지면효과익의 공기역학특성을 위한 모사실험장치 개발에 관한 연구

김태호* · 김희동† · 이명호** · 손명환*** ? 村秀男****

Simulator Development for the Aerodynamic Characteristics of a Wing in Ground

Tae-Ho Kim, Heuy-Dong Kim, Myeong-Ho Lee, Myong-Hwan Shon and Hideo Kashimura

Key Words : Aerodynamic Characteristics (**공력특성**), Ground Effect(**지면효과**), Lift to Drag Ratio(**항양비**), WIG(**지면효과익**), Wing Aerodynamics(**날개공기역학**)

Abstract

A new ground transportation system is often simulated by the wing in ground effect(WIG). Recently, several kinds of experimental and computational studies are being carried out to investigate the WIG aerodynamic characteristics which are of practical importance to develop the new ground transportation vehicle system. These works are mainly based on conventional wind tunnel tests, but many problems associated with the WIG aerodynamic characteristics can not be satisfactorily resolved. In order to develop the new ground transportation vehicle system the WIG should be further investigated. To do this, it is necessary to develop a s imulator appropriate to the WIG aerodynamics. The objective of the present study is to clarify the aerodynamic characteristics of the WIG and to develop a new experimental test rig for the investigation of the WIG aerodynamics. Some preliminary experiments are performed to investigate the usefulness of the WIG simulator.

기호설명

c	**날개 코드길이** [mm]
C_L	**양력계수**
C_D	**항력계수**
D	**항력** [N]
F	**축방향으로 힘** [N]
h	**지면과 날개 사이의 간격** [mm]
L	**양력** [N]
M	**모멘트**[Nm]
n	**회전수** [rpm]
S	**날개의 단면적** [mm^2]
V	**날개의 회전속도** [m/s]
a	**영각**[degree]
r	**공기의 밀도** [kg/m^3]
Rec	**레이놀즈수**

† **안동대학교 기계공학과**
E-mail:kimhd@andong.ac.kr, **Tel.**:054-820-5600
* **안동대학교 기계공학과**
** **서울산업대학교 기계공학과**
*** **공군사관학교 항공우주공학과**
**** **北力州大**

1. 서 론

지면 근처에서 비행하는 물체의 경우, 지면효과(ground effect)**에 의하여 비행체에 작용하는 양력 및 항력특성은 자유공간에서 비행하는 물체와는 전혀 다르게 된다. 종래의 연구에 의하면, 지면효과익**(wing in ground effect, WIG)**의 경우, 날개에 작용하는 양력이 다소 증가하는 것으로 알려져 있으나, 지면효과의 정도가** WIG **공력특성에 어떠한 영향을 미치는지는 충분히 알려져 있지 않다. 따라서** WIG **의 공력특성을 결정하는 유체역학적 변수에 대한 연구가 필요하며, 이들을 실험적으로 조사할 수 있는 실험장치 및 계측장비의 개발이 필요하다.**

최근 환경문제 및 에너지 부족현상으로 인하여 환경친화 및 고효율 에너지 시스템 개

발에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다. 수송분야에서도 WIG 를 이용하여, 지면 근처에서 비행하면서 대량수송이 가능한 비행체 개발에 박차를 가하고 있다[1-3]. 이러한 WIG 의 공력특성에 관한 연구는 지금까지 풍동실험에 한하여 수행되어져 왔다[4,5]. 실제 지면 근처를 비행하는 물체의 공력특성에 관한 연구결과는 극히 드물다.

본 연구는 풍동실험이 아닌 실제의 WIG 의 공력특성을 실험할 수 있는 모사실험장치를 개발하는데 있다. 모사실험장치는 WIG 를 회전시켜, 지면 근처에서 비행하는 물체를 모사하였으며, 날개의 회전속도를 변화시켜 WIG 의 레이놀즈수를 변화시킬 수 있도록 설계하

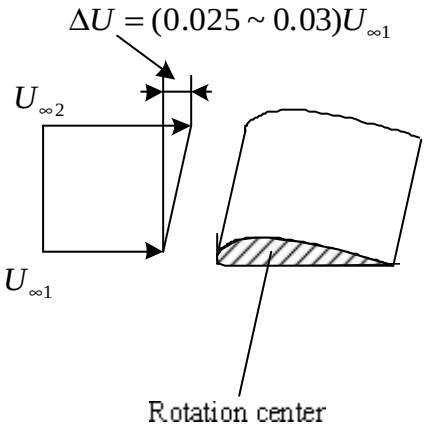
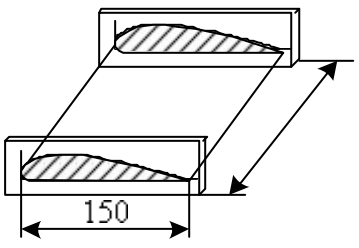
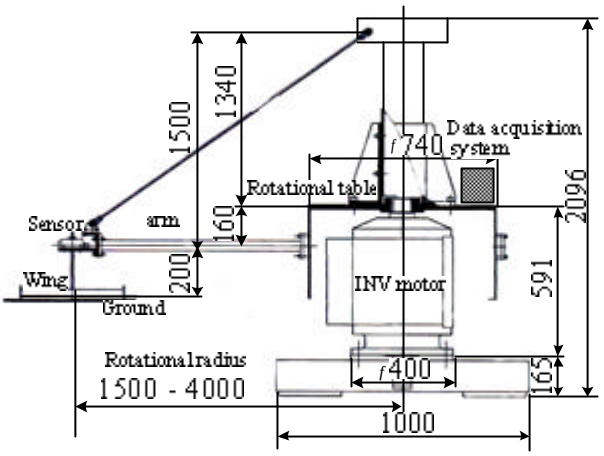


Fig.1 Velocity distribution over the WIG used

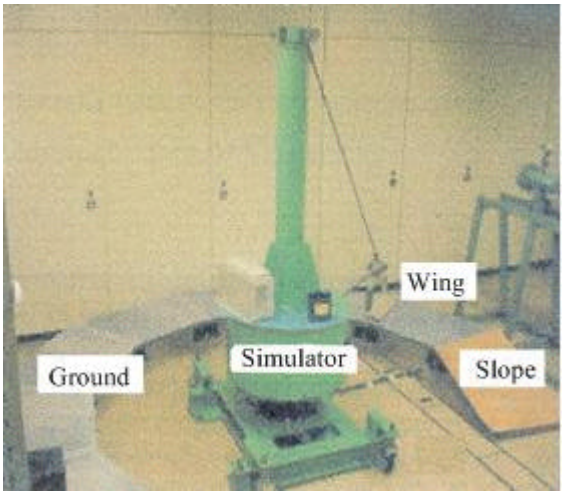


(a) Shape of the WIG used

Fig.2 *–continued –*



(b) Simulator for the WIG test



(c) Picture of the test rig

Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus (unit: mm)

였다. 실험에서는 지면으로부터 날개의 위치 및 영각을 변화시켜, 지면효과가 WIG 의 공력특성에 어떠한 영향을 미치는지에 관하여 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

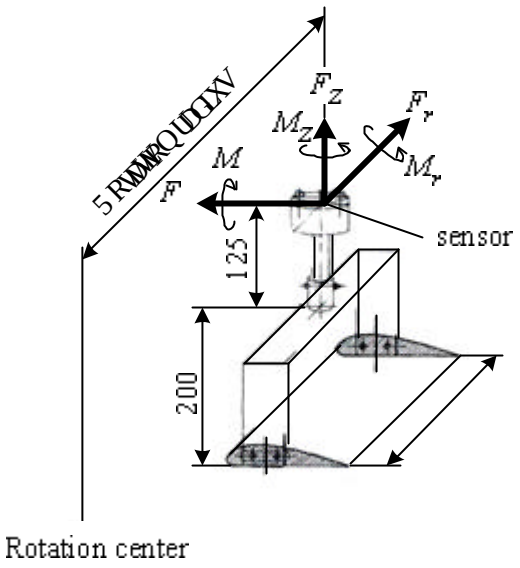
2.1 실험장치

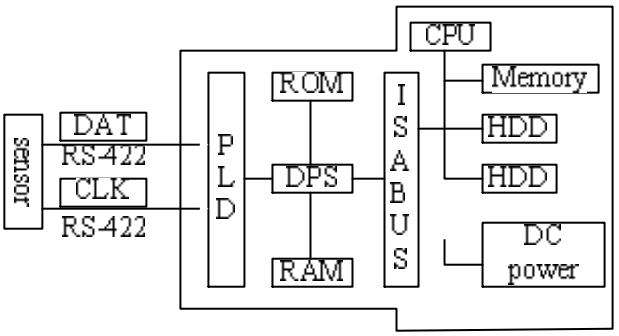
Fig.1 에는 회전식 모사실험장치를 구동할 경우, 날개에 적용되는 속도분포를 나타내었다. 그림에서 날개 안쪽의 유동속도를 $U_{\infty 1}$, 바깥쪽 속도를 $U_{\infty 2}$ 로 정하였다. 그림에서와 같이 회전으로 인하여, 비균일유동이 날개 위

를 지나가게 된다. 본 실험에 사용된 회전수 범위(20-40rpm)에서 날개의 내외측의 속도차 (ΔU)는 약 2.5-3%정도로 매우 작으므로, 본 실험에서는 균일유동으로 가정하여 실험을 수행하였다.

Fig.2 에는 본 연구에 사용된 WIG 및 회전식 모사실험장치의 개략도 및 사진을 나타내었다. Fig.2(a)는 실험에 사용된 폭 400mm, 코드길이 150mm 인 날개의 단면으로, 종래 풍동실험을 통하여 제안된 WIG 의 최적형상(SYM-1B)이다. WIG 의 공력특성을 조사하기 위한 회전식 모사실험장치(Fig.2(b))는 회전장치와 회전수를 제어하는 제어판으로 구성되어 있다. 회전장치는 인버터 모터에 회전테이블을 장착하여 그림에서와 같이 arm 을 연결하여, 그 선단에 WIG 의 공력측정용 센서 및 날개를 부착하였다. 모사실험장치는 실험실 공간을 고려하여 최대 회전반경을 4m, 날개의 최대질량을 10kg 및 최대회전속도를 10 m/s 의 조건하였으며, arm 의 선단을 철봉으로 그림에서와 같이 연결하여 변위, 강도를 체크하여 실험의 안전성을 기하였다.

또한 지면을 모사하기 위하여 장방형 합성수지판을 사진에서와 같이 분할배치, 지면과 날개의 간격를 날개코드로 나눈 비 (h/c)를 0-1 까지 조정가능 하도록 하였다.





2.2 실험방법

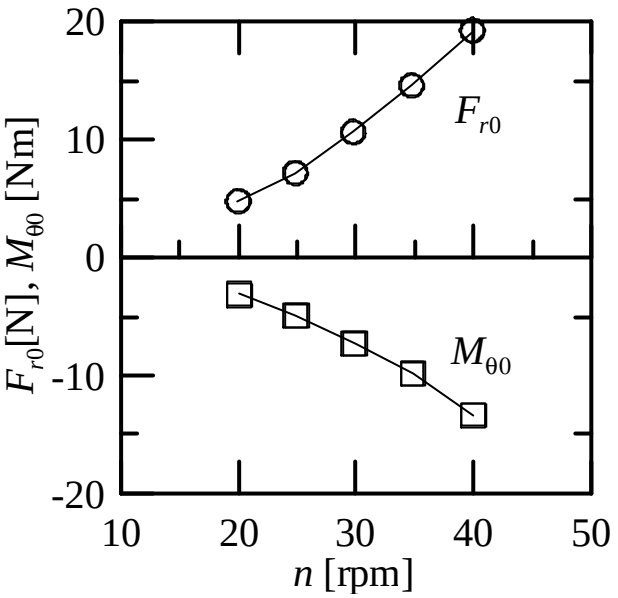
Fig.2 에 나타낸 모사실험장치를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험장치의 검증 및 WIG 의 공력특성평가를 위하여, 편의상 Fig.3 에 회전 원운동에 대한 접선방향을 q , 원심방향을 r, 수직방향을 z 로 정의하여, 각방향에 대한 힘 F 및 모멘트 M 을 나타내었다.

날개에 작용하는 공력특성은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

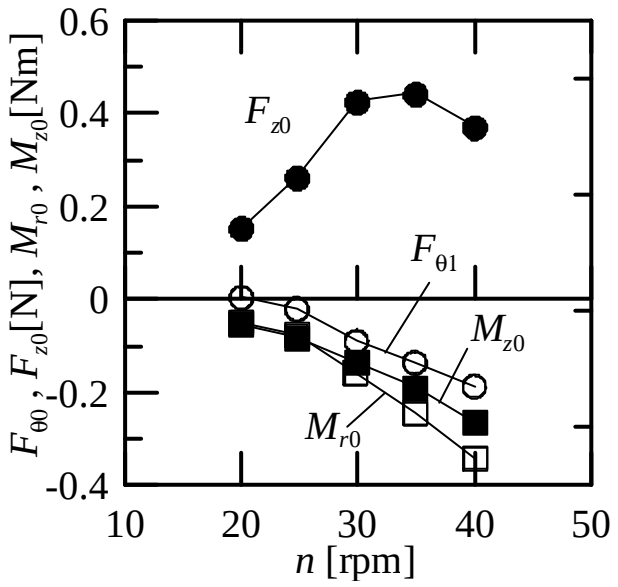
$$L = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot S \qquad (1)$$

$$D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot S \qquad (2)$$

여기에서, L 은 양력, D 는 항력, C_L 은 양력계수, C_D 는 항력계수, ρ 는 공기의 밀도, V 는 날



(a) F_{r0} and $M_{?0}$ vs n



(b) $F_?$, F_z, M_r and M_z vs n

Fig. 5 Forces and moments with variations in n

분을 동시에 측정할 수 있는 변형게이지식의 센서이다. 본체에 엠프, A/D 변환기 등을 내장, 총 6 개의 정보를 8kHz 로 고속처리가 가능하다.

데이터 처리과정을 Fig.4 에 나타내었다. 센서에서 얻어진 데이타는 RS-422 에 의하여 데이타 저장장치로 전송되며, 연산처리 과정을 거쳐 수치데이타로 저장된다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 모사실험장치 평가

모사실험장치의 검증을 위하여, 날개를 제외한 상태에서 회전수 n 과 축방향으로의 힘 및 모멘트의 관계를 Fig.5 에 나타내었다. Fig.5(a)에는 원심력 방향의 축력 F_{r0} 과 접선방향의 모멘트 $M_{?0}$, Fig.5(b)는 접선방향 및 수직방향의 힘 $F_{?0}$, F_{z0}와 원심력방향 및 수직방향의 모멘트 M_r, M_z 를 나타내었다. Fig.5(a)로부터 F_{r0}과 $M_{?0}$는 회전수 n 의 자승에 비례하며 변화하였다. 이 값들의 크기는 주로 날개에 붙어 있는 금속재료로부터 기인하는 것을 알았다. 그러므로 실제 WIG 의 공력특성평가시 이 부분에 대한 보정이 필요하다. Fig.5(b)에서는 F_{z0} 를 제외한 각 값들은 n>30 rpm 의 영역에서 속도에 반비례하며 감소하였다.

이상의 결과로부터 날개에 부착된 금속부분의 영향만 고려하면, 측정결과의 재현성에 관해서는 별 문제가 없다는 것을 알았다.

3.2 WIG 의 공력특성 평가

WIG 의 공력특성을 평가하기 위하여, Fig.1 에 나타낸 날개를 이용하여 실험을 수행하였다. 동일한 실험조건하에서 지면효과가 있는 경우와 없는 경우를 동시에 수행하기 위하여, Fig.2(c)에 나타난 것과 같이 주행경로의 2/3 에 지면을 설치, 나머지 부분에서는 지면효과가 없는 부분으로 구성하였다.

Fig.6 에는 h=10 mm, a =8 ° , n=40 rpm 인 경우 시간에 대한 각 방향의 힘들의 파형을 나타내었다. 그림으로부터 F_z의 파형에서 A 는 지면이 있는 부분, B 는 지면이 없는 부분이다. 이것으로부터 지면효과를 받으므로 인하여, 날개코드에 대한 수직방향으로 힘, 즉 양력이 다소 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 접선방향 힘의 파형으로는 양측의 차를 확인할 수 없었다.

Fig.6 과 동일한 조건하에서 회전수 변화에 대한 각 힘의 변화를 Fig.7 에 나타내었다. 그림에서 $F_?$ 는 항력, F_z는 양력을 나타내며, 지

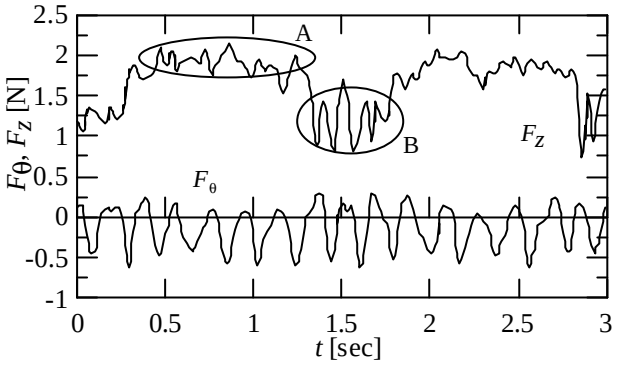


Fig. 6 Force variations with time on the WIG

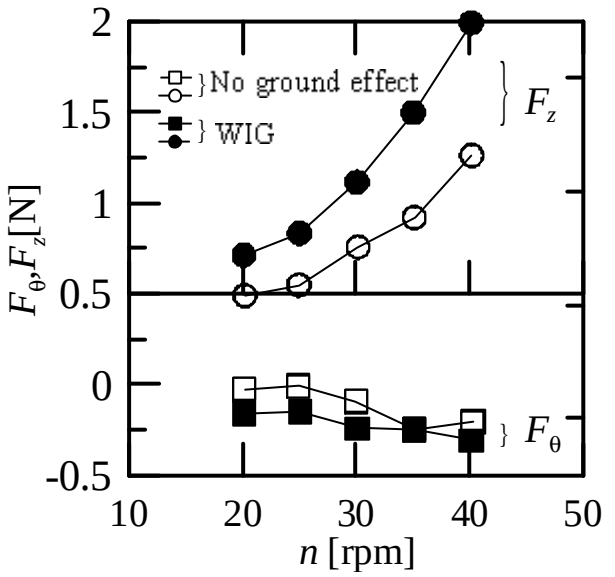


Fig. 7 Aerodynamic characteristics of the WIG with the variations in n(h=10 mm, a =8 °)

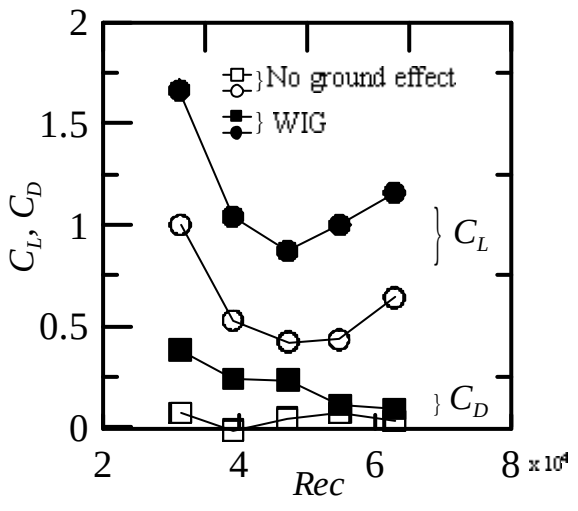


Fig. 8 Aerodynamic characteristics of the WIG with the variations in Rec(h=10 mm, a =8 °)

면효과의 유무는 Fig.6 의 A, B 영역에 해당한다. 그림으로부터 양력값은 회전수에 관계없이 지면효과에 의하여 다소 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 본 실험에서는 지면이 있는 경우와 없는 경우의 양력비는 약 1.5 배 정도이다. 또한 양력은 모두 지면효과에 관계없이 n 에 비례하여 증가하는 경향을 보였다.

지면효과 유무에 따른 양력계수 및 항력계수와 레이놀즈수의 관계를 Fig.8 에 나타내었다. 그림에서 C_L, C_D 는 식(1), (2)으로부터 구한 값들이다. 여기에서 C_L은 날개를 고려한 경우의 양력값(F_z, Fig.7)에서 날개가 없는 경우의 양력값(F_{z0}, Fig.5)을 뺀 양력으로 구한 값이며, C_D 도 같은 방법으로 구했다.

그림으로부터 지면효과에 의하여 양력계수가 레이놀즈수에 관계없이 다소 크게 나오는 것을 볼 수 있다. 또한 지면이 없는 경우의 양력계수값은 지금까지 보고된 연구결과와 동일한 경향을 가지므로, 본 실험결과는 타당한 것으로 간주할 수 있다. 그러나 항력계수는 지면효과에 의하여 지면이 없는 경우에 비하여 전체적으로 큰 값을 가졌다. 이것은 종래 연구결과와 다른 경향으로 보다 상세한 해석이 요구된다. 또한 레이놀즈수 증가에 따라 그 항력계수 값들의 차이는 감소하였다.

4. 결 론

지면효과익의 공기역학적 특성평가를 위한 모사실험장치를 개발하여, 측정장비의 검증과 지면효과익의 공력특성을 조사하였다. 얻어진 결과를 요약하면 아래와 같다.

(1) 개발한 실험장치는 측정의 재현성 뿐만 아니라 측정값의 신뢰성에도 문제가 없었다. 그러나 모사 지면의 영향 및 날개에 부착된 금속부의 영향을 검토할 필요가 있다.

(2) 양력은 지면효과에 의하여 약 1.5 배정도 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 또 지면효과가 없는 경우의 양력계수값은 레이놀즈수가 4×10^4 이상인 경우, 0.5-0.7 사이에 나타났다. 이 값은 지금까지 얻어진 연구결과와 잘 일치하였다.

(3) 항력은 지면효과에 관계없이 회전수 증

가에 대하여 감소하는 경향을 나타내었으며, 지면효과에 의하여 지면이 없는 경우에 비하여 전체적으로 크게 나타났다. 이는 지금까지의 연구결과와 다른 경향을 나타내고 있으므로, 보다 상세한 해석이 필요하다.

참고문헌

(1) 小濱泰昭, 1993, "エネルギ耕作形社會交通システム,日本機會學會誌," Vol.102, No.964, pp.93-95.
(2) 小濱泰昭,河原進, 渡? 英夫, 菊池? , 大田福男, 都丸裕司, 1999, "空力浮上式高速鐵道の可能性, " 第 37 回飛行機シンポジュ－ム講演集, pp.45-48.
(3) Ollila, R.G, 1980, "Historical Review of WIG Vehicles," J. Hydronautics, Vol.14, No.3, pp.65-76.
(4) 都丸裕司, 小濱泰昭, 1991, "翼型の地面效果特性に關する實驗的研究," ながれ, Vol.10, pp.47-60.
(5) 小濱泰昭, 彦坂智和, 渡? 英夫, 1999, "空力浮上形輸送システムの空力特性と安全性に關する研究," 日本航空宇宙學會論文集, Vol.47, No.541, pp.27-35.
(6) 山名正夫, 伊藤光, 1977, "最大揚力係數の大きな翼型," Vol.25, No.279, pp.201-207.
(7) 安田知央, 砂田茂, 安田邦男, 河內啓, 田中誠, 1999, "低レイノルズ數における翼型特性," 第 37 回飛行機シンポジュ－ム講演集, pp.265-268.