

항공력학적저울의 한가지 힘수감부에 대한 연구

리일혁, 김정필

선행연구[1]에서는 전자저울용힘수감부로 널리 쓰이고있는 I형자름보식힘수감부의 일반적인 설계계산방법을 고찰하였고 선행연구[2]에서는 감도와 선형성이 좋고 구조가 단순한 S형힘수감부의 구조해석을 진행하고 설계정수와 그 특성을 고찰하였으며 선행연구[3]에서는 프로그램을 리용한 질량변환수감부의 특성분석방법을 고찰하였다.

론문에서는 항공력학적저울에서 리용할수 있는 한가지 힘수감부를 제기하고 종전의 힘수감부와 대비속에서 수치계산방법으로 력학적특성을 해석하였다.

1. 유한요소법의 기본방정식

유한요소법을 리용하여 힘수감부의 구조해석을 진행한다. 전체 계산구역에 대하여 다음과 같은 평형방정식이 성립한다.

$$[K]\{\delta\} + \{F\} = 0 \quad (1)$$

여기서 $[K]$ 는 탄성역세기행렬이고 $\{F\}$ 는 외력행렬이다.

변위함수 $\{U\} = \{U(x, y, z)\}$ 가

$$\{U\} = [H(x, y, z)]\{\alpha\} \quad (2)$$

로 표시되었다고 하자. 여기서

$$\{U\} = \{U_x, U_y, U_z\}^T \quad (3)$$

$$\{\alpha\} = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}^T \quad (4)$$

이고 $H(x, y, z)$ 는 요소자유도개수와 관련되는 다항식, n 은 요소의 총자유도수를 표시한다. 식 (2)에 마디점자리표값들을 넣으면

$$\{\delta\} = [C]\{\alpha\} \quad (5)$$

이다. 여기서 $\{\delta\}$ 는 마디점변위값으로서 $\{\delta\} = \{\delta_i, \delta_j, \dots, \delta_R\}^T$ 이고 $[C]$ 는 $[H(x, y, z)]$ 에 순차적으로 마디점자리표값을 대입할 때 얻어지는 행렬이다. 그리고 i, j, \dots, k 는 요소의 마디점번호이다.

식 (5)로부터 $\{\alpha\}$ 를 구하면

$$\{\alpha\} = [C]^{-1}\{\delta\} \quad (6)$$

이고 이 식을 식 (2)에 대입하면 변위함수는 다음과 같이 표시된다.

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} U_x \\ U_y \\ U_z \end{Bmatrix} = [H(x, y, z)][C]^{-1}\{\delta\} \quad (7)$$

변형과 변위사이의 관계식으로부터 변형을 구하면

$$\{\varepsilon\}^e = [A]\{U\}^e = [A][N]^e\{\delta\}^e = [B]^e\{\delta\}^e \quad (8)$$

이다. 여기서 변형행렬 $[B]^e$ 는 다음과 같다.

$$[B]^e = [A][N]^e \quad (9)$$

응력과 변형사이의 관계식으로부터 응력 $\{\sigma\}^e$ 는 다음과 같이 결정할수 있다.

$$\{\sigma\}^e = [D]\{\varepsilon\}^e = [D][B]^e\{\delta\}^e \quad (10)$$

2. 수치모의해석

해석하려는 힘수감부의 외형을 그림 1에서 보여주었다. 그림 1의 ㄱ)는 우리가 새롭게 제기한 힘수감부이고 ㄴ)는 종전에 리용하던 힘수감부이다. 앞으로 그림 1의 ㄱ)와 ㄴ)에서 준 힘수감부들을 각각 힘수감부 1과 힘수감부 2라고 한다.

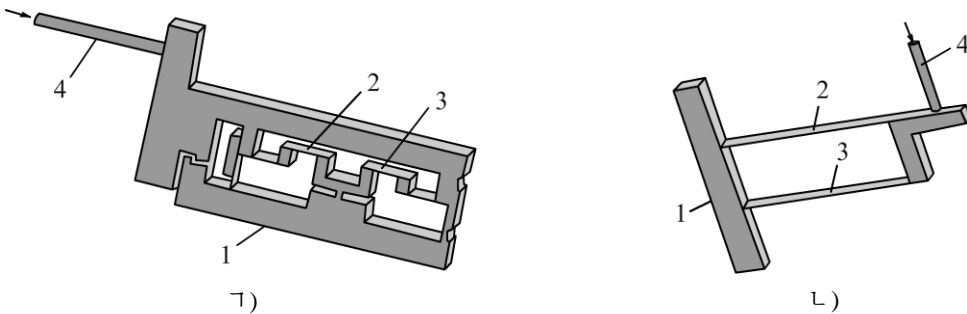


그림 1. 힘수감부의 외형

1-고정지지부, 2,3-탄성변형요소부분, 4-힘전달대

힘수감부 1의 재료는 알루미늄-망간합금계금속이고 힘수감부 2의 재료는 합금철이다. 수치계산에 리용된 힘수감부 1과 2에 대한 재료의 력학적성질을 보면 탄성결수 E 는 각각 71, 210GPa, 뽁뽁결수 μ 는 0.35와 0.28, 밀도 ρ 는 3 960 kg/m³와 7 700 kg/m³이다.[4] 우의 두 힘수감부의 변형요소부분에 대한 변위와 응력해석은 Solidworks를 리용하여 두 힘수감부모형을 설계하고 Ansys ver.14.5의 해석기 Structural Mechanics에서 유한요소법에 기초하여 정적해석을 진행하였다. 그물작성은 standard Mesh를 리용하여 계산구역을 너비 1.43mm, 가로세로비 1.5로 분할하고 14만개의 마디점을 가진 4각형그물로 구성하였다.

해석에서 경계조건은 그림 1에서 각각 1로 표시된 부분에 고정지지조건을 주었으며 두 모형의 힘전달대 4에는 각각 5, 10, 15, 20N의 동일한 짐을 주면서 변형수감요소가 설치될 탄성변형구역에서의 변위와 응력을 고찰하였다.

구하려는 값을 찾는 계산마디점들은 탄성변형구역을 따라가며 계산하였다. 즉 힘수감부 1의 해석에서 1~13까지의 계산마디점은 첫번째 변형수감요소가 설치될 2구역이고 14~26은 두번째 변형수감요소가 설치될 3구역이며 힘수감부 2의 해석에서는 1~14까지의 계산마디점은 2구역이고 16~29까지는 3구역이다.

그림 2와 3에서는 두가지 형태의 힘수감부에 각각 동일한 짐을 가할 때의 탄성변형 구역 2와 3에서의 수직변위곡선을 보여주고있다.

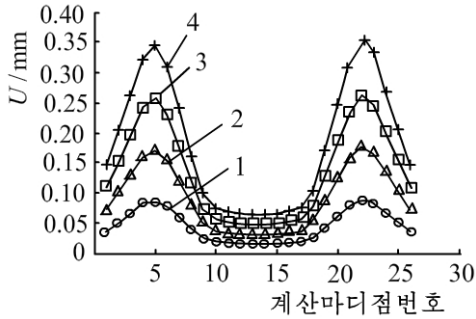


그림 2. 힘수감부 1의 수직변위곡선
1-5N, 2-10N, 3-15N, 4-20N

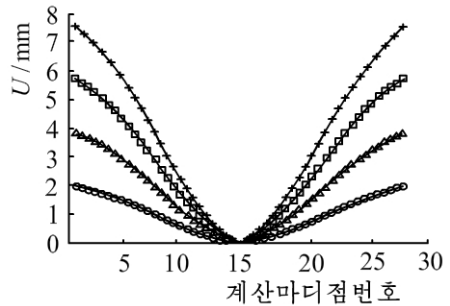


그림 3. 힘수감부 2의 수직변위곡선

그림 1에 기초하여 우의 계산결과를 고찰하면 힘수감부 1의 탄성변형부분에서는 변위가 가운데부분에서 최대로 나타나지만 힘수감부 2에서는 힘전달대가 있는 부분으로 가면서 변위가 증가하며 동일한 짐에 대해서 힘수감부 1에 비해 힘수감부 2에서 변위가 비할바없이 매우 크다는것을 알수 있다.

그림 4와 5에서는 두 힘수감부에 대하여 우와 같은 동일한 짐들을 가한 경우 얻어진 당김응력분포곡선들을 보여주고있다. 우의 두 그림들로부터 법선응력의 최대값은 탄성변형요소부분의 랑끝부분에서 생기며 가운데부분(힘수감부 1에서는 계산마디점번호 7과 23, 힘수감부 2에서는 계산마디점번호 15에서 최소값을 가진다는것을 알수 있다.

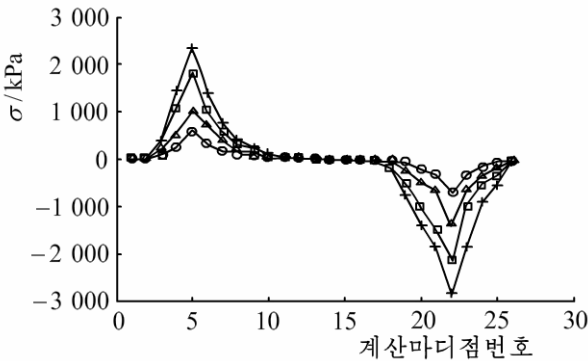


그림 4. 힘수감부 1의 당김응력분포곡선

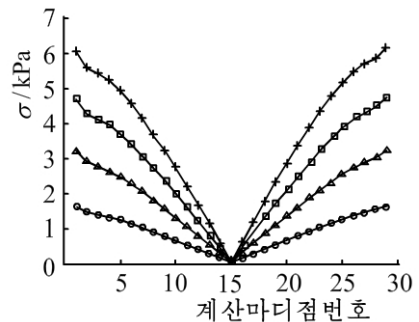


그림 5. 힘수감부 2의 당김응력분포곡선

한편 두 힘수감부의 구부림모멘트선도를 그리면 각각 그림 6, 7과 같이 표시된다.

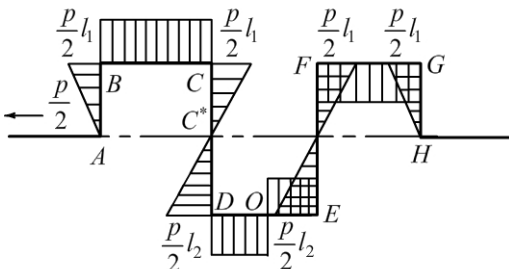


그림 6. 힘수감부 1의 구부림모멘트선도

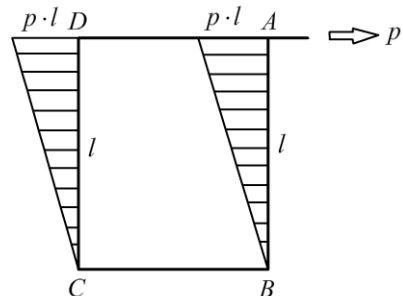


그림 7. 힘수감부 2의 구부림모멘트선도

그림 6에서 DE 는 고정지지부분, BC 와 FG 는 탄성변형요소부분이고 그림 7에서 CB 부분은 고정지지부분, AB 와 CD 는 탄성변형요소부분을 표시한다. 위의 그림으로부터 힘수감부 2에서는 탄성변형요소부분의 길이에 따라 구부림모멘트가 선형적으로 변하지만 힘수감부 1에서는 변형요소부분의 길이에 따라 일정한 값을 가진다는것을 알수 있다.

맺는 말

위의 고찰로부터 제기한 힘수감부 1이 종전의 힘수감부 2에 비하여 힘수감부분에서 모멘트선도가 일정하므로 임의의 위치에 변형수감부를 설치하여도 정확한 값의 변위를 수감할수 있으며 종전의 수감부에 비해 오차가 작다.

또한 집중힘방향에서 일정한 응력에 대하여 변위가 상대적으로 작으며 수감요소설치 부분에서 최대변위와 최대응력이 나타난다는것을 알수 있다.

참고 문헌

- [1] 최경혁 등; 김책공업종합대학학보, 10, 58, 주체100(2011).
- [2] 김창식 등; 계량 및 규격화, 3, 19, 주체98(2009).
- [3] 김명철 등; 계량 및 규격화, 4, 2, 주체90(2001).
- [4] C. Tropea et al.; Springer-handbook of Experimental Fluid Mechanics, Springer, 578~590, 2007.

주체108(2019)년 3월 15일 원고접수

On a Force Sensor of an Aerodynamic Balance

Ri Il Hyok, Kim Jong Phil

In this paper, we suggested a form of force sensor for an aerodynamic balance and compared its mechanical characteristics with previous force sensors.

Key words: aerodynamic balance, force sensor