

# 유한요소해석을 이용한 3축 로드셀 설계 Design of Triaxial Load Cell by Finite Element Analysis

\*이재훈<sup>1</sup>, 송창곤<sup>2</sup>, #박성훈<sup>1</sup>

\*J. Lee<sup>1</sup>, C. Song<sup>2</sup>, #S. Park(paks@pusan.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 기계공학부, <sup>2</sup>(주)에스앤드티

Key words : Triaxial Load Cell, Finite Element Analysis, Design of Experiment, Optimization

## 1. 서론

로봇팔, 공작기계, 항공분야 등의 영역에서 여러 방향에서의 힘과 모멘트를 동시에 측정할 수 있는 다축 로드셀의 수요가 증대하고 있으며, 특히 항공기, 풍동과 같은 회전부의 동체 실험에서는 축을 삽입하여 함께 거동이 가능한 로드셀이 요구된다. 본 연구는 프로펠러에 설치되어 3축에 대한 하중을 동시에 측정할 수 있는 풍동용 로드셀의 형상을 유한요소해석 기법을 이용하여 설계하였다.

## 2. 풍동용 로드셀 및 설계변수

본 연구에서 설계할 로드셀의 용량은 수직, 수평, 축 방향에서 각각 최대 30kgf로 설정되었으며, 전체적인 형상은 현재 기계 가공에서 많이 사용되고 있는 로드셀 모델을 기준으로 형상 변경을 통해 결정하였다. 로드셀의 형상은 풍동용 프로펠러에 설치와 운용이 적합하고 제작의 편리성과 실용성이 향상될 수 있도록 하는 것이 중요하다.

최종적으로 프로펠러 내부에 설치(Fig. 1(a) 참고)될 수 있도록 원형의 지지부를 가지며<sup>1</sup>, 중심부에 축이 삽입될 수 있는 홈, 그리고 축을 지지하는 수직 및 수평 방향의 십자형태의 빔을 가진 형태로 로드셀의 형상을 결정하였다. 전체적인 로드셀의 형상과 함께 3축의 하중에 대해 감지부의 민감성이 높을 것으로 판단되어 선정된 5가지 설계변수를

Fig. 1(b)에 나타내었다.

로드셀 감지부의 재료는 기본적으로 하중에 대한 변형률이 선형적이고 반복 하중 후의 무부하에서 원점으로 복귀되어야 한다. 또한 탄성한도가 크고 탄성계수가 작은 재료가 요구되므로, 본 연구에서는 저용량 로드셀에 많이 사용되며, 선형 탄성적인 재료인 알루미늄 2024-T4를 선정하였으며 재료 물성치는 Table 1와 같다. 로드셀의 설계 변형률은 스트레인게이지의 상수(gage factor)가 2.0일 경우를 기준으로 변형률이  $500 \times 10^{-6} \pm 10\%$ 으로 설계하여 출력값  $1mV/V \pm 10\%$ 를 만족하도록 할 것이다.

## 3. 실험계획법에 의한 유한요소해석

실험계획법을 기반으로 선정된 설계변수를 변경하여 모델을 생성하고 유한요소해석을 실시하였다. 우선 각 설계변수의 범위를 Table 2와 같이 결정하였으며 5인자 2수준의 요인인배치법(factorial design)에 의해 총 32가지의 실험 모델들을 Table 3(분량 관계상 일부 모델 생략)과 같이 생성하

Table 1 Material properties of Al 2024-T4

Properties (unit)	Value
Young's modulus (GPa)	72.4
Poisson's ratio	0.33
Density (kg/m <sup>3</sup> )	2780
Tensile yield strength (MPa)	325
Compressive yield strength (MPa)	280

Table 2 Design parameter & range

Design parameter	Level(mm)	
	Min	Max
A (radius)	∅ 70	∅ 80
B (width 1)	4	7
C (width 2)	6	10
D (length)	16	18
E (thickness)	4	6

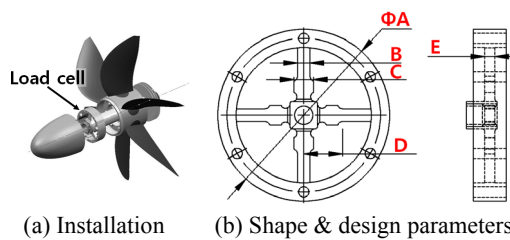


Fig. 1 Schematic of triaxial load cell

Table 3 Experiment models by DOE

No.	Design parameter				
	A	B	C	D	E
1	70	4	10	16	4
2	70	7	6	18	6
3	80	4	6	16	4
4	70	7	10	16	4
5	80	7	6	18	4
...	...	...	...	...	...
30	70	4	10	18	4
31	70	4	6	16	4
32	80	7	6	16	6

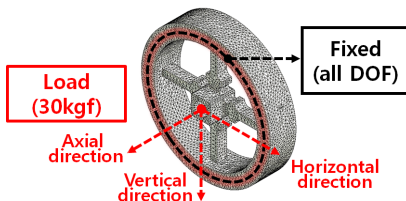


Fig. 2 Load & boundary condition for FE analysis

Table 4 Analysis results by FEM

No.	Axial		Horizontal
	Strain ( $\times 10^{-6}$ )	Deflection(mm)	Strain ( $\times 10^{-6}$ )
1	480.9	0.04284	324.8
2	206.0	0.01286	91.0
3	910.2	0.07785	449.8
4	398.8	0.03199	129.9
5	531.6	0.05823	273.2
...	...	...	...
30	678.2	0.04171	229.7
31	669.1	0.04388	312.6
32	243.1	0.02127	141.4

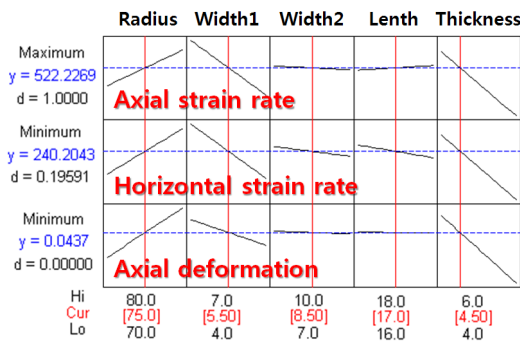


Fig. 3 Response optimization result

였다. 그리고 Fig. 2와 같은 하중 및 경계조건을에 대해서 상용 FEM 해석기인 ANSYS를 통해 수평/수직 및 축방향의 하중에 대한 변형률과 처짐량 값을 도출하였다. 로드셀이 대칭적인 형상을 가지므로 수평 및 수직의 두 방향에 대한 해석은 둘 중 한쪽만 수행하는 것으로도 충분하다. Table 4와 같이 축방향과 수평방향 하중에 대해서 스트레인

게이지 부착위치의 변형률과 처짐량을 도출할 수 있었다. 높은 성능의 로드셀을 만들기 위해서는 하중에 대한 전체적인 처짐량은 적고 스트레인 게이지 부착부위에 대한 변형률은 높은 것이 유리하다.

#### 4. 설계 최적화 및 검증

실험계획법에 따라 도출된 결과값을 이용하여 축방향에 대한 변형률과 처짐량에 대하여 유의한 효과를 정규성 그래프와 주효과도에 의해 통계적으로 파악하였다. 결과적으로 축방향 변형률에 대해서는 반경(A), 폭1(B), 두께(E)가 유의함을 알수 있었으며, 처짐량에 대해서는 반경(A), 폭1(B), 폭2(C), 길이(D), 두께(E) 모두가 유의한 효과로 나타났다. 주요한 인자를 바탕으로 설계변수를 기계가 공이 가능한 수준을 고려하여 반응표면법에 의해 설계최적화한 결과를 Fig.3에 나타내었다. 최적화된 치수는 반경 75mm, 폭1 5.5mm, 폭2 8.5mm, 길이 17mm, 두께 4.5mm로 나타났다.

최적화 된 설계변수 값을 이용하여 FE 모델을 생성하고 3축 방향의 하중에 대한 전산해석을 수행하여서 스트레인 게이지가 설치되는 지점들의 변형률이 설계목표인  $500 \times 10^{-6} \pm 10\%$ 를 만족함을 확인하였다. 또한 고유진동해석을 통해 1차 고유주파수가 5.56kHz로 축방향으로 나타났다. 일반적인 풍동실험에서 프로펠러 회전속도가 10,000Hz를 넘지 않으므로 공진 대한 안정성을 확인할 수 있었다.

#### 5. 결론

통상적으로 로드셀의 설계에서 설계자의 경험과 감각에 의존하여 평가하던 주요 설계인자 선정과 설계값의 결정을 유한요소해석과 실험계획법을 통하여 신속하고 체계적인 방법을 통해 도출할 수 있었다. 또한 최적설계를 통해 선정된 설계모델을 검증하기 위한 평가를 하여 높은 안정성을 가짐을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Erm, L. P., "Development of a Two-Component Strain Gauge Balance Load Measurement System for the DSTO Water Tunnel," Air Vehicles Division Defence Science and Technology Organization, 2006.