

## 항공력학적 6분력저울의 설계를 위한 정력학적모의해석

김정필, 황성훈

항공력학적저울은 항공력학적풍동에서 여러가지 비행체의 실험모형에 작용하는 힘과 모멘트를 직접 측정하기 위한 기본측정장치이다. 항공력학적저울은 측정분력수에 따라 3분력저울과 6분력저울로, 수감부들이 실험대상의 안에 배치되는가 아니면 바깥에 배치되는가에 따라 내장형저울과 외장형저울로, 힘과 모멘트의 측정방식에 따라 기계식, 응력식, 기계응력식(혼합식)저울로 분류할수 있다.[1, 3]

외장형저울의 경우 플레이트홈형식[4]과 피라미드형식[5]으로 구성하여 설계하며 이 두가지 형식을 혼합하여 설계하는 경우도 있다.[3]

론문에서는 외장형의 기계응력식 항공력학적6분력저울을 제작하기 위한 한가지 설계방안을 제시하고 모의해석프로그램 ADAMS[2]를 리용하여 설계방안의 타당성을 확증하였다.

### 1. 항공력학적 6분력저울의 한가지 설계방안

일반적으로 비행체에 작용하는 항공력학적힘은 비행체의 어떤 점에 설치한 직각직교자리표계의 세 축에 대한 힘벡터의 성분들(저항력  $X$ , 양력  $Y$ , 측력  $Z$ )과 세 모멘트성분들(횡요모멘트  $M_x$ , 편요모멘트  $M_y$ , 세로요동모멘트  $M_z$ ) 즉 6개의 분력으로 분해된다.

저울설계에서 중요한 문제들중의 하나는 해당하는 축방향힘과 모멘트들에 대하여 그에 해당하는 힘수감부에 전달되는 힘이 최대가 되고 나머지분력들에 해당하는 힘수감부들에 전달되는 힘이 가능한 최소로 되어 분력들사이의 간섭을 최소로 되게 하는것이다. 항공력학적6분력저울은 6개의 분력을 측정하여야 하므로 최소한 6개의 힘수감부가 있어야 하며 이때 6개의 힘수감부들의 설치위치를 어떻게 정하는가에 따라 분력들사이의 간섭형태가 결정되게 된다.

측정가능한 최대축방향힘이 50N, 최대축주위모멘트가 10N·m이며 마중각 및 편요각 설정요소를 가진 기계응력식 항공력학적6분력저울제작을 위하여 그림 1과 같은 한가지 설계방안을 제기하였다.

그림 1에서 이동틀은 강체로서 고정회전지지(또는 탄성주름관)와 힘수감부(다치크)들에 힘을 전달하는 힘전달대들에 의해 저울의 외함과 고정되게 된다. 여기서 힘수감부는 탄성변형체와 저항선다치크로 구성한다. 물론 저울요소들의 구조적인 간섭으로 하여 모든 힘수감부들에 서로 다른 크기의 힘들이 전달되지만 구조적으로 수감부 1과 2는 정면저항력  $X$ , 수감부 3은 양력  $Y$ , 수감부 4는 측력  $Z$ 에 대해 기본적으로 반응하며 동시에 수감부 1과 2는 세로요동모멘트  $M_z$ , 수감부 5와 6은 횡요모멘트  $M_x$ , 수감부 4와 5, 6은 편요모멘트  $M_y$ 에 반응하도록 한다.

모형의 마중각  $\alpha$ 는 모형의 꼬리지지부와외의 련결대를 리용하여 나사식으로 만들어 조절하며 여기에 각도지시기와 각도표시판을 설치한다. 그리고 모형의 미끄럼각  $\beta$ 는 저울본체를 회전대차우에 설치하여 조절하도록 한다.

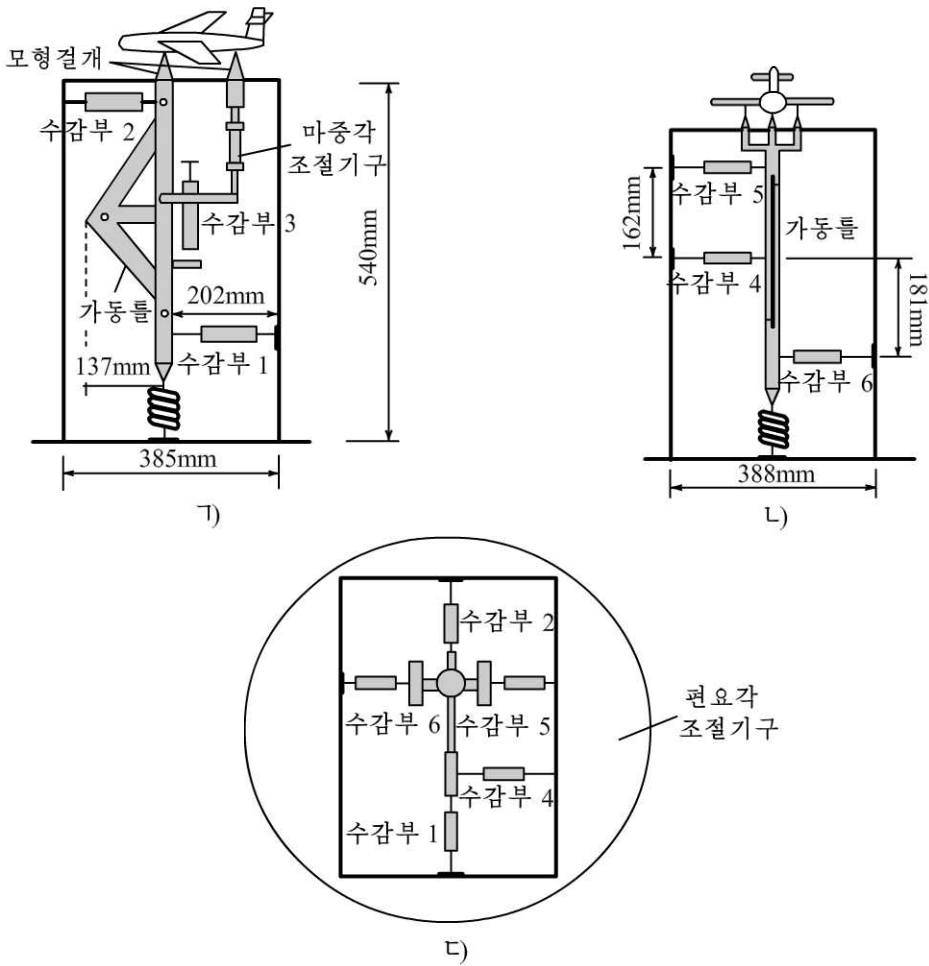


그림 1. 항공력학적6분력저울의 한가지 설계방안도

ㄱ) 측면보기, ㄴ) 정면보기, ㄷ) 내려보기

## 2. ADAMS모의에 의한 설계방안검토

### 1) ADAMS에서 다강체계의 동력학방정식

ADAMS는 기계체계의 모형에 기초하여 자동적으로 라그랑주운동방정식을 작성하며 매 강체에 대하여 라그랑주승수를 가지는 6개의 일반화자리표의 라그랑주방정식과 대응하는 속박방정식을 작성한다. 총체적으로 다강체계에 대하여 다음과 같은 강체운동방정식을 작성한다.

6개의 1계 동력학방정식(힘과 가속도사이의 관계):

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial K}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial K}{\partial q_j} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial \Psi_j}{\partial q_j} \lambda_i - F_j = 0 \quad (j=1, 2, \dots, 6) \quad (1)$$

$$q = (x, y, z, \Psi, \theta, \varphi)^T \quad (2)$$

6개의 1계 운동학방정식(위치와 속도사이의 관계):

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} - V_x &= 0, \quad \dot{y} - V_y = 0, \quad \dot{z} - V_z = 0 \\ \dot{\psi} - \omega_x &= 0, \quad \dot{\theta} - \omega_y = 0, \quad \dot{\phi} - \omega_z = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

이외에도 다음과 같은 방정식들이 리용된다.

속박방정식;  $\varphi(\dot{q}, q, t) = 0$

외력정의방정식;  $F(u', u, q, f, t) = 0$

자체정의한 대수-미분방정식;  $\text{DIFF}(u', u, q, f, t) = 0$

여기서  $q$ 는 일반화테카르트자리표,  $u$ 는 일반화자리표의 미분,  $f$ 는 외력과 속박으로 구성되는 벡토르이다.

$y = [q, u]^T$ 를 상태벡토르라고 하면 체계의 방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$G(\dot{y}, y, t) = 0 \quad (4)$$

## 2) 모의결과

그림 2에서는 모의를 위하여 작성한 항공력학적6분력저울의 조립품모형을 보여주고 있다. 여기서 저울에 설치하는 비행체모형으로서는 일정한 무게를 가지는 판모형(240mm×200mm×10mm)을 리용하였다.

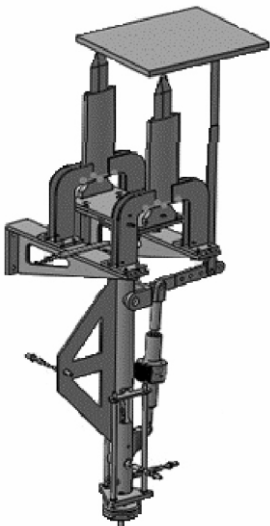
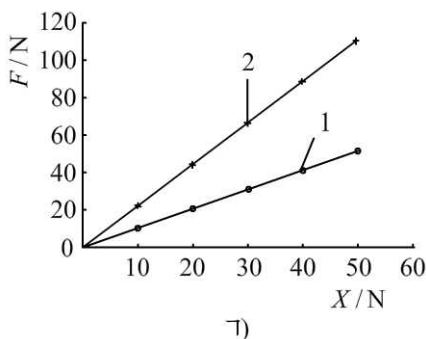


그림 2. 항공력학적6분력저울의 조립품모형

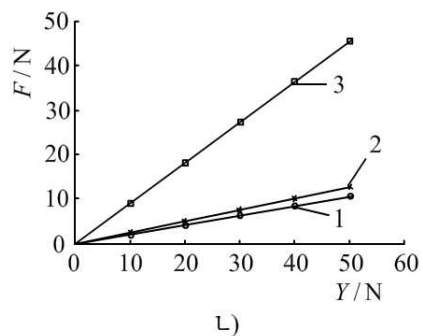
작성된 모형을 모의해석프로그램 MSC.ADAMS에 입력시키고 6개의 힘수감부위치들에서 나타나는 분력을 고찰할 목적으로 힘수감요소들을 억세기가 큰 동일한 용수철요소들로 등가시키었다. 힘수감부내에서의 구체적인 변형특성은 수감부의 형태가 주어지면 구조해석프로그램(ANSYS)에 의하여 모의할수 있다.

모형지지대에 설치된 판모형의 중심에 각이한 힘과 모멘트를 주면서 6개의 힘수감부위치들 즉 용수철요소들에서 나타나는 속박힘을 결정하였다. 이때 용수철요소에서 변위특성이 아니라 힘특성만을 고려하는 경우 탄성결수의 크기는 무관계하므로 저울밑부분의 바닥지지부와 련결되는 용수철요소와 6개의 힘수감부를 등가시킨 용수철요소들의 탄성결수를 모두 103N/m로 설정하였다.

그림 3에서는 서로 독립인 6개의 분력들을 작용시킬 때 모의결과를 그래프로 보여주고있다. 작용하는 힘과 모멘트에 따라 용수철요소들에서 각각 당김 혹은 누름변형이 나타나지만 이에 의한 효과는 힘수감부의 구조적건지에서 볼 때 같으므로 용수철요소에 나타나는 속박힘의 부호는 무시하였다.



1-수감부 1, 2-수감부 2



1-수감부 1, 2-수감부 2, 3-수감부 3

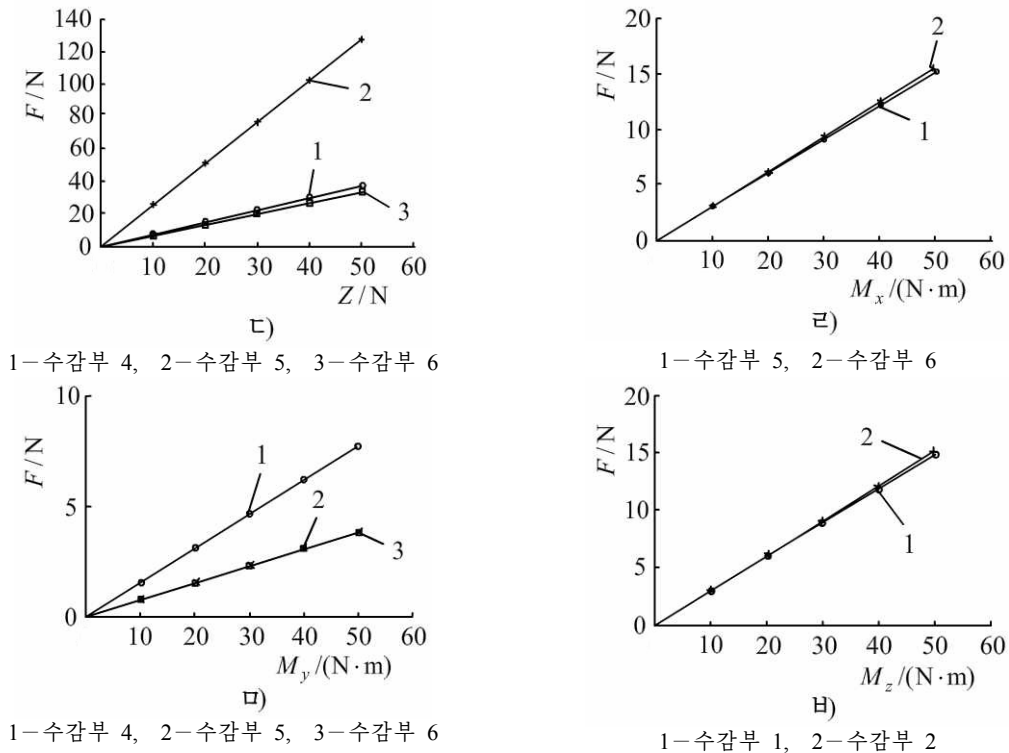


그림 3. 서로 독립인 6개의 분력들을 작용시킬 때 모의결과

우의 모의결과들에서 볼수 있는바와 같이 정면저항력  $X$ 는 수감부 1과 2가, 양력  $Y$ 는 수감부 3이, 측력  $Z$ 는 수감부 4가, 횡요모멘트  $M_x$ 는 수감부 5와 6이, 편요모멘트  $M_y$ 는 수감부 4, 5, 6이, 세로요동모멘트  $M_z$ 는 수감부 1, 2가 수감하며 때 수감부들은 작용하는 힘에 대하여 선형성을 가진다.

한편 해당한 분력들에 대하여 우에서 지정한 힘수감부외에 다른 힘수감부들에서 나타나는 간섭힘들은 최대로 기본수감부힘의 20%정도(양력  $Y$ 만이 작용하는 경우)이며 이러한 간섭영향은 저울의 교정실험을 통하여 해결되어야 한다.

모의결과들은 설계방안에서 예측한것과 같이 6개의 분력들에 대하여 해당한 힘수감부들이 기본적으로 반응하며 이때 모형에 작용하는 힘과 수감부위치에서 나타나는 힘사이에 선형관계가 있는것으로 하여 6분력측정이 가능하다는것을 보여준다.

## 맺는 말

항공력학적6분력저울의 한가지 설계방안에 따라 모형을 작성하고 모의해석프로그램 ADAMS를 리용하여 모의를 진행한 결과 설계방안에서 예측한것과 같이 6개의 분력들에 대하여 해당한 수감부들이 반응하며 모형에 작용하는 힘과 수감부위치에서 나타나는 힘사이에 선형관계가 있는것으로 하여 6분력측정이 가능하다는 결론을 얻었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김정필; 력학전서, 24, 김일성종합대학출판사, 320~333, 주체102(2013).
- [2] 강철수; ADAMS에 의한 기초기구의 모의와 응용, 외국문도서출판사, 20~78, 주체105(2016).
- [3] C. Tropea et al.; Springer-handbook of Experimental Fluid Mechanics, Springer, 563~618, 2007.
- [4] M. L. C. C. Reis et al.; Measurement, 46, 24, 2013.
- [5] 高島勢記 他.; 日本航空宇宙学会誌, 19, 206, 88~94, 1971.

주체109(2020)년 3월 15일 원고접수

## **A Static Simulation Study for Design of Six-Component Balance**

*Kim Jong Phil, Hwang Song Hun*

In this paper we proposed a design scheme of six-component balance and simulated balance model using MSC ADAMS software to ensure the validity of scheme. As we predicted, the simulation results show that each of six component forces causes corresponding sensor force with linear relation, therefore six-component force measuring is possible.

Keywords: wind tunnel balance, wind tunnel