 낮게 비행하는 선박을 뜻한다. 위그선의 개발 역사는 70년 정도 되었다. 1980년대 말 구소련 공산체제가 무너지면서 러시아에서 개발된 위그선이 서방세계에 알려졌고, 차세대 초고속 해상 수송수단으로 재조명되고 있다. 러시아에서 개발된 위그선들은 모두가 군사용이었고, 냉전체제가 무너진 후 러시아는 물론 서방세계에서는 이들의 민수 및 상업적 이용으로의 전환을 모색하고 있으며, 이미 몇 척의 민수용 소형 위그선들이 개발되었다. 최근에는 우리나라에서도 국책사업의 일환으로 상업용 위그선을 개발하고 있다. (1) 위그선은 물 위를 떠서 가기 때문에 해면의 저항이 없어 다른 선박과 달리 매우 빠른 속도로 운항 할 수 있다. 또한, 고공을 나는 비행기처럼 높이 올라가지 않기 때문에 이륙하는 데 필요한 에너지가 절약되고 연료비가 적게 든다. 날개 밑으로 생기는 Air cushion은 선박이 좌우로 흔들리는 Rolling을 최소화하며 뱃멀미가 없고 편안한 운항을 할 수 있게 한다. 다른 선박에 비해 CO2배출량이 적어 온실 효과가 적다.

2. 배경이론

2.1 날개 주변의 양력 이론

날개 주변의 양력은 와도와 순환의 개념을 고려하여 설명할 수 있다. 순환은 유동장 내부에 정의된 폐경로 C에 대해 유체 입자 속도의 접선방향 성분 u_T 의 선적분으로 다음과 같이 정의가 된다.

$$\Gamma = \oint_C u_T ds$$

Stokes 정리를 사용하여 다음과 같은 식으로 바꿀 수 있다.

$$\Gamma = \oint_C u_T ds = \iint_S \omega_n ds = wA_S$$

점 와동의 경우 유동장의 식을 $v = c/r$ 로 표현 할 수 있다. 속도의 크기는 거리에 반비례하여 감소한다. 점와동에 기인하는 유동장은 원주방향의 속도성분만 가지고 있으므로 원기둥과 같은 형상에 점와동을 중심에 적용시켜 양력 문제를 유용하게 풀 수 있다. 일반적으로 원기둥 주위의 유선은 상하대칭이지만 원점에 점와동을 추가한 경우 상하방향으로 대칭성이 유지되지 않는다. 한쪽의 유동의 속도가 다른 한쪽의 유동의 속도보다 빠르게 되며 이에 따라 비대칭 압력분포가 발생하여 양력을 발생시킨다. 점와동을 고려한 순환값을 구하면 아래와 같다.

$$\Gamma = \oint_C u_T ds = \int_0^{2\pi} \frac{c}{r_0} r_0 d\theta = 2\pi c$$

$$\therefore v = c/r = \Gamma/2\pi r$$

균일유동 속에 놓인 원기둥에 점와동이 더해진 경우 양력이 발생하며, 이 힘은 Kutta-Joukowski정리에 따라 다음과 같이 주어진다.(2)

$$L = \rho V \Gamma$$

2.2 해면효과

일반적으로 양력은 날개 윗면의 압력이 상대적으로 아랫면의 압력보다 낮아서 발생 한다. 이러한 압력은 날개면 뿐만 아니라 날개 양 끝에서도 작용하여 날개 끝에서 와류가 발생한다. 이 와류를 Wingtip vortex라 한다. 이렇게 생긴 와류는 날개가 앞으로 가면서 뒤에 남게 된다. 이 뒤에 남은 와류를 Trailing vortex라고 한다. Trailing vortex의 의해서 날개 끝에서는 날개 안으로 들어가는 속도가 발생되어지고 속도의 성분을 아래로 향하게 한다. 이를 Downwash라 한다. 이 Downwash는 날개에 걸리는 양력을 줄이기 때문에 더 큰 Angle of attack을 형성하여야 한다. 그러나 Angle of attack이 증가함에 따라서 날개에 항력 또한 증가하고 우리는 이를 Induced drag, 즉 유기 항력이라 한다. 실제로 날개가 수면에 가까워지면 부분적으로 Trailing vortex을 방해하기 때문에 날개의 Downwash가 줄어든다. Downwash의 감소는 Angle of attack의 효과가 더욱 커져서 더 많은 양력을 발생시키고 항력이 줄어들어든다. 또한 날개와 수면의 거리가 줄어들면 공기가 압축되면서 아랫면의 공기의 압력이 더 커져서 추가적인 양력을 발생시킨다. 이와 같이 지면 또는 수면 가까이 비행할 때 날개와 지면 사이에 공기가 갇혀 압력이 높아지면서 양력이 증가하는 현상을 지면효과 (Ground effect)라 한다. 지면효과를 이용한 비행체는 하늘을 나는 동일한 형상의 비행체에 비하여 더 큰 양항비를 가질 수 있어서, 비행성능이 향상될 수 있다.

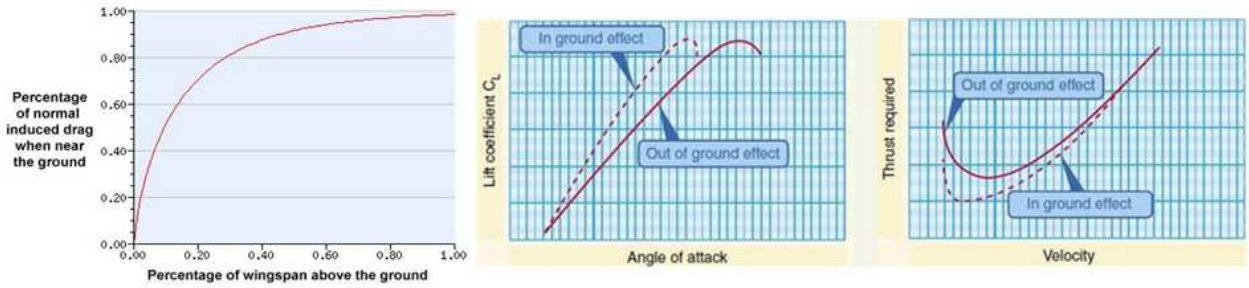


그림 1 Ground effect에 따른 유도항력과 항력계수와 추력 변화

3. EDISON_CFD를 이용한 해면효과의 검증

3.1 격자 생성 및 계산 조건

위그선에 사용하고 있는 지면 효과에 대해 EDISON_CFD 프로그램을 사용하여 계산 하였다. 해면효과를 제대로 확인하기 위해서는 자유수면의 모델이 필요하며 날개 끝단 와류를 고려해야 하는 만큼 자유수면효과와 3차원 모델링이 필요하다. 그러나 EDISON_CFD에서는 이러한 것들을 현재로는 구현하기 어렵기 때문에 위그선의 날개를 2차원으로 가정하였다 이는 3차원 효과를 무시한 것이기 때문에 바닥과의 높이가 줄어들어 생기는 항력의 증가는 3차원으로 확장 시 와도에 의한 추가적인 양력의 증가분으로 판단해야 한다. 계산 영역 및 격자는 그림 2와 같은 형상으로 총 16,000여 개의 정렬격자를 사용하였다. 위그선의 날개 단면과 지면사이의 거리는 날개의 코드길이에 무차원한 값인 1.5, 2.0, 3.0을 사용하였다.

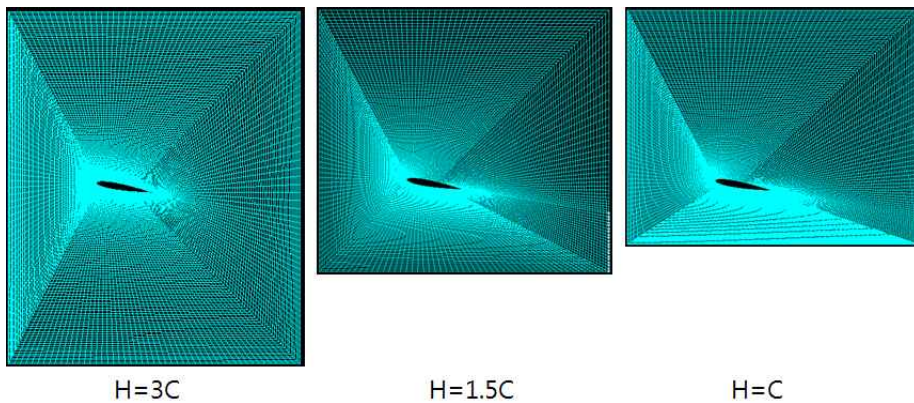


그림 2 계산영역 및 격자 모양

유동이 들어오는 입구 경계조건은 inflow 조건을 사용하였고 출구 경계조건으로는 outflow 조건을 사용하였다. 바닥면의 경계조건은 wall로 설정 하였다. 계산에 사용된 레이놀즈수는 10^4 으로 설정 하였다.

4. 결 과

그림 3은 해면과의 거리에 따른 날개 주위의 압력 분포를 나타낸 것이다. 세 가지 경우 압력 분포가

전체적으로 매우 비슷한 모습을 확인할 수 있다. 날개가 해면에 가까워질수록 날개의 양력은 감소하며 날개의 항력은 증가하는 압력 분포를 볼 수 있다.

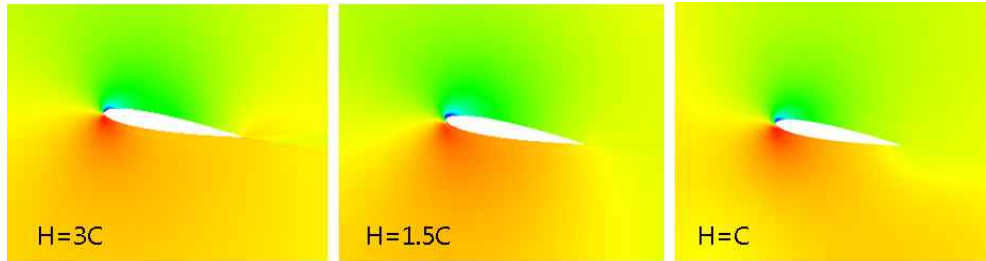


그림 3 바닥면까지의 거리에 따른 WIG선 날개 주위의 압력 분포

그림 4는 해면의 거리에 따른 날개의 양력과 항력을 나타낸 것으로 날개가 해면에 가까워질수록 항력은 증가하고 양력은 감소하고 있는 것을 볼 수 있는데 이는 위그선의 해석에 3차원 효과를 반드시 고려해야 한다는 것을 뜻할 수 있다. 앞서 살펴본 이론에서 날개 끝 와류가 매우 중요한데 이는 항력이 커지게 되면 와류가 커지게 되므로 항력으로 인한 추가적인 양력 생성 인자가 된다.

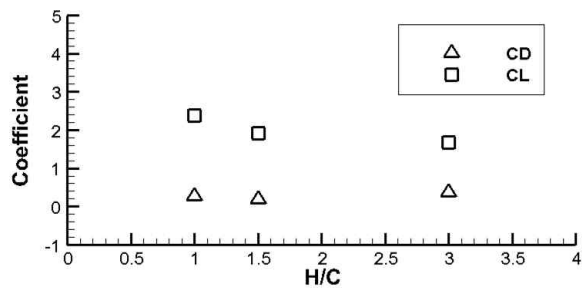


그림 4 H/C에 따른 양항력 계수

5. 결론

본 연구에서는 EDISON_CFD를 사용하여 위그선의 해면효과에 대해 알아보았으며 2차원 해석 시 날개와 해면사이의 거리가 가까워 질수록 항력이 증가하는 경향을 보였다. 그러나 이는 3차원 효과를 고려한다면 증가된 항력은 생성되는 와류의 크기를 키울 수 있으며 추가적인 양력의 증가를 가져올 수 있는 메커니즘으로 작용할 수 있다. 향후 연구에서는 3차원 효과를 고려한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부 첨단 사이언스.교육 허브 개발 사업(2011-0020563)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) 대한조선학회 선박유체역학연구회, 2009, 선박의 저항과 추진, 지성사, p206
- (2) 대한조선학회 선박유체역학연구회, 2009, 선박의 저항과 추진, 지성사, p225-p227