

파라미터 평가를 통한 로봇 주물 프테입의 최적설계 Design Optimization of the Robot Casting with Parameter Evaluation

*박준오¹, #이종수²

*J. Park¹, #J. S. Lee (jleej@yonsei.ac.kr)²

¹연세대학교 기계공학과 대학원, ²연세대학교 기계공학과

Key words : Casting Structure, CAE Analysis, Parameter Sensitivity, RSM, Genetic Algorithm

1. 서론

설계 마진을 극한치까지 끌어올려 원가절감을 추구하는 동시에 품질을 유지하려는 노력은 최근 산업계의 주된 화두이다. 본 연구 대상인 로봇 주물도 동일한 적용이 필요하며, 설계 파라미터를 추출하여 최적설계를 진행하는 연구에 대해 진행하였다. 이렇게 설계된 파라미터들은 추후 강건, 신뢰성 기반의 품질공학 최적설계에 사용될 예정이다.

2. 기초모델 및 실험계획

초기설계는 Fig. 1과 같으며 평가를 할 후보 파라미터는 7개로 선정하였다. x_1, x_2, x_3, x_4 는 외곽 사이즈 및 두께 x_5, x_7 은 주물사 제거 및 경량화를 위한 홈, x_6 은 처짐 최소화를 위한 Rib의 두께이다. 초기 설계치는 다음과 같다.

$$[x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7] = [190 \ 190 \ 20 \ 95 \ 20 \ 95] [mm]$$

지배적인 파라미터를 평가하여 선정하기 위한 방법으로 직교배열표를 이용한 실험계획을 수립한다.⁽¹⁻²⁾ 이러한 실험계획은 실험 횟수를 줄여 효율적인 설계를 할 수 있도록 도와준다. 수행된 실험에 대

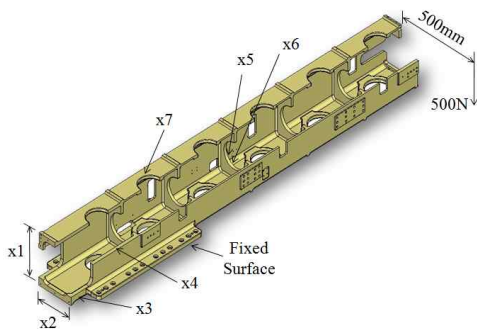


Fig. 1 Industrial Robot Casting Model

한 결과는 무게, 응력, 처짐으로 설정하였다. 각 설계 파라미터의 수준별 대응값은 Table. 1에 나타내었으며, 수립된 $L_{18}(2^1 \times 3^6)$ 직교배열표와 그에 대한 CAE 해석 결과는 Table. 2에 나타내었다.

3. 분석 및 결과

평균분석(Analysis of Means, ANOM)을 수행하여 각 설계 파라미터의 민감도를 평가한다.⁽³⁾ Fig. 2는 각 결과값에 대한 평균분석의 결과다. 무게의 경우 x_1, x_2, x_3, x_4 4개의 파라미터에 대한 변동량이 다른 3개에 비해 큰 것을 볼 수 있다. 이는 또한 무게에 대해 x_1, x_2, x_3, x_4 4개의 파라미터의 민감도가 크다고 표현할 수 있다. 반면 x_5, x_6, x_7 의 경우는 위와 반대로 파라미터의 변화가 결과에 덜 민감하므로 설계 파라미터에서 배제할 수 있다. 응력과 처짐에 대해서도 확인하면 동일한 파라미터들이 주요한 인자임을 확인할 수 있다. 따라서 최종적으로 위 4개의 파라미터를 주요 파라미터로 선정한다. 더 나아가 파라미터의 증감에 따른 결과값의 증감의 방향을 확인하여 기본적인 설계방향을 결정할 수 있다.

4. 근사 최적화

설계목적함수와 제한 조건은 다음과 같다.

Minimize Weight

subject to $G_{Stress}(x_i) \leq 50MPa \quad i=1,2,3,4$

$G_{Deflection}(x_i) \leq 2 \text{ mm}$

$180 \leq x_1 \leq 200, 180 \leq x_2 \leq 220$

$15 \leq x_3 \leq 25, 15 \leq x_4 \leq 25$

Table 1. Level of Each Design Parameter

Lev.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7
1	180	180	15	15	80	15	80
2	200	200	20	20	100	20	100
3	-	220	25	25	110	25	110

Table 2. L18 Orthogonal Array

Run	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	Weight [kgf]	Stress [MPa]	Deflection [mm]
1	1	1	1	1	1	1	1	41.96	80.28	3.53
2	1	1	2	2	2	2	2	50.33	63.39	3.36
3	1	1	3	3	3	3	3	57.62	61.78	3.23
4	1	2	1	1	2	2	3	43.79	76.70	3.84
5	1	2	2	2	3	3	1	56.96	60.83	2.58
6	1	2	3	3	1	1	2	63.03	48.61	2.58
7	1	3	1	2	1	3	3	54.74	60.62	3.13
8	1	3	2	3	2	1	1	63.68	47.78	2.24
9	1	3	3	1	3	2	2	59.31	67.92	2.49
10	2	1	1	3	3	2	1	57.05	48.93	2.29
11	2	1	2	1	1	3	2	51.17	62.43	2.77
12	2	1	3	2	2	1	3	55.88	52.75	2.61
13	2	2	1	2	3	1	2	51.85	52.26	2.53
14	2	2	2	3	1	2	3	63.67	45.16	2.26
15	2	2	3	1	2	3	1	61.54	56.93	1.91
16	2	3	1	3	2	3	2	64.27	43.05	2.11
17	2	3	2	1	3	1	3	53.68	59.15	2.30
18	2	3	3	2	1	2	1	70.80	45.04	1.63

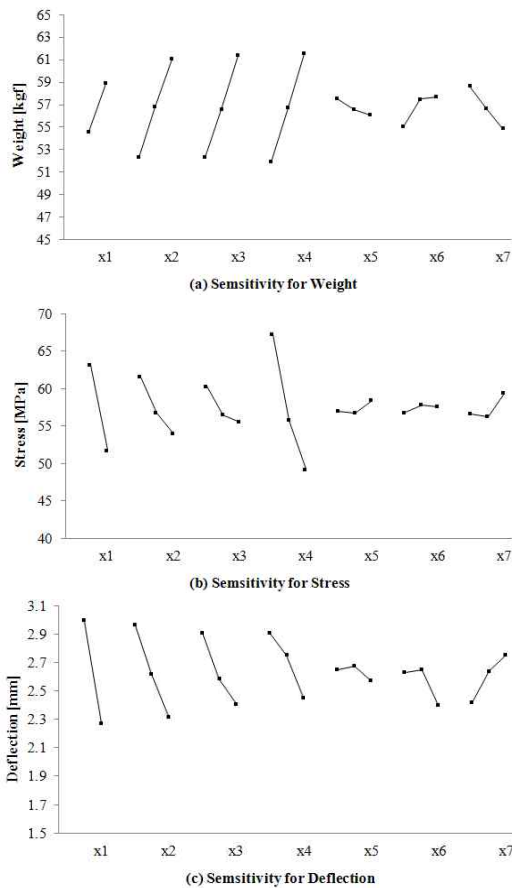


Fig. 2 ANOM of Design Parameters

선정된 주요 파라미터 4개에 대해 중심합성법 (CCD)을 통한 실험계획을 수립하고 반응표면법 (RSM)을 통해 무게, 응력, 처짐에 해당하는 근사 방정식을 만들면 다음과 같다.

$$F_{weight} = -0.3113 - 0.0004x_1 + 0.0054x_2 - 0.2276x_3 - 0.1201x_4 + 0.0003x_1x_2 + 0.0075x_1x_4 + 0.0075x_2x_3 - 0.0150x_3x_4$$

$$G_{stress} = 519.937 - 0.1575x_1 - 2.3177x_2 - 1.1708x_3 - 12.1839x_4 - 0.0060x_1x_1 + 0.0026x_2x_2 + 0.0357x_3x_3 + 0.1337x_4x_4 + 0.0064x_1x_2 + 0.0034x_1x_3 + 0.0358x_1x_4 - 0.0036x_2x_3 - 0.0031x_2x_4 - 0.0606x_3x_4$$

$$G_{deflection} = 44.7634 - 0.2164x_1 - 0.1061x_2 - 0.3234x_3 - 0.2237x_4 + 0.0003x_1x_1 + 0.0020x_3x_3 + 0.0006x_4x_4 + 0.0002x_1x_2 + 0.0007x_1x_3 + 0.0003x_1x_4 + 0.0004x_2x_4 + 0.0022x_3x_4$$

최적화는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하였으며 세대수 100, 모집단 크기 50, 교배 30%, 변이 3%의 확률로 설정하였다. 제한 조건을 만족면서 목적함수를 최소화하는 결과는 다음과 같이 얻어졌다.

$$[x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4] = [200 \ 220 \ 20.5 \ 18]$$

5. 결론

본 연구에선 구조해석을 기반으로 한 실험계획법을 실시하여 여러 설계 파라미터 후보군 중, 주요 변수를 평가하고 선택하였다. 이 과정에서 각 파라미터에 대한 결과값의 민감도 또한 확인할 수 있었다. 추출된 주요 설계 파라미터를 사용하면 설계 시간과 비용을 감소시켜 보다 효율적인 설계를 가능하게 한다. 최종적으로 근사 최적화를 통하여 설계조건을 만족하는 해를 얻었고 추후 강건성과 신뢰성을 확보하는 연구로 확장할 예정이다.

참고문헌

1. Lee, Jongsoo and Ahn, Byoungchul, "DOE Based Robust Optimization Considering Tolerance Bands of Design Parameters," JSME Series C, Vol. 49, No. 4, pp. 1223~1231, 2006.
2. Nam, Hyunwook, "Six Sigma Robust Design of Composite Hand for LCD Glass Transfer Robot," KSME (A), Vol. 29, No. 3, pp. 455~451, 2005
3. Fowlkes, William Y., "Engineering Methods for Robust Product Design," Addison-Wesley, pp. 211~220, 1995.